



PDVSA
INTEVEP

VISIÓN

TECNOLOGICA

VISIÓN TECNOLOGICA



Edición Especial (Extraordinario) Volumen 27
Número 1/ 2023

CUERPO EDITORIAL DE VISIÓN TECNOLÓGICA

EDITOR / Jowar Peña

EDITOR ADJUNTO / Juan Negrín

REVISIÓN DEL ESTILO EDITORIAL / Juan Negrín

MIEMBROS DEL CUERPO EDITORIAL /

Jowar Peña
Mariana Toro
Ubaldo Salazar
Yajaira Guillén
Jorge Rojas
Juan Negrín
Zogehil Puentes
Blas Delgado
Eduardo González
Jacqueline Grobas
Meibert García
José Vicente García

Visión Tecnológica es una publicación multidisciplinaria de circulación anual, editada por el Centro de Información Técnica (CIT) de PDVSA Intevep. Su objetivo primordial es difundir la gestión científica y tecnológica de la industria petrolera venezolana en el ámbito nacional e internacional. Para información sobre la adquisición, suscripción y canje de esta revista, favor dirigirse al Centro de Información Técnica, apartado postal 76343, Caracas 1070-A, Venezuela.

DISEÑO Y EDICIÓN / Karla López Quirós - PDVSA Intevep

DISEÑO DE PORTADA / Karla López Quirós - PDVSA Intevep

FOTOGRAFÍAS / Fotos de autores

IMPRESIÓN / Artes gráficas PDVSA Intevep

© 2023, PDVSA Intevep

Depósito Legal 199302MI44

Se prohíbe la reproducción parcial o total, el almacenamiento en cualquier sistema de recuperación o la transcripción por medios electrónicos, mecánicos u otros, de cualquier artículo de esta revista, sin la autorización por escrito del editor.

Visite nuestro sitio web: <http://www.pdvsa.com.ve>

ISSN 1315-0855

NOTA DEL EDITOR

La Revista Visión Tecnológica es la imagen de PDVSA y su acervo tecnológico, siendo una fuente de información primaria y un medio corporativo de divulgación nacional e internacional para los investigadores.

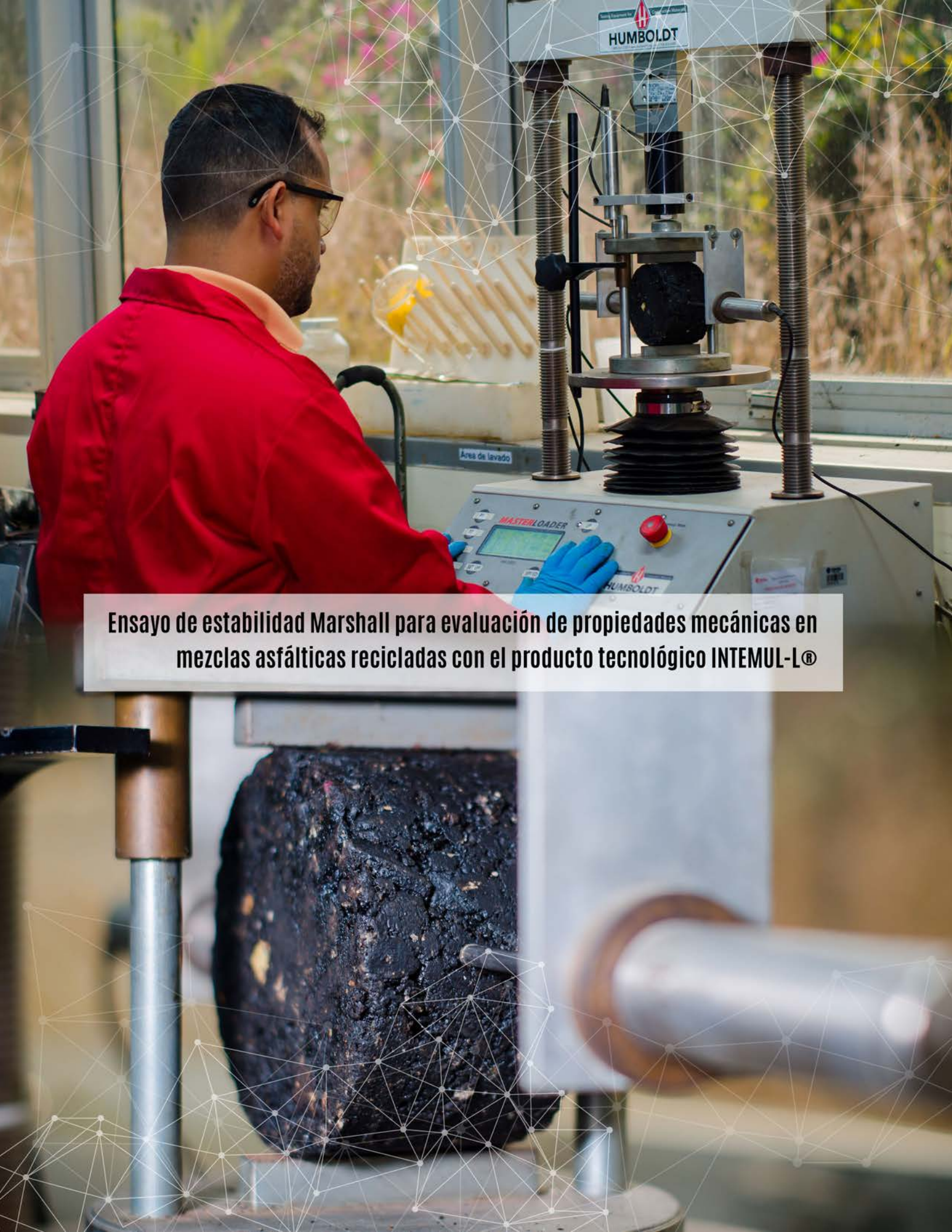
Este volumen de Visión Tecnológica, representa una edición especial enmarcada en el 49 aniversario de PDVSA Intevep, muestra la dedicación y compromiso de los profesionales de nuestra industria petrolera quienes a pesar de la existencia de las medidas coercitivas dedican sus esfuerzos a la innovación y desarrollo de tecnologías con aplicación en la industria petrolera venezolana.

Se exponen aquí cinco artículos, los cuales presentan áreas integradas que van desde Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional, Calidad de Productos, Producción de Hidrocarburos y Documentación Técnica. En el primer artículo, se presenta la potencialidad de PDVSA Intevep en la evaluación de desempeño de dos concentrados de espumas contra incendios de baja expansión de fabricación nacional y foránea, con aplicabilidad sobre líquidos. Posteriormente, se presenta uno de nuestros productos tecnológicos como lo es ASFEL™, un asfalto modificado con polvo de neumático fuera de uso, el cual puede ser utilizado como material asfáltico en las juntas de dilatación de puentes y como sellador de grietas y bacheo en caliente en la rehabilitación de vías. Seguido se muestra, el proceso de síntesis de un aditivo depresor del punto de fluidez para bases lubricantes API grupo I, II y III mediante copolimerización vía radicales libres de monómeros acrílicos y metacrílicos.

Uno de los fenómenos que se presentan durante la producción de hidrocarburos, es el de producción de arena, fenómeno que impacta en un incremento del costo de operación, por tal razón en el cuarto artículo, se presenta el resultado de la revisión de las metodologías de los modelos de arenamiento para los pozos pertenecientes a los campos petrolíferos de Venezuela, a través de la construcción de un modelo geomecánico. Se finaliza con la descripción de una serie de bases de datos documentales y otros recursos de información en acceso abierto de interés para la industria petrolera, herramientas para el desarrollo de líneas de investigación y ejecución de Asistencia Técnica Especializada.

La materialización de este volumen se logra por la dedicación y compromiso que destaca a los profesionales de PDVSA Intevep, quienes presentan a través de distintas contribuciones una fracción amplia de los procesos donde se brinda asistencia técnica especializada y se desarrollan líneas de investigación de valor para nuestra industria petrolera nacional.

Jowar Peña



Ensayo de estabilidad Marshall para evaluación de propiedades mecánicas en mezclas asfálticas recicladas con el producto tecnológico INTEMUL-L®

7 **EVALUACIÓN DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO Y SU IMPACTO EN LA ADMINISTRACIÓN DE EMERGENCIAS**
EVALUATION OF FIREFIGHTING FOAMS AND THEIR IMPACT ON EMERGENCY MANAGEMENT
Luis Castañeda y Edwy Suescun

14 **DESARROLLO DEL PRODUCTO TECNOLÓGICO ASFEL™**
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PRODUCT ASFEL™
Lourdes Arias y Nelson Bessone

22 **SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE ADITIVO DEPRESOR DEL PUNTO DE FLUIDEZ PARA BASES LUBRICANTES API GRUPO I, II Y III UTILIZADAS EN LA FORMULACIÓN DE LUBRICANTES AUTOMOTRICES**
SYNTHESIS OF POUR POINT DEPRESSANT ADDITIVE FOR API GROUP I, II AND III BASE OILS USED IN THE FORMULATION OF AUTOMOTIVE LUBRICANTS
Germán Velásquez, Joe Berroterán, Nelson Bessone, Carolina Quintero, Omayra Delgado y Carlos China

33 **ESTUDIOS GEOMECÁNICOS PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ARENA: UNA HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS**
GEOMECHANICAL STUDY FOR THE PREDICTION OF SAND PRODUCTION: A TOOL TO OPTIMIZE THE EXPLOITATION OF HYDROCARBON RESERVOIRS
José Gabriel Haddad Briceño y Gilmer José Caldera Guillén

43 **BASES DE DATOS DOCUMENTALES Y OTROS RECURSOS DE INFORMACIÓN EN ACCESO ABIERTO DE INTERÉS PARA LA INDUSTRIA PETROLERA**
DOCUMENTARY DATABASES AND OTHER OPEN ACCESS INFORMATION RESOURCES OF INTEREST TO THE OIL INDUSTRY
Francis Rosario González Rojas

ULTRAMIX[®]

TECNOLOGÍA PDVSA

Formulación química desarrollada por INTEVEP, S.A. para eliminar el daño a la formación ocasionado por fluidos de perforación con base en aceite, bloqueo por agua, bloqueo por emulsiones del tipo W/O, mojabilidad por aceite y, más recientemente, por la interacción del fluido de perforación con base en agua con el sistema arena-crudo de la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chavez. Se puede utilizar además, como preflujo en fracturamiento hidráulico, estimulaciones ácidas matriciales, en trabajos de forzamiento de arena con posterior empaque con grava, y en procesos de cementación en pozos que han sido perforados con lodo invertido o 100 % aceite.

Este producto ha sido masificado en el territorio nacional superando las 600 aplicaciones. En la actualidad, se cuenta con licencias para su manufactura y aplicación.

MULTIGEL[®]

TECNOLOGÍA PDVSA

Tecnología de geles desarrollada por INTEVEP, S.A. para controlar la producción excesiva de agua o gas en los procesos de producción de crudo. Puede ser aplicable tanto en pozos productores como en inyectores, dependiendo del análisis ó diagnóstico previo. Consiste en una mezcla de un polímero soluble en agua con un agente entrecruzador, en proporciones que se diseñan para cada yacimiento, a cuyas condiciones de temperatura y presión forma una red tridimensional que atrapa el agua/gas en su interior, reduciendo la permeabilidad del medio poroso al agua y al gas, sin afectar significativamente la permeabilidad de crudo, lo cual permite controlar la producción excesiva de estos fluidos en una gran variedad de yacimientos.

Este producto ha sido masificado en el territorio nacional, siendo aplicado en al menos 85 pozos. En la actualidad, se cuenta con licencias para su manufactura y aplicación.

EVALUACIÓN DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO Y SU IMPACTO EN LA ADMINISTRACIÓN DE EMERGENCIAS EVALUATION OF FIREFIGHTING FOAMS AND THEIR IMPACT ON EMERGENCY MANAGEMENT

Luis Castañeda^a y Edwy Suescun^a

^aPDVSA Intevep

*castanedala@pdvsa.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra la evaluación de desempeño de dos concentrados de espumas contra incendios de baja expansión de fabricación nacional y foránea, con aplicabilidad sobre líquidos inflamables y combustibles (fuegos clase B). La prueba se realizó conforme la norma ISO 7203-1:2011 “*Specification for low-expansion foam concentrates for top application to water immiscible liquids*”, donde se evaluó el comportamiento del manto de espuma formado sobre la superficie de un líquido en combustión, su degradación por el calor, la sellabilidad de los vapores y la resistencia a la reignición; en función a los valores referenciales establecidos en la Tabla 1 del estándar internacional para espumas Clase I-A. Los resultados indicaron un desempeño no conforme de la espuma de producción nacional en cuanto a tiempo de extinción de llamas, sellado de vapores y tiempo de reignición, no obstante, la espuma importada mostró un desempeño conforme a los valores referenciales.

Palabras claves: Espumas, Extinción de incendios, Fuegos clase B.

ABSTRACT

This paper shows the performance evaluation of two low-expansion fire-fighting foam concentrates manufactured nationally and abroad, with applicability on flammable and combustible liquids (class B fire). The test was carried out in accordance with ISO 7203-1:2011 “*Specification for low-expansion foam concentrates for top application to water immiscible liquids*”, this document specify the properties that must be evaluated such as: the behavior of the foam layer formed on the surface of a burning liquid, its degradation by heat, the sealability of vapors and the resistance to reignition; based on the reference values established in Table 1 of the international standard for Class I-A foams. The results indicated a non-conforming performance of the nationally produced foam in terms of flame extinguishing time, vapor sealing and reignition time, however, the imported foam showed a performance in accordance with the reference values.

Keywords: *Foams, Fire extinguishing, Class B fires.*

INTRODUCCIÓN

Las espumas contra incendios representan el agente extinguidor más utilizado y eficaz para el control de incendios sobre superficies de líquidos inflamables y combustibles. Al ser de más baja densidad que dichos líquidos, flota sobre los mismos, produciendo una capa o manto que bloquea el suministro de oxígeno, la emisión de los vapores de combustión y el enfriamiento del combustible, siendo este su mecanismo de extinción. Además, la espuma puede aplicarse a la superficie de los líquidos, proporcionando un grado de protección a la exposición de incendios adyacentes y deteniendo la emisión de vapores existentes sobre el combustible.

La efectividad de los concentrados de espuma depende de varios factores como el almacenamiento, las características de los tensoactivos utilizados en la formulación y el envejecimiento del producto. En este sentido, PDVSA Intevep implementa una metodología para la evaluación del desempeño de los espumógenos existentes en los inventarios de PDVSA, con el fin de verificar la vigencia de su eficacia con relación a su estabilidad y persistencia en el tiempo.

Con la aplicación de esta metodología se contribuye en primer lugar con la evaluación del desempeño de los concentrados de espumas existentes en PDVSA, aseguramiento de la calidad de los espumógenos durante los procesos de procura, así como en la evaluación de nuevas formulaciones de concentrados de espumas en el ámbito nacional.

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

La metodología empleada para la evaluación de los concentrados de espuma en estudio se corresponde con los procedimientos descritos en los Anexos F y G de la Norma ISO 7203-1. Se emplea la prueba con aplicación turbulenta descrita en la sección F y G.3 del mismo anexo por considerarse la condición más severa. Para la evaluación de desempeño se consideran cuatro ensayos principales: Extinción, sellado, reignición y tiempo de drenaje. Una vez validadas las variables ambientales, el ensamblaje del banco de prueba y la preparación de la solución según especificaciones del fabricante, se inició con las pruebas de desempeño. La Figura 1 ilustra el montaje del banco de pruebas.

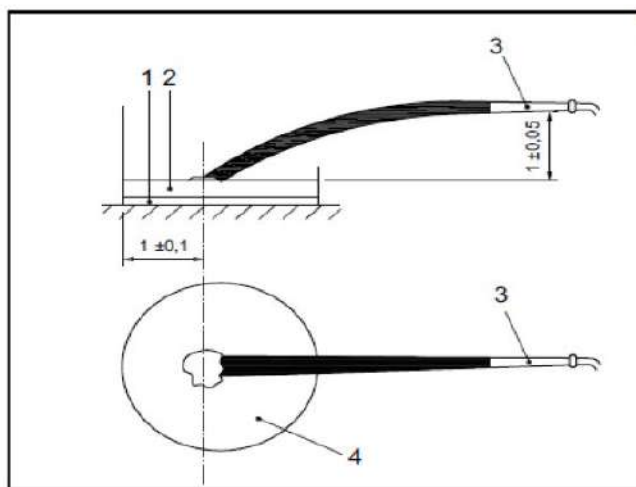


Figura 1. Método de aplicación turbulenta: (1) Bandeja, (2 y 4) combustible y agua, (3) boquilla de espuma

Ensayo de extinción

Este ensayo consiste en la extinción de una superficie en llamas a través de la aplicación de espuma durante un tiempo determinado. La descarga de espuma se proyecta hacia la parte central de la bandeja, inundando de forma turbulenta el área circular en llamas. La prueba finaliza una vez es extinguido completamente el fuego. La función de este ensayo consiste en determinar el tiempo en el cual las llamas de la superficie son extinguidas (tiempo de extinción).

Ensayo de sellado

Una vez extinguidas las llamas se procede a pasar una antorcha encendida (sin goteo de combustible ardiendo) sobre toda la superficie de espuma a una altura de aproximadamente 3 cm, sin tocarla, a fin de verificar mediante observación directa la aparición de llamas sobre el manto de espuma formado; este ensayo permite determinar la emisión de vapores a través del manto de espuma.

Ensayo de reignición

Transcurridos cinco minutos de la finalización del ensayo de extinción, se realiza la prueba de reignición, la cual consiste en colocar un tubo metálico próximo al centro de la bandeja, seguidamente se añaden dos (2) litros de gasolina dentro del tubo y finalmente se procede al encendido y retiro del tubo metálico. Su función es determinar el tiempo en el cual las llamas cubren el 25 % de la superficie de la bandeja (tiempo de reignición).

Ensayo tiempo de drenaje

Este ensayo, basado en el procedimiento descrito en la sección F.3, Anexo F de la norma ISO 7203-1, consiste en proyectar e impactar a través de una boquilla la solución de espuma sobre una pantalla metálica tipo V, recolectando la espuma en un recipiente graduado hasta su máxima capacidad, posteriormente se mide el tiempo en el cual se alcanza el 25 % del agua drenada de la solución de espuma.

La Figura 2 ilustra el montaje del banco de prueba para determinación del tiempo de drenaje.

