



*Fundació Institut Català d'Investigació Química*

**PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA CONTRATACIÓN, POR EL PROCEDIMIENTO ABIERTO, SUJETA A REGULACIÓN ARMONIZADA, DEL DISEÑO Y PROYECTO DE FABRICACIÓN DE CUATRO UNIDADES MÓVILES DE ENSAYO DE TECNOLOGÍAS DE DESCARBONIZACIÓN PARA EL INSTITUT CATALÀ D'INVESTIGACIÓ QUÍMICA**

**EXP: 11-2024**

# PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA CONTRATACIÓN, POR EL PROCEDIMIENTO ABIERTO, SUJETA A REGULACIÓN ARMONIZADA, DEL DISEÑO Y PROYECTO DE FABRICACIÓN DE CUATRO UNIDADES MÓVILES DE ENSAYO DE TECNOLOGÍAS DE DESCARBONIZACIÓN PARA EL INSTITUT CATALÀ D'INVESTIGACIÓ QUÍMICA

## 1. Objeto de contrato

La empresa licitadora que no cumpla con los requerimientos descritos en el presente apartado, será excluida del proceso.

El objeto principal del presente contrato consistirá en el diseño y proyecto de fabricación de cuatro unidades móviles de ensayo de tecnologías de descarbonización destinadas a la evaluación de diferentes tecnologías innovadoras en la captura y uso de CO<sub>2</sub> para la industria catalana intensiva en consumo de energía y difícil abatimiento de CO<sub>2</sub>: sector siderúrgico, sector cementero, sector residuos y sector petroquímico.

El uso de las citadas cuatro unidades de ensayo tendrá como objetivo avanzar en la captura de CO<sub>2</sub> desde TRLs 4/5 a TRLs 6/7 de una manera viable económica y socialmente aceptada, generando avances científico-tecnológicos y sinergias entre diferentes sectores industriales y en el uso de CO<sub>2</sub>.

El objeto de contrato de la presente licitación forma parte de un proyecto que tiene por objetivo diseñar y desplegar Instalaciones de Experimentación y Testeo ( Testing and Experimenting Facilities-TEFs ) mediante la cooperación público-privada que actúen como lugares de referencia especializados en diferentes tecnologías y en los que se pueda probar y experimentar a escala pre-industrial soluciones y configuraciones que contribuyan a la descarbonización de los procesos industriales. Estas instalaciones serán unidades de ensayo móviles donde los desarrolladores de tecnología y las industrias podrán probar los últimos avances en entornos pre-industriales. Esto incluye soporte para la integración, prueba y experimentación completas que permitan resolver problemas y mejorar soluciones en un sector de aplicación determinado, incluidas la validación y la demostración.

El proyecto contempla un escenario de continuidad, más allá de este impulso inicial, que afiance la cooperación público-privada a medio-largo plazo para desarrollar los avances necesarios.

En este sentido, las empresas licitadoras serán responsables, adicionalmente al diseño y planificación, de la entrega de los procedimientos que correspondan para su legalización y de la memoria técnica de la instalación de cada una de las 4 unidades de ensayo móviles que incluya también estos aspectos. Asimismo, serán responsables, en su caso, del diseño y seguimiento de las potenciales adecuaciones de la instalación por imposibilidad de funcionamiento o por funcionamiento deficiente debido a un diseño inadecuado. El período de garantía será alcanzado después de 4 meses de funcionamiento continuado sin incidencias por diseño inadecuado o deficiente.

Los ejes básicos que debe contener el diseño y planificación de la fabricación de las 4 unidades de ensayo móviles, deben incluir el estudio de viabilidad, diseño conceptual, ingeniería básica y de

detalle y proyecto de fabricación para tres unidades de ensayo de captura de CO<sub>2</sub> y una unidad de ensayo de uso de CO<sub>2</sub>:

1. Estudio de viabilidad: interacción sectorial para preparar cada una de las 4 unidades de ensayo en la industria catalana intensiva en el consumo de energía: sector siderúrgico, sector cementero, sector residuos y sector petroquímico.
2. Diseño conceptual: desarrollo de un diseño para cada unidad móvil, incluyendo la tecnología de captura de CO<sub>2</sub> y uso requeridos, así como la determinación de un rango en las capacidades de captura y los flujos de proceso. Las unidades de ensayo móviles serán modulares, de instalación temporal y permitirán el ensayo de nuevos materiales avanzados que pueden reducir los costes de captura y uso de CO<sub>2</sub> y energía asociados con el proceso.
3. Ingeniería básica: elaboración de planes y especificaciones detalladas basadas en el diseño conceptual, incluyendo diseños y simulaciones de proceso, diagramas de flujo, planos, entre otros.
4. Asesoramiento en el aprovisionamiento de equipos y materiales: asesoramiento al órgano de contratación en la adquisición de los equipos, materiales y suministros según las especificaciones elaboradas en la fase anterior y necesarios para la fabricación de las cuatro unidades de ensayo móviles, asegurando la calidad y cumplimiento de los requisitos técnicos.
5. Ingeniería de detalle: desarrollo de los detalles técnicos y constructivos necesarios para la implementación del proyecto, incluyendo cálculos estructurales, diseño de tuberías e instrumentación, planos constructivos, entre otros.
6. Diseño y Fases de Fabricación: elaboración del diseño y del proyecto de fabricación por fases de las cuatro unidades de ensayo, estableciendo el presupuesto de ejecución, tanto a nivel temporal como monetario. En su diseño, las 4 unidades deben tener versatilidad para poder incorporar de forma operativa mejoras de proceso o/y adecuación a los diferentes ensayos.

