



V I S I O N

TECNOLOGICA



VISIÓN TECNOLÓGICA VOLUMEN 12

Número 1 / 2010



MIEMBROS ACTUALES DEL CEDI

Presidente

Javier Pérez

Presidente Alterno

Galanda Morfes

Secretario

Luis Tovar

Secretario Suplente

Mary Berroterán

Miembros

Rosa Elena la Cruz
 Rosa Linda Márquez
 Xiomara Gutiérrez
 Iván Machín
 Héctor Pineda
 Omayra Delgado
 † Marianela Arias
 Pánfilo Masciangioli
 Luis Aquino
 Ernesto López
 Douglas Ocando
 Alí Hernández

Visión Tecnológica es una publicación multidisciplinaria de circulación semestral, 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. Microformas disponibles a través de University Microfilms International, 300 N Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106, EE.UU.

Diseño: Simar A. Rodríguez PDVSA Intevep

Fotografías: Fotos de autores

Impresión: Imprenta Nacional

© 2010, Intevep, S. A.

Hecho el depósito legal de ley

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 técnico.

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

ISSN 1315-0855



INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

Visión Tecnológica es una publicación de carácter tecnológico y científico en materia petrolera, petroquímica y afines, cuyo objetivo primario es difundir las innovaciones tecnológicas y científicas del personal de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera venezolana, en el ámbito nacional e internacional.

En esta revista serán publicados:

- artículos de carácter tecnológico y científico, los cuales describen un conjunto de conocimientos técnicos, producto de actividades de investigación, asistencia e ingeniería; o de la experiencia de trabajo, que permitan crear o mejorar un proceso, un producto o una técnica;
- revisiones del estado del arte en temas de carácter tecnológico;
- comunicaciones cortas relacionadas con avances y nuevas técnicas desarrolladas o empleadas en la Industria;
- alertas tecnológicas sobre tópicos de interés particular;
- notas breves, eventos tecnológicos y noticias relativas al área.

Las siguientes normas rigen la revista Visión Tecnológica y son de obligatorio cumplimiento por los autores:

Idiomas oficiales: Los idiomas aceptados son el castellano y el inglés.

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 Visión Tecnológica.

Envío de trabajos: Se aceptarán trabajos inéditos no publicados, anterior o simultáneamente en otras revistas. Deberán ser enviados a la Secretaría del Comité Editorial, ubicada en el Centro de Información Técnica (CIT), Intevep, S. A., en Los Teques, en papel o por correo electrónico (comiteeditor@pdvsa.com). A los efectos de facilitar el proceso de producción, se sugiere utilizar para la elaboración de los trabajos, programas editores que funcionen en ambiente Windows 95, o superior, o sus similares en Macintosh.

Los textos se prepararán en formato tamaño carta, a doble espacio y con todas sus páginas numeradas. Los artículos deberán contener entre 6 y 40 cuartillas, las revisiones entre 40 y 60, las comunicaciones cortas y alertas tecnológicas entre 2 y 5, y las notas breves y noticias, un máximo de 1 cuartilla.

Los artículos y las revisiones serán arbitrados. La publicación del resto del material será potestad del Comité Editorial Técnico.

Título del trabajo: El título completo del trabajo deberá aparecer centrado y en mayúsculas, seguido del nombre del autor y el departamento u organización a la que pertenece. Aparte se colocará el título completo traducido al otro idioma.

Subdivisiones del trabajo: El autor puede subdividir su trabajo de la manera que estime conveniente. Un artículo típico consta de las siguientes partes: (i) título del trabajo; (ii) resumen; (iii) abstract; (iv) cuerpo del trabajo; (v) agradecimientos; (vi) referencias. Debe evitarse el uso de notas al pie de página.

Resumen: Es la representación abreviada del contenido de un documento. Incluye el objetivo principal, la metodología, los resultados y las conclusiones. En el caso de artículos y de las revisiones del estado del arte, su extensión debe oscilar entre 200-250 palabras, y en el caso de comunicaciones cortas, no debe contener más de 100 palabras. El resumen se incluirá tanto en español como en inglés.

Cuerpo del trabajo: Consta de i) un enunciado introductorio, el cual formula el objeto del trabajo y hace referencia a los antecedentes y al alcance; ii) el desarrollo del trabajo propiamente dicho; iii) los resultados, en los que se presenta una explicación e interpretación precisa de los hallazgos; y iv) las conclusiones, donde se describe las implicaciones de los resultados y su relación con el objetivo propuesto. Estas deben ser concisas y no constituir una repetición resumida de la discusión de los resultados. Es posible incluir, en recuadros, información adicional o de soporte, la cual complementa la información presentada en el texto central, pero independiente de éste.

Agradecimientos: Serán muy breves y sólo se incluirán aquellas contribuciones substanciales para el desarrollo del trabajo.

Referencias: Los trabajos citados deben ser de dominio público, fácilmente accesibles. Las referencias se regirán según la norma ANSI. Se colocarán al final, y serán ordenadas según su aparición en el texto. Las llamadas se harán después de cada cita y entre corchetes. La abreviación de los títulos seguirá las normas del Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI). A continuación, se muestran ejemplos de referencias a: 1) monografía, 2) capítulo de una

monografía, 3) publicación periódica, 4) congreso, 5) patente.

1. Dart, R.K.; Stretto, R.J. Microbiological aspects of pollution control. Elsevier Scientific, Amsterdam, 1977.
2. Bluck, B.J. Introduction to sedimentology. En: Eglinton, G; Murphy, M.T.J. eds., Organic chemistry. Springer-Verlag, Nueva York, 1969, pp. 245-261.
3. Galya, L.G.; Suatonil, J.C. Rapid SARA separations by high performance liquid chromatography. J. Liq. Chrom, 3(2):229-242, 1980.
4. Abdul, M.F.S.; Eyre, T.S. Wear coatings on aluminium and its alloys. Bucklow, I.A. ed. The First Int. Conf. on Surface Engineering, 1985, June 25-28; Brighton. Cambridge: The Welding Institute; 1986; 1:203-222.
5. Arias, B. y col.. Hydrocracking catalyst. U.S. patent 4,499,202, 1986.

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.

Si se utilizan fotografías, se elaborarán en papel brillante con buen contraste en los tonos y se colocará la leyenda correspondiente por la parte posterior de la foto.

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.

Unidades de medida: Se empleará el Sistema Internacional de Unidades (SI), salvo en el caso de unidades de uso frecuente por la industria petrolera. Las unidades serán abreviadas solamente si las preceden cifras numéricas. Las abreviaturas no son seguidas por puntos.

Pruebas de galera: Las pruebas serán enviadas al autor para correcciones con respecto al manuscrito original (el cual no podrá ser alterado). Las pruebas corregidas deberán ser devueltas en un plazo no mayor de 5 días.

Separatas: Se entregarán 20 separatas de cada documento mayor de 6 cuartillas.

Era la madrugada del día jueves 14 de diciembre de 1922, cerca de las 4:30, en el Campo La Rosa, Municipio Cabimas, Distrito Bolívar del Estado Zulia, cuando el pozo Barroso II comenzó a inestabilizarse. La Caribbean Petroleum Corporation, subsidiaria del Grupo Royal Dutch, se ve sorprendida por el derrame incontrolado de este pozo, acontecimiento que hoy conocemos como “el gran reventón”. Para entonces, la actual Ciudad de Cabimas era una pequeña aldea con olor a pescado fresco mañanero, el camino entre La Vereda y La Misión, escoltada por los cocoteros, se realizaba a pie y el transporte terrestre era ejecutado a lomo de burro. Hacia el sureste de ese caserío, recostada a la ribera oriental del lago, estaba la puesta en escena de esa madrugada.

Los testigos del momento expresaban que el pozo Barroso II comenzó a disparar piedras y “roncaba”, para luego comenzar a expulsar gas y petróleo a gran presión, pero a baja altura, hasta que las piedras salieron rompiendo la corona de la cabria. La columna de petróleo negro creció y llegó a casi los 45 m de altura. Así, durante casi 9 días, arrojó un promedio de cien mil barriles de petróleo por día, en tiempos cuando en el país sólo se producían aproximadamente 6 mil barriles diarios. Sin duda, el pozo Barroso II marcó el comienzo de la alborada de la industria petrolera en Venezuela, dejando ver al mundo la riqueza petrolífera del subsuelo de estas tierras.

Luis Cordero Velásquez, en su libro “La Venezuela del viejo ferrocarril” (1990), menciona que Henry François Pittier tiene ocasión de viajar al Zulia y observar el violento y activo reventón del pozo Barroso II. Pittier describió el desastre ecológico de este modo: “el pozo se hallaba en la proximidad de una pequeña cañada, se formó inmediatamente un río de petróleo que fue a parar al lago, a poca distancia de Punta Icotea, formándose en la superficie de aquel, una capa que se extendió ulteriormente hasta Maracaibo”. Como es de suponerse, las emanaciones descontroladas de petróleo se detuvieron solas y el pozo se taponó a sí mismo por el derrumbamiento de sus paredes. Muchas líneas se han plasmado discutiendo el impacto que este y otros eventos acaecidos en Venezuela han causado al ecosistema.

Este acontecimiento, dentro del marco de sucesos de la época, y muchos otros más que le siguieron, desencadenaron la secuencia de eventos que hasta nuestros días han contribuido al daño ecológico del Lago de Maracaibo y sus alrededores, con impactos repentinos y directos en la vida social, cultural, ambiental y económica de la región. El ecosistema del Lago de Maracaibo fue afectado junto con otras fuentes de agua, alrededor de las cuales dependía el circuito agro de la región y formas de vida cotidiana. Así se comienza a trazar, en la República Bolivariana de Venezuela, el largo camino de la ecología en su consolidación como una ciencia natural en la defensa de esta tierra de Bolívar. La palabra ecología, ökologie, que etimológicamente quiere decir “estudio de la casa”, fue propuesta por Ernst Haeckel 53 años antes, y representa la interdependencia y la solidaridad sistemática entre los seres vivos y el medio ambiente. Contribuyendo en esta importante tarea de proteger “nuestra casa”, a través del desarrollo de nuevas tecnologías, procedimientos y reformulación de viejas ideas, PDVSA Intevep, con este volumen de la Revista Visión Tecnológica, dedica el 80% de su contenido al tema ambiental.

El primer artículo enmarcado en esta área de conocimiento trata sobre el estudio de la biodegradabilidad anaeróbica de fluidos de perforación base de aceite. El trabajo está sustentado en el manejo de los rípios impregnados con fluidos de perforación base de aceite mineral o sintético, costa afuera, los cuales pueden ocasionar un impacto ambiental importante en casos de derrames accidentales. El trabajo evalúa el impacto sobre las comunidades bentónicas y la biodegradabilidad anaeróbica de los fluidos de perforación preparados con las bases de: aceite sintético Iso Olefina Interna C16-C18 [IO], aceite mineral desaromatizado [AMD] y éster vegetal [Greenoil®], densificados con Orimatita® y Barita. Los resultados muestran que los fluidos preparados con aceite sintético del tipo IO y Greenoil® son más biodegradables anaeróbicamente que los base de aceite mineral desaromatizado.

El siguiente trabajo, presentado por la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional, trata sobre la importancia del uso de productos biodegradables en las actividades de la industria petrolera. Los autores nos guían a través de la estrategia ambiental de la corporación, orientada a minimizar desde la fuente, la generación de efluentes líquidos y desechos sólidos e implantar un plan de gestión integral en la disposición final de estos desechos. Otro trabajo de investigación está orientado a la inhibición de la formación de incrustaciones provenientes de las aguas de producción de crudo, mediante la aplicación de campo magnético. Los resultados obtenidos indican que el campo magnético acelera la velocidad de asociación de los iones presentes en las aguas, lo que permite la precipitación de carbonato de calcio [CaCO₃] bajo estructuras amorfas y de dragonitas, las cuales pueden tener menor carácter incrustante que la calcita. El último trabajo estudia la eficiencia operativa de un humedal de flujo superficial, construido a escala piloto para la remoción de concentraciones moderadas de compuestos fenólicos y de hidrocarburos totales de petróleo de las aguas de producción. Los resultados mostraron que los humedales removieron más del 90% de estos contaminantes en el agua.

Finalmente, la Gerencia Funcional de Automatización, Informática y Telecomunicaciones muestra un estudio sustentado en la implantación de un sistema de comunicaciones unificadas para optimizar la asistencia técnica especializada en la Refinería de Puerto La Cruz. La solución tecnológica propone la integración vía XML de los diferentes servicios de información de la empresa y la colaboración remota y mensajería unificada, con el objetivo de maximizar el uso de la infraestructura de telefonía IP implantada en la corporación.

Casi al cierre de esta edición de Visión Tecnológica que, y permítannos el lugar común, por una de esas ironías del destino está dedicado casi en su totalidad al tema ambiental, nos enteramos del sensible e inesperado fallecimiento de nuestra compañera y amiga Marianela Arias. Hablamos de ironía porque su vida profesional la orientó casi exclusivamente al área ecológico-ambiental, pero Marianela, además, fue una mujer comprometida con las luchas sociales, militante del PSUV y siempre dispuesta a colaborar y promover toda acción tendiente a impulsar el proceso de cambios que hoy vive nuestro país, por eso Marianela, cada vez que se nombre al ambiente, cada vez que se nombre la solidaridad, cada vez que se nombre la revolución, te estaremos nombrando.

Marianela Arias fue luchadora incansable, profesional técnico especializado, madre, esposa, hija, hermana y amiga sin igual, nació en Caracas, donde realizó sus estudios de primaria y secundaria. En cuanto a sus méritos académicos, podemos comenzar especificando que cursó estudios en la Universidad Central de Venezuela donde se graduó de Licenciada en Biología, en 1987. En 1988, la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho le otorgó una beca-crédito para la realización de un programa de maestría en la Universidad de Oriente, el cual finalizó en 1991. En el año 1992 Intevep, mediante el programa “Reto con Futuro”, le otorgó una beca para la realización de un doctorado (PhD), en Biología, mención Microbiología en el Departamento de Biología Celular y Molecular del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), el cual culminó en 1998.

Con respecto al campo profesional, desde 1983 a 1987 fue técnico asistente de laboratorio en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Biomedicina de la Universidad Central de Venezuela. De 1987 a 1989 fue Investigador II en el mismo Instituto. Desde 1989 a 1990 fue Investigador II en la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental del Departamento de Endemias Rurales del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. De 1990 a 1992 laboró como investigador asociado en Proservfacica C.A. en la Facultad de Ciencias de la UCV. En 1992, ingresó a Intevep en la Gerencia de Ecología y Ambiente como especialista del grupo técnico de Ambiente e Higiene Ocupacional, en donde contribuyó a la realización de diversas actividades como la adaptación y desarrollo de tecnologías para el tratamiento manejo y disposición de desechos sólidos. Liderizó proyectos para el biotratamiento de desechos petrolizados, saneamiento de pasivos ambientales, suelos impactados por crudo, fosas petrolizadas y calidad ambiental de fluidos de perforación (biodegradabilidad), entre otros. Más recientemente, fue tutor de la pericia de “Tratamiento y disposición de desechos sólidos y restauración de ecosistemas”. También fue líder del proyecto “Plan Tecnológico Corporativo para el Saneamiento de Pasivos y Restauración de Áreas Afectadas” adscrito a la Dirección Ejecutiva de Ambiente. Fue líder de pasivos ambientales de PDVSA Intevep y coordinador técnico adjunto del Comité Técnico Corporativo para el Manejo y Recuperación de Áreas Afectadas por Pasivos Ambientales. Fue miembro principal del Comité Técnico Editorial de PDVSA Intevep desde 2003, siendo pieza clave en el área ambiental de este Comité, realizando la evaluación de numerosos trabajos a los cuales aportó su experiencia técnica para enriquecerlos. De igual manera, formó parte del Comité Técnico del V Seminario Internacional de fluidos de perforación y cementación de pozos (V SEFLUCEMPO, 2004). Para finalizar, por pocos meses, fungió como Gerente Técnico de la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional de PDVSA Intevep.

En cuanto a reconocimiento recibidos, le otorgaron premio al mejor trabajo del V Seminario Internacional de fluidos de perforación y cementación de pozos (V SEFLUCEMPO, 2004). Además, recibió el reconocimiento a la Producción Editorial en cuatro ocasiones (2005, 2006, 2007 y 2008) por el abundante número de documentos presentados en eventos y revistas nacionales e internacionales.

Acerca de su contribución social, podemos resaltar que en los años 80 participó en los comités de solidaridad y defensa de los procesos revolucionarios de Nicaragua y El Salvador. Asimismo, fue simpatizante del partido PRV-RUPTURA, en la Universidad Central de Venezuela. Durante el sabotaje de la Industria Petrolera, en 2002, participó de manera activa en la recuperación de PDVSA. Fue militante del PSUV desde los inicios de este partido y fue enlace por PDVSA Intevep en el municipio Los Salias. Además, en 2009, fue coordinadora por PDVSA Intevep de la Sala Situacional del municipio Los Salias, durante el proceso y campaña por la Enmienda Constitucional. De igual manera, Marianela, fue promotora, en el municipio Los Salias del Frente de Mujeres Bolivarianas, Socialistas y Chavistas del estado Bolivariano de Miranda, también fue vocera de patrullas del PSUV, Territorial de El Amarillo y Sectorial laboral en PDVSA Intevep. En los últimos meses, propició la formación del colectivo ecosocialista “Guardianes de la Mariposa”, en el municipio Los Salias, promoviendo la mejora de la calidad de vida de los habitantes de dicho municipio. Además, fue candidata en las elecciones primarias realizadas por el PSUV a comienzos de 2010 para seleccionar los candidatos a la Asamblea Nacional.

En resumen, en sus propias palabras, Marianela “... puso al servicio de la revolución su formación técnica en el área socio-ambiental y sus valores morales y revolucionarios para la consolidación del Socialismo del siglo XXI... Asimismo, fue parte comprometida del proceso de transformación social profunda, radical y política que promueve la ética revolucionaria respetando los derechos fundamentales, luchó para lograr beneficios sociales en hombres y mujeres para el surgimiento de compatriotas socialmente responsables, que promuevan el desarrollo humano, privilegiando lo colectivo sobre lo individual, tomando en cuenta los valores y la ética socialista en la búsqueda de la mayor suma de felicidad posible...”

Para concluir, más que una serie de logros profesionales, personales y sociales, Marianela Arias era un ser humano pleno, que enriqueció con su experiencia a todos los que tuvimos la oportunidad de compartir con ella.

Despedimos entonces esta edición, esperando encontrarlos en la próxima con más aportes novedosos para el mejoramiento de nuestros procesos y maneras de hacer, para crecer y alcanzar las metas del desarrollo nacional.

Javier Antonio Pérez Arredondo
Editor Técnico

TABLA DE CONTENIDO | VISIÓN TECNOLÓGICA

- 9 **INTEVEP IMPLANTA COMUNICACIONES UNIFICADAS PARA OPTIMIZAR LA ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIALIZADA EN LA REFINERÍA DE PUERTO LA CRUZ**
Alexander Molero, Evelyn Jiménez, Cesar Ortega, Alberto Oropeza, Antonio Dos Santos
- 21 **ESTUDIO DE LA BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE FORMULADOS PARA DESARROLLOS COSTA AFUERA**
STUDY OF ANAEROBIC BIODEGRADATION OF OIL BASED DRILLING FLUIDS FORMULATED FOR OFF SHORE DEVELOPMENTS
Ezequiel Zamora Ledezma, José Vicente García, Víctor Carrillo, Pedro Colombo, (†)Marianela Arias, Katuska Aguilar
- 27 **HUMEDALES CONSTRUIDOS: UNA OPCIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN VENEZUELA**
CONSTRUCTED WETLANDS: AN OPTION FOR VENEZUELAN OIL INDUSTRY WASTE WATER TREATMENT
Antonio Quilice, Fernando Camacho, Julio Manzanares
- 39 **IMPORTANCIA DEL USO DE PRODUCTOS BIODEGRADABLES EN ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA PETROLERA**
IMPORTANCE OF THE USE OF BIODEGRADABLE PRODUCTS IN PETROLEUM INDUSTRY ACTIVITIES
Pedro Colombo, Maidelly Durán, (†)Marianela Arias, Moriel Salcedo
- 47 **INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES PROVENIENTES DE LAS AGUAS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO**
INHIBITION OF SCALE FORMATION FROM PRODUCED WATERS THROUGH MAGNETIC FIELD
Rossysbell Fonseca, Víctor Londoño, Nelson Silva, Fernando Camacho
- 61 **PATENTES**
- 63 **ÍNDICE DE AUTORES**



VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA



INTEVEP IMPLANTA COMUNICACIONES UNIFICADAS PARA OPTIMIZAR LA ASISTENCIA TÉCNICA ESPECIALIZADA EN LA REFINERÍA DE PUERTO LA CRUZ

RESUMEN

Alexander Molero
PDVSA Intevep

Evelyn Jiménez
PDVSA Intevep

Cesar Ortega
PDVSA Intevep

Alberto Oropeza
PDVSA Intevep

Antonio Dos Santos
PDVSA Intevep

Con el objetivo de optimizar el proceso de asistencia técnica especializada (ATE) que brinda Intevep a la Refinería Puerto La Cruz (RPLC) se implantó una solución innovadora de Tecnología de Información y Comunicación (TIC). Con base en mejores prácticas, casos de éxito y lecciones aprendidas en TIC se identificaron las siguientes áreas de interés: Aplicaciones, Automatización, Infraestructura Tecnológica, Integración y Telecomunicaciones. Para cada una de estas áreas se realizó un diagnóstico de la situación actual de la plataforma tecnológica (¿Cómo estamos?), diseño de la situación ideal (¿Cómo deberíamos estar?) y el establecimiento de cierre de brechas (¿Cómo hacer para alcanzar el deber ser?). Como producto de las actividades mencionadas en el área de telecomunicaciones se materializó una propuesta de comunicaciones unificadas basada en telefonía IP. Mediante un estudio de evaluación de las diferentes soluciones tecnológicas se seleccionó la que ofrecía mejores prestaciones tanto a nivel funcional como a nivel técnico, procediendo a su respectiva implantación. La solución tecnológica incluye integración vía XML de los diferentes servicios de información de la empresa (Paginas Blancas, SIGELAB, Eferm, Star-Lims, Infoplus y Reportes AIGT), Colaboración Remota y Mensajería Unificada, de manera de optimizar el proceso de asistencia técnica especializada, maximizando el uso de la infraestructura de telefonía IP implantada.



Intevep, como brazo tecnológico de Petróleos de Venezuela, se fundamenta en tres procesos medulares: Investigación y Desarrollo (I&D), Investigación Estratégica y ATE, las dos primeras tienen como finalidad generar productos tecnológicos que una vez implantados en las áreas operacionales permitan mejorar los procesos de trabajo y la última está orientada al apoyo operacional en pericias claves, donde nuestros profesionales poseen un alto nivel de experticia.

El servicio de ATE, brindado al circuito refinador nacional e internacional, es una actividad de impacto en la industria y fundamenta a gran medida la razón de ser de Intevep a PDVSA. Sin embargo, actualmente el recurso humano disponible es limitado y las pericias técnicas requeridas son difíciles de formar en el corto plazo, por lo tanto, se proyecta que para poder atender toda la demanda de ATE, esta debe ser soportada con Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) que permitan optimizar sus procesos.

APOYO DE LAS TIC A LA ATE

Se ha propuesto optimizar el proceso de ATE que brinda PDVSA Intevep al circuito de refinación, mediante la implantación del proyecto **ATE+**, el cual visualiza, al 2010, atender la demanda de ATE, así como, un esquema de distribución de dedicación (horas labor) que favorezca sostenidamente las áreas de I&D, como principal actividad medular de nuestra filial.

La evolución del proceso de ATE persigue la disminución de los tiempos de respuesta, mejora en la calidad de las recomendaciones generadas, hacer seguimiento de los resultados e impactos obtenidos, y garantizar la preservación del conocimiento generado, a través de la incorporación de cinco (5) premisas, las cuales se describen a continuación:

- **Remota:** interacción virtual para resolver problemas de forma oportuna.
- **Colaborativa:** información a la mano para los profesionales involucrados.

- **Retroalimentada:** maximización de uso de la información generada (lecciones aprendidas).
- **Integral:** óptica multidisciplinaria para abordar problemas complejos.
- **Predictiva:** estrategias para la generación de recomendaciones a través de pronósticos.

Un enfoque integral es utilizado como marco de referencia, a través de un modelo para la consecución de estas premisas en el proyecto, permitiendo incorporarlas conforme evoluciona la ATE hacia un nuevo concepto, como se muestra en la Figura 1.

El proyecto parte de un modelo referencial contentivo de tres (3) elementos de solución, que permiten: agrupar los componentes similares en una misma área de interés, describir las estrategias focalizadas por elemento con visión de conjunto y adoptar modularmente las soluciones intermedias que se generen hasta la implantación definitiva del modelo. Estos tres (3) elementos serán los habilitadores para lograr la optimización de la ATE. Los elementos se describen a continuación:

- **Esquema de interacción:** abarca los profesionales involucrados y los procesos de trabajo sujetos a estudio o cambio. Las estrategias definidas apuntan a gestionar el manejo de cambio en la cultura organizacional ante nuevos paradigmas en los procesos tradicionales de trabajo y a la redefinición del esquema de interacción tradicional entre los entes involucrados, para optimizar la gestión del servicio y obtener resultados acorde a exigencias establecidas, comúnmente externas.
- **Gestión de la información:** entrada o salida de los procesos. La estrategia es una gestión de la información basada en el uso de normas y procedimientos garantes del cumplimiento de las políticas de preservación del capital intelectual en la organización.
- **Vehículo tecnológico:** representa la plataforma TIC empleada por el proceso de ATE (ver Figura 2). Se establece un desglose en perspectivas de: Automatización, Aplicación, Integración, Infraestructura Tecnológica y Telecomunicaciones, en intersección con las áreas funcionales de: PRE (Planificación de Recursos Empresariales), SEM (Sistema de Ejecución de Manufactura) y Piso de Planta [1], que describen una estructuración por niveles, los cuales se describen a continuación:

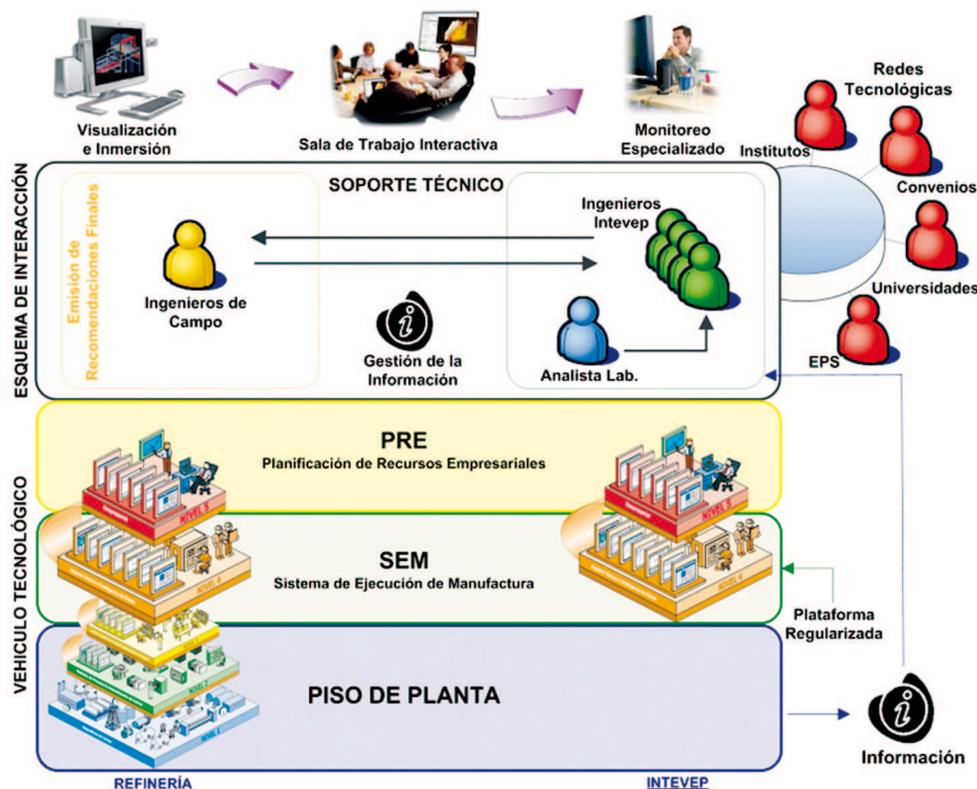


Fig. 1. Modelo referencial para la optimización de la ATE

1. PISO PLANTA

El Piso de Planta corresponde a las instalaciones de proceso y manufactura industrial, en el caso de refinería son todos los equipos (horno, calderas, bombas, tuberías, DCS, PLC, sensores, actuadores, etc.) que soportan los procesos de refinación (reformación, destilación, alquilación, etc.), para el caso de Intevap, no se cuenta con instalaciones industriales considerables a excepción de plantas piloto para realización de pruebas y ensayos.

2. SEM (Sistema de Ejecución de Manufactura)

El SEM corresponde a la capa intermedia (middleware) que permite la integración entre el Piso de Planta y el PRE. SEM es un término usado para describir el sistema que monitorea y administra todos los aspectos de una actividad en tiempo real mientras está en la fase de ejecución. Puede incluir administración de recursos, programación de capacidad, administración de mantenimiento, control estadístico de calidad, administración de información de laboratorio, manejo y optimización de procesos, colección de datos y administración de documentos de la planta. SEM está enfocado para tareas de corto o mediano plazo y puede

vincular a nivel superior PRE para planificación y control de tareas a largo plazo.

SEM está enfocado técnicamente en crear información y, por ende, usar esta información para realizar seguimiento por el equipo de trabajo para optimización de tareas y desempeño de equipos. SEM no reemplaza la automatización (incluyendo optimización en tiempo real en sistemas de lazo cerrado), programación, administración de mantenimiento o funciones de PRE. Tal como se observa la Figura 2, el SEM está conformado por tres vistas, que son las siguientes:

2.1. Simulación

Esta vista esta compuesta por soluciones de simulación de procesos y equipos, utilizadas para estudiar los fenómenos fisicoquímicos en los procesos de refinación. Constituye el área de la plataforma tecnológica que atañe más directamente a los ingenieros de procesos y especialistas en asistencia técnica especializada, aunque incluye ingenieros de control, ingenieros de mantenimiento, entre otros. Por lo tanto, esta vista incorpora al modelo el carácter de soporte técnico especializado, con el cual se puede garantizar la optimización y desempeño de las operaciones; en esto radica su vital importancia.



