

# Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural CASTOR



Instalaciones del  
almacén CASTOR

Col.legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. 20.01.2014

# Historia de los AASS

## Principios

- Yacimientos agotados de gas **próximos** a centros de consumo
- Cubrir variaciones **estacionales**
- Inyección 200 días, extracción 135 días
- 1915 Welland, Ontario (Canadá)
- 1916 Zoar, Buffalo (EEUU)



## Evolución

- Años 30, nueve Almacенamientos subterráneos en EEUU
  - Capacidad total 0,5 bcm
- Primeros pruebas para almacenamientos en acuífero, años 30 en EEUU
- 1946 primer AASS en acuífero, Kentucky (EEUU)
- 1961 primera caverna en sal como AASS, Saint Claire Country, Michigan (EEUU)

# Situación actual en el mundo (1)

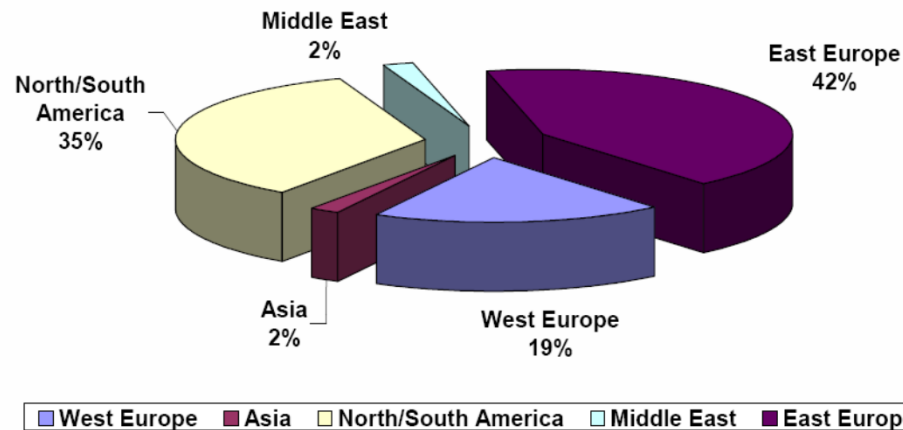
PAÍS	Volumen gas útil (bcm)	Número de almacenamientos
EEUU	100,80	385
CEI	136,30	46
Alemania	19,10	42
Canadá	14,82	49
Italia	17,45	10
Francia	11,70	15
España	2,12	2
Otros	30,70	57
<b>Total</b>	<b>333,00</b>	<b>606</b>

Fuente: UGS World Data Bank 2006 - International Gas Union (IGU)

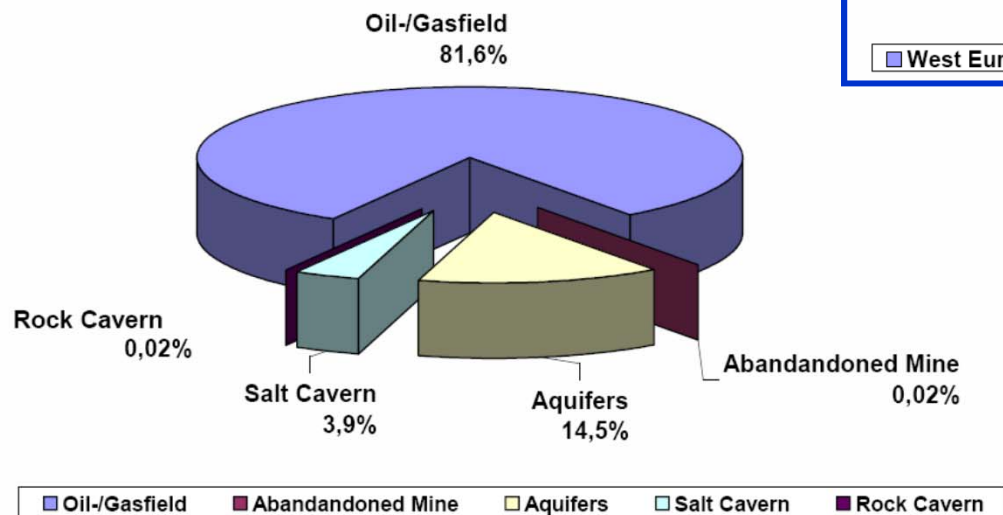
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Situación actual en el mundo (2)

Working Gas Volume Distribution by regions



Working Gas Volume Distribution by Storage Types



Fuente: UGS World Data Bank 2006 - International Gas Union (IGU)

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

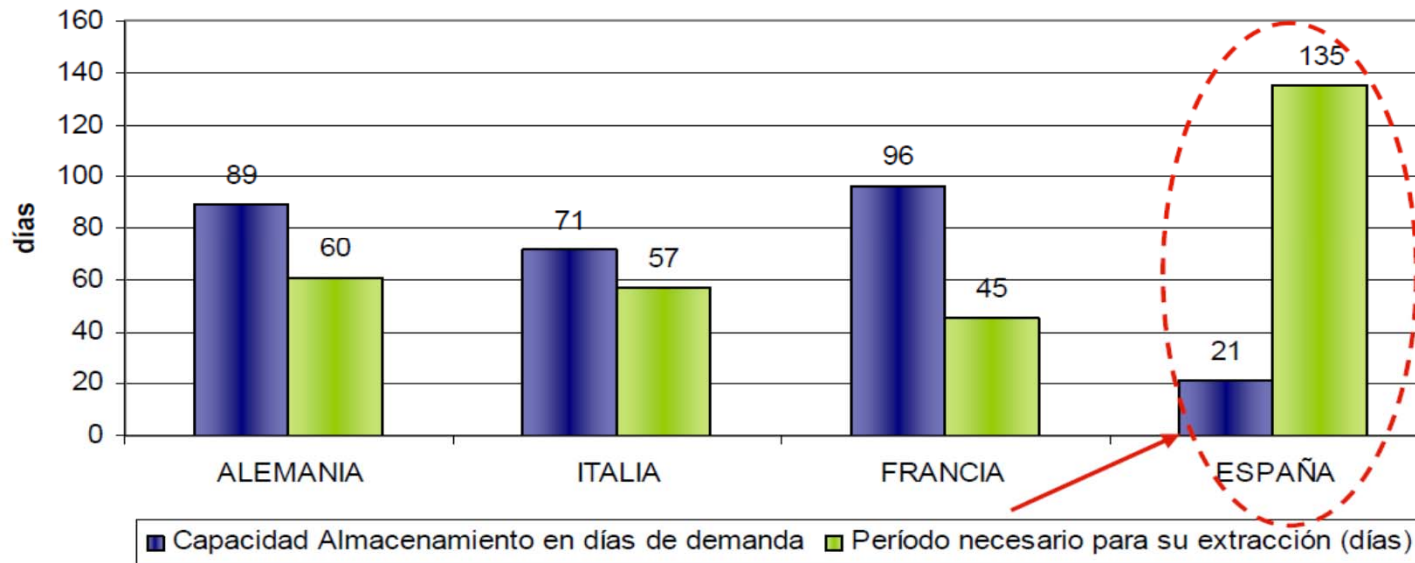
## Escal UGS S.L., Spanish firm participated by:

- ACS 66,67 % (Spanish) (\*)
- CLP 33,33 % (Controlled by Dundee Energy of Canada)

(\*) After construction and commissioning, once the facilities are operative, ENAGAS (the Spanish gas transporter), will take half of the ACS participation

# Demanda de Gas vs Capacidad AASS

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN DIAS DE DEMANDA



La capacidad de almacenamiento en España es de 21 días de demanda media (mucho mas baja que la otros países europeos)

La capacidad de extracción en España es MUY limitada (135 días para extraer el volumen almacenado)

**URGENTE NECESIDAD DEL ALMACENAMIENTOS**

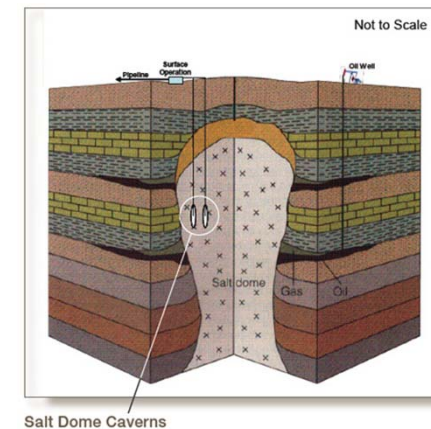
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

## Clasificación de los almacenamientos subterráneos por su **estructura geológica:**

- ✚ Yacimientos depletados de gas y petróleo
- ✚ Acuíferos
- ✚ Cavernas de sal
- ✚ Minas abandonadas
- ✚ Cavernas en roca

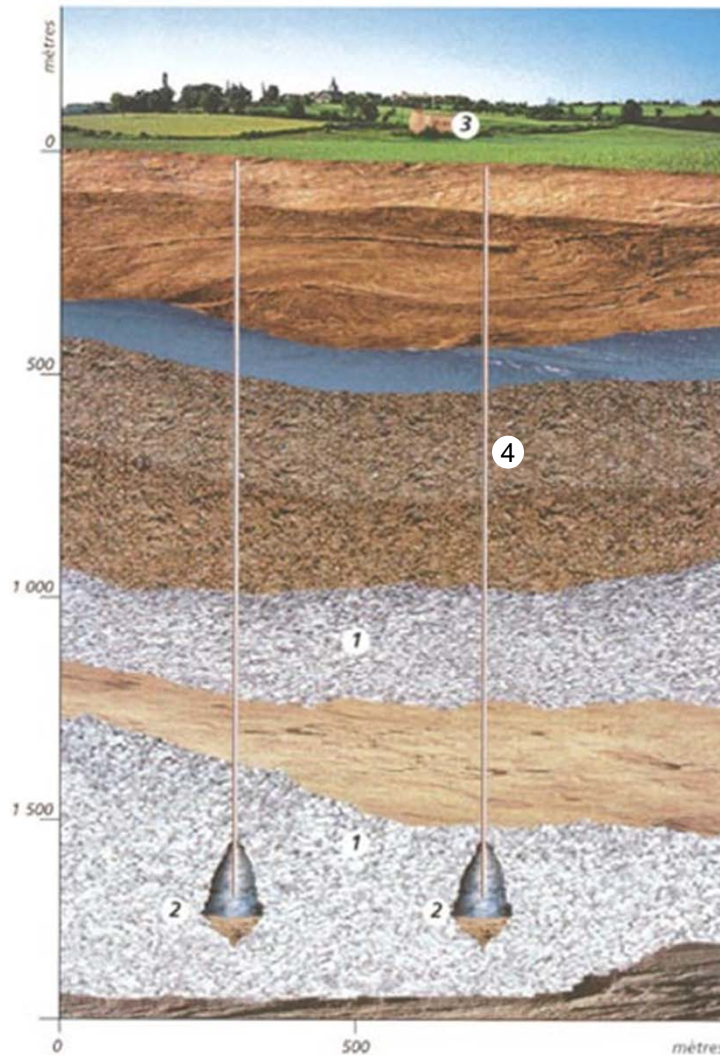
## ¿Qué es un Almacenamiento Subterráneo en cavernas de sal o roca?

- Creación de un “hueco” para llenarlo de gas
- Operación por compresión/expansión
- Condicionantes **geológicos**:
  - ✓ Profundidad (100-1500 m)
  - ✓ Espesor capa almacén
  - ✓ Calidad de la sal y % de insolubles
  - ✓ Estanqueidad de la capa almacén (minas y cavidades en roca)
- **Otros condicionantes**:
  - ✓ Suministro de agua dulce y deposición de salmuera
  - ✓ Red de distribución
  - ✓ Centros de consumo





# Tecnología de los AASS: Elementos de un ASG en caverna

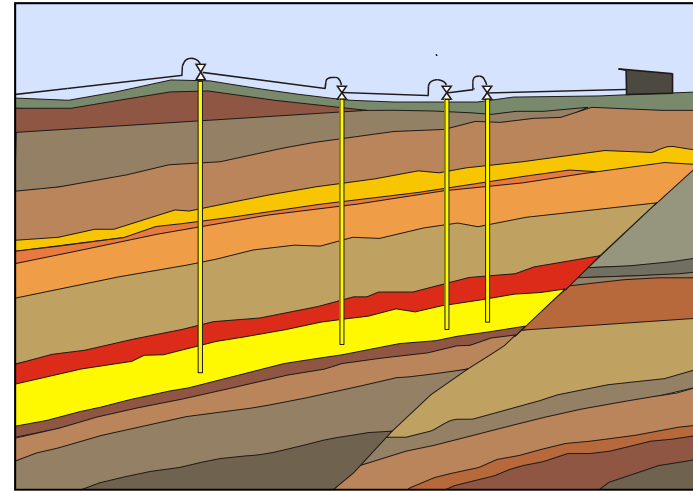


1. Capa de sal (o de roca)
2. Caverna
3. Planta de superficie, donde se encuentran las instalaciones lixiviación
4. Pozos de explotación

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Tipos de AASS: yacimientos

- Alto conocimiento de la estructura
- Capa de gas (primaria o secundaria)
- Gas útil/gas colchón: 1:1
- Parámetros operación:
  - ✓ Gas útil: 1,5-3 bcm
  - ✓ Llenado: 100-250 días
  - ✓ Caudal inyección: 10-15 MMm<sup>3</sup>/día
  - ✓ Vaciado: 100-150 días
  - ✓ Caudal extracción 20 MMm<sup>3</sup>/día



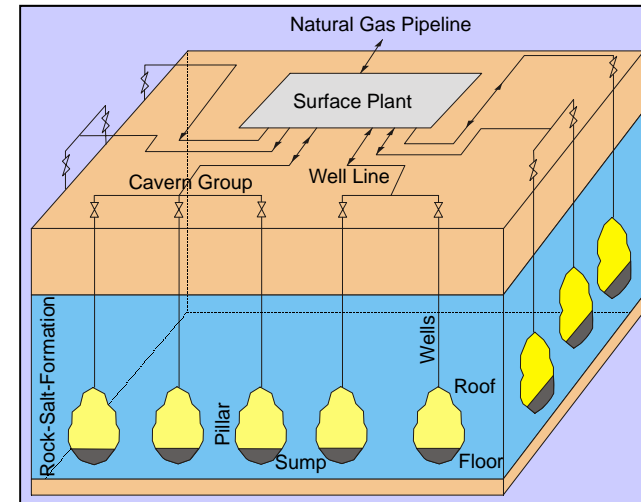
## **Demanda estacional Estratégico**

Comercial (variación estacional de precios)

Solucionar problemas "Take or Pay"

# Tipos de AASS: cavernas en sal

- Construcción larga
- 10 l agua dulce:1 l sal disuelta
- Gas útil/gas colchón: 2:1
- Pilares 4 veces el diámetro
- Convergencia
- Parámetros operación:
  - ✓ Gas útil: 50-80 MMm<sup>3</sup>/caverna
  - ✓ Llenado: 30-60 días
  - ✓ Caudal inyección: 2 MMm<sup>3</sup>/día
  - ✓ Vaciado: 18-20 días
  - ✓ Caudal extracción: 10-30 MMm<sup>3</sup>/día



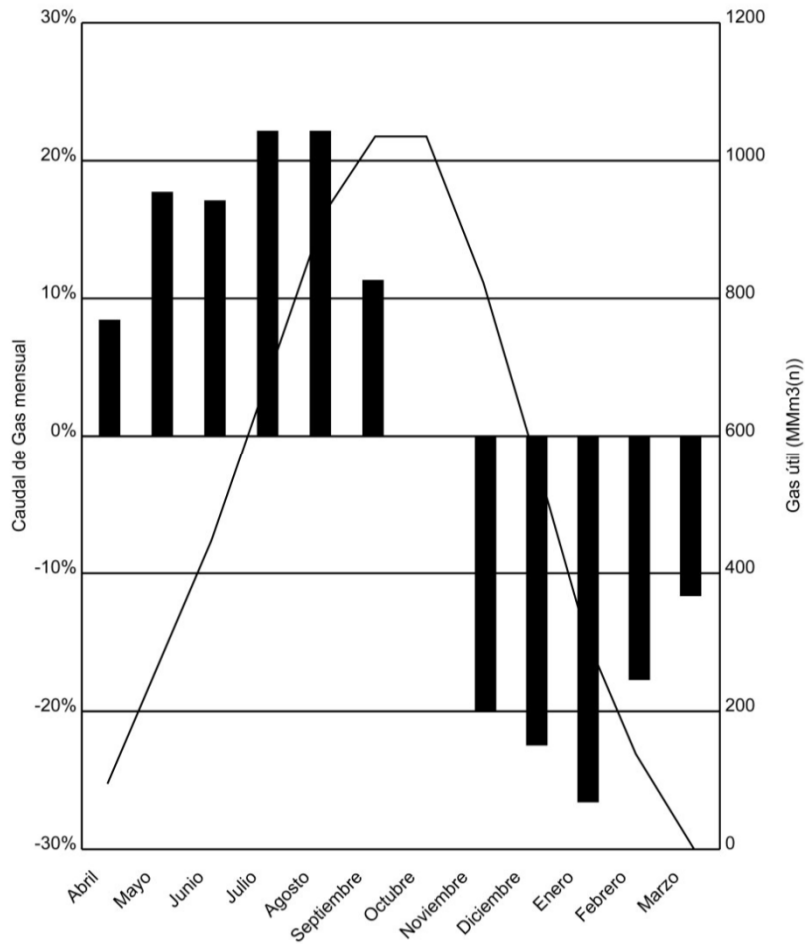
**Cubrir picos de demanda**

**Comercial (trading)**

**Seguridad de suministro**

# Tecnología de los AASS: Operación de un ASG

PATRÓN DE OPERACIÓN DEL ALMACENAMIENTO

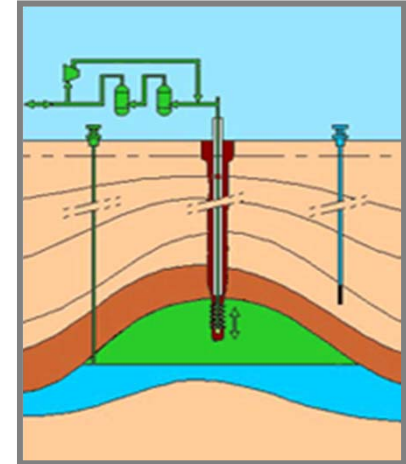


Modulación: cubrir variaciones estacionales de la demanda

- Inyección: Abril-Octubre
- Extracción: Noviembre-Marzo

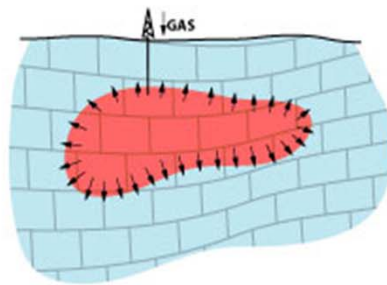
## ¿Qué es un Almacenamiento Subterráneo en formaciones porosas?

