



EL MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN - MINCIENCIAS

Invitación a presentar propuestas para para la ejecución de un proyecto de I+D en recobro mejorado de hidrocarburos pesados y extrapesados que promueva el fortalecimiento de capacidades en esta temática para el departamento del Huila

ANEXO 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. ACTIVIDADES TÉCNICAS Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se indican los fundamentos técnicos a considerar en las propuestas presentadas de la invitación:

Los crudos pesados y extrapesados se caracterizan por su alta densidad y viscosidad, presentando gravedades API inferior a 20 y 10, respectivamente.). La viscosidad de estos crudos oscila entre 20 cP y más de 1×10^6 cP, lo que dificulta su extracción desde el yacimiento y el transporte a través de tuberías, adicionalmente, estos tienen un mayor contenido de asfáltenos y resinas que los crudos livianos.

En Colombia los crudos pesados y extrapesados representan más del 45% de la producción actual de petróleo, y las tendencias apuntan hacia un 60% en los próximos años, además, según reportes de expertos, Colombia cuenta con gran cantidad de recursos de crudos pesados en bloques aislados, que hacen difícil su extracción por los métodos de recobro primario; por lo que, los desarrollos de nuevas tecnologías incrementarían ostensiblemente las reservas del país. Sin embargo, las propiedades inherentes de los crudos pesados, caracterizadas por una alta viscosidad y poca movilidad, junto con la compleja configuración de estos yacimientos, conviertan los estudios de explotación de estos crudos en todo un desafío.

Las diferentes metodologías convencionales de recuperación (térmicas, inyección de gas y químicos) en los yacimientos de petróleo en todo el mundo, aún presentan bajas eficiencias de barrido y desplazamiento, alta inversión de capital, daños potenciales a la formación y huellas ambientales negativas. Las técnicas de recobro mejorado en crudos pesados y extra pesado, han mostrado diferentes grados de éxito, sin embargo, ninguna innovación que cambie los resultados de manera definitiva se ha podido establecer plenamente, siendo la aplicación de nanotecnología, la que al menos desde el punto de vista investigativo, mayor prospectiva ha generado.

A pesar de todo lo anterior, se ha identificado que el mecanismo clave para una recuperación efectiva del crudo pesado, es la reducción de su viscosidad y el mejoramiento de su movilidad, modificación de la humectabilidad, disminución de los efectos capilares y de tensión superficial, mejoramiento de la conductividad térmica del sistema roca-fluido e incluso el upgrading in situ del crudo; por lo tanto, la correlación temperatura-viscosidad es la clave fundamental para el desarrollo de metodologías de recuperación de este tipo de petróleos. La temperatura puede ser suministrada por diferentes fuentes de energía externas o internas para calentar el crudo en el yacimiento, mejorando su flujo hacia la cara del pozo productor, siendo los principales métodos térmicos, el recobro asistido con vapor (drenaje asistido por gravedad y estimulación cíclica) y combustión in situ. Sin



embargo, estos métodos, aunque son técnicamente exitosos, aún presentan retos económicos y ambientales relacionados al alto costo del suministro de calor junto con la emisión excesiva de dióxido de carbono (CO₂) y el costoso pos-tratamiento y mantenimiento.

Se desea tener un planteamiento que aproveche la combinación de las ventajas de la recuperación térmica y la catálisis in situ, la integración de la nanotecnología con la estimulación térmica del petróleo pesado, pueden proporcionar una novedosa forma de obtener mayor eficiencia de recuperación y mejor factor de recobro de los yacimientos de crudos pesados.

Cuando se utiliza la inducción magnética de mediana y baja frecuencia, la energía es absorbida directamente por el material ferromagnético sometido a la radiación (agregado y preexistente en el yacimiento); esta, se transfiere al entorno del sistema a través de distintos mecanismos de transferencia de calor, lo que mejora la velocidad de calentamiento y el control térmico del proceso; por lo que, se reducen los gradientes térmicos. Adicionalmente, la presencia de grandes cantidades de agua y vapor comunes en este tipo de yacimientos, favorece que se potencialice un calentamiento controlado; lo cual, en combinación con la actividad catalítica de las nanopartículas actuarán en favor del proceso de recobro, cantidad y calidad de los productos del proceso.

Definiciones de la temática de la invitación:

1. Pirólisis

Proceso mediante el cual se somete un crudo pesado a presión y temperaturas altas, generando rompimiento de las cadenas de alto peso molecular, en cadenas cortas de mediano y bajo peso molecular, suprimiendo la formación de naftas.

2. Estimulación térmica

Proceso por el cual intencionalmente se introduce calor dentro del yacimiento con el propósito de reducir la alta viscosidad del crudo y aumentar su movilidad desde el yacimiento hacia la cara de los pozos productores.