Fig. 2. Modelo conceptual del vehículo tecnológico, adaptado de la norma ISA-95.01-1999 [1]

2.2. Integración

La vista de integración enfoca un concepto de manejo de la plataforma tecnológica como un todo, en donde las herramientas utilizadas para un cierto nivel (división funcional por área, basado en la pirámide de automatización Purdue) son escalables y adaptables, dependiendo de los objetivos planteados por el equipo de trabajo correspondiente. Esto permite tener una visión global e integral que traduzca en una plataforma tecnológica consolidada, flexible, unificada, accesible, interrelacionada y basada en estándares, lo cual repercute en soluciones tecnológicas confiables, robustas y de vanguardia para satisfacer las necesidades del negocio. Esta vista forma un enlace vertical y horizontal dentro de la plataforma.

2.3. Colaboración

La última vista en el SEM es la denominada colaboración. Se trata de un concepto que direcciona hacia una estrategia de máxima colaboración en el desarrollo de las tareas realizadas por los profesionales, proporcionándoles acceso seguro y confiable a la información, interactividad entre las áreas de refinación e Intevap, compartir aplicaciones o herramientas, integración multidisciplinaria, identificación de oportunidades de mejoras en los procesos, monitoreo especializado y focalizados en áreas claves, seguimiento a las recomendaciones generadas, minimización de los tiempos de respuestas, escenarios de trabajos propicios, recursos multimedia y gráficos funcionales.

3. PRE (Planificación de Recursos Empresariales)

Este nivel corresponde al nivel de gestión empresarial directamente vinculada a la administración de negocio. Es posible que algunas de las tareas realizadas en este nivel, se realicen en el SEM, la diferencia está en que, en el nivel PRE, son a largo plazo, visualizadas en un marco más amplio, que considera factores externos, tales como mercado y los proveedores, de modo tal que entra a desempeñar un papel muy importante el punto de vista de planificación estratégica del negocio. Constituido por sistemas de planificación estratégica, gestión de inventarios y suministros, administración de recursos humanos o personal, evaluaciones y pronósticos macroeconómicos, rentabilidad financiera, ejecución de proyectos de inversión, etc.

Los niveles anteriormente descritos conforman la plataforma tecnológica y dentro de ellos encontramos componentes de distinta naturaleza de acuerdo a la acción ejecutada dentro de la plataforma, es así como se puede visualizar esta plataforma de acuerdo a cuatro (4) perspectivas, descritas en los apartados siguientes:

1. Telecomunicaciones

Constituye la fotografía de la plataforma tecnológica desde el punto de vista de comunicación, englobando todos los componentes que se conjugan para hacer una plataforma de redes, videoconferencia y telefonía. En lo que corresponde al Piso de Planta la comunicación viene adjunta a la automatización, ya que corresponde a redes de campo o redes industriales; entonces, para este caso solo el nivel del SEM y el PRE es punto de atención para elaborar el modelo conceptual correspondiente. Es de notar que las perspectivas no son completamente excluyentes, existen elementos que se pudieran describir en una u otra perspectiva sin que esto signifique un enfoque incongruente, si no más bien lógico, debido a la complejidad y conectividad de elementos presentada en una plataforma tecnológica.

2. Automatización

Constituye los instrumentos y equipos para el monitoreo y control de los procesos industriales de manufactura. Sus componentes abarcan principalmente el Piso de Planta, porque es el que está directamente asociado a los procesos de refinación, aunque una parte de estos componentes se localizan en el SEM. En refinería se encuentra una amplia y diversa plataforma de automatización, no siendo así en Intevap, dada la naturaleza de las actividades desarrolladas, las cuales no son operacionales, si no de I&D.

3. Infraestructura tecnológica

La plataforma tecnológica sustenta toda la ejecución, almacenamiento, distribución, licenciamiento, transmisión y respaldo de la información gestionada a través de sus servidores y equipos informáticos, a los diferentes niveles que corresponda según las funcionalidades transaccionales o en tiempo real. Esta manera de enfocar la plataforma tecnológica está descrita por la vista de infraestructura tecnológica, asociada a los profesionales que ofrecen y reciben ATE, pero expansible a todos los usuarios en general.

4. Aplicación

La perspectiva de aplicación corresponde a los paquetes informáticos o soluciones de software que son utilizados en el proceso de ATE, pero que, de manera general, son todas aquellas que coexisten en la plataforma tecnológica en sus diferentes niveles y vistas. El resultado es un mapa de aplicaciones estrechamente relacionado en pequeñas secciones o áreas funcionales dentro de la complejidad con las demás perspectivas.

Los niveles mostrados en la Figura 2 son también conocidos o mencionados como Operación, Técnico y Gestión, para referirse respectivamente al Piso de Planta, SEM y PRE. Acorde a las

actividades que se desarrollan en cada nivel (PRE, SEM y Piso de Planta), existe una plataforma tecnológica asociada. Ejemplo, en el PRE una aplicación clásica sería SAP, en el SEM serían Simuladores de Procesos y en el Piso de Planta sería SCADA.

Para cada perspectiva, se procedió con la realización de tres actividades básicas que conforman el enfoque general:

- Diagnosticar la plataforma tecnológica actual, tomando como caso base la interacción entre Intevp y la Refinería Puerto La Cruz.
- Diseñar en forma conceptual la plataforma tecnológica ideal, basada en estándares, mejores prácticas, casos de éxito y tecnologías de vanguardia.
- Establecer estrategias de cierre de brechas, para proveer una plataforma tecnológica que permita optimizar el proceso de ATE que presta Intevp.

Como resultado de la ejecución de estas actividades se planteó la incorporación o actualización de distintos componentes tecnológicos en los distintos niveles y perspectivas de la plataforma, de acuerdo a las necesidades y requerimientos de ATE que han sido determinadas. Algunos conceptos tecnológicos propuestos son: Comunicaciones Unificadas, Integración Empresarial, Virtualización Inteligente de Instalaciones, entre otros.

Tecnologías de comunicaciones unificadas para optimizar la ATE

Consiste en integrar las funcionalidades que ofrecen las diferentes maneras de comunicación para optimizar los procesos de negocio. Entre sus componentes más comunes se incluyen: herramienta de colaboración, presencia, correo de voz, correo electrónico, faxes, mensajería instantánea, video conferencia sobre escritorio y telefonía IP que, bajo un solo ambiente, ofrecen al usuario una herramienta completa de servicios.

Estas soluciones están enfocadas en proveer un servicio que permita a los profesionales de Intevp brindar ATE a sus homólogos en la RPLC de una manera más eficiente. El concepto de comunicaciones unificadas incluye el método de preferencia/disponibilidad del usuario así como también su localización (por teléfono fijo, teléfono móvil/Smartphone, mensajería instantánea y correo electrónico) permitiendo ofrecer el carácter de ubicuidad (contactarlos sin importar su localización geográfica), movilidad y colaboración (compartir aplicaciones, documentos, pizarra electrónica).

Herramientas de avanzada (HDA) en comunicaciones unificadas

Como estrategia de cierre de brechas en el vehículo tecnológico en la perspectiva de telecomunicaciones, con la

finalidad de responder a la necesidad de optimizar la ATE en RIRF, se propuso un conjunto de soluciones denominadas Herramientas de Avanzada, las cuales se describen a continuación:

- **Telefonía IP:** la telefonía IP permite comunicaciones de voz sobre redes basadas en el Protocolo Internet (IP). La telefonía IP da paso a una nueva generación de aplicaciones que con la arquitectura de telefonía tradicional no se puede lograr, en especial, para entornos corporativos. Entre ellas se encuentran: llamadas desde dispositivos móviles usando una red inalámbrica (VoWLAN), videotelefonía, envío de mensajes de voz al correo electrónico, movilidad, entre otros.
- **Presencia:** es una aplicación que interactúa con los sistemas de comunicación de la corporación para determinar el estado de disponibilidad de los usuarios, tales como el tipo de equipo (celular, teléfono de oficina, etc.) que está usando y en el cual pueden recibir una llamada en un determinado momento, su disposición para atender una sesión de colaboración vía Web, una video conferencia, una sesión de Mensajería Instantánea; a través del sistema de presencia se conoce el estado actual de los usuarios: ocupado, no disponible o disponible por teléfono o por sesión Web (Herramienta de Colaboración).
- **Videoconferencia de escritorio:** establece sesiones de audio y video entre personas localizadas remotamente, a través de cámaras integradas a los dispositivos finales de los usuarios (PC, Smartphone), permitiendo una o más interacciones virtuales. Estos sistemas tienen la capacidad de integrarse con los sistemas de comunicaciones de la empresa, al ser desarrollado en base al protocolo IP, optimizando el uso de los recursos de comunicación en función de los objetivos del negocio. Ejemplo: conectarse a una sesión de videoconferencia de sala desde una PC.
- **Mensajería unificada:** permite al usuario acceder desde una misma interfaz a todos los servicios de mensajería de la empresa. Ejemplo, acceder al correo de voz desde el correo electrónico, recibir un fax al número de la oficina y leerlo a través del correo electrónico (fax sobre IP).
- **Herramienta de colaboración:** es una aplicación que permite compartir: documentos, presentaciones, aplicaciones de negocios, aplicaciones funcionales, escritorio de su PC, contenido multimedia y, finalmente, conducir una conferencia efectiva que optimice el tiempo de las personas que están participando en la misma.

Implantación de la solución tecnológica

Todos los conceptos anteriormente descritos permiten definir una nueva arquitectura TIC, conocida como

Comunicaciones Unificadas, en la cual varias formas de comunicación en conjunto con aplicaciones de colaboración son integradas de manera que las personas puedan manejar todo bajo un mismo ambiente, tanto en PC como en dispositivos móviles.

La solución de Comunicaciones Unificadas propuesta para responder a las necesidades del negocio está elaborada con base en los resultados obtenidos de un estudio de factibilidad técnico-económico de tres alternativas seleccionadas para la implantación (ver Tabla 1):

Para la selección de una de las alternativas planteadas se definieron criterios funcionales y técnicos. Los técnicos están asociados con los atributos o características que la tecnología debería tener para cumplir con los niveles de servicios definidos en la empresa y los criterios funcionales están asociados con las necesidades del usuario. Los criterios definidos se señalan a continuación (Tabla 2):

La evaluación técnica arrojó que la mejor opción técnica es la solución planteada por la alternativa #2, debido a que cumple en mayor porcentaje con los criterios establecidos para ser considerada como una herramienta de avanzada e interoperable con los sistemas actuales instalados en la empresa. Para el caso de la solución de software libre se tiene que no es una tecnología madura en el mercado y que actualmente no se dispone de todas las herramientas de avanzadas descritas en la sección anterior.

La arquitectura de solución sugerida para la solución de Comunicaciones Unificadas es semicentralizada con aplicaciones distribuidas. En este modelo se mantienen los servicios de control de telefonía IP de manera centralizada, y algunos servicios distribuidos como mensajería de voz, y otros recursos extras de multimedia, con el objetivo de asegurar el mínimo impacto en la red troncal corporativa. A continuación se detalla la arquitectura de comunicaciones unificadas implantada (Figura 3.).

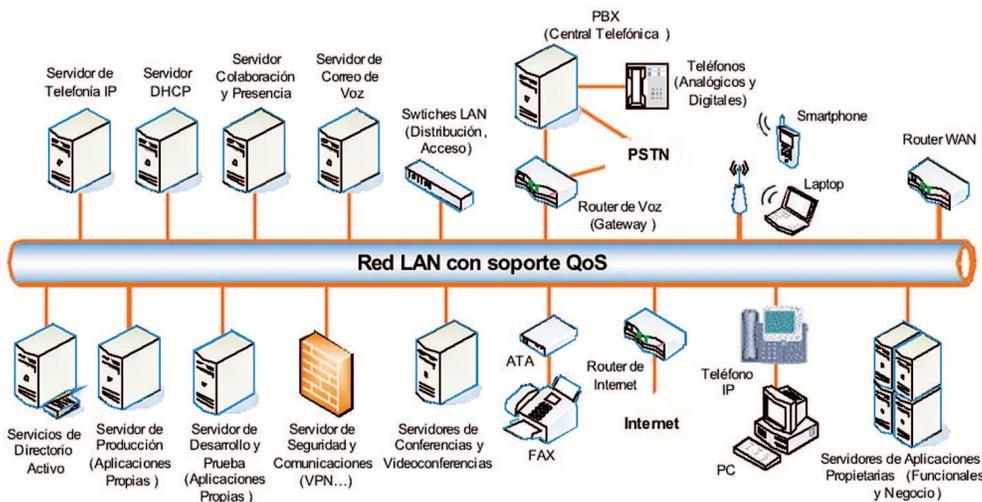


Fig. 3. Arquitectura de comunicaciones unificadas

Una vez definidos los criterios y la escala de evaluación, se conformó un equipo evaluador integrado por personal de la Gerencia AIT (para criterios técnicos), y personal de la Gerencia Técnica de Refinación de Intevep (para criterios funcionales), con el conocimiento suficiente para evaluar cada una de las alternativas planteadas. Este procedimiento permitió medir si la solución cumplía o no con los criterios en cuestión. En dicha evaluación se consideró la importancia de cada uno de los criterios definidos para realizar la selección de la mejor alternativa. Los criterios con mayor peso para los usuarios, como resultado de las encuestas aplicadas, fueron la "movilidad", definida como las facilidades de comunicación que se proveen al usuario fuera de sus oficinas, y la "videoconferencia sobre escritorio".

Toda solución de telefonía IP independiente del modelo de arquitectura a implantar es un ensamblaje de un conjunto de componentes que interactúan de la manera más sincronizada posible con el fin de prestar un servicio de voz y video óptimo a los usuarios finales. Entre los componentes se pueden mencionar el servidor de telefonía IP en el cual reside una aplicación que está encargada de administrar la red telefónica basada en IP, en dicha aplicación se realizan todas las configuraciones, desde lo más básico, como la creación de usuarios, hasta los planes telefónicos, manejo de restricciones, definiciones de dígitos añadidos hacia la PSTN u otras localidades IP, interacción con aplicaciones externas y complementarias a la telefonía como: IVR y mensajería unificada. El router de voz (Gateway) es un dispositivo de

Tabla 1. Alternativas de solución de telefonía IP

ESCENARIO	TECNOLOGÍA	JUSTIFICACIÓN
# 1	Alternativa # 1: plataforma IP operando sobre la plataforma de telefonía tradicional de la empresa.	Permite a la Empresa disponer de manera rápida y flexible de una solución de telefonía IP, haciendo una reingeniería de la plataforma de conmutación de la cual dispone actualmente.
#2	Alternativa #2: plataforma IP operando sobre la red de datos. Servidores de telefonía interconectados a la red de datos (IP nativo).	Integración de voz y datos sobre la misma plataforma de red IP instalada actualmente en la empresa. Interoperabilidad de los sistemas.
#3	Alternativa #3: solución de Software Libre.	Cumplimiento del decreto 3390.

Tabla 2. Criterios de selección de alternativas

	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES
CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Simplificar y mejorar las comunicaciones	Acceso a todos los servicios de comunicación (voz, datos y vídeo) desde una misma plataforma.
Movilidad	Proveer facilidades de comunicación a los usuarios fuera de sus oficinas.
Mensajería unificada	Proveer servicios de correo de voz, datos y fax bajo una misma plataforma de correo.
Funciones avanzadas de telefonía	Proveer servicios integrados de directorio, navegación Web, páginas blancas, XML.
Calidad y disponibilidad	Provisión del servicio telefónico con características equivalente al servicio telefónico tradicional.
Promover la soberanía tecnológica nacional	Cumplimiento con el decreto 3390.
Aplicaciones colaborativas	Soporte e integración con aplicaciones (compartir recursos, e intercambio de información).
Videoconferencia sobre escritorio	Integración con herramientas de videoconferencia.
	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES
Herramienta de gestión y administración	Disponibilidad de herramienta de Gestión y Administración.
Basado en estándares	Asegurar compatibilidad ente varias soluciones. Basado en protocolos estándares.
Interoperabilidad con sistema tradicional	Asegurar coexistencia con el sistema de telefonía tradicional.
Permitir convergencia de servicios	Permitir converger todos los servicios de voz, datos y vídeo paulatinamente.
Adaptable a los planes básicos de telefonía	Preservar los planes de la red telefónica actual para minimizar el impacto al usuario del servicio.
Proveer todas las facilidades existentes	El usuario debe percibir la misma funcionalidad y características que el servicio tradicional.

redes de VoIP en las que existen segmentos donde se trabaja el servicio de telefonía basado en estándares tradicionales, como teléfonos o faxes analógicos, PBX, tróncales de señalización digital, y segmentos de la red IP. El objetivo del uso de los router de voz es poder hacer el transporte de llamadas telefónicas desde segmentos IP hacia la red telefónica tradicional y viceversa. Adicionalmente, se tienen los protocolos de señalización, para la negociación de llamadas telefónicas, entre ellos se encuentran H323, SIP y MGCP. Estos son algunos de los componentes principales de una solución de Comunicaciones Unificadas, sin embargo, están otros asociados con el usuario final como los teléfonos IP, aplicaciones de colaboración, servicios de presencia, aplicaciones XML y videoconferencia.

Algunos de los elementos asociados al usuario final, que forman parte de los componentes de la solución son: Softphone, Smartphone, teléfono ip, herramienta de colaboración y mensajería unificada.

El desarrollo de las Comunicaciones Unificadas permite adicionalmente integrar procesos de negocios específicos con los sistemas de comunicación usando protocolos estándares, tales como XML o SOAP. En el caso de Intevp,

se pudo integrar aplicaciones del negocio, tales como, SIGELAB, EfTerm, AIGT, Star-Lims, Infoplus a los teléfonos IP, habilitando una nueva gama de servicios basados en conceptos de movilidad, y disponibilidad de la información, favoreciendo de esta manera la interacción usuario-sistema. El desarrollo XML permitió habilitar interfaces con los sistemas existentes del negocio; con la finalidad de realizar consultas rápidas a través de los teléfonos IP. A continuación se describe algunas de las interfaces desarrolladas:

- **Paginas blancas:** consultas sobre datos personales (teléfono, indicador, foto, etc.), permitiendo realizar llamadas telefónicas desde la misma interfaz (ver Figura 4)
- **SIGELAB:** se visualizan los análisis de muestras registradas por el usuario, es decir, muestra los "Análisis listos" del usuario autenticado en el teléfono (ver Figuras 5 y 6)
- **Visualización de variables de procesos y laboratorio:** se puede consultar la información de los diversos equipos de monitoreo de la RPLC (ver Figuras 7 y 8)
- **Eficiencia térmica de hornos y calderas en la RPLC mediante EfTerm:** permite consultar la eficiencia de un equipo para un rango de tiempo (ver Figura 9)



Fig. 4. Pantalla de páginas blancas en el teléfono IP



Fig. 5. Pantalla de los "Análisis Listos" de SIGELAB en el teléfono IP

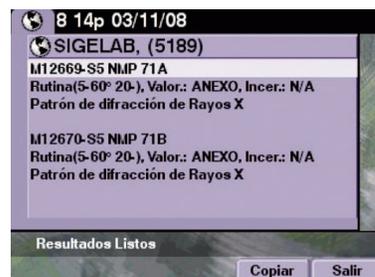


Fig. 6. Resultados de un análisis de SIGELAB en el teléfono IP

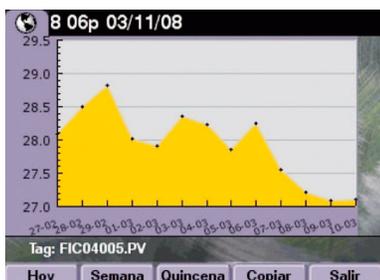


Fig. 7. Comportamiento de un tag visualizado en el teléfono IP



Fig. 8. Análisis de una muestra de un sistema de laboratorio (StarLims)



Fig. 9. Eficiencia de una caldera durante una semana

CONCLUSIONES

La solución de Comunicaciones Unificadas está enfocada en optimizar los procesos de trabajo haciendo uso eficiente de la plataforma tecnológica. El uso específico para esta solución es proveer los servicios de comunicación y colaboración para el personal que brinda ATE en Intevep, permitiendo la interacción e integración con el personal de las áreas operacionales que requieran dicha ATE y con los agentes externos que tienen relación directa en este proceso.

El proceso de ATE demanda soluciones TIC aplicadas en el área de telefonía IP, que ofrezcan rápido despliegue, flexibilidad y un alto nivel de calidad y confiabilidad, que permita disponer del servicio de voz en todo momento y en todo lugar, maximizando el uso de la infraestructura instalada y de la movilidad, incorporando servicios de valor agregado (mensajería unificada, teletrabajo, videotelefonía).

El despliegue de soluciones de telefonía IP en PDVSA genera los siguientes beneficios:

Negocio:

- Reducir el tiempo de respuesta y costos del servicio de ATE utilizando: herramienta de colaboración (compartir aplicaciones), videoconferencia de escritorio (colaboración remota) y mensajería unificada (acceso a todos los servicios de mensajería desde un solo medio).
- Ofrecer al personal de ATE el carácter de omnipresencia, aumentando el nivel de disponibilidad del usuario por medio del Softphone y de la mensajería unificada.
- Realizar seguimiento especializado a variables de la refinería usando una interfaz XML, visualizada a través del teléfono IP.

Tecnológicos:

- Permitir a AIT proveer soluciones de telefonía ágiles en cuanto a despliegue y flexibles al momento de agregar nuevos usuarios, manteniendo los niveles de calidad y confiabilidad del servicio.
- Reducción de costos de despliegue de soluciones por unificación de infraestructura de cableado (voz y datos).
- Funcionalidades adicionales de valor agregado por la unificación asociada a la convergencia servicios sobre el protocolo IP.

El uso óptimo de esta tecnología requiere la participación tanto del equipo de AIT como del personal de los negocios, y un claro entendimiento de los beneficios para

constituir un punto de partida en la masificación de esta tecnología. Con base en la implantación de la solución de Comunicaciones Unificadas basada en telefonía IP, el equipo de AIT Intevep tiene contemplado en su cartera de proyectos 2008, un proyecto de soluciones de telefonía IP basado en Software Libre para dar respuesta a las nuevas necesidades de comunicación de Intevep, alineados con el Decreto 3390 en busca de la Soberanía Tecnológica.

GLOSARIO

XML: acrónimo del inglés de eXtensible Markup Language (lenguaje de marcas extensible), que permite definir la gramática de lenguajes específicos (de la misma manera que HTML es a su vez un lenguaje definido por SGML).

SCADA: acrónimo del inglés de Supervisory Control And Data Acquisition (Control supervisorio y adquisición de datos), es un sistema dedicado a la captura de información de un proceso o planta industrial, para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso.

Softphone (teléfono desarrollado en software): es una interfaz de software que simula un teléfono convencional, basado en el concepto de telefonía IP. Se puede utilizar dentro de la corporación (Intranet) como fuera de la misma (vía VPN), sin requerir de un teléfono físico. Permite la integración con el directorio activo, realizando llamadas ya sea directamente por el número telefónico, o por correo electrónico.

Smartphone (teléfonos inteligentes): es un teléfono móvil con funciones similares a las de un computador personal, provee funciones tales como SMS, MMS, correo corporativo, mensajería instantánea, aplicaciones de oficina y conectividad con Internet.

Teléfono IP: teléfono de hardware que posee las funcionalidades básicas de los teléfonos convencionales e incorpora servicios de avanzada, como la integración con aplicaciones del negocio, directorio activo, generación de alarmas, videoconferencia de escritorio, entre otros. Está integrado a la red de datos corporativa.

RIRF: Gerencia Técnica de Refinación, adscrita a la Gerencia General de Refinación e Industrialización de Intevep.

Intevep: es el brazo tecnológico de PDVSA. Tiene como misión, generar soluciones tecnológicas integrales que contribuyan al ejercicio de la soberanía tecnológica sobre la principal industria del país. Sus actividades están

orientadas hacia la investigación estratégica, investigación y desarrollo, y asistencia técnica especializada; en apoyo a las diferentes fases del negocio, como son: exploración, producción, refinación y gas.

VPN: acrónimo del inglés de Virtual Private Network (Red virtual privada), es una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública o no controlada, como por ejemplo Internet. Ejemplos comunes son la posibilidad de conectar dos o más sucursales de una empresa utilizando como vínculo Internet, permitir a los miembros del equipo de ATE la conexión desde su casa al centro de cómputo, o que un usuario pueda acceder a su equipo doméstico desde un sitio remoto, como por ejemplo un hotel. Todo ello utilizando la infraestructura de Internet.

VoWLAN: acrónimo del inglés de Voice Over Wireless Local Area Network (Red virtual privada), consiste en utilizar una red inalámbrica para realizar conversaciones de voz. En otras palabras, telefonía IP sobre una red inalámbrica. VoWLAN se puede aplicar en cualquier dispositivo que acceda a Internet, incluido un ordenador portátil, Smartphone o teléfonos móviles. Las principales ventajas de VoWLAN a los consumidores locales es que las llamadas internacionales son más baratas, llamadas gratuitas a otras unidades de VoWLAN entre otras.

IP: acrónimo del inglés de Internet Protocol (Protocolo de Internet). Es el protocolo de comunicaciones estándar entre dos computadoras dentro de una red, ejemplo Internet.

AIT: Gerencia de apoyo en el área de Automatización, Informática y Telecomunicaciones, requerida por los procesos medulares de PDVSA.

PSTN: acrónimo del inglés de Public Switched Telephone Network (Red pública de telefonía conmutada), es la red telefónica tradicional. Ejemplo: CANTV, Digitel, Movistar.

IVR: acrónimo del inglés de Interactive Voice Response (Respuesta interactiva de voz), permite que una persona, típicamente quien llama por teléfono, seleccione una opción de un menú de voz y se interconecte con un sistema informático.

PBX: acrónimo del inglés de Private Branch eXchange (Central secundaria privada), es una central telefónica conectada directamente a la red pública de teléfono para gestionar, además de las llamadas internas (de la empresa), las entrantes o salientes con autonomía sobre cualquier otra central telefónica. Este dispositivo generalmente pertenece a la empresa que lo tiene instalado y no a la compañía telefónica, de aquí el adjetivo privado a su denominación.

H.323: es un estándar desarrollado por la ITU (International Telecommunication Union); es la evolución natural hacia IP de H.320 que es considerada la especificación básica de videoconferencia sobre Redes de Servicios Integrados. Bajo H.323 se agrupan un número de protocolos y especificaciones, por esta razón, se puede aludir a H.323 como un marco donde se define cómo usar otros protocolos para la creación de servicios multimedia sobre IP.

SIP: acrónimo del inglés de Session Initiation Protocol (RFC 3261 SIP V.2), fue desarrollado por el IETF (Internet Engineering Task Force) esencialmente para proporcionar 'presencia' y 'movilidad' dentro de una red IP. Permite establecer, enrutar y modificar sesiones de comunicaciones a través de redes IP. Utiliza el modelo de Internet y protocolos existentes tales como HTTP, SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) así como la estructura de dirección URL.

MGCP: acrónimo del inglés de Media Gateway Control Protocol, es un protocolo interno de Telefonía IP cuya arquitectura se diferencia del resto de los protocolos de VoIP (H.323, SIP) por ser del tipo cliente – servidor. MGCP está definido informalmente en el RFC 3435 y aunque no ostenta el rango de estándar, su sucesor, Megaco está aceptado y definido como una recomendación en el RFC 3015.

AGT: es un sistema que permite consultar los principales sistemas que se utilizan para el monitoreo de las variables de proceso y laboratorio en la Refinería de Puerto La Cruz, también posibilita la carga de los múltiples reportes generados por cada superintendencia, además permite compartir los modelos generados en las aplicaciones de simulación o control utilizados por los profesionales de esta refinería

Star-Lims: es un sistema de gestión de información de laboratorio, la cual es generada durante las pruebas y ensayos de los productos intermedios o finales derivados del proceso de refinación.

Infoplus: es un sistema de gestión de información en tiempo real relacionado a las variables de los procesos de refinación, la cual es generada por el SCADA.

SIGELAB: Es un sistema para la automatización de la gestión de los laboratorios. La integración XML solo muestra los análisis listos del usuario.

REFERENCIAS

[1] Instrument Society of America - ISA-dS95.01, Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology

BIBLIOGRAFÍA

Cisco Unified IP Phone Services Application Development Notes, Release 6.0(1). 1992-2008 Cisco Systems, Inc.

Jiménez E., Estudio de factibilidad técnico – económico de implantación de telefonía IP en una empresa petrolera. Trabajo de grado de especialización no publicado. Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2007.

Lazar I., Unified Communications: What, Why and How? What value can Unified Communications bring to your enterprise? Nemertes Research 2007

Metzler J., The Business Value of Unified Communications. Cisco IT Business Report.



VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA



ESTUDIO DE LA BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE FORMULADOS PARA DESARROLLOS COSTA AFUERA

RESUMEN

Ezequiel Zamora Ledezma
PDVSA Intevep

José Vicente García
PDVSA Intevep

Víctor Carrillo
PDVSA Intevep

Pedro Colombo
PDVSA Intevep

(†) Marianela Arias
PDVSA Intevep

Katiuska Aguilar
PDVSA Intevep

Las actividades de exploración y producción en ambientes costa afuera generan volúmenes importantes de ripios impregnados con fluidos de perforación base aceite mineral o sintético, los cuales ocasionarían impactos ambientales en casos de derrames accidentales. Los impactos tienen efectos sobre las comunidades bentónicas, debido a la insolubilidad hídrica y la rápida sedimentación que presentan estos desechos. Por esta razón, es necesario predecir el grado de la biodegradación anaeróbica, para estimar la persistencia que pudieran exhibir tales compuestos en ambientes profundos. En el presente estudio se evaluó la biodegradabilidad anaeróbica de los fluidos de perforación preparados con las bases: aceite sintético Iso Olefina interna C16-C18 (IO), aceite mineral desaromatizado (AMD) y éster vegetal (Greenoil®), densificados con Orimatita® y Barita, durante 60 días. Adicionalmente, se evaluaron las tres bases. Las determinaciones se llevaron a cabo empleando la Norma ISO 11734. Los resultados indican que los fluidos preparados con aceite sintético del tipo IO y con Greenoil® son más biodegradables anaeróbicamente que los base aceite mineral desaromatizado. La biodegradabilidad de las tres bases resultó mayor que la obtenida para los fluidos densificados. Se concluye que estos sistemas de fluidos pueden ser utilizados para actividades de exploración y producción costa afuera asegurando una baja persistencia ambiental.