Las actividades que tendrá que asumir la empresa licitadora son las siguientes:

- Diseño de cuatro unidades móviles de ensayo de tecnologías de descarbonización definidas en los presentes PPT incluyendo la ingeniería básica y de detalle necesarias para su futura fabricación.
- Definición de los materiales y componentes necesarios para cada unidad de ensayo móvil.
- Procedimiento de legalización y puesta en marcha y paro. Debe incluir el test de garantías. (No superar el test de garantías implicaría la pérdida de la garantía definitiva depositada por la empresa adjudicataria).
- Manual de mantenimiento ordinario y extraordinario de la instalación de cada una de las 4 unidades móviles de ensayo y lista de repuestos mínimos asociados para garantizar un funcionamiento continuado.
- Estimación del coste económico para la fabricación de cada unidad de ensayo móvil.
- Estimación del coste de las tareas de dirección de la fabricación.

- Descripción y estimación del coste de las operaciones que aseguren la movilidad de las unidades de ensayo.
- Planificación del proceso de fabricación de cada una de las cuatro unidades de ensayo móviles: planificación temporal, fases de actuación necesarias y acciones incluidas en cada fase.

Las cuatro unidades de ensayo móviles a diseñar son las siguientes:

- I. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente sólido.
- II. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por absorción mediante un sorbente líquido.
- III. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por carbonatación.
- IV. Unidad de ensayo móvil dedicada al uso de CO<sub>2</sub> por conversión a productos de valor añadido.

La fabricación, dirección de fabricación, puesta en marcha, uso y mantenimiento de las unidades de ensayo, así como la ejecución de proyectos empresariales asociados al uso de estas unidades de ensayo móviles **no son objeto del presente contrato.**

## **2. Características técnicas de las cuatro unidades de ensayo móviles a diseñar**

En el presente apartado se describen las características técnicas que tendrán que tener las unidades de ensayo diseñadas por la empresa licitadora.

Con el objetivo de facilitar la implementación práctica de soluciones circulares adaptadas a la realidad de las empresas catalanas intensivas en el consumo de energía, las cuatro unidades de ensayo tendrán que ser diferentes, modulares, móviles y fácilmente transportables para evaluar la viabilidad técnica y económica de soluciones pre-industriales que contribuyan a la descarbonización y el uso de CO<sub>2</sub>, de forma coste-eficiente, con un enfoque versátil para poder tratar diferentes gases de combustión (con porcentajes bajos de CO<sub>2</sub>, provenientes normalmente de procesos de post-combustión, aprox. 10% y porcentajes altos de oxi-combustión, aprox. a valorar se puedan demostrar en condiciones de operación distintas y representativas en cada sector.

Las cuatro unidades de ensayo deben estar basadas en tecnologías aplicables a cualquiera de las industrias catalanas intensivas en energía y emisiones de CO<sub>2</sub>. Tres de las unidades de ensayo deben ser destinadas a la captura de CO<sub>2</sub> y la cuarta al uso de CO<sub>2</sub>.

Las cuatro unidades de ensayo móviles a diseñar son las siguientes:

- I. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente sólido.
- II. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por absorción mediante un sorbente líquido.

- III. Unidad de ensayo móvil dedicada a la captura de CO<sub>2</sub> por carbonatación.
- IV. Unidad de ensayo móvil dedicada al uso de CO<sub>2</sub> por conversión del mismo a productos de valor añadido.

**Las cuatro unidades de ensayo deben seguir los requerimientos técnicos generales descritos a continuación:**

- Deben ser móviles o con movilidad reducida en el caso del uso de CO<sub>2</sub>. Es necesario poder garantizar el cambio de emplazamiento de las unidades de ensayo, en su caso, para permitir su uso en diferentes ubicaciones industriales. El diseño debe permitir el ensamblaje, desensamblaje y transporte por Cataluña de manera eficiente y sin perjudicar la usabilidad de la unidad de ensayo.
- Deben poder conectarse a emisiones de gas con contenido variable de CO<sub>2</sub> de instalaciones industriales del sector siderúrgico, sector cementero, sector de tratamiento de residuos y sector petroquímico.
- Deben ser compatibles con las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> existentes en las instalaciones industriales actuales.
- Cada unidad de ensayo móvil debe ser capaz de capturar CO<sub>2</sub> de forma efectiva del flujo de gas de escape, alcanzando una eficiencia mínima deseada.
- Cada unidad de ensayo móvil debe tener un consumo de energía aceptable por el proceso de captura, de modo que el coste energético mejore el estado del arte actual.
- El proceso que tenga lugar en las unidades de ensayo diseñadas será escalable a una capacidad comercial viable si los resultados son prometedores.
- Los componentes de cada unidad de ensayo móvil deben ser duraderos y fáciles de mantener para garantizar la operación continua y minimizar los costes de mantenimiento.
- Todos los componentes y materiales con los que se tendrán que fabricar las unidades de ensayo móviles siguiendo el diseño propuesto, deberán disponer de Declaración de Conformidad del fabricante y marcado CE en base a las normas de diseño, seguridad o fabricación que le sean de aplicación a la Unión Europea.
- El diseño y la fabricación propuestos para las unidades de ensayo objeto de contrato, deben conducir a tener unas unidades de ensayo móviles con certificación CE de todo el conjunto (de cada unidad de ensayo), previa evaluación por un Organismo de Control Autorizado.
- Cada unidad de ensayo debe diseñarse y fabricarse de tal forma que sea susceptible de obtener una licencia de instalación móvil.
- Las unidades de ensayo móviles deben contar con sistemas de monitorización y control del proceso que tiene lugar para garantizar que el proceso esté funcionando correctamente y para permitir ajustes según sea necesario.
- El diseño de cada unidad de ensayo móvil debe prever la posibilidad de una operación remota, sin necesidad de personal permanente en sus emplazamientos.