3. Nanotecnología

Consiste en utilizar materiales de escala manométrica con el fin de potenciar los efectos térmicos y de presión en la recuperación mejorada de crudos pesados, debido a sus beneficios de adaptabilidad a temperaturas, presiones y entornos químicos desconocidos.

4. Crudo pesado:

Son aquellos crudos que tienen gravedad API menores de 20°, los cuales en el medio poroso presentan dificultades de movilidad afectando su producción.



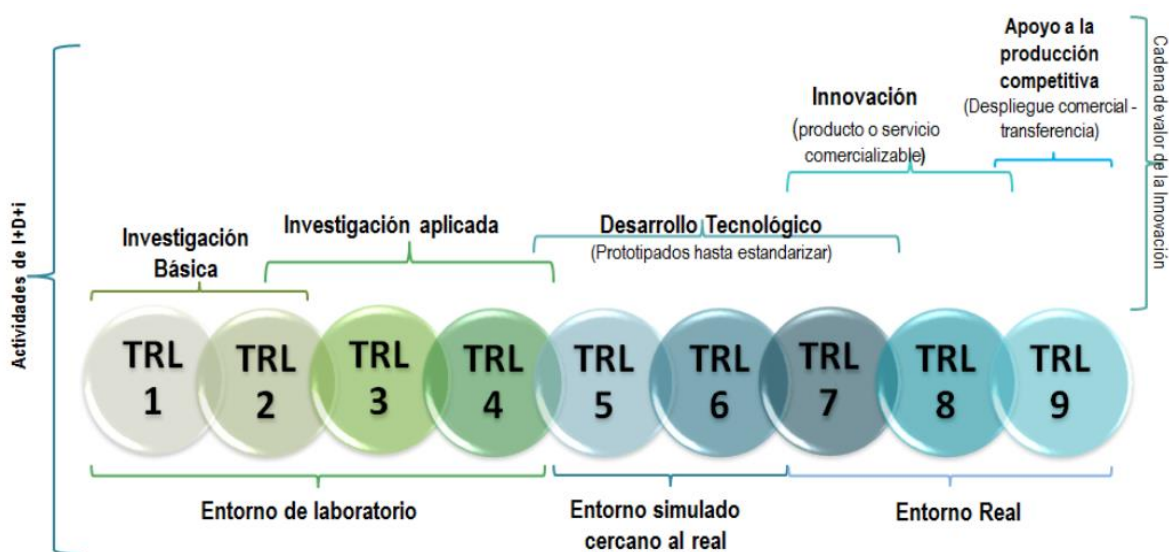
5. Inducción Magnética:

Fenómeno que origina la producción de una fuerza motriz en un medio poroso sometido a un campo magnético variable.

NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA – TRL

Teniendo en cuenta que la convocatoria tiene un componente alto de transferencia de tecnología, es conveniente establecer el grado de madurez tecnológica de las distintas alternativas que se presentarán, identificación que ayudará también a definir la ruta a seguir para concretar las innovaciones. En tal sentido, resulta de utilidad hacer uso del concepto de las TRL, reconocidas en inglés como Technology Readiness Level, que tuvieron su origen en la NASA a mediados de los años 70, y posteriormente se difundieron para ser aplicadas a diferentes sectores tecnológicos.

En la siguiente grafica tomada del documento de Política de Actores del SNCTI se presenta un esfuerzo por relacionar el alcance de las diferentes etapas de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación I+D+i con los diferentes niveles de madurez de la tecnología o TRL. En el grafico las actividades que son consideradas como complementarias deben entenderse que tienen un mayor énfasis en el TRL que corresponde a la mayor intensidad de color de la actividad.



Relación de los TRL y las etapas de I+D+i¹

A continuación, se presentan las características de cada uno de los niveles. Se requiere que los proponentes

¹ Tipología de proyectos calificados como de carácter Científico, Tecnológico e Innovación. Consejo Nacional de Beneficios Tributarios, COLCIENCIAS. Versión 5. https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/documento_de_tipologias_-_version_5.pdf



identifiquen con claridad el nivel TRL que se pretende alcanzar con el desarrollo del proyecto, el cual debe ser coherente con las trayectorias previas. A saber:

TRL 1: Principios básicos observados y reportados. Este corresponde al nivel más bajo en cuanto al nivel de maduración tecnológica. En este nivel comienza la investigación científica básica y se da inicio a la transición a la investigación aplicada. Las herramientas descriptivas pueden ser formulaciones matemáticas o algoritmos. En esta fase de desarrollo no existe todavía ningún grado de aplicación comercial.

TRL 2: Concepto de tecnología y/o aplicación formulada – Investigación aplicada. La teoría y principios científicos están enfocados en áreas específicas de aplicación para definir el concepto. En esta fase se ha formulado el concepto de la tecnología, su aplicación y su puesta en práctica. Se perfila el plan de desarrollo. Estudios y pequeños experimentos proporcionan información valiosa para las posteriores pruebas de conceptos de la tecnología. Se pueden empezar a formular eventuales aplicaciones de las tecnologías y herramienta analíticas para la simulación o análisis. Sin embargo, todavía no se cuenta con pruebas que validen dicha aplicación. El tema de propiedad intelectual cobra gran interés.