STUDY OF ANAEROBIC BIODEGRADATION OF OIL BASED DRILLING FLUIDS FORMULATED FOR OFF SHORE DEVELOPMENTS

ABSTRACT

Offshore E&P activities generate significant volumes of drilling cuttings impregnated with mineral or synthetic oil based fluids, which cause environmental impacts when spills occur. The main impact is received by benthic communities, due to water insolubility and rapid sedimentation of these wastes. For this reason, it is necessary to evaluate anaerobic biodegradation, in order to predict the degree of persistence that such compounds under natural conditions might have. In the present study anaerobic biodegradation of drilling fluids formulated with the bases: synthetic oil internal Iso Olefins C16-C18 (IO), mineral oil (without aromatics) (MO) and esterificated vegetable oil (Greenoil®), densificated with Orimatita® and Barite, were assessed during 60 days. Additionally, three bases were also evaluated. Determinations were carried out using ISO 11734 methodology. Results indicate that fluids prepared with synthetic oil (IO) and Greenoil® had a higher anaerobic biodegradation. The three bases evaluated showed a total biodegradation (100%) under the same conditions. The results indicate that systems fluids evaluated can be used for offshore exploration and production activities ensuring a low environmental persistence.

Para asegurar la utilización de sustancias poco persistentes y no tóxicas en las actividades de la industria petrolera, se han venido implantando metodologías para evaluar los impactos ambientales potenciales que poseen dichas sustancias. En este sentido, las pruebas de biodegradabilidad permiten predecir los tiempos de residencia de sustancias, compuestos y desechos en los ecosistemas, para estimar los efectos potenciales que éstos puedan causarle al entrar en contacto con el ambiente [1].

La importancia de realizar estudios de biodegradabilidad anaeróbica radica en que, a través de éstos, es posible estimar la persistencia de sustancias en condiciones de laboratorio, simulando, de este modo, condiciones naturales de ecosistemas anóxicos tales como, perfiles de suelos profundos, zonas acuáticas y pantanosas [2, 3, 4], acuíferos, lechos marinos y aguas subterráneas. Este tipo de pruebas tiene especial aplicación e interés sobre sustancias que serán

empleadas en actividades petroleras que se desarrollan en zonas costa afuera; ya que comprometen ambientes sensibles. La información generada a partir de estas pruebas permite identificar y seleccionar compuestos que tengan un bajo tiempo de residencia en ecosistemas con bajos niveles de oxígeno, y por ende, tendrán menor posibilidad de afectar negativamente a estos ambientes [2, 3, 5, 6].

Dentro de las diversas actividades vinculadas a la industria petrolera, se encuentran las operaciones exploratorias, las perforaciones y la producción, las cuales tienen el objetivo común de lograr la extracción de hidrocarburos. En la perforación se necesita mantener controlada una serie de parámetros para obtener un proceso eficiente y ambientalmente seguro. La perforación de un pozo depende de varios factores, entre los cuales destaca el uso de un fluido de perforación adecuado, ya que los fluidos mejoran el proceso, obteniendo un avance más eficiente de la barrena

y manteniendo la integridad del hoyo. Adicionalmente, permiten arrastrar los ripios hacia la superficie, enfriar la mecha, lubricar la barrena, depositar sobre la pared del hoyo un revoque delgado y flexible y lo más impermeable posible para impedir la filtración excesiva de la parte líquida del fluido hacia las formaciones [7].

En vista de que los fluidos de perforación son utilizados para perforar tanto en tierra como en costa afuera, es preciso desarrollar formulaciones más seguras para el ambiente, de tal modo que se minimicen, en etapas tempranas, los impactos que dichos fluidos pudieran ocasionar. El proceso de perforación y acondicionamiento de un pozo genera un material de desecho conocido como ripio o corte de perforación, el cual constituye una mezcla semiviscosa de material proveniente del perfil del suelo impregnado con el fluido de perforación. Dependiendo principalmente del diámetro y de la profundidad del pozo, la perforación generará volúmenes importantes tanto de fluidos como de cortes.

Con el fin de obtener fluidos menos tóxicos y poco persistentes, se han venido desarrollando nuevas formulaciones, empleando como bases: aceites vegetales esterificados, aceites minerales desaromatizados y aceites sintéticos de origen olefínico (destilación directa). El empleo de estas bases obedece principalmente al hecho de que las mismas son catalogadas internacionalmente en mayor o menor grado, como no tóxicas y biodegradables en presencia y ausencia de oxígeno [5, 6, 8, 9, 10], lo que permitirá, posteriormente, una mayor facilidad para aplicar biotratamiento a los desechos impregnados con tales formulaciones.

El objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio sobre la biodegradabilidad anaeróbica de varios fluidos de perforación y sus respectivas bases sintéticas, como criterio de selección de formulaciones seguras al ambiente en perforaciones costa afuera. Los fluidos de perforación evaluados fueron los siguientes: Iso Olefina interna C16-C18 densificado con Orimatita® (IO C16-C18 Orimatita®) y Barita (IO C16-C18 Barita), aceite mineral desaromatizado densificado con Orimatita® (AMD Orimatita®) y Barita (AMD Barita), y éster vegetal (Greenoil®) densificado con Orimatita® y Barita. Adicionalmente, se evaluaron las respectivas bases de dichos fluidos: Iso Olefina interna (IO C16-C18), aceite mineral desaromatizado (AMD) y Greenoil®.

METODOLOGÍA

Determinaciones de carbono orgánico

El contenido de carbono inicial de los fluidos de perforación completos IO C16-C18 (Orimatita®/Barita), AMD (Orimatita®/Barita) y Greenoil® (Orimatita®/Barita), así como las respectivas bases IO C16-C18, AMD y Greenoil®, fue analizado empleando la metodología establecida en la norma ASTM 5291 [11]. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 1-2.

Barita) y Greenoil® (Orimatita®/Barita), así como las respectivas bases IO C16-C18, AMD y Greenoil®, fue analizado empleando la metodología establecida en la norma ASTM 5291 [11]. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 1-2.

Tabla 1. Contenido de carbono orgánico total (% p/p), en los fluidos de perforación completos formulados con aceite sintético del tipo Iso Olefina interna C16-C18 (IO), densificado con Orimatita® y Barita, aceite mineral desaromatizado (AMD), densificado con Orimatita® y Barita, y aceite vegetal esterificado (Greenoil®), densificado con Orimatita® y Barita

FLUIDOS	CARBONO ORGÁNICO (% p/p)
IO C16-C18-Orimatita®	81,10
IO C16-C18-Barita	80,04
AMD Orimatita®	30,22
AMD Barita	28,28
Greenoil®-Orimatita®	32,45
Greenoil®-Barita	32,66

Tabla 2. Contenido de carbono orgánico total (% p/p) en las bases Iso Olefina interna C16-C18 (IO), aceite mineral desaromatizado (AMD) y aceite vegetal esterificado (Greenoil®)

BASES	CARBONO ORGÁNICO (% p/p)
IO C16-C18	85,28
AMD	85,53
Greenoil®	76,80

Ensayo de biodegradabilidad anaeróbica

Se utilizó la Norma ISO para biodegradabilidad anaeróbica en botella cerrada [12]. Este método evalúa la mineralización de un compuesto orgánico, mediante la cuantificación de los productos resultantes del proceso de biodegradación (CO₂ y CH₄). La norma califica un compuesto como biodegradable anaeróbicamente si se mineraliza al menos un 50% luego de transcurridos 60 días. La biodegradabilidad de las sustancias ensayadas se cuantifica determinando el aumento de CO₂ y CH₄ en la fase gaseosa, comparándola con la cantidad de gases producidos en los controles, asumiendo que el compuesto orgánico se mineraliza en su totalidad.

Fueron preparados microcosmos (botellas de 160 ml de capacidad) con 90 ml de medio mineral mínimo, lodo industrial (8-10% p/v) pretratado [12], y cada uno de los fluidos y bases, hasta obtener una concentración final de 100 ppm de carbono orgánico en cada microcosmo.

Para desplazar el oxígeno presente y obtener condiciones anaeróbicas, las botellas fueron sometidas a una corriente de nitrógeno. Posteriormente, fueron mantenidos en oscuridad en una estufa a 32 °C.

Para adicionar la cantidad adecuada de cada una de las muestras se procedió a determinar el contenido de carbono orgánico de cada una de estas (Tablas 1-2), con la finalidad de calcular el volumen de sustrato/muestra a adicionar en cada microcosmo (Fig. 1).



Fig. 1. Imagen del microcosmo emplado para evaluar la biodegradación anaeróbica

Como controles negativos se utilizaron consorcios sin ninguna fuente de carbono (omisión del compuesto orgánico). De este modo, se determinó la generación espontánea de gas por el inóculo (respiración endógena). Como controles positivos se prepararon microcosmos con glucosa (Merk) como sustrato, hasta obtener una concentración final de 100 ppm de carbono orgánico. Cada muestra se evaluó por triplicado. La concentración de gas generado en la fase gaseosa (CO₂ y CH₄) se determinó mediante análisis de cromatografía de gases, empleando un equipo Agilent 690 Series, GC System con detector TCD usando helio como gas de arrastre.

Finalmente, la biodegradabilidad se expresó como un porcentaje, calculando la relación de la cantidad de carbono generado en el microcosmo, con la cantidad de carbono añadido inicialmente, según la siguiente expresión [12]:

$$\% \text{ Biodegradación} = \frac{\text{mg de carbono generado en el microcosmo}}{\text{mg de carbono añadido en el microcosmo}} \times 100$$

RESULTADOS

Los resultados de los estudios de la biodegradación anaeróbica de los fluidos y bases evaluados en el presente trabajo se detallan en las Tablas 3-4.

Los fluidos completos evidencian una tendencia de moderada (37,2%) a baja (19,2%) biodegradabilidad luego de transcurridos 60 días de experimentación. Los fluidos más biodegradables resultaron ser los preparados con IO C16-C18 como base y densificados con Barita y Orimatita® (37,2 y 29,36%, respectivamente), seguido del Greenoil® densificado con Orimatita® y Barita (34,4 y 32,3%, respectivamente). Los AMD densificados con Orimatita® y Barita tuvieron la menor susceptibilidad al ataque microbiano obteniéndose 24,6 y 19,2% de biodegradación respectivamente (Tabla 3).

Los resultados obtenidos demostraron que las bases IO C16-C18, AMD y Greenoil® son totalmente biodegradables luego de transcurridos 60 días de incubación (Tabla 4).

Tabla 3. Biodegradación anaeróbica (%) de los fluidos de perforación completos formulados con aceite sintético del tipo Iso Olefina interna C16-C18 (IO), densificado con Orimatita® y Barita, aceite mineral desaromatizado (AMD), densificado con Orimatita® y Barita, y aceite vegetal esterificado (Greenoil®), densificado con Orimatita® y Barita, en 60 días

BASES	BIODEGRADACIÓN (%)	NIVEL DE BIODEGRADACIÓN
IO C16-C18-Orimatita®	29,36	Moderada
IO C16-C18-Barita	37,15	Moderada
AMD Orimatita®	24,56	Baja
AMD Barita	19,17	Baja
Greenoil® Orimatita®	34,43	Moderada
Greenoil® Barita	32,27	Moderada
Control +	100	Alta
Control -	<1	No biodegradable

Tabla 4. Biodegradación anaeróbica (%) de las bases Iso Olefina interna C16-C18 (IO), aceite mineral desaromatizado (AMD) y aceite vegetal esterificado (Greenoil®), en 60 días

BASES	BIODEGRADACIÓN (%)	NIVEL DE BIODEGRADACIÓN
IO C16-C18	100	Alta
AMD	100	Alta
Greenoil®	100	Alta
Control +	100	Alta
Control -	<1	No biodegradable

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que las bases evaluadas, aceite mineral desaromatizado, Greenoil® y la Iso Olefina interna C16-C18 [13,14], alcanzaron el 100% de biodegradación anaeróbica al cabo de 60 días.

Los fluidos completos formulados con dichas bases, densificados con Orimatita® o Barita, evidenciaron tasas de biodegradación menores bajo condiciones similares. En general, la tendencia observada fue de moderada (37,2%) a baja (19,2%) biodegradabilidad luego de 60 días de experimentación. Los fluidos más biodegradables resultaron ser los formulados con IO C16-C18 y Greenoil® (éster vegetal). La menor tasa de biodegradación anaeróbica fue observada en los AMD. Estos resultados confirman la información reportada previamente, en la cual, se indica que actualmente los ésteres vegetales son considerados como las bases sintéticas más biodegradables [3, 8, 9].

La literatura señala que la Norma ISO 11734 [14] es aplicable sólo a bases de fluidos (Fig. 2) y no para fluidos densificados [10], ya que está comprobado que los aditivos y densificantes como Barita, Orimatita® y CaCO₃ pueden disminuir el grado de biodegradabilidad debido a cambios físicos (solubilidad, viscosidad) y químicos (pH, conductividad eléctrica, presencia de iones) que ocurren sobre las bases. Por estas razones, se han establecido modificaciones a dicha norma, para emplearla en evaluaciones de la biodegradabilidad anaeróbica de formulaciones de fluidos completas [5, 6, 13, 14]. Actualmente, se emplean como referencia fluidos biodegradables para corroborar la calidad y reproducibilidad de los análisis. Los fluidos comúnmente utilizados con este fin son los preparados a partir de Iso Olefinas internas (IO), los cuales alcanzan más del 50% de biodegradación, al cabo de 275 días [4, 6, 9, 13, 14].

Los estudios de biodegradabilidad anaeróbica realizados en este trabajo demuestran que los fluidos de perforación evidencian tasas de baja a moderada biodegradación en un tiempo de 60 días. Si se asume la premisa empleada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica [13, 14] para la modificación de la Norma [12], en la cual se requieren 275 días para alcanzar porcentajes de biodegradación mayores o iguales a 50%, en fluidos completos. Entonces, los resultados obtenidos (a 60 días) sugieren que probablemente al cabo de 275 días, las tasas de biodegradación de los fluidos evaluados serían mayores, pudiendo posiblemente llegar a ser considerados biodegradables.

Adicionalmente, estas pruebas generan información sobre la biodegradación potencial de los desechos o ripios que se producen durante el proceso de perforación de pozos, de tal modo que se visualicen, en etapas tempranas, los posibles tratamientos que se pudieran aplicar a estos desechos.

En todo caso, debido a la enorme logística que implica la realización de perforaciones de pozos y la necesidad de contar con respuestas relativamente rápidas sobre la persistencia de una sustancia en ambientes anóxicos, se hace casi inviable aplicar la Norma ISO 11734 modificada según el código Federal de Estados Unidos [13, 14], como protocolo estándar, principalmente, por el prolongado tiempo de incubación que requiere dicha metodología (275 días).

En este sentido, es importante seguir adecuando las normas internacionales para poder contar con metodologías relativamente rápidas y seguras que permitan tomar decisiones oportunas sobre la utilización de bases y fluidos de perforación que generen un menor impacto ambiental.

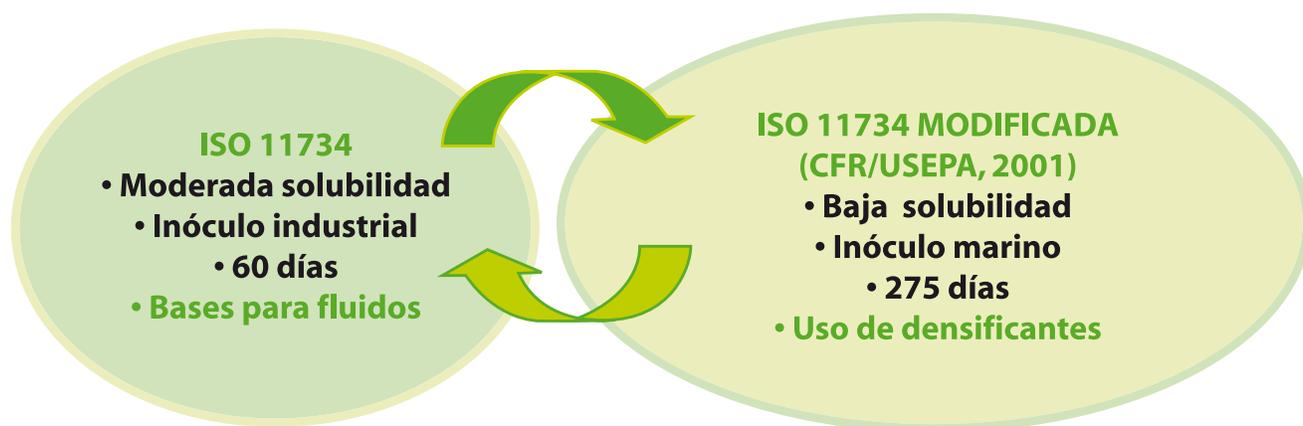


Fig.2. Esquema de las restricciones que aplican para realizar pruebas de biodegradabilidad anaeróbica sobre bases y fluidos densificados

CONCLUSIONES

Las bases aceite mineral desaromatizado, Greenoil® e Iso Olefina interna C16-C18 son totalmente biodegradables al cabo de 60 días en condiciones de laboratorio bajo la Norma ISO 11734, por tanto, podemos predecir que son muy poco persistentes en el ambiente marino.

Los fluidos densificados preparados con Iso Olefina interna C16-C18 y Greenoil® poseen una biodegradabilidad moderada; mientras que los fluidos formulados con aceite mineral desaromatizado como base poseen baja biodegradabilidad a los 60 días.

La tendencia obtenida indica que los fluidos que presenten un porcentaje de biodegradación anaeróbica mayor o igual al 30%, al cabo de 60 días siguiendo la norma ISO, podrían ser considerados biodegradables cuando transcurran 275 días.

CONSIDERACIONES FINALES

Es importante tomar en cuenta que, al momento de realizar estudios sobre evaluaciones ambientales de bases y fluidos de perforación completos, es necesario considerar no sólo la biodegradabilidad aeróbica y anaeróbica, sino también sus niveles de toxicidad, de manera que se obtenga una evaluación ambiental integral.

REFERENCIAS

- [1] Atlas, R.: "Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective". *Microbiol. Rev.* 45 (1): 180-209. 1981.
- [2] Pagga, U. "Testing Biodegradability with Standardized Methods". *Chemosphere.* 35 (12): 2953-2972. 1997.
- [3] Steber, J.; Herold, C.; Limia, J. "Comparative Evaluation of Anaerobic Biodegradability of Hydrocarbons and Fatty Derivatives Currently Used as Drilling Fluids. *Chemosphere.* 31 (4): 3105-3118. 1995.
- [4] American Chemistry Council. "A Comparison of the Environmental Performance of Olefin and Paraffin Synthetic Base Fluids (SBF)". 1-22. 2006.
- [5] Herman, D. and Roberts, D.J. "A Marine Anaerobic Biodegradation Test Applied to the Biodegradation of Synthetic Base Fluids". *Soil Sedim. Cont.* 14 (5): 433-447. 2005.
- [6] Roberts, D.J. and Herman, D. "Evaluation of a Marine Closed Bottle Anaerobic Biodegradation Test for Non-Aqueous Drilling Mud Fluids". Final Report to the American petroleum Institute and National Ocean Industries Association Synthetic Based Mud Research Group. 1-15. 2004.
- [7] Barberii, E. *El Pozo Ilustrado.* Quinta edición. Editorial Binev. FONCIED, Caracas. 587-593. 2001.

- [8] American Chemistry Council. A comparison of the Environmental Performance of Olefin and Paraffin Synthetic Base Fluids (SBF). 1-25. 2006.
- [9] Petroleum Guidelines. Drilling Fluids Management. Environment Division. Department of Industry and Resources. Government of Western Australia. 1-5. 2006.
- [10] Chang, R. Lubricantes: Biodegradables/ Ecotoxicidad Parte I: Regulaciones Ambientales y Métodos de Ensayos. Reporte N° 5. PDVSA Intevep. 1-25. 1998.
- [11] American Standard Method, ASTM D 5291. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants. 2002.
- [12] International Organization for Standardization, ISO 11734. Water quality. Evaluation of the ultimate anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge. Method by measurement of the biogas production. 1995.
- [13] Environmental Protection Agency of E.E.U.U., USEPA. Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the oil and gas extraction point. Source Category; OMB Approval under the paperwork Reduction Act: Technical Amendment; Correction 40 CFR Parts 9 and 435. Federal Register, 66. 30807-30811. 2001.
- [14] Environmental Protection Agency of E.E.U.U., USEPA. Proposed Reissuance of the NPDES General Permit for oil and gas exploration, development and production facilities located in State and Federal Waters in Cook Inlet, AK (FRL-8160-2). Federal Register, 75. 20388-20397. 2006.



VISION TECNOLÓGICA VISION TECNOLÓGICA VISION TECNOLÓGICA



HUMEDALES CONSTRUIDOS: UNA OPCIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN VENEZUELA

RESUMEN

Antonio Quilice
PDVSA Intevep

Fernando Camacho
PDVSA Intevep

Julio Manzanares
PDVSA Intevep

Se evaluó la eficiencia operativa de un humedal de flujo superficial construido a escala piloto para la remoción de concentraciones moderadas de compuestos fenólicos y de hidrocarburos totales de petróleo, de aguas de producción provenientes de una estación de flujo en el estado Apure. Los resultados indicaron que para un tiempo de residencia de un día, tres humedales con más de tres años de establecimiento y constituidos por las especies vegetales: *Typha*, *Echinochloa* y *Cynodon*, removieron más del 90% de estos contaminantes. Adicionalmente y a pesar de la alta pluviosidad del clima de sitio de estudio, se observó que un promedio mensual de entre 25 y 40% del volumen de agua originalmente entrante a los humedales construidos pasa a la atmósfera por evapotranspiración, para los meses de lluvia y de sequía, respectivamente. A partir de estos resultados, se derivaron las bases de diseño para el escalamiento del proceso biológico para el tratamiento de un caudal de aguas de producción de 200 mil barriles de agua por día, generados por una estación de flujo de la zona.

Los parámetros de calidad del agua tratada cumplen con la normativa ambiental venezolana para ser dispuesta en cuerpos de agua superficiales, recarga de acuíferos o para su reuso en actividades agroindustriales propias del sitio. De esta manera, además de constituir una forma de revalorizar las aguas residuales, los bajos costos operativos y de mantenimiento de los humedales construidos permiten recomendar ampliamente su aplicación para el tratamiento de cuantiosos caudales de aguas de producción, como una forma sostenible y ambientalmente segura de disminuir los costos de producción de hidrocarburos en muchas zonas de Venezuela y de la región.

CONSTRUCTED WETLANDS: AN OPTION FOR VENEZUELAN OIL INDUSTRY WASTE WATER TREATMENT

ABSTRACT

Results of produced water treatment experiences based on the use of constructed wetlands are presented: An ecological engineering biotechnology that combines the use of higher plants and autochthonous microorganisms for waste water treatment.

A more than three years old surface flow constructed wetland was evaluated at a pilot scale for its produced water treatment efficiency in an oil-field located in Southwest Venezuela. Results indicated that the removal of phenolic compounds as well as total petroleum hydrocarbons were higher than 90% with a residence time of one day. Furthermore, in spite of the heavy rains typical of Venezuelan humid tropics weather conditions, the volume of treated water was reduced during the treatment process by water evapotranspiration to the atmosphere in an order of 25 to 40% during the rainy and the dry seasons, respectively. From these results, design premises were derived in order to scale up a constructed wetland for the treatment of more than 200 thousand barrels of water per day associated to oil production in the zone.

In accordance with Venezuelan environmental restrictions for the control liquid effluents disposal, quality of treated water suggests that it may be safely disposed into superficial water bodies and aquifers recharge or for its reuse in agroindustrial activities proper to the site. Due to its low operation and maintenance costs, the application of this biotechnology for the treatment of high volumes of produced waters is a sustainable and environmentally friendly option to reduce oil production costs for several oil fields in Venezuela and the region, while residual water is revalued as a resource.

Como en otras partes del mundo, en Venezuela los hidrocarburos se encuentran frecuentemente asociados a la presencia de agua en el yacimiento. La proporción de agua asociada al hidrocarburo, durante el proceso de extracción o corte de agua, varía de acuerdo al yacimiento y a la madurez de explotación del mismo. En superficie, el crudo extraído es sometido entonces a diversos procesos de deshidratación que se vale de las diferencias en el comportamiento físico, químico y mecánico de las fases acuosas y del hidrocarburo para recuperar la mayor cantidad de hidrocarburos libres de agua del total de fluidos extraídos del yacimiento.

Una vez concluido el proceso de separación, el agua que se separa del hidrocarburo (agua de producción) se caracteriza de manera variable por su contenido de sólidos suspendidos totales, contenido de sales de Cl^- , S^{2-} , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Ba, Ca, Mg y remanentes de hidrocarburos de petróleo. Frecuentemente y de acuerdo con las normas ambientales venezolanas e internacionales [1], estas características limitan la posibilidad de disposición del agua a cuerpos de agua receptores en superficie o para su reutilización en otras actividades productivas distintas a la petrolera (e.g. agroindustria). Por esto, son tradicionalmente reinyectadas directamente al yacimiento bien pretratadas para garantizar su estabilidad química o sin pretratamiento. La reinyección es un subproceso que se traduce en inversiones en infraestructura, mantenimiento y procedimientos cuyos costos se suman al total del costo de producción del hidrocarburo. Adicionalmente, la reinyección de aguas de producción expuestas a condiciones oxidantes en superficie puede causar daños al pozo (por ejemplo, por precipitación de sales y subsiguiente taponamiento) lo cual puede incidir negativamente en la productividad y vida útil del mismo, todo lo cual a su vez incrementa los costos de producción.

Los humedales son ecosistemas constituidos por plantas tolerantes a la inundación del sustrato (condiciones anóxicas) y que, en asociación con microorganismos presentes en él, establecen ciclos biogeoquímicos de transformación de materia y transferencia de energía de complejidad considerable [2]. Por su parte, los humedales construidos son una biotecnología que se fundamenta en principios de ingeniería ecológica de reciente auge que simula estas condiciones, establece parámetros críticos de relación entre balance hidráulico, de masas y parámetros fisicoquímicos particulares con el fin de determinar condiciones óptimas de operaciones semicontroladas para tratar efluentes de procesos domésticos o industriales, de baja a moderada salinidad total ($0\text{-}18\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$).

Dado que la fuente principal de energía es la radiación solar, los humedales construidos presentan muy bajos costos operativos y de mantenimiento en comparación con otras opciones de tratamiento, mientras se disponga de terreno

suficiente para su establecimiento. Por tratarse de sistemas biológicos complejos, constituidos por asociaciones de organismos vivos de diverso nivel taxonómico y funcional en el ecosistema, su empleo se restringe generalmente al tratamiento secundario o terciario de efluentes. Adicionalmente, su establecimiento a cielo abierto los expone a condiciones meteorológicas locales, por lo que la eficiencia de su operación y la factibilidad de su aplicación, en comparación con otras tecnologías para el tratamiento de aguas, están asociadas a su desempeño ante condiciones meteorológicas del sitio. En otras palabras, por tratarse de sistemas semiabiertos, su eficiencia operativa está sujeta a la magnitud de variabilidad de la radiación y la precipitación, bajo las condiciones de temperatura (T) y de humedad relativa (HR), de relativa menor variabilidad anual predominantes en la mayor parte del país.

Venezuela alberga numerosos ecosistemas de humedales naturales con amplia biodiversidad de especies de plantas que los conforman. Dentro del territorio nacional, existen áreas donde las condiciones meso y microclimáticas de precipitación (P) y radiación solar (R_n) son favorables para la aplicación de esta tecnología para la depuración de efluentes de variada calidad. De forma simplificada, podría decirse que el éxito en la aplicación de la tecnología de humedales construidos para el tratamiento de efluentes y en particular para el tratamiento de aguas de producción, se fundamenta en alcanzar la relación más apropiada entre el balance hidráulico y el balance de masas de compuestos químicos a remover (e.g. hidrocarburos totales de petróleo, compuestos fenólicos, etc.) o de parámetros fisicoquímicos particulares tales como DBO, DQO, STD, pH, etc.

La tecnología de humedales construidos ha sido empleada con éxito en el tratamiento de efluentes domésticos e industriales principalmente en regiones de clima predominantemente templado [4, 5, 6, 7] Aún cuando las condiciones tropicales húmedas del país favorecen la productividad primaria y el desarrollo de humedales durante todo el año, su uso para acondicionar efluentes domésticos e industriales para su disposición final ha sido explorado más bien discretamente [8, 9]. No se conoce de ninguna experiencia previa para el tratamiento de aguas de producción de la industria petrolera en Venezuela.

En este trabajo se presentan los resultados de lo que puede considerarse la primera experiencia de empleo de humedales construidos a escala piloto para el tratamiento de aguas asociadas a la producción de hidrocarburos. La experiencia fue llevada a cabo en un sitio de marcada estacionalidad de lluvias, con el fin de derivar las bases de diseño para la construcción de un humedal para tratar alrededor de 200.000 Barriles de Agua Por Día (200.000 BAPD) de aguas de producción de baja salinidad y moderado contenido de compuestos fenólicos en los Llanos suroccidentales de

Venezuela. Además, se presentan los parámetros de diseño requeridos para disminuir el volumen de agua efluente en condiciones de marcada estacionalidad de precipitación y la remoción de compuestos fenólicos disueltos a escala real, para una estación de flujo de hidrocarburos de un campo de extracción de crudo en el suroeste venezolano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones operativas de los humedales y determinación de las bases de diseño

El experimento se llevó a cabo en las cercanías de la Estación de flujo La Victoria en el estado Apure, aguas abajo de un proceso de separación de fases agua:crudo como el esquematizado en la Fig. 1.