- El cambio de material activo en cada una de las unidades de ensayo móvil (catalizador, sorbente ...) debe poder hacerse de manera fácil y práctica.
- Los componentes y materiales que formen parte de las unidades de ensayo deben ser aptos para trabajar en ambiente industrial.
- Los componentes y materiales que formen parte de las unidades de ensayo deben tener una garantía mínima de dos años y debe haber fácil disponibilidad de repuestos en caso de sustitución necesaria.
- Cada unidad de ensayo debe ir acompañada de un manual de mantenimiento y de una lista de repuestos de puesta en marcha y de repuestos ordinarios mínimos para garantizar un funcionamiento continuado.
- Debe ser posible integrar cada unidad de ensayo con sistemas de almacenamiento de CO<sub>2</sub> o de utilización de CO<sub>2</sub> capturado, según sea necesario para cada caso específico.
- La instalación de cualquiera de las cuatro unidades de ensayo en las empresas donde tendrán que ubicarse temporalmente, no tendrá que suponer una modificación sustancial de la actividad industrial de la empresa donde se instalará temporalmente la unidad de ensayo móvil.
- Las dimensiones de cada una de las cuatro unidades de ensayo deben ser similares a la de un contenedor DRY 20': largo, 6,06 m; ancho, 2,43 m; alto, 2,59 m. En caso de ser mayores deberían ser desmontables y transportables en contenedores de 20'.
- El presupuesto estimado para adquisiciones de material y equipamiento inventariable y el presupuesto estimado para las labores de construcción y dirección de la construcción del conjunto de las cuatro unidades de ensayo móviles no puede superar 20.600.000,00 €.

**Las características específicas que deben tener las unidades de ensayo móviles dedicadas a captura de CO<sub>2</sub> (I, II y III), son las siguientes:**

		Estado del arte	Avances respecto al estado del arte
Performance en captura de CO <sub>2</sub>	1. Cantidad de captura de CO <sub>2</sub>	La transferencia de la tecnología desde los laboratorios de I+D a la escala adecuada por la unidad de ensayo preindustrial o industrial está limitada por la barrera que representa escalar el proceso de fabricación de los componentes, en este caso los materiales sorbentes , y el acceso a infraestructuras para evaluar el rendimiento de estos materiales en captura de CO <sub>2</sub> a escala de unidad de ensayo móvil.	La unidad de ensayo móvil debe ser capaz de procesar de manera efectiva rangos amplios de flujo de gas de escape, y alcanzar captura CO <sub>2</sub> ≥ 250 kg/día, alcanzando una eficiencia en la reducción de CO <sub>2</sub> en la corriente de salida mínima del 90%.
	2. Selectividad captura CO <sub>2</sub>		La unidad de ensayo móvil debe ser capaz de alcanzar las condiciones óptimas de trabajo para alcanzar y medir la captura selectiva de CO <sub>2</sub> frente al resto de componentes mayoritarios de la corriente

Versatilidad en captura de CO <sub>2</sub>		Los requisitos indispensables de los materiales que se emplearán para la captura de CO <sub>2</sub> habrán sido validados a escala de laboratorio para garantizar	de gas de post-combustión, entre otros, CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> . La concentración de CO <sub>2</sub> respecto a los demás gases debe ser ≥ 90%.
	3. Durabilidad y mantenimiento.	<p>unas capacidades de captura mínimas a escala de laboratorio antes de probarlos a escala de unidad de ensayo, ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de captura ≥ 0,1 g CO<sub>2</sub> /g material.</li> <li>- Selectividad de captura CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ≥ 90%.</li> <li>- Estabilidad con el tiempo operación (96 h, 4 días) ≥ 90%.</li> <li>- Escalabilidad de la producción</li> <li>- Otros parámetros, como la estabilidad química, la estabilidad térmica y la estabilidad mecánica.</li> </ul>	Los componentes de la unidad de ensayo móvil deben ser duraderos y fáciles de mantener para garantizar la operación continuada del sistema, de al menos 2000 y 5000 h. La unidad de ensayo debe contar con sensores y actuadores que permitan una operación lo máximo de automatizada posible minimizando los costes de mantenimiento.
	4. Compatibilidad con la fuente de emisión.	<p>Fuentes de emisión generales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Post-combustión: diluido (5-15%), a presión atmosférica, en T<sup>a</sup> 60-200 °C e impurezas relacionadas con la combustión (entre otras, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>).</li> <li>• Oxidación : concentrado (70%), a presión atmosférica, en T<sup>a</sup> 60-200 °C e impurezas relacionadas con la combustión (entre otras, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>).</li> </ul>	La unidad de ensayo móvil y sus componentes deben ser compatibles (componentes con resistencia térmica y química adecuada) y fácilmente adaptables (por ejemplo, modulares para incluir sistemas de pretratamiento a demanda) en las especificaciones de las fuentes de emisión de CO <sub>2</sub> existentes. En especial, las fuentes de post-combustión que generalmente utilizan las instalaciones industriales. La unidad de ensayo deberá poder trabajar con diversas concentraciones de CO <sub>2</sub> , temperaturas, e impurezas. Estos rangos de concentraciones de trabajo serán siempre acotados a las características de las industrias en las que se tendrán que instalar las unidades de ensayo móviles.
5. Escalabilidad.	La mayoría de diseños de unidades de ensayo móviles son poco flexibles limitando su aplicación a un rango de escaleras muy reducidas, por ejemplo, el	Debe ser posible escalar el proceso llevado a cabo en las unidades de ensayo móviles a una capacidad comercial viable si los resultados son prometedores. El	