- Formación de un yacimiento de gas artificial
- Condicionantes **geológicos**:
  - ✓ Existencia de una formación porosa y permeable
  - ✓ Existencia de un cobertera estanca
  - ✓ Existencia de una estructura con una superficie de cierre
  - ✓ **profundidad** que permita una compatibilidad óptima entre los regímenes de presión en la red de transporte y en el almacén.
- **Otros** condicionantes: Proximidad a la Red de transporte y distribución y centros de consumo

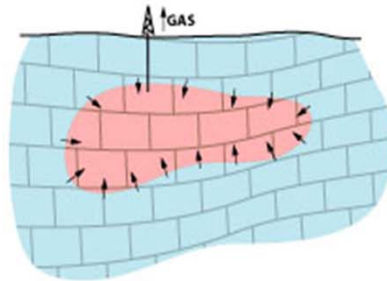


# Tecnología de los AASS: Almacén (3)

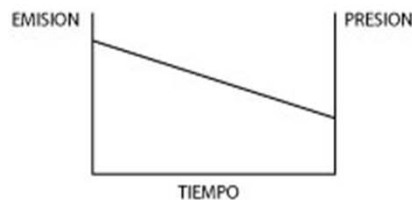
ALMACENAMIENTO VOLUMETRICO



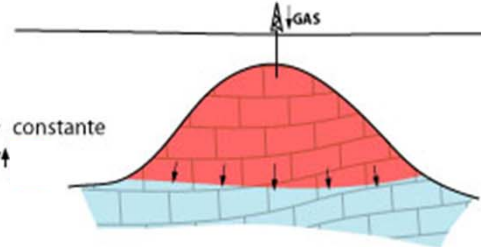
$P \uparrow$   
 $V$  constante **LLENO**



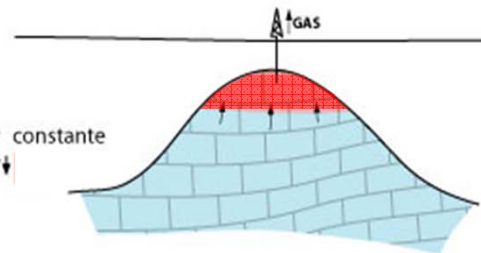
$P \downarrow$   
 $V$  constante **VACIO**



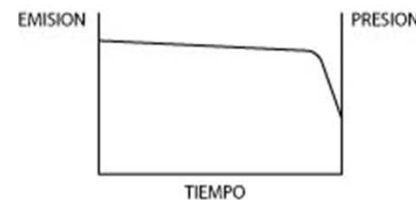
ALMACENAMIENTO TIPO  
"WATER DRIVE"



$P$  constante  
 $V \uparrow$



$P$  constante  
 $V \downarrow$



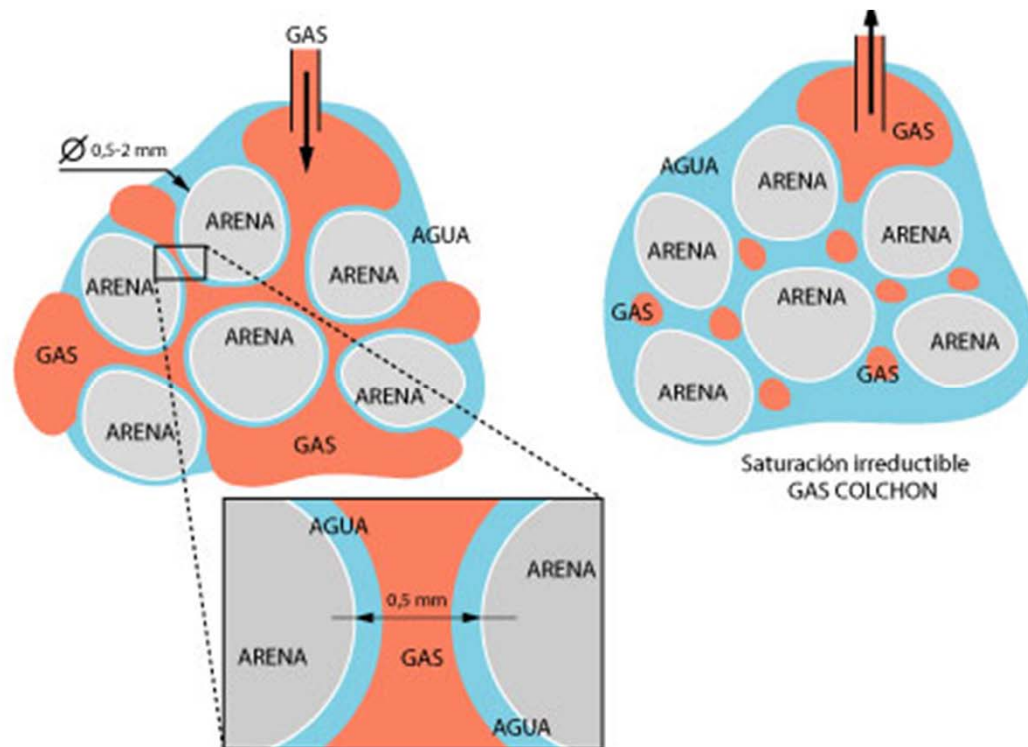
## Conceptos básicos: Almacén volumétrico

- Prácticamente aislado del entorno
- Al vaciarse la presión disminuye considerablemente
- El caudal de extracción decrece casi desde el inicio

## Almacén "water drive"

- Soportado por el acuífero inferior
- Al vaciarse la presión disminuye poco
- Funciona como un "pistón"
- El caudal inicial de extracción se mantiene

# ¿Qué es un Almacenamiento Subterráneo?



## Conceptos básicos:

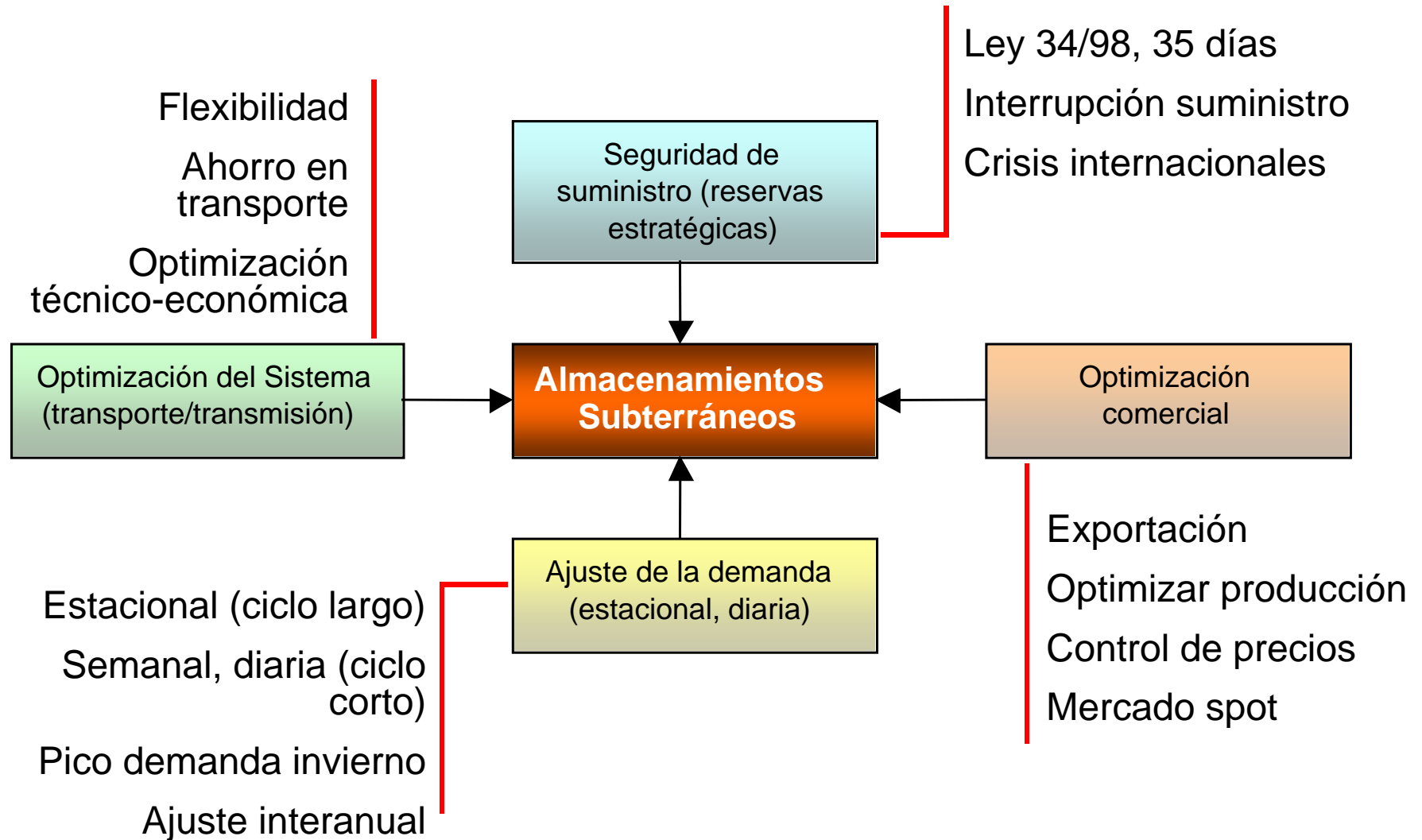
### Inyección de gas al almacén

- Los poros de la roca están saturados de agua
- El gas desplaza el agua y la reemplaza parcialmente

### Extracción de gas del almacén

- En la zona de salida parte del gas queda atrapado entre los poros (parte del Gas Colchón)

# Valor y Usos de los AASS



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

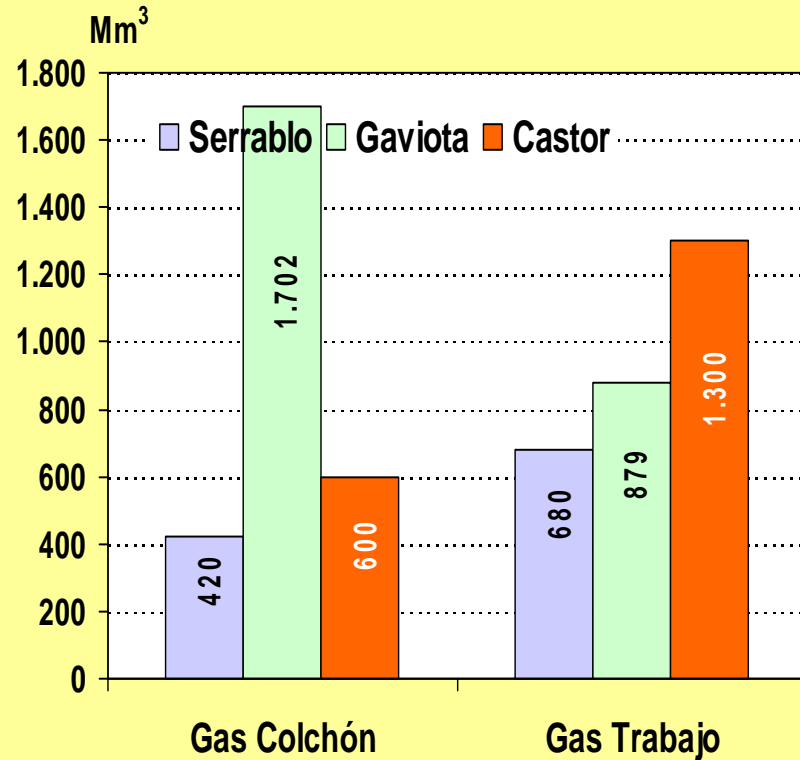


# Almacenamientos Subterráneos en

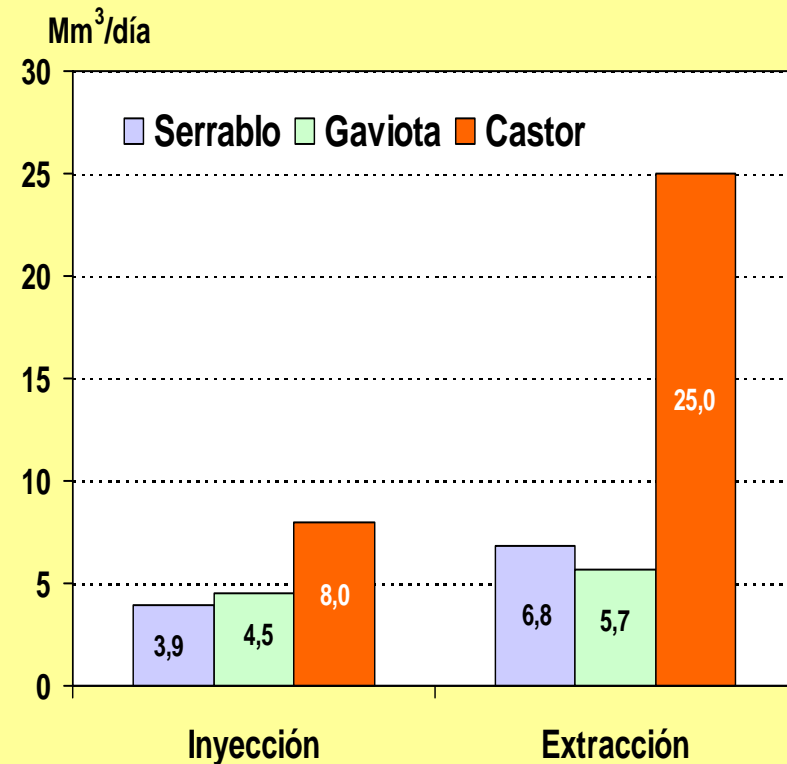
## España

CASTOR vs Almacenamientos existentes (Gaviota y Serrablo)

### Capacidad de almacenamiento Vehiculación



### Capacidad de



# Conclusiones

El proyecto Castor es un almacén de gas natural, no una regasificadora

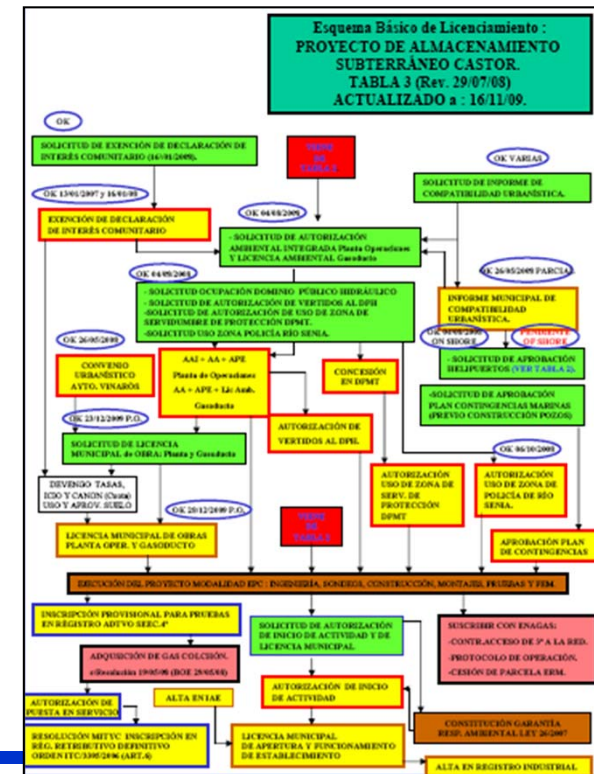
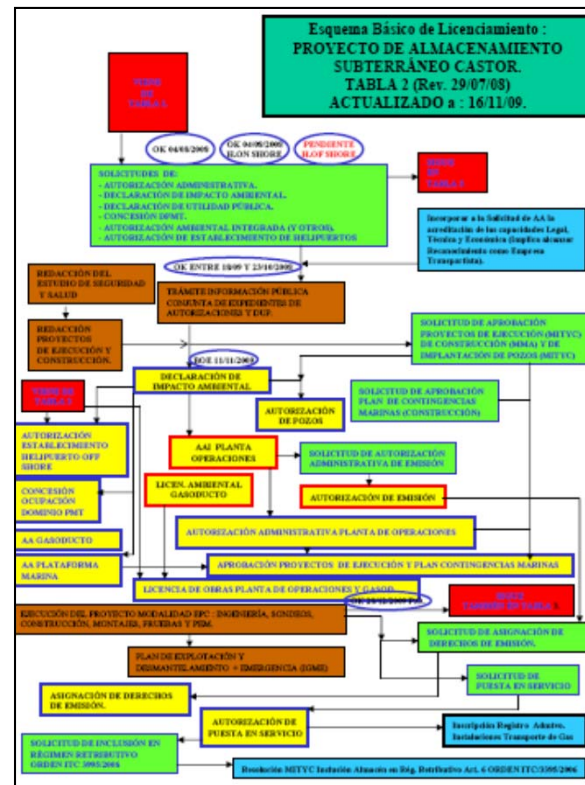
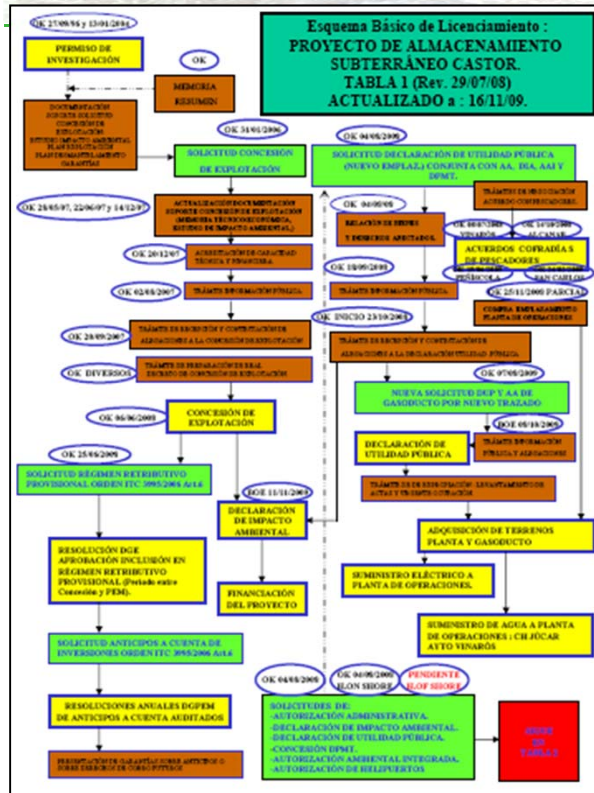
Los almacenamientos subterráneos de gas natural son instalaciones del sistema de transporte gasista y constituyen básicamente elementos de SEGURIDAD de suministro y regulación

Las instalaciones del almacenamiento CASTOR constituyen un sistema cerrado, al estar conectadas mediante gasoducto a la Red Nacional de Transporte de gas

En el caso de CASTOR el almacén se encuentra a 1800 m de profundidad y a 22 km de la costa. La función de la planta de tierra no es almacenar gas sino ser una instalación de paso del gas desde el gasoducto general al almacén subterráneo y viceversa

El gas en todo momento se encuentra en forma gaseosa

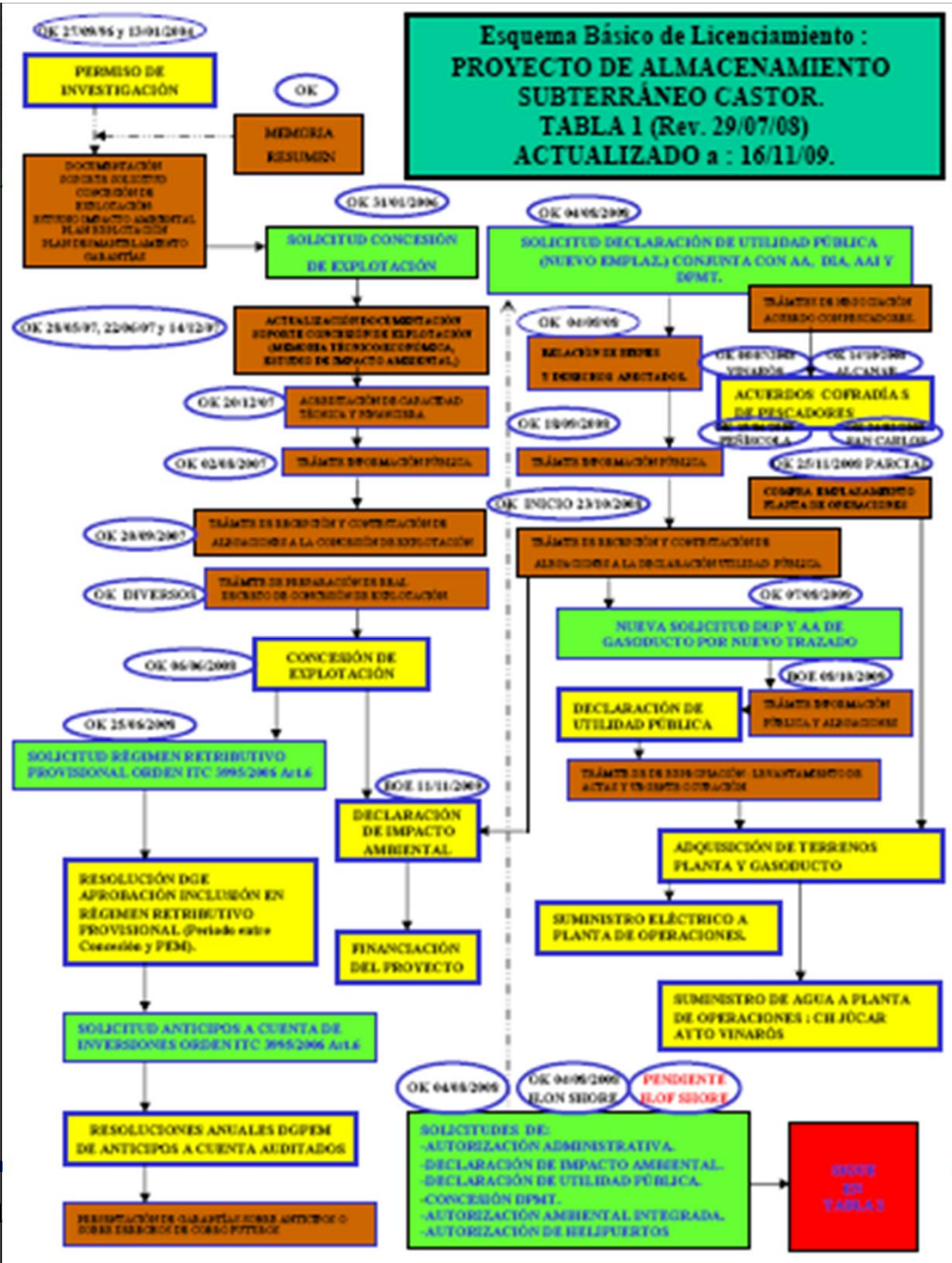
Los más de 600 almacenes subterráneos en el mundo son instalaciones integradas en su entorno (generalmente rural)



# Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



**Esquema Básico de Licenciamiento :  
 PROYECTO DE ALMACENAMIENTO  
 SUBTERRÁNEO CASTOR.  
 TABLA 1 (Rev. 29/07/08)  
 ACTUALIZADO a : 16/11/09.**