Las condiciones generales de operación para cada humedal se muestran en la Tabla 1. En cada caso, se trabajó con combinaciones de especies de plantas. Estas combinaciones derivaron de la composición de la población original (especie dominante basado en cobertura) por invasión espontánea de otras. Los valores de cobertura representan el valor final promedio luego del período de mediciones y luego de más de tres años de operación de cada humedal. Los caudales de entrada de operación se variaron escalonadamente por un periodo de 9 meses para evaluar su influencia en la eficiencia de cada humedal. El área mostrada representa a la del espejo de agua real, la cual diferiría levemente entre una y otra celda debido a la microtopografía propia de cada una de éstas. El volumen presentado se determinó como el necesario para llenar cada celda ocupada por plantas en plena madurez (más de tres años establecidas) hasta alcanzar una altura de espejo de agua de 0,5 m. Esta altura resultó ser la máxima

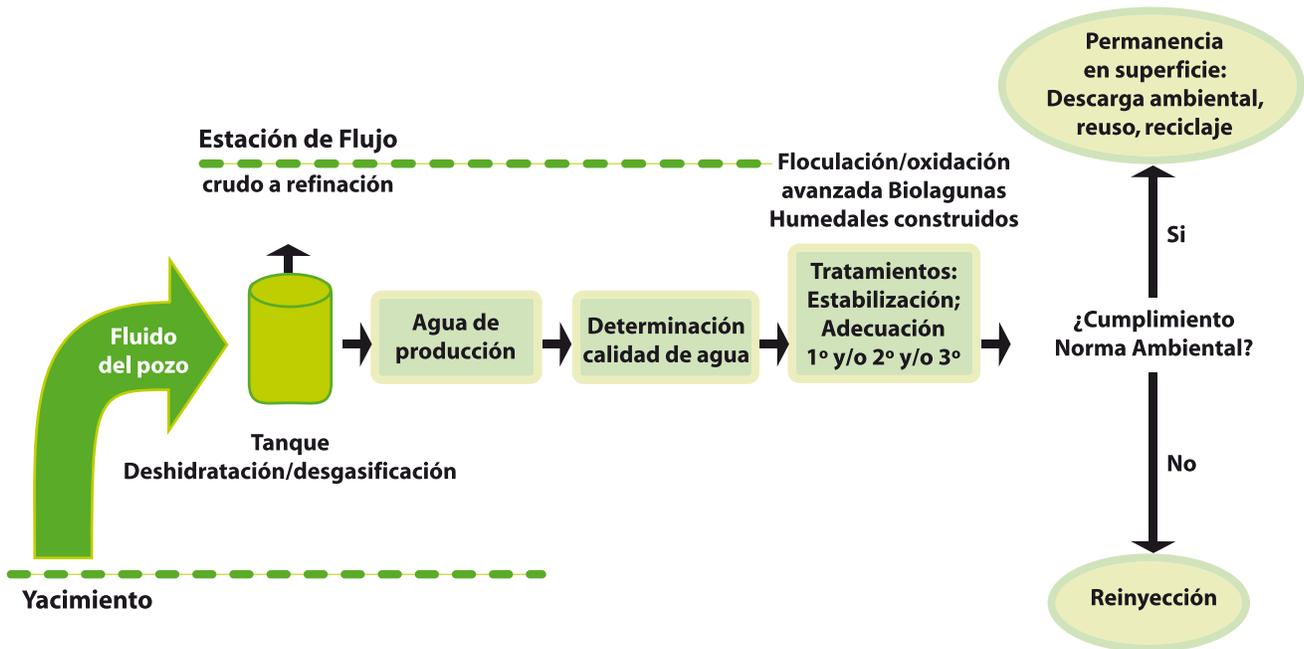


Fig. 1. Esquema general de procesos de generación de aguas de producción en estaciones de flujo de hidrocarburos

Se trabajó con un sistema a escala piloto de tres humedales en paralelo de aproximadamente 4*10 m² cada uno. Cada humedal construido funcionó en modalidad flujo pistón (probado con trazadores de rodamina, datos no mostrados), con relación de aspecto (largo: ancho) 2,5 y pendiente de 0,1 %. (Fig. 2).

tolerable para mantener la mayor tasa de producción de biomasa aérea, así como eficiencia operativa en estudios preliminares. Similarmente, las especies sembradas fueron seleccionadas de diversos humedales naturales del sitio, tomando como criterio el mayor desarrollo de biomasa aérea natural observada .

Evaluación de los parámetros de balance hídrico

Con el fin de descartar la posibilidad de flujo de agua hacia el subsuelo (percolación, Q_c), se establecieron pozos monitores de 6 m de profundidad alrededor de los humedales construidos. El análisis de muestras de aguas de dichos pozos, ubicados aguas arriba y debajo de la dirección del flujo de las corrientes freáticas del sitio (localizadas entre 3 y 4 m por debajo de la superficie), indicaron que el sello

compactado de mezcla bentonita:suelo al 15% (p/p) fue efectiva al evitar la percolación de aguas y contaminación del acuíferos del sitio. Esto fue revelado por la ausencia de diferencias significativas en el contenido de cloruros en agua entre muestras de agua ubicadas aguas arriba y aguas debajo de cada celda del humedal construido, así como por niveles indetectables de compuestos fenólicos ($<0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).



Fig. 2 Fotografía de celdas de los humedales construidos a escala piloto con tres meses de desarrollo en la Estación de flujo La Victoria y constituidos por las especies vegetales *Echinochloa polystachya* (izquierda) y otro constituido por *Typha domingensis* (derecha)

Tabla 1. Características de las celdas experimentales o humedales construidos en operación en paralelo, bajo modalidad de flujo pistón. Las especies predominantes se resaltan en negrilla

CELDA O HUMEDAL	ÁREA (m ²)	% COBERTURA	V (m ³) ^a	V _r (m ³) ^b	V _r /V Porosidad	Q _E medio (m ³ /d) ^c	T _{RH} evaluados (d) ^d
1	40,0	<i>Cynodon nlemfuensis</i> / 90% <i>Typha domingensis</i> / 5% <i>Brachiaria mutica</i> / 5%	20,0	12,7	0,64	13-2,1	1-6
2	38,0	<i>Echinochloa polystachya</i> / 95% <i>Brachiaria mutica</i> / 5%	19,0	11,4	0,6	12-2	1-6
3	37,5	<i>Typha domingensis</i> / 90% <i>Echinochloa polystachya</i> /10 %	18,8	12,6	0,67	13-2	1-6

a, Volumen calculado de agua en la celda o humedal (cálculo geométrico, no considera variaciones microtopográficas del suelo ni el volumen ocupado por plantas)

b, Volumen medido de agua en cada celda o humedal en un momento determinado

c Caudal promedio de entrada a la celda o humedal en m³ agua por día (intervalo evaluado)

d, Tiempo de residencia hidráulico en días (intervalo resultante)

En cuanto al balance hidráulico, la operación de un humedal puede resumirse en las siguientes ecuaciones:

$$Q_E = V/T \quad (1)$$

Donde,

Q_E es el caudal de entrada ($m^3 * d^{-1}$).

V es el volumen de agua presente en el humedal en un momento determinado (m^3).

T es el tiempo durante el cual el agua se halla en contacto con el sistema humedal (tiempo de residencia hidráulico) (d).

En un sistema piloto, expuesto a cielo abierto, el caudal evapotranspirado (evaporación directa más transpiración de plantas) puede definirse por la diferencia:

$$Q_{EVPT} = Q_p + Q_E - Q_s \quad (2)$$

Donde,

Q_{EVPT} es el caudal evapotranspirado ($m^3 * d^{-1}$) y corresponde al caudal agua que pasa de la fase líquida a la gaseosa (atmósfera) para cada humedal construido completo, tanto por evaporación directa como transpiración de las plantas durante el procesos de fotosíntesis.

Q_p es el caudal de precipitación ($m^3 * d^{-1}$), evaluado mediante un pluviómetro colocado en el sitio. Adicionalmente, se evaluó la cantidad de agua evaporada en una tina de evaporación tipo A, colocada en sitio de acuerdo con las especificaciones del "Weather Bureau" de los EE.UU. [10]

Q_E es el caudal de entrada ($m^3 * d^{-1}$).

Q_s es el caudal de salida ($m^3 * d^{-1}$).

De esta última ecuación se deriva que en un sistema abierto, la evapotranspiración absoluta de un humedal expuesto a cielo abierto depende de la tasa de precipitación, la cual tiene particular importancia en el diseño de humedales en condiciones tropicales con marcada estacionalidad de lluvias. Es decir, el diseño de humedales debe considerar que durante los meses de mayor precipitación se obtendrán menores tasas de evapotranspiración y por ende el acople entre el balance hidráulico, el balance de masas y de remoción podría verse afectado.

De la ecuación 1 se deriva un parámetro muy importante que es el tiempo de retención o tiempo de residencia.

Este es el tiempo durante el cual los componentes a remover/metabolizar están en contacto con los agentes (microorganismos y plantas) que realizan la tarea en el sistema. Por

lo tanto, está también afectado por el grado de porosidad del humedal o conductividad hidráulica y determinado a su vez por la densidad y arquitectura de las plantas y el consorcio de microorganismos en el suelo y en la interfase agua-planta. Estos factores funcionales son determinantes del grado de contacto del agua con el sistema de tratamiento (i.e. humedal) y en consecuencia es concebible que influyan en la eficiencia de operación del humedal construido. La porosidad fue similar para los tres humedales mostrando una leve tendencia a ser mayor para el humedal de *Typha*, seguido por el de *Cynodon* y el de *Echinochloa* (Tabla 1).

Evaluación de eficiencia de evapotranspiración por unidad de área foliar

Se determinó el Índice de Área Foliar (IAF) o el área foliar verde transpirante por unidad de área de suelo (m^2 de hojas/ m^2 de suelo). Esta evaluación se realizó para cada una de las celdas experimentales en tres parcelas de $1 m^2$ escogidas al azar dentro de cada celda (humedal) experimental. En cada parcela se cosechó el área foliar verde emergente del agua, midiendo el área foliar total transpirante de la especie predominante (según Tabla 1) empleando un medidor de área foliar portátil. Este procedimiento permitió la comparación de los humedales experimentales en cuanto a su eficiencia en la producción de materia orgánica (Tabla 2). Con el fin de comparar el potencial productivo de los humedales construidos alimentados con agua de producción con uno natural del sitio, se realizó el mismo procedimiento (determinación del IAF) para un humedal natural predominante en el sitio dominado por *Typha domingensis* y ubicado aguas arriba de las posibles influencias del agua de producción (control).

Tabla 2. Índice de Área Foliar (IAF: área de hojas por unidad de área de suelo) para cada una de las especies de humedal. *Typha domingensis* "aguas arriba", representa el IAF de esta especie alcanzada en un humedal natural cercano a las celdas de humedales construidos

ESPECIE PREDOMINANTE	FAMILIA	Índice de Área Foliar (m ² hojas/m ² suelo)	S
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	Poaceae	1,39 ^b	0,13
<i>Echinochloa polystachya</i>	Poaceae	5,12 ^a	0,23
<i>Typha domingensis</i>	Typhaceae	4,44 ^a	0,66
<i>Typha domingensis</i> / control, "aguas arriba"	Typhaceae	4,66 ^a	1,59

s: desviación estándar

a: diferencias estadísticamente no significativas con $P < 0,05$ (en una prueba t-student, 0,05; 3)

b: diferencias estadísticamente significativas con $P < 0,05$ (en una prueba t-student, 0,05; 3)

Evaluación del desempeño de especies en celdas

Con la finalidad de comparar el desempeño de las especies empleadas para constituir cada humedal experimental, se realizaron curvas de respuesta de las tasas instantáneas de fotosíntesis y transpiración ante variaciones de la densidad de flujo fotónico en el intervalo de longitud de onda, $\lambda = [400-720]$ nm (radiación fotosintéticamente activa o RFA). Para esto, se colocaron individualmente hojas maduras totalmente expandidas de *Typha dominguensis*, *Echinochloa polystachya* y *Cynodon nlemfuensis* en la cámara foliar de un equipo analizador infrarrojo de CO_2 provisto de una fuente de luz artificial que emplea una combinación de diodos emisores de luz roja y azul. Una vez alcanzado un nivel estable de registro de intercambio de gases (CO_2 y H_2O) para radiación saturante (RFA: $2000 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), se procedió a disminuir la densidad de flujo fotónico de manera escalonada desde saturación hasta oscuridad total.

Las especies mostraron altas tasas de fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 3). El orden de asimilación a radiación saturante ($>800 \mu\text{mol de fotones} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) o capacidad fotosintética fue en dirección decreciente: *Cynodon* $>$ *Echinochloa* \sim *Typha*. La Tasa de transpiración a radiaciones saturantes mostró un orden *Echinochloa* \sim *Typha* $>$ *Cynodon* (Fig. 3). Estos resultados indican diferencias en la respuesta fotosintética entre las especies empleadas para la constitución de los humedales construidos y se halla presumiblemente asociada a la ruta fotosintética C3 para *Typha* y C4 *Echinochloa* y *Cynodon*. Además, las diferencias en el desempeño en cuanto a evapotranspiración total de cada humedal unido al desarrollo de biomasa total aérea en pie (Tabla 2) indican una mayor partición de asimilados por parte de *Typha* y *Echinochloa* a la expansión de área foliar y atributos de arquitectura (porte erecto), en relación con la de *Cynodon* (pasto de hábito postrado). Estas variables explicarían las diferencias funcionales observadas entre los tres humedales construidos en relación a la evapotranspiración total y consecuente reducción del volumen de efluente (ver en Resultados y Discusión) y por lo tanto son de utilidad como criterios para la elección de especies para constituir humedales construidos para tratamiento de efluentes petroleros.

Evaluación de balance de masas para cloruros y fenólicos

En cada celda se tomaron periódicamente muestras de agua para determinar de acuerdo a los protocolos contenidos en el manual de métodos estándar para el análisis de agua y de efluentes [11]: conductividad, pH, sólidos totales disueltos (TDS), salinidad y temperatura, tanto en el agua de entrada como en la de salida de los humedales. Asimismo, en alícuotas de agua de entrada y de salida, se determinaron periódicamente la concentración de cloruros y compuestos fenólicos totales, mediante colorimetría empleando un equipo portátil.

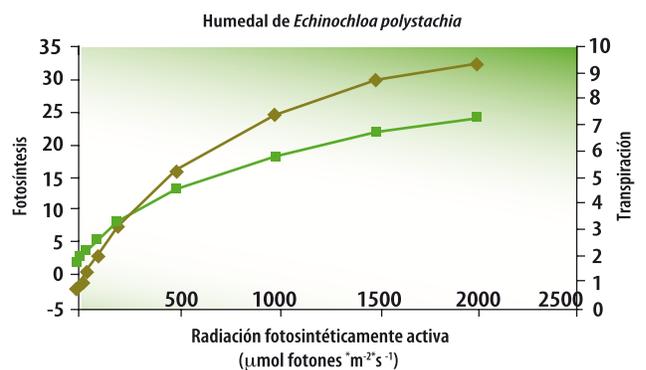
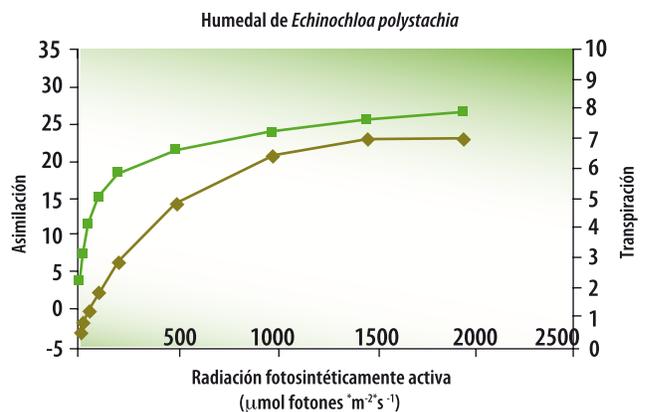
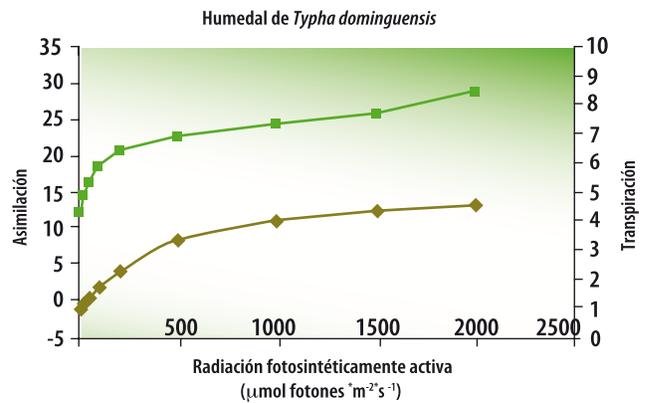


Fig. 3. Respuesta fotosintética (asimilación: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a la variación de la densidad de flujo de fotones fotosintéticamente activos (λ : [400-720] nm; $\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Los símbolos rombos (◆) corresponden a tasa instantánea de fotosíntesis y los cuadrados (■) a la de la transpiración

Además, se evaluaron parámetros de calidad de efluente tales como DQO; aceites y grasas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); hidrocarburos totales de petróleo; sólidos totales ($105\text{ }^\circ\text{C}$); Sólidos totales fijos y sólidos totales volátiles ($550\text{ }^\circ\text{C}$) y alcalinidad. Similarmente, para los sedimentos, se evaluó el contenido de cloruros por el método 4500 de la Sociedad Americana para Prueba de Materiales en una muestra compuesta a partir de tres alícuotas de los primeros 15 cm de sedimento (tomadas con tubos de PVC) y colectadas sistemáticamente en tres transectos equidistantes entre sí a partir de la entrada de los humedales y hacia la salida de los mismos. Todos los parámetros evaluados corresponden a humedales con más de tres años de operación por lo que se consideró que los mismos se hallaban en estado de equilibrio estable.

Los resultados obtenidos para los parámetros antes especificados se promediaron para cada mes durante un período total de evaluación de 9 meses, que incluyó parcialmente meses de las estaciones seca (diciembre-marzo) y lluviosa (abril-septiembre). Para las aguas de producción objeto de este estudio, sólo se determinó el tiempo de residencia hidráulico mínimo necesario para la remoción del parámetro “concentración de compuestos fenólicos” desde su valor inicial hasta alcanzar la concentración considerada por la normativa ambiental de $0,5\text{ mg L}^{-1}$. El conocimiento de las características del agua de producción a tratar permitiría ajustar, de esta manera, la calidad del efluente tratado para su disposición en superficie e inclusive adecuarlo para alcanzar estándares de calidad de agua para su uso en procesos agroindustriales.

Asumiendo condiciones de equilibrio estable de los humedales de prueba, las concentraciones medias mensuales de compuestos fenólicos se ajustaron a un modelo de cinética de remoción de primer grado:

$$C_s = C_e * e^{-kT} \quad (3)$$

Donde,

C_s es la concentración de fenólicos del agua de salida del humedal ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

C_e es la concentración de fenólicos del agua de entrada al humedal ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

K es la constante volumétrica de cinética de remoción o de reacción ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$).

T es el tiempo de residencia hidráulico (d)

Las variaciones del tiempo de residencia hidráulico se lograron mediante ajustes programados del caudal de entrada a cada humedal. Cada valor fue normalizado dividiéndolo por el caudal medio de operación $Q = Q_e + Q_s / 2$,

Donde,

Q es el caudal medio ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Q_e es el caudal de entrada ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Q_s es el caudal de salida ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Remoción de compuestos fenólicos

El ajuste de la tasa de remoción de compuestos fenólicos a un modelo de cinética de primer orden arroja los parámetros operativos indicados en la Tabla 3.

La constante de reacción volumétrica de primer orden es similar para todos los humedales-especies. Del ajuste de los datos obtenidos en campo, se obtuvo que el tiempo de residencia hidráulico para alcanzar una concentración de $0,5\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de compuestos fenólicos derivada de $T(0,5) = \text{Ln}(C_e/C_s)/k$, es significativamente menor para el humedal constituido por *Typha dominguensis*, en relación con los constituidos principalmente por *Cynodon* y *Echinochloa*. Esto puede estar relacionado con una mayor porosidad (espacios libres) observada para la celda con esta especie (Tabla 1), lo cual se relaciona con una mayor superficie de contacto entre el agua y el sistema de tratamiento. Esto ha sido reportado en otras experiencias [3-4].

Esta relación se observa también en las gráficas mostradas a continuación (Fig. 4) durante el ensayo piloto. En ellas se observa que para todos los tiempos de residencias evaluados, los valores de remoción de fenólicos se hallan por encima de 80% para todas las celdas de humedales experimentales. Los resultados sugieren que la remoción esperada de fenólicos se puede alcanzar con un día de tiempo de residencia hidráulico.

En la Tabla 4, se muestran los valores operativos de interés de este estudio al final de la prueba piloto. Como se mencionó anteriormente, se trata de humedales plenamente establecidos y maduros (>3 años), por lo que pueden asumirse condiciones de equilibrio estable de operatividad, para un día de tiempo de residencia dado y altura de lámina de 0,5 m. En valores absolutos, las reducciones para todos los humedales fueron similares, siendo notoria la alta capacidad de la remoción de compuestos fenólicos.

Tabla 3. Parámetros de ajuste lineal del modelo de remoción volumétrica de compuestos fenólicos de primer orden: de la ecuación (3), $C_s = C_e * e^{-kT}$; luego: $\text{Ln}(C_s / C_e) = -k * T$ (donde: $\text{Ln}(C_s / C_e)$ es el logaritmo neperiano de C_s / C_e ; C_s y C_e representan la concentración de compuestos fenólicos a la salida y entrada, respectivamente

CELDA / ESPECIE	K(d ⁻¹)	Coefficiente de regresión (r ²)	T _(0,5) (d)
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	-0,27	0,60 (*)	1,8
<i>Echinochloa polystachya</i>	-0,25	0,53 (*)	1,8
<i>Typha dominguensis</i>	-0,25	0,78 (*)	0,98

(*) Significativo para $P < 0,05$, $n=18$

T es el tiempo de residencia hidráulico (días; d)

K es la constante volumétrica de reacción ajustada de primer orden (d⁻¹)

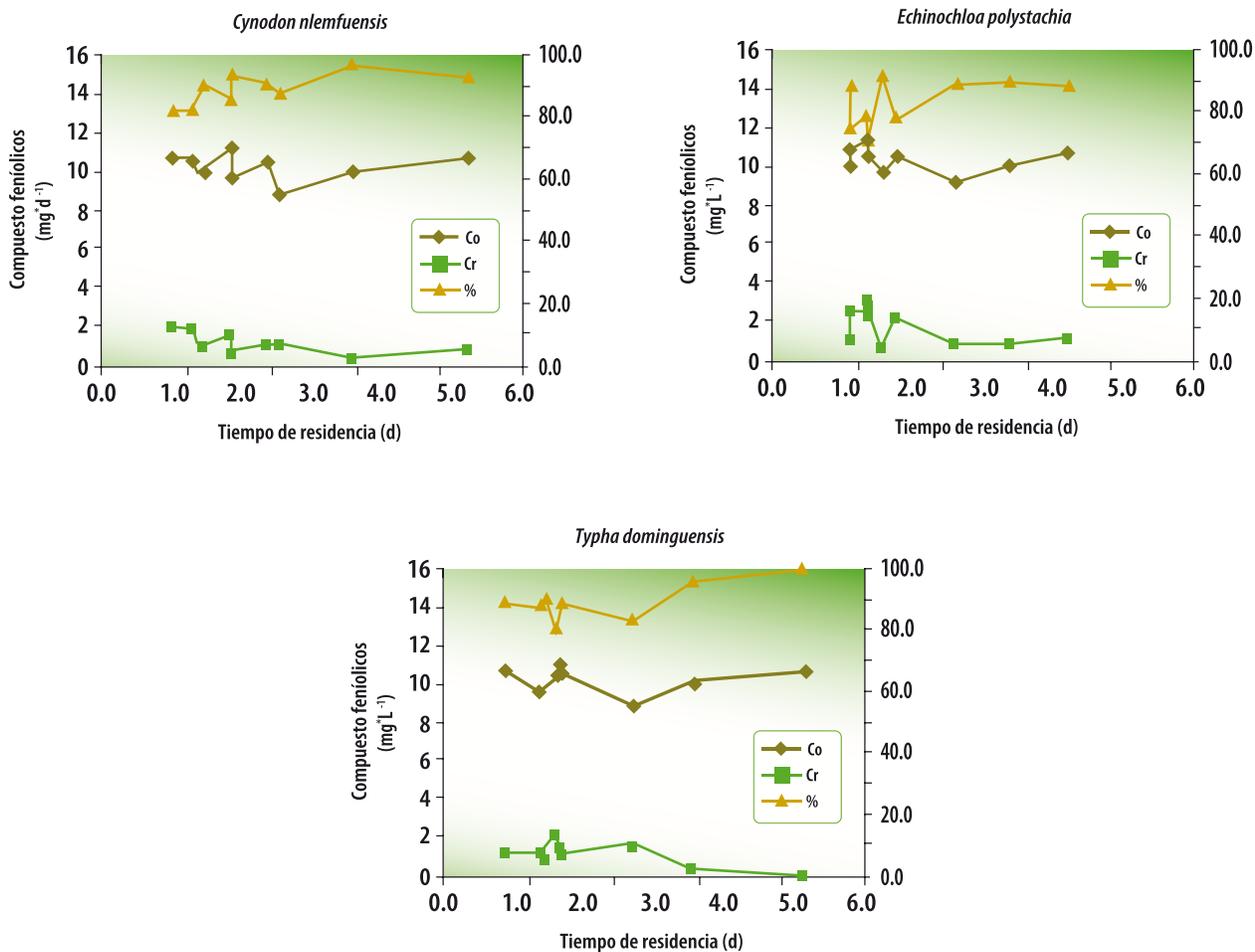


Fig. 4. Remoción de compuestos fenólicos en función del tiempo de residencia hidráulico. Los triángulos (▲) representan el porcentaje total de remoción de fenólicos; los rombos (◆) y los cuadrados (■) representan la concentración de fenólicos en los caudales de entrada y de salida de cada humedal construido

Tabla 4. Valores del contenido de cloruros y fenólicos totales en el caudal de entrada y salida de cada Humedal operativo, al final del ensayo piloto

HUMEDAL	CLORUROS (mg L ⁻¹)			COMPUESTOS FENÓLICOS (mg L ⁻¹)		
	ENTRADA	SALIDA	% REDUCCIÓN	ENTRADA	SALIDA	% REDUCCIÓN
<i>Cynodon</i>	3000	2660	11,3	3,4	<0,1	100
<i>Echinochloa</i>	3080	2830	8,1	3,4	0,2	94
<i>Typha</i>	3170	2870	9,5	3,4	<0,1	100

Reducción de volumen del efluente

La remoción de caudal por evapotranspiración en $\text{mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ ($Q_{\text{EVP}})$ se presenta en la Fig. 5. Se observa que en promedio y durante los meses de sequía (diciembre-marzo), la evapotranspiración fue de hasta 200 mm/mes (representando en promedio mensual de un 40% del caudal total). En la misma ecuación, el Q_{EVP} disminuye aproximadamente a la mitad para los meses de lluvias (abril-septiembre) para el sitio de estudio (cerca de un 25% del caudal total de operación). La reducción de volumen explicada por Q_{EVP} fue en orden decreciente para *Typha* > *Echinochloa* > *Cynodon*. Esto concuerda con los valores de desarrollo de área foliar por unidad de suelo para *Typha* y *Echinochloa* respecto a *Cynodon*.

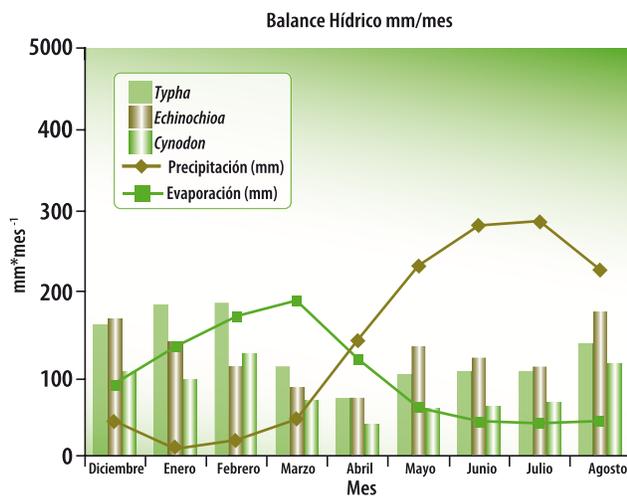


Fig. 5. Caudales de evapotraspiración (Q_{EVP}) calculada total por mes para cada uno de los humedales en relación con la precipitación y evaporación medidas en el sitio de estudio mediante un pluviómetro y una tina de evaporación tipo A, respectivamente

La reinyección de efluentes representa un costo para la actividad de producción de hidrocarburos. Por esto, los resultados de este estudio sugieren que para altos volúmenes de efluente que deben ser tratados para disposición final por reinyección, el tratamiento con humedales constituidos por *Typha dominguensis* permitiría un ahorro por su mayor capacidad de reducción de volumen aún en climas de marcada estacionalidad de lluvias.

La alta capacidad de evapotranspiración de los humedales puede ser explicada por el alto desarrollo de área foliar transpirante por unidad de área de suelo (Tabla 2), aunado a una muy baja eficiencia de uso de agua de las especies (moles H_2O evaporado/mol CO_2 fijado en fotosíntesis: transpiración/asimilación; Fig. 3). Aún cuando la estacionalidad de lluvias afecta sensiblemente la reducción de volumen por

evapotranspiración, este efecto no se evidencia en las tasas de eficiencia de remoción de fenólicos. En un estudio paralelo, se descartó la posibilidad de que las fracciones de fenólicos fueran incorporadas al tejido vegetal a través de la corriente transpiratoria y de allí a la atmósfera [12]. Se espera que reducciones de volumen por evapotranspiración impliquen un incremento en la concentración de sales (salinidad) del volumen efluente tratado por los humedales construidos, donde el reuso potencial del efluente tratado se ve limitado o imposibilitado por la elevación considerable de su salinidad, como se reporta en otras experiencias [5, 6, 7]. Para el caso particular del efluente de este estudio, los valores de salinidad del agua tratada se hallaron algo inferiores a la salinidad del agua de entrada por lo que es posible que haya ocurrido precipitación de sales dentro de cada humedal. A diferencia de las evaluaciones en climas mediterráneos, las aguas de producción, provenientes de la estación de flujo SINCO D ubicada en el suroeste venezolano, presentan originalmente una salinidad entre 300 y 400 mgL^{-1} , por lo que se estima que su destino final de potencial reuso o vertido en cuerpos de aguas superficiales no sería alterado, de acuerdo con los estándares normativos venezolanos [1] una vez escalado el proceso para el tratamiento de caudales de 200 mil barriles de agua por día provenientes de dicha estación de flujo.