		diseño del sistema y los periféricos (bombas, medidores de caudales, intercambiadores de calor y resto de sistemas auxiliares) presentan un rango de operatividad muy estrecho.	objetivo es tener un diseño flexible y con periféricos adaptables o fácilmente intercambiables para poder alcanzar un gran rango de operatividad, por ejemplo, entre 250 y 1000 kg/día de CO <sub>2</sub> capturados con pequeños cambios del sistema o sus periféricos.
	6. Integración con sistemas de almacenamiento o utilización.	En la mayoría de los sistemas de captura de CO <sub>2</sub> , el CO <sub>2</sub> es almacenado temporalmente a presión o licuado en cilindros o depósitos para su posterior transporte a un sitio de almacenamiento geológico autorizado.	La unidad de ensayo móvil contemplará los periféricos para almacenar el CO <sub>2</sub> temporalmente a presión o licuado en cilindros o depósitos.
Coste, energía, sostenibilidad, seguridad y recogida datos	7. Eficiencia energética:	En la mayoría de sistemas de captura de CO <sub>2</sub> , existe un gran consumo energético en las etapas de captura de CO <sub>2</sub> (bajar temperatura para el proceso exotérmico), desorción de CO <sub>2</sub> (subir temperatura para el proceso endotérmico), y almacenamiento temporal del CO <sub>2</sub> (bajar temperatura o comprimir a 30-60 bar).	La unidad de ensayo móvil debe demostrar una reducción del consumo energético significativo respecto al proceso estado del arte, mediante la implantación de innovaciones en el diseño que aprovechen el calor generado en procesos exotérmicos.
	8. Competitividad a nivel de coste.	Actualmente, el coste de captura de CO <sub>2</sub> con sistemas de soluciones acuosas de aminas es alrededor de 50 €/ton CO <sub>2</sub> y con sistemas con <i>swing sorption</i> , el coste es superior, entre 100-150 €/ton CO <sub>2</sub> . Actualmente, las tasas de emisiones de CO <sub>2</sub> en España y en la zona Euro están entre 70-100 €/ton CO <sub>2</sub> .	La unidad de ensayo móvil objeto de contrato debe permitir realizar análisis tecnoeconómicos exhaustivos para demostrar la viabilidad de la implementación industrial de la tecnología de captura de CO <sub>2</sub> , con el objetivo de lograr una inversión competitiva a corto y medio plazo que mejore las soluciones actuales.
	9. Seguridad:		En las fases de ingeniería básica y de detalle, debe incluirse un análisis exhaustivo de los riesgos de proceso (HAZOP). Una vez identificados los riesgos, el diseño deberá incluir los dispositivos de control e instrumentos que se hayan identificado como necesarios para operar a las unidades de ensayo

			móvil con garantías de protección de las personas usuarias y del medio ambiente. Es necesario también incluir una propuesta de procedimientos de operación seguros por operación tanto a escala de operación de la unidad de ensayo en laboratorio como en ambiente industrial y asegurar el cumplimiento de todas las normativas de seguridad pertinentes para garantizar la protección del personal y del medio ambiente.
	10. Monitorización y control.		La unidad de ensayo móvil debe disponer de sistemas de monitorización y control para asegurar que el proceso funcione de forma autónoma, con controlador lógico programable (PLC) amigable y con un número adecuado de sensores para permitir ajustes según el rendimiento medido en cada momento durante los períodos de funcionamiento entre 2000 y 5000 h. Los resultados obtenidos serán cruciales para poder introducir las tecnologías en el mercado.

Las características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO<sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente sólido (I), son las siguientes:

Introducción: El uso de absorbentes sólidos para la captura de CO<sub>2</sub>, también conocido como captura de carbono en estado sólido, tiene diferentes retos de desarrollo que incluyen la optimización del rendimiento del absorbente, la mejora de la eficiencia energética de las etapas de captura y regeneración, la reducción de costes y la garantía de la compatibilidad con los procesos industriales.

	Características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO <sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente sólido (I).
Sector industrial de aplicación.	Esta unidad de ensayo móvil (I), debe poder instalarse en industrias del sector siderúrgico, cementero y de residuos. Eventualmente también deberá poder instalarse en la industria petroquímica.

Materiales sorbentes .	Los adsorbentes sólidos deben ser MOFs , membranas, zeolitas u otros, y combinaciones de estos materiales. Estos materiales tendrán que haber sido evaluados a escala de laboratorio.
Cantidad de CO <sub>2</sub> capturado .	La unidad de ensayo móvil debe poder capturar 250 kg de CO <sub>2</sub> al día.
Concentración de CO <sub>2</sub> en la corriente inicial.	La emisión de gas de la que se debe captar el CO <sub>2</sub> tendrá un % bajo de CO <sub>2</sub> (5-15 %)

Las características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO<sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente líquido (II), son las siguientes:

Introducción: El uso de absorbentes líquidos para la captura de CO<sub>2</sub>, también conocido como captura de carbono a base de disolventes, necesita explorar la estabilidad del disolvente, los requisitos de energía para la regeneración, las pérdidas de disolventes y las consideraciones de costes de sistemas híbridos así como la combinación con otras tecnologías de captura de carbono, tales como la separación de membrana o la separación criogénica, para mejorar el rendimiento y eficiencia generales del sistema.

	Características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO <sub>2</sub> por adsorción mediante un sorbente líquido (II).
Sector industrial de aplicación.	Esta unidad de ensayo móvil (II), debe poder instalarse en industrias del sector cementero y de residuos. Eventualmente también deberá poder instalarse en la industria petroquímica.
Materiales sorbentes .	Los absorbentes líquidos deben ser aminas, líquidos iónicos u otros. Estos materiales tendrán que haber sido evaluados a escala de laboratorio.
Cantidad de CO <sub>2</sub> capturado .	La unidad de ensayo móvil debe poder capturar unos 250 kg de CO <sub>2</sub> al día.
Concentración de CO <sub>2</sub> en la corriente inicial.	La emisión de gas de la que debe captarse el CO <sub>2</sub> tendrá un % alto de CO <sub>2</sub> (70%).