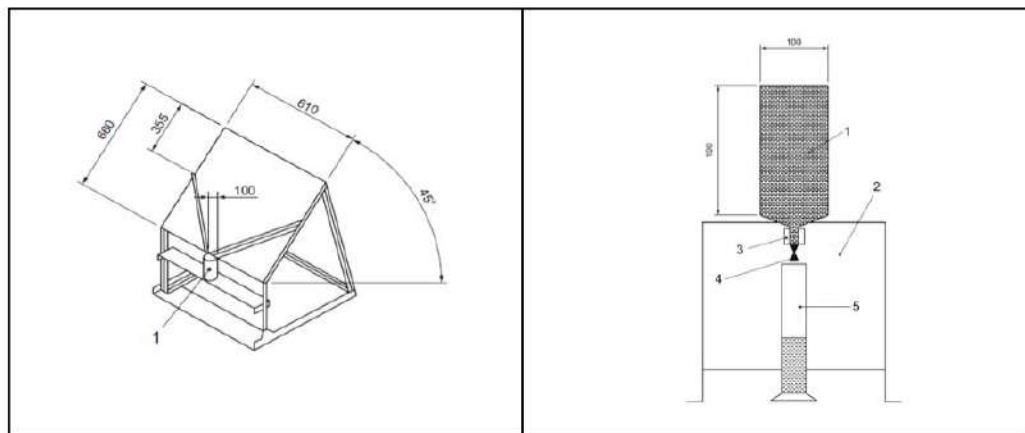


Figura 2. Banco de pruebas para la determinación del tiempo de drenaje: (1) Envase colector de espuma, (2) estructura de soporte, (3) tubo transparente, (4) válvula de descarga y (5) cilindro graduado

Los criterios establecidos en la norma ISO 7203-1 para evaluar espumas contra incendio en función al desempeño de extinción y al nivel de resistencia a la reignición se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempo máximo de extinción y tiempo mínimo de reignición contemplados en la norma ISO 7203-1 para espumas contra incendio

Desempeño de extinción Clase	Resistencia a la reignición Nivel	Prueba de aplicación suave		Prueba de aplicación turbulenta	
		Tiempo máximo de extinción (minutos)	Tiempo máximo de reignición 25 % (minutos)	Tiempo máximo de extinción (minutos)	Tiempo mínimo de reignición 25 % (minutos)
I	A	No Aplica		3	10
	B		15	3	
	C		10	3	No Aplica
	D		5	3	
II	A	No Aplica		4	10
	B		15	4	
	C		10	4	No Aplica
	D		5	4	
III	B	5	15		
	C	5	10	No Aplica	
	D	5	5		

Las características de los concentrados de espumas evaluados en función a su desempeño sobre líquidos inflamables y combustibles, se presentan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los concentrados de espumas evaluados

<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Baja expansión	Baja expansión
Lote 002/P	Lote 3021/1
Formulada a una concentración de 3 %	Formulada a una concentración de 3 %
Para ser aplicada sobre incendios clase B	Para ser aplicada sobre incendios clase B
Producción nacional	Producción foránea (inventario PDVSA Intevep)

Los valores referenciales mostrados en la Tabla 3, para medir el desempeño de los concentrados fueron tomados de la Tabla 1, sección 13 de la norma ISO 7203-1, y se corresponden con los parámetros de desempeño de espumas Clase I-A.

Tabla 3. Valores referenciales para evaluación de desempeño de las espumas contra incendio Clase I-A

<i>Ensayo</i>	<i>Requisitos ISO</i>
Extinción	Hasta 3 min.
Sellado	Cumple / No Cumple
Reignición	Mínimo 10 min.
Tiempo de Drenaje	>3 min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación realizada en campo a las dos muestras de espumógenos, aplicando la metodología descrita, permitió determinar el comportamiento de las espumas frente a los efectos del calor, la capacidad de supresión y sellabilidad de los vapores, así como su estabilidad y persistencia en el tiempo.

En el caso del espumógeno identificado como muestra 1, se pudo evidenciar un substancial rompimiento del manto de espuma formado por efecto del calor generado, afectando la velocidad de extinción y el sellado de los vapores en combustión. En consecuencia, el tiempo de extinción de las llamas se extendió por más de 6 minutos y el valor de 25 % de cubrimiento de las llamas en la bandeja de quemado se alcanzó en menos de 1 minuto, por lo tanto, presentó una deficiente resistencia a la reignición debido a la poca retención de vapores por el rápido rompimiento del manto formado. Adicionalmente, se percibió en varios puntos de la bandeja, pérdida progresiva de la resistencia del manto de espuma, fenómeno asociado a la rapidez con la cual el agua se separó de la solución de espuma, afectando su estabilidad y persistencia en el tiempo.

Por lo antes expuesto, se determinó que el concentrado de espuma de la muestra 1 mostró un desempeño no conforme con respecto a los valores referenciales establecidos para espumógenos Clase I-A de acuerdo a la Tabla 1.

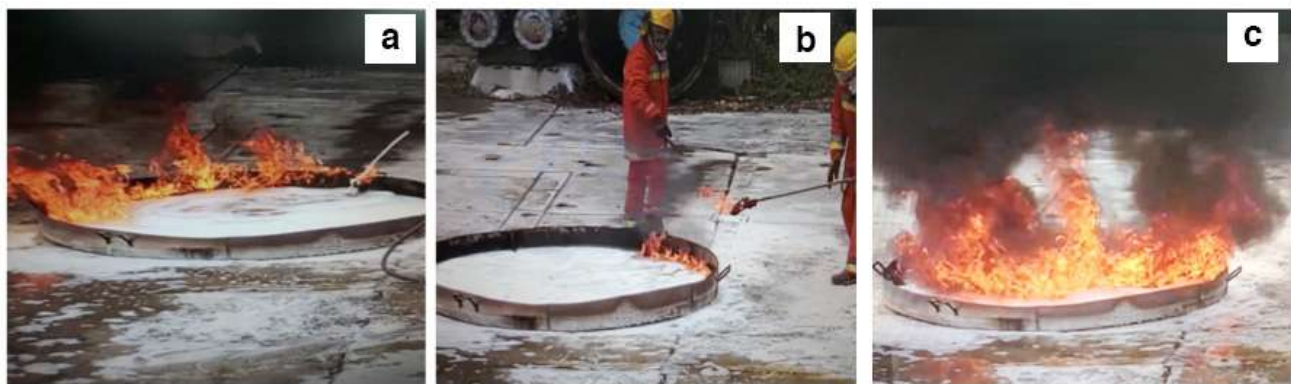


Figura 3. Método de aplicación turbulenta concentrado de producción nacional: (a) ensayo de extinción de incendio, (b) ensayo de sellado, (c) ensayo de reignición



Figura 4. Método de aplicación turbulenta concentrado de producción internacional: (a) ensayo de extinción de incendio, (b) ensayo de sellado, (c) ensayo de reignición

Tabla 4. Síntesis de los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño de espumas

<i>Prueba</i>	<i>Requisito ISO-7203-1 Espumas Clase I-A</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Extinción	Hasta 3 min	> 6 min.	1 min. 26 seg.
Reignición	Mínimo 10 min.	< 1 min	> 10 min
Sellado	Cumple / No cumple	No cumple	Cumple
Tiempo de drenaje	> 3 min.	< 1 min.	> 5 min.
Desempeño	Conforme/ no conforme	No Conforme	Conforme

CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación de desempeño realizada a la Muestra 1 sugieren que esta no cumple con los parámetros correspondientes a Clase I y Clase II, según la Tabla 1 de la norma ISO 7203-1. Para determinar su clasificación en alguna de las categorías B, C o D de la Clase III se hace necesario realizar la prueba de desempeño con aplicación suave descrita en la misma norma. La aplicación de un concentrado de espuma con estas características en un incendio industrial de líquidos combustibles o inflamables confiere un bajo desempeño a las acciones de extinción con el riesgo consecuente de no alcanzarse el objetivo de extinción o minimización de pérdidas.

Los resultados de la evaluación de desempeño realizada a la Muestra 2 sugieren que esta clasifica como espumógeno Clase I-A, conforme a los parámetros de la Tabla 1 de la norma ISO 7203-1, con lo cual se espera que el desempeño de la aplicación de este concentrado de espuma en un incendio industrial de líquidos combustibles o inflamables se comporte de igual manera en una escala mayor.

El ensayo de tiempo de drenaje previo a la aplicación del método de aplicación turbulenta permite inferir el comportamiento de la espuma durante su aplicación para extinción de fuegos clase B.

Los resultados de las evaluaciones realizadas muestran la importancia de las características de velocidad de extinción, resistencia al calor, sellabilidad de los vapores y de la capacidad del manto de espuma de mantenerse sobre la superficie del líquido inflamable o combustible para el desempeño eficaz y eficiente de un concentrado de espuma durante las acciones de extinción en una instalación industrial.

La metodología de desempeño de espumas contra incendio empleada para la evaluación de las presentes muestras, también permite conocer la vigencia de la efectividad de los concentrados de espumas existentes en inventarios con largos tiempos de almacenamiento o en condiciones inadecuadas, así como de aquellos que se encuentren en gestiones de procura.

RECOMENDACIONES

Mejorar e incorporar elementos de medición cuantitativos (radiómetros) en el método de ensayo que permitan evaluar variables adicionales para determinar el comportamiento de las llamas con respecto a la tasa de quemado del combustible; a modo de establecer comparaciones de eficacia de las espumas contra incendio en estudio.

REFERENCIAS

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Specification for low-expansion foam concentrates for top application to water immiscible liquids. Standard N° 7203-1, Part 1. 2011.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). Norma para espumas de baja, media y alta expansión. Standard N° 11. 2016.

RIVAS, M. Formulación de una espuma para extinción de incendios generados por líquidos combustibles no polares. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, 2011.

UNDERWRITERS LABORATORIES INC (UL). Standard for safety foam equipment and liquid concentrates. Standard N° 162. 2018.

DESARROLLO DEL PRODUCTO TECNOLÓGICO ASFEL™
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PRODUCT ASFEL™

Ingrid Rojas^a, Lourdes Arias^a y Nelson Bessone^a

^aPDVSA Intevep

*rojasit@pdvsa.com

RESUMEN

El producto tecnológico ASFEL™, consiste en un asfalto modificado con polvo de neumático fuera de uso, el cual puede ser utilizado como material asfáltico en las juntas de dilatación de puentes y como sellador de grietas y bacheo en caliente en la rehabilitación de vías. Este asfalto elastomérico se obtiene a partir del mezclado de sus componentes en condiciones de agitación, temperatura y tiempo controladas. Posee excelentes propiedades cumpliendo con los requisitos de normas internacionales como la ASTM D6297 “*Standard Specification for Asphaltic Plug Joint for Bridges*” y la ASTM D6690 “*Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements*”, comparables con productos comerciales utilizados en este tipo de aplicaciones. El desarrollo de este producto consistió inicialmente en la búsqueda de las especificaciones técnicas, estados del arte de este tipo de material elastomérico, así como su funcionamiento y aplicación; posteriormente se realizó la evaluación de propiedades realizando ensayos normalizados, así como la comparación con productos comerciales. Siguiendo la metodología para ejecutar y documentar Proyectos de Investigación y Desarrollo en PDVSA Intevep, se realizaron evaluaciones técnico-económicas para la producción del material, escalamiento banco para la producción del asfalto modificado, evaluaciones de riesgo a la salud y al ambiente, pruebas de desempeño del producto en campo y generación de la documentación necesaria para la protección intelectual y registro de marca comercial. Uno de los objetivos principales del desarrollo de ASFEL™ es sustituir la importación de productos comerciales de asfalto modificado generalmente utilizados para la rehabilitación de vías y juntas de dilatación de puentes, lo que representaría un beneficio económico y ambiental, ya que se estaría utilizando un pasivo ambiental como el polvo de neumático fuera de uso y materia prima 100 % nacional.

Palabras claves: Asfalto, Modificación, Elastomérico, Polvo de neumático.

ABSTRACT

The technological product ASFEL™, asphalt modified with end-of-life tire dust, which can be used as an asphalt material in bridge expansion joints and as a crack sealant and hot patching in road rehabilitation. ASFEL™ is obtained from the mixing of its components under controlled agitation, temperature and time conditions. It has excellent properties, complying with the specifications of international standards such as ASTM D6297 “*Standard Specification for Asphaltic Plug Joint for Bridges*” and ASTM D6690 “*Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements*”, comparable to commercial products used in this type of application. This product development began with a technical specification search, an elastomeric material state of art, performance and application; then the evaluation of properties was carried out through standardized tests and compared with commercial products. Following the methodology to execute and document Research and Development Projects in PDVSA Intevep, a technical-economic study was carried out to evaluate the production feasibility, bench scaling, health and environmental risk evaluations, product performance tests in the field, as well as necessary documentation for

intellectual protection and trademark registration. One of the main objectives of the development of ASFEL™ is to replace the import of commercial modified asphalt products, generally used for the rehabilitation of roads and expansion joint of bridges, which would represent an economic and environmental benefit since an environmental liability, used tire dust, and 100 % national raw material would be used.

Keywords: Asphalt, Modification, Elastomeric, Tire dust.

INTRODUCCIÓN

En la pericia de Desarrollo, Evaluación y Aplicación de Productos Asfálticos de la Gerencia de Calidad de Productos de PDVSA Intevep se trabaja en dos grandes áreas, la primera de ellas comprende la evaluación del potencial asfáltico de cortes residuales de crudos o mezclas de crudos procesados en el circuito de refinación nacional, así como de otros procesos; esta evaluación consiste principalmente en la caracterización fisicoquímica y reológica de asfaltos para establecer conformidad con los requisitos establecidos en las especificaciones nacionales e internacionales. La segunda área de trabajo corresponde al desarrollo de nuevos productos asfálticos mediante proyectos de Investigación y Desarrollo. Durante los últimos 10 años se han desarrollado tres soluciones tecnológicas en el área: INTEMUL-L® e INTEMUL-R® que son emulsiones asfálticas de rotura lenta y de rotura rápida utilizadas para riegos de adherencia y riegos de imprimación en la construcción y rehabilitación de vías, así como el reciclado en frío *in-situ*. Un tercer desarrollo es la tecnología de asfalto RIPEMAC®, que consiste en una mezcla asfáltica en caliente que utiliza en su formulación ripios de perforación provenientes de la industria petrolera y escoria de acería proveniente de la industria metalúrgica como parte de sus agregados pétreos, sustituyendo hasta un 50 % del material pétreo en la mezcla. Por otro lado, se han desarrollado más de 10 formulaciones de asfalto modificado con diferentes aditivos tanto convencionales como no convencionales. Tomando en cuenta estas experiencias, un trabajo más reciente en desarrollo es un asfalto elastomérico que utiliza polvo de neumático fuera de uso como aditivo y cumple con las especificaciones internacionales para materiales asfálticos con aplicación en juntas de dilatación de puentes y selladores de grietas en pavimentos, denominado ASFEL™.

PDVSA Intevep contempla cinco (5) etapas que permiten cumplir con el desarrollo de una tecnología; estas son: Generación del concepto y planificación, validación teórica y experimental del concepto, validación del concepto a escala banco, validación del concepto a escala piloto, transferencia de tecnología y cierre de proyecto. En este sentido, se presentan los resultados del desarrollo del producto tecnológico ASFEL™, haciendo énfasis en la comparación del mismo con productos comerciales actualmente en el mercado, así como las pruebas experimentales en campo realizadas en el año 2022.

El desarrollo del producto tecnológico ASFEL™ se inició en el año 2015 con la revisión de material bibliográfico sobre características, tipo de material, mezclado de componentes, uso del neumático fuera de uso, así como asfalto modificado con polvo de neumático, ensayos para la evaluación de propiedades, normativas y especificaciones. Luego se realizaron mezclas de asfalto a escala laboratorio con tres proveedores nacionales de polvo de neumático fuera de uso (NFU), optimizando las formulaciones y obteniendo un producto que cumple con las especificaciones internacionales, con características similares a los productos de este tipo disponibles en el mercado.

Entre los años 2020 y 2021 se realizó la primera evaluación técnico económica del producto y el escalamiento banco para pasar de producir 1 kilogramo a 20 kilogramos de asfalto modificado; también se realizaron evaluaciones de riesgo a la salud y al ambiente, así como la solicitud para

la protección intelectual del material asfáltico y el registro de la marca comercial ante el Servicio Autónomo de Propiedad Intelectual (SAPI).

En mayo y agosto de 2022 se realizaron dos pruebas experimentales en campo del producto tecnológico ASFEL™, con la colaboración y participación del Consejo Científico Tecnológico del Estado Bolivariano de Miranda y la Gobernación del Estado Bolivariano de Miranda, donde se pudo observar el desempeño del producto comparado con los productos comerciales utilizados para el sellado de grietas y bacheo en caliente de pavimentos. A continuación, se presentan los resultados más relevantes del cumplimiento de las etapas de la curva de desarrollo de la solución tecnológica de asfalto elastomérico ASFEL™.

ETAPAS DEL DESARROLLO DEL PRODUCTO TECNOLÓGICO

Uno de los primeros pasos para la formulación y desarrollo del producto fue la elaboración de un estado del arte de los materiales utilizados para juntas de dilatación de puentes, así como la identificación de normativas y especificaciones internacionales y productos disponibles en el mercado. Un antecedente importante fue aportado por el laboratorio de Arquitectura de la Universidad Tecnológica de Wuhan en China, donde se realizó un estudio utilizando polvo de NFU mezclado con un ligante asfáltico modificado con polímero SBS, obteniendo una excelente estabilidad a altas temperaturas y buena flexibilidad a bajas temperaturas (Liantong 2013). Los materiales utilizados consistieron en asfaltos modificados con aditivos elastoméricos tipo SBS (*del inglés Styrene Butadiene Styrene*), SBR (*del inglés Styrene Butadiene Rubber*) y polvo de neumático. Sobre la base de este trabajo, se comenzaron a realizar mezclas de asfalto venezolano con altos contenidos de polvo de neumático fuera de uso de tres proveedores nacionales: Ecogomas, Reológica y Tre Stelle, variando condiciones operacionales de tiempo, temperatura y velocidad de agitación, obteniendo tres formulaciones potenciales, las cuales no requieren de otro polímero adicional del tipo SBS para alcanzar las propiedades elásticas requeridas.

Evaluación de propiedades en el laboratorio

Luego de realizar las formulaciones, se evaluaron sus propiedades siguiendo la norma internacional ASTM D5329 *“Standard Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphalt Pavements and Portland Cement Concrete Pavements”* y se compararon con las especificaciones técnicas de la norma ASTM D6297 *“Standard Specification for Asphaltic Plus Joint for Bridges”* para materiales con aplicación en juntas de puentes y las especificaciones técnicas para selladores de grietas ASTM D6690 *“Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements”*. Adicionalmente, se evaluaron dos muestras de productos comerciales provenientes de Estados Unidos de América, la muestra para juntas de puentes DEERY FBJSM de Deery American Corporation y la muestra comercial de sellador de grietas NUVO Elite D de Maxwell Product con el objetivo de comparar sus propiedades con el producto tecnológico ASFEL™. Los resultados de la evaluación del producto tecnológico ASFEL™ comparado con las especificaciones técnicas y las muestras comerciales, se pueden observar en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados de evaluación de propiedades de muestra comercial DEERY FBJSM y ASFEL™ como producto para juntas de dilatación de puentes

Propiedad	Muestra DEERY FBJSM	Muestra ASFEL™	Especificación ASTM D6297*
Penetración por cono, ASTM D5329, 150g, 5s, 25°C (dmm)	52	21	75 máx.
Punto de ablandamiento, ASTM D36, glicerina (°C)	91,7	85,9	83 min.
Flujo, ASTM D5329, 60 °C, 5h (mm)	1	0	3 mm. máx.
Resiliencia, ASTM D5329, 25 °C (%)	67	56	40-70 %

* Norma ASTM D6297 "Standard Specification for Asphaltic Plug Joint for Bridges"

Con la evaluación de propiedades del producto tecnológico ASFEL™ y la muestra comercial DEERY FBJSM se determinó la conformidad con las especificaciones de la norma internacional de ambas muestras, por lo que se confirma su potencial para ser aplicado en juntas de dilatación de puentes.

