

**COMPARACION EXPERIMENTAL DE LA ENZIMA BIOLOGICA STIMUZYME Y
UN DILUYENTE PARA DETERMINAR EL EFECTO EN LA REDUCCION DE
VISCOSIDAD PARA CRUDO PESADO**

**WILLIAM MAURICIO RUIZ TORO
HAROLD JANIER HERNANDEZ MORENO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2014**

**COMPARACION EXPERIMENTAL DE LA ENZIMA BIOLÓGICA STIMUZYME Y
UN DILUYENTE PARA DETERMINAR EL EFECTO EN LA REDUCCION DE
VISCOSIDAD PARA CRUDO PESADO**

**WILLIAM MAURICIO RUIZ TORO
HAROLD JANIER HERNANDEZ MORENO**

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero de Petróleos

**Director:
JOHN ALEXANDER LEON PABON
Ing. de Petróleos**

**Co-Director:
LEONARDO ARZUZA DURAN
Ing. de petróleoos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo principalmente a DIOS por sus bendiciones, por ser mi
guía y compañero incondicional*

*A mis padres Carlos y Berenice por brindarme ese apoyo absoluto en mi vida y
etapa de formación*

*A mis HERMANOS Elber, Patricia y Carolina por estar siempre a mi lado y
brindarme su apoyo, paciencia y comprensión*

*A mis sobrinos Paula y Fernando (Ahijado) quienes son el caminar y la vida de
la familia "Los Amo"*

*A mi novia Andrea, por el amor y el apoyo que me brindaste en esta etapa tan
importante de mi vida*

*A mis primos (Fernando, Mauricio, leo, Maithe, Juancho, Diego, Diana, John)
quienes valoro mucho.*

*A mis amigos (Tame, Laura, Genny, Néstor, Rolo, Jaime, Ricardo, Ariel,
Karen, Ana, Sairek) y aquellas personas que me brindaron su apoyo y palabras
de aliento para alcanzar esta meta.*

*Ya mi compañero de tesis, Harold Quien en momentos de dificultad logramos
superar los obstáculos presentados en esta etapa tan importante de nuestras
vidas.*

WILLIAM MAURICIO RUIZ.

DEDICATORIA

A Dios por permitir cumplir el sueño de ser profesional y por sentir su apoyo celestial en todo momento de mi carrera.

A mis Padres, Gustavo y Nelly que en todo momento me apoyaron y nunca me dejaron solo.

A mi Hermano, Fredy porque siempre estuvo en los momentos difíciles.

A mi Sobrino, Sebastián por alegrarnos la vida en la familia.

A mi Novia, Ana Silvia por llegar en el momento indicado para motivarme y brindarme amor.

A mis Amigos, Esteban, Néstor, Carlos, Ricardo, Jaime, Iván, Eduardo, Oscar, Laura, Kelly, Genny, por los buenos momentos que compartimos.

A mi amigo y compañero de tesis, William por tener la paciencia necesaria para el desarrollo de la tesis.

A mis Amigos de colegio y de infancia, Jaime, John, Nelson, Danilo, Adriana, Leidy, Mónica, por estar cuando los necesitaba.

HAROLD H.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a:

La **Universidad Industrial de Santander** por brindarnos la oportunidad de pertenecer a esta institución.

A los ingenieros por sus grandes aportes, paciencia y apoyo en este proyecto.

Ing. Leonardo Arzuza

Ing. John León

Ing. Oscar Vanegas

Ing. Germán Gonzáles

Ing. Félix Arenas

Ing. Peter Camacho

Ing. Wilmer Camacho

Mario Torres

AUTORES

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. GENERALIDADES DE LOS CRUDOS PESADOS	19
1.1 CLASIFICACION DE LOS CRUDOS PESADOS	19
1.2 ORIGEN DE LOS CRUDOS PESADOS 2	19
1.3 PROPIEDADES DE LOS CRUDOS PESADOS	20
1.4 RESERVAS DE CRUDO PESADO Y EXTRAPESADOS 3	21
1.5 EMULSIONES	23
1.5.1 Estabilidad y Rompimiento de la Emulsión	25
1.5.3. Agentes Emulsificantes	28
1.6 TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS EN EL OLEODUCTO	29
1.7 VISCOSIDAD DE LOS CRUDOS PESADOS 6	30
1.7.1 Tipos de viscosidad	31
1.8 DILUYENTES	33
1.8.1 Nafta	33
1.9 ENZIMAS 8	35
1.9.1 Propiedades y comportamiento de las enzimas biológicas	36
1.9.2 Factores que no afectan el desempeño de las enzimas	38
1.9.3 Enzima StimuZymeR 10	39
2. DISEÑO EXPERIMENTAL	41
2.1 RECONOCIMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	41
2.2 SELECCIÓN DE LOS FACTORES	42
2.2.1 Niveles de los factores	43
2.2.2 Variables de bloqueo	43
2.2.3 Variables dependientes	45
2.3 TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL	45
2.4 FASE EXPERIMENTAL	46

2.4.1 Materiales	48
2.4.2 Pruebas de Laboratorio	53
2.4.3 Desarrollo de las pruebas	57
3. RESULTADOS	64
3.1 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DEL CRUDO	64
3.2 PRUEBAS DE SOLUBILIDAD Y COMPATIBILIDAD	64
3.3 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA	66
3.3.1 Resultados del experimento	66
3.3.2 Análisis de la varianza de los resultados	67
3.3.3 Comportamiento de la enzima StimuZymeR	68
3.3.4 Comparación enzima StimuZymeR con diluyentes	68
3.3.5 Efecto en las propiedades	70
4. EVALUACION TECNICO ECONOMICA	72
4.1 EVALUACIÓN ECONOMICA	72
4.1.1 Relación costo beneficio	75
5. CONCLUSIONES	77
6. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de crudo pesado y extrapesado	21
Figura 2. Total de reservas de petróleo del mundo	22
Figura 3. Esquema de una emulsión	24
Figura 4. Escala HLB	26
Figura 5. Comportamiento HLB	26
Figura 6. Estabilización de una gota de agua por agentes emulsificantes presentes en el crudo	29
Figura 7. Comportamiento de las enzimas biológicas	38
Figura 8. Funcionamiento de las Enzimas Biológicas	38
Figura 9. Dominio Experimental	46
Figura 10. Muestra de crudo	50
Figura 11. Agua de Producción	51
Figura 12. Productos para reducir la viscosidad	52
Figura 13. Pruebas de laboratorio	53
Figura 14. Hidrómetro y lectura gravedad API	54
Figura 15. Viscosímetro Saybolt Universal y Furol	55
Figura 16. Centrifuga	57
Figura 17. Envase etiquetado	61
Figura 18. Preparación de una muestra	62
Figura 19. Muestras a tiempo de reposo de 24 horas	62
Figura 20. Preparación de la muestra	63
Figura 21. Prueba de solubilidad	65
Figura 22. Prueba de compatibilidad	65

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Comportamiento de la enzima StimuZymeR	68
Grafica 2. Comportamiento en viscosidad dinámica enzima y diluyentes.	69
Grafica 3. Comportamiento de la gravedad API	70
Gráfica 4. Costo por barril de crudo	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción campos en Colombia a diciembre de 2012	23
Tabla 2. Propiedades Físicas de la nafta	34
Tabla 3. Aspectos Importantes de la nafta	35
Tabla 4. Análisis de Factores	42
Tabla 5. Niveles de los factores	43
Tabla 6. Variables de control	43
Tabla 7. Análisis de la matriz	47
Tabla 8. Matriz de Experimentos	47
Tabla 9. Implementos de laboratorio requeridos	48
Tabla 10. Sustancias utilizadas y su respectivo volumen	49
Tabla 11. Análisis de Laboratorio	50
Tabla 12. Análisis Fisicoquímico agua de producción	51
Tabla 13. Conversión viscosidad Saybolt a viscosidad Cinemática	56
Tabla 14. Resultados del crudo	64
Tabla 15. Resultados del experimento	66
Tabla 16. Análisis de Varianza datos de laboratorio	67
Tabla 17. Cantidad de enzima	73
Tabla 18. Costo de los productos	73
Tabla 19. Costo por barril de crudo	73
Tabla 20. Relación costo beneficio	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Hoja de seguridad enzima STIMUZYMER	82
ANEXO B. Hoja de seguridad NAFTA	85
ANEXO C. Hoja de seguridad VARSOL	90

RESUMEN

TITULO: COMPARACION EXPERIMENTAL DE LA ENZIMA BIOLÓGICA STIMUZYME Y UN DILUYENTE PARA DETERMINAR EL EFECTO EN LA REDUCCION DE VISCOSIDAD PARA CRUDO PESADO.*

AUTORES: WILLIAM MAURICIO RUIZ TORO **
HAROLD JANIER HERNANDEZ MORENO

PALABRAS CLAVES: Reductor De Viscosidad, Enzima Biológica, Diluyente, Pruebas De Laboratorio, Crudos Pesados.

La reducción en las reservas de crudos livianos y el incremento del precio del barril han motivado la búsqueda de crudos pesados, extrapesados y bituminosos. Estos crudos presentan altas viscosidades que generan dificultades en producción, tratamiento y transporte. El uso de diluyentes permite contribuir en la reducción de la viscosidad, teniendo un alto costo en la mezcla y tratamiento en superficie lo que permite analizar un nuevo aditivo que es diluido en agua y amigable con el medio ambiente.

La enzima biológica StimuZyme^R es un producto innovador que ha sido aplicado en yacimientos de crudo pesado arrojando excelentes resultados en la disminución de la viscosidad debido a que se puede aplicar en fondo, en cabeza y en superficie como también en formaciones geológicas de difícil acceso. Este producto es soluble en agua y no forma un enlace químico con el aceite por lo tanto ninguna emulsión química con el aceite es creada.

Mediante pruebas de laboratorio se comparó experimentalmente la enzima biológica StimuZyme^R y dos diluyentes como reductores de viscosidad, mediante un diseño experimental permitió seleccionar las concentraciones adecuadas y las variables correspondientes para su debida aplicación. Los resultados obtenidos demostraron que la enzima biológica StimuZyme^R y los diluyentes son eficientes reductores de viscosidad, por medio de un análisis económico se estableció su viabilidad para su posterior aplicación en campo.

La enzima biológica StimuZyme^R ha sido aplicada en diferentes países como china, Indonesia, Venezuela y Estados Unidos donde ha sido exitosa en comparación con otras tecnologías y además no genera impacto ambiental.

* Proyecto de grado

** Facultad de Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director John Alexander León Pabón, Codirector Leonardo Arzuza Durán

ABSTRACT

TITLE: EXPERIMENTAL COMPARISON OF BIOLOGICAL ENZYME STIMUZYME AND DILUENT TO DETERMINE THE EFFECT OF VISCOSITY REDUCTION FOR HEAVY OIL.*

AUTHOR (S): HAROLD JANIER HERNANDEZ MORENO**
WILLIAM MAURICIO RUIZ TORO

KEYWORDS: Viscosity reducer, biological enzyme, diluent, laboratory tests, heavy oil.

The reduction in reserves of light crude and the increase in oil prices have prompted the search for heavy, extra-heavy crude oil and bitumen. These crudes have high viscosities that generate difficulties in production, processing and transportation. The use of diluents can assist in reducing viscosity, implies high costs and in the surface treatment mixture which allows to analyze a new additive that is diluted in water and environmentally friendly.

StimuZyme^R biological enzyme is an innovative product that has been applied in heavy oil reservoirs yielding excellent results in the decrease in viscosity due to which you can apply on line, overhead and surface as well as in geological formations inaccessible. This product is soluble in water and does not form a chemical bond with the oil thus no chemical oil emulsion is created.

Through laboratory tests StimuZyme^R biological enzyme and two diluents as reducing viscosity were experimentally compared by an experimental design allowed us to select the appropriate concentrations and related variables for its proper application. The results showed that biological enzyme StimuZyme^R and diluents are efficient viscosity reducers, through an economic viability analysis for subsequent field application was established.

StimuZyme^R biological enzyme has been applied in different countries like China, Indonesia, Venezuela and the United States where it has been successful compared with other technologies, and generates no environmental impact.

* Degree work

** Faculty of Physicochemical Engineering, School of Petroleum Engineering. John Alexander León Pabón, Leonardo Arzuza Durán

INTRODUCCION

La reducción en las reservas mundiales de crudos livianos y el incremento en el precio del barril, han motivado la búsqueda y explotación de crudos pesados, extrapesados y bitúmenes por parte de las compañías de petróleo y gas en diferentes partes del mundo.

Los crudos pesados, extrapesados y bituminosos son más viscosos y generan dificultades en su producción, tratamiento y transporte. Nuevas tecnologías a partir de la creación de productos químicos modificados, han permitido reducir la viscosidad de estos crudos, contribuyendo ampliamente a reducir los problemas inherentes en su explotación.

La viscosidad de estos crudos es un factor determinante en la economía de su explotación. Esta propiedad es la que más afecta la productividad desde el yacimiento hasta su entrega final a la refinería para transformarlo en derivados o a los puertos de embarque marítimo para venta final a otros países.

El uso de diluyentes (mezcla de crudo pesado con hidrocarburos medianos o livianos como kerosene o nafta) a pesar de contribuir en la reducción de la viscosidad, tienen un alto costo de mezcla y tratamiento en superficie.

Este proyecto contempla el uso de un nuevo aditivo que por sus características puede ser diseñado para su aplicación desde el yacimiento y modificarse para mantener la fluidez del crudo pesado en las líneas de producción e incluso hasta su entrega final en el oleoducto para transporte hasta el sitio de comercialización final.

1. GENERALIDADES DE LOS CRUDOS PESADOS

1.1 CLASIFICACION DE LOS CRUDOS PESADOS

La clasificación de los crudos es de vital importancia ya que en los últimos años los crudos pesados y extrapesados han jugado un papel importante en el desarrollo de la industria; debido, a que las reservas de crudo liviano se han reducido notoriamente y esto ha llevado al estudio de nuevas tecnologías para extraer dicho crudo. También cabe resaltar, que al tener crudos pesados y extrapesados se requiere de un mayor costo debido a que es más complicado su transporte y el tratamiento para reducir la viscosidad.

Los crudos se clasifican principalmente de acuerdo con base a la composición química; es decir, parafinas, asfáltenos y naftas; por el contenido de azufre en dulces, agrios y medios y por su gravedad API pueden clasificarse en condensados, livianos, medianos, pesados y extrapesados.

Los crudos pesados son un sistema coloidal compuesto principalmente por partículas de asfáltenos que se encuentran diluidas en un solvente constituido por máltenos. La fracción polar más aromática y pesada en el crudo son los asfáltenos, los cuales están compuestas por anillos aromáticos con cadenas alifáticas que poseen grupos polares en sus extremos ¹

1.2 ORIGEN DE LOS CRUDOS PESADOS ²

Originalmente cuando la roca generadora produce petróleo crudo este no es pesado. Los expertos en geoquímica de reservorios e isotópica generalmente coinciden en que casi todos los petróleos crudos comienzan con densidades de

¹ OÑATE, J.; RODRÍGUEZ, R. (2012). *Evaluación de las alternativas de transporte de crudo pesado por tuberías: caso aplicado al Campo Rubiales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

entre 30° y 40° API; el petróleo se vuelve pesado luego de una degradación sustancial ocurrida durante la migración y luego del entrapamiento. La degradación se produce a través de una serie de procesos biológicos, químicos y físicos. Las aguas de formación también remueven hidrocarburos por solución, eliminando los hidrocarburos de menor peso molecular, los cuales son más solubles en agua.

El petróleo pesado se produce típicamente de formaciones geológicamente jóvenes Pleistoceno, Plioceno y Mioceno. Estos yacimientos tienden a ser someros y poseen sellos menos efectivos, exponiéndolos a condiciones que conducen a la formación de petróleo pesado.

La recolección de crudo de chapopoterías y la excavación a mano constituyeron las formas más tempranas de recuperación seguidas de la perforación de túneles y la minería.