Humedales construidos como una opción para el tratamiento de efluentes de producción de hidrocarburos

La elección de una opción de tratamiento determinada depende de la calidad original del efluente a tratar y del estándar de calidad preconcebido, de acuerdo a su volumen y posibilidades de disposición final. Para el caso de aguas de producción de HC, las opciones suelen ser 1) reinyección a pozos receptores sin tratamiento previo o la de su tratamiento para su reinyección más segura en términos de la reducción de la probabilidad de daños al pozo receptor (e.g. por reducción de sólidos suspendidos totales) y 2) tratamiento dirigido principalmente a la disminución de su toxicidad por reducción de hidrocarburos totales o su contenido de aceites y grasas y su disposición en cuerpos de agua receptores en superficie. Ambas opciones difieren notoriamente en sus costos asociados. En el caso particular de aguas de producción en Venezuela, la reinyección o la disposición en superficie parecen depender principalmente de la salinidad del agua a tratar. En el trabajo aquí mostrado, se evidencia que, a diferencia de las fracciones de hidrocarburos, los sólidos disueltos tienden a permanecer en el efluente tratado y algunas veces podrían aumentar su concentración por reducción de volumen por evaporación del agua. La opción de tratamiento para reinyección o para disposición en cuerpos de agua en superficie está entonces mayormente supeditada al contenido de sales del efluente. De acuerdo con la normativa ambiental [1], el agua a ser

dispuesta en cuerpos de agua superficiales debe contener menos de 1.000 mg * L⁻¹ total de cloruros disueltos. En casos en los que el efluente supere este valor, la opción de humedales construidos se ve favorecida más por su capacidad notoria de reducción del volumen del efluente a reinyectar, asociado a una reducción de costos y a la posible disminución de la probabilidad de taponamiento de pozos receptores por una reducción de sólidos suspendidos totales del efluente.

Para el caso particular de los yacimientos de hidrocarburos del suroccidente venezolano, las características cualitativas y cuantitativas de sus aguas de producción, caracterizadas por alto caudal de efluente producido por día (ca. 200 MBAPD) de bajo contenido de sólidos totales disueltos (principalmente, sales de cloruros) permiten la consideración de emplear humedales construidos para la remoción de hidrocarburos aromáticos y totales con el fin de detoxificarlos y permitir su disposición en superficie e inclusive alcanzar el grado de calidad de agua para reuso en actividades como la agroindustrial. La disponibilidad de terreno es crítica para tratar este caudal de agua mediante humedales como se demostrará más adelante. El tiempo de residencia requerido para ajustar los efluentes a la normativa ambiental en cuanto a su contenido de compuestos fenólicos totales es de un día. Esto significa que de acuerdo con la ecuación 4 presentada más adelante, es posible tratar un caudal mayor de agua de producción por unidad de terreno de humedal, lo cual implica disminución en los requerimientos de terreno para caudales altos de aguas de producción, como los considerados en este trabajo, en relación con otras opciones de tratamiento que requieren mayores tiempos de residencia hidráulico.

Estimación del área requerida para establecer un humedal para el tratamiento de aguas de producción

Las premisas de diseño de un humedal para tratamiento de aguas de producción de una estación de flujo al suroeste de Venezuela se encuentran resumidas en la Tabla 5.

Es posible emplear estas premisas para estimar el área de terreno requerida por un humedal con el fin de tratar aguas

de producción en caudales de alrededor de 200.000 BAPD, de acuerdo al siguiente sistema de ecuaciones:
De la ecuación 1

$$Q_E = V/T$$

Donde:

Q_E es el caudal de entrada (m³ * d⁻¹).

V es el volumen a tratar (m³).

T es el tiempo de residencia hidráulico (d).

Pero, $V = A * h$

Donde,

A es el área de terreno ocupado por el humedal (m²) y h es altura de la lámina de agua (m).

Luego, para $T = 1$ día.

$$Q_E = A * h / T$$

Despejando A y para $T = 1$ d; $h = 0,5$ m y Q_E de

$$A = Q_E * T / h \tag{4}$$

Para un caudal a tratar de

$$Q_E = 200.000 \text{ BAPD} * 0,159 \text{ m}^3/\text{BBL} = 31.800 \text{ m}^3 * \text{d}^{-1}$$

Así el área del humedal será de:

$$A = [1 \text{ d} * 31.800 \text{ m}^3 * \text{d}] / 0,50 \text{ m} = 63.600 \text{ m}^2 \text{ (6,36 hectáreas).}$$

Para áreas operativas localizadas al suroeste de Venezuela, donde se practica mayormente la ganadería extensiva, la disponibilidad de terreno no parece ser un obstáculo considerable para la instalación de un proceso de depuración de aguas de producción con calidad de uso agroindustrial. El proceso inicial de inversión en terreno e instalación del humedal se estima sea ampliamente superado en el tiempo de operación, por al menos los siguientes factores: 1) bajo costo operativo y de mantenimiento del sistema de tratamiento (el humedal construido constituye un sistema ecológico fundamentalmente autosostenible) que emplea radiación solar como fuente de energía 2) larga vida útil estimada del humedal (>10 años antes de mantenimiento

Tabla 5. Parámetros críticos para el escalamiento del proceso piloto del tratamiento de aguas de producción del suroeste Venezolano empleando humedales construidos

PARÁMETRO	Q_E (BAPD)(*)	T_{rh} (d)	ALTURA DE LÁMINA DE AGUA	SALINIDAD	CONTENIDO DE FENÓLICOS
Valor	200.000	1 d	0,5 m	< 1000 mg*L ⁻¹	10-15 mg*L ⁻¹

(*) 1 BAPD = 0.159 L de agua / d

mayor); 3) generación de valor para lo que tradicionalmente se maneja como un desecho porque provee utilidad al agua de producción tratada para el desarrollo sostenible del entorno socio-ambiental inmediato. Esto se alcanzaría y se traduciría en generación de empleo, reuso del agua, la creación de hábitats que contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad y 4) ahorros en los costos producción asociados a la reinyección de efluentes, bien sea por la posibilidad de su disposición o reuso en superficie o por la reducción de entre 25-40% del volumen a reinyectar.

OBSERVACIONES FINALES

Las ventajas de aprovechamiento de tratamiento de aguas de producción empleando humedales construidos comprenden al menos los siguientes aspectos:

- Constituyen sistemas de evaporación natural para efluentes de producción que por su alto contenido de cloruros $>1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no pueden ser descargados en cuerpos de agua superficiales.
- Pueden aprovecharse también como sistemas de remoción de contaminantes orgánicos disueltos en efluentes de producción de bajo contenido de cloruros ($<1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), para ser descargados en cuerpos de aguas superficiales. Al presentar eficiencias de remoción superiores a 94%, esta solución contribuye con el mantenimiento de la biodiversidad y la preservación ambiental.
- Factibilidad técnico-económica para el tratamiento y evaporación de efluentes de producción en estaciones de flujo en campos al sur-oeste venezolano. El sistema permite disminuir 25-40% del volumen de efluentes a inyectar (estación de lluvia/sequía) y la remoción de contaminantes orgánicos en más de 90%.
- Se estima que la aplicación de esta tecnología como etapa previa a la reinyección permitiría el tratamiento de 200.000 BAPD y la reducción de 10-15% de costos de inversión, así como de un 20-25% en costos de operación y mantenimiento, respecto a la opción de inyección de la totalidad de los efluentes.
- Incalculable aporte a la biodiversidad por el incremento y preservación de la flora y fauna, por cuanto fomenta el desarrollo de nuevos hábitats. Así mismo, propicia el mejoramiento de la calidad del microclima. La utilización del proceso de humedales está alineado con la tendencia mundial de minimización de efluentes, conservación ambiental y desarrollo de tecnologías sustentables.

- Sería recomendable fomentar la investigación y desarrollo dirigida a optimizar aquellas variables críticas de diseño como la constante de reacción (k) y el tiempo de residencia hidráulico (T). Dichos parámetros, como se observó, afectan de manera crítica y directa al área de espacio requerido por un humedal en óptimas condiciones operativas.
- Parece posible la generación de una herramienta para la toma de decisiones en la implantación de sistemas de gestión de la calidad de efluentes, que incluya humedales construidos para tratar aguas de producción, aguas industriales de otros orígenes y aguas servidas en condiciones climáticas y medioambientales de Venezuela.

REFERENCIAS

- [1] Gaceta Oficial de Venezuela. N° 5021. (1995). Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertido o efluentes líquidos. Caracas, Venezuela.
- [2] Schlesinger, W.H.. Biogeochemistry: An analysis of global change. Second Edition. 1997. Academic Press, USA.. xiv + 588 pp.
- [3] Kadlec RH and R L Knight, 1996. Treatment wetlands. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA. pp 893.
- [4] Reed, R.; Middlebrooks, E.; Crites, R. (1988). Natural systems for waste management and treatment. Mc Graw Hill, N. Y., USA.
- [5] Cadelli D, M Nemcova, J Ezzarri, A Ennabili, M Ater and M Radoux. 2004. Influence of Evapotranspiration on the design of extensive water treatment systems under Mediterranean conditions at the MHEAc Experimental Centre of M'Diq (Tetouan, Morocco). Proc. Joint 9th Water Pollution Control and 6th International Conference on Waste Stabilization Ponds, Avignon, France. 95-103.
- [6] Green M, N Shaul, M Beliavki and D Tarre. 2004. Minimizing land requirement and evaporation in extensive wastewater treatment systems. Proc. 9th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon, France, 2: 471-479.
- [7] Rousseau DLP, E Lesage, A Story, PA Vanrollenghem, NP De Pauw, 2008. Constructed wetlands for water reclamation. Desalination 218: 181-189.
- [8] Marín, JC, A López, E Behling, et al. 2006. Behavior of metals (Pb, Zn, Fe, Al and Ni) during coal mine drainages treatment in constructed wetlands. Comportamiento de metales (Pb, Zn, Fe, Al y Ni) durante el tratamiento de drenajes de una mina carbonífera en humedales construidos. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 29 (2): 100-110.
- [9] Daal Parra M, MB Bracho, Z Escalona y R. García. 2008. Alternativas de reutilización de aguas residuales regeneradas en sistemas de tratamiento de la península

de Paraguaná (Estado Falcón- República Bolivariana de Venezuela). DELOS: Desarrollo Local Sostenible, ISBN 1988-5245, 1:(3).

- [10] Pearcy RW, J Ehleringer, HA Mooney and PW Rundel (eds.). 1994. Plant physiological ecology. Field methods and instrumentation. Chapman and Hall, London, U.K. pp xiii + 457.
- [11] Standard methods for the examination of water and wastewater. 1998. 20th edition. Clesend LS, Greenberg, AE and AD Eaton (eds).
- [12] Quilice A; B Angulo y F Camacho. 2003. Compuestos fenólicos en plantas y sedimentos de humedales naturales y construidos en el Edo. Apure. V Congreso Venezolano de Ecología. Porlamar, Noviembre de 2003, Venezuela.

IMPORTANCIA DEL USO DE PRODUCTOS BIODEGRADABLES EN ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA PETROLERA

RESUMEN

Pedro Colombo
PDVSA Intevep

Maidelly Durán
PDVSA Intevep

(†)Mariana Arias
PDVSA Intevep

Moriel Salcedo
PDVSA Intevep

La estrategia ambiental de PDVSA está dirigida a minimizar desde la fuente la generación de efluentes líquidos y desechos sólidos (no peligrosos y peligrosos) e implementar un plan de gestión integral en la disposición final de estos desechos. Con los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica puede estimarse la mineralización de un compuesto orgánico en un ambiente libre de oxígeno. Se empleó el método ISO11734 ("Evaluation of the ultimate anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge. Method by measurement of the biogas production"), cuyo principio es evaluar la biodegradación total del compuesto orgánico, mediante la cuantificación de los productos resultantes del proceso (CO_2 y CH_4). La biodegradabilidad se cuantifica determinando el aumento de CO_2 y CH_4 en la fase gaseosa y comparándola con la cantidad teórica producida de estos gases suponiendo que el compuesto orgánico se mineraliza en su totalidad. Se evaluó la biodegradabilidad de las siguientes bases para fluidos de perforación: aceite vegetal de palma esterificado (AVE), aceite mineral desaromatizado (AMD), mezclas de AVE con AMD y aceite mineral LP90) y cuatro (4) aceites lubricantes minerales (ALM): SAE 80W-90, SAE 80W-140; SAE 50 y Fuera de Borda TC-W3 1/50. Se utilizaron glucosa y aceite de oliva como controles. Las bases para fluidos AVE, AMD y las mezclas de AVE-AMD resultaron biodegradables. La base para fluido LP 90 y los aceites lubricantes minerales (SAE 80 W-90, 80W-140, SAE50 y fuera de Borda TC-W3 1/50) resultaron medianamente biodegradables, con un porcentaje de biodegradabilidad entre el 30 y 50% respectivamente.

IMPORTANCE OF THE USE OF BIODEGRADABLE PRODUCTS IN PETROLEUM INDUSTRY ACTIVITIES

ABSTRACT

The environmental strategy of PDVSA is addressed to minimize, from the source, the generation of liquid effluents and solid wastes (non hazardous and hazardous) and to implement an integrated waste management. Assays of anaerobic biodegradability of organics allow the estimation of mineralization of an organic compound in an atmosphere free of oxygen. The method ISO11734 was used to evaluate the total biodegradation of the organic compound, by the quantification of CO_2 and CH_4 , the resulting products of the process. Biodegradability is quantified determining the increase of CO_2 and CH_4 in gas phase, comparing with the theoretical production of such gases assuming a complete mineralization of the organic compound. Biodegradability of the following drilling fluids was assessed: vegetable palm-based esterified oil (VPE) 100%, desaromatic mineral oil (DMO) 100%, mixtures of VPE with DMO; and mineral oil LP90 and four (4) lubricant mineral oils (LMO): SAE 80W-90, SAE 80W-140; SAE 50 and outside of Overboard TC-W3 1/50. Glucose and olive oil were used as control treatments. The fluids VPE, DMO, mixtures of VPE-DMO, mineral oil and Accolade resulted biodegradable. The based for fluid LP 90 and the lubricant mineral oils (SAE 80 W-90, 80W-140, SAE50 and outside of Overboard TC-W3 1/50) were between 30 and 50% and classified as fairly biodegradable.

En la amplia gama de productos utilizados y generados por las diferentes actividades de Exploración, Producción, Refinación, Industrialización y Comercialización de la industria petrolera, se encuentran entre otros, los fluidos de perforación y los aceites lubricantes. Los fluidos de perforación tienen diferentes funciones, cada una de ellas por sí y en combinación son necesarias para lograr una buena perforación, obteniendo un avance eficiente de la mecha y la buena condición del hoyo [1]. Las principales funciones del fluido son: arrastre de los ripios hacia la superficie, enfriar la mecha, actuar como lubricante, depositar sobre la pared del hoyo un revoque delgado, flexible e impermeable para impedir la filtración de la parte líquida del fluido hacia la formación y la transmisión de energía a la mecha de perforación [2, 3].

Los fluidos de perforación base aceite vegetal están compuestos principalmente por éster de palma, soja, maíz entre otros, los aceites minerales de productos refinados y los aceites sintéticos de productos de parafinas, isolefinas y olefinas de destilación directa [2, 3].

Los aceites lubricantes están compuestos por aceite mineral y aditivos. El aceite base se obtiene mediante un proceso de refinación de petróleo, en el cual, sus componentes resinosos o asfálticos son separados. Los aceites base no se usan tal cual salen de la refinería, sino que se terminan en una operación de mezclado, que consiste en unir aceites de propiedades conocidas con algunos aditivos (productos químicos) los cuales les confieren las propiedades necesarias según el fin al cual se destine el aceite. Algunas de las funciones de

los aceites lubricantes son: reducir el roce o resistencias pasivas, combatir la corrosión y el desgaste, participar en el equilibrio térmico de las máquinas, eliminar por circulación las impurezas que puedan acelerar el desgaste o atascar los conductos, reducir vibraciones, choques y ruidos, etc. [4].

La mineralización de un compuesto orgánico (fluido) biodegradable es un factor clave en la estimación del tiempo de permanencia de los fluidos de perforación [5] y aceites lubricantes [6] debido a que dependiendo de la cinética microbiana, el fluido puede potencialmente impactar los ecosistemas.

En PDVSA Intevap se han venido realizando estudios de biodegradabilidad anaeróbica de fluidos de perforación y aceites lubricantes para evaluar su persistencia en ambientes marinos, entre otros, siendo pioneros en Venezuela en realizar este tipo de pruebas. Sobre la base de los resultados obtenidos con la aplicación de campo de los aceites de fabricación nacional, se sustituyó el gasoil por el aceite mineral nacional como componente de los fluidos de perforación [7, 8].

PDVSA Intevap ha evaluado la biodegradabilidad anaeróbica de los aceites esterificados base vegetal, aceites desaromatizados base mineral, aceites sintéticos y aceites lubricantes minerales, bajo la normativa de la ISO 11734-95. El método evalúa la mineralización de un compuesto orgánico, mediante la cuantificación de los productos resultantes del proceso (CO_2 y CH_4). El criterio establecido por la norma califica un compuesto como biodegradable anaeróbicamente si se mineraliza 60%, medianamente biodegradable si se mineraliza de 30 a 60% y no biodegradable si se mineraliza menos de 30, en 60 días de ensayo [9].

La biodegradabilidad se cuantifica determinando el aumento de CO_2 y CH_4 en fase gaseosa, comparándola con la cantidad de gases producidos por los controles (glucosa y aceite de oliva), asumiendo que el compuesto orgánico se mineraliza en su totalidad. Esta prueba permite determinar la persistencia de los fluidos de perforación y aceites lubricantes en ambientes anaeróbicos [9].

El presente estudio se realizó para evaluar en etapas tempranas, la persistencia en ambientes anóxicos de las bases para fluidos de perforación empleados en las actividades de Exploración y Producción, así como los aceites lubricantes producidos por Refinación e Industrialización.

ESTABLECIMIENTO DE MICROCOSMOS EN LABORATORIO

Para estimar la biodegradabilidad anaeróbica de las bases para fluidos de perforación y aceites lubricantes, se utilizó la metodología ISO 11734 [9]. Las bases para fluidos de

perforación y los aceites lubricantes evaluados se muestran en la Tabla 1.

Se determinó el contenido de carbono orgánico total en cada una de las bases para fluidos de perforación, aceites lubricantes, así como de los controles positivos (glucosa y aceite de oliva) con la finalidad de calcular el volumen de sustrato/muestra a adicionar en el microcosmo.

Se prepararon microcosmos por triplicado en botellas de vidrio con capacidad de 160 ml y se utilizaron como inóculo microorganismos presentes en un lodo proveniente de un digestor anaeróbico de una industria alimenticia, siendo los más recomendables por su contenido de carbono orgánico, fácil recolección y sus condiciones anaeróbicas para la prueba de biodegradabilidad [7]. Después de lavar el lodo con una solución de medio mineral se añadieron 10 g de éste en botellas de vidrio de 160 ml, con 100 ml de medio mineral [7, 9].

Se preparó el medio mineral en condiciones anaeróbicas sometándolo a ebullición bajo una corriente de nitrógeno. Finalmente, se dispensó con el lodo industrial en los microcosmos bajo una corriente de nitrógeno para mantener las condiciones anaeróbicas.

Como control negativo se utilizó la omisión del compuesto orgánico (blanco o control negativo) para determinar la generación espontánea de gas (CH_4 y CO_2) por el inóculo y como controles positivos se prepararon microcosmos a los que se añadieron glucosa y aceite de oliva como sustratos orgánicos. Cada muestra se evaluó por triplicado con el propósito de determinar la concentración de gas generado (CO_2 y CH_4). La composición del gas producido se determinó utilizando un cromatógrafo de gases. El aceite de oliva se utilizó como control con la finalidad de hacer comparaciones con la base del aceite vegetal (AVE).

Finalmente, la biodegradabilidad se estimó calculando los mg de carbono producidos y se relacionó este último valor con la cantidad de carbono añadido en los microcosmos, para así obtener el porcentaje de biodegradación según la siguiente expresión [9]:

$$\% \text{ Biodegradación} = \frac{\text{mg de carbono generado en el microscopio}}{\text{mg de carbono añadido en el microscopio}} \times 100 \quad (1)$$

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un ajuste según Tukey ($p < 0,05$) en el porcentaje de biodegradabilidad anaeróbica de las bases para fluidos de perforación y aceites lubricantes minerales con respecto a los controles (glucosa y aceite de oliva) para establecer las diferencias entre cada fluido evaluado. El paquete estadístico utilizado fue el Statistica 6.0

Tabla 1. Lista de bases para fluidos de perforación y aceites lubricantes sometidos a pruebas de biodegradabilidad anaeróbica

BASES PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN	ACEITES LUBRICANTES
1. Aceite Esterificado base vegetal palma (AVE) 100%	1. Aceite Mineral (SAE 80W-90). PDV
2. Aceite Esterificado base vegetal palma (AVE) 90%/10% Aceites desaromatizados mineral (AMD)	2. Aceite Mineral (SAE 80W-140) PDV
3. Aceite Esterificado base vegetal palma (AVE) 80%/20% Aceites desaromatizados mineral (AMD)	3. Aceite lubricante (SAE 50) PDV
4. Aceite Esterificado base vegetal palma (AVE) 70%/30% Aceites desaromatizados mineral (AMD)	4. Aceite mineral (Fuera de Borda TC-W3 1/50) PDV
5. Aceites mineral desaromatizados (AMD) 100%	
6. Aceite mineral LP90	

USO DE BASES PARA FLUIDOS BIODEGRADABLES Y NO TÓXICOS EN ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA PETROLERA

En el Decreto 2.635 se establecen los parámetros físicos y químicos aplicables a desechos peligrosos provenientes de las actividades petroleras [10], sin embargo, aun no existe en Venezuela una legislación ambiental que regule el uso de fluidos base sintéticos en actividades costa fuera ni terrestre. En este sentido, existen evaluaciones técnicas y ambientales que deben ser realizadas en el área de incidencia para determinar la factibilidad de aplicar descargas controladas de desechos que tengan como base fluidos sintéticos, sobre todo en lo que respecta a los impactos en la comunidad béntica para descarga en medio marino, para su disposición final [11].

Se han hecho importantes esfuerzos para regular las descargas de los fluidos de perforación, entre ellos en México (Ministerio de Ambiente) [4,11], la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) [12] y el Mar del Norte (Departamento de Energía del Reino Unido) [4].

Cuando las sustancias (ripios impregnados con fluido de perforación) que se descargan al mar son de composición orgánica, su biodegradabilidad es un factor clave en la evaluación de su potencial impacto ambiental por persistencia en el fondo marino. Las pruebas de biodegradación utilizadas indican la capacidad de un compuesto orgánico para ser biodegradado. Mucho se ha discutido sobre los resultados de la biodegradabilidad anaeróbica de compuestos orgánicos en el fondo marino [1].

Por definición, un compuesto orgánico es biodegradable en ambientes sin oxígeno o anóxicos, cuando dicho compuesto es mineralizado a CO₂ y CH₄ por la actividad

de la microbiota presente [13, 14, 15]. Por lo tanto, el resultado obtenido en una prueba de biodegradabilidad permite estimar el tiempo de residencia de un compuesto orgánico cuando se descarga al mar [1].

Como respuestas a la problemática ambiental de la disposición final de rípios impregnados con fluidos de perforación, se hace necesario producir fluidos que cumplan con los requerimientos de perforación y que sean amigables al ambiente. En este sentido, en las formulaciones de estas bases para fluidos son cada vez más importantes las consideraciones ambientales.

Los aceites esterificados de origen vegetal, por ser productos no tóxicos y biodegradables aeróbica y anaeróbicamente, son especialmente recomendados cuando se realizan perforaciones cercanas a ecosistemas altamente sensibles, tales como pantanos y en actividades costa afuera [14,16,17], ya que al ocurrir cualquier evento accidental de derrame, estos compuestos orgánicos serían de bajo impacto ambiental.

BIODEGRADABILIDAD ANAERÓBICA DE LAS BASES PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas de biodegradabilidad anaeróbica de las bases para fluidos de perforación evaluados. El aceite vegetal de palma esterificado (AVE) mostró una mejor biodegradabilidad que el aceite mineral desaromatizado (AMD); no obstante, la biodegradabilidad de el aceite base vegetal palma esterificado (AVE) 90%/10% aceite mineral desaromatizado (AMD) evaluado resultó mayor que la del control con aceite de oliva (86,93%); esto indica que posiblemente no persistirá en ambientes anóxicos tales como el fondo marino, lo cual permite considerarlos amigables al ambiente. Algunos

Tabla 2. Biodegradabilidad anaeróbica y carbono orgánico de las bases para fluidos de perforación en 60 días de evaluación

BASES PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN	*CO (%)	BIODEGRADABILIDAD (%)
Control (+) Glucosa	100,0	100,0
Control (+) Aceite de Oliva	78,1	86,9
Aceite base vegetal palma esterificado (AVE) 100%	78,1	82,0
Aceite base vegetal palma esterificado (AVE) 90%/10% Aceite mineral desaromatizado (AMD)	78,9	96,8
Aceite base vegetal palma esterificado (AVE) 80%/20% Aceite mineral desaromatizado (AMD)	78,1	86,7
Aceite base vegetal palma esterificado (AVE) 70%/30% Aceite mineral desaromatizado (AMD)	80,5	72,0
Aceite mineral desaromatizado (AMD) 100%	86,1	71,6
Aceite mineral LP90	85,66	46,9

*CO: Carbono Orgánico de la base para fluido

Tabla 3. Lista de aceites lubricantes sometidos a pruebas de biodegradabilidad anaeróbica en 60 días de evaluación

ACEITE LUBRICANTES	*CO (%)	BIODEGRADABILIDAD (%)
Control (+) Glucosa	100,0	77,3
Control (+) Aceite de oliva	78,1	89,2
Aceite mineral (SAE 80W-90). PDV	64,4	39,8
Aceite mineral (SAE 80W-140) PDV	64,1	50,9
Aceite lubricante (SAE 50) PDV	85,2	40,3
Aceite mineral (Fuera de Borda TC-W3 1/50) PDV	85,0	37,2

*CO: Carbono Orgánico del aceite lubricante

autores reportaron resultados similares en fluidos base aceite vegetal, obteniendo una biodegradabilidad que se extiende hasta un 80% en 60 días de estudio [17]. De igual manera, Petrofree (Baroid), en 1998, reporta valores de biodegradabilidad del 82-85% para un fluido comercial base éster [18].

Steber et al., 1995, reportaron más del 80% de biodegradabilidad anaeróbica para fluidos base éster

(emulsión inversa); estos resultados son similares a los obtenidos en el presente trabajo para el AVE [7].

Las determinaciones de biodegradabilidad anaeróbica de las mezclas de los aceites vegetales con aceites minerales indican que a mayor concentración del mineral (30%) la biodegradabilidad disminuye (Tabla 2); sin embargo, aun es biodegradable (72%), lo que permite inferir que estos tipos de mezclas no persistirán en ambientes libres de

oxígeno. El uso de aceites vegetales es especialmente recomendado en ecosistemas altamente sensibles siendo biodegradables aeróbica y anaeróbicamente [12].

Algunos autores señalan que el aceite vegetal (AVE) es fácilmente biodegradable anaeróbicamente, mientras que el aceite mineral se biodegrada moderadamente, indicando para este último una tasa de biodegradación mayor que los de base gasoil [19]. Camargo et al., 2001, realizando investigaciones de campo en pozos de alto riesgo, encontró que es importante el uso de aceite vegetal, ya que no persiste en ambientes anaeróbicos, tales como sedimentos del Lago de Maracaibo y Delta del Orinoco, debido a su alta biodegradabilidad en condiciones anóxicas, además, los riosos impregnados con este aceite pueden ser tratados en el campo aplicando la técnica de biorremediación sin necesidad de airearlos con maquinaria agrícola, lo cual favorece una rápida regeneración de la cobertura vegetal y genera ahorros en el costo de biotratamiento [8].

Las mezclas con AMD presentan una biodegradabilidad anaeróbica variable, los AMD al 100% de concentración obtuvieron un 71,6%, mientras los LP90 son medianamente biodegradables con un 46,9% (Tabla 2). Esto indica que no todas las formulaciones con AMD se comportan de igual manera en ambientes anóxicos, siendo biodegradables anaeróbicamente total o parcialmente. Estos resultados son similares a los reportados en 1998 en PDVSA Intevp, donde se obtuvo 38% de biodegradabilidad anaeróbica para el fluido LP90 [17]. De igual manera, Vassa, 2003 señala que los resultados de las pruebas de biodegradabilidad los hacen aptos para ser utilizados en operaciones costa afuera, a pesar de que la biodegradabilidad anaeróbica indica que la serie LP se biodegrada parcialmente en el tiempo [19].

En la Tabla 3, se muestran los porcentajes de biodegradabilidad anaeróbica de los aceites lubricantes minerales (ALM), así como los sustratos de referencia glucosa y aceite de oliva.

Los ALM evaluados resultaron medianamente biodegradables. Los porcentajes de biodegradabilidad oscilaron entre 37% y 51%; mientras que para los controles positivos glucosa y aceite de oliva, se obtuvieron porcentajes de biodegradabilidad de 77% y 89% respectivamente (Tabla 3). Willing (2001) realizó pruebas de biodegradabilidad anaeróbica en aceites lubricantes base sintética encontrando entre 75-77%, mientras que los base mineral resultaron no biodegradables en 42 días en pruebas de 60 días de estudio [20].

Chang, 1998, realizando estudios de biodegradabilidad de lubricantes, señala que no está definido cuál es el método más efectivo para medir biodegradabilidad

aeróbica y anaeróbica de estos tipos de compuestos, ya que existe discrepancia entre países y que va a depender de la descomposición biológica del producto y de los microorganismos del ambiente [6].