Tabla 2. Resultados de evaluación de propiedades de muestra comercial NUVO Elite D y ASFEL™ como producto para sellado de grietas

Propiedad	Muestra NUVO ELITE D	Muestra ASFEL™	Especificación ASTM D6690*
Penetración por cono, ASTM D5329, 150g, 5s, 25°C (dmm)	21	24	90 máx.
Punto de ablandamiento, ASTM D36, glicerina (°C)	102,9	91,1	80 min.
Flujo, ASTM D5329, 60 °C, 5h (mm)	0	1	-
Resiliencia, ASTM D5329, 25 °C (%)	36	45	60 min.

* Norma ASTM D6690 "Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements"

Las muestras NUVO Elite D y ASFEL™, cumplen con las especificaciones de la norma ASTM D6690 en los métodos de ensayo penetración en cono y punto de ablandamiento; sin embargo, ambas muestras no cumplen con el porcentaje de resiliencia. Es importante destacar que la norma ASTM D6690 del año 2012 no reporta especificaciones para ductilidad y flujo, aunque las hojas técnicas de este tipo de producto consideran que la resiliencia debe estar por encima de 40 %.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de desempeño en laboratorio comparando una muestra comercial, una muestra de asfalto sin modificar y la muestra de producto tecnológico ASFEL™. Los resultados mostraron un mejor desempeño en la muestra de producto tecnológico ASFEL™ con comportamiento similar a la muestra comercial. En la Figura 1 se pueden observar imágenes de esta evaluación comparativa y cualitativa.

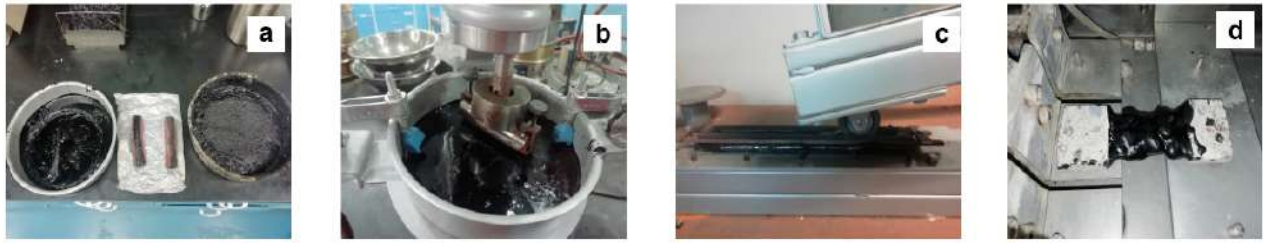


Figura 1. Ensayos de desempeño para muestra de asfalto convencional, muestra comercial y ASFEL™: (a) Ensayo de abrasión 1, (b) ensayo de abrasión 2, (c) ensayo de rueda cargada y (d) ensayo de ductilidad

De igual manera se realizaron pruebas para la producción de asfalto en la planta escala banco de modificación de asfaltos, con su respectiva evaluación de riesgos a la salud y al ambiente para diseñar la Hoja de Seguridad HDS ASFEL™. Se realizó la actualización del estado del arte de este tipo de material asfáltico, tanto para juntas de puentes en el año 2021, como para selladores de grietas en el año 2022, así como también se realizaron dos evaluaciones económicas para la producción de asfalto modificado con polvo de neumático fuera de uso, resultando un proyecto rentable según los indicadores económicos Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno. Para finales del año 2021 se iniciaron los trámites para el registro de la marca comercial del asfalto elastomérico denominado ASFEL™ y solicitud de patente ante el SAPI.

Pruebas de aplicación y desempeño en campo

En mayo del año 2022, el Consejo Científico Tecnológico del Estado Bolivariano de Miranda, a través de la Gobernación del Estado Bolivariano de Miranda, en conjunto con PDVSA Intevep, acordaron producir la cantidad de 10 kilogramos de asfalto elastomérico ASFEL™ para realizar la primera aplicación experimental y evaluación de desempeño en campo utilizando además una muestra comercial para efectos de comparación. Posteriormente, en agosto del mismo año, se realizó la segunda prueba experimental del producto en la rehabilitación menor de vías, con la aplicación de bacheo en caliente. En ambas pruebas se utilizó una máquina mezcladora y aplicadora de sellos de tecnología norteamericana propiedad de la Gobernación del Estado Bolivariano de Miranda, que se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Máquina mezcladora y aplicador de sellos CIMLINE C1 de tecnología norteamericana

El 11 de mayo de 2022 se realizó la primera prueba experimental del producto tecnológico ASFEL™, en la entrada de la Universidad Nacional Experimental del Transporte (antiguo IUT), ubicado en el kilómetro 8 de la carretera Panamericana del Estado Bolivariano de Miranda. La prueba de campo consistió en la aplicación de los dos productos: el comercial NUVO Elite D y el producto tecnológico ASFEL™ en diferentes tramos para comparar su aplicación y desempeño de forma cualitativa. En la Figura 3 se muestran imágenes de la aplicación de ambos productos en la prueba experimental.



Figura 3. Prueba experimental de producto tecnológico ASFEL™ (a,b y c) y el producto comercial NUVO Elite D como materiales para el sellado de grietas de pavimentos

Como rendimiento en la aplicación del sellador de grietas, se pudo determinar que con el producto tecnológico ASFEL™ fue posible tratar 22,2 metros lineales de grietas con un aproximado de 13 Kg de producto, presentando fácil aplicación con la máquina selladora de grietas, un rápido secado o enfriamiento luego de su aplicación así como una buena capacidad de auto nivelación siendo similar al producto comercial. Luego de culminada la prueba de campo y de su resultado exitoso, se sugirió al Consejo Científico Tecnológico del Estado Bolivariano de Miranda, realizar una segunda prueba experimental utilizando el producto tecnológico como material para rehabilitaciones menores mediante el bacheo en caliente.

En agosto de 2022 se realizó la segunda prueba experimental, la cual consistió en la aplicación de los dos productos: El comercial NUVO Elite D y el producto tecnológico ASFEL™ en depresiones (huecos) de la vialidad interna y externa de PDVSA Intevep, para comparar su aplicación y desempeño de forma cualitativa, para esto se utilizó el mismo equipo mezclador y aplicador de sellos CIMLINE C1, pero en modo mezcla para bacheo en caliente. Se seleccionaron cuatro fallas ubicadas en la vialidad interna y externa de PDVSA Intevep; en dos de ellas se utilizaron aproximadamente 200 Kg del producto comercial Nuvo Elite D para cubrir la totalidad de las fallas y en otras dos fallas se utilizaron 30 Kg del producto tecnológico ASFEL™. La Figura 4 muestra las rehabilitaciones menores realizadas, donde ASFEL™ presentó fácil aplicación en el equipo mezclador, rápido secado y buena capacidad de auto nivelación con comportamiento similar al producto comercial.



Figura 4. Aplicación de bacheo en caliente a cuatro fallas en la vialidad interna y externa de PDVSA Intevep utilizando el producto tecnológico ASFEL™ (a y b) y el producto comercial NUVO Elite D (c y d)

Finalmente se realizó la revisión de la Curva de Desarrollo de acuerdo al procedimiento “ Metodología para ejecutar y documentar Proyectos de Investigación y Desarrollo en PDVSA Intevep”, con el fin de establecer el avance del desarrollo del producto tecnológico ASFEL™, considerando todos los resultados obtenidos de la evaluación a escala laboratorio, banco y pruebas de desempeño, evaluaciones de riesgo a la salud y al ambiente, evaluaciones económicas, obteniendo el cumplimiento en un 70 % que abarca las etapas I, II y III de la solución tecnológica y encontrándose en la etapa IV. La Figura 5 muestra la Curva de Desarrollo de ASFEL™.

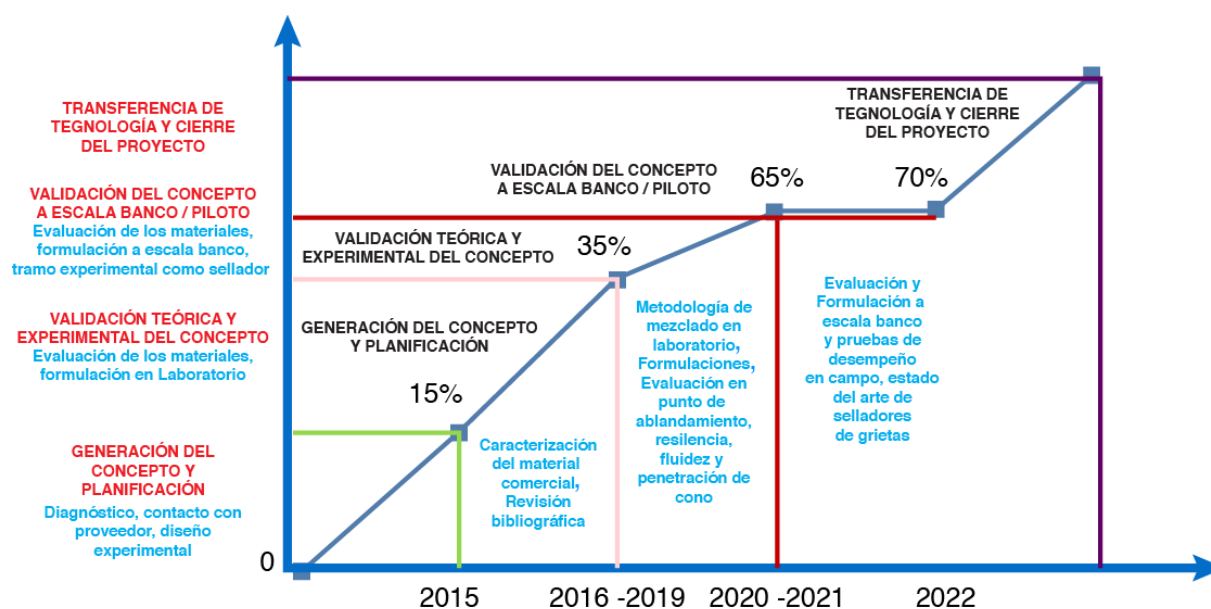


Figura 5. Curva de Desarrollo de ASFEL™

CONCLUSIONES

El asfalto elastomérico ASFEL™ incorpora el uso de un material reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso, sustituyendo los aditivos comúnmente utilizados para este tipo de material flexible de alto costo, como los polímeros tipo SBS (*del inglés Styrene Butadiene Styrene*) o tipo SBR (*del inglés Styrene Butadiene Rubber*).

Al producir este producto tecnológico en el país se estaría contribuyendo con la sustitución de importaciones y a su vez mejorando la red vial nacional con el uso de asfaltos altamente modificados.

ASFEL™ es comparable con los productos comerciales existentes en el mercado para aplicación en juntas de puentes, sellado de grietas y bacheo en caliente en la rehabilitación de vías.

El asfalto elastomérico utilizado en obras de rehabilitación de pavimentos, realiza una reparación temprana en juntas de puentes o en agrietamientos ocasionados por altas temperaturas y cargas vehiculares, evitando daños que requieran de una mayor inversión para su reparación.

Para completar el desarrollo del producto tecnológico ASFEL™ se debe continuar con el escalamiento piloto para avanzar a la etapa de transferencia y cierre del proyecto.

REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard test methods for sealants and fillers, hot-applied, for joints and cracks in asphalt pavements and Portland cement concrete pavements. Method ASTM D5329. 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard specification for asphaltic plug joint for bridges. Method ASTM D6297. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard specification for joint and crack sealants, hot applied, for concrete and asphalt pavements. Method ASTM D6690. 2012.

LIANTONG, M., YANJUN, X., YANG, D. y SHAOPENG, W. Review on asphalt plug joints: Performance, materials, testing and installation. China, 2013.

SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE ADITIVO DEPRESOR DEL PUNTO DE FLUIDEZ PARA BASES LUBRICANTES API GRUPO I, II Y III UTILIZADAS EN LA FORMULACIÓN DE LUBRICANTES AUTOMOTRICES
SYNTHESIS OF POUR POINT DEPRESSANT ADDITIVE FOR API GROUP I, II AND III BASE OILS USED IN THE FORMULATION OF AUTOMOTIVE LUBRICANTS

Germán Velásquez^{a*}, Joe Berroterán^a, Nelson Bessone^a, Carolina Quintero^a, Omayra Delgado^a y Carlos Chinae^b
^aPDVSA Intevep, ^bEscuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
*velasquezgjx@pdvsa.com

RESUMEN

Se sintetizó un aditivo depresor del punto de fluidez para bases lubricantes API grupo I, II y III mediante copolimerización vía radicales libres de monómeros acrílicos y metacrílicos. La síntesis de los monómeros metacrílicos (metacrilato de octilo y metacrilato de hexadecilo) se realizó mediante una reacción de transesterificación, utilizando como precursor metacrilato de metilo y los alcoholes correspondientes en presencia de ácido p-toluensulfónico como catalizador e hidroquinona como inhibidor de polimerización. Los productos purificados se caracterizaron mediante las técnicas de espectroscopía infrarroja, espectrofotometría UV-Vis y espectrometría de masas. Las síntesis de copolímeros acrílicos y metacrílicos fueron realizadas utilizando peróxido de benzoílo como iniciador y base lubricante API grupo II como medio de reacción. Se varió la relación monómero/solvente y el tiempo de reacción. La conversión de monómeros a polímeros se determinó mediante cromatografía de gases y la actividad como depresor del punto de fluidez se evaluó bajo la norma ASTM D97. La actividad del aditivo sintetizado fue similar a la mostrada por un aditivo comercial.

Palabras claves: Síntesis, Depresor, Punto de fluidez, Monómeros, Copolímeros.

ABSTRACT

A pour point depressant additive for API group I, II and III base oils was synthesized by free radical copolymerization of acrylic and methacrylic monomers. The synthesis of the methacrylic monomers (octyl methacrylate and hexadecyl methacrylate) was carried out by means of a transesterification reaction, using methyl methacrylate as a precursor and the corresponding alcohol in the presence of p-toluenesulfonic acid as a catalyst and hydroquinone as polymerization inhibitor. The purified products were characterized by infrared spectroscopy, UV-Vis spectrophotometry and mass spectrometry. The synthesis of acrylic and methacrylic copolymers were carried out using benzoyl peroxide as the initiator and API group II base oil as reaction medium. The monomer/solvent ratio and reaction time were varied. The conversion of monomers to polymers was determined by gas chromatography and the activity as a depressant of the pour point was evaluated under the ASTM D97 standard. The activity of the synthesized additive was similar to that shown by a commercial additive.

Keywords: Synthesis, Depressant, Pour point, Monomers, Copolymers.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de nuevas tecnologías en los últimos años ha surgido la necesidad de desarrollar lubricantes que cumplan con los requisitos técnicos exigidos por los fabricantes de equipos para lograr una óptima operatividad y mayor tiempo de vida útil. Desde la invención de los motores de combustión interna, los lubricantes han sido un componente esencial para su óptimo funcionamiento.

La composición de los lubricantes para aplicaciones automotrices ha ido modificándose para adecuarse a la evolución de la tecnología, siendo los aditivos una parte fundamental en estos cambios. Los lubricantes automotrices contienen generalmente un 70-80 % de base lubricante y el resto de aditivos, que a pesar de encontrarse en menor proporción, ejercen un cambio importante en las propiedades físicas, químicas y de desempeño (Václav 1992).

Las estructuras químicas presentes en las bases lubricantes son las que promueven las propiedades que éstas tendrán. Las bases lubricantes pueden ser de origen vegetal (derivadas de semillas), mineral (derivadas del petróleo) o sintéticas (obtenidas por reacciones químicas) (Haycock *et al* 2004). Las bases lubricantes obtenidas de la refinación del crudo (minerales), son el resultado de una serie de procesos en los que se disminuye la concentración de compuestos no deseados, ya sea por separación física o por conversión catalítica, transformando estos en moléculas con propiedades adecuadas para su aplicación (Lynch 2008).

El número de aditivos que se incorporan a las formulaciones de lubricantes automotrices, específicamente para motores, se ha incrementado a lo largo de los años para que los lubricantes puedan cumplir con sus funciones, entre éstas: Proteger la durabilidad de las piezas y maquinarias, contribuir con el mejoramiento de la economía de combustible, mantener un bajo nivel de emisiones tóxicas, mayor estabilidad termo-oxidativa para soportar elevadas temperaturas dentro del motor; menores viscosidades y disminuir la fricción entre las piezas metálicas, menor contenido de cenizas, fósforo y azufre para proteger los dispositivos de postratamiento de gases de escape (Infineum 2015). Dentro de los diferentes tipos de aditivos para lubricantes de esta aplicación se encuentran los depresores del punto de fluidez, mejoradores del índice de viscosidad, antioxidantes, antiespumantes, dispersantes, detergentes, entre otros. Los aditivos deben ser compatibles entre ellos y con las bases lubricantes en la formulación, ya que pueden generar interacciones tanto positivas como negativas (Rudnick 2017).

Las parafinas lineales o n-parafinas son las principales responsables del incremento de la viscosidad y la disminución de fluidez en las bases lubricantes a bajas temperaturas. Los aditivos depresores del punto de fluidez (DPF) se encargan de retardar la formación de cristales parafínicos, a partir de un fenómeno de co-cristalización que ocurre por la interacción entre las cadenas alquílicas de los ésteres acrílicos y metacrílicos (PAMA) con las parafinas lineales, permitiendo así que la base lubricante pueda fluir a bajas temperaturas (Rudnick 2017).

Los aditivos DPF se producen industrialmente a gran escala como copolímeros, siendo los más utilizados los conformados por los PAMA de diferentes longitudes de cadena lateral. Estos se utilizan ampliamente como aditivos en varias industrias, incluidas la aeronáutica, marítima y automotriz. Entre estas industrias, la automotriz está destinada principalmente a impulsar el crecimiento del mercado de DPF debido al incremento del uso de automóviles en varias regiones en el mundo. El tamaño del mercado de los PAMA como DPF puede experimentar ganancias de más del 3,5 % y se estima un consumo de más de 245 toneladas para 2025 (Ahuja y Mamtani 2019).

La mayoría de los aditivos empleados en la manufactura de lubricantes automotrices e industriales a nivel nacional son importados desde diferentes casas comerciales a nivel mundial, lo que hace a Venezuela dependiente de tecnologías foráneas, las cuales generan mayores gastos y procedimientos para el desarrollo de lubricantes en la nación. En principio, la obtención de aditivos DPF utilizados en la formulación de lubricantes en concentraciones adecuadas y competitivas con aditivos comerciales y que además cumplan especificaciones nacionales e internacionales generarán ciertos beneficios a la industria petrolera nacional, específicamente a los productos marca PDV en cuanto a independencia tecnológica y costos asociados.

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Materiales

Se seleccionaron dos tipos de alcoholes lineales como materias primas para las síntesis de los monómeros metacrílicos: 1-octanol (97 % de pureza) y 1-hexadecanol (99 %). Se utilizó metacrilato de metilo (MMA, 99 %) en la síntesis de los monómeros metacrílicos y acrilato de butilo (BuA, 99 %) en la síntesis de los copolímeros acrílicos y metacrílicos. El ácido p-toluensulfónico monohidratado (PTSA) y la hidroquinona (HQ, 99 %) se utilizaron como catalizador e inhibidor de polimerización, respectivamente, en la síntesis de los monómeros metacrílicos.