Las características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO<sub>2</sub> por carbonatación (III), son las siguientes:

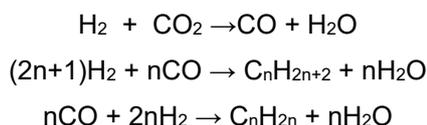
Introducción: El proceso de captura y uso de CO<sub>2</sub> mediante carbonatación/mineralización implica la transformación del CO<sub>2</sub> capturado en minerales carbonatados estables. Este enfoque tiene como objetivo almacenar CO<sub>2</sub> de forma permanente y al mismo tiempo producir materiales valiosos que pueden encontrar diversas aplicaciones. Los retos a abordar son diversos como la disponibilidad de materiales alcalinos adecuados, la cinética de reacción y la escalabilidad del proceso y las aplicaciones de los productos finales así como las configuraciones de procesos y estrategias de integración energética para optimizar la eficiencia global y la viabilidad económica del proceso de carbonatación/mineralización.

	Características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a captura de CO <sub>2</sub> por carbonatación (III).
Sector industrial de aplicación.	Esta unidad de ensayo móvil (III), debe poder instalarse en industrias del sector siderúrgico, cementero y de residuos.
Cantidad de CO <sub>2</sub> capturado .	La unidad de ensayo móvil debe poder capturar de 250 kg de CO <sub>2</sub> al día.
Concentración de CO <sub>2</sub> en la corriente inicial.	La emisión de gas de la que se debe captar el CO <sub>2</sub> tendrá un % bajo de CO <sub>2</sub> (5-15%).

**Las características específicas que debe tener la unidad de ensayo móvil dedicada a utilización de CO<sub>2</sub> (IV) son las siguientes:**

Introducción: Esta unidad de ensayo móvil debe estar enfocada a la experimentación y testeo de uso de corrientes industriales de CO<sub>2</sub> para la síntesis de hidrocarburos mediante la integración de RWGS ( Reverse Water Gas Shift ) y FT (Fischer- Tropsch ). La reacción Reverse Water Gas Shift (RWGS) implica la conversión de CO<sub>2</sub> e hidrógeno (H<sub>2</sub>) para producir monóxido de carbono (CO) y agua (H<sub>2</sub>O) mientras que el proceso síntesis Fischer- Tropsch (FT) permite la conversión del gas de síntesis (una mezcla de CO y H<sub>2</sub>) en hidrocarburos, tales como combustibles líquidos o productos químicos, abriendo un amplio abanico de posibilidades en la cadena de valor. La integración de RWGS con FT pretende combinar ambos procesos para permitir la conversión directa de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> en hidrocarburos. Mediante el uso de CO<sub>2</sub> como materia prima, este enfoque tiene el potencial de contribuir al reciclaje de dióxido de carbono ( upcycling ) y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las reacciones implicadas en esta unidad móvil (IV), serían las siguientes:



A pesar de que estas tecnologías son conocidas, existen márgenes de mejora muy importantes y su escalado industrial y viabilidad económica está por desarrollar. Los esfuerzos de investigación y desarrollo se centrarán en la implantación de catalizadores eficientes y selectivos, optimización de las condiciones de reacción y explorar las mejores configuraciones del reactor para el proceso integrado RWGSFT así como en las evaluaciones técnico-económicas para avanzar en ésta tecnología y explorar su potencial para la aplicación industrial a gran escala.

Esta unidad de ensayo móvil debe poder instalarse en industrias del sector petroquímico. Eventualmente deben poder instalarse también en industrias del sector residuos, cementero y siderúrgico.

		<b>Estado del arte</b>	<b>Avances respecto al estado del arte</b>																																							
<b>Rendimiento de la unidad de conversión de CO<sub>2</sub></b>	<b>1. Cantidad de conversión CO<sub>2</sub>.</b>	La transferencia de la tecnología desde los laboratorios de I+D a la escala industrial está limitada por la barrera que representa el escalado de un proceso de fabricación de los componentes, en este caso el material catalítico,	La unidad de ensayo debe ser capaz de procesar eficazmente amplios rangos de flujos de gas de escape, y de alcanzar un procesamiento de CO <sub>2</sub> ≥ 0,5 kg/hora, con un rendimiento (conversión por reactor- pass x selectividad ) mínimo en la conversión de CO <sub>2</sub> a productos Fischer- Tropsch del 50%.																																							
	<b>2. Selectividad conversión CO<sub>2</sub>.</b>	y el acceso a infraestructuras para evaluar el rendimiento de estos materiales en procesos de conversión de CO <sub>2</sub> con sistemas versátiles de hidrógeno verde a escala de unidad de ensayo móvil . Los materiales catalíticos por conversión de CO <sub>2</sub> que se empleen en la unidad de ensayo, tendrán que haber sido validados a escala de laboratorio para garantizar unas capacidades de conversión mínimas antes de probarlos a escala de unidad de ensayo, por ejemplo, en la conversión de CO <sub>2</sub> a productos Fischer- Tropsch :	La unidad de ensayo debe permitir alcanzar las condiciones óptimas de trabajo para conseguir y medir el rendimiento selectivo de CO <sub>2</sub> a fracción nafta (≥40% hidrocarburos de C5-C12 con punto ebullición entre 30-200 °C) deseada frente al resto de componentes incluyendo CO, C1-C4, C12-C19 y ceras.																																							
	<b>3. Durabilidad y mantenibilidad .</b>	$H_2 + CO_2 \rightarrow CO + H_2O$ $(2n+1)H_2 + nCO \rightarrow C_n H_{2n+2} + nH_2O$ $nCO + 2nH_2 \rightarrow C_n H_{2n} + nH_2O$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de conversión CO<sub>2</sub> en continuo por reactor- pass ≥ 60%.</li> <li>• Selectividad de conversión CO<sub>2</sub> ≥ 80%.</li> <li>• Estabilidad en el tiempo de operación (96 horas, 4 días) ≥ 90%.</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Low T</th> <th>Sasol Arge</th> <th>High T</th> <th>Sasol Synthol</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• low C<sub>1</sub> – C<sub>4</sub></td> <td>13.3</td> <td>• higher C<sub>1</sub> – C<sub>4</sub></td> <td>43.0</td> </tr> <tr> <td>• low C<sub>5</sub> – C<sub>11</sub></td> <td>17.9</td> <td>• higher C<sub>5</sub> – C<sub>11</sub></td> <td>40.0</td> </tr> <tr> <td>• low C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub></td> <td>13.9</td> <td>• less C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub></td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>• 50-70% wax</td> <td>51.7</td> <td>• low wax</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>• 220-270°C</td> <td></td> <td>• 325 – 350°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• α: 0.87+</td> <td></td> <td>• α: ~0.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• gasoline/diesel: 1:2</td> <td></td> <td>• gasoline/diesel: 2:1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 80° Cetane #</td> <td></td> <td>• 50-60 Cetane #</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• 0-20 Octane #</td> <td></td> <td>• 0-60 Octane #</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Low T	Sasol Arge	High T	Sasol Synthol	• low C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>	13.3	• higher C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>	43.0	• low C <sub>5</sub> – C <sub>11</sub>	17.9	• higher C <sub>5</sub> – C <sub>11</sub>	40.0	• low C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	13.9	• less C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	7.0	• 50-70% wax	51.7	• low wax	4.0	• 220-270°C		• 325 – 350°C		• α: 0.87+		• α: ~0.7		• gasoline/diesel: 1:2		• gasoline/diesel: 2:1		• 80° Cetane #		• 50-60 Cetane #		• 0-20 Octane #		• 0-60 Octane #
Low T	Sasol Arge	High T	Sasol Synthol																																							
• low C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>	13.3	• higher C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>	43.0																																							
• low C <sub>5</sub> – C <sub>11</sub>	17.9	• higher C <sub>5</sub> – C <sub>11</sub>	40.0																																							
• low C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	13.9	• less C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	7.0																																							
• 50-70% wax	51.7	• low wax	4.0																																							
• 220-270°C		• 325 – 350°C																																								
• α: 0.87+		• α: ~0.7																																								
• gasoline/diesel: 1:2		• gasoline/diesel: 2:1																																								
• 80° Cetane #		• 50-60 Cetane #																																								
• 0-20 Octane #		• 0-60 Octane #																																								
			Los componentes de la unidad de ensayo deben ser duraderos y fáciles de mantener para garantizar la operación continuada del sistema entre 2000-5000 y poder medir el tiempo de vida del material. La operación del sistema deberá ser automatizada con los sensores necesarios por un funcionamiento autónomo de la unidad de ensayo y minimizar las operaciones de mantenimiento.																																							