Almacena

ESQUEMA EN TABLA 1

# Situación de Castor: Sistema Gasista Español



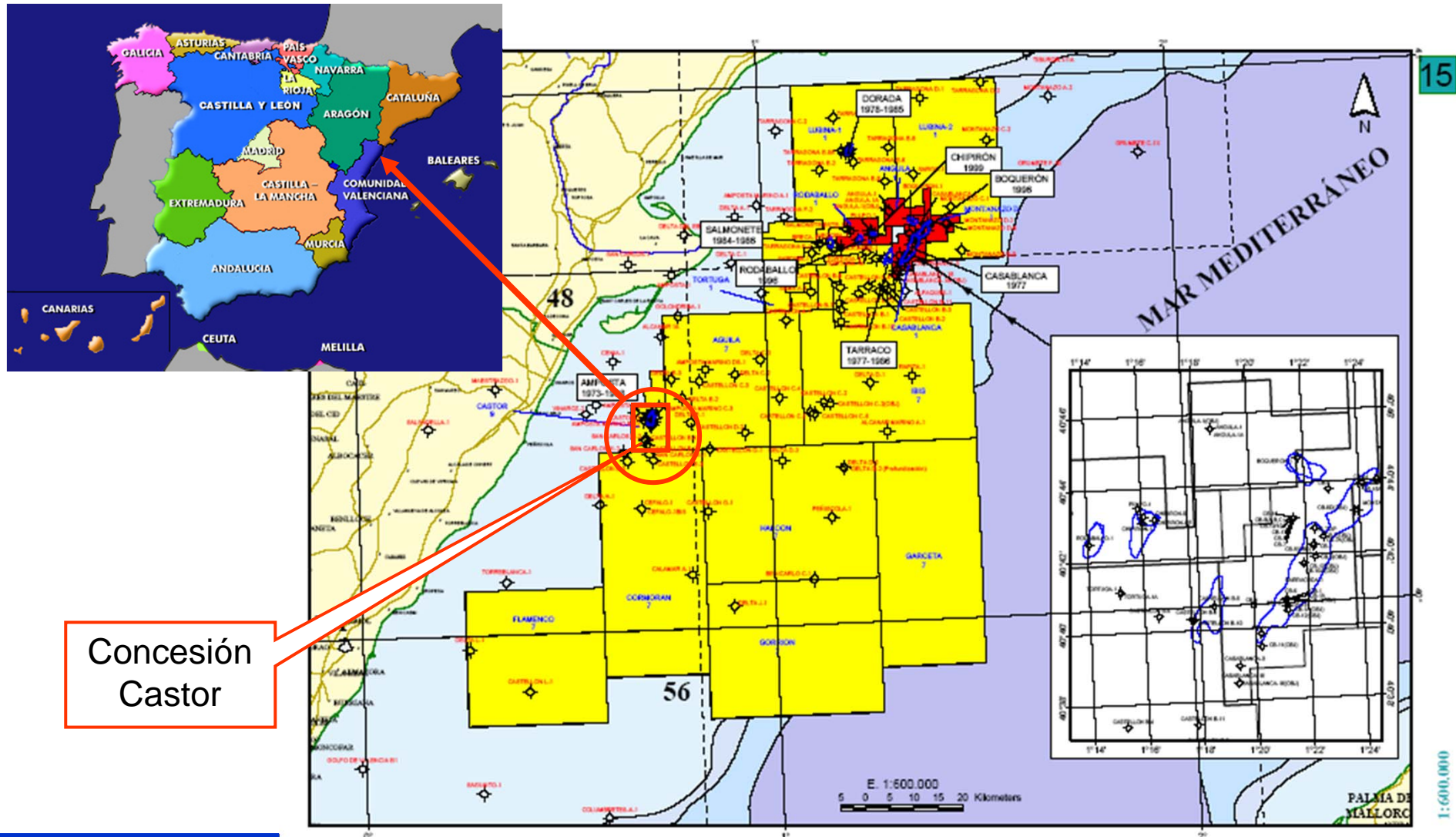
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Proyecto CASTOR



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# CASTOR – Situación de la Concesión



Concesión  
Castor

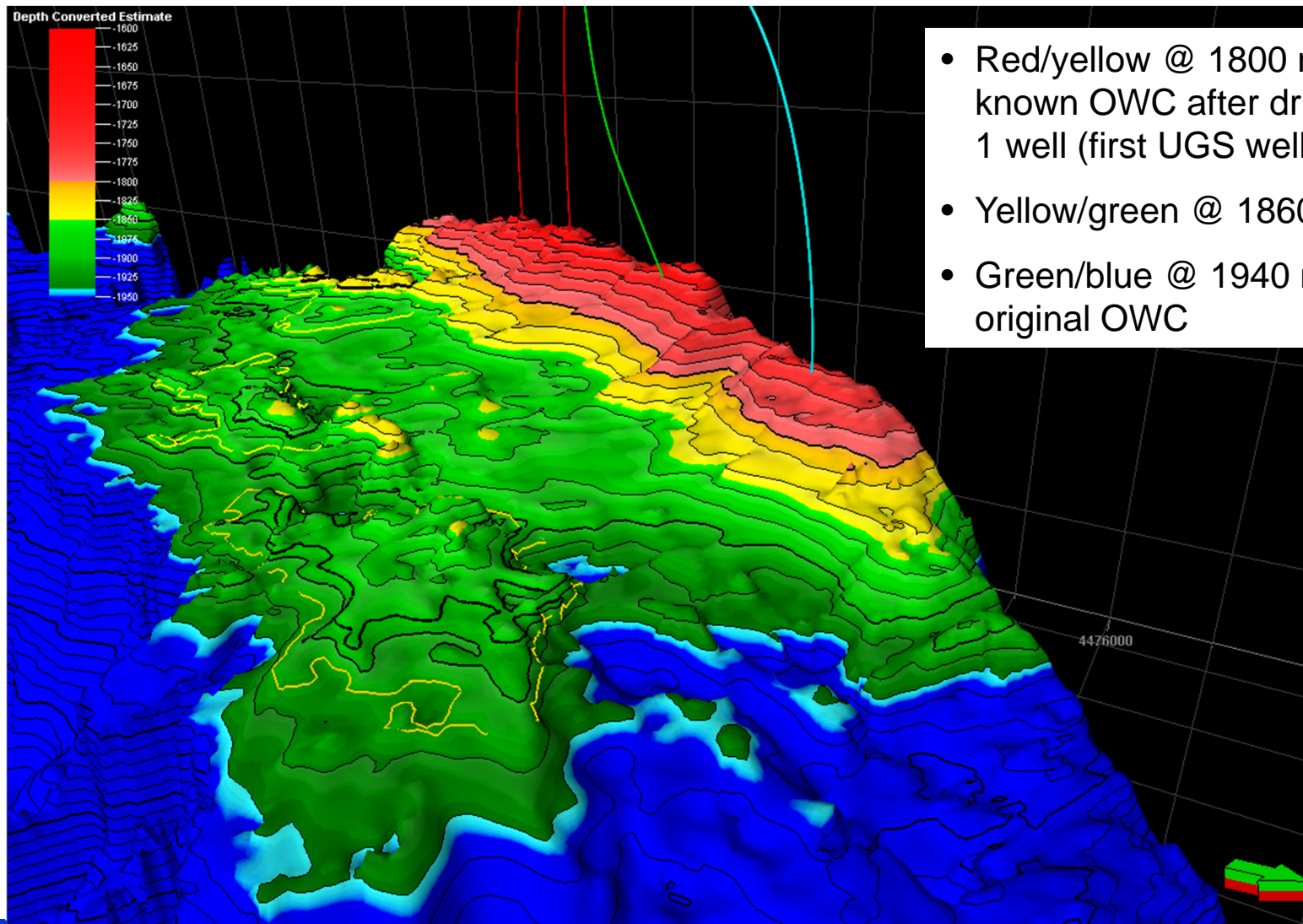
# Análogo Estructura CASTOR



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

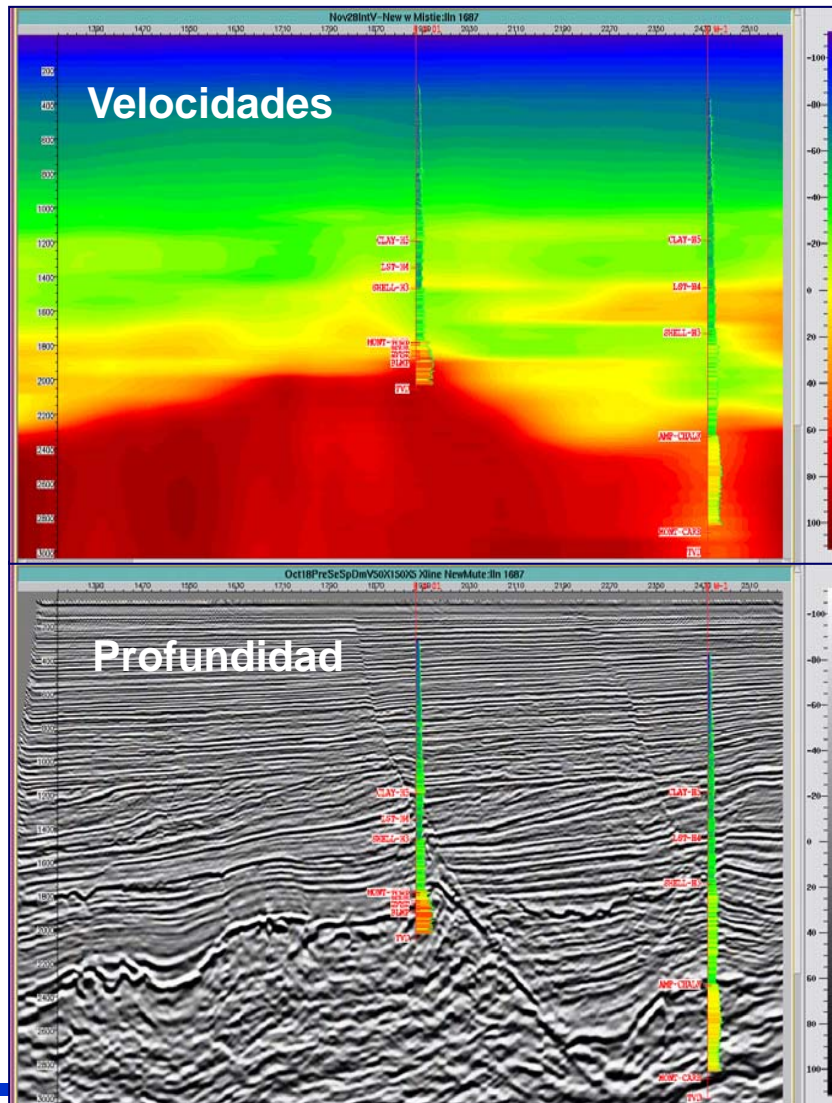


# CASTOR UGS – Imagen del almacén

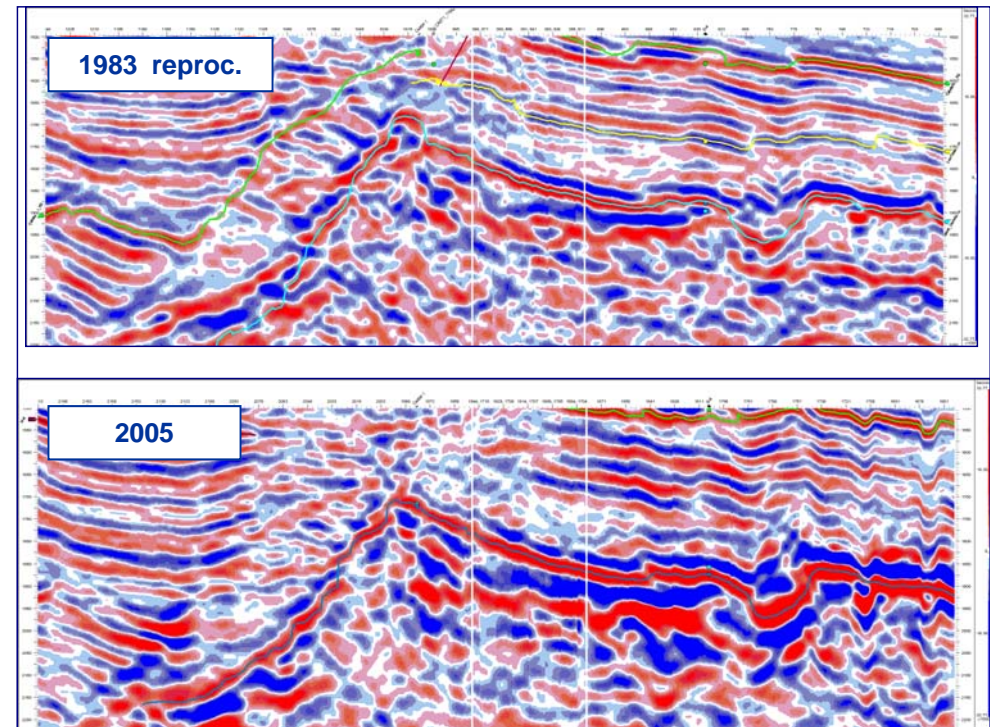


- Red/yellow @ 1800 m (bmsl): known OWC after drilling Castor-1 well (first UGS well)
- Yellow/green @ 1860 m (bmsl)
- Green/blue @ 1940 m (bmsl): original OWC

# Reprocesado Sísmica 3D de 1983

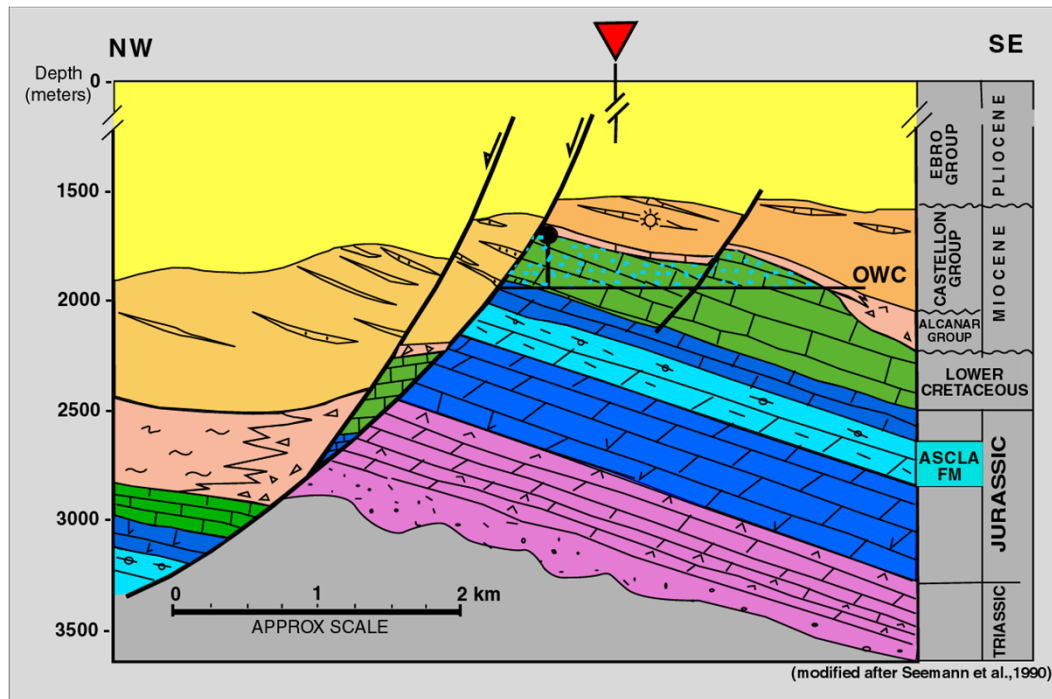


## Sondeo Castor-1



Mejora sustancial de la definición de reflectores en 2005

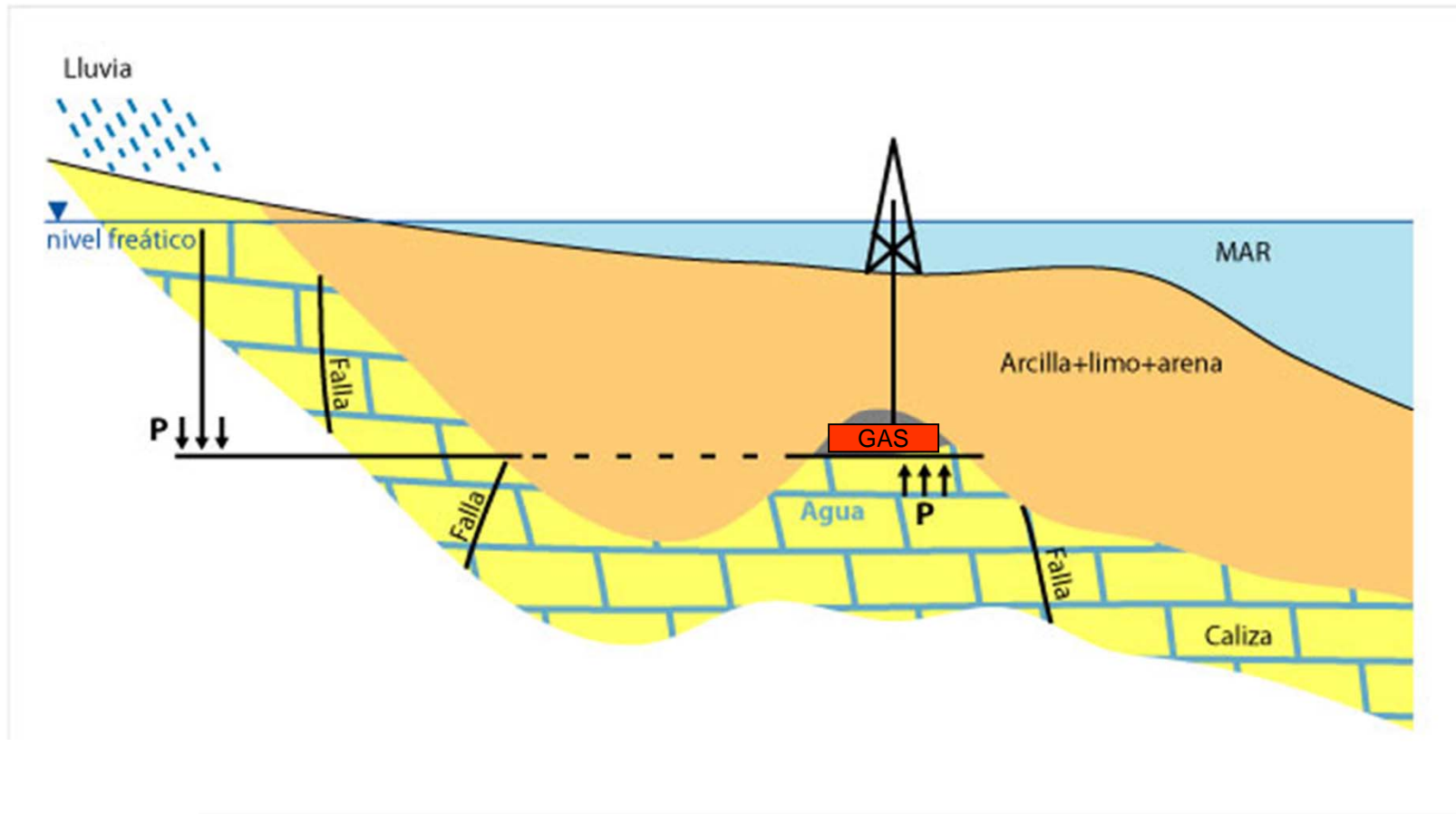
# Estructura Castor



PERIODO O ÉPOCA NORTEAMERICANOS	PERIODO O ÉPOCA EUROPEOS	ESTRATIGRAFIA DE ROCA BLOQUE HORST		DISCORDANCIA PRINCIPAL	LITOLOGIA DOMINANTE BLOQUE HORST
CUATERNARIO	CUATERNARIO	GRUPO EBRO	FORMACIÓN ARENISCA EBRO	DISCORDANCIA INTRA-MESSINIENSE	[Lithology: Yellow, brown, and green layers]
	PLASENCIENSE		FORMACIÓN ARCILLA EBRO		
	ZANCLEIENSE				
MIOCENO	SUPERIOR	GRUPO CASTELLÓN	FORMACIÓN ARENISCA CASTELLÓN	DISCORDANCIA INTRA-MESSINIENSE	[Lithology: Yellow, brown, green, and blue layers]
			FORMACIÓN LUTITA CASTELLÓN		
	MEDIO	GRUPO ALCANAR	SALOU		
			SAN CARLOS		
			CALIZA DE AMPOSTA		
			AUSENTE		
INFERIOR			FM CGL ALCANAR *		
PALEÓGENO	PALEÓGENO				
CRETÁCICO INFERIOR	CRETÁCICO INFERIOR	GRUPO MONTSIÀ			INTERVALO DE ALMACÉN KÁRSTICO DEL CAMPO DE AMPOSTA (VALANGINIENSE-APTIANO)
JURÁSICO	JURÁSICO	GRUPO SALSADELLA			INTERVALO DE ROCA PRODUCTIVA DEL CRUDO DE AMPOSTA
TRIÁSICO	TRIÁSICO	GRUPO TIVISA			
			KEUPER		
			MUSCHELKALK		
PÉRMICO	PÉRMICO		BUNTSANDSTEIN		
PZ	PZ				

EPIGRAFE:

# Yacimiento con empuje de agua

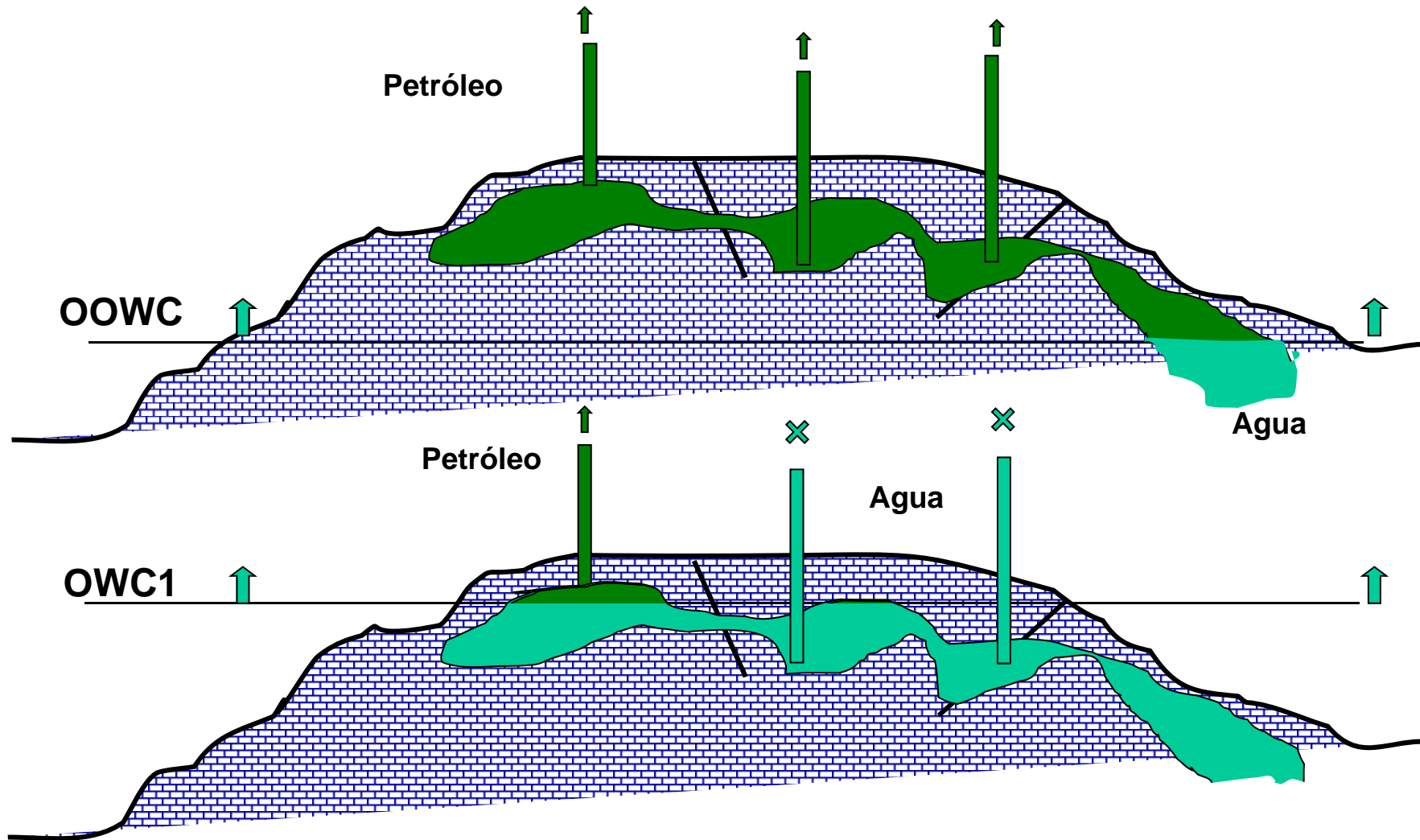


Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



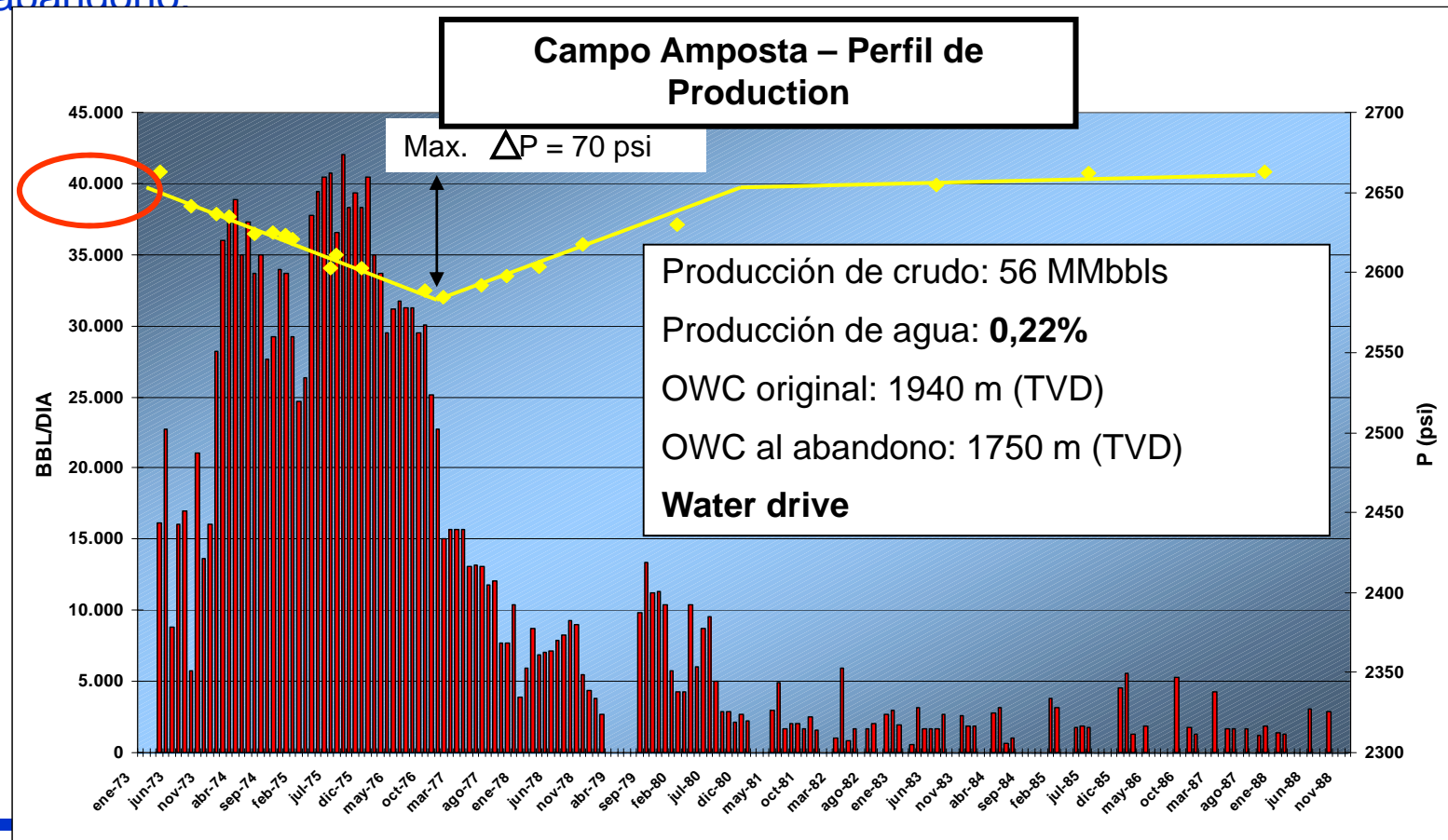
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

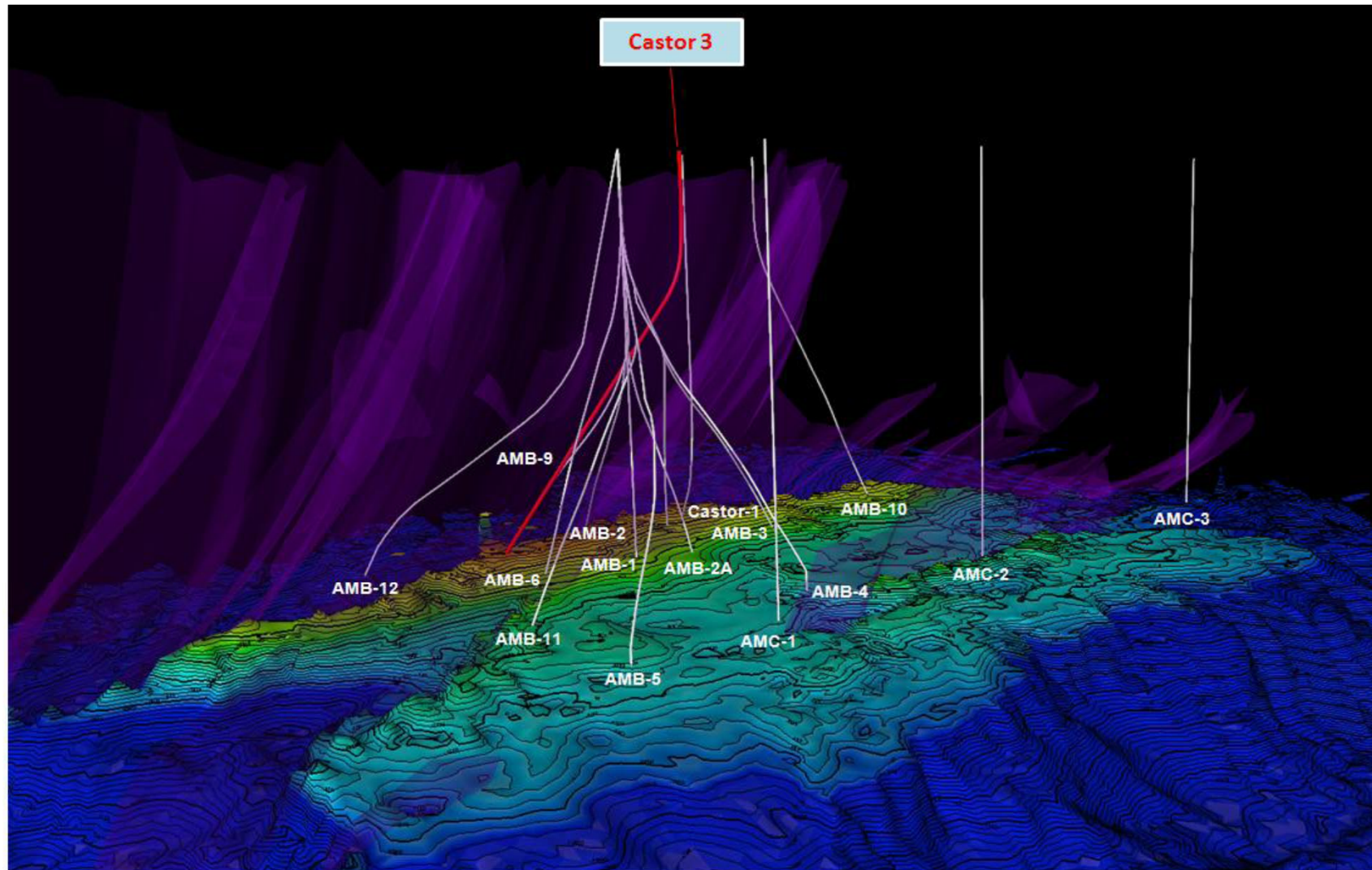
# Mecanismo Producción: campo Amposta



# Historia de Producción: campo Amposta

- El campo, operado por un consorcio liderado por la Shell, produjo **56 Mbbls** de crudo entre 1973 y 1988.
- Se produjo de forma continua hasta 1979 y de forma discontinua hasta el abandono

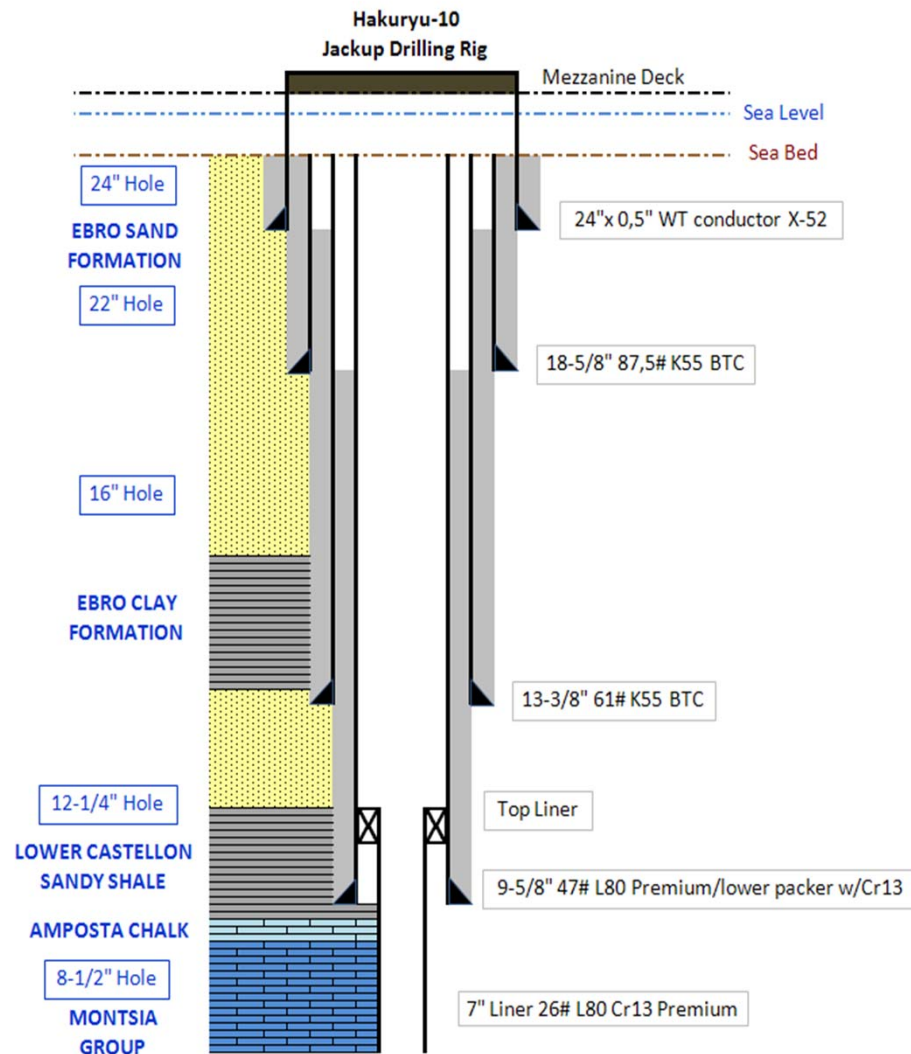




Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



# Well Architecture



## Casing Program:

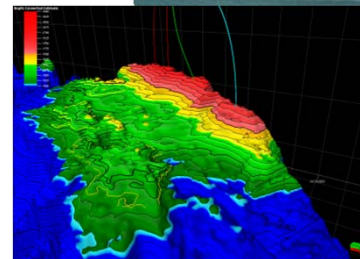
- **24"**: Driven in batch mode
- **18 5/8"/22" OH**: Surface casing to 500 m
- **13 3/8"/16" OH**: Intermediate casing (to cover the Ebro Formation)
- **9 5/8"/12 1/4" OH**: Production casing to cover the seal formation to approx. above the reservoir **CRITICAL**
- **7" liner/8 1/2" OH**: Reservoir section. Slotted liner at bottom, in front of the permeable zones.

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Sondeo Castor-1

## Resultados del sondeo Castor-1:

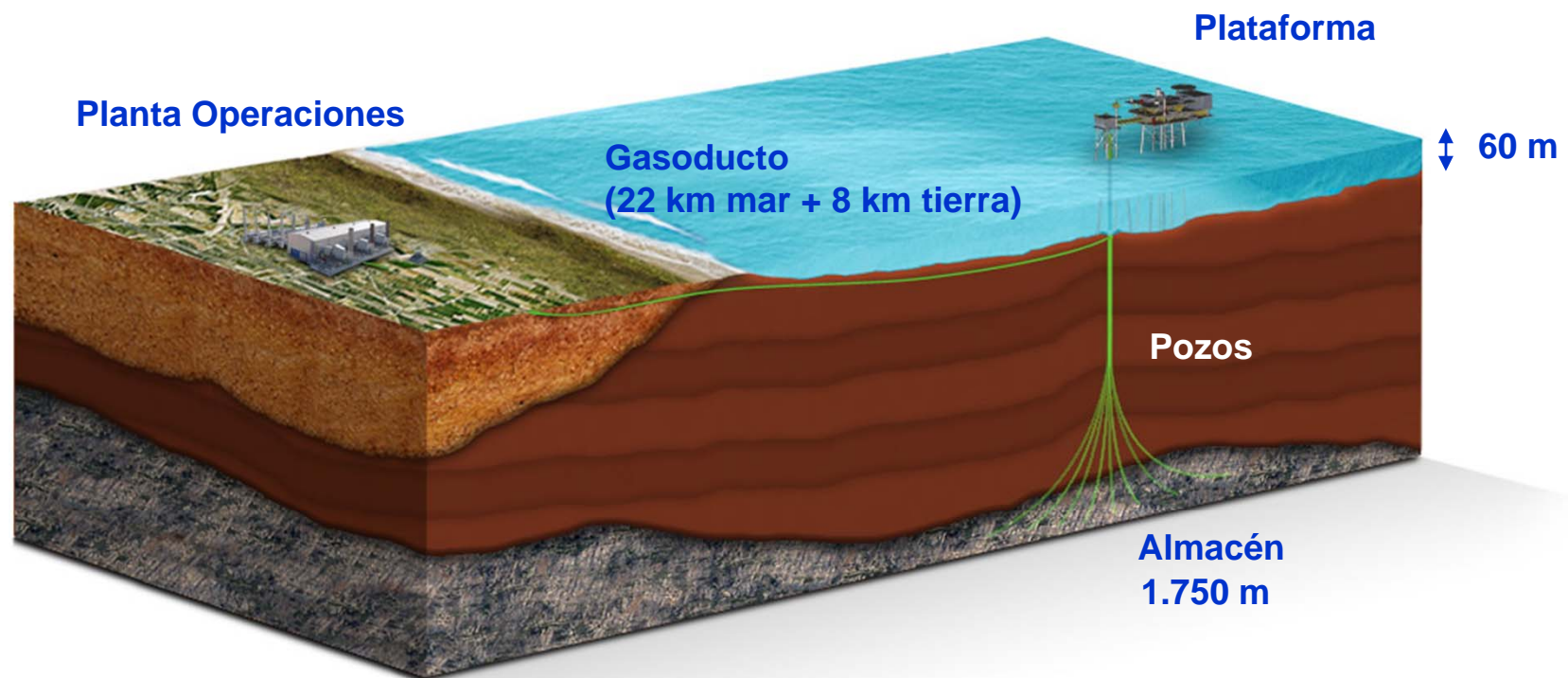
- ✚ Comienzo: 12 de diciembre de 2004
- ✚ Finalización: 24 de enero de 2005
- ✚ Duración: 44 días (incluidas pruebas)
- ✚ Resultados:
  - ✓ Techo almacén : 1715 m TVD (bnm), **7 m** por encima de la posición más alta perforada por la Shell (AMB7)
  - ✓ Columna saturada de petróleo. **Gas natural libre en el techo** de la estructura, entre 1712-15 m (Amposta Chalk)
  - ✓ Se probó el sondeo a un caudal restringido de 2,807 bopd con una **caída de presión de 3 psi y sin agua** (segregación por gravedad)



- ✓ Cavernas **abiertas** (“drilling break”)
- ✓ **Alta movilidad fluidos**: 50.000 m<sup>3</sup> de agua de mar inyectados en 15 días sin presión en cabeza (sin resistencia al desplazamiento dentro de la formación almacén)

# Proyecto CASTOR

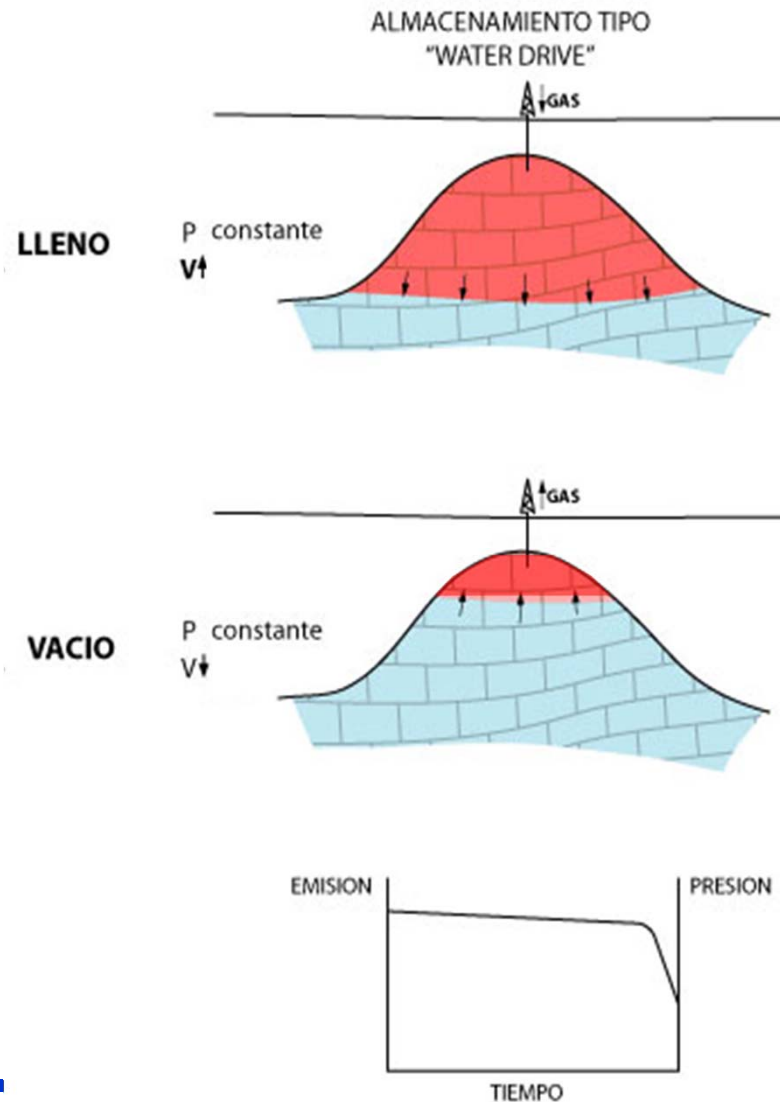
## Esquema general de instalaciones:



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Proyecto CASTOR

- **Almacenamiento subterráneo CASTOR. Características principales:**
  - Gas útil: 1,3 bcm (hasta el contacto original P/A)
  - Gas colchón: 0,6 bcm (hasta el 50% recuperable a caudales menores)
  - Ratio gas de trabajo/gas de colchón: próxima a 2:1
  - Capacidad de extracción: 25 MMm<sup>3</sup>/día x 8 pozos previstos (3 MMm<sup>3</sup>/día x pozo )
  - Capacidad de inyección: 8 MMm<sup>3</sup>/día
- **YACIMIENTO DE PETRÓLEO AGOTADO** (antiguo campo AMPOSTA, explotado por la compañía SHELL en los 70 y 80).
- **OFFSHORE**, situado a 21 km de la costa y con una lámina de agua de 60 m.