Las evaluaciones de biodegradabilidad anaeróbica realizadas en este estudio mostraron que la formulación de los AVE tiene una biodegradabilidad alta. Los resultados estadísticos así lo demuestran, al realizar análisis de varianza con ajuste según Tukey; de la biodegradabilidad anaeróbica de todos los aceites evaluados, se observa que el AVE tiene diferencias significativas con los AMD a concentraciones del 100% ($p < 0,05$), lo que refleja que los AVE no persistirán en el tiempo en ambiente anóxicos (Tabla 4).

La mezcla de AVE y AMD, en proporción 70-30%, no presenta diferencia significativa con AMD 100%, lo que indica que al aumentar la porción de AMD en un 30%, baja la biodegradabilidad anaeróbica. Sin embargo, la mezcla 70% AVE-30% AMD es biodegradable (Tablas 2 y 4).

Para los ALM, se presentaron diferencias estadísticas significativas con los AVE y los AMD ($p < 0,05$) en relación con su biodegradabilidad, siendo estos aceites señalados anteriormente como medianamente biodegradables (Tabla 4).

Los valores de carbono orgánico de las bases de fluidos de perforación y aceites lubricantes evaluados son altos; sin embargo, esto no es indicativo de que sean biodegradables ya que esto va a depender de la concentración y de la dispersión de éstos en los ambientes anóxicos.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de varianza de biodegradabilidad empleando un ajuste según Tukey, para los grupos controles de glucosa y aceite de oliva evaluados. Los resultados señalan que para un grupo determinado puede o no haber diferencias significativas; por ejemplo, para glucosa, en el grupo 2 hay diferencias significativas con respecto al grupo 1 y grupo 3 ($p < 0,05$); sin embargo, al compararlos con el control de aceite de oliva en los dos primeros grupos, no presentaron diferencias. Esto indica la variabilidad de la cinética microbiana presente en los ensayos que utilizan como inóculo el lodo proveniente de un digestor industrial. Por esta razón, es importante utilizar inóculos autóctonos que permitan una mejor aproximación del potencial de biodegradabilidad de los AVE o AMD. Es importante señalar que los microorganismos utilizados provenientes de digestores anaeróbicos presentan diversidad microbiana y actividad metabólica diferente de la población natural que se encuentra en un ecosistema anaeróbico; sin embargo, utilizando sedimentos anóxicos del Lago de Maracaibo, el aceite esterificado vegetal fue biodegradado en un 77% por bacterias presentes en los sedimentos del Lago [8].

Tabla 4. Análisis de varianza (t= Tukey, p<0,05) del porcentaje de biodegradabilidad de las bases para fluidos en 60 días de ensayo

	MEDIAS (%)								
	G	O	AVE 100%	AVE 90-AMD 10	AVE 80-AMD 20	AVE 70-AMD 30	AMD 100%	LP 90	ALM
(a) G	100,0	86,9	82,0	96,8	86,7	72,0	71,6	46,9	45,5
(b) O	0,0520	0,0520	0,0186	0,9992	0,1871	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
AVE 100%	0,0186	0,9878	0,9878	0,2343	0,9965	0,7214	0,6829	0,0003	0,0001
AVE 90-AMD 10	0,9992	0,5691	0,2343	0,2343	0,7197	0,0022	0,0018	0,0001	0,0001
AVE 80-AMD 20	0,1871	1,0000	0,9965	0,7197	0,7197	0,2356	0,2091	0,0001	0,0001
AVE 70-AMD 30	0,0001	0,0931	0,7214	0,0022	0,2356	1,0000	1,0000	0,0216	0,0001
AMD 100%	0,0001	0,0785	0,6829	0,0018	0,2091	1,0000	1,0000	0,0249	0,0002
LP 90	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0216	0,0249	1,0000	1,0000
ALM	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	1,0000	1,0000

(a) Glucosa (control+)

(b) Aceite Oliva (control+)

Tabla 5. Análisis de varianza (t= Tukey, p<0,05) del porcentaje de biodegradabilidad de los controles: glucosa y aceite de oliva en 60 días de ensayo

	MEDIAS (%)					
	157,60 G1	77,37 G2	105,79 G3	73,858 O1	89,25 O2	110,51 O3
(a) G1		0,000164	0,000165	0,000164	0,000164	0,000169
(b) G2	0,000164		0,005064	0,987296	0,470691	0,001298
(c) G3	0,000165	0,005064		0,000516	0,164765	0,975140
(d) O1	0,000164	0,987296	0,000516		0,118809	0,000231
(e) O2	0,000164	0,470691	0,164765	0,118809		0,044078
(f) O3	0,000169	0,001298	0,975140	0,000231	0,044078	

(a) Glucosa grupo 1 (control+)

(b) Glucosa grupo 2 (control+)

(c) Glucosa grupo 3 (control+)

(d) Aceite Oliva grupo 1 (control+)

(e) Aceite Oliva grupo 2 (control+)

(f) Aceite Oliva grupo 3 (control+)

Desde el punto de vista ambiental, todos los resultados de biodegradabilidad anaeróbica reportados en este estudio señalan que los AVE son los más recomendados para la perforación de pozos como base para los fluidos de perforación; sin embargo, es importante realizar evaluaciones de toxicidad y biodegradabilidad (aeróbica y anaeróbica) utilizando inóculos autóctonos que permitan predecir una mejor aproximación de la calidad ambiental de los aceites (vegetal o mineral).

CONCLUSIONES

1. Para las diferentes bases para fluidos de perforación, la biodegradabilidad anaeróbica se manifestó en el siguiente orden: aceites esterificado base vegetal > aceite desaromatizado base mineral > mezclas del vegetal con el mineral > LP90 > aceites lubricantes mineral.

2. La biodegradabilidad de las bases para fluidos de perforación evaluadas (aceites esterificados base vegetal, aceite desaromatizado base mineral y las mezclas del vegetal con el mineral) resultó mayor o cercana a 60% en condiciones anóxicas utilizando el método ISO 11734, lo cual indica que no persistirán en ambientes como los sedimentos marinos y suelos profundos, por tiempo indefinido; mientras que el aceite mineral LP90 y el aceite lubricante mineral resultaron medianamente biodegradables.

3. Los resultados obtenidos para las bases para fluidos de perforación muestran que hay una buena cinética de biodegradabilidad anaeróbica. En términos ambientales, este patrón es un indicador indirecto de los potenciales efectos negativos sobre el ambiente, los cuales disminuyen a medida que aumenta el grado de biodegradabilidad del fluido. Por tanto, los estudios realizados indican que las bases para fluidos y los

consecuentes desechos que se generen durante las eventuales perforaciones son ambientalmente seguros y tratables mediante procesos biológicos.

- Los aceites lubricantes se encuentran por debajo de 51% de biodegradabilidad, por lo cual son medianamente biodegradables, pudiendo persistir en el tiempo en el ambiente. Estos resultados evidencian la necesidad de seguir desarrollando esfuerzos técnicos para formular aceites lubricantes con características ambientales más amigables; esto incluye obviamente la minimización o eliminación de aditivos tóxicos o recalcitrantes de la formulación final.
- El uso de bases para fluidos de perforación biodegradables minimiza el potencial impacto ambiental de las actividades de Exploración y Producción (EyP); la evaluación de su potencial capacidad de biodegradación es necesaria antes de iniciar estas actividades.

RECOMENDACIONES

- Evaluar en conjunto las pruebas de toxicidad (CL50) de cada uno de los aceites evaluados (vegetal, mineral y lubricantes) para asegurar una disposición final en forma ambientalmente segura.
- Realizar paralelamente, pruebas de biodegradación aeróbica para complementar la información obtenida bajo las condiciones de ausencia de oxígeno. De igual manera, llevar a cabo ensayos que reflejen directa o indirectamente la actividad microbiana en presencia de los base para fluidos de perforación y aceites estudiados, para establecer las diferentes cinéticas de biodegradación.
- Realizar pruebas de biodegradabilidad anaeróbicas utilizando como inóculo microorganismos autóctonos de ecosistemas naturales (cepas o consorcios microbianos ambientales), provenientes de sedimentos de fondo marino.

REFERENCIAS

- Silva, A. 2001. Tendencias del uso de aceites para perforación. III Seminario Técnico Comercial Vassa, aceites y Solventes Venezolanos S.A. Caracas.
- Barberii, E. El Pozo Ilustrado. Quinta edición. Editorial Binev. FONCIED, Caracas. 587 p. 2001.
- Marín, C. 2000. Tratamiento de Ripios. Seminario de Introducción a la Ingeniería Ambiental. Postgrado de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas.
- Silva A. 2001. Tendencias del uso de fluidos de perforación no tóxicos en América del Sur y el Caribe. IV Seminario de Fluidos de Perforación, Rehabilitación y Terminación. S/n°.
- Schlumberger. 2005. Fluido de Perforación. Desafíos del

Medio Ambiente. <http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/mud/env.htm>.

- Chang, R. 1998. Lubricantes: Biodegradables/ Ecotoxicidad Parte I: Regulaciones Ambientales y Métodos de Ensayos Reporte N° 5. PDVSA Intevep.
- Steber, J., Herold, C. and Limia, J. 1995. Comparative Evaluation of Anaerobic Biodegradability of Hydrocarbons and Fatty Derivatives Currently Used as Drilling Fluids *Chemosphere*, Vol. 31, N° 4, 3105-3118 pp.
- Camargo, W., Ramos, F., Carrasquero, J. y Arocha, J. 2001. Aplicación de campo de aceite de baja toxicidad en pozos de alto riesgo. IV Seminario de Fluidos de Perforación, Rehabilitación y Terminación: 1-22. Venezuela.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 11734; (E). 1995. "Water quality. Evaluation of the "ultimate" anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge". Method by measurement of the biogas production.
- GACETA OFICIAL DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA. 1998. Normas para el control de la generación y manejo de desechos peligrosos. Decreto N° 2.635. N° Extraordinario.
- Candler, J. 2001. To Be Very Exciting Year for Systhetic Technology, Momentum.
- Robles, J. y Pestana, D. 2003. Tecnologías PDVSA en Construcción de Pozos. *Visión Tecnológica* Vol. 10 N° 2.
- Leahy, J; Colwell, R. 1990. "Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiol.*" *Rev.* 54(3): 305-315.
- Prescott, I., y J. Harley Klein, D. 1999. *Microbiología*. 4ª Edición. Editorial Mc-Graw-Hill INTERAMERICANA. Madrid-España: 993-1003.
- Garland, M. 1998. Biodegration of Chemicals in the Marine Environment: Towards Harmonised Protocols.
- Sánchez, G., León, N., Esclapés, M., Galindo, I., Martínez, A. y Siegert, I. 1998. Environmentally Safe Oil-Based Fluids for Drilling Activities. SPE/EPA. Exploration and Production Environmental Conf., Austin, Texas. Artículo SPE N° 52739.
- Sánchez, G., Infante, C., Liendo, F., Sánchez, L., León, N., Martínez, A., González, M., Zorrilla, E., Briceño, M. y Morena, N. 2002. Aspectos Ambientales en Perforación. *Visión Tecnológica*, 10 (1).
- Petrofree. 1998. Environmental Testing. Toxicity and biodegradation Testing. 11 p.
- VASSA™ Aceites y Solventes Venezolanos S.A. 2003. Aceites Para la Formulación de lodos para la Perforación Petrolera. <http://www.vassa.com.ve>.
- Willing, A. 2001. Lubricants based on renewable resources-an environmentally compatible alternative to mineral oil products. 43:89-98.



VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA



INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES PROVENIENTES DE LAS AGUAS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO

RESUMEN

Rosysbell Fonseca
Universidad de Carabobo.
Departamento de Química

Víctor Londoño
PDVSA Intevep

Nelson Silva
PDVSA Intevep

Fernando Camacho
PDVSA Intevep

La industria petrolera genera grandes volúmenes de aguas de producción, las cuales son extraídas junto con los hidrocarburos en las actividades de producción de petróleo. Debido a su origen, estas aguas presentan una composición compleja lo que genera problemas en las instalaciones. Uno de ellos es la formación de incrustaciones de carbonato de calcio y magnesio (CaCO_3 y MgCO_3) en tuberías. En la presente investigación se determinó el efecto de la aplicación del campo magnético sobre la reacción de precipitación del carbonato de calcio y magnesio, en aguas de producción de diferentes sectores de Venezuela, como una solución al problema de incrustaciones que presentan estas aguas. Los resultados obtenidos indican que el campo magnético acelera la velocidad de asociación de los iones presentes en las aguas, lo que trae como consecuencia la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) bajo estructuras amorfas y de aragonita, las cuales pueden tener menor carácter incrustante que la calcita. Este efecto depende de la temperatura, composición de las muestras e intensidad del campo magnético aplicado. También, se observó la existencia del efecto del campo magnético residual (memoria magnética), al menos 16 horas después del tratamiento.

INHIBITION OF SCALE FORMATION FROM PRODUCED WATERS THROUGH MAGNETIC FIELD

ABSTRACT

The oil industry generates large volumes of produced waters, which are drawn together with oil. Because of their origin, these waters present a complex composition that originates problems in oil plants; "the most critical" is the formation of scale of calcium and magnesium carbonates (CaCO_3 y MgCO_3) in pipes. In this investigation, was determined the effect of applying magnetic field on the reaction of CaCO_3 precipitation, in produced waters from different sectors in Venezuela, as a solution to avoid scale formation of these kind of waters. The results indicate that the magnetic field increases the speed of association in this ions present in water, which results in precipitation of amorphous calcium carbonate structures (amorphous CaCO_3) and aragonite which may have less encrusting character than calcite. This effect depends on temperature, composition samples and magnetic field intensity applied. It was further noted the existence of residual effect on the magnetic field (magnetic memory), at least 16 hours after treatment.

La acumulación de sedimentos minerales en los sistemas de tratamiento de aguas de producción, es uno de los problemas que más preocupa a los ingenieros de producción. Se trata de un conjunto de depósitos que se incrustan en los revestidores, los equipos de completación del pozo, las tuberías de producción, las válvulas y las bombas, de manera tal, que reducen la eficiencia de los procesos[1].

La formación de incrustaciones comienza cuando se perturba el estado de cualquier fluido natural, de forma tal que se excede el límite de solubilidad de uno o más componentes. El agua que se encuentra en los yacimientos contiene una gran cantidad de cationes bivalentes calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) así como carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, muchos de los cuales presentan baja solubilidad en agua.

La disminución de la presión del agua de formación durante la producción de petróleo libera gases del fluido, cuyo pH aumenta y provoca el depósito de residuos minerales como los carbonatos, a pesar de que su solubilidad en el agua aumenta cuando la temperatura disminuye. El carbonato de calcio es la incrustación más frecuentemente encontrada en operaciones petroleras (2). Esta sal puede precipitar bajo las siguientes formas cristalinas: calcita, aragonita y vaterita. La calcita es la forma cristalina más estable termodinámicamente, esta red cristalina es romboédrica, y su estabilidad la hace muy poco soluble en agua; por lo tanto, los sólidos que se forman bajo esta morfología son difíciles de remover.

El estudio de la inhibición de las incrustaciones provenientes de las aguas de producción, mediante técnicas físicas (magnetismo) permite eliminar el uso de

compuestos químicos dañinos al ambiente y disminuir los costos operacionales de las actividades de producción. El tratamiento magnético se basa en el efecto de las cargas eléctricas, generadas por el movimiento del flujo de agua, en una tubería sometida a un campo magnético. Estas cargas eléctricas afectan la formación de las estructuras de los sólidos causantes de las incrustaciones en las tuberías, dando como resultado neto la inhibición de la formación de sólidos incrustantes [3].

SISTEMA EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo los ensayos experimentales se diseñó un sistema de pruebas que permitiera controlar, de la forma más efectiva posible, los siguientes parámetros: velocidad del flujo, temperatura de la muestra, tiempo de exposición al campo magnético, intensidad de campo magnético y precipitación del carbonato de calcio; además de fácil manejo y bajo costo. A continuación se describen los aspectos más importantes del Sistema Experimental de Tratamiento Magnético.

El esquema del sistema se muestra en la Figura 1. Como se observa, la instalación consta de un tanque cilíndrico (T1), construido de acrílico (plexiglass), de 160 cm de largo, 15 cm de diámetro y 25 l de capacidad. El tanque se encuentra encamisado (cubierto) con un cilindro del mismo material, de 160 cm de largo y 17 cm de diámetro, por el cual circula agua y funciona como un intercambiador de calor, permitiendo controlar la temperatura del agua a tratar, en el tanque T1. El equipo cuenta con una bomba centrífuga de ½ HP (B1) con la que se transporta el agua, desde el tanque contenedor T1 hasta las tuberías, a una velocidad de

0,5 m/s. Por su parte el sistema de calentamiento consiste en un baño térmico de 25 l de capacidad; desde allí se bombea agua en contracorriente, a través de una bomba peristáltica (B2), a una temperatura dada hacia el cilindro externo; de esta forma se mantiene estable la temperatura del agua en el tanque T1. El dispositivo magnético (DM), consiste en un arreglo de imanes permanentes de Neodimio, Marca PASCO, EM – 9641, los cuales presentan una forma geométrica circular con diámetro de 2,0 cm. El tamaño de los imanes restringe el tiempo de exposición de la muestra al campo magnético; por lo tanto cada vez que la muestra atraviesa el sistema experimental se expone al campo magnético 0,04 s; debido a esto es necesario realizar múltiples pases de la muestra a través del circuito para lograr un tiempo de exposición de 10 s, lo que corresponde a un total de 250 pases por el sistema experimental.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS

Las muestras empleadas fueron de dos tipos: sintética (salmuera de calcio-bicarbonato), la cual se preparó según el procedimiento descrito en la norma NACE TM0374 y tres muestras de aguas de producción de diferentes sectores petroleros de Venezuela. La salmuera sintética posee una alta concentración de iones calcio, magnesio y carbonato con un pH de 7,60, además de elevada salinidad y valores de alcalinidad entre 1900 -1950 ppm (expresados como ppm de CaCO_3). Presenta un índice de Langelier cercano a 2,0 a 55 °C, lo cual indica que a esa temperatura la salmuera tiene una marcada tendencia a formar incrustaciones de carbonato de calcio. Por su parte, las muestras de aguas de producción, de acuerdo con sus índices de Langelier, presentaban problemas de incrustaciones de carbonato de

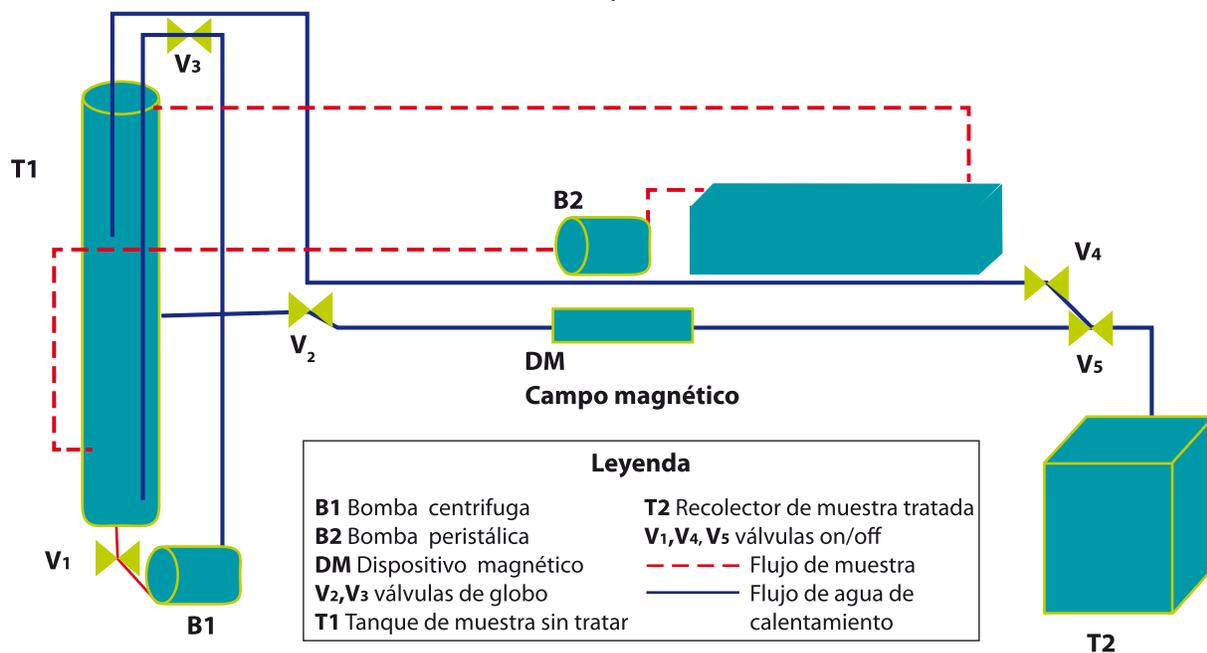


Fig. 1. Sistema Experimental de Tratamiento Magnético

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las muestras de aguas de producción

PARÁMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	UNIDADES
Sólidos totales disueltos	3127	7937	3674	mg/l
Sólidos totales	3815	8121	3714	mg/l
Conductividad	8,30	12,08	6,37	ms/cm
pH	8,00	7,16	7,66	Unidades de pH
Dureza Total	117	1568	679	mg/l de CaCO ₃
[Ca ⁺²]	21,1	609,4	267,8	mg/l
Alcalinidad	1201	468	630	mg/l de CaCO ₃
Salinidad	3,4	7,0	3,5	‰
Índice de Langelier	0,20 ^{25°C}	0,73 ^{25°C}	1,13 ^{25°C}	-----

calcio sobre las superficies de contacto. Las características fisicoquímicas de estas muestras son diferentes (Tabla 1), lo que ayudó a evaluar el efecto de la variación de la composición de la muestra sobre el comportamiento de la precipitación del carbonato de calcio en presencia de campos magnéticos. La muestra 1 (baja dureza) se empleó para los estudios preliminares de la reacción de precipitación del CaCO₃, mientras que la 2 y la 3 (moderada y alta dureza, respectivamente) se utilizaron para las pruebas finales.

PROCEDIMIENTOS

Evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio, en ausencia de campo magnético

El estudio de la reacción de precipitación del carbonato de calcio se realizó mediante la evaluación en el tiempo de la variación de la concentración de Ca⁺², tanto para la salmuera sintética de calcio-bicarbonato como para la muestra 1 de agua de producción. La concentración del ión en solución se evaluó a través de la determinación de la dureza cálcica, empleando el método titulométrico de la norma ASTM D 511- 03.

El procedimiento experimental realizado fue el siguiente: se preparó 1,0 l la salmuera de calcio-bicarbonato en un beacker de vidrio e inmediatamente el recipiente se introdujo en un baño térmico a 55 °C y 50 rpm de agitación. La reacción se siguió durante 6 horas, tomándose alícuotas de 10 ml cada 60 minutos, las cuales se filtraron con papel de filtro WHATMAN #5 antes de evaluarse en éstas la variación de la concentración de calcio. En el caso de las aguas de producción se colocó directamente 1,0 l de muestra en un beacker de vidrio y se siguió el mismo procedimiento realizado para la salmuera sintética, bajo las mismas condiciones experimentales. El valor de temperatura (55 °C) se fijó con base en los siguientes parámetros:

- Las aguas de producción de crudo se encuentran en campo a temperaturas mayores a los 40 °C.
- La precipitación del CaCO₃ se hace crítica por encima de los 30 °C.
- Temperaturas mayores a los 60 °C implican pérdidas de volumen de agua por evaporación.

Evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio, en presencia de campo magnético

Para el estudio de la reacción de precipitación del carbonato de calcio en presencia de un campo magnético, la salmuera de calcio-bicarbonato y la muestra 1, fueron sometidas a la acción de un campo magnético de 500 Gauss de intensidad, durante 2 horas, a temperatura ambiente (25 °C). Una vez transcurrido el tiempo de exposición al campo magnético, se realizó la misma metodología de evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio tal como se indica en la sección "Evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio, en ausencia de campo magnético".

Efecto del campo magnético sobre la precipitación del carbonato de calcio en aguas de producción

Evaluación del efecto de la intensidad del campo magnético sobre la precipitación del carbonato de calcio

El estudio del efecto de la intensidad del campo magnético sobre la precipitación del carbonato de calcio se realizó determinando la concentración de calcio en las muestras 2 y 3 de aguas de producción, inmediatamente después de haber sido sometidas a diversas intensidades de campo magnético. La variación de la intensidad del campo magnético se logró modificando la distancia entre la tubería y los imanes, lográndose el siguiente intervalo de intensidades de campo magnético: 1000, 1500, 2000 y 2500 Gauss (0,1; 0,15; 0,2 y 0,25 Tesla). Las muestras sometidas al efecto magnético se recolectaron y posteriormente se analizaron con EDTA, para determinar la concentración de

calcio, comparándose los resultados con los de una muestra de agua de producción no sometida al efecto magnético. En la Tabla 2 se describen las condiciones experimentales de cada una de las pruebas realizadas. Adicionalmente, los experimentos se realizaron a temperaturas diferentes, con el objetivo de estudiar si la variación de ésta influye sobre el efecto del campo magnético en la formación del carbonato de calcio.

Efecto de la aplicación de campo magnético sobre la estructura cristalina del carbonato de calcio

Para determinar el efecto de la aplicación del campo magnético sobre la forma y tamaño de los cristales del carbonato de calcio se realizaron pruebas cristalográficas empleando DRX y MEB. El procedimiento usado para obtener muestras sólidas fue, incrementar lentamente el pH de la muestra con NaOH hasta 12, a 25 °C y 50 rpm. de agitación; con este procedimiento se logró precipitar el carbonato de calcio presente en las muestras evitando la cristalización de otras sales que representan interferencias en el análisis cristalográfico, como el NaCl. Los sólidos obtenidos se secaron en una estufa a 70 °C, durante 8 h. En el análisis de rayos X se identificaron las fases cristalinas del carbonato de calcio, y con el microscopio electrónico se evaluó tamaño y forma de los cristales, comparándose los resultados con los de una muestra no tratada.

Análisis de microcristalización mediante la evaluación de turbidez

El efecto de dispersión microcristalina es una medida del grado de cristalización producida en la solución, inicialmente iónica [4]. La metodología utilizada para evaluar la turbidez de las muestras, debida a la microcristalización, fue la siguiente: una vez tratada las muestras se tomó un litro de cada una y se calentó desde 25 °C a 80 °C durante 7 h. El calentamiento se realizó debido a la marcada influencia de la temperatura en la solubilidad del carbonato de calcio. Se evaluó la variación de la turbidez en las muestras en función del tiempo tomando alícuotas de 10 ml cada vez que se estabilizaba la temperatura, comparando los resultados con los de una muestra no sometida al efecto magnético.

Evaluación del efecto de memoria magnética, con respecto a la precipitación del CaCO₃, para las muestras tratadas magnéticamente

La “memoria magnética” se refiere a la cantidad de tiempo que dure el efecto magnético en la muestra, es decir, durante cuánto tiempo la precipitación del carbonato de calcio es alterada por la aplicación del campo magnético. Para realizar este estudio la muestra 2 de aguas de producción fue sometida a la acción de un campo magnético de 2500 Gauss, durante 10 s; posteriormente la muestra tratada se almacenó por 16 horas a temperatura y agitación controlada, ver Tabla 3.

Tabla 2. Condiciones experimentales para las pruebas de determinación del efecto de la intensidad de campo magnético sobre la formación del carbonato de calcio

Campo magnético (Gauss)	0	1000	1500	2000	2500
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25
	40	40	40	40	40
	50	50	50	50	50
Velocidad de flujo (m/s)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tiempo de exposición (s)	10	10	10	10	10

Tabla 3. Condiciones experimentales para las pruebas de determinación de la memoria magnética en aguas de producción

CONDICIONES DE TRATAMIENTO		CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	
Campo magnético (Gauss)	2500	Temperatura (°C)	25
Temperatura (°C)	25	Agitación (rpm)	220
Velocidad de flujo (m/s)	0,5	Tiempo (h)	16
Tiempo de exposición (s)	10		

Culminado el tiempo de almacenamiento, se indujo la precipitación del CaCO_3 , mediante un leve calentamiento de la muestra (30-40 °C); luego de 10 min, se tomó una alícuota de 10 ml para realizar la determinación de turbidez y se siguió la variación de la concentración de Ca^{+2} , durante 9 horas en intervalos de 60 min. Con este análisis se lograron determinar los cambios ocurridos en la concentración del calcio en función del tiempo, comparándolos con los de una muestra de agua de producción no tratada.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Pruebas preliminares para el estudio del sistema de precipitación del carbonato de calcio

Estos ensayos se llevaron a cabo, según la metodología indicada en las secciones "Evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio, en ausencia de campo magnético" y "Evaluación de la reacción de precipitación del carbonato de calcio, en presencia de campo magnético" para dos tipos de muestras, la salmuera sintética y la muestra 1 de aguas de producción. Las pruebas preliminares para el estudio de la reacción de precipitación del carbonato de calcio se realizaron con el objetivo de predecir el comportamiento de la cristalización de la sal ante un campo magnético aplicado. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 2 y 3, en donde se evaluó la variación de la concentración del ión calcio (Ca^{+2}) en función del tiempo.

En ambas Figuras se observa que la concentración del ión calcio en solución es menor para las muestras sometidas al efecto de campo magnético en comparación con aquellas que no fueron expuestas a tal efecto. En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la salmuera sintética, la cual posee una elevada concentración de iones calcio (> 1600 ppm) y una marcada tendencia a precipitar CaCO_3 , según lo indicado por el índice de Langelier calculado para esta muestra como se indica en la sección 3. Se observó que, tanto en presencia como en ausencia de campo magnético, la concentración del ión calcio en solución disminuyó progresivamente conforme transcurría el tiempo de reacción (6 horas) debido a la formación de CaCO_3 sólido. Es importante destacar que el tratamiento previo al que se somete la muestra, tal como se indica en las secciones 4.1 y 4.2, genera una caída en la concentración inicial del ión calcio.

Para la muestra no tratada la reducción de la concentración de calcio fue de 40% con respecto a la concentración inicial (1663,32 ppm de Ca^{+2}), mientras que, en el caso donde la muestra fue expuesta al campo magnético la reducción fue de 58% con respecto al mismo parámetro. Lo anterior implica que el tratamiento induce una aceleración en el proceso de formación del carbonato de calcio, disminuyendo la concentración del ión calcio en la solución.