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escalabilidad de la producción y peletización del material mínima para producir 1 kg de catalizador.</li> <li>• Otros parámetros, como la estabilidad química, térmica y mecánica.</li> </ul>	
Versatilidad en conversión de CO <sub>2</sub>	<b>4. Compatibilidad con la fuente de emisión.</b>	<p>El proceso de conversión de CO<sub>2</sub> con hidrógeno verde generalmente incluye dos reacciones que pueden o no ensamblarse en un mismo reactor. Por tanto, se podrían considerar dos configuraciones posibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacción integrada en un solo reactor donde es necesario ajustar la cinética de ambos procesos mediante la selección de las condiciones de operación y la combinación de catalizadores.</li> <li>• Reacciones independiente en dos sistemas de reacción, donde el CO<sub>2</sub> y el hidrógeno verde reaccionan en un primer reactor en continuo en unas condiciones de reacción (por ejemplo, 68% conversión, 99% selectividad, 650 °C, 1 bar) y catalizador, y el CO resultante debe ser acondicionado y mezclado con H<sub>2</sub> (por ejemplo, presurizar a 20-30 bar, eliminar H<sub>2</sub>O y ajustar relación molar H<sub>2</sub> /CO entre 1-3 en función de Co-FT o Fe-FT ) para llegar al segundo reactor donde reacciona para dar los productos Fischer- Tropsch</li> </ul>	<p>La unidad de ensayo y sus periféricos deben ser compatibles (con componentes de resistencia térmica y química adecuada) y fácilmente adaptables (por ejemplo, modular para incluir sistemas de pretratamiento a demanda) a las especificaciones de los procesos catalíticos de conversión CO<sub>2</sub> existentes . Especialmente, a los procesos de conversión de CO<sub>2</sub> a productos, a compuestos químicos o combustibles, que tengan mayor impacto en la descarbonización local, por ejemplo nafta Fischer- Tropsch /Metanol y/u olefinas ligeras (etileno/propileno) por industria productora de combustibles sintéticos y plásticos más sostenibles, respectivamente. La unidad de ensayo deberá integrarse con sistemas de captura de CO<sub>2</sub>.</p>

		(por ejemplo, rendimiento nafta 17,9-40,0 % por 220(BT-FT)-400 (HT-FT) °C ).	
	<b>5. Escalabilidad.</b>	La mayoría de los diseños de unidades de ensayo son poco flexibles, limitando su aplicación a un rango de escaleras muy reducido. Por ejemplo, el diseño del sistema y los periféricos (bombas, medidores de caudales, intercambiadores de calor y otros sistemas auxiliares) presentan un rango de operatividad muy estrecho.	La unidad de ensayo móvil debe permitir escalar el proceso que tiene lugar en una capacidad comercial viable si los resultados son prometedores. El objetivo es tener un diseño flexible con periféricos adaptables o fácilmente intercambiables para poder alcanzar un amplio rango de operatividad, por ejemplo, procesar CO <sub>2</sub> para dar entre 5 y 20 kg/día de productos, con pequeños cambios en el sistema o sus periféricos.
	<b>6. Integración con sistemas de almacenamiento o captura.</b>	En la mayoría de los sistemas de ensayo de conversión de CO <sub>2</sub> , el CO <sub>2</sub> utilizado se provee de cilindros donde se almacena temporalmente a presión o en forma líquida, o puede provenir de algún almacenamiento geológico autorizado. Existe un acceso muy limitado a unidades de ensayo que integran la captura y conversión de CO <sub>2</sub> .	La unidad de ensayo debe considerar los periféricos para utilizar CO <sub>2</sub> capturado almacenado temporalmente a presión o licuado en cilindros o depósitos.
	<b>7. Dimensionamiento o compacto para facilitar transporte o instalación.</b>	En la mayoría de los sistemas de ensayo de conversión de CO <sub>2</sub> , incluyendo sus periféricos, son poco compactos, ocupando grandes espacios y/o presentando módulos que requieren transporte con unos contenedores/transporte especiales o deben ser transportados por piezas y realizar	La unidad de ensayo móvil debe ser lo suficientemente compacto como para permitir su transporte a la industria donde se va a probar, y debe cumplir los requisitos de instalación mínimos para poder ser operado con la mínima adaptación posible de los espacios disponibles. Es requisito que el número de operaciones de montaje en la instalación industrial sea mínimo o que las

