



**PmaCO2:**

*El sistema Poroso de las facies Utrillas (Cretácico Inferior): Caracterización de sus propiedades y su influencia en los Mecanismos de Atrapamiento de CO2 en AGPs. 2012-2014*

**Resultados de inyección dinámica de CO2 supercrítico y salmuera, a condiciones de almacén, en una muestra de la Formación Utrillas. Ensayo realizado en la Fundación Instituto Petrofísico-IPf.**

**Fecha: 3 de Julio de 2014**

## **ÍNDICE**

### **1. INTRODUCCIÓN**

### **2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS Y OBJETIVOS**

**2.1. Preparación de la muestra**

**2.2. Medida de la porosidad y permeabilidad al gas**

**2.3. Saturación de la muestra con agua sintética**

**2.4. Preparación de la inyección. Colocación de la muestra en la celda**

**2.5. Inyección de agua sintética**

**2.6. Inyección de CO<sub>2</sub> supercrítico y agua sintética**

**2.7. Resultados de estudio en Tomografía Computada**

**2.8. Recogida de producción**

**2.9. Desmontar la celda y recuperar la muestra**

### **3. ENTREGA DE RESULTADOS**

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Se ha realizado un ensayo de inyección de CO<sub>2</sub> supercrítico y salmuera en celda estática, a condiciones de almacén, para que el Ciemat analice la variación de porosidad producida en la muestra tras un tiempo de inyección de la mezcla CO<sub>2</sub> supercrítico/salmuera de un mes y medio (30 días de inyección durante 8 horas diarias). Durante ese tiempo, se mantuvieron estables las condiciones de P y T iniciales necesarias para mantener el CO<sub>2</sub> en estado supercrítico y lo más próximas posibles a 31.1°C y 7.38MPa.

## **2.- ALCANCE DE LOS TRABAJOS Y OBJETIVOS**

### **2.1. Preparación de la muestra**

La experimentación consistió en la preparación de la muestra mediante corte con agua y taladro de perforación en IPf.

De la muestra facilitada por el CIEMAT se extrajeron tres tapones, con el fin de determinar, con posterioridad, la porosidad y permeabilidad al gas del que tuviera mayor tamaño de grano.



Imagen 1: Lugar del que se extrajeron cada uno de los tres tapones

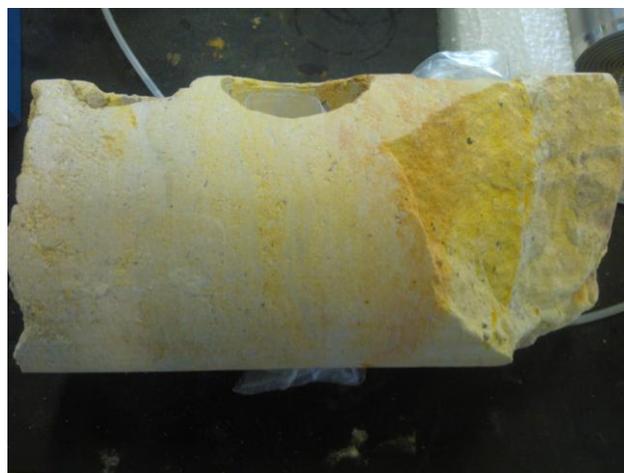


Imagen 2: Imagen de la muestra facilitada por el Ciemat

## 2.2. Medida de la porosidad y permeabilidad al gas

De los tres tapones extraídos, se seleccionaron los dos de mayor tamaño de grano y se procedió a la medida de porosidad y permeabilidad en los mismos, para después seleccionar el de mayor permeabilidad, facilitando de este modo la inyección de la mezcla ácida (CO2 supercrítico/salmuera).

Posteriormente a la extracción de los tres tapones, se procedió al corte de caras paralelas en las dos muestras seleccionadas, la PmaCO2-3.1 y la PmaCO2-3.3.

Los resultados de las dos medidas se recogen en la tabla que se muestra a continuación:

Sample ID	Weight (g)		Measurment (mm)		Porosity		Permeability	
	Dry Weight*	Saturated Weight	Length	Diameter	Pore Volume (cc)	(%)	Kg (mD)	KI (mD)
<b>PmaCO2-3.1</b>	174,377	186,855	70,42	37,92	13,88	17,5	106,458	99,093
<b>PmaCO2-3.3</b>	172,305		70,29	79,14	14,61	18,5	40,335	37,556

Tabla 1: resultados de las medidas de porosidad y permeabilidad en las dos muestras seleccionadas.