1.3 PROPIEDADES DE LOS CRUDOS PESADOS

Los crudos pesados a menudo son el resultado de la oxidación bacteriana de los crudos convencionales en el yacimiento. Tienen distintas propiedades físicas y químicas que se ven alteradas y generalmente los crudos presentan:

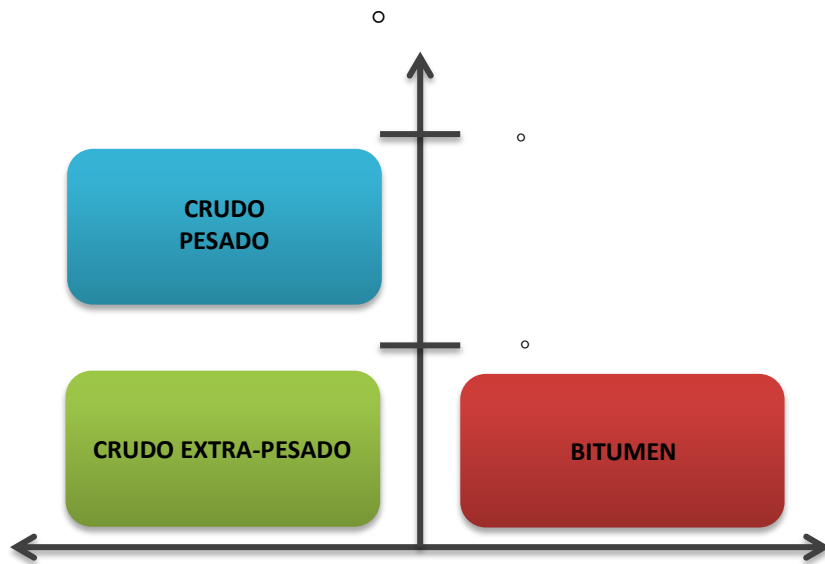
- ✚ Baja gravedad API
- ✚ Alta viscosidad
- ✚ Alto punto de fluidez: 80° F – 100 °F.
- ✚ Alto contenido de metales pesados como níquel y vanadio.
- ✚ Alto contenido de azufre y nitrógeno.
- ✚ Alta relación gas aceite (GOR)
- ✚ Salinidad del crudo.
- ✚ Producción de arena.

Los crudos pesados se clasifican de acuerdo a la densidad:

Crudo pesado: $10^0 > \text{API} < 20^0$

Crudo extrapesado y bitumen: $\text{API} < 10^0$ ²

Figura 1. Clasificación de crudo pesado y extrapesado



Fuente: SANIERE, A HENAUT.I, AND ARGUILLIER, J-F. "pipeline transportation of Heavy Oils. a Strategic Economic and Technological Challenge". Oil & Gas Science and Technology. Vol. 59. 2004. Pag. 455 -466.

1.4 RESERVAS DE CRUDO PESADO Y EXTRAPESADOS³

El desarrollo de los crudos pesados y extra pesados tomó vuelo a finales del siglo pasado y se ha acelerado particularmente en los últimos años con el resurgimiento en la escena mundial de las grandes reservas de Venezuela y Canadá. Este crecimiento ha sido impulsado principalmente por factores como la menor disponibilidad de crudos livianos y el surgimiento de avances tecnológicos que han

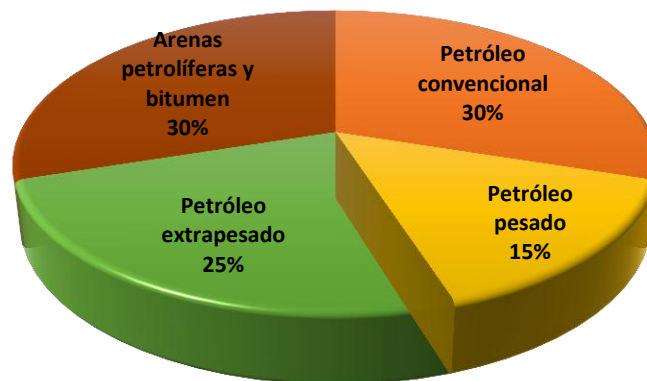
² CUBIDES, L.; PEÑA, P. (2009). Sensibilidad de las variables operacionales en el *transporte de crudo pesado*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

reducido los costos de producción en las áreas de explotación. En la actualidad, se estima que el 64% de las reservas mundiales corresponden a crudos extrapesados y el 36% a petróleos convencionales.

Los especialistas calculan que aproximadamente el 90% del crudo extrapesado en el mundo se encuentra en el yacimiento de la Faja Petrolífera del Orinoco, mientras que el 90% de las existencias de bitumen natural se alojan en las arenas bituminosas de Athabasca, en la provincia canadiense de Alberta.

La diferencia fundamental entre ambos yacimientos son las temperaturas: 53°C para la faja del Orinoco, donde el crudo extrapesado se encuentra en estado líquido, y 11°C en Athabasca, donde el denominado bitumen permanece en estado sólido.

Figura 2. Total de reservas de petróleo del mundo



Fuente: La importancia del petróleo pesado, volumen 18, segunda edición, Oilfield Review, Schlumberger. Artículo publicado 10 de enero de 2006.

Para el mundo, y especialmente para los países de América Latina, las reservas de crudo pesado se han convertido en recursos estratégicos, más aún si se tiene

en cuenta que las posibilidades de encontrar yacimientos gigantes de crudo liviano son cada vez más escasas ³ .

El potencial de crudos pesados en Colombia se concentra en dos cuencas principales: la cuenca llanos y en la cuenca del valle medio del magdalena, en estas dos cuencas se concentra el 99% del crudo pesado que tiene el país (menor a 15° API) ⁴ .

Tabla 1. Producción campos en Colombia a diciembre de 2012

CAMPO	PRODUCCION (bbl/ día)
1. Rubiales	281804
2. Castilla	63159
3. Quifa	51269
4. Castilla norte	45057
5. Chichimene	36373
6. Jazmín	7183
7. Apiay	7073
8. Girasol	6216

Fuente: Asociación Colombiana del Petróleo: www.acp.com.co

1.5 EMULSIONES

El agua y el aceite son esencialmente inmiscibles, por lo tanto, estos dos líquidos coexisten como dos fases distintas. La fase “aceite y agua no se mezclan “expresa la mutua insolubilidad de muchos hidrocarburos líquidos y el agua.

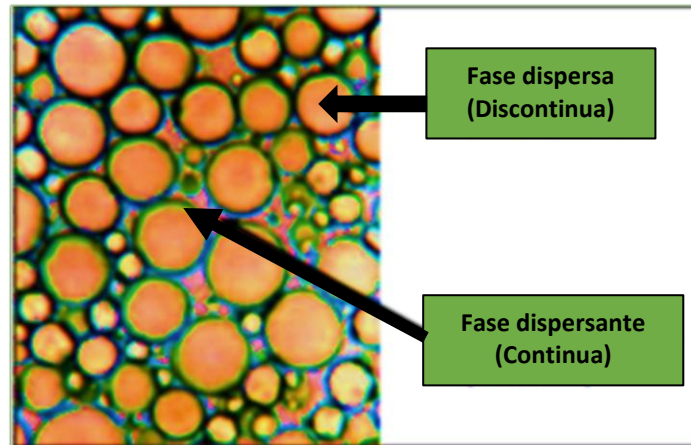
Una emulsión es una suspensión cuasi–estable de finas gotas de un líquido disperso en otro líquido como se muestra en la figura 3. El líquido presente como

³ CHIRIBOGA, J. (2007). *Propuesta de explotación y manejo de crudos pesados petroproducción, campo oglan*. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.

⁴ Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/cartapetrolera06/rev_gestion.htm

pequeñas gotas es la fase dispersa o interna, mientras que el líquido que lo rodea es la fase continua o externa.

Figura 3. Esquema de una emulsión



Fuente: PASCUALI, Ricardo C, Seminario sobre emulsiones, Universidad de Buenos Aires, Noviembre, 2005.

Las emulsiones se pueden clasificar según:

a) El grado de estabilidad.

✚ **Estable:** una emulsión es estable cuando luego de formada, la única manera de conseguir que las fases se separen es mediante la aplicación de sistemas de tratamiento.

✚ **Inestables:** una emulsión es inestable cuando al dejarla en reposo durante algún tiempo, las fases se separan por gravedad.

b) Las fases de la emulsión:

✚ **Normales:** una emulsión normal es aquella en la cual la fase continua es el aceite y la fase dispersa es el agua.

✚ **Inversas:** Una emulsión es inversa cuando la fase continua es el agua y la fase dispersa es el aceite.

✚ **Duales o Triples:** Petróleo en agua en petróleo y agua en petróleo en agua.

1.5.1 Estabilidad y Rompimiento de la Emulsión. Las emulsiones poseen energía en su película interfacial, por esto son termodinámicamente inestables. Las emulsiones pueden ser rotas por tres mecanismos que son: sedimentación, agregación y coalescencia. La sedimentación se refiere a la caída de las gotas emulsionadas, el agrupamiento de dos o más gotas es llamado agregación y por último la coalescencia que ocurre cuando las gotas originales pierden sus identidades y se funden en gotas más grandes reduciendo el área de interface total. El rompimiento de la emulsión depende de los siguientes parámetros: película interfacial, viscosidad de la fase continua, tamaño de la gota, relación de volumen de fases, temperatura, pH, edad, salinidad de la salmuera y tipo de aceite.

1.5.1.1. Balance Hidrofílico-Lipofílico 5: William Colvin Griffin, de la empresa Atlas Powder Company (EEUU), desarrolló un método para clasificar los tensoactivos, basado en el valor del HLB (Hydrophilic-Lipophylic Balance).

El método está basado en la premisa de que todos los tensoactivos combinan, en una misma molécula, un grupo hidrofílico y otro lipofílico, y que la proporción entre los porcentajes en peso de estos dos grupos en los tensoactivos no iónicos es una indicación del comportamiento que puede ser esperado de ese producto.

El HLB es un parámetro que varía de 0 a 20, indicando la preferencia de una sustancia para disolverse en agua o en aceite, el cálculo del HLB se define así:

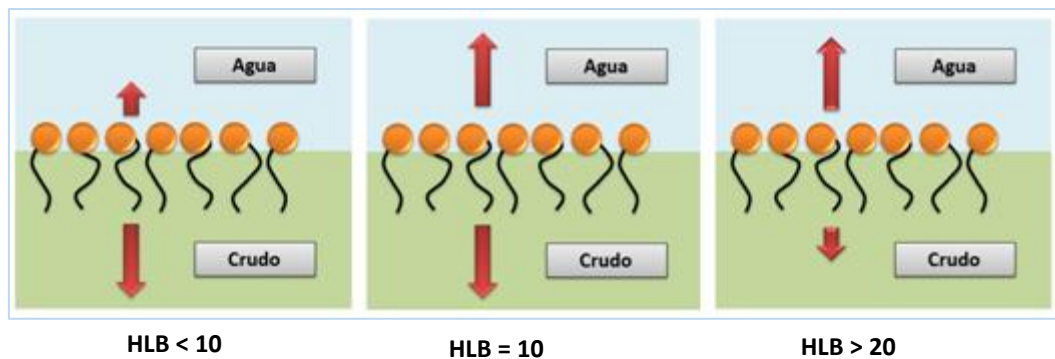
$$HLB = 20 \frac{Mh}{M}$$

Donde M_h es la masa molar de la porción hidrofílica de la molécula y M es la masa molar de la molécula entera.

Figura 4. Escala HLB



Figura 5. Comportamiento HLB ⁵



1.5.2. Teorías de la Formación de Emulsiones: Existen varias teorías que explican cómo dos líquidos inmiscibles forman emulsiones estables; entre ellas tenemos:

⁵ MONTES, Erik G, Facilidades De Superficie, Emulsiones

Teoría coloidal.

La teoría coloidal relaciona la formación de emulsiones con la química coloidal. Los coloides son sustancias cuyas partículas pueden encontrarse en suspensión en un líquido. Las propiedades esenciales de las dispersiones coloidales pueden atribuirse al hecho de que la relación entre la superficie y el volumen de las partículas es muy grande. En una solución verdadera, el sistema consiste de una sola fase, y no hay superficie real de separación entre las partículas moleculares de soluto y del solvente. Las dispersiones coloidales son sistemas de dos fases, y para cada partícula existe una superficie definida de separación.

Teoría del agente emulsificante.

En esta teoría se explica porque las pequeñas gotas de agua dispersas en una emulsión normal no se unen al ponerse en contacto, debido a que están recubiertas por una sustancia denominada agente emulsificante, la cual forma una barrera física para evitar la unión de las gotas de agua. Dependiendo de las características del agente emulsificante y de su relación con los líquidos, se formara una emulsión normal o inversa, teniendo en cuenta que el líquido en el cual se disuelva, será la fase continua de la emulsión.

Teoría de la tensión interfacial.

Esta teoría hace referencia a la formación de emulsiones basada en los fenómenos de tensión interfacial. Se ha encontrado recientemente que los sistemas de tensión ultra-baja producen emulsiones inestables. Estudios de deshidratación de crudos (proceso mediante el cual se separa el agua asociada con el crudo, ya sea en forma emulsionada o libre, hasta lograr reducir su contenido a un porcentaje previamente especificado) muestran que la tensión disminuye con el tiempo y que se requieren varias horas de contacto para obtener un valor estable. Si la tensión interfacial entre el agua y el aceite es alta, la emulsificación se dificulta porque el aceite tiende a extenderse sobre la superficie del agua formándose una capa delgada.

Teoría de las cargas eléctricas.

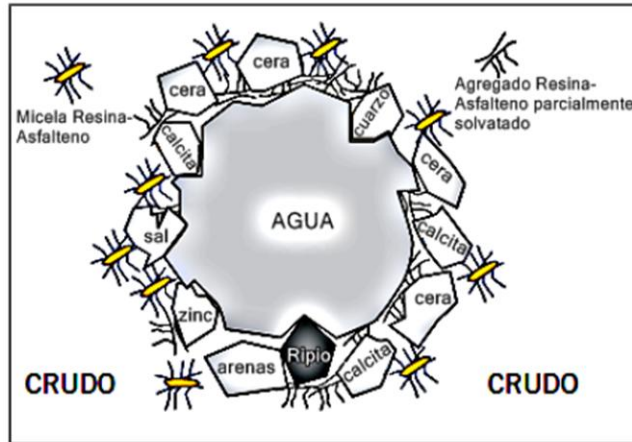
La teoría de las cargas eléctricas, mediante experimentos ha demostrado que las gotas de agua están cargadas eléctricamente, esto ha sido corroborado con la facilidad de unión de las partículas después de que se neutralizan tales cargas por acción de una corriente eléctrica. Cuando las gotas poseen en la interface una carga eléctrica, su acercamiento esta inhibido por una repulsión de tipo eléctrico.

1.5.3. Agentes Emulsificantes

✚ **Surfactantes:** El típico emulsificador es un agente activo de superficie o surfactante. Las moléculas del surfactante son anfipáticas, es decir, una parte de su molécula es hidrofílica o soluble en agua y la otra es lipofílica o soluble en aceite. Los surfactantes estabilizan las emulsiones por migración a la interface aceite-agua y forman una película interfacial alrededor de las gotas (ver figura 6).

✚ **Partículas sólidas muy finas:** Un segundo mecanismo de estabilización ocurre cuando los emulsificadores son partículas sólidas muy finas. Para ser agentes emulsificantes, las partículas sólidas deben ser más pequeñas que las gotas suspendidas y deben ser humedecidos por el aceite y el agua.

Figura 6. Estabilización de una gota de agua por agentes emulsificantes presentes en el crudo



Fuente: PASCUALI, Ricardo C, Seminario sobre emulsiones, Universidad de Buenos Aires, Noviembre, 2005.

El agua que se separa en menos de cinco minutos es llamada agua libre. La cantidad de agua remanente emulsificada varía de <1 a >60 % volumen. En los crudos pesados y extrapesados (<20 °API) tienen a menudo de 10 a 35 % de agua.

1.6 TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS EN EL OLEODUCTO

Uno de los mayores inconvenientes que presentan los crudos pesados es su transporte a través de tuberías. El problema del transporte de crudo radica fundamentalmente en las altas viscosidades de estos. Debido a las propiedades de este tipo de crudo, se hacen necesarias diversas condiciones para poder llevar el crudo de un punto a otro. Son necesarios altos diferenciales de presión para bombear el crudo lo que acarrea alta energía de las bombas y poca distancia entre ellas para el manejo de altas cantidades de estos. Esto nos da la necesidad de encontrar la manera más eficiente y económica para poder obtener unas condiciones reológicas óptimas de transportar estos crudos.

Algunos de los métodos para transportar crudos pesados que han sido utilizados hasta el momento son:

- ✚ Mezclar agua con el crudo para formar una emulsión.
- ✚ Diluir el crudo con aceite más ligero, aceite refinado o con solvente.
- ✚ Modificar el punto de fluidez. Realizando un ciclo especial de calentamiento/enfriamiento para reducir el punto de fluidez y reducir también la viscosidad.

1.7 VISCOSIDAD DE LOS CRUDOS PESADOS ⁶

La viscosidad es una propiedad que indica la facilidad con que un fluido fluye cuando se le aplica una fuerza externa, es decir, es una medida de la resistencia interna al movimiento de un fluido, que se debe a la fuerza de atracción entre sus moléculas.

La viscosidad es función del estado de las propiedades del fluido, por esta razón es importante determinar el método más económico y apropiado para transportar el crudo pesado mediante un análisis de laboratorio.