La muestra 1 de aguas de producción mostró el mismo comportamiento que la salmuera sintética, el cual se observa en la Figura 3, presentando una reducción en la concentración de calcio en función del tiempo.

Los resultados obtenidos indican que la concentración de calcio disminuyó en un 61% para la muestra no sometida al efecto magnético, mientras que, para la muestra expuesta al campo magnético la reducción fue de 82%, ambos porcentajes con respecto a la concentración inicial (21,10 ppm).

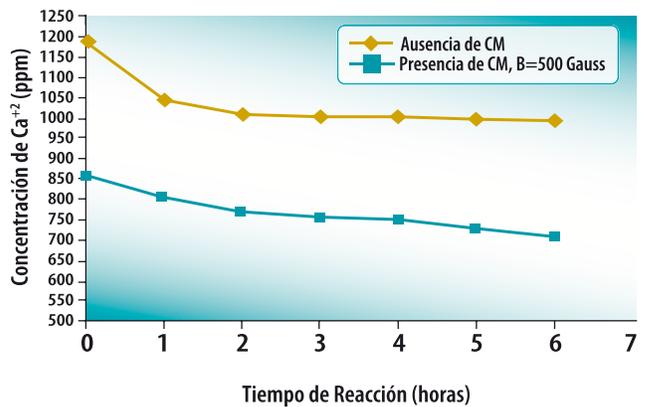


Fig. 2. Evaluación de la reacción de formación de carbonato de calcio, en presencia y ausencia de campo magnético, para la salmuera sintética calcio- bicarbonato a 55°C y 220 r.p.m. de agitación

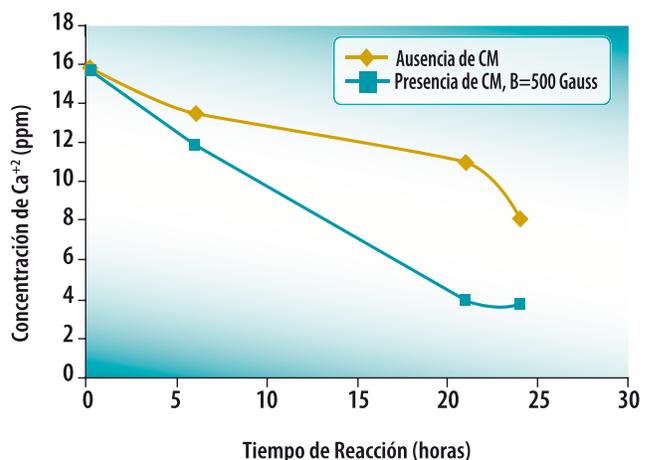


Fig. 3. Evaluación de la reacción de formación de carbonato de calcio, en presencia y ausencia de campo magnético, para la muestra 1 de agua de producción, a 55 °C y 220 rpm de agitación

Efecto del campo magnético sobre la precipitación del carbonato de calcio en aguas de producción

La evaluación del efecto de campo magnético sobre la formación del carbonato de calcio se realizó siguiendo los procedimientos experimentales descritos en la sección "Efecto del campo magnético sobre la precipitación del carbonato de calcio en aguas de producción". En primer lugar, se determinó la influencia en la variación de la intensidad del campo magnético en la cristalización del CaCO_3 , empleando las muestras 2 y 3 de aguas de producción, las cuales presentan tendencia a la formación de incrustaciones de CaCO_3 bajo la estructura cristalina de calcita, según lo señalado por sus índices de Langelier 0,73 y 1,13, respectivamente, a 25 °C (Tabla 1), lo que implica, de acuerdo con el comportamiento de la solubilidad del carbonato de calcio, que a mayor temperatura la tendencia incrustante y corrosiva de estas aguas aumenta.

De acuerdo con lo anterior, se llevó a cabo el estudio del efecto del campo magnético en aguas de producción a diferentes temperaturas con la finalidad de observar cómo la variación de este parámetro influye sobre la concentración de calcio. En la Figura 4 se indican los resultados obtenidos para la muestra 2 (alta dureza) de agua de producción; esta muestra presentó, para cada una de las temperaturas estudiadas, una disminución progresiva de la concentración de calcio en solución a medida que aumentó la intensidad del campo magnético. Dicha disminución es producto de la formación del carbonato de calcio. Además se observó, tal como se muestra en la Figura 5, un aumento de pH a medida que se incrementó tanto la intensidad del campo magnético como la temperatura. Esto se debe a que al aumentar la temperatura, a una intensidad magnética constante, ocurre una liberación de dióxido de carbono que implica una disminución en la concentración de los iones hidrógeno, provocando un incremento de pH. Así mismo, al aumentar la intensidad del campo magnético se incrementa la liberación del CO_2 , como consecuencia de la aceleración en el proceso de formación del CaCO_3 . Igualmente al incrementarse la intensidad de campo magnético se observa un aumento en el pH de la solución.

Este hecho está relacionado con los equilibrios del carbonato según las siguientes ecuaciones:



Cuyo resultado final se traduce en la siguiente ecuación:

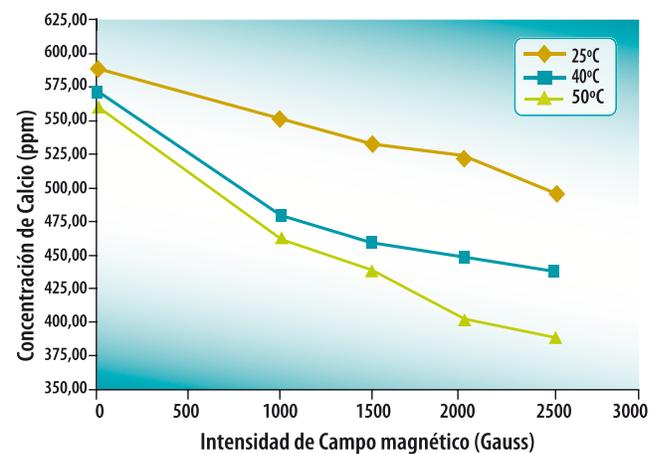
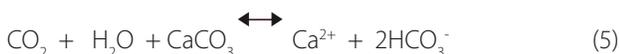


Fig. 4. Variación de la concentración de calcio en función de la intensidad del campo magnético a diversas temperaturas para la muestra 2 de agua de producción

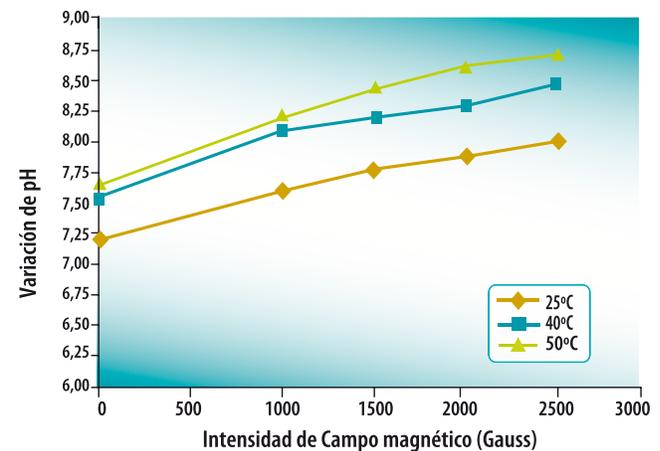


Fig. 5. Variación del pH en función de la intensidad del campo magnético a diversas temperaturas para la muestra 2 de agua de producción

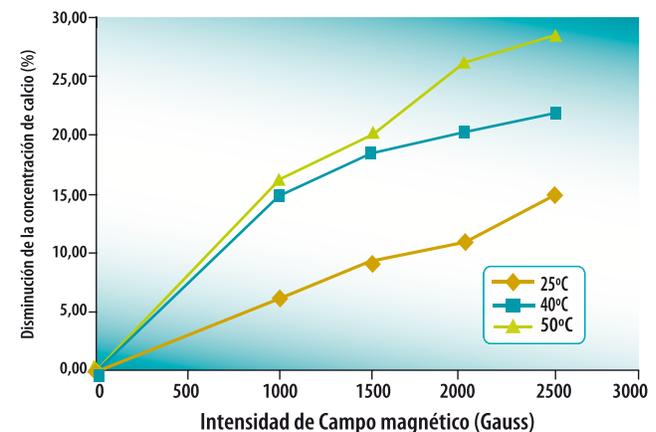


Fig. 6. Disminución porcentual de la concentración de calcio en función de la intensidad de campo magnético para la muestra 2 de agua de producción a diversas temperaturas

Es importante señalar que las temperaturas mencionadas en esta investigación, corresponden a aquellas bajo las cuales se llevó a cabo el tratamiento magnético, no así los análisis de concentración de calcio y pH, los cuales se realizaron, para todas las muestras, a 25 °C, evitándose errores en los resultados, que pudieran provocarse por la variación del coeficiente de actividad de las especies en el agua, ya que este parámetro depende de la temperatura. En la Figura 6 se observa la disminución porcentual de la concentración de calcio en función de la intensidad del campo magnético para la muestra 2 de agua (alta dureza) de producción; esto representa una medida de la eficiencia del tratamiento magnético para reducir el calcio causante de las incrustaciones presente en las aguas. Los valores fueron determinados justo después de someter la muestra al campo magnético durante 10 segundos [5].

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 6, la eficiencia del tratamiento aumenta al incrementarse la temperatura, como consecuencia de un efecto sinérgico entre ambas variables. Además, a temperatura constante, la disminución de calcio se hace mayor al aumentar la intensidad del campo magnético, hasta alcanzar valores por encima de 28% a 50 °C.

El comportamiento presentado por la muestra 3 (moderada dureza), se puede observar en la Figura 7; éste siguió la misma tendencia que el de la muestra 2 (alta dureza), tanto para la variación de la concentración de calcio, como para la del pH (Figura 8). Un aspecto importante, observado en los resultados del agua de moderada dureza (muestra 3), es que la concentración de calcio disminuye bruscamente entre 0 y 1000 Gauss y luego se mantiene casi constante hasta alcanzar el valor máximo en 2500 Gauss, tal como se observa en el Figura 9; este comportamiento puede estar asociado a las características fisicoquímicas de la muestra, las cuales revelan un sistema en equilibrio vulnerable con tendencia a formar incrustaciones de carbonato de calcio, el cual responde bruscamente a cualquier perturbación; sin embargo, entre 1000 y 2500 Gauss el sistema se mantiene prácticamente constante, lo cual puede ser producto del establecimiento de un nuevo estado de equilibrio.

Sin embargo, la eficiencia del tratamiento magnético (Figura 7) alcanzó un 44% a 50 °C, es decir, 16% por encima de la eficiencia lograda para el agua de alta dureza (muestra 2), lo que implica que la composición de la muestra tiene influencia en la eficacia del efecto del campo magnético sobre las aguas de producción. Particularmente la muestra 3, a pesar de poseer menor dureza total y menor concentración de calcio que la muestra 2, presenta un mayor índice de Langelier, vinculado a una alta alcalinidad, factor determinante en la precipitación del carbonato de calcio, ya que se refiere a la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en la muestra y es una medida o indicación de los componentes básicos del agua [6].

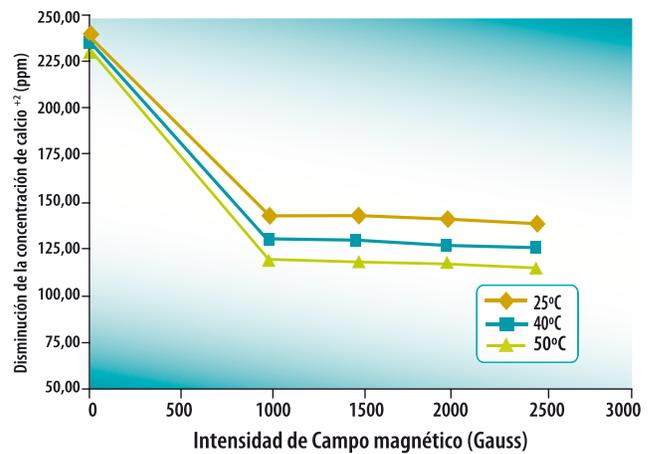


Fig. 7. Variación de la concentración de calcio en función de la intensidad del campo magnético a diversas temperaturas para la muestra 3 de aguas de producción

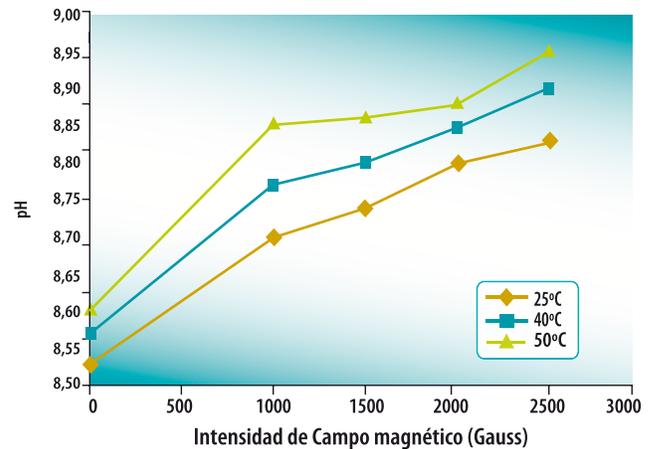


Fig. 8. Variación del pH en función de la intensidad del campo magnético a diversas temperaturas para la muestra 3 de aguas de producción

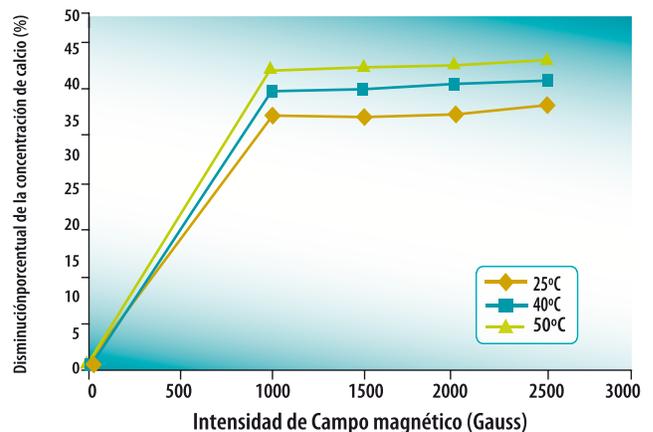


Fig. 9. Disminución porcentual de la concentración de calcio en función de la intensidad de campo magnético para la muestra 3 de agua de producción, a diversas temperaturas

Las diferencias más importantes en cuanto a la composición de las muestras, están relacionadas con la alcalinidad y la concentración de sólidos totales disueltos. La muestra 2 (alta dureza) presenta una alcalinidad de 468 ppm, mientras que la muestra 3 (moderada dureza) está alrededor de 630 ppm (expresados como ppm de CaCO_3), lo que implica una mayor concentración de especies carbonatadas que puedan interactuar con el calcio y formar CaCO_3 , lo que significa que la muestra 3 (moderada dureza) es menos estable cinética y termodinámicamente, tal como lo indican los resultados experimentales. Por su parte, la concentración de sólidos totales disueltos y la fuerza iónica para la muestra 2 (alta dureza) es mayor que para la muestra 3 (moderada dureza). Por lo tanto, el carbonato de calcio puede mostrar menor solubilidad en la muestra 3 que en la muestra 2, lo cual se confirmó con los hechos experimentales.

Se comprobó que el campo magnético reduce la concentración del calcio en las aguas de producción, como consecuencia del aumento de la velocidad de formación del CaCO_3 . Para explicar este proceso uno de los mecanismos más aceptados entre los investigadores es el basado en el Fenómeno de la Magnetohidrodinámica, el cual plantea la aparición de ciertas fuerzas y corrientes inducidas por el campo magnético, las cuales producen una aceleración en la velocidad de asociación (atracción) entre los iones y las partículas coloidales, que pudiese incrementar la velocidad de formación del carbonato de calcio [5, 3, 7, 8].

Lo anterior está ligado a la Teoría de Colisiones de Velocidades de Reacción, la cual establece que para que una reacción tenga lugar, las moléculas átomos o iones deben en primer lugar colisionar entre sí; el aumento de las colisiones de las especies reaccionantes produce un aumento en la probabilidad de colisión efectiva, la cual da paso a la formación de los compuestos. La colisión efectiva es aquella que reúne la cantidad mínima de energía necesaria para reordenar los electrones externos para romper enlaces y formar otros nuevos y además las orientaciones adecuadas entre sí en el momento de la colisión [9].

La aparición de las corrientes inducidas se atribuye a la Ley de Inducción de Faraday, la cual establece que la variación del flujo magnético a través de un circuito, da lugar a una fuerza electromotriz que induce la circulación de una corriente en el circuito. El agua de producción posee una gran cantidad de iones disueltos los cuales le confieren a este líquido la característica de conducir electricidad; cuando el agua se expone a un campo magnético, el líquido corta el flujo magnético, dando lugar a una corriente eléctrica, tal como lo establece la Ley de Faraday [8].

La existencia de estas corrientes tiene a su vez varios efectos físicos. Por un lado, como dicta la Ley de Ampère, las corrientes eléctricas inducen campos magnéticos de modo

que ahora el campo magnético total será el campo aplicado por el imán más el campo inducido por la corriente que circula en el fluido. Por otro lado, las corrientes eléctricas interactúan con el campo magnético total dando lugar a fuerzas electromagnéticas, denominadas fuerzas de Lorentz; este tipo de fuerzas son de cuerpo o de volumen, es decir, actúan sobre el volumen del fluido como un todo; además por su naturaleza electromagnética son de largo alcance, modificando el movimiento original del líquido [8].

En general la fuerza de Lorentz estará dirigida a inhibir el movimiento relativo entre el campo magnético y el fluido. Un tercer efecto producido por la circulación de corrientes eléctricas en el fluido conductor es lo que se conoce como calentamiento o disipación de Joule que manifiesta el hecho de que parte de la energía existente en el sistema es transformada de manera irreversible en calor. Entonces el simple movimiento de un líquido conductor en un campo magnético produce alteraciones mecánicas, electromagnéticas y térmicas en el sistema. De manera que el efecto de un campo magnético sobre un fluido conductor se manifiesta principalmente mediante el surgimiento de fuerzas de cuerpo en el medio y el intercambio de energía entre el campo y el fluido [8]. Dependiendo de la intensidad de la fuerza generada (Fuerza de Lorentz) será el efecto del tratamiento magnético sobre la formación del carbonato de calcio. La fuerza de Lorentz está definida de acuerdo con la ecuación:

$$F_z = q (E + (v \times B) \sin \theta) \quad (6)$$

La ecuación indica que la magnitud de esta fuerza depende la carga de la partícula (q), la velocidad de la misma (v), el campo eléctrico generado (E) y la intensidad del campo magnético (B). Además, debido a que la fuerza se expresa como una magnitud vectorial, su intensidad va a depender del ángulo formado entre los vectores velocidad y campo magnético. Esto significa que al mantener la carga y la velocidad constante, tal como se realizó en esta investigación, la fuerza y el efecto de la misma, solo dependerá de la intensidad del campo magnético aplicado.

Otra forma de demostrar la influencia del campo magnético sobre la cristalización del carbonato de calcio, es a partir de la medición de la turbidez de las muestras en presencia y ausencia de campos magnéticos, ya que este parámetro es una medida del grado de cristalización producido en la solución. Como se observa en el Figura 10 la turbidez de la muestra es mayor en presencia de campo magnético (MT), en comparación con la turbidez presentada por la muestra en ausencia del tratamiento (MNT), lo que significa que la aplicación del campo magnético produce la formación de micropartículas, que ante la incidencia de luz se manifiestan como una dispersión. La formación de estas micropartículas

corresponde al proceso químico llamado nucleación, el cual consiste en la formación de pequeñas partículas llamadas núcleos; sobre éstas se pueden depositar partículas más pequeñas que originaran el crecimiento de los núcleos hasta que sean lo suficientemente grandes para que precipiten en la solución por acción de la gravedad [10].

La muestra 3 (moderada dureza), mostró el mismo comportamiento que la muestra 2 (alta dureza) en cuanto la variación de la turbidez, tal como se observa en el Figura 11. Sin embargo, en presencia de campo magnético fue más brusca la variación para la muestra 3 que para la muestra 2, lo cual debe estar asociado a las condiciones de inestabilidad termodinámica del carbonato de calcio de la muestra 3, lo que provoca una microcristalización más rápida. La formación de los núcleos de carbonato de calcio, como consecuencia de la aplicación de campo magnético no es completa ya que el tiempo utilizado en el estudio (7 horas) es muy corto como para que estas partículas alcancen el tamaño adecuado para precipitar, por lo cual se mantienen en solución y provocan un incremento progresivo de la turbidez en las muestras.

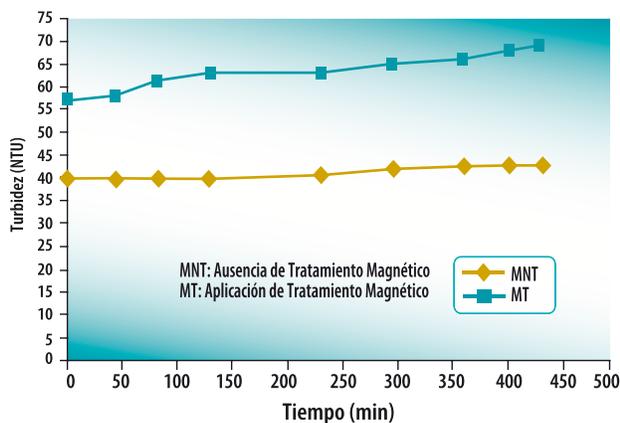


Fig. 10. Variación de la turbidez para la muestra 2 en ausencia y presencia de campo magnético

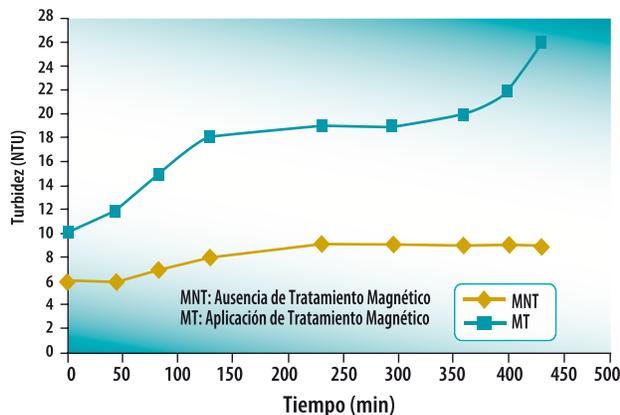


Fig. 11. Variación de la turbidez para la muestra 3 en ausencia y presencia de campo magnético

Efecto de la aplicación de campo magnético sobre la estructura cristalina del carbonato de calcio

El carbonato de calcio puede cristalizar bajo dos tipos de estructuras; estas son: anhidras e hidratadas. Las estructuras anhidras son la calcita, aragonita y vaterita, mientras que las formas hidratadas son $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y CaCO_3 amorfo [11]. Se ha demostrado que el campo magnético ejerce una influencia en la conformación de la estructura cristalina del CaCO_3 , dando como resultado un sólido con menos carácter incrustante que el formado en ausencia del tratamiento (calcita como fase mayoritaria).

Para determinar el efecto de la aplicación del campo magnético sobre la forma y tamaño de los cristales del carbonato de calcio se realizaron pruebas cristalográficas empleando difracción de rayos X (DRX) y microscopía de barrido electrónico (MEB). El procedimiento usado para obtener muestras sólidas fue, incrementar lentamente el pH de la muestra con NaOH hasta 12, a 25 °C y 50 rpm de agitación; con este procedimiento se logró precipitar el carbonato de calcio de las muestras evitando la cristalización de otras sales que interfieren en el análisis cristalográfico, como el NaCl. Los sólidos obtenidos se secaron en una estufa a 70 °C, durante 8 h. En el análisis de rayos X se identificaron las fases cristalinas del carbonato de calcio, y con el microscopio electrónico se evaluó tamaño y forma de los cristales, comparándose los resultados con los de una muestra no sometidas al tratamiento magnético. En la Figura 12 se muestra un difractograma característico de la calcita y la aragonita para un 100% de pureza. Como se observa cada una de las estructuras posee picos característicos que permiten diferenciarlas. La calcita (asterisco) posee su máximo de intensidad en la posición correspondiente a $29,399(2\theta)^\circ$, mientras que la aragonita lo muestra en $26,223(2\theta)^\circ$; otros picos característicos de la calcita se encuentran aproximadamente en las siguientes posiciones $(2\theta)^\circ$ 23; 42; 43; 57; 65 y 66. Los de la aragonita se encuentran aproximadamente en $(2\theta)^\circ$ 19; 24; 36; 37; 38; 48; 49; 53 y 59.

Comparando estos espectros de DRX teóricos con los obtenidos experimentalmente para las muestra 2 y 3, mostrados en la Figura 13, se determinó la presencia de calcita y aragonita en los sólidos obtenidos, siendo la fase cristalina predominante la calcita, para ambas muestras, esto en ausencia de campo magnético, lo cual confirma la tendencia incrustante de las muestras. Una vez sometidas las muestras al campo magnético, se realizó el análisis cristalográfico de los sólidos provenientes de las aguas de producción, mediante difracción de rayos - X, obteniéndose los resultados mostrados en las Figuras 14 y 15.

El difractograma mostrado en la Figura 14 indica que, en presencia de campo magnético de 1000 Gauss (B1), ocurre una disminución en la intensidad de todos los picos, sin

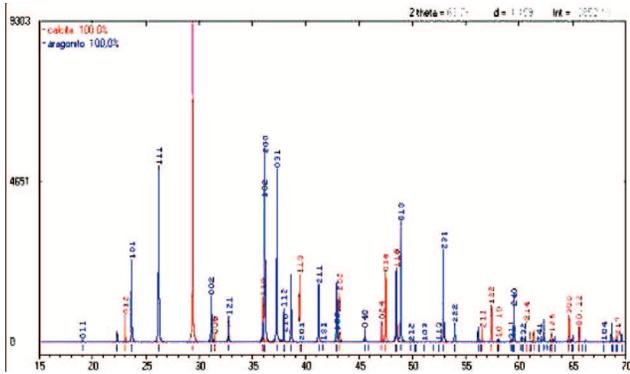


Fig. 12. Comparación de los Difractogramas de Rayos – X para las estructuras cristalinas del carbonato de calcio calcita y aragonita con un 100% de pureza

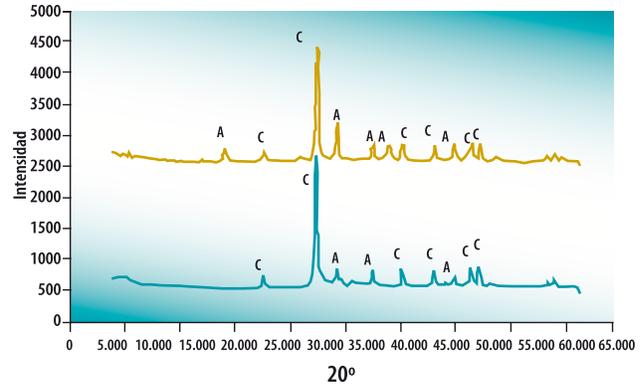


Fig. 13. Espectro DRX para las muestras de aguas de producción en ausencia de campo magnético

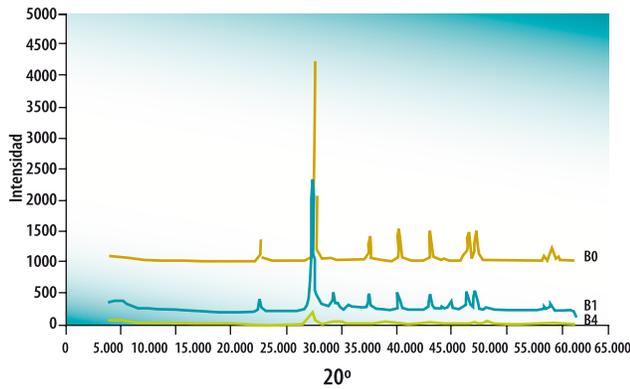


Fig. 14. Espectro DRX de la muestra 2 en ausencia y presencia de campo magnético

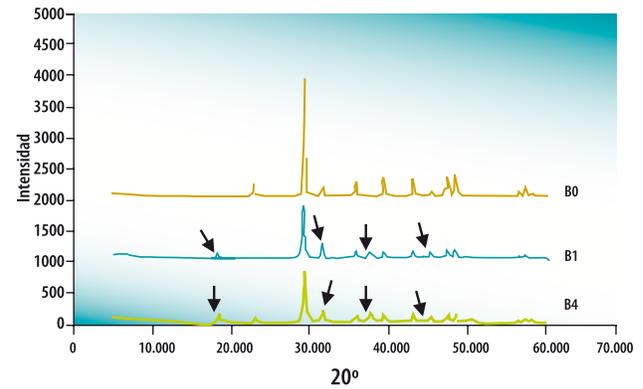


Fig. 15. Espectro DRX de la muestra 3 en ausencia y presencia de campo magnético

aparición de nuevos que indiquen la formación de otras fases cristalinas. El efecto se incrementa al aumentar la intensidad del campo magnético a 2500 Gauss (B4), observándose un sólido prácticamente amorfo. Esto puede estar asociado a la formación de estructuras hidratadas de carbonatos de calcio, las cuales pueden presentar una solubilidad 100 veces mayor que la de la calcita [11], por lo que se puede suponer que presenten una tendencia menor a formar incrustaciones.

Por su parte el resultado obtenido para la muestra 3, Figura 15, a 1000 Gauss, indica pérdida de intensidad en los picos correspondientes a la calcita, aumento en la intensidad de los picos correspondientes a la aragonita y aparición de nuevos picos pertenecientes a esta fase; al aumentar el campo magnético (2500 Gauss) se disminuye aun más la intensidad de los picos de la calcita, mientras que los de

aragonita aumentan, pero no se observa la aparición de nuevos picos que indiquen nuevas fases cristalinas.

Los resultados obtenidos indican que el campo magnético afectó el proceso de cristalización del carbonato de calcio presente en las aguas de producción, obteniéndose sólidos con estructuras amorfas, que pueden poseer un menor carácter incrustante en comparación con estructuras cristalinas como la calcita. Este efecto puede estar asociado a la influencia del campo magnético en la velocidad de asociación de los iones, ya que al asociarse más rápidamente el sistema no dispone de tiempo para formarse bajo la estructura mas estable (calcita), lo que da paso a la formación de sólidos bajo arreglos irregulares y de menor estabilidad.