		<p>un montaje complejo en el mismo sitio industrial donde serán operados. Esto hace que su transporte sea complejo. Por otra parte, si los requisitos de espacio y recursos para el sitio de instalación son muy grandes, esto limita la implantación a un grupo muy reducido de empresas.</p>	<p>operaciones de montaje sean suficientemente simples (por ejemplo, sistemas de encaje y conexión rápida) para garantizar el correcto funcionamiento del equipo.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Coste, energía, sostenibilidad, seguridad, y recogida de datos</p>	<p><b>8. Eficiencia energética:</b></p>	<p>En la mayoría de los sistemas de ensayo de conversión de CO<sub>2</sub>, existe un gran desperdicio energético en las etapas de conversión de CO<sub>2</sub>, ya que en la mayoría de casos se trata de procesos exotérmicos (CO<sub>2</sub> a MeOH, CH<sub>4</sub> y productos Fischer Tropsch) Donde la constante de equilibrio limita la conversión al aumentar la temperatura del proceso. En cambio, existen otros procesos que son endotérmicos (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> a CO/H<sub>2</sub>O) y son favorecidos al aumentar la temperatura de reacción.</p>	<p>La unidad de ensayo móvil debe permitir probar, mediante informes con balances de materia y energía exhaustivos, una reducción de hasta un 50% en el consumo energético respecto al proceso estado del arte, a través de la implantación de innovaciones en el diseño que aprovechen el calor generado en procesos exotérmicos para conducir los endotérmicos.</p>
	<p><b>9. Competitivo a nivel de Coste.</b></p>	<p>Actualmente, el coste de producción de los productos derivados del CO<sub>2</sub> es significativamente superior al de los propios productos derivados de fuentes fósiles. Sin embargo, esta diferencia puede reducirse mediante políticas que promuevan la descarbonización, como impuestos sobre el CO<sub>2</sub> y subvenciones para los productos derivados del CO<sub>2</sub>. Además, la disponibilidad de energías renovables, así como de</p>	<p>La unidad de ensayo debe permitir realizar análisis tecnoeconómicos exhaustivos para demostrar la viabilidad de la implementación industrial de la tecnología de conversión de CO<sub>2</sub>, con el objetivo de lograr una inversión competitiva a corto y medio plazo.</p>

		<p>hidrógeno verde y CO<sub>2</sub> capturado a precios más asequibles, podrían también contribuir a esta reducción de costes. Por ejemplo, se prevé que el precio de venta del gasóleo producido a partir de CO<sub>2</sub> e hidrógeno verde sería competitivo en caso de que el precio del hidrógeno verde fuera inferior a 2 €/kg.</p>	
	<p><b>10. Sostenible e integrable con energías renovables.</b></p>	<p>La mayoría de los sistemas de ensayo de conversión de CO<sub>2</sub> no aprovechan todo su potencial en términos de sostenibilidad por diversas razones: no están integrados con energías renovables, la huella de carbono se ve afectada por la ineficiencia en algunas de las etapas, y no se ha tenido en cuenta el ciclo de vida completo de los materiales que componen la unidad de ensayo y los efluentes necesarios para su funcionamiento, tales como agua y vapor en los intercambiadores de calor.</p>	<p>La unidad de ensayo móvil debe permitir generar la información necesaria para realizar análisis de ciclos de vida exhaustivos para demostrar su sostenibilidad respecto a otros métodos de conversión de CO<sub>2</sub>.</p>
	<p><b>11. Seguridad:</b></p>	<p>La mayoría de las unidades de ensayo de conversión de CO<sub>2</sub> sólo permiten realizar análisis exhaustivos de los riesgos de proceso (HAZOP) y desarrollar procedimientos de operación seguros para su operación, ya sea a nivel de laboratorio o en ambiente industrial, pero no simultáneamente en ambos.</p>	<p>En las fases de ingeniería básica y de detalle, debe incluirse un análisis exhaustivo de los riesgos de proceso (HAZOP). Una vez identificados los riesgos, el diseño deberá incluir los dispositivos de control e instrumentos que se hayan identificado como necesarios para operar a las unidades de ensayo móvil con garantías de protección de las personas usuarias y del medio ambiente. Es necesario también incluir una propuesta de procedimientos de operación seguros por operación tanto a escala de operación de la unidad de ensayo en</p>

			laboratorio como en ambiente industrial y asegurar el cumplimiento de todas las normativas de seguridad pertinentes para garantizar la protección del personal y del medio ambiente.
	<b>12. Monitorización y control.</b>	El acceso a unidades de ensayo de conversión de CO <sub>2</sub> con sistemas de monitorización y control para realizar experimentos y aumentar el grado de madurez de los materiales desarrollados para la conversión de CO <sub>2</sub> es extremadamente limitado. Por eso, a pesar de su eficacia, estas tecnologías no pueden llegar al mercado.	La unidad de ensayo móvil debe disponer de sistemas de monitorización y control para asegurar que el proceso funcione de forma autónoma, con controlador lógico programable (PLC) amigable y con un número adecuado de sensores para permitir ajustes según el rendimiento en la conversión de CO <sub>2</sub> medido en cada momento durante los períodos de funcionamiento entre 2000 y 5000 h. Los resultados obtenidos serán cruciales para poder introducir las tecnologías en el mercado.