Las propiedades a tener en cuenta son:

- ✚ **Temperatura:** La viscosidad de los líquidos es inversamente a la temperatura, a medida que esta aumenta la viscosidad disminuye. Este comportamiento es denotado por la ecuación de Andrade:

$$\mu = Ae^{\frac{B}{T^*}}$$

En un gas, la viscosidad aumenta cuando aumenta la temperatura debido a las fuerzas de cohesión entre las moléculas y la rapidez de transferencia de cantidad de movimiento molecular.

✚ **Presión:** El flujo de fluidos, no se considera de mayor importancia los efectos de la presión sobre la viscosidad, dado a que los cambios de presión en las líneas de flujo no son significativos, la presión está limitada por la resistencia de la tubería, por lo tanto, es un parámetro establecido.

✚ **Velocidad de deformación:** Afecta la viscosidad según el tipo de fluido. Los fluidos pesados y extrapesados son fluidos no - Newtonianos y por ello tienen un comportamiento muy diferente al fluido liviano debido a su composición molecular. Los fluidos no – Newtonianos son aquellos en los que la viscosidad varía con la velocidad de deformación.

1.7.1 Tipos de viscosidad. Existen diferentes tipos de viscosidad, se clasifican según el método utilizado para su determinación en:

1.7.1.1 Viscosidad Cinemática. Es una medida del tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido que fluye por gravedad a través de un capilar. En la industria del petróleo la viscosidad cinemática es usualmente expresada en centistokes, cSt. [1 Stoke, St (cm^2/s) = 100 cSt]. En el sistema ingles se expresa en pies^2/s ; donde: $1 \text{ St} = 1 [\text{cm}^2/\text{s}] = [1.0764^{-3} \text{ pies}^2 /\text{s}]$.

1.7.1.2 Viscosidad absoluta dinámica. La viscosidad absoluta o también denominada viscosidad dinámica es designada como μ , es el producto de la viscosidad cinemática y la densidad del líquido a la misma temperatura, se expresa de la siguiente manera:

$$\mu = V \cdot \rho$$

Dónde:

μ = Viscosidad Dinámica, ft^2/s

V = Viscosidad cinemática, $lb * s/ft^2$


ρ = Densidad, lbm/ft^3

En unidades, en el sistema cegesimal es el poise, P, y se acostumbra a expresar la viscosidad Dinámica en centipoises, debido a que es una unidad más pequeña, donde: $1 \text{ poise} = 1 [P] = [g/cm.s] = 100 [cp]$.⁶

1.7.1.3 Viscosidad Saybolt. Es el tiempo en segundos en el cual fluye 60 ml de muestra a través de un orificio calibrado bajo condiciones específicas de presión atmosférica y temperatura que oscilan entre 70 y 210 °F .

Tipos de viscosidad.

 Viscosidad Saybolt Universal

 Viscosidad Saybolt Furol

Las viscosidades son designadas por su calibración del orificio. La viscosidad Furol es aproximadamente una décima parte de la viscosidad Universal que se recomienda para aquellos productos de petróleo que tienen viscosidades mayores a 1000 Segundos Saybolt Universal (SSU).

⁶ CUBIDES, L.; PEÑA, P. (2009). Sensibilidad de las variables operacionales en el *transporte de crudo pesado*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander

1.8 DILUYENTES

1.8.1 Nafta⁷. La Nafta es un derivado del petróleo, es una mezcla de hidrocarburos que se encuentran refinados parcialmente, obtenidos en la parte superior de la torre de destilación atmosférica. Su mayor uso es como diluyente o adelgazante. Se convierte en una alternativa ideal para la producción de crudo pesado, debido a la alta gravedad API y la compatibilidad con los asfáltenos.

En Colombia la alternativa de transporte por dilución es aplicada comúnmente en la región de los llanos orientales. El diluyente más empleado es la nafta; debido a su alta gravedad API. En los campos de producción de Castilla (13 API), Chichimene (20,3 API) Y Apiay (23,3 API); se producen dos clases de crudos: el Castilla Blend, crudo pesado que es diluido con Nafta al 17% hasta alcanzar una densidad de 18,3 API, y la mezcla Apiay, crudo de aproximadamente 21,3 API.

1.8.1.1 Clasificación de Gasolina: La clasificación de la gasolina según los Químicos Orgánicos es muy difícil debido a su variedad y sus múltiples empleos. A grandes rasgos, la nafta puede clasificarse en dos tipos según su uso:

Naftas disolventes o diluyentes: Las naftas disolventes se emplean en los procesos industriales que requieren una acción disolvente o diluyente, como la preparación de pinturas, lacas, insecticidas, herbicidas, aerosoles, tintas e incluso para la extracción de aceites vegetales grasos y esencias.

Las características más importantes de estas naftas son su poder disolvente y su volatilidad que permite una pulverización homogénea y uniforme de las sustancias colorantes sobre una superficie metálica.

⁷ CUBIDES, L.; PEÑA, P. (2009). Sensibilidad de las variables operacionales en el transporte de crudo pesado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander

Naftas para petroquímica: La aplicación de la nafta como materia prima en la industria petroquímica se usa para la producción de hidrocarburos aromáticos, mediante un proceso llamado fluid catalytic cracking FCC (a veces denominada gasolina de FCC) de gasoil pesado.

Las desventajas de diluir crudo con nafta son:

- ✚ Disponibilidad debido a que algunas reservas de crudo pesado están localizadas en áreas remotas.

- ✚ Altos costos

- ✚ Las naftas o gasolinas son altamente inflamables, por lo cual su manejo y almacenamiento requieren de un proceso cuidadoso y especial.

La nafta es un término que se usa para describir una clase de mezclas de hidrocarburos obtenidas a partir de la destilación del petróleo. En las Tabla 2 y Tabla 3 se expresan las propiedades físicas y aspectos importantes de la nafta.

Tabla 2. Propiedades Físicas de la nafta

PROPIEDADES FISICAS	
Punto de ebullición	172-215°C
Punto de fusión	-30°C
Densidad	0.75-0.79 g/cm ³
Solubilidad en agua	Ninguna
Presión de vapor, kPa a 20°C	0.1-0.2
Punto de inflamación	44° C
Temperatura de autoignición	355 °C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire	0.6-0.8

Fuente: Fichas seguridad sustancias químicas, Grupo Prevenir Consulting, S.A. 2011. (<http://www.grupoprevenir.es>)

Tabla 3. Aspectos Importantes de la nafta

ASPECTOS IMPORTANTES	
ESTADO FISICO; ASPECTO	Líquido incoloro
PELIGROS FISICOS	El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.
PELIGROS QUIMICOS	Reacciona con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.
LIMITES DE EXPOSICION	TLV no establecido.
	MAK no establecido.
VIAS DE EXPOSICION	La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
RIESGO DE INHALACION	No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C.
EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION	El vapor irrita levemente los ojos. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición a elevadas concentraciones de vapor puede producir pérdida del conocimiento.
DATOS AMBIENTALES	La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.

Fuente: Fichas seguridad sustancias químicas, Grupo Prevenir Consulting, S.A. 2011. (<http://www.grupoprevenir.es>)

1.9 ENZIMAS ⁸

Una enzima se define como una sustancia catalizadora a base de materia no viviente y proteínas, las cuales propician de forma eficiente las reacciones biológicas. Las enzimas biológicas resultan de la impregnación de nutrientes de contenido altamente proteínico con el ADN de microorganismos cultivados de forma apropiada. Como resultado de esta mezcla se obtiene una enzima biológica

asociada con bacterias que consumen los componentes más pesados de los hidrocarburos líquidos.

En sus comienzos, las enzimas se utilizaban en la industria petrolera con la finalidad de limpiar las instalaciones en superficie de los residuos de lodos aceitosos y resto de hidrocarburo; posteriormente, ya en la década de los 90's, dio paso a la implementación de estas sustancias en tratamientos de recobro mejorado. Aunque las tendencias en cuanto se mantienen, en la actualidad las enzimas biológicas se utilizan de forma general para:

- ✚ Incrementar la recuperación de crudo en pozos petroleros, tanto en tierra firme como costa afuera.
- ✚ Mitigación del daño de formación causado por factores orgánicos en los alrededores del pozo productor.
- ✚ Humectante de las arenas de empaquetamiento y de la formación.
- ✚ Rompedor de parafinas y asfáltenos
- ✚ Preventor de formación de emulsiones.
- ✚ Reductor de viscosidad y mejoramiento de la movilidad.
- ✚ Limpieza de pozos, estaciones de flujo y equipos en general.

1.9.1 Propiedades y comportamiento de las enzimas biológicas. Por lo general, las enzimas biológicas tienen un punto de ebullición que oscila alrededor de los 212°F, presión de vapor de 0,1mmHg a 68 °F y una gravedad específica aproximada a 1,0. Tienen un olor tenue y su estado físico natural es el líquido. Son muy solubles en agua pero completamente insolubles en el aceite.

En su estado natural, las enzimas biológicas son inofensivas a la salud de los seres humanos y al medio ambiente por su baja toxicidad, son biodegradables y tienen un pH en el intervalo de 5-7. Las enzimas biológicas también sobresalen

por no debilitar los materiales con los que tienen contacto, no tienen punto de combustión y no son reactivas.

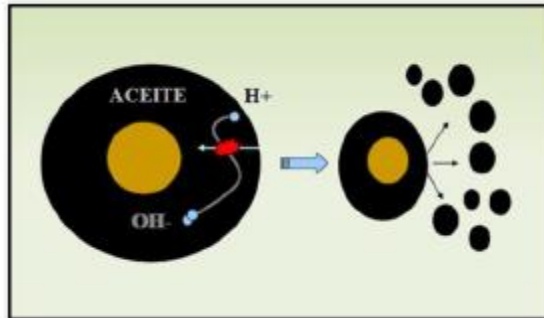
Cuando las enzimas se introducen en un medio que es preferencialmente mojado por agua o por aceite, ellas comienzan su proceso de interacción con el hidrocarburo a través de la fase de agua. Esta interacción libera rápidamente el aceite alojado en la superficie de las arenas o las calizas y reduce la tensión interfacial entre las fases agua y aceite.

Otra función no menos importante de las enzimas, es reducir los componentes orgánicos presentes en los hidrocarburos, causando con esto una disminución apreciable en la viscosidad y facilitando así la producción por flujo natural. Igualmente, las enzimas tienen la característica de adherirse y liberar nuevos volúmenes diferenciales de hidrocarburos, formando una membrana en la superficie de los granos de la arena y logrando de esta forma un cambio en la naturaleza de las rocas, pues estas pasan de estar mojadas por agua, por aceite o de forma fraccionada, a tener simplemente una superficie protegida con enzima.

Los cambios en el sistema generan pequeñas gotas de crudo que al aglomerarse forman gotas libres y pueden ser desplazadas por el flujo de fluidos, resultando un incremento del aceite disponible para aumentar la producción.⁸

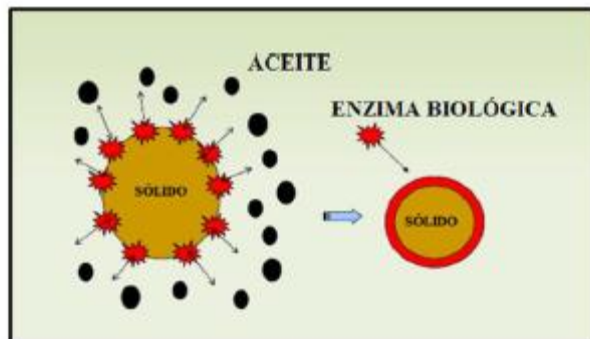
⁸ PORRAS, M.; RAMÍREZ, J. (2012). Viabilidad técnica del uso de la enzima biológica GREENZYME AG-280 a escala de laboratorio para reducir el daño a la formación utilizando los fluidos del pozo colorado 25. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Figura 7. Comportamiento de las enzimas biológicas



Fuente: MOON, Ted, Using Enzymes to Enhance Oil recovery. JPT – SPE. Marzo 2008.

Figura 8. Funcionamiento de las Enzimas Biológicas



Fuente: MOON, Ted, Using Enzymes to Enhance Oil recovery. JPT – SPE. Marzo 2008.

1.9.2 Factores que no afectan el desempeño de las enzimas⁹. Los factores que no alteran la actuación de las enzimas durante los tratamientos biológicos de estimulación de pozos son:

- ✚ El pH del fluido de la formación productora.
- ✚ La salinidad de los fluidos de la formación productora.
- ✚ La temperatura de formación, debido a que se ha comprobado con estudios piloto, que están sustancias biológicas no se degradan y actúan de forma óptima en temperaturas de hasta 520° F.

⁹ LAU, Philip. Apollo. Separation Technologies Inc. Houston, Texas. 2008 [online]. Available from internet: <<http://www.apollogreenzyme.com/condition.html>>

- ✚ La presencia de iones metálicos en la arena productora; puesto que las enzimas son compuestos de tipo biológico, más no químico. Por esta razón no reaccionan con muchos de los agentes minerales presentes en subsuelo.
- ✚ La presencia de parafinas, asfáltenos, naftalenos o sulfuros en cualquier porcentaje.
- ✚ La presencia de isotopos radiactivos en el crudo.

1.9.3 Enzima StimuZyme^R 10. La enzima StimuZyme^R se desarrolló inicialmente para movilizar el petróleo pesado, en donde el equipo de ingeniería en BreakThrough observo que podía ser aplicada como reductor de viscosidad debido a que se puede aplicar en fondo, en cabeza y en superficie como también en formaciones geológicas de difícil acceso.

1.9.3.1 Propiedades Físicas: La enzima biológica StimuZyme^R es soluble en agua y no forma un enlace químico con el aceite por lo tanto ninguna emulsión química con el aceite es creada. Posee un tiempo de reacción rápido y se ha aplicado efectivamente a temperaturas de 200 °C.

1.9.3.2 Criterios de Aplicación de la Enzima biológica StimuZyme^R: La enzima puede ser aplicada con éxito en un pozo si cumple con los siguientes criterios:

- ✚ Pozos de gran productividad que recientemente han experimentado un decrecimiento sostenido en su producción, pero aún son económicamente viables
- ✚ Pozos maduros que pudieron haber experimentado exitosamente métodos de recuperación primaria , secundaria y terciaria pero ahora producen muy por debajo de los niveles de producción
- ✚ Pozos maduros que ahora producen cantidades excesivas de agua

1.9.3.3 Aplicaciones StimuZyme^R: La enzima biológica StimuZyme^R ha sido aplicada en diferentes países como china, Indonesia, Venezuela y Estados Unidos donde ha sido exitosa en comparación con otras tecnologías y además aporta grandes beneficios al medio ambiente. Los avances de estudio en los diferentes campos se han realizado para:

- ✚ Estimulación en yacimientos de crudo pesado.
- ✚ Limpieza de suelos contaminados con grasas
- ✚ Acelerar la separación de aceite y agua en el crudo.
- ✚ Destaponar tuberías.
- ✚ Reducir el volumen de almacenamiento de residuos.
- ✚ Limpieza en los tanques de almacenamiento¹⁰.

¹⁰ Soluciones StimuzymeTM, Breakthrough Technologies,2009.(<http://stimuzyme.com/>)

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es de vital importancia al momento de implementar un análisis experimental que permite optimizar la información generada acerca de los productos o reductores de viscosidad a condiciones específicas que se hacen con el objetivo de medir y cuantificar el efecto del cambio en una o varias de las propiedades de los productos.

En el experimento se realizó una serie de pruebas de laboratorio para la implementación de la enzima StimuZyme^R como reductor de viscosidad, se evaluara experimentalmente en comparación con dos diluyentes para determinar la eficiencia del producto para luego ser aplicado a escala de campo.

2.1 RECONOCIMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La disminución en las reservas mundiales de crudos livianos y el incremento en el precio del barril, han motivado la búsqueda y explotación de crudo pesado y no convencional por parte de las compañías de petróleo y gas en diferentes partes del mundo. Factores como la tecnología y la investigación han tenido un gran aporte al desarrollo de nuevas técnicas que permiten incrementar la producción para poder cumplir con la creciente demanda de hidrocarburos.

La técnica de dilución en las líneas de flujo en superficie con productos químicos modificados, han permitido reducir la viscosidad de estos crudos contribuyendo a disminuir considerablemente los problemas de transporte teniendo un alto costo de mezcla y tratamiento en superficie. El uso de un nuevo aditivo que por sus características puede ser diseñado para su aplicación desde el yacimiento y modificarse para mantener la fluidez del crudo pesado en las líneas de producción,

por tal razón se evaluara experimentalmente mediante pruebas de laboratorio su comportamiento para garantizar el buen desempeño del producto.

2.2 SELECCIÓN DE LOS FACTORES ¹¹

La disminución de la viscosidad de crudo pesado es dependiente de varios factores que pueden influir al momento de variar las propiedades del fluido a una posterior aplicación de productos para el mejoramiento de la movilidad, se debe tener en cuenta parámetros importantes para evaluar la eficiencia de los productos por ende se requiere un diseño para un establecer proceso al momento de implementar el desarrollo.