Se utilizó peróxido de benzoilo (BzP, 99 %) como iniciador de polimerización. La base lubricante utilizada como medio de reacción en las polimerizaciones es la API Grupo II, debido a que este tipo de base lubricante posee una matriz molecular menos compleja que las bases API Grupo I.

Síntesis y purificación de los monómeros metacrílicos

Los metacrilatos de alquilo se sintetizaron mediante la transesterificación de MMA con alcoholes lineales. Se añadió 1-octanol o 1-hexadecanol y MMA (relación molar 1:2), además de PTSA (1 % m/m) e hidroquinona (1 % m/m) en un matraz conectado a un sistema de destilación continua bajo calentamiento controlado. Estos materiales se calentaron a 120 °C durante 14 horas con agitación constante. Posteriormente, el MMA sin reaccionar se eliminó de la matriz de reacción por destilación atmosférica. El catalizador y el inhibidor se separaron del monómero metacrílico empleando la técnica de extracción líquido/líquido con agua para obtener el metacrilato de octilo (MAO) o metacrilato de hexadecilo (MAHD).

Síntesis de los copolímeros metacrílicos

Polimerización de copolímeros

Se añadió BuA, MAO y MAHD en una base lubricante API Grupo II en diferentes relaciones másicas en un reactor de polimerización Buchiglass equipado con un recirculador de calentamiento controlado, rotor de agitación mecánica y entrada para gas, utilizando BzP al 0,3 % m/m. La reacción se llevó a cabo a 70 °C durante 5 horas con agitación constante y atmósfera de nitrógeno. Se obtuvo polimetacrilato de hexadecilo-co-acrilato de butilo (PHDBuA) y poli(acrilato de butilo-co-metacrilato de octilo-co-metacrilato de hexadecilo) (POHDBuA). En la Figura 1 se presenta un esquema de síntesis, iniciando con la obtención de los ésteres acrílicos y metacrílicos por reacción de transesterificación y culminando en la polimerización vía radicales libres.

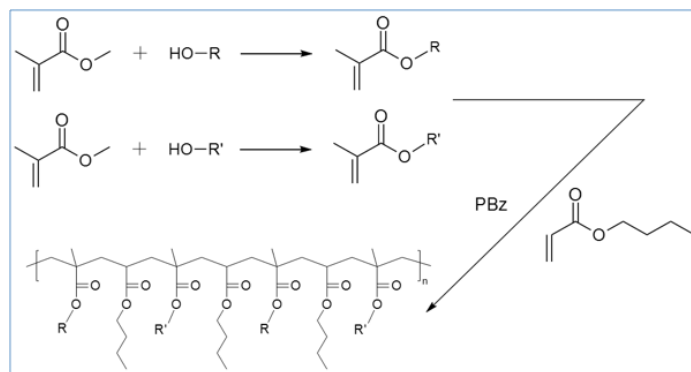


Figura 1. Esquema de síntesis de los copolímeros acrílicos y metacrílicos

Caracterización de los monómeros metacrílicos

Espectroscopia de absorción en el infrarrojo (IR)

Los espectros infrarrojos fueron obtenidos empleando un equipo FTIR Thermo. Las muestras fueron colocadas directamente en el porta muestra del equipo. El espectro correspondiente se determinó en un rango de número de onda entre 400 a 4000 cm^{-1} .

Espectrofotometría ultra violeta - visible (UV-Vis)

Se llevó a cabo en el equipo UV-Vis Shimadzu con una solución a 100 ppm de cada monómero, empleando diclorometano como solvente. Se determinó el espectro correspondiente en un rango de longitud de onda entre 190-400 nm.

Espectrometría de masas

Para la obtención de los fragmentogramas de masas correspondientes a cada muestra, se utilizó un equipo cromatógrafo de gases acoplado a un detector de espectrometría de masas. Aproximadamente 500 mg de cada muestra se disolvieron en 10 mL de diclorometano y se inyectaron en el cromatógrafo de gases. Se utilizó una columna wcot ulti-metal CP-Sil PAH CB de dimensiones: 25m x 0,25mm x 0,12 μm con un flujo constante de 1,3 mL/min (hidrógeno), se utilizó una rampa de calentamiento desde 60 °C hasta 300 °C en un tiempo total de 34 min. Se inyectó 1 μL de muestra, la temperatura del inyector fue de 280 °C. En el detector la temperatura de la interfase fue de 300 °C con la fuente de ionización a 200 °C y un rango de masas de 30 a 550 uma. Los compuestos se identificaron por su espectro de masas asociado (obtenido bajo impacto de electrones) con ayuda de la biblioteca de espectros de masas NIST 2.0 (Año 2011).

Caracterización de los copolímeros

Análisis por calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico

Se pesaron aproximadamente 20 mg de muestra y se colocaron en el porta muestra del equipo analizador termogravimétrico NETZSCH con velocidad de calentamiento de 10 °C/min en atmósfera de nitrógeno, desde temperatura ambiente hasta 900 °C.

Cromatografía de permeación en gel

Se utilizó un Cromatógrafo Líquido, equipado con precolumna PL Gel 5 μm + 2 columnas PLgel Mixed-E (3 μm x 300 x 7,5 mm) + 1 PL Gel 100 Angstroms (5 μm x 300 x 7,5 mm), un detector de índice de refracción, una bomba isocrática y un procesador de datos. La determinación de masa molecular se realizó empleando una curva de calibración elaborada con patrones de polimetilmetacrilato de diversas masas moleculares (3150 Da - 64000 Da). Los patrones se disolvieron en la fase móvil y se eluyeron bajo las condiciones de análisis. Se construyó una curva de calibración de volumen de elución en función de la masa molecular. Se pesaron aproximadamente 15 mg de la muestra y se disolvieron en 1,5 mL de fase móvil (aprox. 10000 ppm). Se colocó en ultrasonido durante 2 minutos y antes de ser inyectada se pasó a través de un filtro de PTFE de 0,2 μm para eliminar cualquier partícula suspendida.

Evaluación del punto de fluidez

El efecto del copolímero en el punto de fluidez se evaluó variando la concentración (0,2 %, 0,5 % y 1,0 %) en diferentes bases lubricantes API Grupo I, II y III. Las características físicas y químicas de las bases empleadas se muestran en las Tablas 1 y 2. El análisis se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D97.

Tabla 1. Características físicas y químicas de las bases API Grupo I

Propiedad, Unidad	Norma ASTM	Grupo I A	Grupo I B	Grupo I C	Grupo I D	Grupo I E
Índice de Viscosidad (adimensional)	D2270	90	96	98	98	96
Punto de inflamación (°C)	D92	199	225	253	313	272
Color (adimensional)	D1500	1,0	1,0	1,0	4,0	4,5
Número ácido (mgKOH/g)	D974	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02
Compuestos saturados (%m/m)	D7419	85,2	88,9	80,0	74,3	86,2
Punto de fluidez (°C)	D97	-9	-6	-9	-6	-3

Tabla 2. Características físicas y químicas de las bases API Grupo II y III

Propiedad, Unidad	Norma ASTM	Grupo II A	Grupo II B	Grupo III A	Grupo III B
Índice de Viscosidad (adimensional)	D2270	104	96	130	127
Punto de inflamación (°C)	D92	223	273	230	260
Color (adimensional)	D1500	0,0	0,0	0,0	0,0
Número ácido (mgKOH/g)	D974	0,01	0,01	0,01	0,01
Compuestos saturados (%p/p)	D7419	99,8	99,8	99,9	99,9
Punto de fluidez (°C)	D97	-12	-12	-12	-12

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las reglas de Woodward establecen una absorbancia máxima de 193 nm para la transición $\pi \rightarrow \pi^*$ de un grupo enona con cadena lateral O-alquilo. Al poseer un sustituyente en el carbono α , existe una contribución batocrómica en la longitud de onda del grupo enona de 10 nm. El solvente utilizado

(diclorometano) no interfiere en la señal, por lo que no tiene contribución en la longitud de onda. El máximo de absorbancia de los monómeros metacrílicos sintetizados está localizado a una longitud de onda de 205 nm. En función de los resultados obtenidos mediante espectrofotometría UV-Visible, se confirma la presencia del enlace C=C α,β -insaturado, destacando en este punto la actividad de la hidroquinona como inhibidor de polimerización (Pavia *et al* 2015).

En el espectro infrarrojo mostrado en la Figura 2, correspondiente al monómero (MAO), se observa una banda ancha de poca intensidad alrededor de 3400 cm^{-1} , la cual es atribuida a la tensión de estiramiento del enlace O-H de los diferentes alcoholes de partida (1-octanol y 1-hexadecanol) que no fueron separados completamente en la etapa de purificación. Entre 2960 cm^{-1} y 2857 cm^{-1} se observan bandas de absorción de gran intensidad atribuida a la tensión de los enlaces C-H de hibridación sp^3 de la cadena alifática y enlaces C-H de hibridación sp^2 del enlace α, β insaturado. En 1721 cm^{-1} se observa una banda de absorción de alta intensidad atribuida a la tensión del enlace C=O conjugado. En 1638 cm^{-1} se observa una banda de absorción atribuida al enlace C=C conjugado. Las bandas de absorción entre 1297 cm^{-1} y 1166 cm^{-1} se atribuyen a la vibración del enlace C-O de la cadena lateral de los diferentes ésteres metacrílicos. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la molécula mantiene el enlace α, β insaturado de partida y un grupo funcional éster enlazado a una cadena alquílica. El espectro IR para el monómero MAHD fue similar al del MAO y cumplió con las características esperadas (Pavia *et al* 2015).

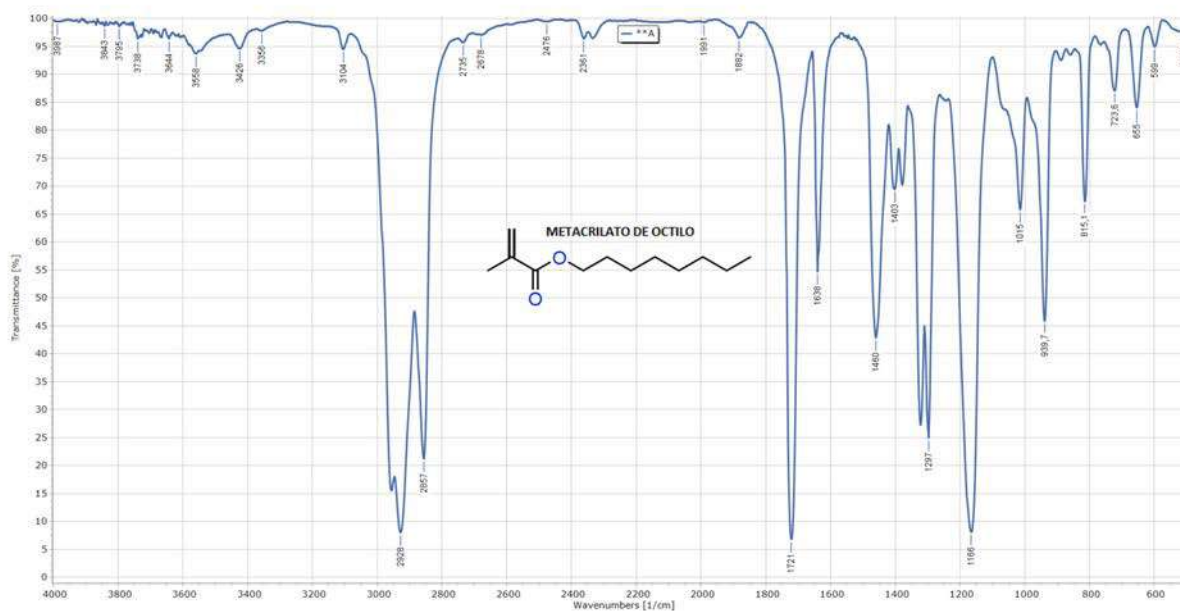


Figura 2. Espectro IR correspondiente al metacrilato de octilo

En la elucidación de estructuras por espectrometría de masas se observa para todos los casos un fragmento de 41 m/z correspondiente al ión $\text{H}_3\text{C}-\text{C}^+=\text{CH}_2$, un fragmento de 69 m/z correspondiente al ión $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(-\text{CH}_3)-\text{C}=\text{O}^+$ y un fragmento de 87 m/z correspondiente al ión $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{=CH}_2)-\text{C}(\text{-OH})=\text{O}^+\text{H}$ (Dunnivant y Ginsbach 2011).

El pico correspondiente al ión molecular de los ésteres de cadena lateral muy larga, como es el caso, muchas veces no es apreciable. Este tipo de ésteres presentan un fragmento característico para su identificación en el espectro de masas, que corresponde a la fragmentación ocurrida en la cadena lateral del éster (Dunnivant y Ginsbach 2011). Para el metacrilato de octilo, el fragmento

característico es de 112 m/z y corresponde al ión ($\text{H}_2\text{C}-\text{C}^+\text{H}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$) y para el metacrilato de hexadecilo el fragmento es de 224 m/z y corresponde al ión ($\text{H}_2\text{C}-\text{C}^+\text{H}(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_3$). El fragmentograma del metacrilato de octilo se presenta en la Figura 3.

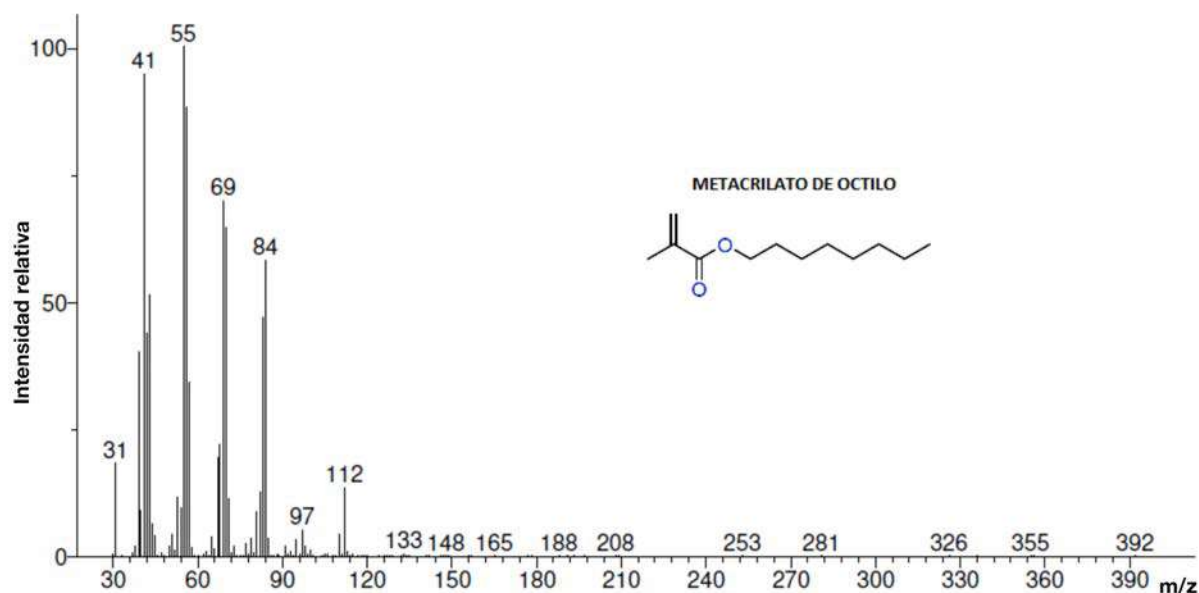


Figura 3. Fragmentograma correspondiente al metacrilato de octilo

Para la síntesis del aditivo depresor del punto de fluidez se empleó, tal como se describe en el procedimiento, un método de polimerización en disolución vía radicales libres, esto con el fin de obtener un aditivo DPF con propiedades físicas y químicas adecuadas para ser utilizado de forma directa en las formulaciones de lubricantes automotrices multigrado. La base lubricante utilizada como disolvente actuó como diluyente en el proceso, facilitando la transferencia de calor, el proceso de agitación y el control de la viscosidad de la mezcla de reacción.

Inicialmente se sintetizaron copolímeros PHDBuA (copolímeros conformados por 2 monómeros) variando la composición del BuA desde 5 % a 35 % m/m, del MAHD desde 35 % a 68 % m/m y de diluyente de 26 % a 60 % m/m. Estos copolímeros mostraron baja solubilidad a temperatura ambiente en bases lubricantes API grupo I, II y III. Al incrementar la temperatura a 50 °C se logró mejorar la solubilidad en algunos casos. Con la finalidad de mejorar la solubilidad de los copolímeros, se sintetizaron materiales POHDBuA (copolímeros conformados por 3 monómeros), variando la composición del BuA desde 6 % a 30 % m/m, del MAO desde 10 % a 18 % m/m, del MAHD desde 20 % a 43 % m/m y de diluyente desde 28 % a 60 % m/m. Se observó que la incorporación del monómero metacrilato de octilo mejoró la solubilidad del material en las bases lubricantes API grupo I, II y III. En los materiales obtenidos se logró miscibilidad a cualquier temperatura. En la Figura 4 se presenta el estudio de la conversión para el copolímero POHDBuA4.

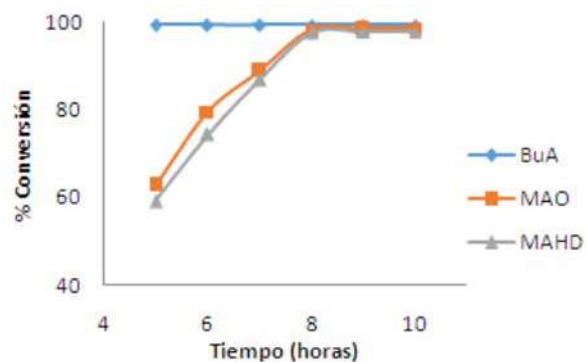


Figura 4. Estudio del efecto tiempo de reacción respecto a la conversión para el copolímero POHDBuA4

En la Figura 4 se observa que en todos los casos las conversiones incrementaron con el tiempo de reacción, con excepción del BuA que presentó alta conversión en menores tiempos de reacción. La conversión del BuA en comparación con los monómeros metacrílicos (MAO y MAHD) es atribuida a su reactividad, ya que éste forma radicales secundarios como grupo terminal de propagación, que son menos estables que los radicales terciarios formados por el MAO y MAHD, en este sentido la estabilidad del radical terciario reduce la reactividad del extremo de propagación para la polimerización. La menor conversión fue de 97,4 % y la mayor de 99,7 %, consiguiendo una estabilidad en la conversión a partir de las 8 horas de reacción.

Los cromatogramas obtenidos por GPC para el aditivo POHDBuA4 y la base lubricante utilizada como medio de reacción se muestran en la Figura 5. En la Figura 5A se pueden observar dos picos, el primer pico eluido entre 13 mL y 18 mL corresponde al aditivo POHDBuA4 y el segundo pico eluido entre 20 mL y 25 mL es atribuido a la base lubricante, como se evidencia en la Figura 5B. El terpolímero POHDBuA4 tiene una distribución de pesos moleculares unimodal con un índice de polidispersidad de 2,03 lo que indica que la distribución de pesos moleculares es medianamente dispersa, típico para el método y reacción de polimerización empleada.