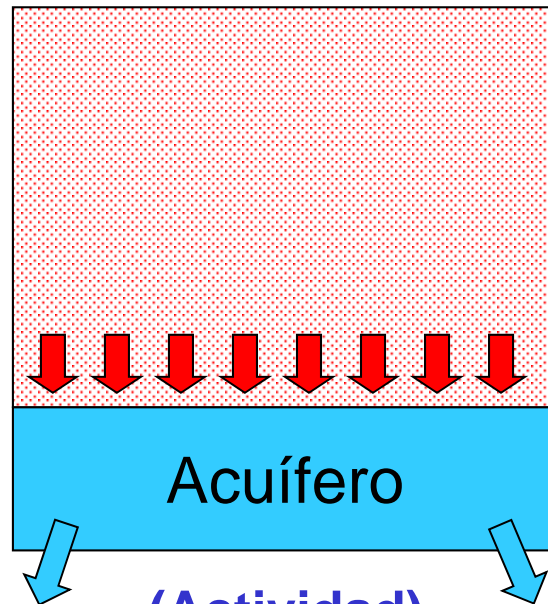


## Conceptos básicos: Almacén "water drive"

- Soportado por el acuífero inferior activo
- Al vaciarse la presión disminuye poco
- Funciona como un "pistón"
- El caudal inicial de extracción se mantiene

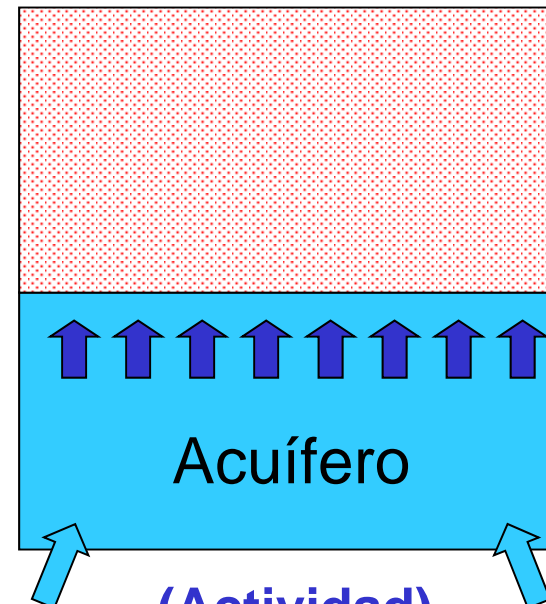
## Actividad del acuífero:

Inyección de gas



(Actividad)

Extracción de gas



(Actividad)

# Proyecto CASTOR

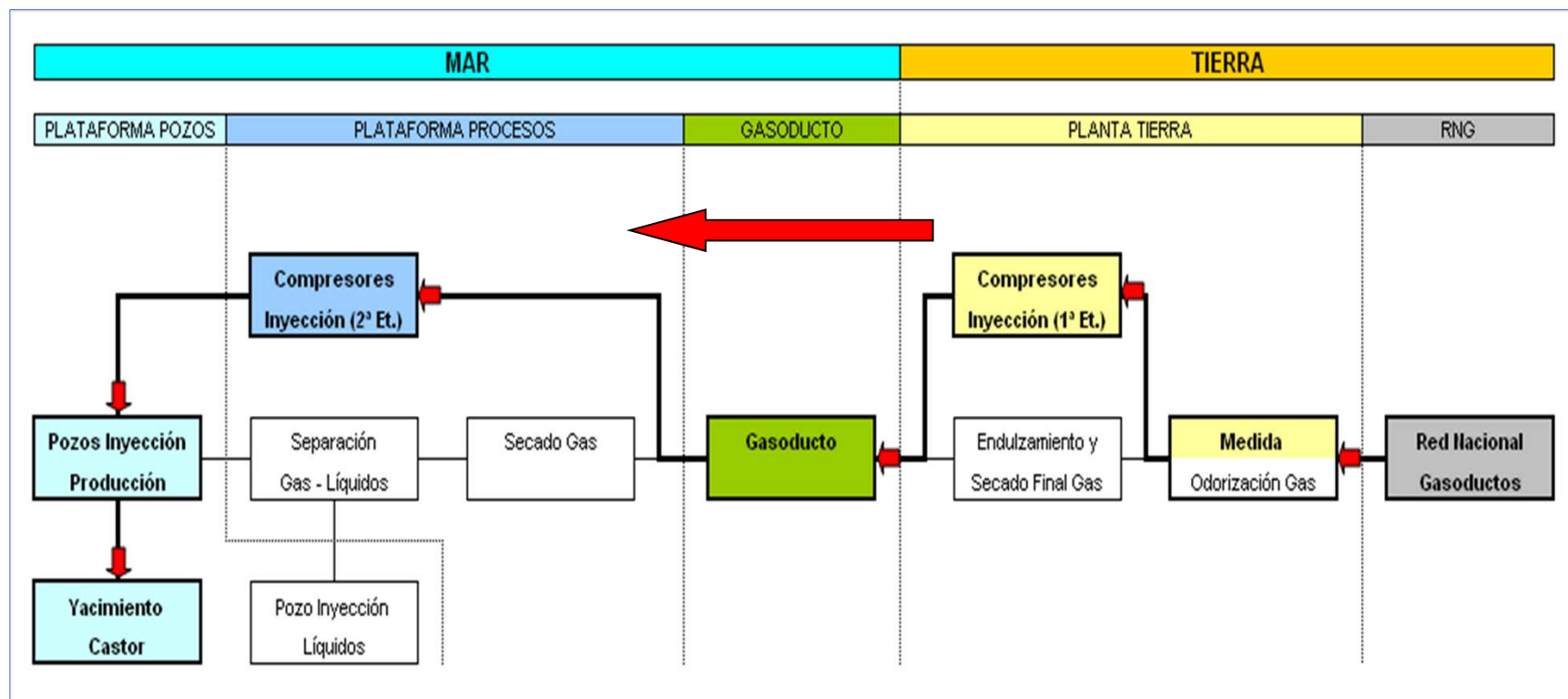
Plataformas en el mar:



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Proyecto CASTOR

Esquema de proceso durante la inyección del gas:

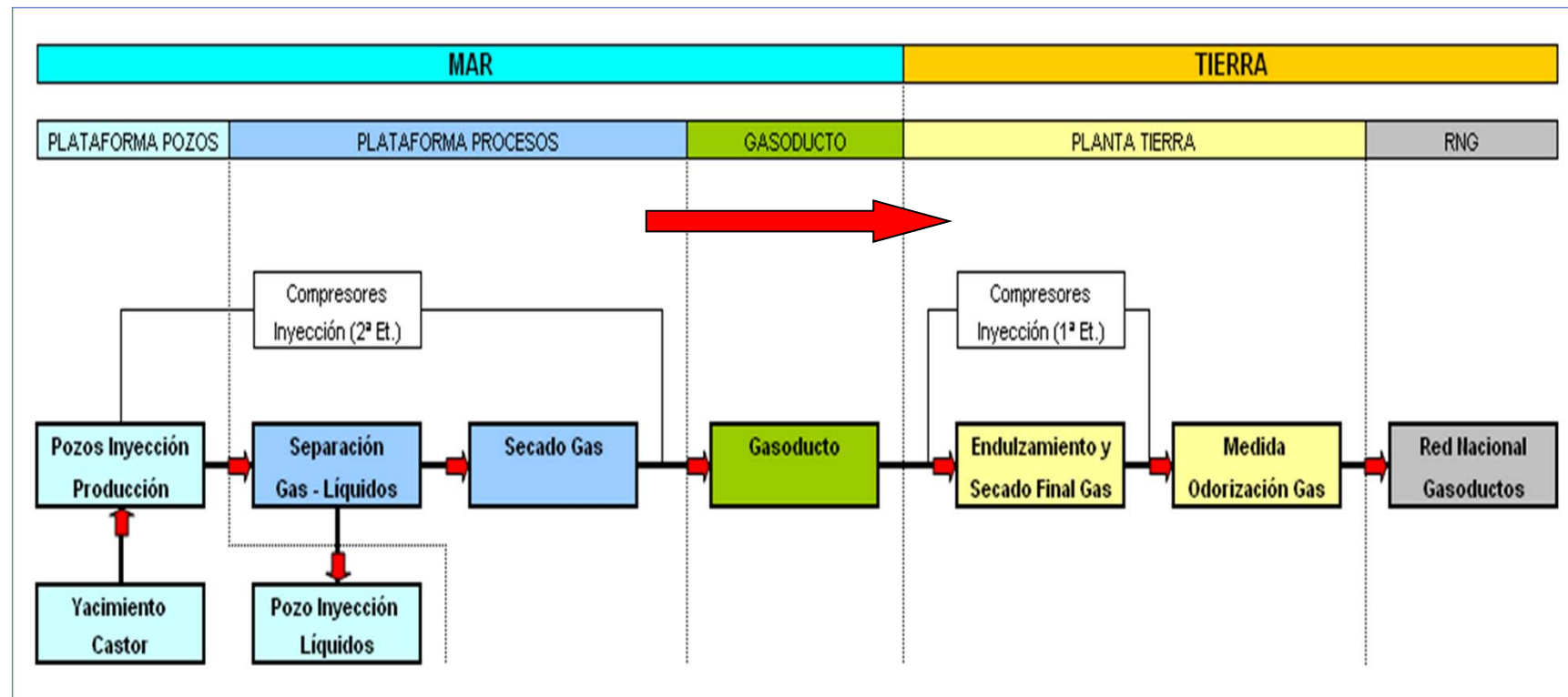


Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



# Proyecto CASTOR

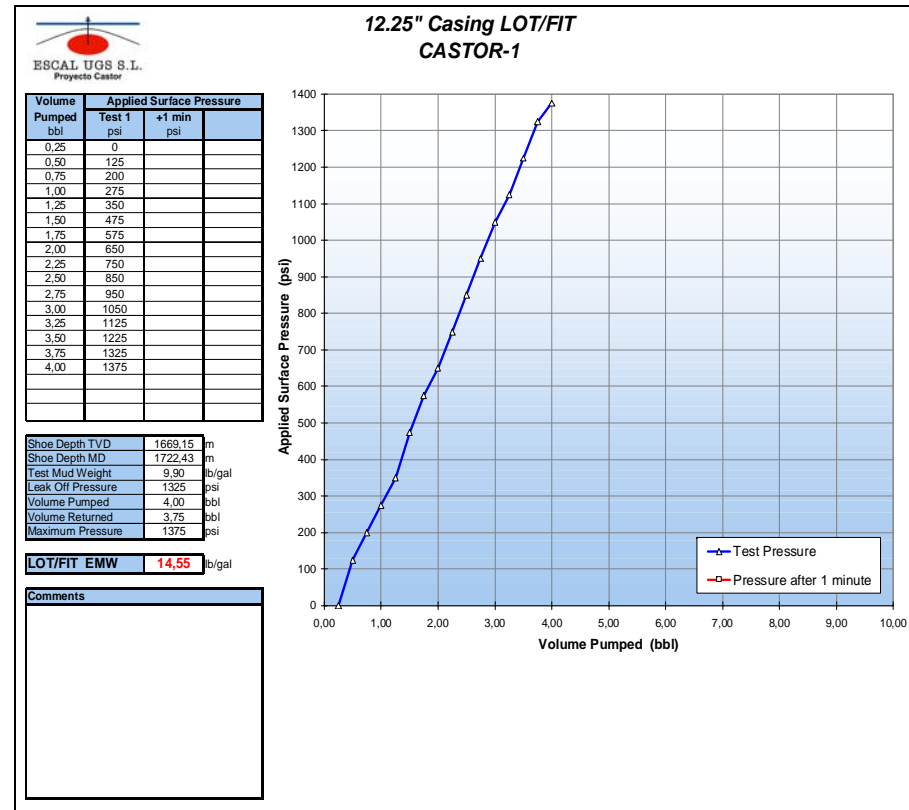
Esquema de proceso durante la extracción del gas:



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Sellos Críticos – Test de Fugas (LOT)

Sondeo	Techo Mesozoico (m)	LOT		
		Profundidad (m)	Presión máxima (bar)	Resultado
1 Alcanar Marino A-1	3536	3430	620	NF
2 Alfaques-1	2879	2802	411	NF
3 Barcelona B-1	2780	2450		NF
4 Barcelona Marino A-1	2357	2135	236	NF
5 Barcelona Marino D-1	1169	983	180	NF
6 Cabriel B-2A	2246	2190	260	NF
7 Calella Marina B-1A	1573	1565	211	NF
8 Céfaló 1-bis	3336	3156		NF
9 Delta D-1	3029	2735	440	NF
10 Delta D-3	3321	3230		NF
11 Delta E-1	2796	2616	379	NF
12 Delta E-2	2440	2444	367	FP
13 Delta E-3	2403	2422	378	F
14 Golfo de Valencia D-1	2771	1829	296	NF
15 Grumete C-1X	2438	2286	322	NF
16 Grumete F-1X	2504	2492	328	NF
17 Ibiza Marino AN-1	2373	2003	280	NF
18 Montanazo A-1	2334	1440	211	NF
19 Montanazo A-2	3126	1792	289	NF
20 Montanazo C-2	2666	2566	377	NF
21 Peñíscola-1	3420	3385	497	NF
22 Pulpo-1	3423	3103	528	NF
23 Rosas 3-1	1363	960	130	F
24 Rosas 3-2	2817	1282	238	NF
25 Rosas 3-3	2112	1156	162	NF
26 Rosas 3-3	2112	1160	177	NF
27 Salmonete 1A	3833	3767	596	NF
28 San Carlos III-2	2902	2568	314	NF
29 San Carlos III-3	1820	1468	265	NF
30 Sargo-1	3424	3415	501	NF
31 Tarragona B-1	1512	1378	210	NF
32 Tarragona C-1	1044	1034	142	NF
33 Tarragona C-2	852	865	142	NF
34 Tarragona D-2	1550	1142	168	NF
35 Tarragona E-8	2443	2283	467	F
36 Tarragona F-2	3392	3144	598	NF
37 Tiburón 1/1A	1578	1087	160	NF
38 Torreblanca-1	1726	1720	246	NF
39 Torreblanca-1	1726	1723	235	NF
40 Valencia 3-1	1207	1041	165	NF
41 Castor-1	1746	1670	291	NF

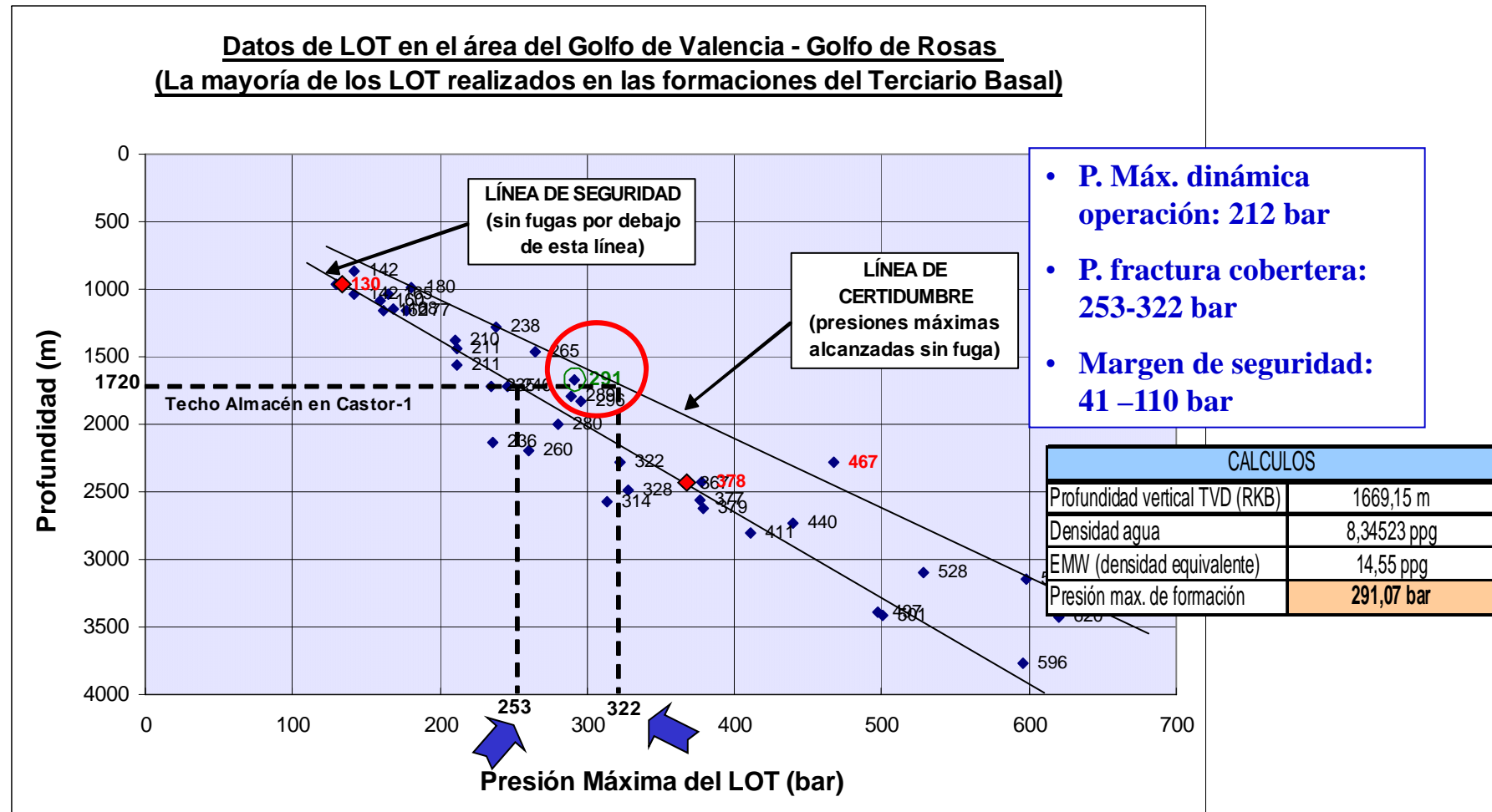


CALCULOS	
Profundidad vertical TVD (RKB)	1669,15 m
Densidad agua	8,34523 ppg
EMW (densidad equivalente)	14,55 ppg
Presión max. de formación	291,07 bar

Algunos de los LOT con fugas fueron realizados dentro del almacén (Delta E-2 y Delta E-3)