### **3. Materiales y componentes para la fabricación de cada una de las unidades de ensayo móviles.**

La empresa licitadora tendrá que presentar una relación de materiales y componentes que se tendrán que adquirir para la fabricación de cada una de las cuatro unidades de ensayo móviles para que éstas se puedan fabricar según el diseño propuesto, que debe cumplir con los requisitos expuestos en el punto 2 del PPT.

Asimismo, deberá presentarse una estimación de coste de estos materiales y componentes, necesarios para fabricar cada una de las 4 unidades de ensayo móviles.

### **4 . Proyecto de fabricación de las cuatro unidades de ensayo móviles.**

La empresa licitadora tendrá que presentar un plan para ejecutar en un futuro, la fabricación de cada una de las cuatro unidades de ensayo móviles.

Habrá que dividir el proyecto en diferentes fases, explicar en detalle en qué consiste cada fase y presentar un diagrama temporal que sitúe las fases a lo largo del tiempo.

Asimismo, deberá presentarse una estimación del coste de la tarea correspondiente a la fabricación de cada unidad de ensayo móvil y la dirección de dicha fabricación .

En este importe deben incluirse los gastos correspondientes a la legalización ya la tramitación y obtención de la certificación CE de todo el conjunto (de cada unidad de ensayo móvil), previa evaluación por un Organismo de Control Autorizado.

#### **5. Lugar de fabricación, ubicación y movilidad de las unidades de ensayo :**

La empresa licitadora debe presentar una descripción exhaustiva de las características que debe cumplir el lugar designado para la fabricación de las unidades de ensayo móviles (superficie y altura del espacio designado a la fabricación, características de los accesos, servicios y suministros a tener disponibles, etc.).

Las unidades de ensayo móviles deben estar preparadas para ser conectadas a diferentes ubicaciones. Por tanto, el número de operaciones necesarias para su instalación /desinstalación en una ubicación determinada deben ser mínimas y simples (por ejemplo, sistemas de encaje y conexión rápida) para garantizar la consecución de los objetivos del proyecto.

Así pues, es necesario presentar una descripción exhaustiva de las tareas a realizar (y las operaciones que conllevan) para instalar y desinstalar cada unidad de ensayo móvil en las diferentes industrias donde se ubicarán. Deberá incluirse el procedimiento de conexión y desconexión a seguir en cada una de las unidades existentes, así como el procedimiento de validación de su funcionamiento.

Hay que presentar también una estimación del coste de la instalación y desinstalación de cada unidad de ensayo móvil así como también de su transporte . El medio de transporte escogido será tal que permita transportar las unidades móviles a una velocidad mínima de 50 km/h.

#### **6. Seguimiento y control de la ejecución de las condiciones**

El órgano de contratación designará a una persona que asumirá el control y la coordinación de la ejecución contractual con la empresa adjudicataria a fin de tratar directamente las cuestiones relacionadas con el desarrollo normal de las tareas indicadas en este pliego.

La empresa debe designar a una persona responsable a quien encargar la gestión de la ejecución del contrato y que deberá garantizar la calidad de la prestación objeto de este pliego, tratando directamente las cuestiones relacionadas con el desarrollo normal de las tareas indicadas en este pliego con la persona interlocutora designada por el órgano de contratación.

Las personas referidas anteriormente se reunirán con una periodicidad mínima quincenal para supervisar, controlar y tratar cualquier aspecto vinculado con el desarrollo del contrato, a fin de asegurar que el mismo se está ejecutado conforme a lo establecido en el presente pliego.

La empresa licitadora tendrá que presentar una propuesta de Plan de Seguimiento durante la ejecución del contrato.

## **7.- Presupuesto base de licitación**

El presupuesto de licitación queda fijado en la cantidad de 1.140.000,00 €, IVA no incluido, distribuido de la siguiente forma:

- Diseño y planificación de la fabricación de una unidad de ensayo móvil de captura por adsorción: 300.000,00 €, IVA no incluido
- Diseño y planificación de la fabricación de una unidad de ensayo móvil de captura por absorción: 300.000,00 €, IVA no incluido
- Diseño y planificación de la fabricación de una unidad de ensayo móvil de captura por carbonatación: 270.000,00 €, IVA no incluido
- Diseño y planificación de la fabricación de una unidad de ensayo móvil para el uso de CO<sub>2</sub> por conversión: 270.000,00 €, IVA no incluido

Los licitadores tendrán que presentar la relación de precios que se comprometen a aplicar para el diseño y planificación de cada una de las unidades de ensayo móviles, y que conjuntamente no podrá superar 1.140.000,00 € IVA no incluido.

En el sobre C, los licitadores también tendrán que incluir la siguiente información:

- El presupuesto estimado para adquisiciones de todo el material y componentes necesarios para el conjunto de las cuatro unidades de ensayo móviles así como las labores de fabricación y dirección de la fabricación de las cuatro unidades de ensayo móviles, importe que no puede superar 20.600.000,00 €. En este importe deben incluirse los gastos correspondientes a la legalización ya la tramitación y obtención de la certificación CE de todo el conjunto (de cada unidad móvil), previa evaluación por un Organismo de Control Autorizado.
- El presupuesto estimado del coste de la instalación y desinstalación de cada unidad de ensayo móvil.
- El presupuesto estimado del coste del transporte por km de cada una de las unidades de ensayo móvil.

Tarragona, 24 de mayo de 2024.

**Dr. Fernando Bravo Lara**

Responsable del Área de KTT y Proyectos Industriales  
Fundació Institut Català d'Investigació Química