A la vista de los resultados de permeabilidad, se selecciona la muestra PmaCO2-3.1, con una porosidad de un 17.5%. (Determinada con porosímetro de He).

## 2.3. Saturación de la muestra con salmuera

Seleccionada la muestra PmaCO2-3.1, se procede a la saturación de la misma con el agua sintética facilitada por el CIEMAT.

Tras la saturación de dicha muestra, se procede a la colocación del plástico termo-retráctil en la misma, para evitar la difusión del CO2 a través de la muestra durante la inyección del CO2 y, para facilitar la extracción de la misma tras un mes y medio de permanencia en la celda.



Imagen 3: Imagen de la muestra, objeto de ensayo, con el plástico termo-retráctil colocado

## **2.4. Preparación del ensayo de inyección. Colocación de la muestra en la celda**

Una vez colocado el plástico termo-retráctil, se procede a colocar la muestra en la celda, donde permanecerá, a las condiciones de presión y temperatura fijadas, durante un mes y medio.

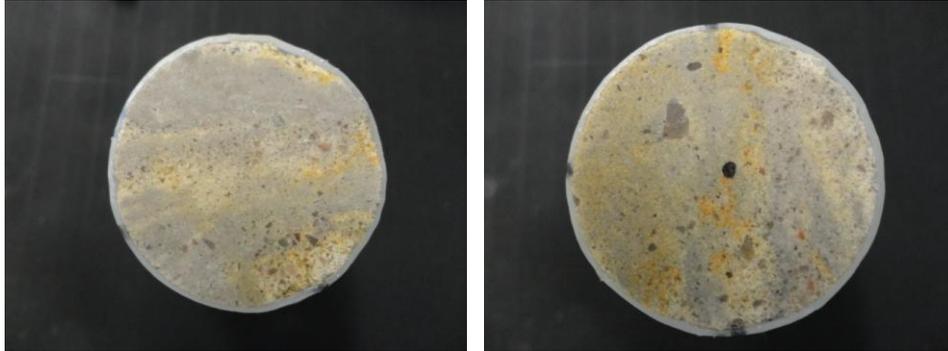


Imagen 4: Cara de inyección en la muestra (izqda) y cara de producción de la muestra (dcha)

Una vez situada la muestra en la celda de inyección se establecen las condiciones de presión de confinamiento y temperatura de ensayo requeridas por el cliente, (31.1°C y 7.38MPa, como condiciones mínimas de inyección).

La presión y temperatura de inyección se han establecido para asegurar que el CO<sub>2</sub> se mantenga supercrítico durante la experimentación. Partiendo del valor de presión mínimo establecido, se fija el valor de presión de confinamiento del siguiente modo:

- Presión mínima para mantener el CO<sub>2</sub> supercrítico en el interior de la celda = 7,4MPa. Para ello se establece una contrapresión a la salida de la celda de 7,4MPa. Permitirá mantener el sistema siempre por encima de esta presión.
- La presión de inyección deberá ser al menos 0,5MPa superior a la contrapresión, para permitir el desplazamiento del CO<sub>2</sub> y la salmuera.
- La presión de confinamiento debe ser mayor (se aconseja alrededor de 5 MPa) que la presión de poro o inyección, para impedir que el fluido inyectado rodee a la muestra en vez de atravesar su red de poros.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se fija una presión de confinamiento de 13 MPa y una temperatura de 40°C y se deja estabilizar esta presión y temperatura durante tres días, antes de efectuar la inyección de agua sintética.

## **2.5. Inyección de agua sintética**

Tras alcanzar la presión y temperatura determinadas para la inyección de CO<sub>2</sub> y agua sintética, se procedió a la inyección de agua de formación sintética en la muestra para asegurar que se partía de la situación de la muestra 100% saturada en agua sintética.

Se inyectan un total de 240 ml de agua sintética (más de 10 veces el volumen poroso), para asegurar la saturación al 100% de la muestra.