# Sellos Críticos – Test de Fugas (LOT)

## Resultados del sondeo Castor-1: Test de fugas en la cobertera



# Resultados estudio geomecánico

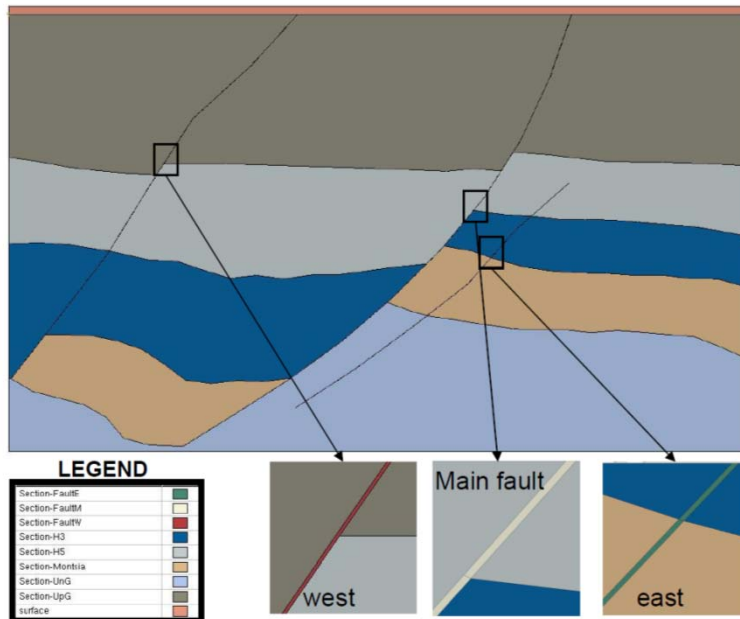


Fig. 11: Sections of AMPOSTA model

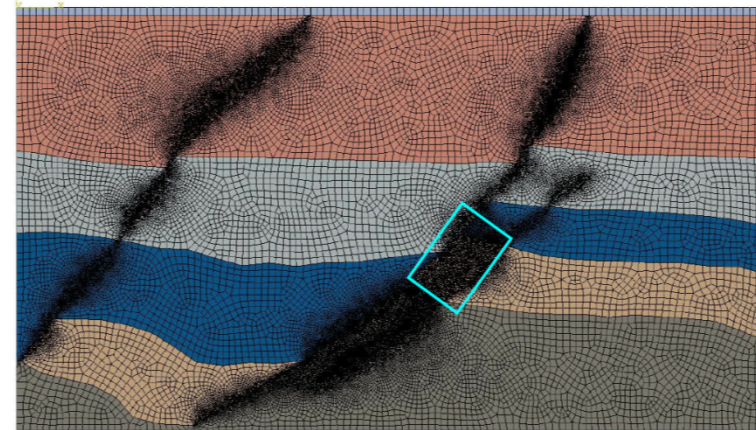


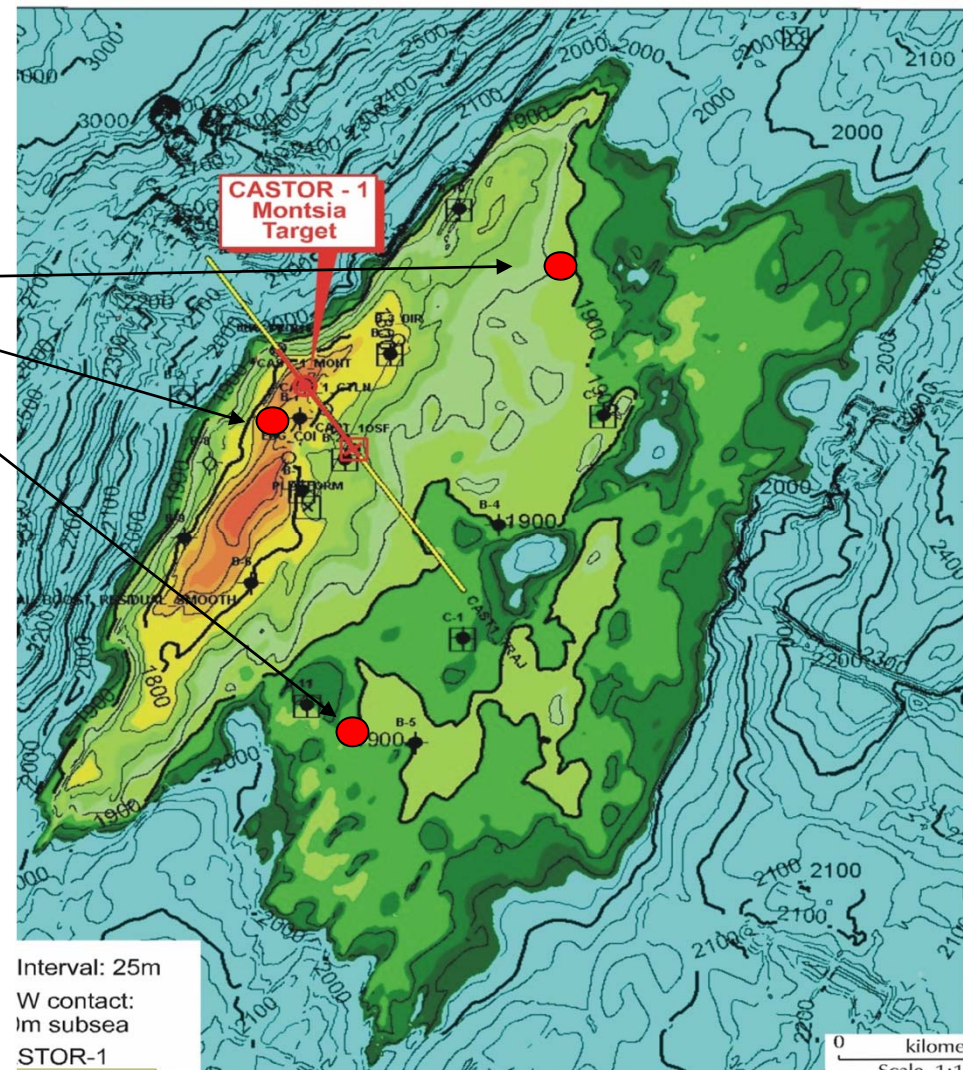
Fig. 13 Meshed geometry of the geomechanical model; the injection zone is identified with the blue box.

The simulations show that the pore pressure in the reservoir could be increased up to 22.9 MPa (180+49 = 229 bar) without reactivating any faults. This approach is probably conservative because the assumptions are penalizing.

De acuerdo a los modelos realizados, la presión de poro en el almacén podría incrementarse hasta los 229 bar (**49 bar por encima de la presión inicial**) sin reactivar ninguna falla.

# Proyecto CASTOR

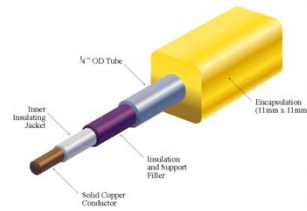
Pozos de monitorización en almacén



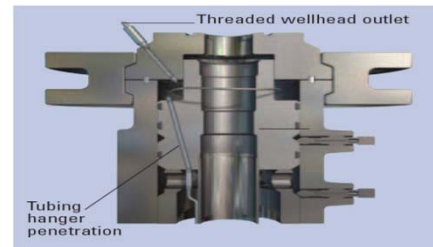
# Sondeos de observación. Instrumentación



Medidores de P y T<sup>a</sup>:  
intermedio y final



Cable: protección y  
refuerzo

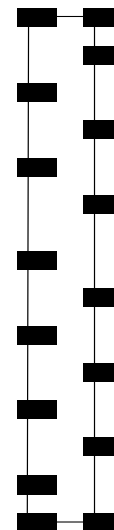


Salidas en al Árbol de Navidad



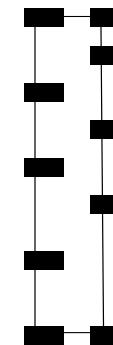
POB

16 gauges  
(2x8)



OBN, OBS

10 gauges  
(2x5)



Portacable e  
instrumentación  
(doble e individual)

Distribución medidores P  
y T<sup>a</sup>

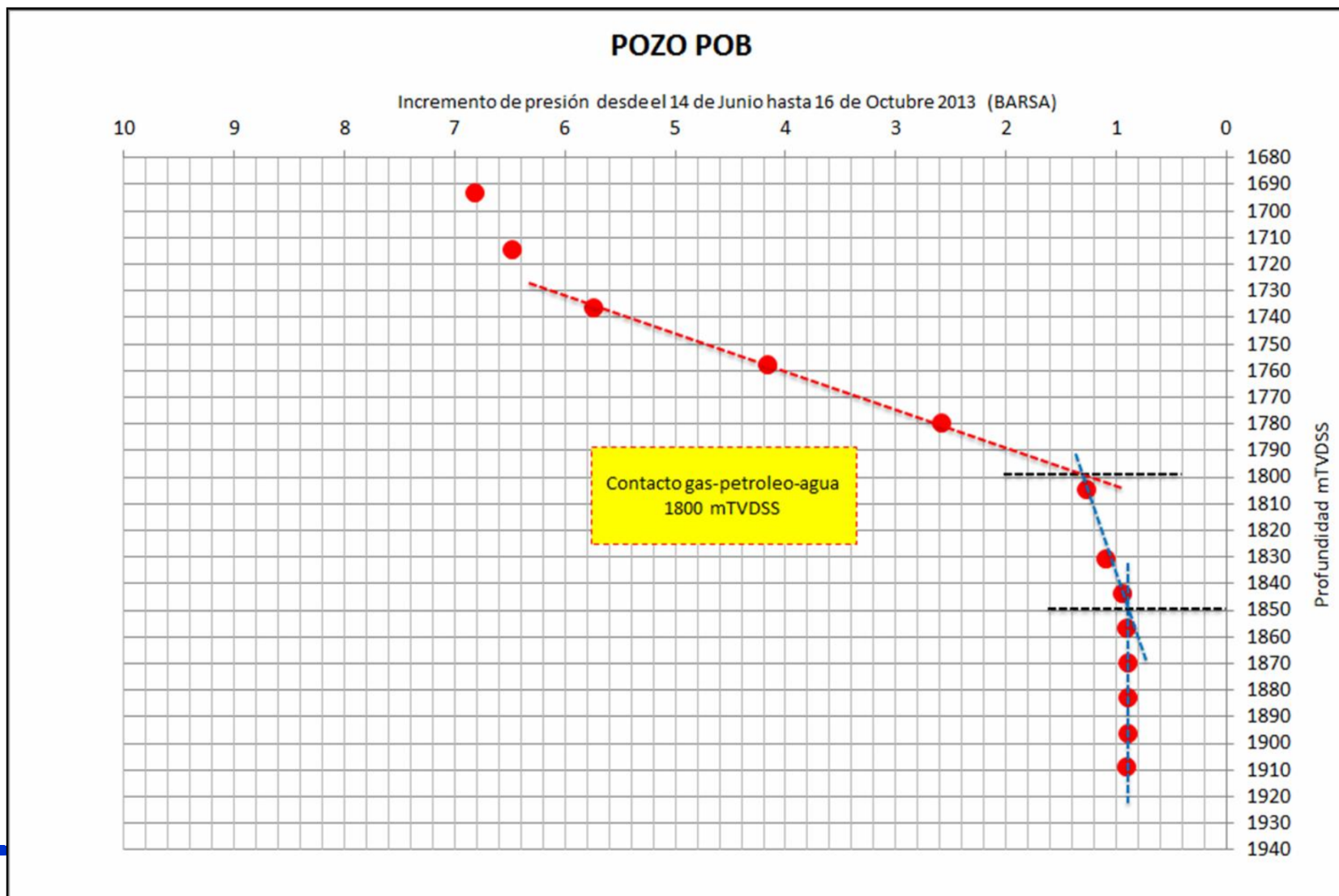


Salidas gráficas, pantallas monitores

## Sistema de monitorización permanente de P y T<sup>a</sup> SureSENS175

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Contacto gas/líquido

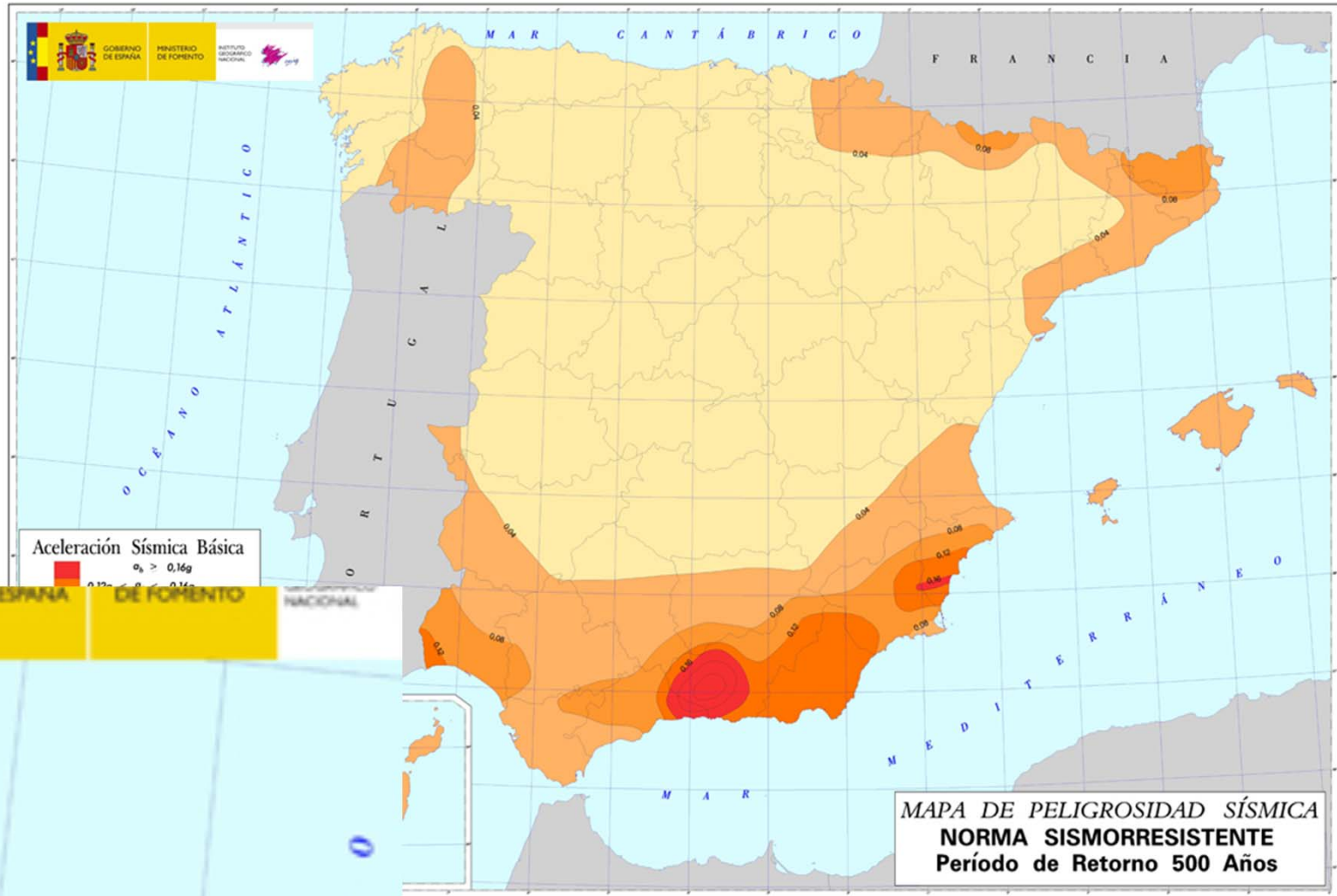


1. El desplazamiento del agua por el gas no requiere apenas sobrepresión
2. La sobrepresión (con respecto a la presión hidrostática) a techo del almacén es únicamente debida a la diferencia de densidades de fluidos
3. Tras los sismos registrados, y dado que se monitoriza continuamente el nivel de llenado, NO hay fuga de gas



## 2. Sismicidad

# Mapas de peligrosidad sísmica



de Gas Natural

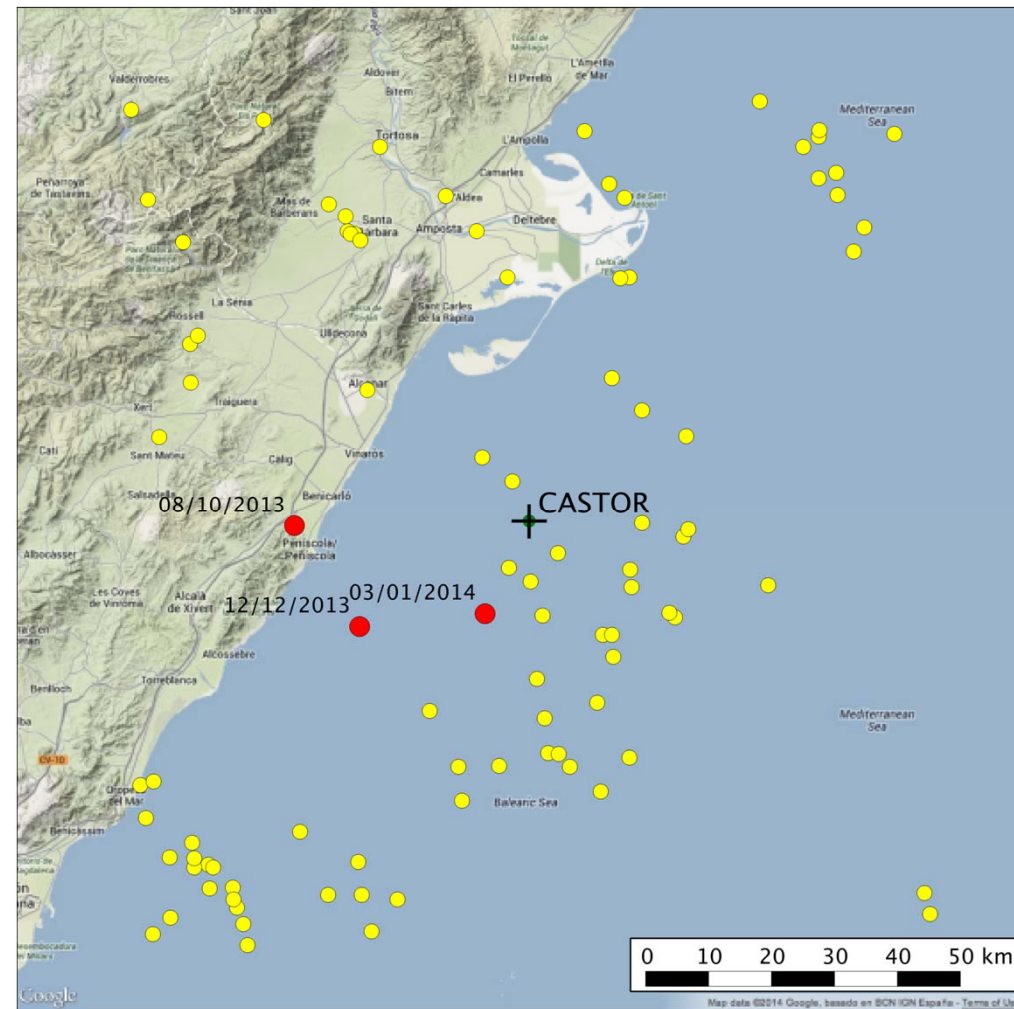
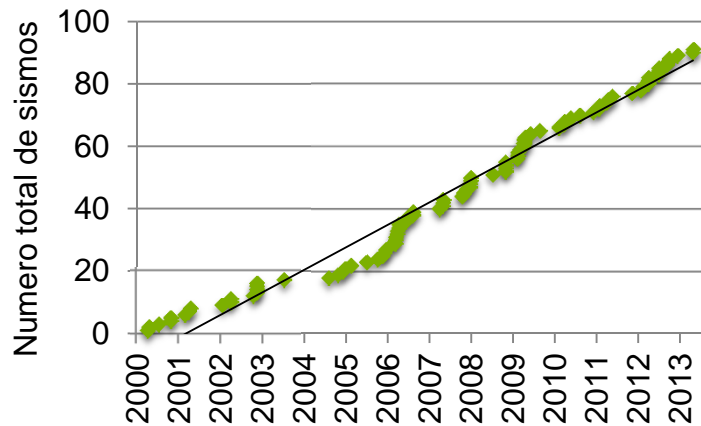


Evento	Fecha	Hora (GMT)*	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Mag.	Tipo Mag. (**)	Int. Máx.	Localización	Info
1243873	31/10/2013	13:49:44	38.0260	-3.2643	4	3.1	mbLg	II	SE TORREPEROGIL.J	+ info
1243602	30/10/2013	07:13:35	37.4300	-5.7178	16	3.4	mbLg	III	N EL VISO DEL ALCOR.SE	+ info
1243560	29/10/2013	22:44:48	42.3215	-8.4837	11	2.8	mbLg	III	SW A IGREXA.PO	+ info
1243488	29/10/2013	11:42:03	37.5785	-1.7399	6	2.7	mbLg	III	E PUERTO LUMBRERAS.MU	+ info
1243402	29/10/2013	03:57:29	38.0419	-3.2570	3	1.7	mbLg	II	E TORREPEROGIL.J	+ info
1243395	29/10/2013	01:19:18	38.0502	-3.2742	7	2.2	mbLg	II-III	NE TORREPEROGIL.J	+ info
1243389	28/10/2013	23:32:58	38.0374	-3.2700	3	2.2	mbLg	III	E TORREPEROGIL.J	+ info
1243369	28/10/2013	18:37:17	27.7277	-18.0249	13	2.5	mbLg	II	SW FRONTERA.IHI	+ info
1243240	27/10/2013	22:25:59	38.0324	-3.2670	5	1.8	mbLg	I-II	E TORREPEROGIL.J	+ info
1243175	26/10/2013	23:42:50	38.1883	-1.0928	7	2.4	mbLg	III	E FORTUNA.MU	+ info
1243152	26/10/2013	18:09:46	27.7223	-18.0166	11	2.4	mbLg	II-III	NW EL PINAR.IHI	+ info
1243135	26/10/2013	11:42:45	42.2978	-8.4681	2	2.3	mbLg	II	SW A IGREXA.PO	+ info
1242741	23/10/2013	15:01:28	38.0888	-1.1550	7	2.1	mbLg	III	NE MOLINA DE SEGURA.MU	+ info
1242609	23/10/2013	09:04:56	42.8786	-1.5632		3.0	mbLg	III	E OLAVE.NA	+ info
1242569	23/10/2013	04:43:15	37.6175	-1.7258	5	2.6	mbLg	III	SW LORCA.MU	+ info
1242405	22/10/2013	10:38:37	38.0375	-3.2652	3	2.1	mbLg	III	E TORREPEROGIL.J	+ info
1242398	22/10/2013	10:03:29	38.0477	-3.2664	1	1.6	mbLg	II	NE TORREPEROGIL.J	+ info
1242353	22/10/2013	06:39:30	37.8915	-5.0446	11	2.6	mbLg	III	NW ALMODÓVAR DEL RÍO.CO	+ info
1242199	21/10/2013	07:48:23	37.9485	-0.7562	8	2.4	mbLg	II-III	SE SAN MIGUEL DE SALINAS.A	+ info
1242081	20/10/2013	17:19:59	38.0332	-3.2686	4	2.4	mbLg	II	E TORREPEROGIL.J	+ info
1242032	20/10/2013	00:35:08	42.3189	-8.5062	14	2.6	mbLg	III	NE PAZOS.PO	+ info
1241945	19/10/2013	17:31:54	38.0204	-3.2580	3	3.1	Mw	III	SE TORREPEROGIL.J	+ info
1241908	19/10/2013	16:02:13	38.0367	-3.2508	3	2.5	mbLg	II	E TORREPEROGIL.J	+ info
1241898	19/10/2013	15:57:41	38.0432	-3.2433	3	2.2	mbLg	II	E TORREPEROGIL.J	+ info
1241878	19/10/2013	15:54:21	38.0244	-3.2639	3	3.6	mbLg	IV	SE TORREPEROGIL.J	+ info
1241841	19/10/2013	11:29:12	27.7238	-18.0116	9	2.2	mbLg	II	NW EL PINAR.IHI	+ info
1241760	18/10/2013	21:26:30	38.4231	-4.8703	10	1.7	mbLg	II	NE AÑORA.CO	+ info
1241609	18/10/2013	02:33:02	43.0312	-1.4274		2.5	mbLg	II	NW AURITZ/BURGUETE.NA	+ info
1241281	16/10/2013	16:37:12	38.0547	-3.2734	3	2.2	mbLg	II	NE TORREPEROGIL.J	+ info