La técnica optada para el proceso de la disminución de la viscosidad en superficie es la dilución en cabeza de pozo la cual está asociada al cambio en las propiedades químicas y físicas de las que se encuentra la gravedad API, la densidad de los fluidos entre otras.

En la metodología es importante lograr definir los factores que serán analizados teniendo en disposición tres productos diseñados para la reducción de la viscosidad de los que se aplicaran a diferentes concentraciones. Los factores que se evaluarán en este proyecto se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de Factores

FACTOR	MEDIDA	POSIBILIDAD
Producto	Cuantitativa	Conocida
Concentración	Cuantitativa	Conocida

¹¹ PEREZ, Rafael. Análisis Técnico económico de la implementación de un reductor de viscosidad para el mejoramiento de la producción en varios campos de crudo pesado en Colombia.

2.2.1 Niveles de los factores. Los factores presentan una varianza de posibilidades lo que indica que se analizarán una serie de niveles para cada factor el cual presentan igualdad para cada uno como se demuestra en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5. Niveles de los factores

FACTOR	NIVELES
Producto	3
Concentración	5

Se implementaron tres productos o reductores de viscosidad que se evaluarán a cinco concentraciones y dado a que la enzima StimuZyme^R es diluida en agua se establecieron tres relación (ml de crudo / ml agua de producción) para su correspondiente aplicación.

2.2.2 Variables de bloqueo. Al análisis correspondiente es indispensable tener en cuenta algunas variables que puedan afectar los probables resultados a obtener, por tal razón se contralarán algunas de ellas para certificar que los resultados sean producto de la variación de los factores citados anteriormente. En la Tabla 6 se muestran las variables que serán bloqueadas para el análisis correspondiente.

Tabla 6. Variables de control

VARIABLES	MEDIDA	POSIBILIDAD
Temperatura	Cuantitativa	Conocida
Presión	Cuantitativa	Conocida
Gravedad API	Cuantitativa	Conocida
Composición del Crudo	Cuantitativa	Conocida
Volumen de agua	Cuantitativa	Conocida
Volumen de Crudo	Cuantitativa	Conocida
Tiempo de Agitación	Cuantitativa	Conocida

- ✚ **Temperatura:** Las pruebas serán realizadas a condiciones de temperatura ambiente aunque la temperatura debe ser la de cabeza de pozo debido a que el producto seleccionado debe ser competente en disminuir la viscosidad dinámica a valores que permitan el flujo de fluidos en las líneas de superficie, el experimento permite obtener un resultado representativo a la factibilidad del producto al mejoramiento en las propiedades del crudo para su movilidad.

- ✚ **Presión:** La presión correspondiente al manejo de las pruebas corresponde al valor de la presión atmosférica en el laboratorio. Sin embargo, el valor de la presión puede influir de manera considerable con el valor de la presión del fluido en superficie al momento de implementar la técnica en campo, el experimento permite obtener un resultado representativo a la factibilidad del producto al mejoramiento en las propiedades del crudo para su movilidad.

- ✚ **Gravedad API:** Se tendrá un solo valor de gravedad API dado a que se tiene una muestra representativa de crudo que fue tomada en superficie.

- ✚ **Composición del crudo:** La composición del crudo no será tema de estudio para este caso; por tanto, no se tendrá en cuenta al momento del análisis como tampoco los posibles efectos moleculares que se generen a la aplicación del producto.

- ✚ **Volumen de crudo:** Para la aplicación de diluyentes en cada muestra se requiere un volumen de 100 ml, la enzima StimuZyme^R es diluida en agua por tal razón el volumen de crudo se establece en función de la relación (ml de crudo / ml de agua de producción).

- ✚ **Volumen de agua:** Para la enzima StimuZyme^R el volumen de agua de formación que se requiere para cada prueba será correspondiente a la relación (ml de crudo / ml de agua de producción).

✚ **Tiempo de agitación:** posterior de la aplicación de los productos las muestras serán sometidas a una agitación de 4 a 8 minutos para que las muestras se homogenicen y presenten una emulsión estable.

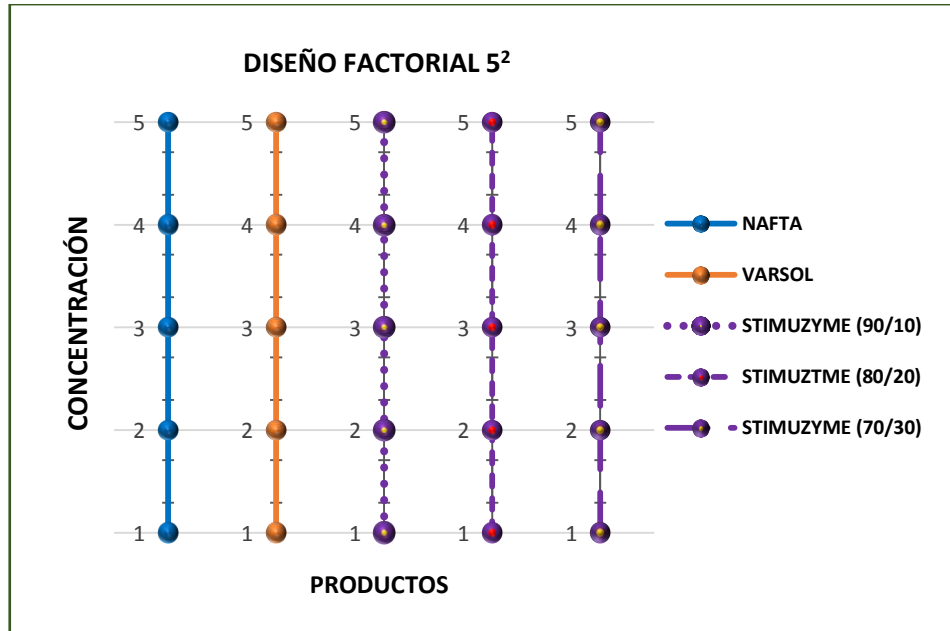
2.2.3 Variables dependientes. El objetivo del proyecto es comparar la enzima StimuZyme^R con diluyentes para determinar la eficiencia en la disminución de la viscosidad dinámica a diferentes concentraciones. Por esta razón, la variable dependiente al análisis del proyecto corresponderá a la viscosidad dinámica.

2.3 TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL¹²

El diseño experimental permite cuantificar la influencia de los factores en la viscosidad dinámica, los factores correspondientes al diseño son los productos o reductores de viscosidad (nafta, varsol, StimuZyme^R) y concentración. La enzima StimuZyme^R es diluida; por tanto, la relación o porcentaje en volumen (ml de crudo / ml agua de producción) corresponde al (90/10, 80/20, 70/30). El desarrollo del experimento se establece en un modelo factorial 5^2 , corresponde a evaluar dos factores, donde cada factor va a tener 5 niveles posibles. En el diseño experimental se establecieron 25 pruebas; por tanto, se evalúan 25 tratamientos de los cuales 10 tratamientos corresponden a diluyentes (nafta y varsol) y 15 tratamientos a enzima StimuZyme^R debido a tres relaciones o porcentaje en volumen establecidas como se muestra en la Figura 9.

¹² GUTIERREZ, Humberto. SALAZAR, Román. Análisis y Diseño de Experimentos. Editorial. Mc Granw Hill.

Figura 9. Dominio Experimental



Sin embargo, lo habitual en este tipo de experimentos es tomar dos niveles (alto y bajo) lo que impide un análisis más minucioso al comportamiento; por tal razón, se ha incluido niveles intermedios de los que fueron escogidos para un análisis más detallado al efecto de los factores a evaluar.

2.4 FASE EXPERIMENTAL

El dominio experimental permite establecer una matriz de experimentos que expone en secuencia un seguimiento al comportamiento de la variable dependiente en función de los factores y variables a condiciones establecidas anteriormente (ver Tabla 7), la matriz se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 7. Análisis de la matriz

ANÁLISIS DE LA MATRIZ					
FACTOR 1	PRODUCTOS	A	NAFTA		
		B	VARSOL		
		C	STIMUZYME ^R	C ₁	90/10
				C ₂	80/20
C ₃	70/30				
FACTOR 2	CONCENTRACIÓN (%)				
RESPUESTA	VISCOSIDAD DINÁMICA (Cp.)				

Tabla 8. Matriz de Experimentos

N°	FACTOR 1	FACTOR 2	RESPUESTA
1	A	1	
2	B	1	
3	C ₁	1	
4	C ₂	1	
5	C ₃	1	
6	A	2	
7	B	2	
8	C ₁	2	
9	C ₂	2	
10	C ₃	2	
11	A	3	
12	B	3	
13	C ₁	3	
14	C ₂	3	
15	C ₃	3	
16	A	5	
17	B	5	
18	C ₁	5	
19	C ₂	5	
20	C ₃	5	

N°	FACTOR 1	FACTOR 2	RESPUESTA
21	A	8	
22	B	8	
23	C ₁	8	
24	C ₂	8	
25	C ₃	8	

2.4.1 Materiales. Para el análisis de laboratorio se requiere una serie de implementos que permitan obtener una correcta medición a las pruebas requeridas en el experimento. Los implementos que se van a utilizar se enumeraran en la Tabla 9.

Tabla 9. Implementos de laboratorio requeridos

IMPLEMENTOS	CANTIDAD
Probeta 500 ml	1
Hidrómetro	1
Termómetro	1
Agitador mecánico	1
Viscosímetro	1
Recipientes aforados 100 ml	20
Recipiente plástico 2 galones	2
Respirador contra gases y vapores	2
Cronometro	1
Frasco receptor 60 ml	2
Micro pipeta variable	1

Para la realización de pruebas de laboratorio se requiere de dos productos químicos (nafta y varsol) y uno biológico (StimuZyme^R), crudo y el agua de producción de los cuales se cuantificaran la cantidad a utilizar para el experimento como se muestran en la Tabla 8.

El crudo, el agua de producción y la enzima StimuZyme^R fue suministrada por el codirector del proyecto Ingeniero Leonardo Arzuza de GOW E&S LTDA, mientras que la Nafta fue suministrado por el Director del proyecto Ingeniero John Alexander León.

Tabla 10. Sustancias utilizadas y su respectivo volumen

SUSTANCIAS		VOLUMEN (ml)
Muestra de crudo		6000 - 7000
Agua de producción		300
Productos	E StimuZyme ^R	400
	Nafta	100
	Varsol	100
Solvente		3000

Muestra de crudo: La muestra para el análisis es un crudo pesado del valle medio del magdalena, por sus propiedades fisicoquímicas (ver Tabla 11, suministrada por el codirector, modificada por Autor) presenta dificultades en su transporte y sobrepresión en las líneas de flujo debido a su bajo grado API. El ingeniero Leonardo Arzuza Duran hizo la entrega de 7 litros de este crudo para el desarrollo de proyecto.

Según las características a analizar, el muestreo de los hidrocarburos se puede tomar en fondo o en superficie. La muestra de este crudo ha sido tomada en línea de superficie debido a que presentan dificultades en la movilidad en líneas de flujo.

Figura 10. Muestra de crudo



Tabla 11. Análisis de Laboratorio

ANÁLISIS DE LABORATORIO			
NOMBRE Y NORMA DE PRUEBA		UNIDAD	RESULTADOS
Gravedad API @ 60°F (seco)	ASTM D-1298		15.6
Flash Point	ASTM D-93A	°C	72
Pour Point	ASTM D-97	°C	-6
Sulfur X-ray	ASTM D-4294	mass%	1.28
Contenido agua y sedimentos	ASTM D-4007	Vol%	0.5
Vanadio	ASTM D-5863A	mg/Kg	58
Níquel	ASTM D-5863A	mg/Kg	46
Asfáltenos	IP-143	mass%	1
Contenido de parafinas	UOP-846	mass%	2.1
Viscosidad @ 100°F	ASTM D-445	cP	596.2
Viscosidad @ 122°F	ASTM D-445	cP	245.2
Viscosidad @ 210°F	ASTM D-445	cP	23

A la muestra se le determino la gravedad API, BSW, compatibilidad y la viscosidad dinámica, estas pruebas se realizaron en la Universidad industrial de Santander (sede central); posterior a estas pruebas se determinó la

viscosidad dinámica aplicando los productos químicos (nafta y varsol) y biológicos (StimuZyme^R) a diferentes concentraciones.

Agua de producción: El agua de producción se requiere para diluir la enzima StimuZyme^R debido a que el producto es compatible con el agua. Un análisis fisicoquímico avaluado en campo se han obtenido resultados en los que se pueden observar en la Tabla 12 (suministrada por el codirector, modificada por Autor), está muestra ha sido tomada en superficie (separador).

Figura 11. Agua de Producción



Tabla 12. Análisis Fisicoquímico agua de producción

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PROPIEDADES	UNIDAD	RESULTADOS
Físicas		
Temperatura	°C	32
Presión	PSI	15
Iones		
Dureza total	Ppm CaCO ₃	6540
Dureza Cálcica	Ppm CaCO ₃	---
Alcalinidad	Ppm CaCO ₃	630

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PROPIEDADES	UNIDAD	RESULTADOS
Cloruros	ppm	10125
Sulfatos SO ₄	ppm	16
Bario Ba	ppm	12
Hierro Soluble	Ppm	---
Hierros Totales	Ppm	---
Gases fase liquida		
Oxido de carbono CO ₂	ppm	17
Ácido Sulfídrico H ₂ S	ppm	0.1
Oxígeno	ppm	30

+ **Productos:** El objetivo central del proyecto es comparar la enzima StimuZyme^R con dos diluyentes. Nafta y varsol fueron seleccionados dado a que son diluyentes más utilizados en la industria petrolera para la dilución de crudo pesado en mejoramiento de su movilidad, se evaluaron experimentalmente aplicado en crudo pesado a diferentes concentraciones para determinar la eficiencia de la enzima StimuZyme^R como reductor de viscosidad. Los productos utilizados para el análisis se pueden en observar en la Figura 13.

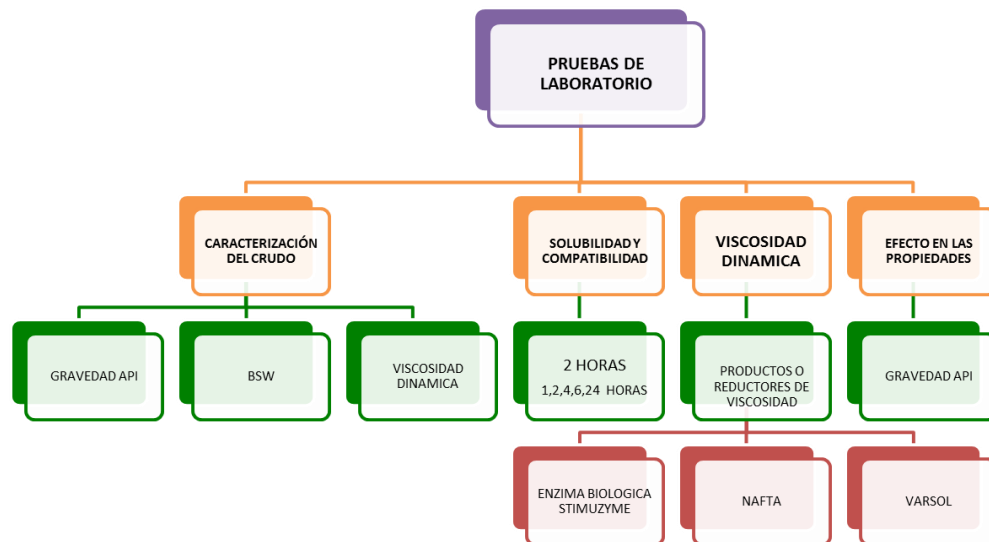
Figura 12. Productos para reducir la viscosidad



2.4.2 Pruebas de Laboratorio¹³. Para la realización de pruebas de laboratorio existen normas estandarizadas ASTM (American Society for Testing and Materials) y API (American Petroleum Institute) que permiten integrar en la industria petrolera un criterio generalizado para describir las propiedades de los crudos o de sus derivados. Las pruebas de laboratorio que se usaran para el desarrollo de este proyecto en la aplicación de los productos en reducción de la viscosidad en las que se observa en la Figura 13.

Una vez teniendo los implementos de laboratorio y las sustancias requeridas se realizó una serie de pruebas de laboratorio en las que se establecieron en cuatro etapas importantes: caracterización básica del crudo, pruebas de solubilidad y compatibilidad para la enzima StimuZyme^R, determinación de la variable dependiente posterior a la aplicación de los productos y por último, evaluar una de las propiedades del fluido más importantes que en caso corresponde a la gravedad API.