La inyección de agua sintética de manera independiente y anterior a la inyección de salmuera y CO2 de forma simultánea, se realiza también con objeto de fijar la presión de contrapresión o presión de poro al menos en 7.38MPa. Una vez fijada esta contrapresión mediante una válvula específica para este propósito, se comienza la inyección simultánea de los dos fluidos.



Imagen 5: Válvula de contrapresión a 80MPa

## **2.6. Inyección de CO2 supercrítico y agua sintética**

Tras la inyección de agua sintética durante ocho horas a 0.5 cc/min, se comienza la inyección simultánea de CO2 supercrítico y agua sintética a razón de 8 horas/día durante 30 días.

Los caudales de inyección que se establecen son de 0.5cc/min de cada uno de los fluidos inyectados. Dichos caudales se mantienen constantes en todas las inyecciones.

Durante los 30 días de inyección (realizada de lunes a viernes), se mantienen las condiciones de presión y temperatura establecidas desde el comienzo del ensayo.

El tiempo total de permanencia de la muestra en la celda es de 1 mes y medio.

Durante ese tiempo se realizan tres exámenes de Tomografía Computada; una al comienzo de la inyección, imagen que se establece como base de comparación con las dos imágenes posteriores, a los 20 días y al final de la inyección.

En todo momento, se va recogiendo la producción, por si se precisa realizar exámenes químicos de la composición del agua de producción recogida en distintos momentos.

En la tabla siguiente se establece el cronograma de acciones realizadas en la muestra PmaCO2-3.1 desde que se la sitúa en la celda de inyección:

Fecha	Acción
19/05/2014	Montaje de la muestra en la celda de inyección Establecimiento de condiciones de presión de confinamiento y temperatura
21/05/2014	Inyección de agua sintética para asegurar la saturación al 100%
22/05/2014	Comienzo de inyección de agua sintética y CO2 simultáneamente
23/05/2014	1º Examen de Tomografía Computada
11/06/2014	2º Examen de Tomografía Computada
02/07/2014	3º Examen de Tomografía Computada
03/07/2014	Recuperación de la muestra de la celda de inyección

Tabla 2: Cronograma de acciones realizadas mientras la muestra se encuentra en la celda de inyección

## 2.7. Resultados de los estudio en Tomografía Computada

El día 23 de Mayo de 2014 se realiza el primer estudio de Tomografía Computada tras un día (8 horas) de inyección simultánea de CO2 y agua sintética.

Se establece un corte como imagen base para poder comparar con los siguientes dos estudios que se van a realizar en Tomografía Computada (al final del ensayo se entregarán todas las imágenes correspondientes a cada uno de los estudios en un CD):