## Sismos sentidos en España en los últimos 15 días

# Sismicidad histórica

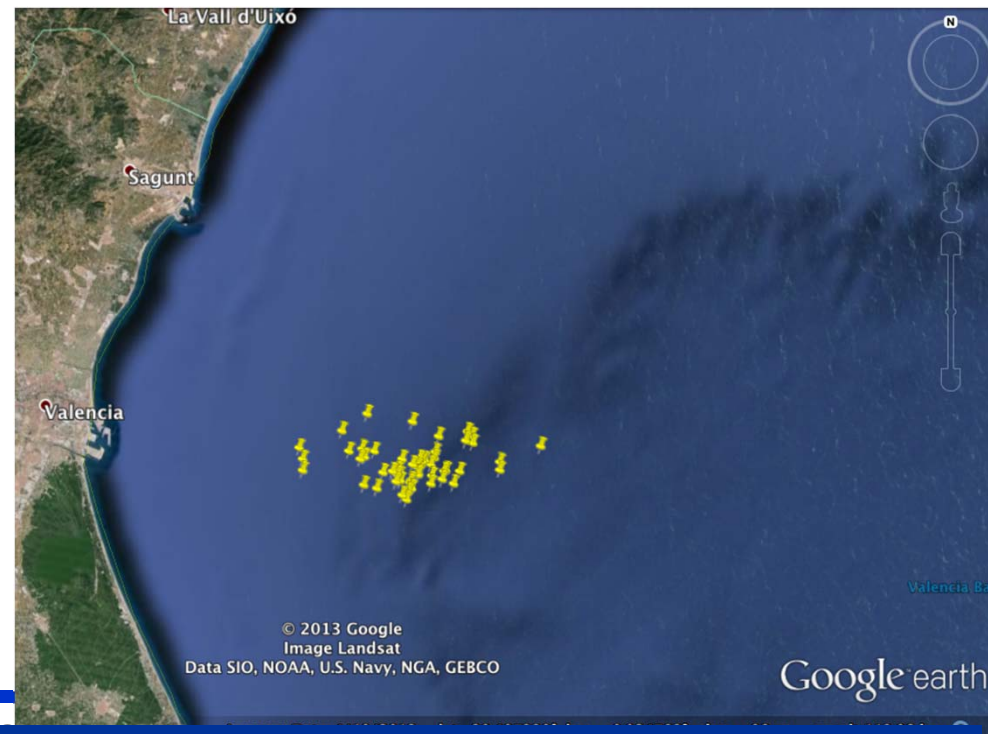
- Un área de 100 x 100 km centrado en Castor
- Hay 7.2 sismos al año



## Secuencia de main-shocks (Valencia)

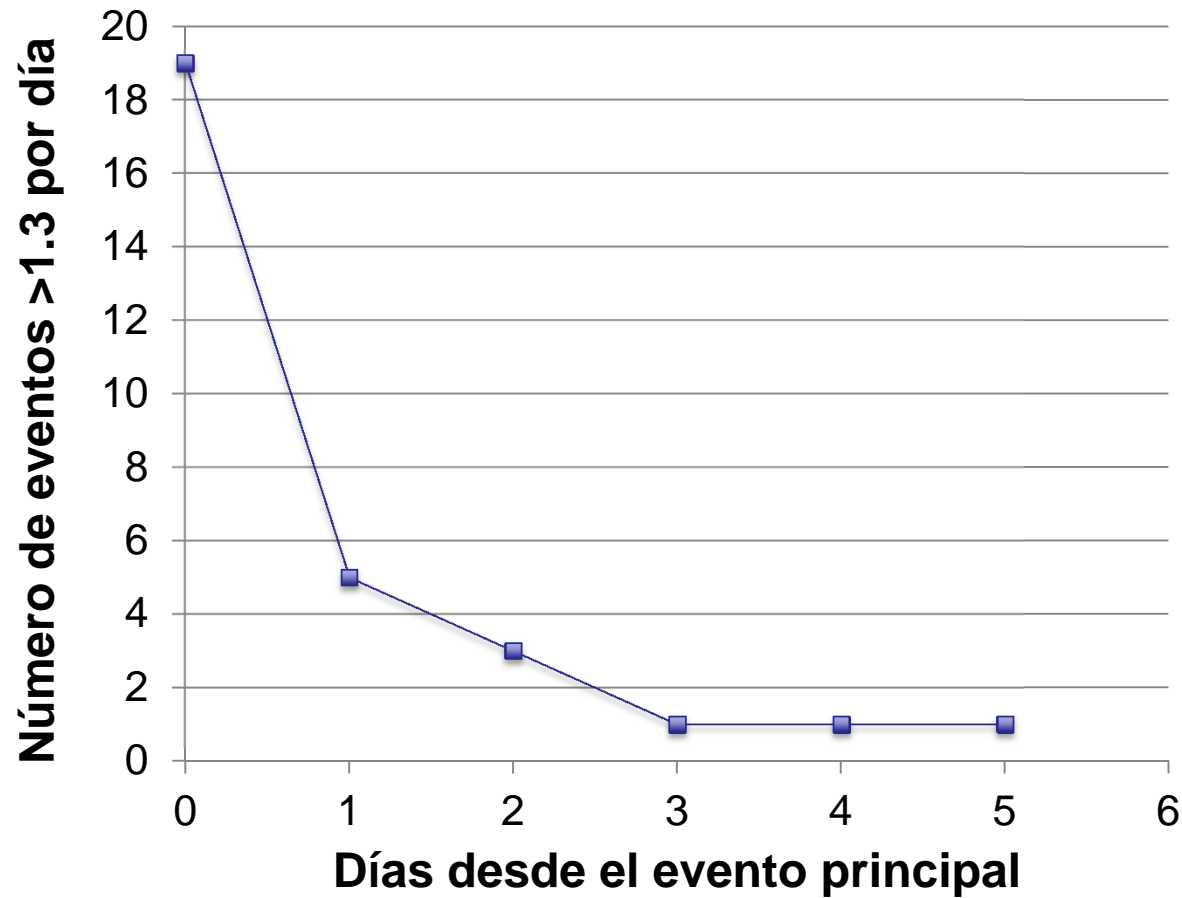
- 21 de septiembre de **2003** frente a Valencia
- Dos eventos M 4.3 y M 4.2 en media hora
- Intensidad máxima:

IV



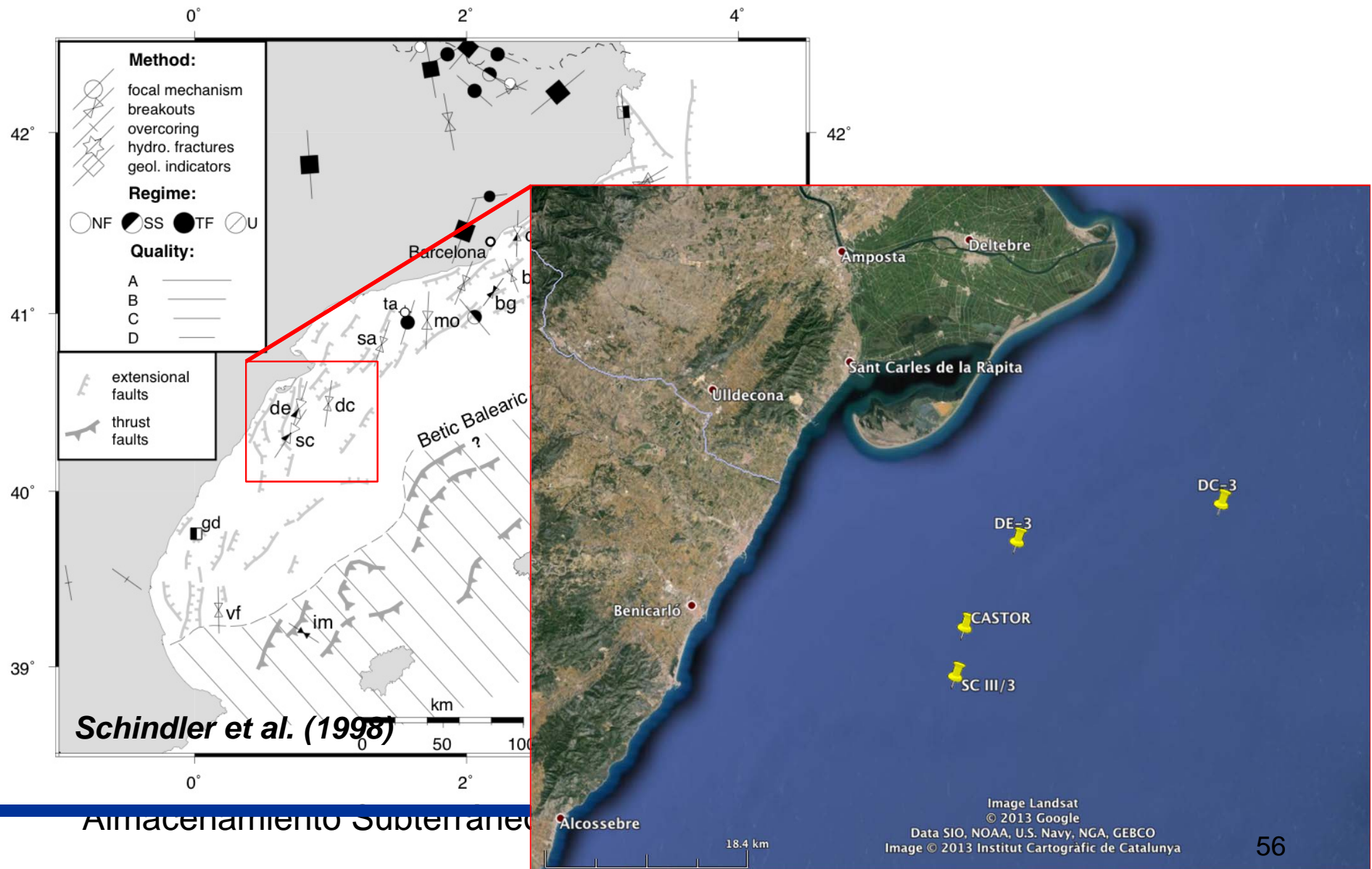
# Secuencia de Valencia 2003

*Secuencia main shock - aftershocks*



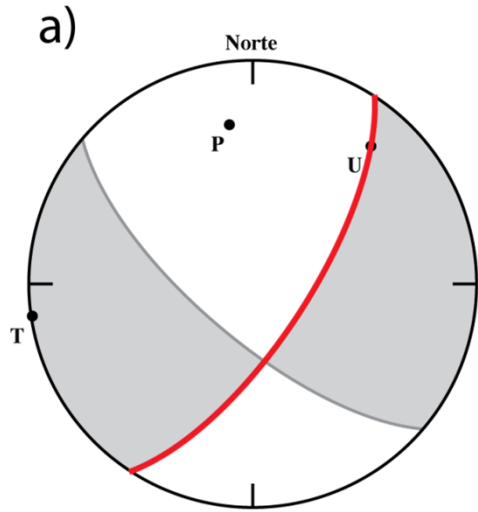
- 516 eventos entre el 5 de septiembre y el 23 de octubre
- La sismicidad comienza tras el inicio de la inyección de gas en el almacén
- Magnitud máxima de los eventos:  $M_w$  4.2
- Intensidad máxima: III

# Campo de esfuerzos

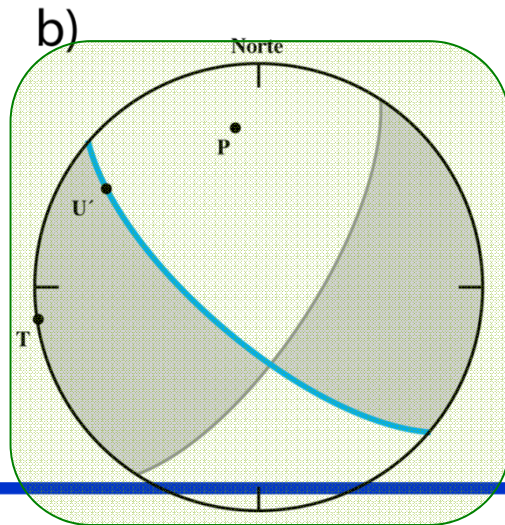




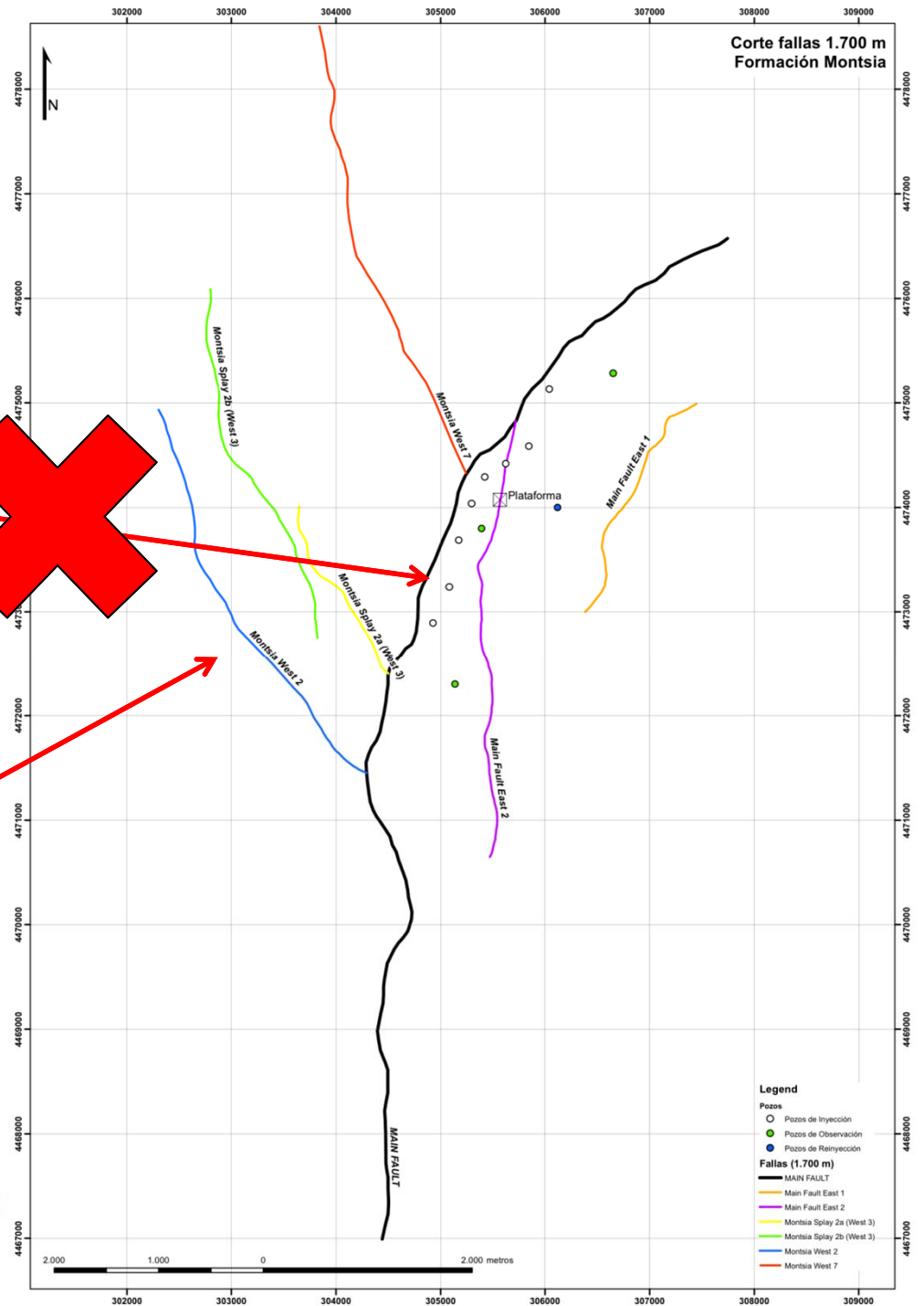
# Mecanismos focales



Solución sistema (i)  
Plano de falla: azimut 33, buzamiento 70, rake -21

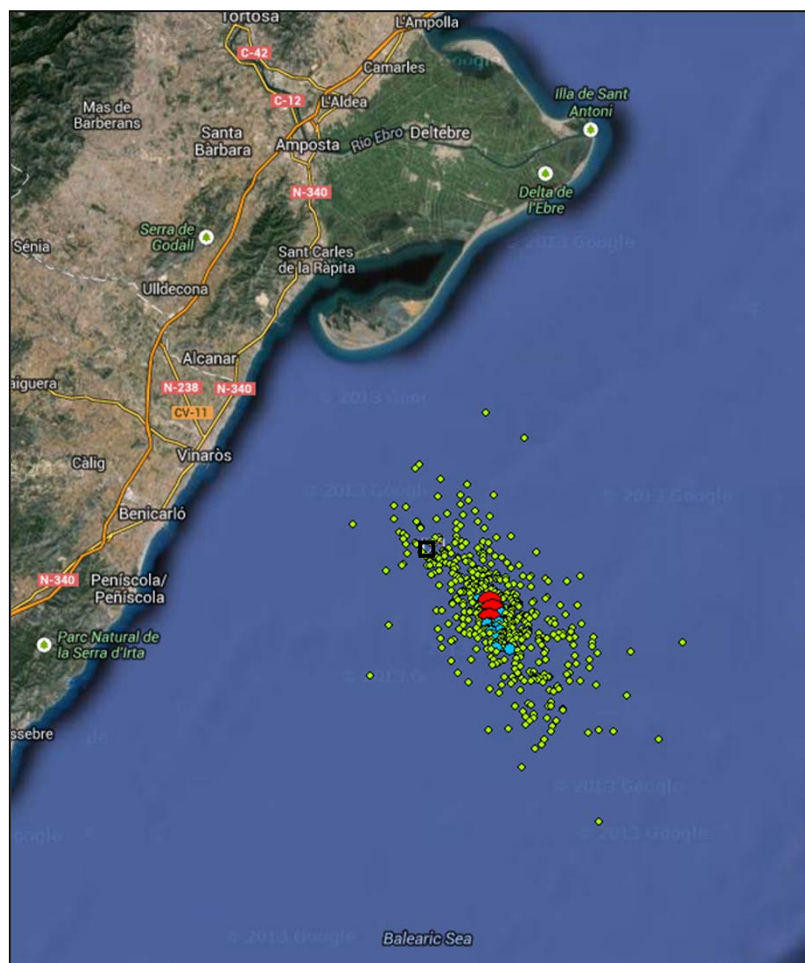


Solución sistema (ii)  
Plano de falla: azimut 130, buzamiento 70, rake -158

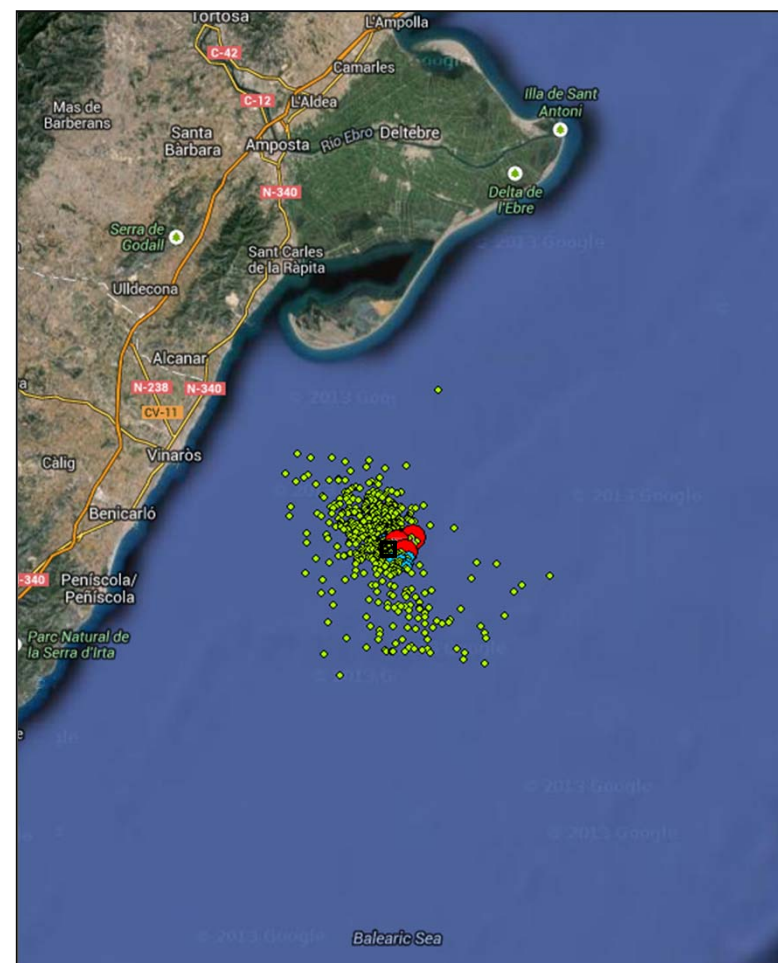


# Localizaciones del IGN

## Solución en diciembre de 2013



## Solución en enero de 2014



- Momento sísmico acumulativo (energía liberada por los sismos):