Figura 13. Pruebas de laboratorio



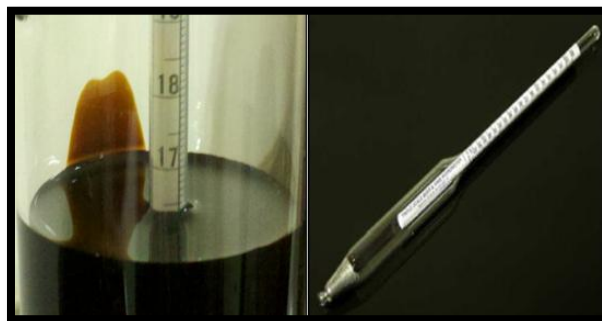
¹³ CRISTANCHO, D; HOYOS, J. (2008). Tesis Procedimiento metodológico para la caracterización de fluidos de campos maduros. Aplicación a los fluidos del campo colorado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Para la caracterización del crudo se han realizado tres pruebas fundamentales de las que se explicaran su procedimiento de cómo se ha evaluado cada una de ellas en base a las normas ASTM.

✚ **GRAVEDAD API¹⁴**: El método para determinar la gravedad API está regida por la norma (ASTM D 287) en la que está basado en el principio de que la gravedad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo flotante en el mismo. El cuerpo flotante esta graduado en unidades de API y se denomina hidrómetro (Instrumento utilizado para medir la gravedad específica de los líquidos) (ver figura 14)

La gravedad API se lee observando la graduación más cercana de la intersección aparente del plano horizontal del plano del líquido con la escala vertical del hidrómetro, posterior de que la temperatura se establezca en equilibrio. La temperatura de la muestra se lee en un termómetro ASTM y posteriormente se hace corrección a temperatura estándar (60°F)⁵⁵.

Figura 13. Hidrómetro y lectura gravedad API



✚ **VISCOSIDAD DINÁMICA**: La viscosidad dinámica es el producto de la viscosidad cinemática y la densidad del fluido a las mismas condiciones de presión y temperatura. La viscosidad cinemática es calculada a partir de la

¹⁴ Norma ASTM D-287

viscosidad Saybolt Furol y mediante correlaciones es posible calcular la viscosidad cinemática, esta es denotada por la siguiente expresión:

$$\mu = V \cdot \rho$$

El método para determinar la viscosidad dinámica se estableció en tres pasos fundamentales los cuales se mencionan a continuación.

a) Viscosidad Saybolt Furol: La viscosidad Saybolt está regida por la norma (ASTM D 85-56) en la que está basada en el principio de flujo por gravedad de un volumen determinado de líquido que pasa a través de un orificio calibrado bajo condiciones específicas. La temperatura de manejo del viscosímetro opera entre los 70 y 210°F (ver Figura 15).

Figura 14. Viscosímetro Saybolt Universal y Furol



El tiempo de flujo se mide para 60 ml de muestra que fluyen a través de un orificio calibrado bajo condiciones de temperatura. El tiempo se corrige mediante un factor de corrección establecido para el viscosímetro.

b) Conversión de viscosidad Saybolt a Viscosidad Cinemática: Esta conversión se establece mediante correlaciones de la que es posible conocer la viscosidad cinemática a partir de la viscosidad Saybolt.

Tabla 11. Conversión viscosidad Saybolt a viscosidad Cinemática

Viscosidad Saybolt	Intervalo t (Segundos)	Viscosidad Cinemática (Stoke)
SSU	32 < t < 100	0.00226 t - 1.95 / t
	t > 100	0.00220 t - 1.35 / t
SSF	25 < t < 40	0.00224 t - 1.84 / t
	t > 40	0.0216 t - 0.60 / t

Fuente: Guía de laboratorio de fluidos, práctica N° 2, determinación de la viscosidad

c) Densidad: Para calcular la densidad del fluido se basó en la medida de la gravedad específica de un líquido en la que se calculó por las siguientes expresiones:

$$GE = 141.5 (131.5 + API)$$

$$\rho_o = GE * \rho_w$$

Dónde:

$$\rho_o = \text{Densidad del petróleo, gr cm}^3$$

$$\rho_w = \text{Densidad del agua, gr cm}^3$$

$$GE = \text{Gravedad Especifica}$$

✚ **AGUA Y SEDIMENTOS EN CRUDO (BSW):** Para la caracterización de la muestra se determinó el contenido de agua y sedimentos, esta prueba se aplicó siguiendo la norma (ASTM D 96-88) en la que se establecida por el método de la centrifuga (ver Figura 16).

Figura 15. Centrifuga



Conociendo los volúmenes de crudo y de solvente se colocan en un tubo de centrifuga y se calientan a $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, luego de la centrifugación se lee el volumen en capa de agua y sedimentos en fondo del tubo. El crudo debe agitarse vigorosamente para homogenizar antes de colocarse en el tubo y debe estar detalladamente reseñado para que la muestra a usar sea representativa. La determinación de agua y sedimentos se requiere para conocer con exactitud que porcentajes de agua e impurezas que contiene la muestra, la norma establece que el crudo debe contener un porcentaje menor al 0.5% para que el fluido sea transportado en líneas de transporte.

2.4.3 Desarrollo de las pruebas

2.4.3.1 Caracterización básica del crudo. El crudo que se utilizó para el desarrollo de este proyecto se caracterizó mediante pruebas de laboratorio que se desarrollaron en la Universidad Industrial de Santander (sede central), se

establecieron tres pruebas fundamentales requeridas para el análisis del crudo de las que se encuentran: gravedad API, BSW y viscosidad dinámica.

Antes de realizar cada prueba, la muestra se debe homogeneizar agitándola en el recipiente de muestreo durante unos minutos. A continuación se determinara el desarrollo de cada prueba.

✚ **Gravedad API:** La gravedad API se determinó por el método del hidrómetro bajo las condiciones de temperatura ambiente (79°F) y presión atmosférica.

✚ **BSW:** El contenido de agua y sedimentos se desarrolló por el método de la centrifuga. El volumen de crudo y solvente se mezclaron 1:1, mediante un baño maría se aumentó al temperatura a 120°F, posteriormente se llevó las muestras a un tubo de centrifuga y durante un tiempo de 10 minutos de centrifugación, se leyó la lectura de BSW. Varsol ha sido el solvente y el desemulsificante (EXP 30001-10% varsol) a una concentración de 1.5 ppm, a esta prueba se realizó una contra muestra para verificar si el resultados es el designado.

✚ **Viscosidad Dinámica:** La viscosidad dinámica es determinada por el producto de la densidad del fluido y la viscosidad cinemática a condiciones de temperatura ambiente (79°F) y presión atmosférica. La viscosidad cinemática se calcula a partir de la viscosidad Saybolt Furol y por medio de unas correlaciones se determina la viscosidad cinemática.

2.4.3.2 Pruebas de solubilidad y compatibilidad: La prueba de solubilidad y compatibilidad se realizaron en el Laboratorio de Fluidos de la Universidad Industrial de Santander (sede central), estas pruebas permiten determinar la solubilidad y compatibilidad cualitativamente.

Solubilidad.

Para realizar esta prueba se agregó en un tubo de ensayo enzima StimuZyme^R y agua de producción, posterior a la homogenización visualizar la solución a diferentes tiempos.

Procedimiento: Se toma 100 ml de agua de producción y se le agrega enzima StimuZyme^R a la máxima concentración (8%), posteriormente se agita permanentemente hasta obtener una mezcla homogénea y se observa periódicamente durante un tiempo de dos horas. Si la mezcla no presenta homogeneidad puede ser un indicativo de que la enzima biológica no es completamente soluble en el fluido transportador y por lo tanto no debe utilizarse la enzima StimuZyme^R.

Compatibilidad.

Esta prueba permite determinar y/o identificar sólidos en la interface y/o en la fase acuosa, así como el aspecto de la mezcla y la eficiencia en el rompimiento de la emulsión, con lo anteriormente mencionado es posible identificar posibles incompatibilidades que se puedan presentar en las sustancias.

Procedimiento: consiste en preparar la mezcla de enzima StimuZyme^R a la máxima concentración (8%) y agua de producción y se homogeneiza agitando por 5 minutos, posteriormente se le ha agregado crudo en una relación (70/30) (ml de crudo / ml de agua de producción) donde nuevamente se agita por un tiempo de 5 minutos para que la mezcla presente homogenización.

La compatibilidad se evalúa mediante la observación del comportamiento de la mezcla a tiempos de 30 minutos, 1, 2, 4, 6 y 24 horas.

2.4.3.3 Determinación de la viscosidad dinámica: Teniendo el diseño experimental en el que se evalúa la variable dependiente que en caso es la viscosidad dinámica a diferentes concentraciones utilizando la enzima

StimuZyme^R para evaluar la eficiencia en la reducción de la viscosidad en comparación de diluyentes (nafta y varsol) a condiciones de temperatura ambiente (79°F) y presión atmosférica. Al momento de su aplicación los diluyentes no contemplan el mismo diseño que la enzima StimuZyme^R; por tanto, la preparación de las muestras se realizó en base a las condiciones de cada producto de las que se determinaran a continuación.

Enzima Biológica STIMUZYME:

La aplicación de la enzima StimuZyme^R se realizó a porcentajes en volumen (ml de petróleo / ml de agua de producción) de (90/10, 80/20, 70/30) a sus respectivas concentraciones (1, 2, 3, 5 y 8%), donde las muestras se tomaron a 24 horas de reposo.

El diseño se establece en 15 muestras de las que se requieren 15 envases plásticos para depositar cada muestra a 24 horas de reposo.

Preparación: Para la preparación se requiere de un procedimiento el cual se mencionara a continuación.

Etiquetar envases: Es necesario etiquetar los envases con el tipo de muestra, producto aplicado, concentración y relación o porcentaje en volumen (Figura 17). Cada muestra se preparó a 20 minutos de una a la otra teniendo en cuenta el momento de evaluar la viscosidad los tiempos de reposo sean constantes para todas las muestras.

Figura 16. Envase etiquetado



Preparación de la solución: debido a las cantidades mínimas de enzima StimuZyme^R aplicadas a cada muestra se ha medido esta sustancia con la ayuda de jeringas que permiten medir con exactitud los mililitros adecuados. El agua de producción será medida en tubos de ensayo dado a que su cantidad es más significativa. La muestra de crudo debe estar homogénea (agitador por un tiempo mínimo de 5 minutos) para su posterior aplicación.

Teniendo los elementos, la enzima StimuZyme^R y la muestra de crudo se proceden a calcular los volúmenes de agua correspondientes y agregarlos a los envases plásticos. Debido a que se manejan tres porcentajes en volumen, se procede a calcular la primera relación en volumen (90/10), conlleva a agregar 10 ml de agua para cada envase y así mismo para 5 envases dado que representan a 5 concentraciones diferentes. Posteriormente, se agrega la enzima StimuZyme^R a la concentración correspondiente y se agita manualmente por un tiempo de 8 minutos para que presente homogeneidad la solución, luego agregarle la cantidad de crudo para el caso corresponde a 90 ml (ver figura 18) y se homogeniza la mezcla por 6 minutos para luego dejarla en reposo por un tiempo de 24 horas. Así como se realizó la mezcla a una relación de (90/10) se debe hacer para las otras dos relaciones correspondientes al diseño hasta obtener los 15 tratamientos (ver figura 19). Una vez teniendo los tratamientos a 24 horas de reposo, se procede a

evaluar la viscosidad Saybolt Furol y por medio de correlaciones y expresiones matemáticas se procede a calcular la viscosidad dinámica.

Figura 17. Preparación de una muestra



En la Figura 18 se observa la preparación de una muestra que corresponde a la relación en volumen (90/10) con concentración 2% sin presentar homogenización de mezcla.

Figura 18. Muestras a tiempo de reposo de 24 horas

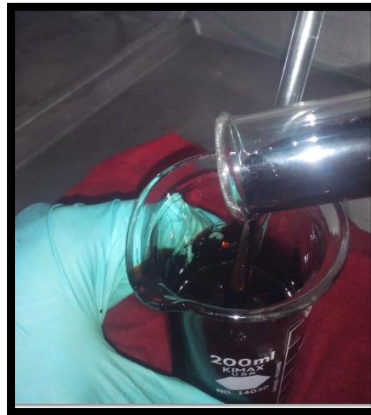


Diluyentes.

La aplicación de diluyentes (nafta y varsol) en crudo se realizó a concentraciones del (1, 2, 3, 5 y 8%) a condiciones de temperatura ambiente (79°F) y presión atmosférica.

Preparación de las muestras: debido a las cantidades mínimas nafta y varsol aplicados a cada muestra, se ha medido estos diluyentes con la ayuda de jeringas que permiten medir con exactitud los mililitros adecuados. La muestra de crudo debe estar homogénea (mediante un agitador mecánico por un tiempo mínimo de 5 minutos) para su posterior aplicación (ver Figura 20). Para la manipulación estos diluyentes se utilizaron respiradores contra gases y vapores debido a su alta toxicidad.

Figura 20. Preparación de la muestra



Teniendo los elementos, los diluyentes y la muestra de crudo se procede a calcular el volumen de crudo (100 ml) en un vaso precipitado para cada muestra y posteriormente se le agrega el diluyente a su respectiva concentración, para que la muestra presente homogenización se procede a agitar la muestra. Por medio del viscosímetro se evaluará la viscosidad Saybolt Furol, se utilizaron correlaciones y expresiones matemáticas para calcular la viscosidad dinámica.

3. RESULTADOS

En este capítulo se establecerá los resultados y el análisis de las pruebas realizadas citadas anteriormente con el objetivo de determinar la viscosidad dinámica con la enzima StimuZyme^R en comparación con diluyentes.

3.1 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DEL CRUDO

Se ha determinado la gravedad API, viscosidad dinámica y BSW basadas en normas estandarizadas mencionadas en el capítulo anterior obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 12. Resultados del crudo

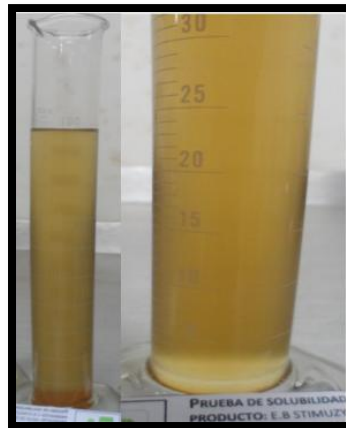
MUESTRA	RESULTADOS A CONDICIONES ESPECIFICAS			
	T=60°F	T=79°F		T=120°F
	°API	°API	Viscosidad Dinámica (Cp)	BSW
TOPE (BT-1)	15.5	16.4	1877	< 0.5%

3.2 PRUEBAS DE SOLUBILIDAD Y COMPATIBILIDAD

Solubilidad.

La prueba se realizó a una concentración del 8% de enzima StimuZyme^R en 100 ml de agua de producción (ver Figura 21) a un tiempo de 2 horas, se observó visualmente que los fluidos (agua de producción y enzima StimuZyme^R) son solubles al tiempo establecido.

Figura 21. Prueba de solubilidad



Compatibilidad.

La prueba se realizó a una concentración del 8% de enzima StimuZyme^R en una relación o porcentaje en volumen (70/30) (ml de crudo / ml agua de producción), se observó visualmente que no formo precipitados, aunque se observa ruptura de moléculas pesadas se concluye que los fluidos son compatibles a un tiempo de 24 horas (ver Figura 22).

Figura 19. Prueba de compatibilidad



3.3 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

La determinación de la variable dependiente que en caso es la viscosidad dinámica a diferentes concentraciones utilizando la enzima StimuZyme^R evaluando la eficiencia en la reducción de la viscosidad en comparación de diluyentes (Nafta y varsol) a condiciones de temperatura ambiente (79°F) y presión atmosférica.

3.3.1 Resultados del experimento. Estos resultados se expresan mediante una matriz experimental establecida en el capítulo 2, los resultados del experimento se disponen a continuación.