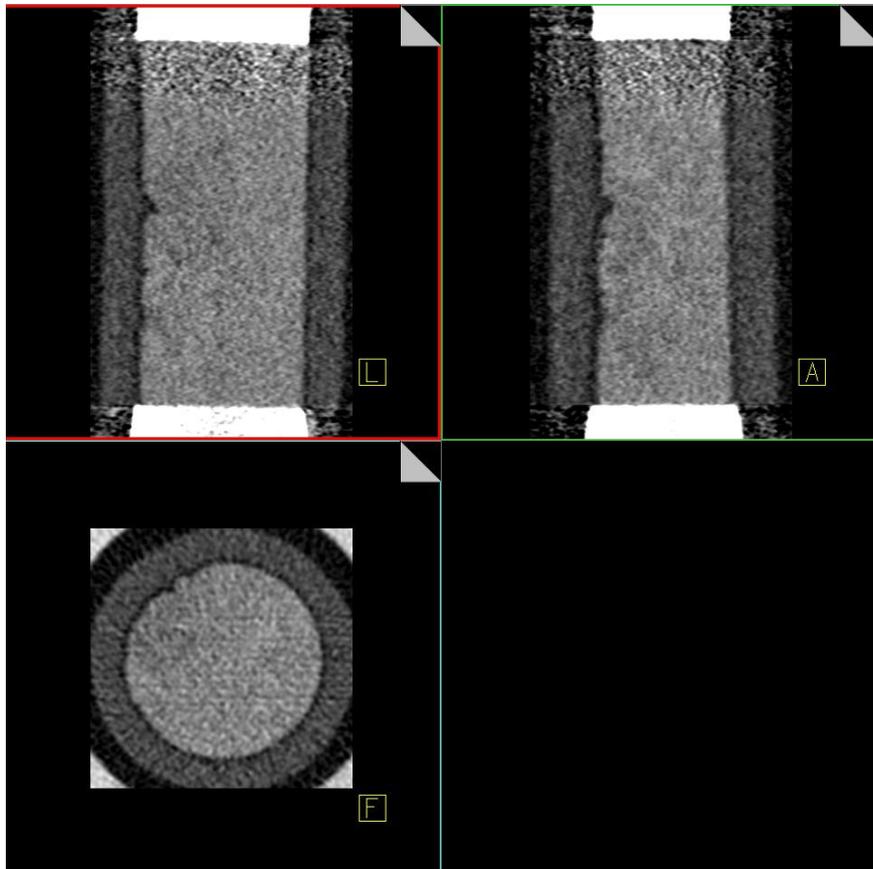


Imagen 6: Primer estudio de Tomografía Computada (23/05/2014)

El segundo estudio de Tomografía Computada se realiza el 11 de Junio, y se obtiene la imagen siguiente de la muestra:

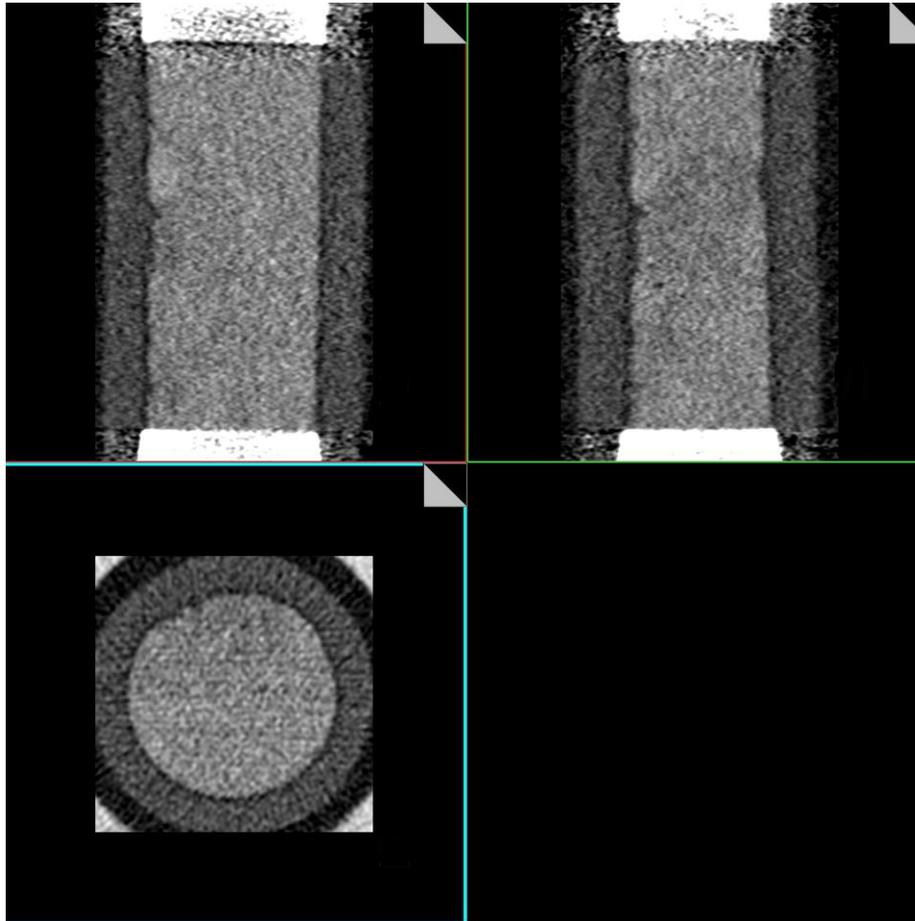


Imagen 7: Segundo estudio de Tomografía Computada (11/06/2014)

El tercer y último estudio se realiza el 2 de Julio de 2014, obteniéndose el siguiente resultado:

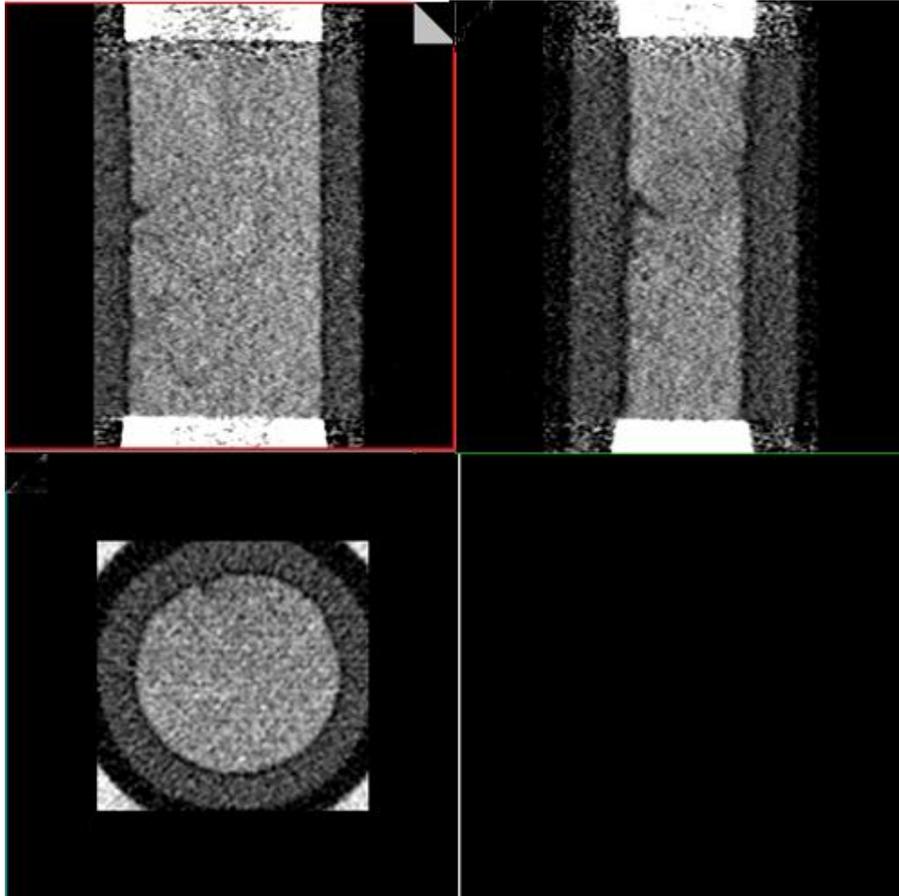


Imagen 8: Tercer estudio de Tomografía Computada (02/07/2014)

## 2.8. Recogida de producción

Durante todo el ensayo se ha ido recogiendo la producción en distintos recipientes, hasta un total de cuatro recipientes distintos.

Se aprecia diferencias en la composición de dicha producción entre los primeros días de inyección y los últimos.

Se hace entrega de cuatro recipientes con 200ml cada uno correspondientes a las fechas de producción siguientes.

Fecha	Bote
22/05/2014 a 27/05/2014	1
28/05/2014 a 16/06/2014	2
17/06/2014 a 19/06/2014	3
20/06/2014 a 2/07/2014	4

Tabla 3: Fecha correspondiente a la recogida de producción de cada uno de los recipientes

## **2.9. Desmontar la celda y recuperar la muestra**

El día 2 de Julio de 2014, se finaliza la inyección de agua sintética y CO<sub>2</sub>, y se procede a disminuir la temperatura y la presión de confinamiento de ensayo.

El día 3 de Julio se procede a la recuperación de la muestra, recuperando la última producción de CO<sub>2</sub> supercrítico y agua sintética.

## **3. ENTREGA DE RESULTADOS**

Se hace entrega a Ciemat de la muestra tras el ensayo, cuatro recipientes que contienen la producción correspondiente a las fechas indicadas en la Tabla 3, dos ampollas (de aproximadamente un ml cada una) de la última producción que se obtiene al disminuir la presión de confinamiento en la celda, y un CD con todas las imágenes correspondientes a los tres estudios de Tomografía Computada efectuados durante el ensayo de inyección.