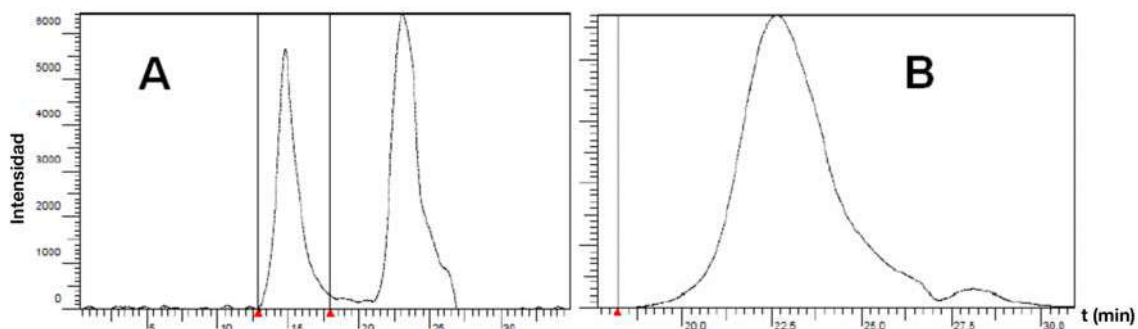


Figura 5. Cromatogramas por GPC del (A) terpolímero POHDBuA4 y (B) la base lubricante

Los valores experimentales de Mn y Mw del terpolímero POHDBuA4 se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Masa molecular y polidispersidad para el terpolímero POHDBuA4

	Iniciador	Mn (Da)	Mw (Da)	IPD (Adimensional)
POHDBuA4	BzP	28698	58374	2,03

En la Figura 6 se presentan las curvas correspondientes al análisis termogravimétrico (TGA) y al análisis calorimétrico diferencial de barrido (DSC) del terpolímero POHDBuA4.

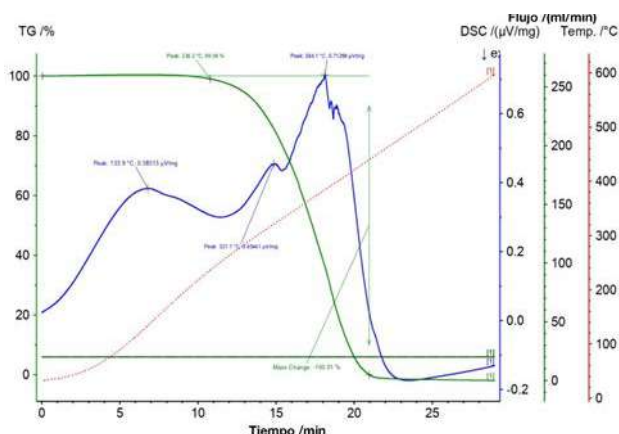


Figura 6. Termograma TGA-DSC para el terpolímero POHDBuA4

La pérdida total de peso fue de 100,0 % en un intervalo de temperatura comprendido desde 25 hasta 600 °C. La pérdida de peso fue menor al 1 % hasta 236 °C, lo que es característico para este tipo de materiales. El 50 % de la masa inicial se pierde a los 320 °C, mientras que la masa total se perdió aproximadamente a los 450 °C. En los intervalos de temperatura evaluados existe pérdida de masa del terpolímero por descomposición y por la evaporación de la base lubricante utilizada como solvente.

La estabilidad térmica obtenida para el terpolímero POHDBuA4 se considera adecuada, considerando que los motores de combustión interna operan a una temperatura promedio inferior a 100 °C; sin embargo, en algunos casos existen puntos en el motor donde se alcanzan 150 °C. En el análisis por DSC se observa un cambio endotérmico a 134 °C sin pérdida de masa y un cambio endotérmico a 321 °C con pérdida de masa, atribuido a la evaporación de la base lubricante. El cambio endotérmico a 384 °C es atribuido a la descomposición térmica de la base lubricante y el terpolímero.

En la Tabla 4 se muestra la actividad promedio de tres determinaciones del punto de fluidez para el aditivo sintetizado al incorporarse a diferentes concentraciones en bases lubricantes API grupo I, II y III.

Tabla 4. Evaluación del punto de fluidez en bases lubricante API Grupo I, II y III

Aditivo	Concentración (%)	Grupo I (°C)	Grupo II (°C)	Grupo III (°C)
Base lubricante sin aditivo		-9	-12	-12
POHDBuA4	0,2	-27	-33	-33
POHDBuA4	0,5	-27	-30	-30
POHDBuA4	1,0	-27	-27	-27

El mejor resultado de punto de fluidez se consiguió con el POHDBuA4 para las bases lubricantes API Grupo II y III, a diferencia de la base lubricante API Grupo I, donde todas las concentraciones

presentaron un desempeño similar. Con base en las pruebas realizadas se logró determinar la concentración favorable para dosificar los aditivos sintetizados, siendo ésta de 0,2 % en peso. En la Figura 7 se observan los resultados obtenidos para la evaluación completa de la actividad en las diferentes bases lubricantes que conforman cada grupo.

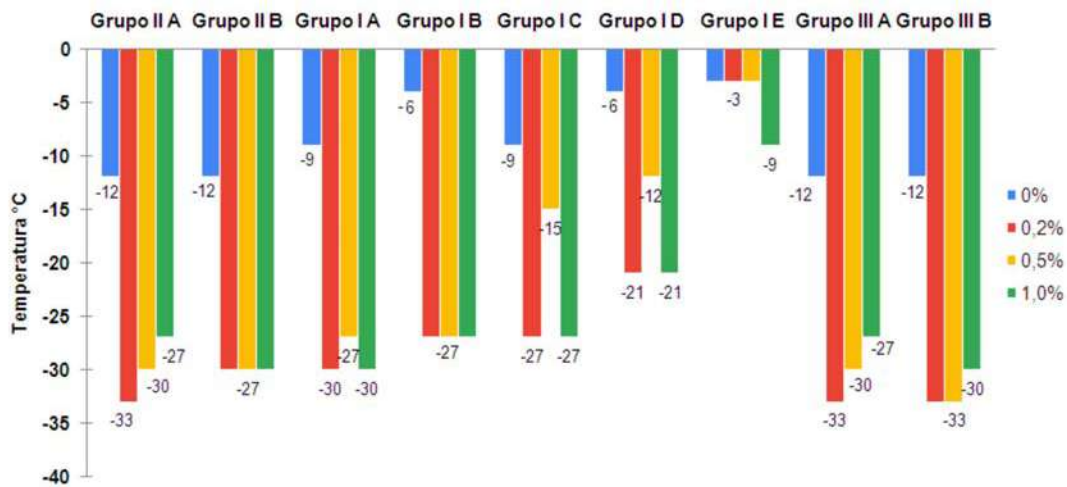


Figura 7. Estudio del efecto de la concentración del aditivo POHDBuA4 en bases lubricantes API Grupo I, II y III

Partiendo de los valores mostrados en la Figura 7, se observan dos desempeños a medida que se incrementa la concentración del aditivo POHDBuA4 desde 0,2 % hasta 1 % en las diferentes bases lubricantes. En el primer caso la concentración del aditivo tuvo un aporte importante, ya que el punto de fluidez disminuyó al aumentar la concentración, este caso se observó en las bases lubricantes API Grupo II A y API Grupo III A. En el segundo caso, se observó que a medida que se incrementó la concentración del aditivo, el punto de fluidez se mantuvo constante. La variación del punto de fluidez máximo alcanzado fue de 18 °C; resultado que se considera satisfactorio al compararlo con el valor reportado por Kang Min Jung (2010) que fue de 21 °C y con los autores Hi Al-Shafey y colaboradores (2018) los cuales obtuvieron una variación de 18 °C. Se evidencia un comportamiento diferenciado entre bases lubricantes con un alto contenido de compuestos aromáticos (API Grupo I) y bases lubricantes con bajo contenido de compuestos aromáticos (API Grupo II y III), ya que este tipo de compuestos afectan negativamente esta propiedad y en mayor medida los compuestos aromáticos policíclicos, aunque en todas las bases lubricantes estudiadas existe actividad depresora.

CONCLUSIONES

Los diferentes monómeros (BuA, MAO y MAHD) se copolimerizaron con tiempos de reacción inferiores a 10 horas, alcanzando conversiones mayores al 97 %.

La espectrometría ultravioleta-visible proporcionó una longitud de onda máxima característica del grupo enona, en los ésteres metacrílicos sintetizados (MAO y MAHD).

La espectroscopia infrarroja señaló principalmente dos bandas de absorción con número de onda característico para carbonilo conjugado, confirmando así la permanencia de este grupo en los diferentes monómeros sintetizados (MAO y MAHD).

Los fragmentogramas obtenidos mediante la técnica espectrometría de masas, mostraron fragmentos característicos para los diferentes pesos moleculares de los monómeros sintetizados (MAO y MAHD).

Los análisis por TGA y DSC mostraron que el aditivo depresor del punto de fluidez desarrollado es estable en un intervalo de temperatura que simula la condición real de trabajo.

Se sintetizó un aditivo depresor del punto de fluidez capaz de disminuir el punto de fluidez en más de 15 °C en bases lubricantes API Grupo I, II y III.

REFERENCIAS

AHUJA, K. y MAMTANI, K. Pour point depressants market size by product (polyalkylmethacrylates, ethylene co-vinyl acetate, styrene esters, poly-alpha olefin). Global Markets Insights. 2019.

AL-SHAFFEY, H. y ARAFA, E. Synthesis and evaluation of multifunction co-polymer as lubricating oils additives. Petroleum and Petrochemical Engineering Journal. Egypt, 2018.

DUNNIVANT, F.M. y GINSBACH, J.W. Gas chromatography, liquid chromatography, capillary electrophoresis - Mass spectrometry. Whitman College Edit. United States of America, 2011.

HAYCOCK, R.F., CAINES, A. y HILLIER, J.E. Automotive lubricants reference book. 2nd Edition. SAE International. United States of America, 2004.

INFINEUM. Aditivos, tipos, procesos indeseables y formulaciones. Lubricating oil additives seminar. Caracas, 2015.

JUNG, K.M. Synthesis of methacrylate copolymers and their effects as pour point depressants for lubricant oil. Wiley Online Library. Korea, 2010.

LYNCH, T.R. Process chemistry of lubricant. Base stocks. CRC Press Taylor & Francis Group. United States of America, 2008.

NAOKI, H. y AKIYUKI, H. Pour point depressant for lubricant. United State Patent. Tokyo, 2012.

NASSAR, A. Preparation and evaluation of acrylate polymers as pour point depressants for lube oil. Petroleum Science and Technology. Egypt, 2007.

PAVIA, D.L., LAMPMAN, G.M., KRIZ, G.S. y VYVYAN, J.R. Introduction to spectroscopy. Cengage Learning Edit. United States of America, 2015.

RUDNICK, L.R. Lubricant additives. Chemistry and application. 3th Edition. Taylor & Francis Group. United States of America, 2017.

SABAGH, A. Synthesis of polymeric additives based on itaconic acid and their evaluation as pour point depressants for lube oil in relation to rheological flow properties. Egyptian Journal of Petroleum, Vol 1. Egypt, 2012.

VÁCLAV, S. y VÁCLAV, V. Lubricants and special fluids. Tribology series, 23. Elsevier Edit. Czecho-Slovakia, 1992.

WANGANG, Z. Synthesis and performance evaluation of pour point depressants for lubricating oil. Advanced Materials Research, Vol 1. India, 2014.

ESTUDIOS GEOMECÁNICOS PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ARENA: UNA HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS
GEOMECHANICAL STUDY FOR THE PREDICTION OF SAND PRODUCTION: A TOOL TO OPTIMIZE THE EXPLOITATION OF HYDROCARBON RESERVOIRS

José Gabriel Haddad Briceño^a y Gilmer José Caldera Guillén^a

^aPDVSA Intevep

*haddadj@pdvsa.com

RESUMEN

La presencia del fenómeno de producción de arena asociada a la explotación de hidrocarburos conlleva a problemas en el fondo de los pozos y en superficie, todo esto implica un costo económico adicional para la industria, es por ello que se plantea como objetivo de este trabajo la revisión de las metodologías de los modelos de arenamiento para los pozos pertenecientes a los campos petrolíferos de Venezuela. El estudio se basó en la construcción de un modelo geomecánico para la predicción de la producción de arena. Este modelo inició con la determinación de las geopresiones, seguidamente se calcularon las propiedades mecánicas de la roca necesarias para cada uno de los métodos a aplicar, se realizaron las estimaciones de las magnitudes de los esfuerzos en sitio y finalmente, se evaluaron los modelos de predicción de producción. Esto último se validó por dos métodos diferentes: El modelo analítico de Willson y el simulador Sand Predictor, obteniendo que si bien ambos métodos calculan la caída de presión crítica empleando distintas variables, los resultados obtenidos fueron los mismos o presentaron mínimas desviaciones, reforzando así la confianza en los análisis realizados.

Palabras claves: Arenamiento, Geomecánica, Predicción, Willson, Caída de presión crítica.

ABSTRACT

The presence of the sand production phenomenon associated with the exploitation of hydrocarbons leads to problems at the bottom of the wells and on the surface, implying an additional economic cost for the industry. In this sense, the goal of this work is to review the calculation model methodologies of the critical drawdown promoting sanding, for wells belonging to venezuelan oil fields.

The study was based on the construction of a geomechanical model for the prediction of sand production. This model began with the determination of geopressures, then the rock's mechanical properties, necessary to apply each method, were calculated and the estimation of the on site-stress magnitudes was made. Finally, the sand production prediction models were evaluated by two different methods, the Willson analytical model and the Sand Predictor simulator. Although both methods calculate the critical drawdown pressure by using different variables, the results obtained either were the same or showed minimal deviations, thus reinforcing confidence in the analysis performed.

Keywords: Sanding, Geomechanic, Prediction, Willson, Critical drawdown pressure.

INTRODUCCIÓN

La producción de sólidos en los pozos es un problema que puede afectar a ciertos activos de la industria petrolera alrededor del mundo, como los equipos de fondo y superficie de los pozos y los niveles de producción; es por ello que generar un modelo de predicción de producción de sólidos que ayude a evitar o controlar el fenómeno de arenamiento en los campos petrolíferos cobra gran importancia.

El arenamiento es un problema que debe ser estudiado de manera multidisciplinaria. Dentro de este conjunto de disciplinas involucradas se encuentra la geomecánica, desde cuyo punto de vista debe disponerse de un conjunto de información destinada a la comprensión del comportamiento mecánico de los geomateriales y al conocimiento de sus diferentes niveles de resistencia; requeridos para la planificación de estrategias de perforación, completación y producción, así como para la corrida de modelos de simulación de yacimientos.

En este artículo se presentan los resultados de la validación de dos metodologías, desde el punto de vista geomecánico, para determinar la caída de presión crítica a partir de la cual los pozos de un campo petrolífero inician la producción de arena.

Arenamiento

El arenamiento se origina cuando los esfuerzos de arrastres y el gradiente de presión son mayores a la resistencia mecánica de la formación, lo cual genera que el material comience a desprenderse (García 2008). El agotamiento del yacimiento y la creación de cavidades alrededor del hoyo, estimulan la redistribución de los esfuerzos e incrementa los esfuerzos en la cavidad. Durante la perforación y producción, se induce la redistribución de estos esfuerzos de formación y en conjunto con la presión de poro pueden exceder la resistencia de la roca alrededor de la cavidad, convirtiéndose en altamente plástico lo que provoca la inestabilidad del hoyo.

Hay varios tipos de mecanismos de falla de arenamiento: Mecanismos de falla bajo tensión o compresión, falla por colapso, falla por cohesión, y falla por corte. Los modelos analíticos y de simulación que se aplicaron en este estudio toman en cuenta el mecanismo de falla por corte. Este tipo de falla es causada por la caída de presión o por el agotamiento. Aquí los esfuerzos de corte actúan en un determinado plano y superan la resistencia del corte del material.

Existen varios métodos para mitigar los problemas de producción de arena cuando el hoyo posee alto riesgo de arenamiento. El primero es el método de prevención de arenamiento, en el cual la producción de arena es controlada a través de ajustes de parámetros de producción como la caída de presión en el fondo del hoyo (*drawdown*), otros métodos consisten en el uso de medios filtrantes como gravas y rejillas, consolidación química, preconsolidación de la formación, forzamiento de gravas con fracturamiento hidráulico, entre otros. Este estudio se enfoca en el ajuste de parámetros de producción como el *drawdown* crítico.

El *drawdown* o caída de presión se define como la diferencia que existe entre la presión de poro y la presión de fondo fluyente (ecuación 1). Al disminuir la presión de fondo fluyente del pozo, la caída de presión o *drawdown* aumenta, esto a su vez produce un aumento del esfuerzo de corte en el hoyo lo que podría causar su colapso, si este esfuerzo excede la resistencia de corte de la roca, el pozo empezaría a producir arena (García 2008). De allí la importancia de este parámetro, pues existe un *drawdown* crítico que establece la condición límite a partir de la cual el pozo producirá arena. Éste se utiliza para determinar el momento del colapso de la matriz de arena y las condiciones a las que los granos de arena pueden ser transportados por el fluido que ingresa al pozo.

$$D_c = P_p - P_{wf c} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

D_c = caída de presión crítica (lpc)

P_p = presión de poro (lpc)

$P_{wf c}$ = presión de fondo fluvente crítica (lpc)

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El flujo de trabajo empleado para la realización del estudio de arenamiento contempló tres etapas, mostradas en la Figura 1.