Tabla 13. Resultados del experimento

N°	FACTOR 1	FACTOR 2	RESPUESTA
1	A	1	1804.056
2	B	1	1493.24
3	C ₁	1	2397.191
4	C ₂	1	2743.906
5	C ₃	1	1981.131
6	A	2	1394.178
7	B	2	1257.962
8	C ₁	2	2284.509
9	C ₂	2	2166.873
10	C ₃	2	1894.451
11	A	3	1131.65
12	B	3	1054.872
13	C ₁	3	1778.052
14	C ₂	3	1773.099
15	C ₃	3	1674.035
16	A	5	668.475
17	B	5	770.034
18	C ₁	5	2164.396

N°	FACTOR 1	FACTOR 2	RESPUESTA
19	C ₂	5	1379.318
20	C ₃	5	1288.92
21	A	8	410.809
22	B	8	506.208
23	C ₁	8	2513.589
24	C ₂	8	1773.099
25	C ₃	8	1652.984

3.3.2 Análisis de la varianza de los resultados. Se realizó un análisis estadístico para evaluar el comportamiento de los valores obtenidos. Para determinar la varianza de los resultados (viscosidad dinámica) en función de cada factor se ha empleado el software StatGraphics 5.1. Los datos calculados por el software en encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Análisis de Varianza datos de laboratorio

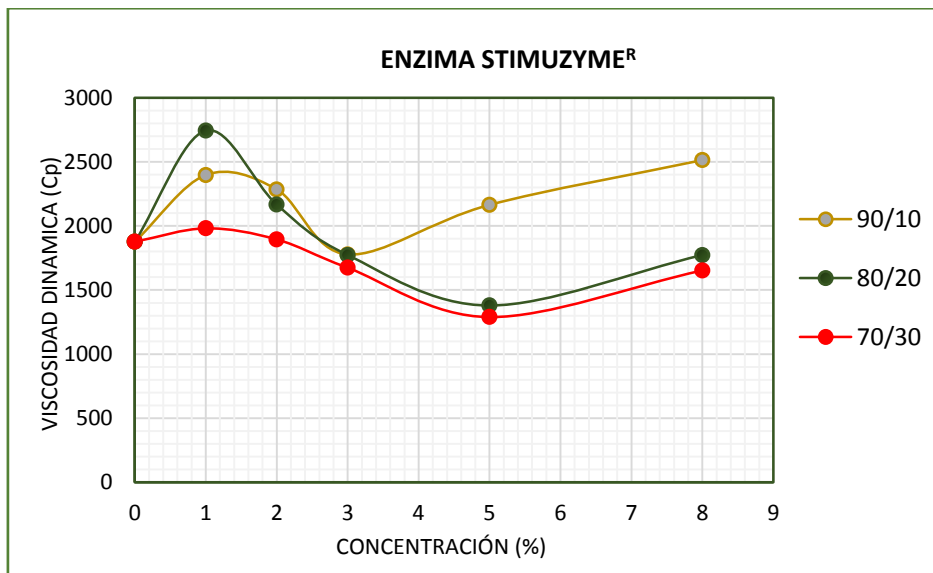
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:concentracion	2.30E11	4	574580,	7,50	0,0013
B:productos	5.74E11	4	1.43E+10	18,73	0,0000
RESIDUOS	1.23E11	16	76579,9		
TOTAL (CORREGIDO)	9.26E11	24			

La Tabla 16 se puede observar la variabilidad de viscosidad dinámica en contribuciones debidas a varios factores. Se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre viscosidad con un 95,0% de nivel de confianza.

3.3.3 Comportamiento de la enzima StimuZyme^R. Una vez se establecieron los resultados, se graficó el comportamiento de la viscosidad dinámica a la aplicación de la enzima StimuZyme^R a diferentes concentraciones en relaciones o porcentajes en volumen (90/10, 80/20, 70/30) (ml de crudo / ml de agua de producción), este comportamiento se observa en la Grafica 1.

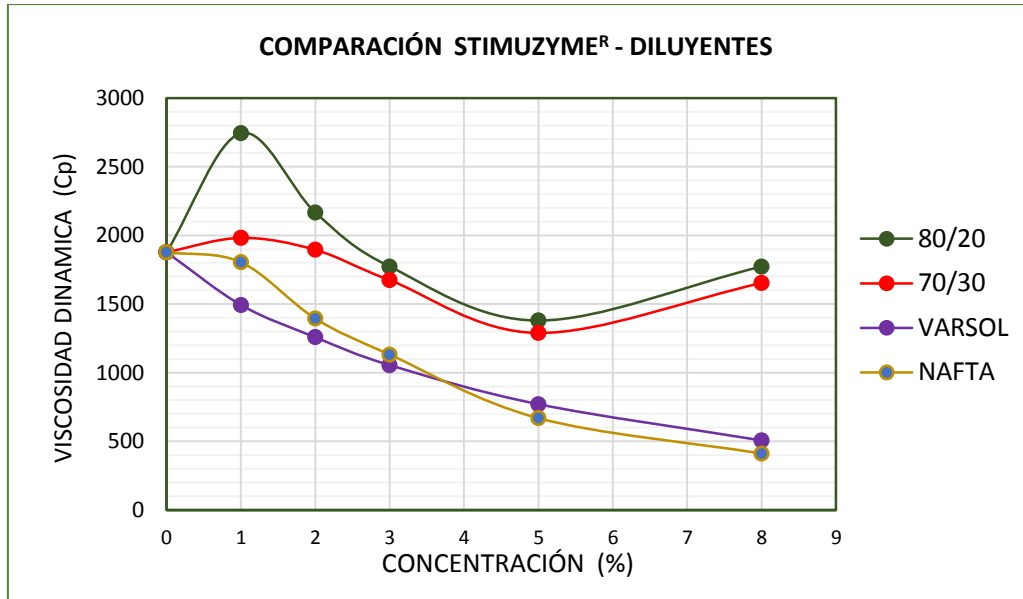
Para su efecto, la enzima StimuZyme^R es aplicada y posteriormente se mantiene en reposo por varias horas, en el caso del análisis correspondiente se aplicó a 24 horas de reposo dado que en tubería va a ser su máximo tiempo de aplicación.

Grafica 1. Comportamiento de la enzima StimuZyme^R



3.3.4 Comparación enzima StimuZyme^R con diluyentes. Para evaluar el comportamiento de la enzima StimuZyme^R en el crudo se comparó con diluyentes comunes utilizados en la industria para el mejoramiento de la movilidad. En la Grafica 2 se observa el comportamiento de la viscosidad dinámica de la enzima StimuZyme^R y los diluyentes (nafta y varsol).

Grafica 2. Comportamiento en viscosidad dinámica enzima y diluyentes.



En los resultados obtenidos se observa que la aplicación de los diluyentes al crudo presenta una disminución de la viscosidad dinámica, mientras que la enzima StimuZyme^R presenta una disminución leve en comparación con los diluyentes teniendo en cuenta las concentraciones óptimas (3 y 5%) que presentaron mayor disminución en la viscosidad dinámica.

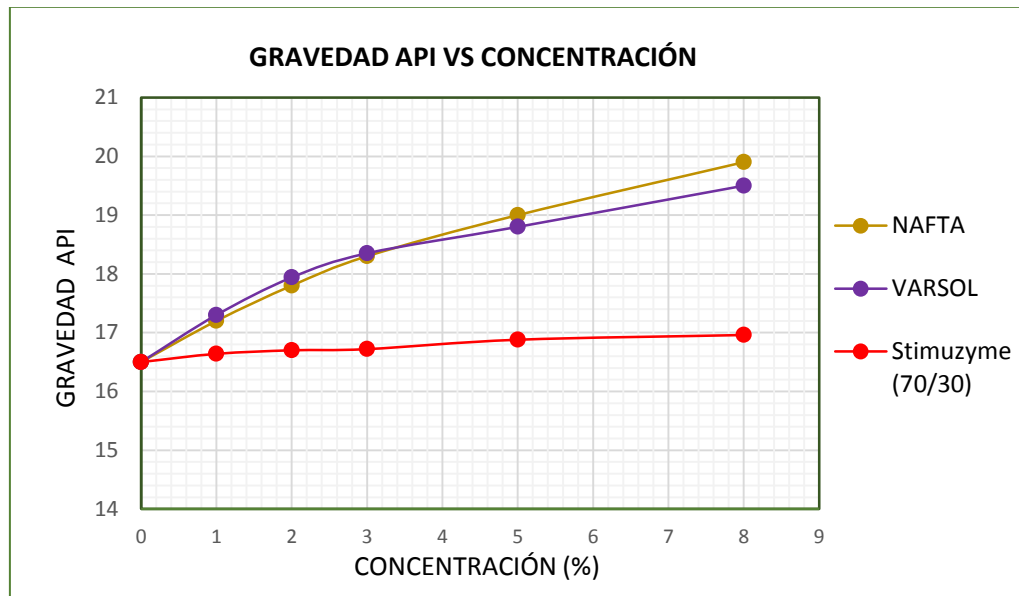
La enzima StimuZyme^R es diluida en agua, por este motivo a concentraciones inferiores al 3% presenta un aumento en la viscosidad. Según los estudios realizados por el equipo de ingeniería en BreakThrough este producto ha presentado mayor eficiencia en su aplicación a concentraciones superiores al 3% e inferiores al 6%.

La relación o porcentaje en volumen (90/10) no presentó una tendencia adecuada en comparación a las otras; por tal razón, no se tuvo en cuenta al momento de su comparación pero es concluyente para futuros análisis con otro tipo de muestra de crudo.

3.3.5 Efecto en las propiedades. Una de las características de los crudos es la fluidez o viscosidad, representada también indirectamente por la densidad o gravedad específica. Dado a las condiciones de laboratorio y a las propiedades conocidas de la muestra, se evaluó el comportamiento de una de las propiedades referentes al fluido una vez aplicado la enzima StimuZyme^R y diluyentes a concentraciones dadas. La propiedad que se evaluó y se comparó experimentalmente corresponde a la gravedad API como se observa en la Grafica 3.

Para la enzima StimuZyme^R, se evaluó a la relación o porcentaje en volumen que presento mayor eficiencia en disminución de la viscosidad; por tal razón, se eligió la de (70/30) (ml de crudo / ml agua de producción).

Grafica 3. Comportamiento de la gravedad API



Los diluyentes presentan un aumento en la gravedad API a medida que se incrementa la concentración debido a que son productos químicos ligeros, la enzima StimuZyme^R hace una tendencia constante lo cual se concluye que la

enzima no aumenta su gravedad API a medida que se aumenta la concentración debido a que es un producto no derivado del petróleo.

Aunque la enzima StimuZyme^R no generó un aumento en la gravedad API, según los estudios realizados por el equipo de ingeniería en BreakThrough tiene varios factores a tener en cuenta como es el aumento de la movilidad del fluido debido a que es un producto tensoactivo; en su estado natural, las enzimas biológicas son inofensivas a la salud de los seres humanos y al medio ambiente por su baja toxicidad, son biodegradables y tienen un pH en el intervalo de 5-7, las enzimas también sobresalen por no debilitar los materiales con los que tienen contacto, no tienen punto de combustión y no son reactivas. También presenta disminución en los costos de tratamiento dado a que son muy solubles en agua pero completamente insolubles en el aceite. Estos productos son de gran importancia para la industria petrolera debido a que son amigables con el medio ambiente de tal manera que disminuye eficientemente el impacto ambiental que genera los diluyentes.

4. EVALUACION TECNICO ECONOMICA

Para determinar la capacidad que tiene una inversión de generar dividendos a una empresa se debe hacer una evaluación económica, la cual se define como la herramienta por medio de la cual se conoce la rentabilidad de un proyecto. En el caso de este proyecto solo tomaremos los costos de inversión y los costos generados en la implementación de los productos a fin de obtener como resultado la viabilidad y rentabilidad de la aplicación de la enzima biológica en comparación de un diluyente para una aplicación futura. La propuesta de inversión corresponde a desarrollar y ejecutar con el objetivo de disminuir la viscosidad para generar mayor movilidad del crudo y evitar sobrepresión en las líneas de flujo. En este análisis no se determinaran periodos para evaluar posibles efectos de la evaluación económica dado a que no se tiene un seguimiento a un determinado tiempo para una posible aplicación, por tal motivo no se evalúan indicadores económicos Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

4.1 EVALUACIÓN ECONOMICA

Para realizar un análisis detallado de la viabilidad económica de los reductores de viscosidad tanto para la enzima StimuZyme^R y los diluyentes, se hace necesario una comparación en la cantidad de producto que se va a utilizar por barril a la concentración correspondiente, con esto se estimará cual es el costo de usar el reductor por barril; la moneda que se utilizara es el dólar americano.

El análisis económico se realizó usando las concentraciones 3 y 5% respectivamente para cada producto debido a que han sido las más eficientes en el experimento. Para el caso de la enzima StimuZyme^R, las relaciones o porcentajes en volumen (80/20 y 70/30) (ml de crudo/ml de agua de producción)

se establecieron dado a que presentaron mayor eficiencia en la disminución de la viscosidad.

ENZIMA STIMUZYME^R

En la Tabla 17 se expresa la cantidad (ml) de enzima StimuZyme^R a las concentraciones 3 y 5% en 100 ml de muestra; en la Tabla 18 expresa el costo por galón de cada uno de los productos y por último, en la Tabla 19 evalúa el costo de aplicar los productos a su concentración correspondiente por barril.

Tabla 17. Cantidad de enzima

MUESTRA (ml)	CANTIDAD DE ENZIMA (ml)	
100	3 %	5 %
20 agua	0.6	1
30 agua	0.9	1.5

Tabla 148. Costo de los productos

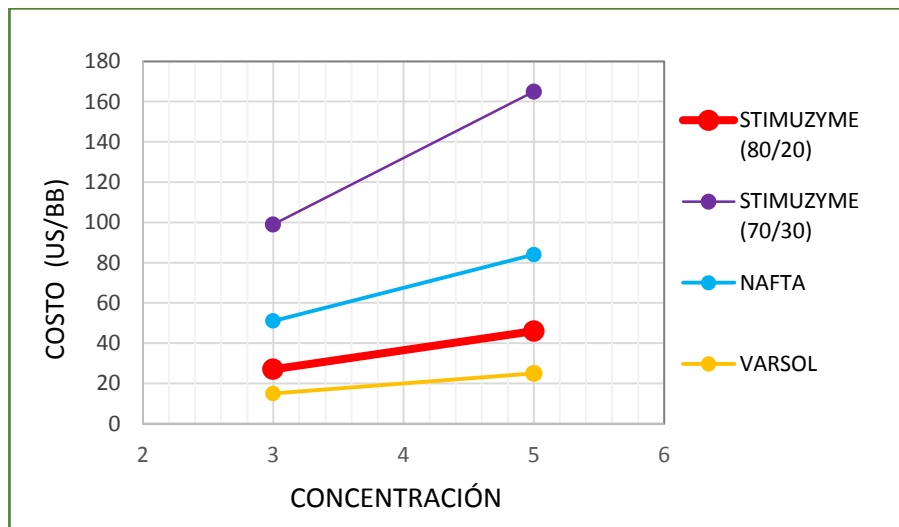
PRODUCTO	COSTO (US\$/GALON)
ENZIMA	110
NAFTA	40
VAR SOL	12

Tabla 159. Costo por barril de crudo

CONCENTRACIÓN (%)	R/VOLUMEN	PRODUCTO	VOLUMEN (ml)	GALON / BARRIL	COSTO (US/BB)
3	80/20	ENZIMA	0.6	0.25	27
	70/30	ENZIMA	0.9	0.37	99
	---	NAFTA	3	1.26	51
	---	VAR SOL	3	1.26	15
5	80/20	ENZIMA	1	0.42	46
	70/30	ENZIMA	1.5	0.63	165
	---	NAFTA	5	2	84
	---	VAR SOL	5	2	25

Con los costos de los productos utilizados (US / BB de crudo) a sus respectivas concentraciones se graficó la factibilidad económica por barril de crudo tratado (ver Grafica 4); posteriormente, se realizó la relación costo beneficio teniendo en cuenta la producción e inversiones para determinar la viabilidad a la aplicación de la enzima StimuZyme^R la cual se observa en Tabla 16.

Gráfica 4. Costo por barril de crudo



En la parte económica se evidencio que el diluyente (varsol) es el más factible debido a que presenta el menor costo en su aplicación a las dos concentraciones, se demuestra que la enzima StimuZyme^R es aplicable a concentraciones superiores al 3% e inferiores al 5% con una relación o porcentaje en volumen 80/20 debido a que registra un costo inferior a 50 (US/BB); caso contrario, la relación o porcentaje en volumen 70/30 muestra un incremento en el costo por barril a tratar; por tal motivo, no debe ser aplicado para este proyecto. Aunque la nafta presentó mayor disminución en la viscosidad a las concentraciones establecidas, se puede observar que presenta mayor costo en su aplicación en comparación a la enzima StimuZyme^R.

4.1.1 Relación costo beneficio. El análisis de costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos de la enzima StimuZyme^R y de la nafta para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto. La relación costo beneficio se realizó a la concentración del 3% debido a que presenta viabilidad en el costo generado por barril (Grafica 4).

Para realizar esta evaluación se ha tomado criterios importantes como la producción del pozo (300 BOPD), cantidad de producto consumido por día, costos e inversiones para la aplicación de cada producto los cuales se puede observar en la Tabla 20.