Este proceso también influye en el tamaño de los cristales, debido a que la distribución del tamaño de las partículas

está dada por las velocidades relativas de la formación y el crecimiento de los núcleos. Esto significa que, si la velocidad de nucleación es pequeña, comparada con la de crecimiento de los núcleos, al final se producen menos partículas y éstas tendrán un tamaño relativamente grande; pero si la velocidad de nucleación es rápida se obtendrán mayor número de partículas de menor tamaño (10). Para evaluar si el campo magnético produce un efecto en el tamaño de los cristales de carbonato de calcio presentes en las aguas de producción se realizó un estudio cristalográfico para los sólidos de las muestras 2 y 3, antes y después del tratamiento magnético, empleando MEB.

La Figura 16 muestra las micrografías obtenidas para los cristales de calcio provenientes de la muestra 2, aplicando MEB. En 6(A) se observan los cristales en ausencia de campo magnético; los círculos indican aristas irregulares y aglomeración de los cristales, característicos de un crecimiento acelerado. Mientras que en 6(B) se observa una disminución considerable del tamaño de los cristales, debida a la influencia del campo magnético. Por su parte la muestra 3, presentó un comportamiento similar al

de la muestra 2; véase la Figura 17, donde la Figura 17(A) corresponde al carbonato de calcio formado en ausencia de campo magnético; se puede observar la presencia de formas cristalinas irregulares (círculos) y partículas más grandes cuando se compara con la Figura 17B, la cual muestra al carbonato de calcio formado bajo un campo magnético de 2500 Gauss el cual tiene una distribución de tamaños más pequeña y aparición de otras formas cristalinas. Resultados similares fueron obtenidos por Saban [12], quien observó que la aplicación de campo magnético puede causar una marcada diferencia en la distribución de tamaños de las partículas.

Con base en lo observado se infiere que la aceleración en el tiempo de nucleación del carbonato de calcio, provocada por el campo magnético, produce un efecto de disminución de tamaño en las partículas de CaCO_3 proveniente de las muestras de agua de producción, además de inducir el crecimiento aglomerado de los cristales, lo que trae como resultado sólidos porosos y quebradizos, que pueden presentar mayor solubilidad y menor carácter incrustante.

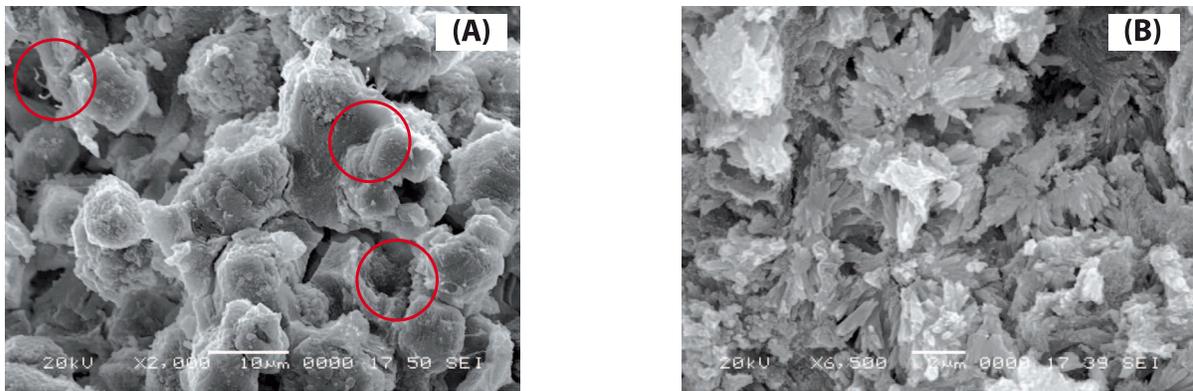


Fig. 16. Imágenes de MEB de los cristales de carbonato de calcio provenientes de la muestra 2: (A) Sin campo magnético, (B) campo magnético 2500 Gauss

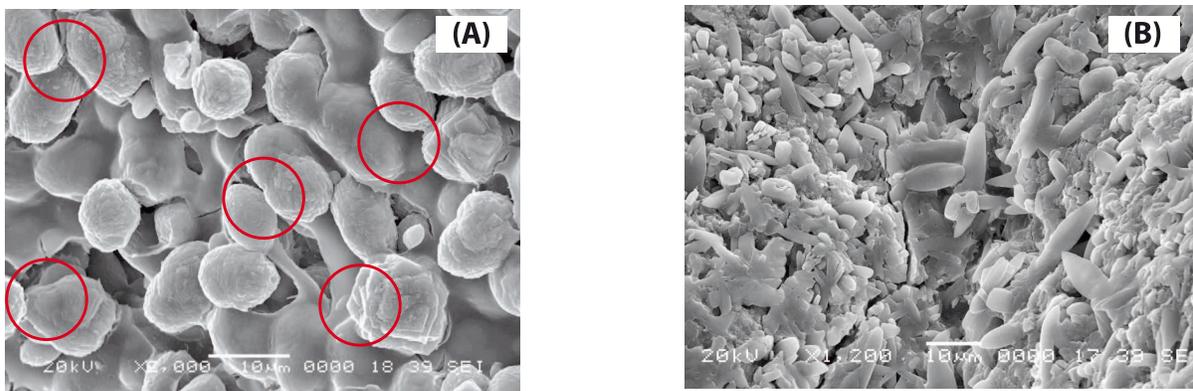


Fig. 17. Imágenes de MEB de los cristales de carbonato de calcio provenientes de la muestra 3: (A) Sin campo magnético, (B) campo magnético 2500 Gauss

Efecto de memoria magnética en las muestras de aguas de producción.

Barret y Parsons [13] concluyeron en su estudio que el efecto magnético es mantenido por casi 60 horas después de la exposición de la muestra al tratamiento, bajo determinadas condiciones. Esto significa que el carbonato de calcio pudiese mantener su carácter no incrustante tiempo después de la aplicación del campo magnético. En esta investigación se evaluó el efecto de "campo magnético residual". Para realizar este estudio se siguió el procedimiento de la sección "Evaluación del efecto de memoria magnética, con respecto a la precipitación del CaCO_3 , para las muestras tratadas magnéticamente".

Los valores de turbidez determinados para la muestra 2 en ausencia (MNT) y presencia (MT) de campo magnético fueron 40 y 61 NTU respectivamente, lo que significa que se mantiene el efecto de microcristalización en la muestra, producto de la aceleración en la velocidad de asociación de los iones y partículas coloidales, causada por el efecto de campo magnético, al menos 16 horas después de la aplicación de campo magnético. Esto trae como consecuencia que la concentración de calcio en solución sea menor en presencia de campo magnético, en comparación con el mismo parámetro en ausencia del tratamiento, tal como lo indica la Figura 18.

La existencia del efecto de memoria magnética es posible debido a que, al interactuar los iones con el campo magnético, los momentos magnéticos de los electrones que los conforman se alinean; esta alineación se mantiene hasta que el electrón vuelve a su estado de relajación inicial, y su tiempo de duración va a depender de variables como: temperatura, presión, concentración de los iones y entorno electroquímico.

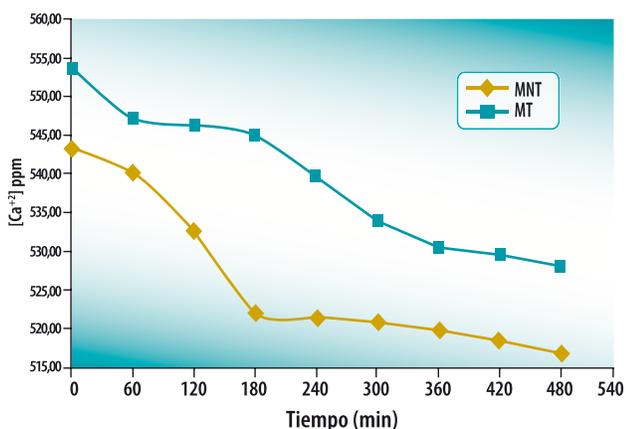


Fig. 18. Evaluación del efecto de memoria magnética para la muestra 2 después de 16 horas de haber sido expuesta a un campo magnético de 2500 Gauss

Para especies diamagnéticas como el Calcio (Ca^{+2}) la alineación del momento magnético del espín, se produce en sentido opuesto al campo magnético, lo cual trae como consecuencia, la aparición de una fuerza de repulsión entre las paredes de la tubería y los iones. De esta manera la concentración de los iones en el seno del líquido aumenta y por tanto los choques entre ellos también, dando como resultado un aumento en las colisiones efectivas, incrementándose la velocidad de asociación entre ellos y produciéndose los efectos sobre la estructura cristalina de las especies, en este caso del carbonato de calcio.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de campo magnético acelera la nucleación del carbonato de calcio en las aguas de producción estudiadas, produciéndose CaCO_3 sólido bajo estructuras amorfas, que conduce a la formación de precipitados con menor carácter incrustante que la calcita.
2. El campo magnético induce la aparición casi inmediata de microcristales, que originan la formación de precipitados con partículas de menor tamaño.
3. En aguas de producción con bajas concentraciones de sólidos totales disueltos y elevada alcalinidad, la disminución de la concentración de iones calcio en solución es mayor en presencia de campo magnético.
4. Se confirmó la existencia de un efecto de campo magnético residual, que se mantiene en la muestra estudiada, al menos 16 horas después de la exposición al tratamiento.

Los resultados obtenidos se comportan de acuerdo con lo previsto en la teoría magnetohidrodinámica, ya que se presentó un incremento en la velocidad de precipitación del carbonato de calcio amorfo, por lo que sus postulados presentan un mecanismo para explicar el efecto del campo magnético sobre la precipitación del CaCO_3 .

REFERENCIAS

- [1] BACKER, J.B. Corrosion and Scale Handbook. Penn Well Publishing Company. 1998. Tulsa. Oklahoma.
- [2] Brown M. "Full Scale Attack". Technology Magazine (Octubre- Diciembre 1998). pp.30-36.
- [3] ALIMLI, F., Thili, M., Gabrielly C., Georges, M. y Ben Amor, M. Effect of a water magnetic treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. Elsevier. Water Research. 2006.
- [4] ZAVALETA, M., Valera, A., Rivas, E., Mendoza, A. y Tinoco, S. Efecto de campo magnético en el tratamiento de aguas duras. Tecnia. 1998. Vol. 8. No. 1, pp. 69-78.
- [5] GABRIELLI, C., Jaouhari, R., Maurin, G. y Keddani, M. Magnetic water treatment for scale prevention. Water

- Research. 2001. Vol. 35 No. 13, pp. 3249- 3259.
- [6] ODDO, J.E., TOMSON, M. B. Simplified calculation of CaCO_3 saturation at high temperature and pressures in brines solutions. Rice University. JPT Julio 1982. 1583 – 90. Manuscrito original publicado en IKA SPE diciembre 1981.
- [7] KNEZ, S. y Pohar C. The magnetic field influence on the polymorph precipitated from carbonized aqueous solutions. Journal of Colloid and Interface Science. 2005. Vol. 281. pp. 377- 388.
- [8] RÉCAMIER, J., Jaúregui R. Memorias de la XII Escuela de verano de física. UNAM. Centro de Ciencias Físicas. México. 2004.
- [9] WHITTEN. Davis y Peck. Química Genral. 5ta. Edición. Mc Graw Hill. España 1998, p 616.
- [10] DAY, R.A., y UNDERWOOD, A.L. Química analítica cuantitativa 5ta. Edición. Editorial: Prentice Hall. México. 2000. pp. 97-98.
- [11] GAL, J. Yannick, F., Gache, N. Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence. Part I. elaboration of an experimental method and scaling model. Water Research. 2001. vol. 36. pp 755-763.
- [12] SABAN, K.V., Jini, T., Varghese G. Impact of magnetic field on the nucleation and morphology of calcium carbonate crystals. Cryst. Res. Technol. 2005. No. 8 pp. 748-751.
- [13] BARRET, R. y Parsons, S. The influence of magnetic fields on calcium carbonate precipitation. Water Research. 1997. Vol. 32 No. 3, pp. 609-612.



VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA



PATENTES

Se presenta una breve descripción de las patentes otorgadas a PDVSA Intevep en el año 2009.

2009

Número de la Patente: US 7,449,158

Título: Apparatus and Gasification of Carbonaceous Solid Materials

Inventores: Phillipp Haueter, Andreas Z'Graggen, Dominic Trommer, Aldo Steinfeld, Manuel Romero, Juan Carlos De Jesús, Domingo Rodriguez, Alfredo Morales and Julian Blanco.

Fecha en la cual fue otorgada la patente: 11 de noviembre de 2008

Resumen:

An apparatus for thermochemical conversion of solid carbonaceous materials into fluid fuels using a fluid source of oxygen and an external source of concentrated radiation includes a reactor having a wall defining a cavity; a radiation inlet positioned in the wall for passing concentrated radiation into the cavity; and at least one inlet for introducing a fluid reactant flow of a source of oxygen and particles of carbonaceous material into direct exposure to the concentrated radiation in the cavity so as to heat and thermochemically convert the particles into fluid fuel. A process and system are also provided. The fluid source of oxygen is preferably steam and the carbonaceous material is preferably particles of petcoke.

Número de la Patente: US 7,501,054

Título: Oxygen-Containing Diesel Fuel, Process and Catalyst for Producing Same

Inventor: Roberto Galiasso

Fecha en la cual fue otorgada la patente: 10 de marzo de 2009

Resumen:

A process for upgrading a diesel fuel, includes the steps of providing a diesel fuel feedstock; hydrogenating the feedstock at a pressure of less than about 600psig so as to provide a hydrogenated product wherein a portion of the feedstock is converted to alkyl-naphthene-aromatic compounds; and selectively oxidizing the hydrogenated product in the presence of a catalyst so as to convert the alkyl-naphthene-aromatic compounds to alkyl ketones. A catalyst and oxygen-containing Diesel fuel are also provided.



VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA VISIÓN TECNOLÓGICA



ÍNDICE DE AUTORES VISION TECNOLÓGICA

- Alberto Oropeza Ingeniero en Sistemas, Universidad Nacional Abierta, Maracay, 2003. Actualmente, cursa maestría de gerencia en tecnologías de información y comunicación, UNEFA, Los Teques. Ingresó a la industria en el año 2004 en el departamento de Automatización, Informática y Telecomunicación ocupando el cargo de analista programador. Posteriormente, se desempeña como Líder Técnico, responsable del área de tecnología en proyecto para la Gerencia de Refinación, durante este periodo participa en la definición de propuestas y soluciones tecnológicas innovadoras que permitiesen apoyar la optimización del Proceso de Asistencia Técnica Especializada que brinda Intevep al circuito de refinación, considerando premisas tales como disminución de los tiempos de respuesta, seguimiento de resultados e impactos obtenidos y capitalización del "Know How" generado. Actualmente, se desempeña en el área de investigación asociada a tecnologías de información y comunicación, en actividades que contribuyan al acervo de conocimiento, en nuevos avances y tendencias, en búsqueda de soluciones a requerimientos y necesidades en el negocio.
- Alexander Molero Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, 2006. Cursa actualmente una Maestría en Ingeniería Electrónica Mención Mecatrónica en la Universidad Simón Bolívar. Ingresó en el 2006 a Intevep en la Gerencia General de Refinación, asignado al proyecto 2973 como Analista de Tecnología en el área de Comunicaciones Unificadas. Luego, es transferido a la Gerencia Funcional de AIT en la Coordinación de Tecnologías y Proyectos, donde labora actualmente. Sus principales áreas de interés son: Mecatrónica, Control, Computación Emergente, Procesamiento de Imágenes y Comunicaciones Unificadas.
- Antonio dos Santos Técnico Superior Universitario en Informática, IUT Dr. Federico Rivero Palacios, Miranda, 2003. En el 2004 ingresó a Intevep en la Gerencia de AIT, donde continúa laborando y se desempeña como programador de aplicaciones y servicios web.
- Antonio Quilice Licenciado en Biología, Universidad Simón Bolívar, 1993. Profesional en entrenamiento del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas en el área de ecofisiología vegetal y Biogeoquímica asociada a la restauración de ecosistemas de interés para la Industria Petrolera (1993- 1995). PhD nivel II Universidad de California en Davis, California, EUA. (1998). Trabaja en el área de Ambiente en PDVSA Intevep desde 1999. Ha desarrollado investigación en la identificación de factores clave para el funcionamiento de humedales costeros y continentales con el fin de garantizar su conservación y gestión en planes E&P de PDVSA y en la elaboración de las Normas Técnicas Ambientales PDVSA. Desarrolla tecnologías de ingeniería ecológica para el tratamiento de efluentes (como BIOHUMEDALES™) y subproductos de PDVSA. Miembro del Comité Académico del Programa Educativo Petrolero. Actualmente, trabaja en el área de Ambiente de la Gerencia de AHO en PDVSA Intevep en el desarrollo de nuevas metodologías de caracterización ambiental empleando biogeoquímica de isótopos estables de elementos ligeros. Labora en el uso de energía solar para captura de CO₂ liberado durante procesos de extracción y procesamiento de hidrocarburos y su biotransformación a productos de utilidad para la industria y otras actividades en el país.
- Cesar A. Ortega M. Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, 2004. Actualmente, culmina dos estudios de cuarto nivel: Maestría en Gerencia de las Tecnologías de Información y Comunicación en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada y una Especialización en Redes de Comunicación de Datos en la Universidad Central de Venezuela. Ingresó en el 2005 a Intevep en la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones, asignado al

Departamento de Telecomunicaciones como Analista de Programador. En el año 2006, se integró al grupo que participó en la definición de propuestas para optimizar las Asistencia Técnica Especializada que se provee en el circuito refinador nacional desde la perspectiva tecnológica. Sus principales áreas de interés son: Telecomunicaciones, Comunicaciones Unificadas y Software Libre.

Evelyn Jiménez Licenciada en Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2003. Especialista en Gerencia de las Telecomunicaciones, Universidad Simón Bolívar, Caracas, 2007. Ingresó a Intevep en el año 2004, en la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones, específicamente en el área de Telecomunicaciones. Ha participado en la conceptualización, diseño e implantación de proyectos de Tecnología de Información y comunicación, tales como, Redes Inalámbricas, Telefonía IP, Comunicaciones Unificadas y Centros de Datos. Actualmente, se desempeña en el área de Proyectos de Telecomunicaciones.

Ezequiel Zamora Ledezma Licenciado en Biología, Universidad de Los Andes, Mérida, 2002. Magíster Scientiarum en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, 2008. Trabajó como Investigador en el Laboratorio de Entomología Herman Lent (ULA) y de Microbiología del Petróleo (USB). En el año 2004 ingresó a la Pericia de Tratamiento y Disposición de Desechos Sólidos de PDVSA Intevep (Gerencia Técnica de Construcción y Mantenimiento de Pozos) donde se desempeñó como especialista en procesos de gestión integral de desechos sólidos generados por la industria petrolera. Ha participado en diferentes proyectos de ID en el área de biorremediación y fitorremediación de suelos contaminados y en restauración ecológica de morichales impactados. Desde el 2006 hasta la actualidad, forma parte de la Gerencia de Funcional de Ambiente e Higiene Ocupacional, donde se ha desempeñado como responsable de las pruebas de biodegradación anaeróbica, custodio del producto BIORIZE® y de la tecnología INTEBIOS®. Ha realizado 25 presentaciones en congresos nacionales e internacionales y 12 publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

Fernando Camacho Licenciado en Química, Universidad Central de Venezuela, 1977. Magister Scientiarum en Ingeniería Sanitaria de la misma Universidad 1981. Responsable técnico del tratamiento del agua potable, Edo Cojedes 1977-1978. Integrante del equipo de tratamiento de agua potable de la Dirección Nacional de Funcionamiento del INOS, 1978-1981. Jefe de proyecto Intevep 1981-1983. Jefe del laboratorio de aguas de Intevep, 1983-1987. Jefe de Unidad de tratamiento de aguas de Intevep, 1987-1991. Tutor de Pericia de Tratamiento y Disposición de Efluentes a partir de 1997. Coordinador de Ambiente de la Gerencia de AHO de PDVSA Intevep desde el año 2009.

José Vicente García Licenciado en Biología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1993. Magister Scientiarum en Ecología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1997. Doctor en Ciencias en Zoología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2005. Trabajó como Auxiliar, Asistente e Investigador Invitado del Instituto de Zoología Tropical, UCV. Profesor Instructor de pregrado en la Escuela de Biología, UCV y del Postgrado en Ecología UCV. Fue Director del Laboratorio Ambiental "Leopold Blumenkranz" del MPPAmbiente. En el 2005 ingresó a Intevep en la Gerencia Técnica de Calidad de Productos. Desde el 2006 hasta la actualidad forma parte de la Gerencia Funcional de Ambiente e Higiene Ocupacional, donde se desempeña como Tutor de la Pericia de Ecotoxicología y Bioprocesos. PPI Nivel I acreditado 2000/2007. Posee un total de 29 presentaciones en congresos nacionales e internacionales y 25 publicaciones entre capítulos de libros y artículos en revistas nacionales e internacionales.

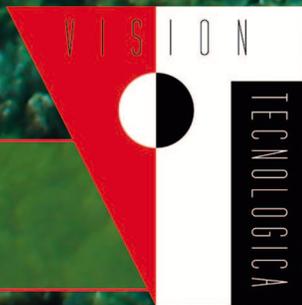
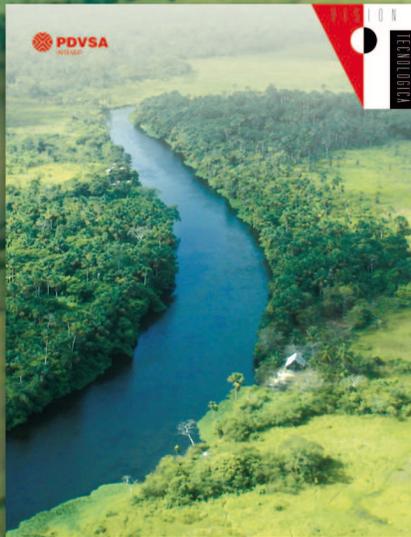
Julio Manzanares Ingeniero Civil, IUPFAN, 1991. Especialista en Ingeniería Estructural y sismorresistente, UCV, 2007.

Candidato a Doctor en Ingeniería Estructural de la UCV. Ingresó a PDVSA Intevep en 1992. Se ha desempeñado en el área de ingeniería y sismorresistencia, evaluación sismorresistente de instalaciones existentes, confiabilidad estructural ante acciones sísmicas, proyectos de refuerzo estructural de instalaciones industriales. Participa como líder en comités de revisión de más de 100 Normas Técnicas de PDVSA en el área de sismorresistencia. Líder de la disciplina de ingeniería conceptual, básica y de detalle. Participación en Ejercicios de Ingeniería de Valor (EIV) y constructibilidad. Es instructor de cursos “Aplicación de normas sismorresistentes de PDVSA y “Aplicación de la norma COVENIN 1756, Edificaciones sismorresistentes”. Ha participado en la elaboración de proyectos ambientales para el tratamiento de aguas de producción mediante BIOHUMEDALES™, Centros para manejo de desechos petrolizados, rellenos de seguridad para desechos peligrosos, inventario de pasivos ambientales, entre otros. Desde 2005, es custodio tecnológico principal de la tecnología ENDRILL®. Compartió, junto a un equipo de profesionales de PDVSA Intevep, el Primer Lugar del “Premio a la Creatividad e Innovación” en su edición 2006, por su participación en la innovación “Transformación de ripios de perforación en agregados para su uso como relleno y vialidad en localizaciones petroleras”.

- Katuska Aguilar Técnico Superior Universitario en Análisis Químico, Instituto Universitario de Tecnología Alonso Gamero, Falcón, 1990. Desde 1991 hasta la fecha labora en Intevep, en el Departamento de Construcción y Mantenimiento de Pozos, en donde se especializa en Fluidos de Perforación, Rehabilitación y Completación. Participando en los diseños de operaciones en condiciones bajo balance, de trayectorias complejas tanto en tierra como costa afuera, con amplia experiencia en todos los campos venezolanos. Manejo y evaluación de fluidos base agua y aceite, convencionales y de nueva generación, en condiciones ambientalmente amigables.
- Maidelly Durán Técnico Superior Universitario en Procesos Químicos, Instituto Universitario Tecnológico (IUT), Región Capital “Federico Rivero Palacio”, 1999. Actualmente, se encuentra cursando estudios de Ingeniería en Procesos Químicos en la misma casa de estudios. Ingreso a Intevep en 2001 participando en los proyectos de la Gerencia de Normalización y Aseguramiento de la Calidad. Desde 2003 se desempeña en el área de Tratabilidad de Desechos sólidos y restauración de ecosistemas. Se ha desempeñado como Jefe de los Proyectos de implantación SIR-PDVSA y acreditación de laboratorios bajo la 17025. Actualmente, es Jefe del proyecto de asistencia técnica en ambiente e higiene ocupacional de Intevep.
- † Marianela Arias Licenciado en Biología de la Universidad Central de Venezuela. Maestría en Microscopía Electrónica y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente, Venezuela. Doctorado (PhD), en Biología, mención Microbiología, Departamento de Biología Celular y Molecular del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). En 1992 ingresó a Intevep en la Gerencia de Ecología y Ambiente. Ha participado en la adaptación y desarrollo de tecnologías para el tratamiento manejo y disposición de desechos sólidos. Ha liderizado proyectos para el biotratamiento de desechos petrolizados, saneamiento de pasivos ambientales, suelos impactados por crudo y fosas petrolizadas, y calidad ambiental de fluidos de perforación (biodegradabilidad). Actualmente, es Líder de pasivos ambientales de Intevep, y Coordinador técnico adjunto del Comité Técnico Corporativo para el Manejo y Recuperación de Áreas Afectadas por Pasivos Ambientales.
- Moriel Salcedo Técnico Superior Universitario en Química Industrial egresada del Instituto Universitario de Tecnología Industrial Rodolfo Loero Arismendi en Caracas. Ingresó en PDVSA Intevep en el año 1997 en la Gerencia de Ecología y Ambiente. Participó en el desarrollo del producto Tecnológico BIORIZE™ y de la Tecnología INTEBIOS™. Ganadora del SEFLUCEMPO 2006 y coautora de 34 Informes Técnicos, Actualmente, se

desempeña en la Pericia de Tratabilidad de Desechos Sólidos y Recuperación de Ecosistemas en asistencia técnica en proyectos de Impacto Ambiental y en el proyecto de Investigación y desarrollo Combustión en Sitio a Larga Distancia.

- Nelson Silva Ingeniero Químico, Universidad Central de Venezuela, 1978. Especialista en Ingeniería de Procesos ULA, 1994. Supervisor de diferentes proyectos dentro de la industria petrolera nacional relacionados con el ambiente específicamente calidad y tratabilidad de efluentes en la gerencia de Ambiente de Intevep, 2005-2008. Jefe de Proyectos en el área de Fertilizantes de la gerencia de Refinación y Petroquímica de PDVSA Intevep, 1991-1996.
- Pedro P. Colombo Ingeniero Agrónomo, Universidad Central de Venezuela, 1995. Magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Andrés Bello, 2002. Realizó el Componente Docente en la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, 2003. En 1997 ingresó como Investigador en la Pericia de Tratamiento y Disposición de Desechos Sólidos de PDVSA Intevep (Gerencia Ecología y Ambiente). Desde 2007, pertenece a la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional de Intevep. Ha realizado más de 10 cursos de transferencia Tecnológica en los últimos 5 años, sobre biorremediación de suelos impregnados con desechos petrolizados aplicando los Productos Tecnológicos INTEBIOS®, BIORIZE® ENDRILL® y fitorremediación, a nivel nacional e internacional (Ecuador y Cuba). Es custodio de la tecnología INTEBIOS® y del producto BIORIZE®. Ganador de 2 premios de Producción Editorial, Mención Autor Joven, durante los años 2007 y 2008 en PDVSA Intevep. Ha participado en más de 12 congresos nacionales e internacionales. Ha sido tutor y asesor de 8 tesis a nivel de maestría (UCV), pregrado (USB) y secundaria, en el área de biología, ingeniería agronómica y química. Posee más de 42 publicaciones.
- Rossysbell Fonseca Licenciada en química, Universidad de Carabobo, 2007. Realizó prácticas profesionales en al 2006 en el Complejo Petroquímico Morón evaluando la factibilidad química del manejo de roca fosfática vía líquida e identificando las incrustaciones presentes en la planta de ácido fosfórico del complejo, a través de espectroscopia infrarroja, en el 2007 realizó su tesis de grado en PDVSA Intevep.
- Víctor Londoño Técnico Superior en Química, Instituto Universitario de tecnología Región Capital Federico Rivero Palacios (IUT-RC), 1995. Licenciado en Química, Universidad Central de Venezuela (UCV), 2000. Ingresó a PDVSA Intevep en 2005 en la Gerencia de Ecología y Ambiente, ha participado en proyectos de investigación y asistencia técnica en el área tratamiento de efluentes en refinerías y aguas de producción. Actualmente, se desempeña como profesional en formación en la Pericia de Efluentes de la Gerencia Funcional de Ambiente e Higiene Ocupacional.
- Víctor Carrillo Licenciado en Biología Mención Ecología, Universidad Central de Venezuela, 2001. Actualmente, cursa especialización de Gestión Ambiental de la industria petrolera, Universidad Simón Bolívar, Caracas. En el año 2003 ingresó a la Pericia de Tratamiento y Disposición de Desechos Sólidos de PDVSA Intevep (Gerencia Técnica de Construcción y Mantenimiento de Pozos) donde se desempeñó como especialista en procesos de gestión integral de desechos sólidos generados por la industria petrolera. Ha participado en diferentes proyectos en el área de exploración y producción asociados a las asistencia técnica especializa, así como también en proyectos de investigación y desarrollo en el área de biorremediación de suelos contaminados, solidificación y estabilización de cortes de perforación base aceite y en la restauración ecológica de morichales impactados. Ganador de 2 premios de creatividad 2006 y 2008 en PDVSA Intevep. Desde el 2007 hasta la actualidad, forma parte de la Gerencia Funcional de Ambiente e Higiene Ocupacional, donde se ha desempeñado como custodio principal del producto tecnológico ENDRILL®.



Publicación de PDVSA Intevep
Centro de Investigación y Apoyo Tecnológico
Filial de Petróleos de Venezuela S.A.