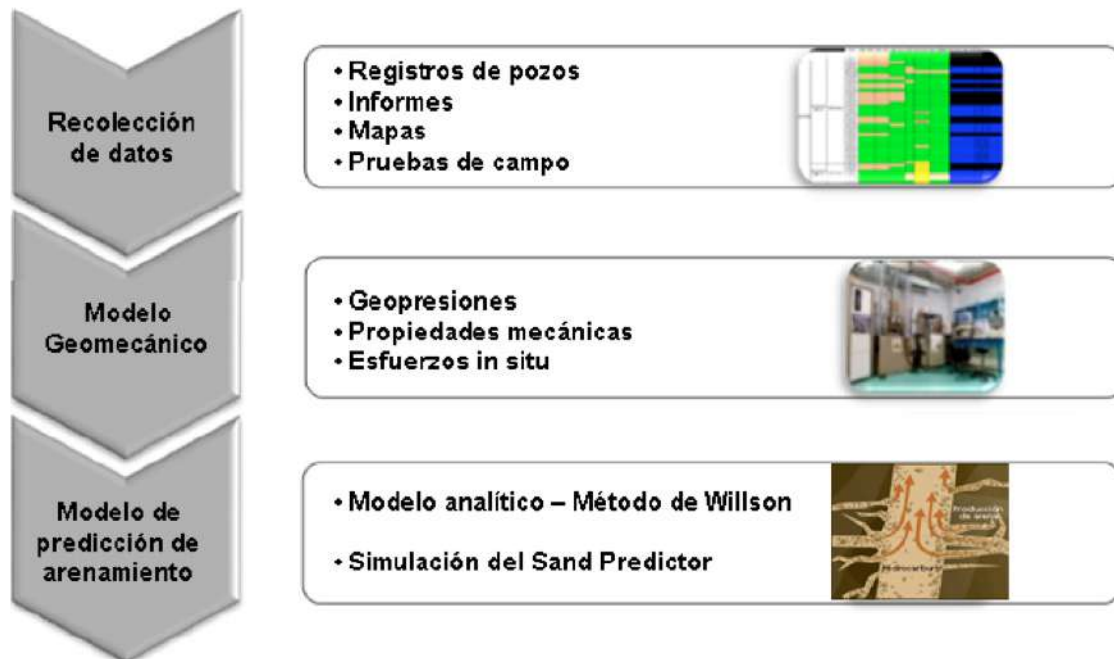


Figura 1. Metodología empleada en el estudio comparativo de los modelos de arenamiento

La primera etapa (recolección de datos) comprendió la búsqueda y validación de la información del campo requerida para realizar un estudio de arenamiento: Sumarios de operaciones de los pozos perforados en el campo, reportes de lodo, reportes de trayectoria de cada pozo a analizar, descripción litológica del área a estudiar, registros convencionales y especiales corridos en campo (rayos gamma, potencial espontáneo, resistividad, cáliper, sónicos, densidad, porosidad, imágenes acústicas y/o resistivas, etc.), pruebas de formación realizadas en el campo (pruebas de integridad, fracturamiento, RFT, MDT, minifrac, microfrac, LOT, XLOT), resultados de ensayos realizados en laboratorio para evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas (UCS, ángulo de fricción, cohesión, módulo de Young, relación de Poisson), así como también informes de estudios previos realizados en el campo que sirvan de apoyo para el área en estudio.

La segunda etapa (modelo geomecánico) comprendió la generación del modelo del área de estudio, conformado por las geopresiones (presión de poro y presión de sobrecarga), las propiedades mecánicas de la roca y los esfuerzos en sitio presentes en la corteza terrestre. En el presente estudio, el modelo geomecánico ha servido de insumo para obtener el modelo de arenamiento, sin embargo, también tiene otras aplicaciones potenciales tales como el estudio de la estabilidad de hoyo, aplicación de cañoneo orientado, estimulación de pozos, estudios de subsidencia, entre otros.

Una vez obtenido y calibrado el modelo geomecánico, se procedió a desarrollar el modelo de arenamiento que representa el objetivo fundamental del presente trabajo. Este modelo comprendió el cálculo del *drawdown* crítico a partir del cual la formación iniciaría la fase de producción de sólidos, esto es, la migración de finos o partículas de arena hacia el pozo. Se realizaron los cálculos por dos métodos distintos, en un principio empleando el método de Willson, metodología analítica probada y validada en distintos campos de Venezuela, y en segundo lugar empleando el simulador Sand Predictor, desarrollado por el instituto Noruego SINTEF, bajo el patrocinio de distintas compañías petroleras a nivel mundial, entre las que se encuentra PDVSA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo de predicción de arena

Existen varios modelos y técnicas de predicción que han sido creados para determinar el parámetro de *drawdown* crítico, los cuales están altamente relacionados con la resistencia de la roca y la presión de poro. Entre algunos de estos modelos podemos nombrar a: Willson (2002), Charlez (1997), Marsala y Moricca (1994), Coates y Denno (1981). Para este estudio se utilizó el modelo analítico de Willson y el uso aplicado del simulador Sand Predictor de SINTEF.

Modelo analítico. Método de Willson

Willson (2002) describe un modelo analítico donde asume comportamiento lineal, elástico y predice el diferencial de presión crítico. El modelo puede ser aplicado a un túnel cañoneado sometido a compresión y a un elemento de la formación cercano a las paredes del hoyo. La siguiente formulación permite predecir la presión de fondo fluuyente al momento de ocurrir el arenamiento. Los esfuerzos actuantes en la cercanía del hoyo se muestran en la Figura 2.

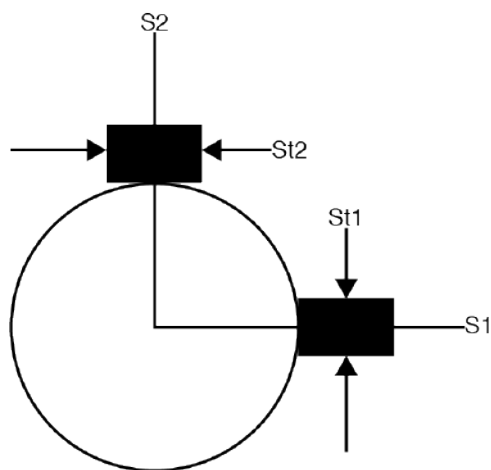


Figura 2. Esfuerzos tangenciales en la pared del hoyo de acuerdo al Modelo de Willson

S₁ y S₂ son los esfuerzos máximos y mínimos respectivamente. A través de las ecuaciones de Kirsh y considerando condiciones dinámicas y poroelásticas, se tiene que los esfuerzos tangenciales (S_{t1} y S_{t2}) están dados de la siguiente manera:

$$S_{t1} = 3S_2 - S_1 - P_w(1-A) - AP_o \quad (\text{ec. 2})$$

$$S_{t2} = 3S_1 - S_2 - P_w(1-A) - AP_o \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

P_w = presión del hoyo

P_o = presión de poro

A = constante de poroelasticidad

S₁ = esfuerzo máximo

S₂ = esfuerzo mínimo

La constante de poroelasticidad viene dada por:

$$A = \frac{(1-2\nu)\alpha}{(1-\nu)} \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

v = relación de Poisson

α = constante de Biot

Para evitar el arenamiento, el esfuerzo efectivo mayor debe ser menor que la resistencia efectiva de la formación, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$S_{t2} - P_w \leq U \quad (\text{ec. 5})$$

Donde:

U = resistencia efectiva de la formación

Y a su vez la resistencia efectiva de la formación (U) viene dada por la siguiente ecuación:

$$U = 3,1 \times \text{TWC} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

TWC = resistencia en la prueba de cilindro de pared gruesa

Wu (2000) generó una correlación entre la resistencia UCS y el TWC para altos rangos de UCS (ecuación 7) la cual se adecúa satisfactoriamente al campo evaluado en este estudio, ya que las formaciones pertenecientes a los campos tradicionales de Venezuela poseen altos UCS (UCS > 3000).

$$TWC=UCS \left(A+Be^{\left(\frac{UCS}{\sigma_0}\right)} \right) \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

TWC= resistencia en la prueba de cilindro de pared gruesa (lpc)

UCS= resistencia a la compresión sin confinar (lpc)

A=1,38

B=11,75

$\sigma_0 = 7,25$

A, B y σ_0 son constantes de regresión.

Adicionalmente este método fue ajustado para ser aplicado en un túnel cañoneado en condiciones semi-estáticas; se toma a los esfuerzos principales perpendiculares a la pared del hoyo como se muestra en la Figura 3.

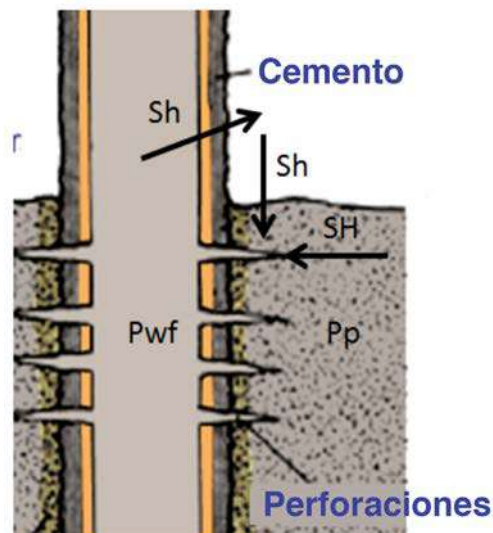


Figura 3. Esfuerzos principales a través de un túnel cañoneado en la dirección del esfuerzo principal máximo

Por lo tanto el *drawdown* crítico viene expresado con la siguiente ecuación para un régimen normal:

$$D_c \leq \frac{1}{2-A} [2P_p - (3S_v - S_h - U)] \quad (\text{ec. 8})$$

Tomando en cuenta todo lo anterior, a partir de la caída de presión crítica y la presión de yacimiento actual se calcula la presión de fondo fluyente crítica. Con este valor y las condiciones actuales del pozo se determinan los intervalos que pueden ser afectados con el fenómeno de arenamiento. En

la Figura 4 se muestran los resultados del comportamiento de la presión de fondo fluyente crítica y la resistencia a la compresión sin confinar para un intervalo cañoneado en el campo evaluado. Los resultados señalan zonas con problemas potenciales de arenamiento.

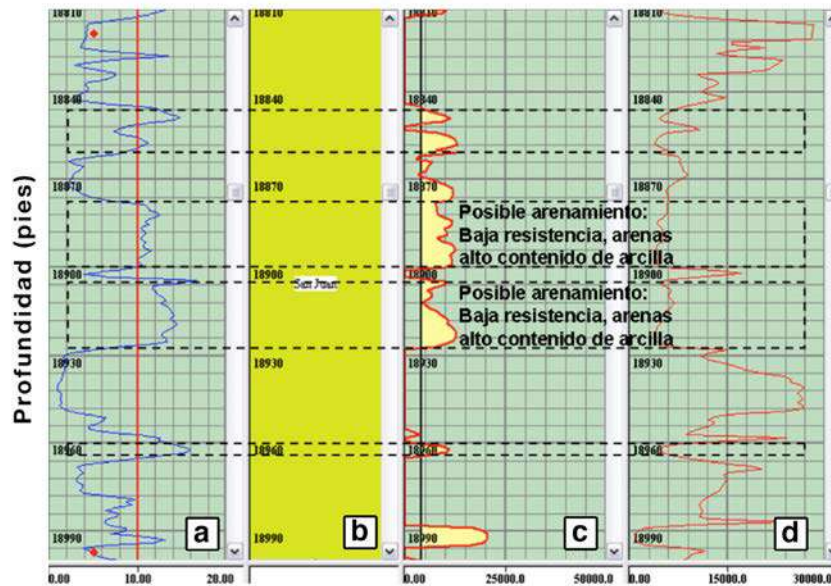


Figura 4. Comportamiento de la presión de fondo fluyente crítica y la resistencia UCS en el campo evaluado: (a) Rayos gamma, (b) formación, (c) presión de fondo fluyente crítica y (d) UC

Seguidamente, basado en el modelo analítico descrito anteriormente, se genera una gráfica que muestra una envolvente de falla que relaciona la presión de fondo fluyente crítica, la presión del yacimiento y diferentes valores de UCS a una profundidad específica (Figura 5).

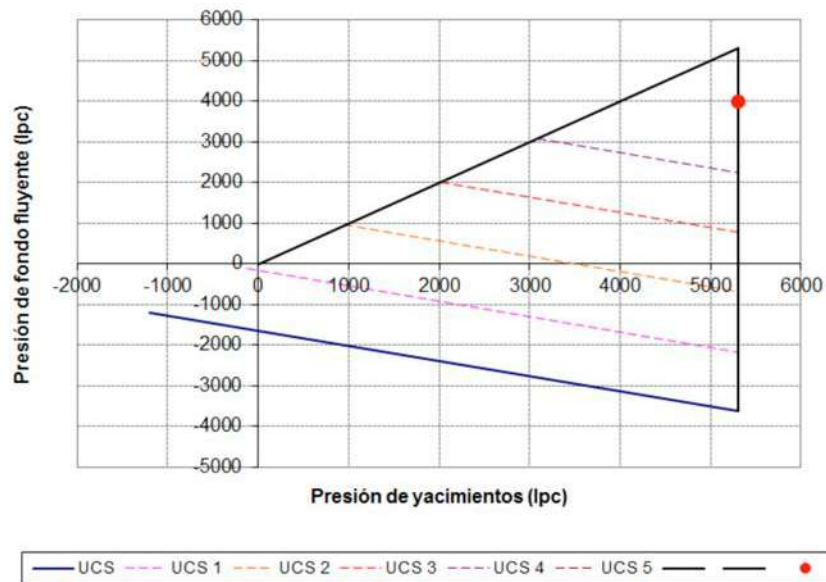


Figura 5. Gráfico de condiciones críticas de arenamiento para una profundidad específica

Simulación del Sand Predictor

El programa Sand Predictor ha sido desarrollado con la finalidad de dar respuestas rápidas en campos donde la producción de arena es un riesgo probable. La herramienta incorpora un modelo semi-analítico 1D que toma en consideración la erosión del material poroelástico bajo flujo y esfuerzos confinados, basado en ensayos de laboratorio de paredes gruesas con flujo radial donde la producción de arena es monitoreada en función de los esfuerzos en sitio, la deformación del hoyo y la tasa de flujo (Zambrano 2011).

Este programa fue desarrollado por el SINTEF, el instituto de investigación independiente más grande de Escandinavia, y se muestra como una interfaz de Visual Basic, que estima la producción de arena en diferentes escenarios de producción de hidrocarburos; también toma en cuenta los escenarios de reducción y agotamiento. El modelo del Sand Predictor es semiempírico, ya que combina correlaciones de pruebas de laboratorio de producción de arena de cilindros huecos y cálculos analíticos de esfuerzos en el pozo (Maza 2011).

El modelo utilizado por el Sand Predictor predice los esfuerzos para la producción de arena y la masa de arena producida en función del estado de esfuerzos y el caudal. Para calcular esfuerzos en el pozo, la herramienta utiliza una función elastoplástica de reducción y agotamiento (Maza 2011).

Para completaciones a hoyo abierto, el flujo de fluido en la cavidad se estima con la ley de Darcy, mientras que para hoyos revestidos y cañoneados, se utiliza una ley empíricamente modificada que considera el patrón de perforación y la densidad de perforación.

El simulador muestra gráficos de la caída de presión crítica en todo el intervalo cañoneado, el cual debe ser comparado con la caída de presión del pozo para determinar si se producirá arena. En la Figura 6 se muestran los resultados del análisis del intervalo cañoneado donde la caída de presión crítica varió de 0 lpc hasta 18000 lpc. Los resultados indican que ciertas zonas producirán arena debido a que bajo cualquier condición de caída de presión del pozo, esta caída de presión superará al límite crítico (en este caso cercano a cero) produciéndose la falla del geomaterial.

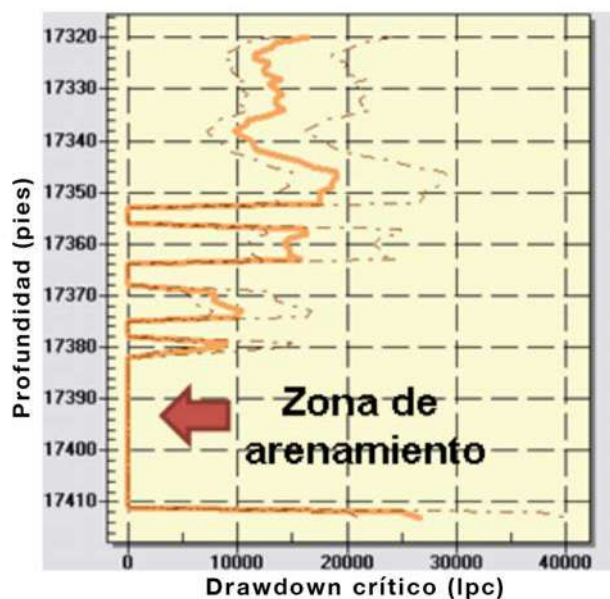


Figura 6. Resultados del comportamiento de la caída de presión crítica para un intervalo cañoneado, arrojada por el simulador Sand Predictor. Caída de presión crítica (línea continua), caídas de presión superior e inferior (líneas discontinuas)

En la Figura 7 se muestra la comparación entre los resultados obtenidos por ambos modelos aplicados. Se observa que los resultados son prácticamente iguales o presentan diferencias mínimas para el mismo intervalo evaluado. Esto permite a su vez reforzar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

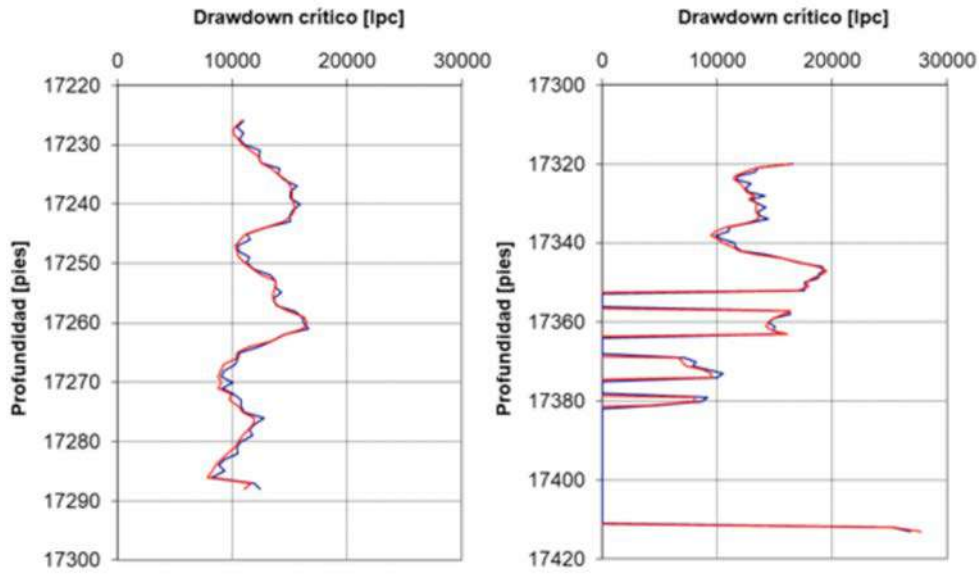


Figura 7. Comparación de los resultados del método de Willson — con el simulador Sand Predictor —

CONCLUSIONES

Comprender los factores que influyen en el fenómeno de arenamiento ayudará a optimizar las estrategias de producción de un campo petrolero.

Los dos factores principales que hacen que un yacimiento sea propenso a producir arena son las propiedades mecánicas de la roca y la presión del yacimiento, y la manera de prevenir que este fenómeno ocurra es por medio del control de las caídas de presión en el fondo del pozo.

Un estudio geomecánico para la predicción de producción de arena aportará las herramientas necesarias para reducir los costos asociados a la intervención de los pozos y al reemplazo de equipos, disminuyendo a su vez los volúmenes diferidos de producción.

Un buen manejo de la producción de arena, contribuye a alargar la vida productiva del yacimiento.

Garantizar el acervo tecnológico del conocimiento generado en PDVSA Intevep permitirá a nuestra industria petrolera y a los profesionales que laboran en ella, mantenerse en la vanguardia tecnológica.

REFERENCIAS

CHARLEZ, P. Rock Mechanics, Vol. 2. Petroleum Application. Editions Technip. 1997.

COATES, G. y DENOO S. Mechanical properties using borehole analysis and Mohr's circle. 22th Simposium SPWLA. 1981.

MARSALA, A. *et al.* Basin scale rock mechanics: Log and core measurements. SPE 28034. Países Bajos, 1994.

MAZA, I. Sand management: Sand volumetric prediction study using SINTEF's Sand Predictor tool. Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics. SINTEF. Noruega, 2011.