Tabla 20. Relación costo beneficio

INVERSIÓN	
Enzima StimuZyme ^R (USD/bbl)	4620
Consumo promedio diario (bbl)	1.8
Precio de inyección StimuZyme ^R (USD / día)	8250
Equipos para inyección (USD / día)	1400
Inversión (USD / día)	9660
AHORROS	
Precio nafta (USD / bbl)	1680
Precio crudo (USD / bbl)	60
Diferencia (USD)	1620
Consumo nafta (bbl / día)	9.0
Precio nafta (USD / bbl)	14580
Equipos de inyección nafta (USD / día)	2500

Ahorros (USD / día)	17080
Ahorros netos (USD / día)	12080
RELACIÓN COSTO BENEFICIO	
Inversión anual (USD)	1825000
Ahorros anuales (USD)	6234200
Ahorros netos (USD)	4409200
RCB: $6234200/1825000 = 3,4168$	

La aplicación de la enzima StimuZyme^R a este tipo de crudo teniendo en cuenta la cantidad y los costos de aplicación, se obtiene que la relación costo beneficio superior a 3 lo que significa que por cada dólar que se invierte se reciben 3 y quedan 2 de ganancia lo que evidencia la factibilidad de aplicar la enzima STIMUZYME por lo tanto es un gran aporte para la industria.

5. CONCLUSIONES

Los diluyentes presentaron una mayor disminución en la viscosidad en comparación con la enzima StimuZyme^R a las concentraciones dadas debido a su alta gravedad API y la compatibilidad con los asfáltenos.

Según los estudios realizados por el equipo de ingeniería en BreakThrough, las concentraciones adecuadas para la aplicación de la enzima StimuZyme^R corresponden al 3 y 6%.

Para la enzima StimuZyme^R, la relación o porcentaje en volumen 80/20 presenta mayor eficiencia en su aplicación debido a que registra un costo inferior a 50 (US/BB);

En las pruebas de laboratorio se evidenció que la enzima StimuZyme^R es compatible con los fluidos de campo.

La enzima StimuZyme^R es un producto que no genera impacto ambiental mientras que los diluyentes son productos químicos de alta toxicidad que obliga a un manejo adecuado en su manipulación.

La enzima StimuZyme^R no presenta aumento en la gravedad API debido a que es un producto no derivado del petróleo.

6. RECOMENDACIONES

Caracterizar el crudo mediante un análisis SARA para determinar el comportamiento de las propiedades del crudo antes y después de sus aplicaciones.

Realizar un análisis económico de este proyecto a nivel de campo

Debido a la eficiencia que mostró la enzima StimuZyme^R se recomienda realizar un estudio detallado a las propiedades.

BIBLIOGRAFÍA

CHILINGAR, George y otros. Surface Operations in Petroleum Production. Vol. 1. Elsevier Publishing, 1987.

CHIRIBOGA, J. (2007). Propuesta de explotación y manejo de crudos pesados petroproducción, campo oglan. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.

CRISTANCHO, D; HOYOS, J. (2008). Tesis Procedimiento metodológico para la caracterización de fluidos de campos maduros. Aplicación a los fluidos del campo colorado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

CUBIDES, L.; PEÑA, P. (2009). Sensibilidad de las variables operacionales en el transporte de crudo pesado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

DOMINGUEZ, J.C. "Trasporte de crudo pesado a través de oleoducto, Evaluación de diferentes tecnologías" Ingeniería Química.

DOUGLAS, C. Montgomery, Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición. Cap 6.

DOWNHOLE EMULSIFICATION VISCOSITY REDUCTION INCREASES PRODUCTION. Browne, G.E., Hass, G,R., Sell., R.D., Sell, R,D., Spe, SPE, PETROFERM INC., 1996.

GUTIERREZ, Humberto. SALAZAR, Román. Análisis y Diseño de Experimentos. Editorial. Mc Granw Hill.

KOKAL, Sunil. AL-JURAIID, Jamal. Quantification of various factors affecting emulsion stability: watercut, temperature, shear, asphaltene content, demulsifier dosage and mixing different crudes. Houston: Saudi Aramco - Society of Petroleum Engineers, 1999.

KOKAL, Sunil. Crude-Oil Emulsions: A State-of-the-Art Review. San Antonio: Society of Petroleum Engineers, 200.

LAU, Philip. Apollo Separation Technologies Inc. Houston, Texas. 2008 [online]. Available from internet: <http://www.apollogreenzyme.com>

OÑATE, J.; RODRÍGUEZ, R. (2012). Evaluación de las alternativas de transporte de crudo pesado por tuberías: caso aplicado al campo rubiales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

OTERO, Zully; SALAMANCA, Mónica, Metodología para la selección de enzimas biológicas en procesos de estimulación de pozos, Tesis 2010.

PASCUALI, Ricardo C, Seminario sobre emulsiones, Universidad de Buenos Aires, Noviembre, 2005.

PEREZ, Rafael. Análisis Técnico económico de la implementación de un reductor de viscosidad para el mejoramiento de la producción en varios campos de crudo pesado en Colombia.

PORRAS, M.; RAMÍREZ, J. (2012). Viabilidad técnica del uso de la enzima biológica GREENZYME AG-280 a escala de laboratorio para reducir el daño a la formación utilizando los fluidos del pozo colorado 25. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

SANIERE, A HENAUT.I, AND ARGUILLIER, J-F. "Pipeline transportation of Heavy Oils. A Strategic Economic and Technological Challenge". Oil & Gas Science and Technology. Vol. 59. 2004. Pag. 455 -466.

SCHLUMBERGER. La importancia del petróleo pesado. Disponible: http://www.slb.com/resources/publications/industry_articles/oilfied_review/2006/or2006_sp_aut03_petroleopesado.aspx

Soluciones StimuzymeTM, Breakthrough Technologies, 2009.
(<http://stimuzyme.com/>)

ANEXOS

ANEXO A. Hoja de seguridad enzima STIMUZYME^R

BreakThrough™ StimuZyme D200, D400C, D1000, D300C

Page 1 of 3

SAFETY DATA SHEET BreakThrough™ StimuZyme D200, D400C, D1000, D300C

1. identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Date issued	30.06.2009
Product name	BreakThrough™ StimuZyme D200, D400C, D1000, D300C
Product group	Enzymes, H2O and stabilizers.

Producer

Company name	BreakThrough Technologies, LLC
Postal address	Brays Oaks Towers , 10101Fondren Rd, Suite 250F
Postcode	TX 77098
Place name	Houston
Country	USA
Tel	713-995-8367
Fax	713-995-1711
E-mail	jlperkin@gmail.com

Distributor

Company name	EOR Solutions (FZCO)
Postal address	P. O. Box 262677
Postcode	Jebel Ali
Place name	Dubai
Country	United Arab Emirates
Tel	+9714 421 8997
Fax	+9714 366 3365
E-mail	post@eorsolutions.com
Prepared by	The National Institute of Technology, Norway / John-Kåre Egeland

2. Hazards identification

Description of hazard	Health: By normal use the product is not regarded as hazardous to health. Fire and explosion: The product is not flammable. Environment: The product is not classified as harmful to the environment.
-----------------------	---

3. composition/information on ingredients

Component comments	Substance identification: Enzymes, H2O and stabilizers. No hazardous substances subject to listing.
--------------------	---

4. first-aid measures

General	If in doubt, get medical advice.
Inhalation	Fresh air and rest. Get medical attention if any discomfort continues.
Skin contact	Wash skin thoroughly with soap and water. Contact physician if irritation continues.
Eye contact	Immediately flush with plenty of water for up to 15 minutes. Remove any contact lenses and open eyes wide apart. Contact physician if discomfort

5. fire-fighting measures

Suitable extinguishing media	Use fire-extinguishing media appropriate for surrounding materials.
Fire and explosion hazards	The product is not classified as flammable.
Personal protective equipment	Use fresh air equipment when the product is involved in fire. In case of evacuation, an approved protection mask should be used. See also sect. 8.
Other Information	Containers close to fire should be removed immediately or cooled with water.

6. accidental release measures

Personal precautions	Use protection equipment as given in section 8.
Environmental precautions	Minimise the environmental pollution by dilution with water
Methods for cleaning	Remove spillage with absorbent materials. Large Spillages: Collect in suitable containers and deliver as waste according to section 13. Smaller spillages: dilute with water and flush away.

7. handling and storage

Handling	Provide good ventilation. Avoid inhalation of vapours. Use safety equipment as given in section 8.
Storage	Store in a cool, well-ventilated place. Avoid storage temperature over 70°C. Storage time 3 years.
Specific use(s)	The product can be heated up to 100°C or higher if necessary under pressure.

8. exposure controls/personal protection

Exposure controls

Occupational exposure controls	Provide adequate ventilation. Wash at the end of each work shift and before eating, smoking and using the toilet.
Respiratory protection	Normally not required. In case of inadequate ventilation or risk of inhalation of vapours, use suitable respiratory equipment with combination filter (type A2/P2).
Hand protection	Normally not required. Use protective gloves made of: Neoprene. Butyl rubber. Penetration time > 8 hours.
Eye protection	Wear safety goggles if there is a risk of splash.
Skin protection (other than of the hands)	Wear appropriate clothing to prevent any possibility of skin contact.
Other Information	Eye wash facilities and emergency shower must be available when handling this product.

9. physical and chemical properties

Physical state	Fluid
Odour	Odor of fermentation
Colour	Semi-clear. Yellow and Brown
Solubility in water	Easily soluble.
Specific gravity	Value: 1.0 g/cm ³
Boiling point	Value: 100 °C
pH (as supplied)	Value: 5-7
Vapour pressure	Value: 0.1 mmHg Comments: At 20°C

SAFETY DATA SHEET

BreakThrough™ StimuZyme D200, D400C, D1000, D300C

1. identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Date Issued	30.06.2009
Product name	BreakThrough™ StimuZyme D200, D400C, D1000, D300C
Product group	Enzymes, H2O and stabilizers.

Producer

Company name	BreakThrough Technologies, LLC
Postal address	Brays Oaks Towers , 10101Fondren Rd, Suite 250F
Postcode	TX 77096
Place name	Houston
Country	USA
Tel	713-995-8367
Fax	713-995-1711
E-mail	jlperkin@gmail.com

Distributor

Company name	EOR Solutions (FZCO)
Postal address	P. O. Box 262677
Postcode	Jebel Ali
Place name	Dubai
Country	United Arab Emirates
Tel	+9714 421 8997
Fax	+9714 366 3365
E-mail	post@eorsolutions.com
Prepared by	The National Institute of Technology, Norway / John-Kåre Egeland

2. Hazards identification

Description of hazard	Health: By normal use the product is not regarded as hazardous to health. Fire and explosion: The product is not flammable. Environment: The product is not classified as harmful to the environment.
-----------------------	---

3. composition/information on ingredients

Component comments	Substance identification: Enzymes, H2O and stabilizers. No hazardous substances subject to listing.
--------------------	---

4. first-aid measures

General	If in doubt, get medical advice.
Inhalation	Fresh air and rest. Get medical attention if any discomfort continues.
Skin contact	Wash skin thoroughly with soap and water. Contact physician if irritation continues.
Eye contact	Immediately flush with plenty of water for up to 15 minutes. Remove any contact lenses and open eyes wide apart. Contact physician if discomfort continues.
Ingestion	Drink plenty of water. Do not induce vomiting. Never give liquid to an unconscious person. Get medical attention.

ANEXO B. Hoja de seguridad NAFTA



COPEC
Primera en servicio

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

El formato de esta hoja de seguridad cumple con la NCh 2245 Of.03

NAFTA

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto	NAFTA
Proveedor	Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. Agustinas 1382 Santiago - Chile.
Fono de emergencia	56 (02) 675 3713
Fax	56 (02) 699 3794

SECCION 2: COMPOSICIÓN / INGREDIENTES

Nombre Químico (IUPAC)	Mezcla de hidrocarburos.
Fórmula química	No aplicable, es mezcla variable.
Sinónimos	Nafta.
Familia química	Sin Información.
N° CAS	No Registrado.
N° NU	3295 Hidrocarburos Líquidos N.E.P.

SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta	Clase 3; Inflamable.
Identificación de riesgo	Salud: 1 Inflamabilidad: 3 Reactividad: 0
PELIGROS PARA LA SALUD DE LAS PERSONAS:	
Efectos de una sobreexposición aguda	Puede haber irritación a la piel. Efectos adicionales pueden incluir náuseas, dolores de cabeza, mareos y congestión respiratoria. Depresión del sistema nervioso central.
Inhalación	Los vapores pueden irritar las mucosas, asfixia por desplazamiento del oxígeno, dolor de cabeza, dificultad al respirar, pérdida de coordinación muscular, visión borrosa y convulsiones.
Contacto con la piel	Causa irritación, si el contacto se mantiene.
Contacto con los ojos	Causa irritación y hasta daños oculares si la exposición es larga. Conjuntivitis Química por contacto directo.
Ingestión	Causa náuseas, mareos y convulsiones.
Efectos de una sobreexposición crónica	Trastornos respiratorios, cutáneos, depresión del sistema nervioso central.
Condiciones médicas que se verán agravadas con la exposición al producto	Las personas con afecciones respiratorias crónicas no deben exponerse al producto.
PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE	Tóxico para organismos acuáticos. Un gran derrame puede causar daño ecológico grave.
PELIGROS ESPECIALES DEL PRODUCTO	El mayor peligro de este producto lo constituye su inflamabilidad. Los vapores forman mezclas explosivas con el aire.

Vigencia desde: Agosto 2011

Página 1 de 5



SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto accidental con el producto, proceda de acuerdo con:

Inhalación	Traslade al afectado al aire fresco y ayude a la respiración, si es necesario.
Contacto con la piel	Lavar de inmediato la piel con abundante agua corriente y jabón. Retire la ropa contaminada.
Contacto con los ojos	Lave los ojos con abundante agua corriente durante 15 minutos. Incluso debajo de los párpados. Solicite asistencia de un médico.
Ingestión	Dar agua o leche a beber, para facilitar el enjuague. No induzca el vómito. Solicite asistencia médica.
Notas para el médico tratante	En caso de ingestión considere un lavado intestinal, si es que no hay signos de daño estomacal.

SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

Agentes de extinción	Polvo químico seco, dióxido de carbono, espuma para alcoholes, manto ignífugo. Evite usar agua directa. Se puede usando neblina de alta o baja presión, para fuegos pequeños.
Procedimientos especiales para combatir el fuego	En fuego tridimensional o combustible en movimiento, la espuma mecánica no es efectiva. Retire a toda persona ajena a la zona. Si es posible, retire los contenedores de la zona de incendio. Enfríe con agua los envases que han estado expuestos al fuego.
Equipos de protección personal para atacar el fuego	Use equipo de protección respiratoria, guantes de cuero y lentes de seguridad en fuegos pequeños. Para fuegos mayores, utilice traje de bomberos, equipo de respiración autónomo de presión positiva. Idealmente aluminizados para resistir altas temperaturas.

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	Elimine toda fuente de ignición y evite, si ello es posible, fugas adicionales del material. Evite el ingreso a cursos de agua y espacios confinados. Aleje a los curiosos y no permita fumar.
Equipo de protección personal para atacar la emergencia	Use equipo de protección respiratoria autónoma depresión positiva (SCBA), ropa de protección química, botas de goma y guantes de nitrilo o PVC.
Precauciones a tomar para evitar daños al ambiente	Recoja el producto en contenedores cerrados para evitar la evaporación del producto. No bote en cauces naturales o al alcantarillado.
Métodos de limpieza Método de eliminación de desechos	Absorba el producto con arena u otro material neutro. Disponga en lugares autorizados y según exigencias de la autoridad sanitaria del país.



SECCION 7: MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Recomendaciones técnicas	Almacene en áreas frescas y bien ventiladas, lejos de fuentes de calor e ignición. Los equipos eléctricos de trasvasije y áreas de trabajo deben contar con aprobación para las características de los combustibles Clase IC (D.S.160/09).
Precauciones a tomar	Mantenga apartado de fuentes de ignición. No fume y tome medidas para descargar la corriente electrostática generada, conectando a tierra los envases o recipientes.
Recomendaciones específicas sobre manipulación segura	Evite el contacto con el producto. No manipular ni almacenar cerca de llamas abiertas, calor, chispas, usar herramientas antichispas.
Condiciones de almacenamiento	Almacene en recipientes bien cerrados y en un lugar bien ventilado. La gasolina no debe almacenarse en recintos bajo el nivel del piso(subterráneos). No almacene cerca de fuentes de calor, oxidantes fuertes o incompatibles.
Embalajes recomendados y no adecuados	Estanques, tanques, tambores y contenedores autorizados por la SEC. No se permite envases de vidrios, excepto para productos de laboratorio o análisis.

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICION / PROTECCION AMBIENTAL

Medidas para reducir la posibilidad de exposición	Almacenar en recintos abiertos o con ventilación. Tome medidas para descargar de la corriente electrostática generada en la manipulación del producto. Use recipientes aprobados para clase IC (DS 160/09).
Parámetros para control	Limites permisibles para Nafta de petróleo: LPP= 320 ppm (1310 mg/m ³) (DS 594) LPT= 500 ppm (2050 mg/m ³) (DS 594)
Protección respiratoria	Solo si sobrepasan los Limites Permisibles. En situaciones de emergencia, usar protección respiratoria o equipo de respiración autónoma.
Guantes de protección	Guantes de nitrilo, PVC o neopreno de puño largo.
Protección de la vista	Lentes de seguridad, antiparras o protección facial (Full-Face).
Otros equipos de protección	Proteja el cuerpo con delantal de PVC y botas de goma o neopreno.
Ventilación	General y localizada(a prueba de explosión).