TRL 3: Prueba de concepto de las características analíticas y experimentales. Esta fase incluye la realización de actividades de investigación y desarrollo (I+D) dentro de las cuales se incluye la realización de pruebas analíticas, pruebas de concepto o a escala en laboratorio, orientadas a demostrar la factibilidad técnica de los conceptos tecnológicos. Se incluyen pruebas de laboratorio para medir parámetros y comparación con predicciones analíticas de subsistemas críticos. El concepto y los procesos han sido demostrados a escala de laboratorio. Esta fase implica la validación de los componentes de una tecnología específica, aunque esto no derive en la integración de todos los componentes en un sistema completo.

TRL 4: Validación de componentes/subsistemas en pruebas de laboratorio. En esta fase, los componentes que integran determinada tecnología han sido identificados y se busca establecer si dichos componentes individuales cuentan con las capacidades para actuar de manera integrada, funcionando conjuntamente en un sistema. Una unidad de prototipo ha sido construida en el laboratorio y en un entorno controlado. Las operaciones proporcionan datos para identificar el potencial de ampliación dado que se ha validado de manera preliminar el ciclo de vida y los modelos de evaluación económica iniciales. (diseño de producto).

TRL 5: Validación de los sistemas, subsistemas o componentes en un entorno relevante. Los elementos básicos de determinada tecnología son integrados de manera que la configuración final es similar a su aplicación final, es decir que está listo para ser usado en la simulación de un entorno real, por lo que se mejoran los modelos tanto técnicos como económicos del diseño inicial, se ha identificado adicionalmente aspectos de seguridad, limitaciones ambientales y/o regulatorios entre otros. Sin embargo, la operatividad del sistema y tecnologías ocurre todavía a nivel de laboratorio. La principal diferencia entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final.

TRL 6: Validación de sistema, subsistema, modelo o prototipo en condiciones cercanas a las reales. En esta fase es posible contar con prototipos piloto capaces de desarrollar todas las funciones necesarias dentro de un sistema determinado, habiendo superado pruebas de factibilidad en condiciones de operación o



funcionamiento real. Es posible que los componentes y los procesos se hayan ampliado para demostrar su potencial industrial en sistemas reales. La documentación disponible puede ser limitada, sin embargo, se puede iniciar la documentación con el prototipo que se ha probado en condiciones muy cercanas a las que se espera vaya a funcionar, se han identificado y modelado el sistema a escala comercial completa, perfeccionando la evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica. El prototipo debe ser capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo en condiciones muy cercanas a las que se espera vaya a funcionar es la demostración de pruebas “Beta”.

TRL 7: Demostración de sistema o prototipo validados en el entorno operativo real. El sistema se encuentra o está próximo a operar en escala pre-comercial. Es posible llevar a cabo la fase de identificación de aspectos relacionados con la fabricación, la evaluación del ciclo de vida, y la evaluación económica de las tecnologías, contando con la mayor parte de funciones disponibles para pruebas. La documentación disponible puede ser limitada, sin embargo, se cuenta con la demostración de que la tecnología funciona y opera a escala pre-comercial, se han perfeccionado la evaluación del ciclo de vida y la evolución económica. En esta etapa se realiza la primera corrida piloto y las pruebas finales reales.

TRL 8: Sistema completo y calificado a través de pruebas y demostraciones en ambientes operacionales. En esta fase, los sistemas están integrados, las tecnologías han sido probadas en su forma final y bajo condiciones supuestas, habiendo alcanzado en muchos casos, el final del desarrollo del sistema. Todas las cuestiones operativas y de fabricación han sido resueltas, la mayoría de la documentación disponible está completa ya que se cuenta con manuales para el uso y mantenimiento del producto. La tecnología ha sido probada en su forma final y bajo condiciones supuestas, por lo que se ha demostrado su potencial a nivel comercial. En muchos casos significa el final del desarrollo del sistema.

TRL 9: Sistema probado y operando con éxito en un entorno real. Tecnología/sistema en su fase final y operable en un sin número de condiciones operativa, está probada y disponible para su comercialización y/o producción disponible para la sociedad. Entrega de producto o tecnología para producción en serie y comercialización. Las etapas básicas para el desarrollo de un proyecto de EOR son: evaluación técnica, diseño, pruebas (simulación en laboratorio), piloto (campo), seguimiento y masificación.

NOTA: El objeto de esta invitación está enfocado al desarrollo de proyectos que partan como mínimo de TRL nivel 3 y al finalizar el proyecto se encuentren en un TRL superior.