MORICCA, G. *et al.* Basin scale rock mechanics: field observation of sand production. SPE 28066. Países Bajos, 1994.

WILLSON, S.M. *et al.* New model for predicting the rate of sand production. SPE 78168. 2002.

WU, B.M. Relationship between thick-walled cylinder and unconfined compressive strength for application in sanding prediction. Girard, Liebman Breeeds & Doe Edit. Pacific Rocks. 2000.

ZAMBRANO, C. Advances in volumetric sand production quantification. Convenio de Investigación y Desarrollo. PDVSA Intevep. Venezuela, 2011.

BASES DE DATOS DOCUMENTALES Y OTROS RECURSOS DE INFORMACIÓN EN ACCESO ABIERTO DE INTERÉS PARA LA INDUSTRIA PETROLERA**DOCUMENTARY DATABASES AND OTHER OPEN ACCESS INFORMATION RESOURCES OF INTEREST TO THE OIL INDUSTRY**

Francis Rosario González Rojas
PDVSA Intevep
gonzalezfrx@pdvsa.com

RESUMEN

Las investigaciones se fundamentan sobre información técnico-científica confiable y actualizada como las revisadas por pares, o de fuentes como los organismos internacionales, entre otros. Muchas de ellas publicadas en recursos de información de acceso abierto disponible en la Internet como parte de la iniciativa mundial de la democratización del conocimiento y el libre acceso a la información. Su identificación facilita la labor del investigador. Por ello, se presenta clasificada por tipología documental una serie de recursos de información en el área de petróleo, petroquímica y gas, principalmente en las temáticas de ingeniería y ciencias puras, en especial la química, que pueden ser consultadas para realizar estudios y para la toma de decisiones.

Palabras claves: Bases de datos, Recurso de información, Acceso abierto, Internet, Cursos abiertos.

ABSTRACT

The research is based on reliable and updated technical-scientific information, such as peer-reviewed information, or from sources such as international organizations, among others. Many of them published in open access information resources available on the Internet as part of the global initiative for the democratization of knowledge and free access to information. Its identification facilitates the researcher's work. For this reason, information resources in the area of oil, petrochemistry and gas, are presented and classified by documentary typology, mainly on the topics of engineering and pure sciences, especially chemistry, which can be consulted to carry out studies and to decision making.

Keywords: *Databases, Information resource, Open access, Internet, Open courses.*

INTRODUCCIÓN

La calidad e importancia de la información de las publicaciones se mide por su impacto en las investigaciones y el avance de la ciencia; una gran cantidad de información técnico-científica con alto factor de impacto está disponible bajo suscripción y es donde la comunidad científica publica ampliamente, debido al reconocimiento de sus trabajos y la visibilidad que les ofrece. Pero otra buena parte son iniciativas educativas y recursos de información de libre acceso cuyo movimiento va en ascenso. Las bases de datos de acceso libre no sustituyen los recursos de información suministrados bajo suscripción, los complementan.

La disponibilidad de bases de datos bibliográficas referenciales y de texto completo de publicaciones periódicas, monografías, patentes, entre otras, son necesarias para realizar estudios y toma de decisiones basado en información confiable y actualizada. La falta de disponibilidad de bases de datos por suscripción limita el acceso al personal de PDVSA Intevep a información de interés para el desarrollo de las actividades de investigación, desarrollo e innovación por lo que, para satisfacer las

necesidades de información del cliente, se hace necesario explorar la disponibilidad de otras fuentes reconocidas o arbitradas, ajustado con tendencias que buscan promover el acceso a la información técnico-científica e intercambio de resultados científicos sin restricciones económicas y legales para favorecer el fortalecimiento del conocimiento, el desarrollo de la ciencia y de las sociedades. El disponer de un portal con los accesos directos a las bases de datos documentales y otros recursos de información de acceso abierto en la Web permitirá orientar al usuario en el uso adecuado de la información disponible en la Internet, realizar la revisión bibliográfica y el acceso al texto completo de la información requerida por los clientes, minimizando los tiempos de búsqueda en la Web.

El estudio se enfoca en la revisión y selección de recursos de información de acceso abierto disponibles en la Web, que respeten los derechos de autor en diversas áreas del saber que sean de interés para la industria petrolera, asociadas con las áreas de petróleo, petroquímica y gas. Dichos recursos de información van a permitir la revisión bibliográfica y el acceso al texto completo de los documentos provenientes de publicaciones arbitradas o destacadas en un área de conocimiento.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Para la identificación de base de datos documentales y otros recursos de información de acceso abierto, se estableció un método de trabajo constituido por cuatro (4) fases como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Método de trabajo aplicado para la identificación de las bases de datos documentales

En la primera fase se seleccionaron de preferencia las fuentes de información primarias, dado que ofrecen profundidad en el contenido, novedad y originalidad para ser incluidas en trabajos de investigación, siendo éste uno de los principales criterios a considerar para el desarrollo del presente estudio, así como también, que las publicaciones sean arbitradas o revisadas por pares, que provengan de fuentes confiables o directamente de casas editoriales, que ofrezcan información técnico-científica actualizada, de libre acceso y de preferencia con acceso a texto completo, pero sin excluir las de tipo referencial.

Las bases de datos seleccionadas son principalmente de tipo especializadas o que abarcan una disciplina científica o área temática en particular y en menor proporción de tipo multidisciplinaria, a fin de brindar servicio tanto a las organizaciones medulares como a las funcionales de la industria petrolera. Para identificar y seleccionar las bases de datos documentales que ofrecen acceso en el área temática de petróleo, petroquímica y gas se seleccionaron las que indexan contenido o se especializan en las áreas del conocimiento de las ciencias puras como la química, y de ingeniería. Por otro lado, se seleccionaron recursos de información que permitan acceder con una sola búsqueda, a varias bases de datos o repositorios en distintos países a la vez, a fin de minimizar los tiempos de búsqueda y cubrir el mayor número posible de instituciones y publicaciones.

En el caso de las plataformas educativas, estas se seleccionaron tomando en consideración que contaran con cursos en idioma español, que su oferta académica incluyera formación en las áreas de ingeniería y las ciencias puras como la química, y que brindaran un amplio catálogo de formación de acceso abierto.

Para la elaboración de las estrategias de búsqueda se utilizaron palabras claves y el operador booleano “AND”. Se utilizó lenguaje controlado con el uso de descriptores como lo son: “base de datos”, “open Access”, *free*, *book*, repositorio, entre otras. De igual manera se hizo uso de lenguaje natural como por ejemplo: “Bases de datos de acceso abierto”, a fin de ubicar el mayor número de resultados relevantes que permitieran la obtención de los recursos de información con acceso abierto en áreas técnico-científicas.

Para la recopilación de la información se verificó la disponibilidad de acceso abierto a recursos de información por parte de algunas casas editoriales. Adicionalmente se seleccionaron bases de datos documentales como resultado de la aplicación de estrategias de búsqueda, provenientes de instituciones, asociaciones o consorcios donde se unen varios países para ofrecer acceso abierto a información técnico-científica, tanto a texto completo como referencial.

Posteriormente se categorizaron los recursos de información según la principal tipología documental indexada para facilitar su posterior revisión, evaluación y consulta. Finalmente se analizaron los datos. Se verificó el acceso de cada base de datos documental y el funcionamiento del motor de búsqueda con la recuperación de la información obtenida, por medio de la ejecución de búsquedas sencillas que contemplaran palabras claves relacionadas con el área temática de petróleo, petroquímica y gas como: “heavy oil”, “crude oil”, *catalysis*, *nanotechnology*, *surfactant*, *hydrocarbon*, “oil and gas”, *chemistry*, *engineering*, *fuel*, petróleo, aceite, entre otras. Y en caso de tenerlo, se verificó la descarga de información a texto completo. De igual modo, se verificó la cobertura que ofrecen y la actualización de la información indexada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una revisión de la información en la Web (Internet) sobre los recursos de información que ofrecen acceso gratuito a información especializada en áreas técnico-científicas de diversas tipologías documentales, con especial interés en fuentes revisadas por pares (arbitradas). Se consultaron diversas fuentes y bases de datos como Vinci, Open Science Directory, los repositorios de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y la Universidad de Los Andes (ULA), el motor de búsqueda Google, entre otros.

La aplicación de todas las estrategias de búsqueda para la recopilación de la información en las bases de datos, motores de búsqueda, blog y páginas Web consultadas de un universo de 2211

registros, arrojó como resultado total la selección de 69 recursos de información de acceso abierto de importancia para apoyar el desarrollo de las actividades medulares y funcionales de PDVSA.

Los resultados fueron categorizados en función a:

1. Base de datos de hojas de datos de sustancias químicas, materiales y toxicología
2. Bases de datos generales de ingeniería y ciencias puras, según su tipología documental
3. Bases de datos de patentes
4. Recursos de información sobre materiales didácticos y formación

A los recursos de información identificados se les realizó un análisis de datos cualitativos, bajo la técnica de observación y revisión de resultados arrojados por cada base de datos documental con el fin de verificar su efectivo funcionamiento, la descarga de información y clasificación para facilitar su consulta. Así mismo, se revisó que la información suministrada no incumpliera con los derechos de autor e incluyera las temáticas de petróleo, petroquímica y gas, en especial las áreas de ingeniería y ciencias puras como la química. A continuación se presentan los recursos de información identificados según la categorización indicada y por tipología documental.

Bases de datos de hojas de datos de sustancias químicas, materiales y toxicología

La química es una disciplina con una enorme producción de datos. El problema estriba en encontrar la información relevante dentro de la enorme cantidad que alberga y se genera cada día en la Internet, bien sea en bases de datos comerciales o de acceso abierto (siendo esta última de gran interés para este estudio), e identificar esos recursos de información que faciliten el trabajo investigativo, como es el caso de la revisión oportuna de las propiedades físico-químicas de una sustancia, la estructura química de las moléculas, información toxicológica, entre otros datos. Se han generado publicaciones donde se resumen recursos de información sólo del área de química (Glander-Höbel 2002, Voigt *et al* 2002). En la Tabla 1 se presenta una serie de bases de datos que ofrecen información de acceso abierto de interés en el área de química como ChemSpider, Chem.com, entre otros, así como las hojas de datos de toxicología de vital importancia para el área de seguridad e higiene ocupacional.

Matweb por su parte, especializada en el área de ciencia de los materiales, ofrece información sobre metales, plásticos, cerámicas y compuestos, como sus propiedades, nombre comercial, entre otros datos.

Tabla 1. Bases de datos generales de ingeniería y ciencias puras, según su tipología documental

Nombre de la Base de Datos	URL	Contenido
Sustancias Químicas		
ChemSpider	http://www.chemspider.com/	>92 millones de estructuras químicas recopiladas en 277 fuentes de datos. Permite búsqueda por nombre comercial, número de registro, entre otros datos.
Chemcenters	https://www.chemcenters.com/	Directorio de productos químicos y compradores
Organic chemistry resources worldwide	https://www.organic-chemistry.org/	Portal de química orgánica que ofrece noticias, reacciones químicas e información general.
Chem.com	https://www.chem.com/catalogs/	Directorio de productos químicos, proveedores. Base de datos comercial con información de acceso abierto.
Organic syntheses	http://orgsyn.org/Search.aspx	Fuente de métodos confiables para la preparación de compuestos orgánicos.
Materiales		
MatWeb	http://www.matweb.com/search/search.asp	> 140.000 hojas de datos de materiales como: plásticos, cerámicas, metales, compuestos, entre ellos los polímeros termoplásticos y termoestables, entre otros.
Toxicología		
Where to find MSDS and SDS on the Internet	http://www.ilpi.com/msds/	Ofrece link a suplidores, base de datos, fabricantes, entre otros.
Pubchem (US National Institutes of Health)	https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/	>111,000,000 registros. Estas no son SDS (Safety Data Sheet), pero incluyen acción/clasificación farmacológica, seguridad/ toxicología y mucho más.
Consumer Products Information Database	https://www.whatsinproducts.com/bands/msds_list/1	>5,135 químicos y 1,268 marcas, ofrece las SDS de productos de consumo común, productos comerciales.
National Toxicology Program	https://ntpsearch.niehs.nih.gov/	>2000 registros, no son SDS, sino información relacionada con MSDS. Permite buscar por número CAS o todo o parte del nombre químico.
OSHA ^a /EPA ^b Occupational Chemical Database	https://www.osha.gov/chemicaldata/	>800 registros, no son SDS, sino una base de datos de propiedades físicas, pautas de exposición, información de la Guía de bolsillo de NIOSH, entre otros.
Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ToxFAQ TM 's	https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsLanding.aspx	>194 registros, no son SDS sino preguntas y respuestas sobre los efectos de las sustancias químicas en la salud. ToxFAQ TM categorizado por nombre de la A-Z. Disponible en formatos HTML y PDF.
NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards	https://www.cdc.gov/niosh/npg/	677 registros tipo SDS para todos los materiales con límites de exposición de NIOSH ^c o límites de exposición permisibles (PEL) de OSHA.

OSHA^a: Occupational Safety and Health Administration, EPA^b: U.S. Environmental Protection Agency, NIOSH^c: National Institute for Occupational Safety & Health

Muchas editoriales se han unido a la iniciativa mundial de poner a disposición de la comunidad académica y científica un importante número de sus publicaciones en revistas, libros, reportes, tesis, entre otros tipos de documentos. Tal es el caso de las editoriales Taylor & Francis, Wiley, IOP Publishing, Beilstein, entre otras. Esta última es una reconocida base de datos del área de la

química cuya licencia otorgada a Elsevier e indexada en la base de datos Science Direct colocó a disposición de la comunidad científica dos de sus publicaciones periódicas: Beilstein Journal of Organic Chemistry y Beilstein Journal of Nanotechnology, indexadas en el directorio DOAJ (Directory of Open Access Journals). La identificación de esas fuentes y bases de datos confiables, actualizadas y de acceso abierto facilita la labor del investigador. En esta sección se presentan esos recursos de información categorizados por tipología documental. La Tabla 2 muestra bases de datos de publicaciones periódicas.

Tabla 2. Bases de datos de Publicaciones Periódicas

Nombre de la Base de Datos	URL	Contenido
Dialnet (Universidad de la Rioja, España)	https://dialnet.unirioja.es/	Ofrece artículos de revista, libros, congresos y tesis en español.
DOAJ (Directory of Open Access Journals)	https://doaj.org/	> 12.000 títulos de acceso abierto y revisadas por pares de 134 países.
Revistas científicas del CSIC	http://revistas.csic.es/index.html	Proyecto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España para difundir publicaciones de España, América Latina, el Caribe y Portugal.
Latindex	https://latindex.org/latindex/inicio	Índice de revistas de investigación científica, técnico-profesionales y de divulgación cultural que se editan en América Latina, el Caribe, España y Portugal
Redalyc	https://www.redalyc.org/home.oe	Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. En el área de investigación científica, técnico-profesionales, entre otros.
Open Science Directory	http://www.opensciencedirectory.net/	> 13.000 revistas académicas multidisciplinarias.
Scielo (scientific Electronic Library Online)	https://scielo.org/index.php?lang=en	Biblioteca virtual. Posee 378 publicación de revistas científicas de América Latina y el Caribe, que datan dentro del periodo de 1909 y 2020
Journals for Free	http://journals4free.com/	>17200 publicaciones periódicas de acceso abierto y de revistas con algún tipo de acceso abierto a sus materiales.
OMICS	https://www.omicsonline.org/open-access.php	>700 revistas revisadas por pares operadas por más de 50.000 miembros del consejo editorial y revisores, y >1000 asociaciones científicas.
Open Access Library	https://www.oalib.com/	Base de datos con > 4.371.008 artículos de acceso abierto de diversas disciplinas académicas.
Wiley Open Access	https://authorservices.wiley.com/open-research/open-access/index.html	Los artículos de acceso abierto de la editorial Wiley disponibles gratuitamente para leer, descargar y compartir
Springer Open	https://www.springeropen.com/	> 200 títulos de revistas de acceso abierto del editor Springer, y algunos libros electrónicos.
Taylor & Francis Online Open Journals	https://www.tandfonline.com/openaccess/openjournals	Taylor & Francis se une a la iniciativa mundial y coloca de libre acceso varias de sus publicaciones periódicas.
IOP Science	https://iopscience.iop.org/	Editorial IOP Publishing posee catálogo de publicaciones <i>Open Access</i> , permite la búsqueda libre en su contenido.
FreeFullPDF	http://www.freefullpdf.com/index.html#gsc.tab=0	>80 millones de archivos en formato pdf de fuentes publicadas en bases de datos comerciales.
Science Research (Motor de Búsqueda)	https://www.scienceresearch.com/scienceresearch/desktop/en/search.html	Motor de búsqueda de la Web profunda. Devuelve resultados de 300 colecciones de ciencia y tecnología.

Las universidades también se han unido a las iniciativas de acceso abierto a nivel mundial, creando sus repositorios electrónicos y colocándolos a disposición de la comunidad académica y científica, a través de la protección de los derechos de autor con la licencia y herramientas gratuitas de Creative Commons (CC) donde los propietarios de derechos de autor pueden usarla para permitir que otros compartan, reutilicen y mezclen su material, legalmente. La ubicación de los repositorios en la Web profunda permite recuperar un mayor número de documentos que son libres, pero no de fácil acceso, ya que las búsquedas en Google solo recuperan la tesis disponibles en la Web superficial. En la Tabla 3 se presentan los repositorios nacionales e internacionales, así como bases de datos de informes técnicos.

Tabla 3. Bases de datos de Repositorios Institucionales e Informes Técnicos

Nombre de la Base de Datos Repositorio	URL	Contenido
Hathi Trust Digital Library	https://www.hathitrust.org/	Colección de audios, libros, enciclopedias, revistas, diccionarios, mapas. De varias Univ. de los EUA
ERIC (Institute of Education Sciences)	https://eric.ed.gov/	Departamento de Educación de los EUA, provee información bibliográfica sobre educación de artículos, libros, entre otros.
CiteSeerX	http://citeseer.ist.psu.edu/index	Motor de búsqueda y biblioteca digital de literatura científica sobre informática y ciencias de la información.
Saber ULA	http://www.saber.ula.ve/	Difunde y preserva el material intelectual de la Universidad de los Andes.
Saber UCV	http://saber.ucv.ve/	Aloja, gestiona y difunde en texto completo: tesis, artículos de investigación, libros, entre otros documentos de la UCV.
Red de Repositorios Latinoamericanos	https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/	>2.300.000 publicaciones de 138 instituciones ubicadas en 19 países, incluye los repositorios de la UCV, la ULA y la Universidad de Oriente (UDO).
Biblioteca Virtual del CSIC	http://bibliotecas.csic.es/biblioteca-virtual	Documentos impresos y electrónicos de la Red de Bibliotecas y Archivos del CSIC y el Repositorio Digital.CSIC de España.
Geological Society of America (GSA)	https://gsapubs.figshare.com/category	Ofrece un enfoque híbrido para la publicación de acceso abierto de oro (el autor paga), acceso abierto verde (repositorio) y artículos de acceso controlado.
DataOne	https://search.dataone.org/data	Federación Internacional de Repositorios de datos sobre observaciones terrestres. >800.000 conjunto de datos (en inglés datasets) y 77 TB (Terabyte) de contenido.
PANGAEA	https://www.pangaea.de/	Casa editora de datos para ciencias ambientales y de la tierra. > Incluye 471 Proyectos y 398.814 conjunto de datos.
Tesis Doctorales		
PQDT Open	https://pqdtopen.proquest.com/search.html	>46.000 documentos a texto completo de disertaciones y tesis doctorales del Editor Proquest
Open Access Theses and Dissertations (OATD)	https://oatd.org/	>5.153.410 tesis y disertaciones de más de 1100 colegios, universidades e Inst. de investigación.
DART-Europe	http://www.dart-europe.eu/basic-search.php	> 828.728 tesis de 619 universidades en 28 países europeos.
Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes	https://www.cervantesvirtual.com/	Tesis en lenguas hispánicas defendidas con éxito en cualquier país del mundo.
Informes técnicos		
Office of Scientific and Technical Information (OSTI).	http://www.osti.gov/home	Recopila, preserva y difunde resultados de I + D de los fondos del DOE.
The National Technical Reports Library (NTRL)	https://ntrl.ntis.gov/NTRL/	Informes técnicos patrocinados por el gobierno EUA.