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	Líquido transparente.
Apariencia y olor	Líquido con olor característico parafínico aromático, de color transparente.
Concentración	No aplicable.
PH	No aplicable.
Temperatura de descomposición	No hay datos disponibles.
Punto de inflamación	37,8° C.
Temperatura de autoignición	Superior a 210° C.
Propiedades explosivas	Límite inferior de explosividad = 1,0 % Límite superior de explosividad = 6,0 %
Peligros de fuego o explosión	Los vapores pueden desplazarse a fuentes de ignición y encenderse con retroceso de llama. Las mezclas vapores-aire, son explosivas sobre el punto de inflamación.



Presión de vapor a 38°C	14 a 41 kPa (2 a 6 psi).
Densidad de vapor	Más pesado que el aire.
Densidad a 15 °C	0,71 a 0,73 (RANGO) (AGUA=1)
Punto de ebullición	No hay información disponible.
Solubilidad en el agua y otros solventes	Insoluble en agua.

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Estable en contenedores cerrados y bajo condiciones normales de temperatura y presión.
Condiciones que se deben evitar	Altas temperaturas, chispas y fuego. El sobrecalentamiento de los envases puede generar su ruptura violenta debido a la presión generada.
Incompatibilidad	Materiales oxidantes fuertes, peróxidos, ácido nítrico y percloratos.
Productos peligrosos de la descomposición	No se descompone.
Productos peligrosos de la combustión	Se generan monóxido y dióxido de carbono. Humos tóxicos en combustión incompleta.
Polimerización peligrosa	No ocurre.

SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda	Conjuntivitis, edema pulmonar, gastritis, dermatitis.
Toxicidad crónica o de largo plazo	Nauseas, fatiga, anorexia y pérdida del apetito. Insomnio, confusión, posible daño al riñón o hígado, dermatitis, conjuntivitis.
Efectos locales	Efectos tóxicos incluyen a los órganos de los sentidos, sistema nervioso central, irritación conjuntiva, membrana mucosa, pulmones, tórax, piel y ojos.
Sensibilización	Dermatitis y desgrasante de la piel.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Inestabilidad	Inestable.
Persistencia/Degradabilidad	Degradable.
Bio-acumulación	Bioacumulable.
Efectos sobre el ambiente	Contamina los cursos de agua, aire y suelo al incorporarse a ellos.

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICION FINAL

Método de eliminación del producto en los residuos	Para disposición del producto o sus residuos, disponga en instalaciones especialmente diseñadas y autorizadas al efecto.
Eliminación de envases/embalajes contaminados	Los envases metálicos pueden ser reutilizados después de ser tratados en empresas autorizadas al efecto. En el caso de disponer como chatarra, hay que descontaminarlos en lugares autorizados para tal efecto.



COPEC
Primera en servicio

SECCION 14: INFORMACION PARA EL TRANSPORTE

N Ch 2190, marcas	Clase 3, líquido inflamable – División 1
N° NU	3295
Guía de respuesta a emergencia	N° 27 (DOT) N° 128 (GRENA)

SECCION 15: NORMAS APLICABLES

Normas internacionales aplicables	IMO / UN: Clase 3 / 3295
Normas nacionales aplicables	NCh 382; NCh 2190; NCh 2120/03; D.S. 298; D.S. 594; D.S. 160/09
Marca en etiqueta	Líquido Inflamable/Clase 3/División 1.

SECCION 16: OTRA INFORMACION



No hay.

La información consignada en esta Hoja de Datos de seguridad fue obtenida de fuentes confiables. Sin embargo, se entrega sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este documento son de profesionales capacitados de Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. La información que se entrega es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. El usuario está obligado a establecer las condiciones de uso seguro del producto.

RCV/Departamento de Medioambiente, Prevención y Seguridad.

ANEXO C. Hoja de seguridad VARSOL

Emergencias: tel 018000 51 1414 (todo el país). Servicio 24 horas Centro de Información de Sustancias Químicas, Emergencias y Medio Ambiente	 
HOJA DE SEGURIDAD	
VAR SOL	
SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO	
Sinónimos: Solvente, nafta VMP, disolvente Stoddard, espíritu mineral. Líquido incoloro claro con olor característico a petróleo.	
SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	
Líquido inflamable, peligro de incendio o explosión en presencia de calor, chispas o llamas. La inhalación de vapor a altas concentraciones puede causar vértigo y narcosis. El líquido puede producir irritación de la piel y los ojos. Puede absorberse por la piel. Peligro de aspiración si es ingerido. Posibles efectos retardados. Derivado del petróleo, puede contener compuestos cancerígenos como ingredientes o como impurezas.	
SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES	
Mezcla compleja de hidrocarburos entre C9 y C12, parafinas, cicloparafinas y aromáticos. CAS [8052-41-3]	
SECCIÓN 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS	
Inhalación: Retire la víctima de la fuente de exposición y lívela al aire fresco. Si no respira, despeje las vías respiratorias; provea resucitación cardiopulmonar si está capacitado para hacerlo. Evite el contacto directo boca a boca. Si la víctima respira con dificultad, personal capacitado debe administrar oxígeno con monitoreo posterior del afectado en forma continua. Obtenga atención médica de inmediato. Contacto con la piel: Retire rápidamente el exceso del producto. Lave por completo el área contaminada con abundante agua preferiblemente tibia y jabón durante por lo menos 15 minutos. Debajo de la corriente de agua retire la ropa, zapatos y artículos de cuero que estén contaminados. No intente neutralizar con agentes químicos. Obtenga atención médica si persiste irritación. Ingestión: Si la víctima está consciente, no convulsiona y puede ingerir líquido dele a beber dos vasos de agua lentamente. NO INDUZCA AL VÓMITO. Si ocurre el vómito, mantenga la víctima inclinada para reducir el riesgo de aspiración, repita la administración de agua y observe si se presenta dificultad para respirar. Obtenga ayuda médica de inmediato. Contacto con los ojos: Lave de inmediato en una estación lavaojos con abundante agua a baja presión y tibia preferiblemente, durante por lo menos 15 minutos. Durante el lavado separe los párpados para facilitar la penetración del agua. No intente neutralizar con agentes químicos o gotas sin la orden de un médico. Obtenga atención médica rápidamente.	
SECCIÓN 5. MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS	
Consideraciones especiales: Líquido combustible. Puede formar mezclas explosivas a temperaturas iguales o superiores a su punto de inflamación. El líquido puede acumular cargas estáticas por transvase o agitación. Los vapores pueden desplazarse a nivel del suelo hasta una fuente de ignición y devolverse ardiendo hasta su lugar de origen. El líquido puede flotar sobre el agua hasta una fuente de ignición y regresar en llamas. El vertimiento del producto a desagües puede causar peligro de fuego o explosión. Produce gases tóxicos por combustión. Procedimiento: Evacúe el área del incendio en 100 metros en todas direcciones. Si hay un contenedor o carro tanque involucrado, evacúe en 800 metros. Si hay fuga del producto, deténgala antes de intentar apagar el fuego, si puede hacerlo en forma segura. Entree los contenedores con agua en forma de rocío, y retírelos del fuego si puede hacerlo sin peligro. No introduzca agua a los contenedores. El agua puede ser inefectiva para extinguir el fuego, dado que el producto es insoluble. Aproxímese al fuego en la misma dirección del viento. Para incendios masivos utilice boquillas con soportes. Alejese de los extremos de los contenedores. Utilice equipo de respiración autocontenido. La ropa normal de bomberos proporciona protección limitada para este producto y sólo se recomienda para operaciones rápidas de entrada-salida en casos especiales. Medios de extinción apropiados: Fuegos pequeños: dióxido de carbono, polvo químico seco, espuma regular. Fuegos grandes: espuma, agua en forma de rocío o niebla. No use agua en forma de chorro. NFPA: Salud 1; Inflamabilidad 2; Inestabilidad 0 (clasificación oficial según la NFPA).	
SECCIÓN 6. MEDIDAS PARA ESCAPE ACCIDENTAL	
Ubíquese en la dirección desde donde sopla el viento. Evite zonas bajas. Elimine toda fuente de ignición como llamas o chispas. Detenga o controle la fuga, si puede hacerlo sin peligro. Ventile la zona del derrame. No use palas metálicas. Derrames Pequeños: Evacúe y aisle de 25 a 50 metros. Contenga el derrame con diques de poliuretano o calcetines especiales para aceites y absorba con absorbentes inertes como calcetines, almohadillas o tapetes para hidrocarburos, chemizorb o vermiculita. NO USE TIERRA, ARENA NI ASERRÍN. Deposite los residuos en contenedores cerrados y marcados. Lave el área con agua y jabón. Derrames Grandes: Evacúe y aisle el área 300 metros en todas direcciones. Utilice agua en forma de rocío para enfriar y dispersar los vapores y proteger al personal. Evite que el material derramado calga en fuentes de agua, desagües o espacios confinados. Para ello disponga de diques prefabricados. Contacte organismos de socorro. Vertimiento en agua: Utilice absorbentes especiales tipo espaguetti (boom) para retirar el hidrocarburo de la superficie. Absorbentes Recomendados: Calcetines, Almohadas, Tapetes y booms.	
SECCIÓN 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
Evite toda fuente de ignición (chispas, llamas, calor, cigarrillos encendidos). Conecte a tierra contenedores y tuberías. Use sistemas a prueba de chispas y de explosión. Evite generar vapores o neblinas. Nunca realice operaciones de sifón con la boca. Nunca use este producto para lavarse manos o brazos. Lávese muy bien las manos después de su manipulación. Evite contacto con ojos, piel y ropa. Almacene bien cerrado en lugar bien ventilado, alejado de materiales incompatibles y calor. A temperatura ambiente (entre 15 y 25 °C). El almacenamiento de grandes cantidades debe ser en zona exterior. El almacenamiento interno debe hacerse en recinto estándar para líquidos inflamables. Señalice adecuadamente las áreas de almacenamiento y los contenedores.	

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN, PROTECCIÓN PERSONAL	
<p>TWA: 100 ppm (ACGIH).</p> <p>Elementos de protección personal sugeridos:</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>>8hr: Nitrilo, Viton, 4H (Silver Shield). >4hr: Alcohol polivinílico (PVA).</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>De 60 a 1000 ppm: Respirador con cartucho para vapores orgánicos. > 1000 ppm: Equipo de respiración autocontenido.</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>Contacto prolongado o repetido: Viton. Riesgo leve o moderado de salpicaduras, traje en Temporo o Tychem. Riesgo alto, Tychem, CPF1 al 4, Responder, Reflector.</p> </div> </div>	<p>IDLH: 800 ppm</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>Gafas de seguridad contra salpicaduras químicas.</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>>8hr: Caucho de nitrilo.</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>Ducha</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>Lavaojos.</p> </div> </div> </div>
SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
<p>Rango de ebullición: Inicial: 149°C; final: 208°C</p> <p>Gravedad específica: 0,754-0,82 a 15,6°C(agua=1).</p> <p>Velocidad de evaporación: 0,1 (Acetato de butilo=1)</p> <p>Umbral de olor: < 1ppm (5 mg/m³).</p> <p>Solubilidad: Insoluble en agua (<0,01% a 25°C). Soluble en todas proporciones en la mayoría de solventes orgánicos.</p>	<p>Temperatura de Inflamación: Mínimo 37.7°C (vaso cerrado)</p> <p>Densidad de vapor: 4.8 (aire=1).</p> <p>Temperatura de autoignición: 229°C.</p> <p>Limites de explosividad: Inferior: 0.8% a 100°C. Superior: 6%</p>
SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
<p>Estable en condiciones normales.</p> <p>Incompatibilidades: Agentes oxidantes fuertes (como hipoclorito de sodio, ácidos fuertes, agua oxigenada, etc). No corrosivo a los metales.</p> <p>Condiciones a evitar: Evite descargas estáticas, chispas, llamas abiertas, calor y otras fuentes de ignición.</p> <p>Productos de descomposición térmica: Monóxido de carbono, dióxido de carbono.</p>	
SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
<p>Inhalación: Vapores o neblinas a concentraciones superiores a 1000 ppm causan irritación de los ojos y el tracto respiratorio, depresión del sistema nervioso central (SNC), dolor de cabeza, mareos, deterioro y fatiga intelectual, confusión, anestesia, somnolencia, pérdida de conciencia y posible muerte.</p> <p>Contacto con la piel: Baja toxicidad. Irritación. Contacto prolongado o frecuente puede producir irritación y sarpullido (dermatitis). Por ser desengrasante de la piel, su contacto puede agravar una condición de dermatitis existente. Por contacto frecuente o prolongado, causa irritación. Por contacto prolongado con la ropa húmeda puede causar quemaduras, ampollas y dolor.</p> <p>Contacto con los ojos: En forma de líquido, vapores, o neblinas produce irritación leve y temporal, pero no causa daños a los tejidos de los ojos.</p> <p>Ingestión: Toxicidad oral baja. Muy peligroso si es aspirado e ingresa por los pulmones, aún en pequeñas cantidades, lo cual puede ocurrir durante la ingestión o el vómito, pudiendo ocasionar daños pulmonares leves a severos, e incluso la muerte.</p> <p>Efectos crónicos Tras sobreexposiciones repetidas puede desarrollarse intoxicación crónica con solventes orgánicos, con síntomas como dolor de cabeza, mareos, pérdida de la memoria, cansancio, dolor en las articulaciones, disturbios del sueño, depresión, irritabilidad, náuseas. Esta afección es poco común. Se han reportado efectos sobre el hígado luego de exposiciones intensas y prolongadas. Carcinogenicidad: Como derivado del petróleo, puede contener ingredientes o impurezas de compuestos cancerígenos. No se han reportado efectos reproductivos, mutagénicos, teratogénicos, embriotóxicos o sinérgicos.</p>	
SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
<p>Tóxico para la vida acuática. No permita su entrada a desagües, ríos y otras fuentes de agua. Flota e impide la oxigenación de cuerpos de agua.</p>	
SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO	
<p>Reutilice o envíe a incineración en un horno adecuado, que tenga Licencia Ambiental.</p>	
SECCIÓN 14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE	
<p>La etiqueta del vehículo debe medir por lo menos 25 cm de lado y debe ser resistente a las condiciones ambientales.</p> <p>Etiquete adecuadamente los contenedores o carromanos y manténgalos cerrados. No lo transporte junto con productos explosivos (clase 1), gases tóxicos (2.3), sustancias oxidantes (5.1), peróxidos (5.2), sustancias tóxicas (6.1).</p> <p>Apague el motor cuando cargue y descargue. No fume en el vehículo ni a menos de 7,5 metros. Conecte a tierra el carrotanque antes de transferir el producto a o desde el contenedor. Cierre y asegure manholes y válvulas, y verifique que éstas no tengan fugas.</p> <p>Clasificación de peligro según el Libro Naranja de la ONU: 3 - Líquido inflamable. (Ver reglamentación legal vigente)</p>	
SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA	
<p>Sistema Globalmente Armonizado:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Atención Líquido y vapor Inflamables</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Atención Noctivo por ingestión, contacto e inhalación</p> </div> </div> <p>Líquido y vapor combustibles. Peligro de incendio o explosión</p> <p>Posibles efectos cancerígenos, tóxico para organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático, nocivo, si se ingiere puede causar daño pulmonar, la exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel. Manténgase fuera del alcance de los niños, no tire los residuos por el desagüe, use indumentaria y guantes de protección adecuados. Evite su liberación al medio ambiente, recábense instrucciones especiales de la hoja de seguridad. En caso de ingestión no provoque el vómito, acúdase inmediatamente al médico y muestrele la etiqueta o el envase.</p>	
SECCIÓN 16. INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>BIBLIOGRAFÍA:</p> <ol style="list-style-type: none"> NFPA, Fire protection guide to Hazardous Materials, 13a. Edición, 2002. Forsberg, K., et al. Quick Selection Guide to Chemical Protective Clothing. 5a edición. Van Nostrand Reinhold, 2007. Naciones Unidas. Recomendaciones para Transporte de Mercancías Peligrosas. 16 Edición. USA. 2009. CCOHS. Base de datos MSDS ONLINE. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Canadá. ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical Substances (TLVs). USA. 2010. Ministerio de Transporte. Decreto 1609 de 2002. Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera. Bogotá. MinTransporte. 2002. 	
<p>FECHA DE EMISIÓN: Septiembre de 2010</p>	<p>VAR80L</p>
<p>Los datos suministrados en esta ficha se basan en nuestro conocimiento actual. No representan una garantía sobre las propiedades de este producto. ANP SURA no se hace responsable por el uso o interpretación particular que se le dé a esta información.</p>	