Al igual que las publicaciones periódicas, existe una creciente necesidad y demanda de literatura de acceso gratuito publicada en libros o monografías, por lo que cada vez hay mayor disponibilidad de los mismos, a través de bases de datos y plataformas sin violentar los derechos de autor. Éstas son fomentadas por organismos internacionales o por la implementación de nuevos conceptos para la obtención de recursos que financien estas iniciativas. En la Figura 2 se presentan algunas bases de datos de acceso a libros electrónicos.

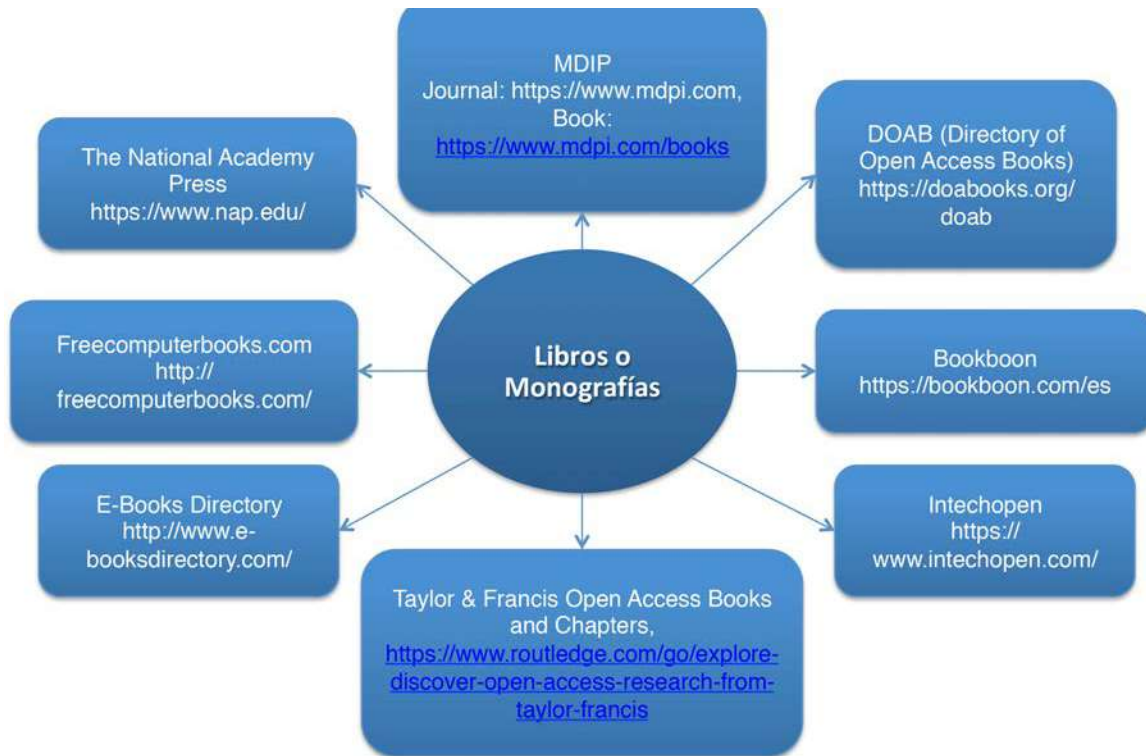


Figura 2. Bases de datos de libros o monografías

Herramientas para el análisis de tecnologías

Las bases de datos de patentes en su gran mayoría son gratuitas para revisión bibliográfica como es el caso de Espacenet, USPTO, Google Patents, entre otras, no siendo así para el análisis de patentes, los cuales son típicamente servicios por suscripción. Sin embargo dentro de las opciones de acceso abierto que poseen módulos de análisis se encuentran: Patenscope, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), The Lens, y Freepatentsonline. En la Tabla 4 se presentan varios servicios de acceso abierto de patentes, y la Figura 3 muestra el mapa tecnológico de los documentos de patentes de PDVSA Intevep por código internacional de patentes (CIP) elaborado con la base de datos The Lens.

Tabla 4. Bases de datos de patentes de acceso abierto y módulo de análisis

Nombre de la Base de Datos	URL	Contenido
Patenscope	https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf	> 71 millones de documentos. BDe de la OMPI. Ofrece análisis patentométrico básico.
The Lens	https://www.lens.org/	>149 millones de registros en >95 jurisdicciones. Patentes, publicaciones académicas y módulo avanzado de análisis de patentes. BD de Cambia, Australia
Espacenet	https://ep.espacenet.com/	>140 millones de documentos de patentes de la OMPI y la OEP ^a
Latipat Espacenet	https://lp.espacenet.com/	Idioma: español y portugués. Patentes de América Latina y España, 19 países incluyendo Venezuela.
US patent and Trademark Office (USPTO)	https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/landing.html	Ofrece acceso a patentes, y marcas registradas de EUA
Freepatentsonline	https://www.freepatentsonline.com/search.html	Patentes y solicitudes de patentes de EUA, Patentes de OEP, WIPO, Alemania y resúmenes de Japón. Requiere registro para el servicio de análisis de datos.
Google Patents	https://patents.google.com/advanced	>87 millones de patentes y solicitudes de patentes de 17 oficinas que incluyen: USPTO, OEP, OMPI, entre otras.

a: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), b: Unión Europea (UE), c: Estados Unidos de América (EUA), d: Oficina Europea de Patentes (OEP) e:BD: base de datos

11 B01J27/051 Performing Operations transporting Molybdenum	9 B01J29/46 Performing Operations transporting Iron group metals or copper	10 B01J29/48 Performing Operations transporting containing arsenic, ..	17 B01J35/10 Performing Operations transporting characterised by their surface ..	9 B01J37/04 Performing Operations transporting Mixing
16 C09K23/00 Chemistry metallurgy Use of substances as emulsifying,	12 C10G1/00 Chemistry metallurgy Production of liquid hydrocarbon	17 C10G47/02 Chemistry metallurgy characterised by the catalyst used	34 C10L1/32 Chemistry metallurgy consisting of coal-oil suspensions or	13 C10L10/18 Chemistry metallurgy use of detergents or dispersants for

Figura 3. Mapa de los Códigos Internacionales de Patentes (CIPR) (versión reformada) de las innovaciones protegidas por PDVSA Intevep

Recursos de información sobre Materiales didácticos y Formación

Existe una gran variedad de materiales educativos gratuitos en la Web y varias iniciativas sobre cursos abiertos como los MOOC o Cursos en línea Masivos y Abiertos (en inglés Massive Open Online Course), los Recursos Educativos Abiertos, REA (en inglés Open Educational Resources, OER) y los Materiales de Cursos Abiertos (en inglés OpenCourseWare, OCW). Dichas iniciativas han emergido en los últimos tiempos para promover el libre acceso y sin restricciones al conocimiento.

Se han creado diversas plataformas educativas tanto gratuitas como privadas para dictar cursos en línea las cuales también son llamadas Sistema de Gestión del Aprendizaje (en inglés Learning Management System, LMS), éstos son software orientados a la transmisión de información formativa no presencial, dichas plataformas educativas permiten gestionar de manera digital todas las variables en un proceso de aprendizaje.

Los MOOC son la evolución de la educación abierta en Internet ya que además de poseer un conjunto de materiales recogidos en línea, tienen contenido estructurado y actividades para evaluar el conocimiento adquirido. En la Figura 4 se presentan algunas plataformas educativas que ofrecen acceso a los MOOC e iniciativas particulares de instituciones.

Los Recursos Educativos Abiertos son fomentados por la Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación (UNESCO, 2015) y según La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico son “materiales digitalizados ofrecidos libres y abiertos a educadores, estudiantes y autodidactas para su uso y reutilización en la enseñanza, el aprendizaje, y la investigación” (OCDE, 2015) Los REA incluyen contenidos de aprendizaje, herramientas de software para desarrollar, utilizar y distribuir contenidos, y recursos de implementación, como las licencias abiertas.

La diferencia entre los REA y otros recursos educativos radica en su licencia que facilita su reutilización y potencial adaptación, sin tener que solicitar autorización previa al titular de los derechos de autor. Merlot y OERcommons son algunos de los recursos de información que ofrecen acceso a los REA. Por su parte, los Materiales de Cursos Abiertos (en inglés OpenCourseWare, OCW) son un subconjunto específico y más estructurado que los REA, ya que se refieren específicamente a materiales universitarios con planificación y evaluación. Tal es el caso de la plataforma MIT OpenCourseWare perteneciente al Massachussets Institute of Technology, cuya iniciativa pionera ha motivado a más instituciones a compartir conocimiento a través de los OCW.

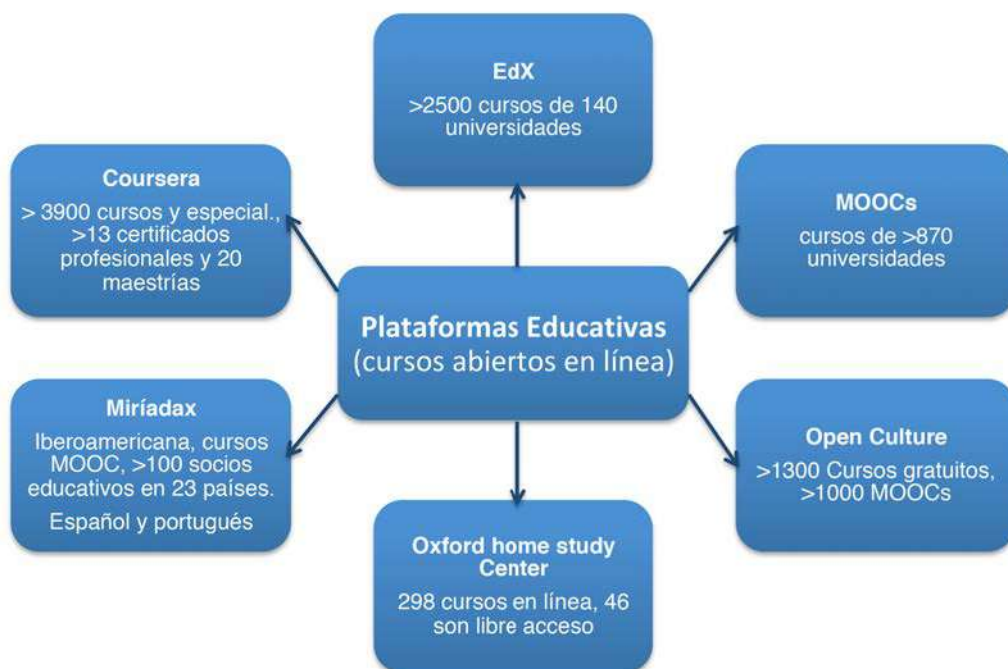


Figura 4. Recursos educativos con formación de acceso abierto

CONCLUSIONES

Se identificaron, como resultado de la revisión llevada a cabo, 69 recursos de información de acceso abierto, organizados en 7 categorías por tipología documental, obteniéndose 16 bases de datos de publicaciones periódicas incluyendo un metabuscador, 13 hojas de datos, 8 bases de datos de libros o monografías, 14 repositorios institucionales, 7 base de datos de patentes, 2 bases de datos de informes técnicos y 9 bases de datos de materiales didácticos y formación. Dichos recursos de información pueden ser aprovechados por los proyectos de investigación, desarrollo e innovación por su contenido y la calidad de la información técnico-científica que ofrecen, para ser usados en la ubicación de fuentes primarias para la elaboración de estudios de estados del arte e inteligencias tecnológicas que apoyen la toma de decisiones.

REFERENCIAS

GLANDER-HÖBEL, C. Internet portals for chemists. *Online Information Review*, Vol. 26, No. 3, p. 146-163, 2002.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA CULTURA, LAS CIENCIAS Y LA EDUCACIÓN (UNESCO). La guía básica de recursos educativos abiertos (REA). Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232986>.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Open Educational Resources. Recuperado de <https://www.oecd.org/innovation/open-educationalresources-9789264247543-en.html>. 2015.

VOIGT, K. y WELZL, G. Chemical databases: An overview of selected databases and evaluation methods. *Online information Review*, Vol. 26, No. 3, p. 172-192, 2002.

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES



1. Visión Tecnológica es una publicación para socializar y difundir aspectos generales y específicos de metodologías, innovaciones, tecnologías y mejoras de procesos asociados al sector de los hidrocarburos y minería, en el contexto industrial y académico a nivel nacional e internacional.

En esta revista serán publicados trabajos inéditos no publicados, anterior o simultáneamente en otras revistas:

- Artículos científicos-tecnológicos
- Estado del arte/alertas tecnológicas/ inteligencias tecnológicas/ análisis de metadatos
- Comunicaciones cortas
- Artículos metodológicos
- Artículos de gestión de la investigación y tecnología
- Réplicas a autores

Artículos científicos-tecnológicos, relacionados con aspectos científicos y tecnológicos inéditos. La contribución debe resaltar aspectos como: aplicación en la industria, novedad y originalidad, fundamentación técnica, desarrollo metodológico, entre otros. La contribución no tiene límite de páginas y uso de figuras y tablas; sin embargo, debe evitarse el uso excesivo e innecesario.

Revisiones del estado del arte/alerta tecnológico/inteligencia tecnológica/ análisis de metadatos, resaltando aspectos como: aplicación en la industria, novedad y originalidad, fundamentación técnica, análisis de tendencias, análisis bibliométricos, entre otros. La contribución no tiene límite de páginas y uso de figuras y tablas; sin embargo, debe evitarse el uso excesivo e innecesario.

Comunicaciones cortas, con el objeto de publicar de una manera expedita información relacionada con los últimos avances o tendencias (innovaciones de PDVSA Intevep o competidores, actualizaciones de áreas de conocimiento producto de asistencias a cursos o congresos, entre otras) en las áreas de conocimiento propias de la industria petrolera. La contribución no debe contener más de dos (2) páginas, se permite el uso de una (1) figura y una (1) tabla.

Artículos metodológicos, con el objeto de ofrecer un mecanismo para comunicar, de una manera rápida y sencilla, el desarrollo de metodologías novedosas, que no se consideran normas, pero ya forman parte del trabajo rutinario de análisis en las áreas relacionadas. El artículo debe presentar de manera clara y concisa los aspectos metodológicos de la propuesta. En lo específico, debe describir detalladamente el alcance, la literatura o referencias íntimamente relacionadas, métodos de ensayos, aplicabilidad o utilidad, muestras, aparatos, reactantes, procedimientos, cálculos, características

del reporte, precisión y comparación con métodos existentes. La contribución no debe contener más de cuatro (4) páginas y no se limita el uso de figuras y tablas.

Artículo de gestión de la investigación y tecnología, que tiene como objeto la publicación de contribuciones de áreas conexas e íntimamente relacionadas que soportan el ciclo de desarrollo de tecnologías y procesos; por ejemplo, aspectos de planificación estratégica, gestión de talento humano, desarrollos de aplicaciones, transferencias de tecnología, entre otros. La contribución no debe contener más de tres (3) páginas, se permite el uso de dos (2) figuras y dos (2) tablas.

Réplicas a los autores, las cuales deberán presentar de manera clara y concisa los aspectos específicos relacionados al antecedente que llevan a enviar una réplica a los autores del artículo ya publicado en VT. Adicionalmente, debe mostrar de manera concreta la propuesta, debidamente justificada considerando la literatura íntimamente relacionada al área, así como su validación teórica-experimental. Todo esto orientado a clarificar los aspectos discutibles o debatibles según el autor de la réplica. La contribución no debe contener más de una (1) página, no se permite el uso de figuras y tablas.

Los siguientes aspectos son de obligatorio cumplimiento por los autores:

1. Los textos se prepararán en formato tamaño carta y a una columna, de acuerdo a la plantilla predeterminada, disponible para tal fin y según el tipo de artículo (comunicarse al siguiente correo para mayor información, cedi@pdvsa.com)
2. **Idiomas oficiales.** Los idiomas aceptados son el castellano y el inglés.
3. **Derechos de autor.** El envío del trabajo por el autor y su aceptación por el Comité Editorial Técnico representan un contrato por medio del cual se transfieren los derechos del autor a la revista.
4. **Envío de trabajos.** Los trabajos deberán ser enviados a la Secretaría del Comité Editorial, ubicada en el Centro de Información Técnica (CIT), INTEVEP, S. A., en Los Teques, por el correo electrónico (cedi@pdvsa.com).
5. **Referencias.** Los trabajos citados deben ser de dominio público,

fácilmente accesibles. Es un listado de las referencias ordenadas alfabéticamente. Cada referencia debe ser citada en el texto, de acuerdo a la norma COVENIN 166 (siendo sus equivalentes internacionales las siguientes: ISO 690 1987/690-2 1997 ó UNE 50 104 94).

6. Ilustraciones. Se mencionarán en el texto. Las figuras se colocarán en páginas separadas, cada una debidamente identificada, y no deberán ocupar más del 50% de la extensión total del trabajo. Debe evitarse el exceso de espacios blancos en las ilustraciones. En general para la publicación de las contribuciones se requieren imágenes de alta resolución en los formatos TIFF o EPS (mínimo 300 dpi). Todas las líneas, letras y puntos en los gráficos e imágenes deben ser lo suficientemente grandes y estar resaltadas de tal manera que permita la reproducción óptima inclusive cuando se reduzca el tamaño para ser incluida en la revista. En el caso de fotografías, estas deben ser usadas cuando son esenciales y deben ser suministradas como deben ser reproducidas exactamente.

7. Tablas. Se incluirán igualmente en páginas separadas, con sus respectivos títulos, y se mencionarán en el texto. Cada columna tendrá un encabezamiento que incluya las unidades de medición. No se usará rayado alguno, excepto líneas horizontales para el encabezamiento. Por otra parte, las tablas no deben duplicar resultados presentados en el cuerpo de la contribución; por ejemplo, gráficos. En los casos donde sea necesario se pueden incluir notas al pie de la tabla y se debe colocar en letra mucho más pequeña que la usada en el texto.

8. Unidades de medida. Finalmente, se debe emplear las unidades del sistema internacional de medidas. Los números decimales escritos con comas y el uso de punto en la numeración sólo está permitido cuando se relacione con monedas.



PDVSA
INTEVEP

V I S I Ó N

TECNOLOGICA