$$M_o = 1.46 \cdot 10^{16} \text{ N m}$$

- Energía aportada al sistema por la inyección de gas Trabajo de la fuerza que ejerce el gas sobre el encajante calculado independientemente (1) a partir de la energía interna del yacimiento y (2) a partir de la combustión de fuel gas en la turbina:

$$M_o^{(g)} \leq 2 \cdot 10^{13} \text{ N m}$$

$$M_o = M_o^{(g)} \cdot 10^3$$

# Sismicidad anticipada (Teoría)

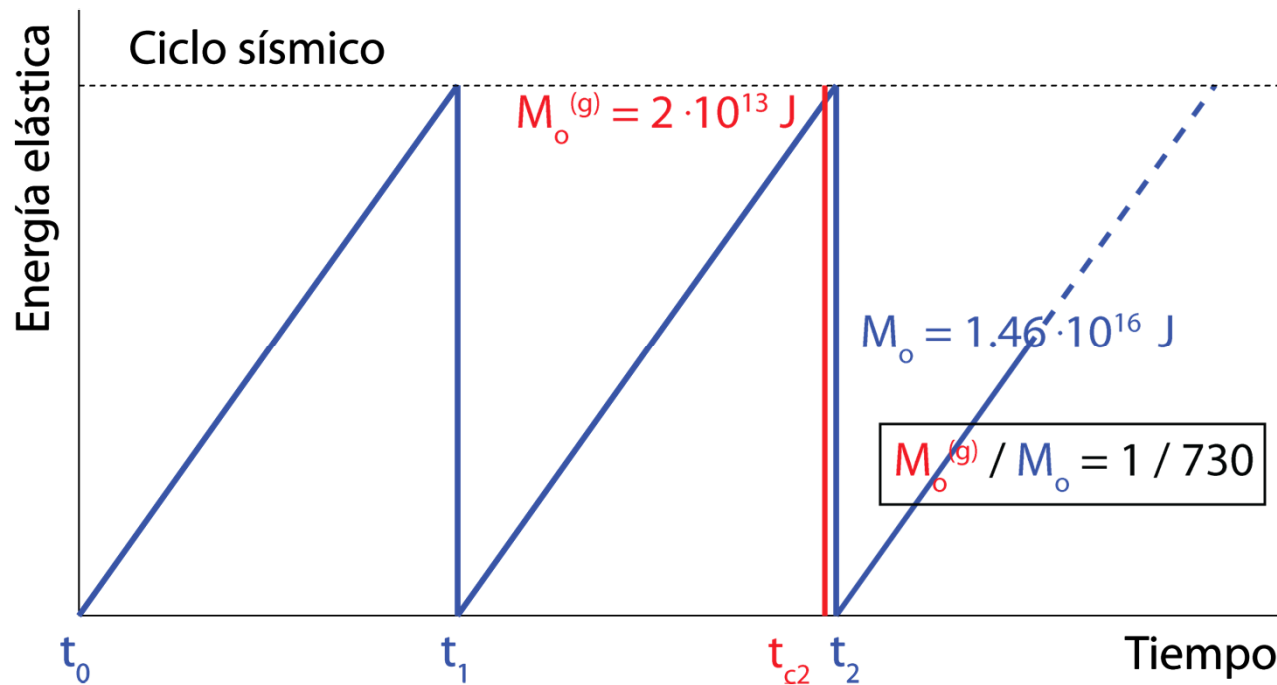
$$E_{\text{aportada}} \ll E_{\text{liberada}}$$

( $10^3$  veces menor)



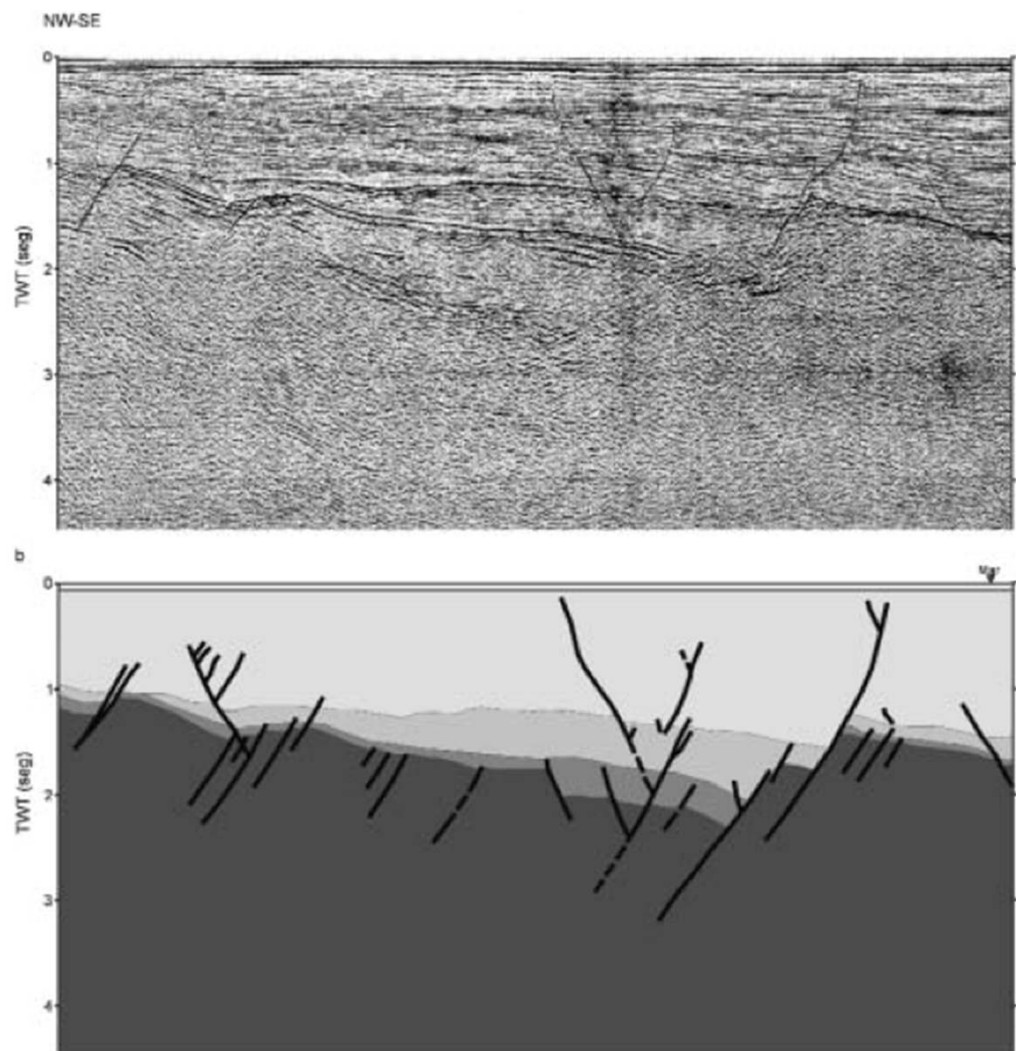
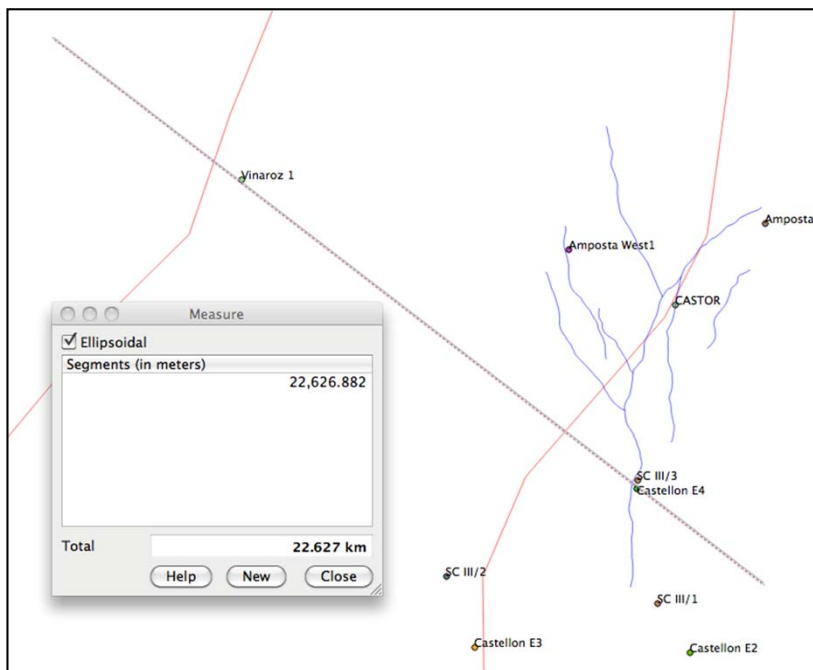
**Las fallas estaban muy cerca de la ruptura antes de la inyección**

**= Sismicidad Anticipada**

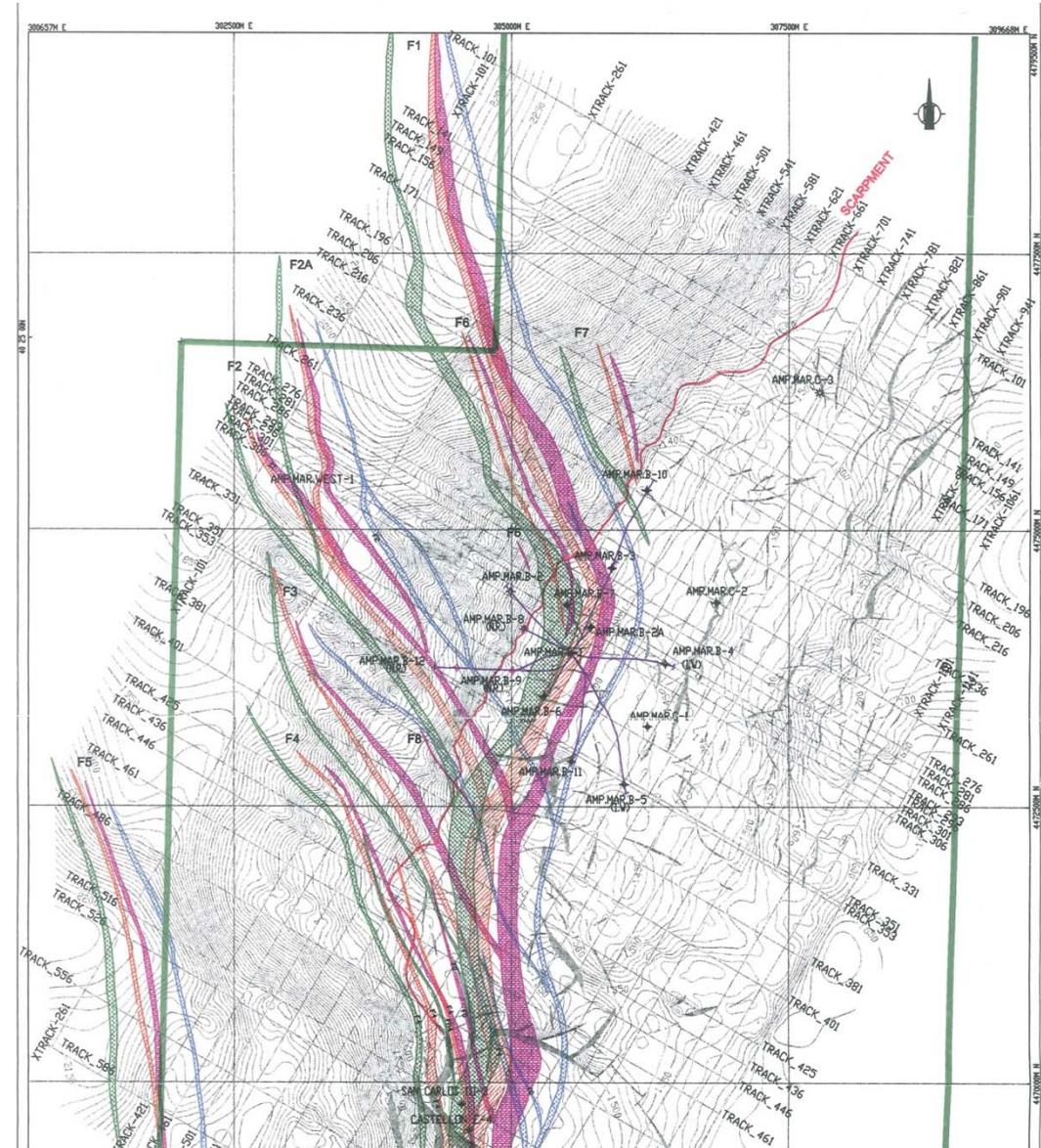


# Longitud de la Falla Amposta

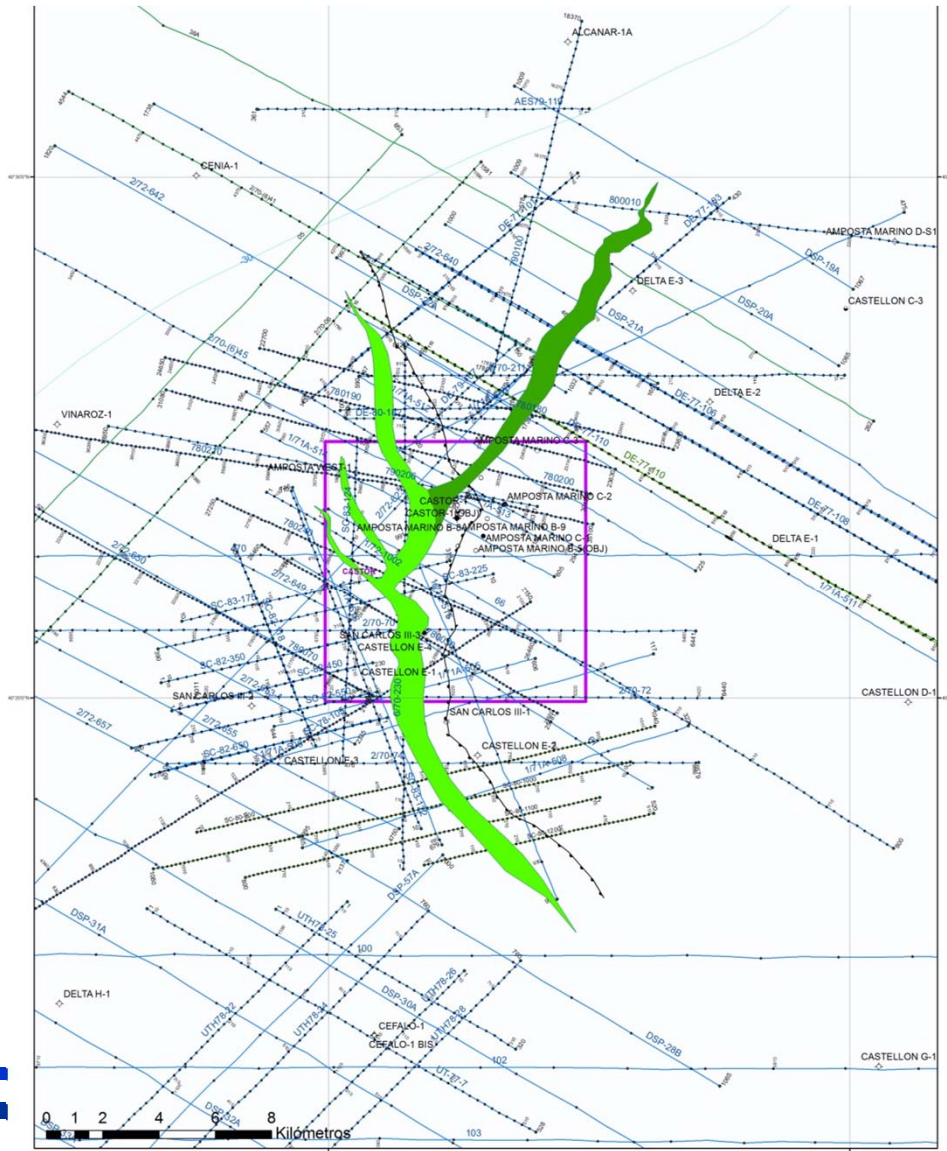
## Perfil sísmico 780-030



# Datos geofísicos de la Falla Amposta



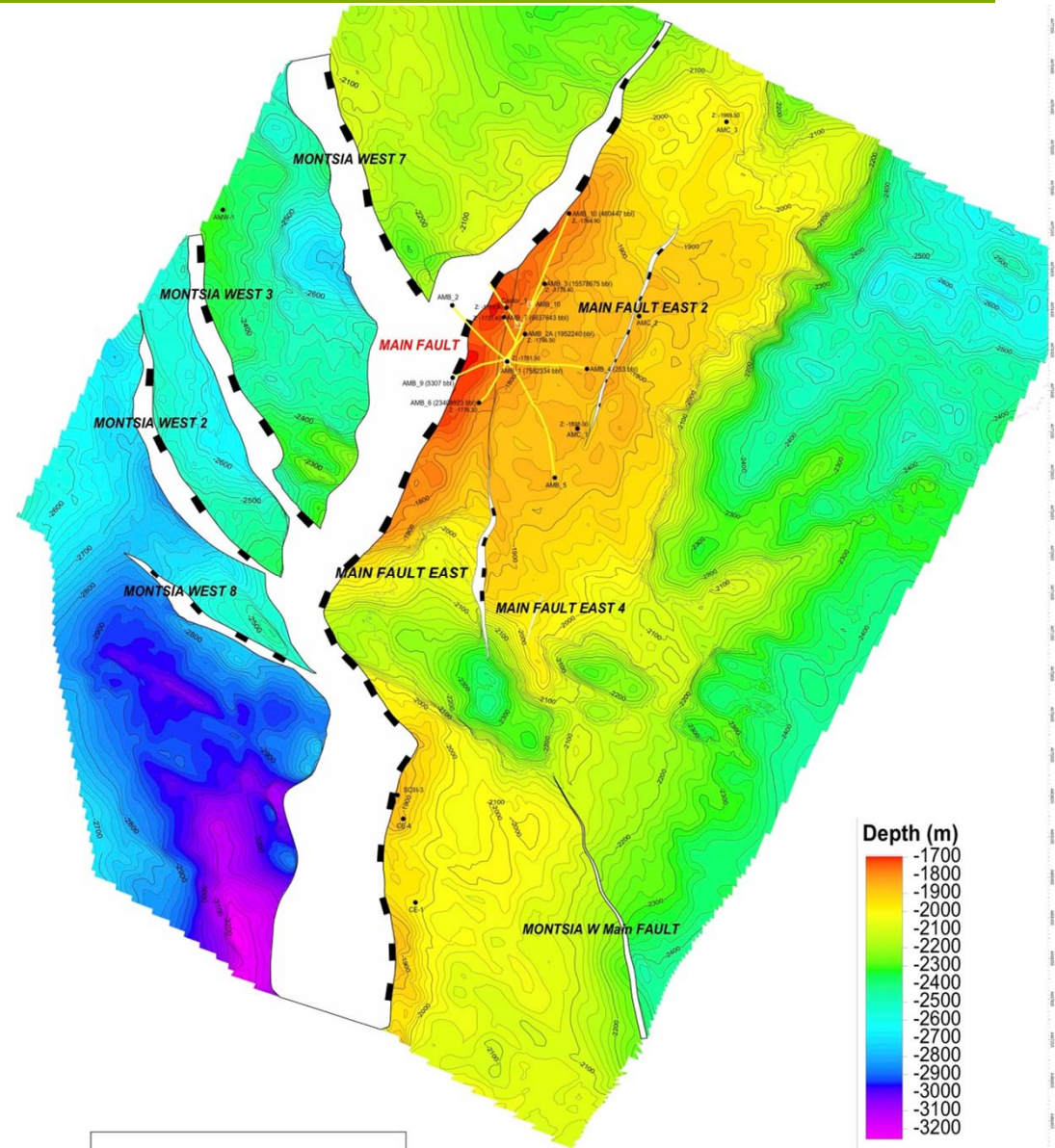
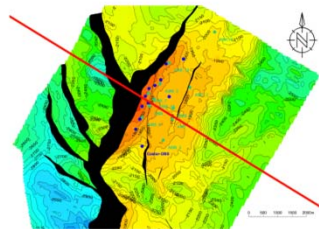
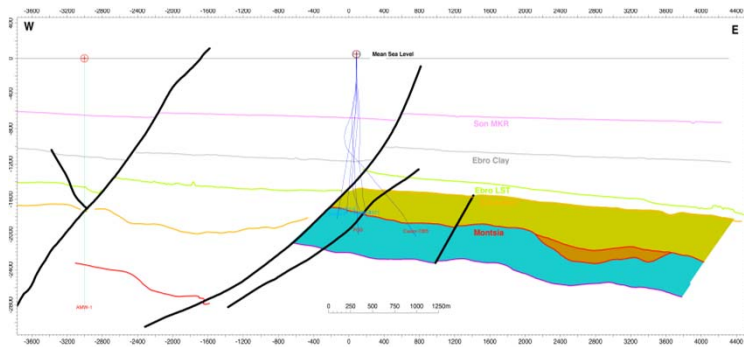
# Geometría de la Falla Amposta



- Sísmica 3D Shell (1983)
- Sísmica 3D ECAL (2005)
- Numerosos estudios 2D

# Geometría de la Falla Amposta

## Bloque 3D de ESCAL



Almacenamiento Subterráneo c



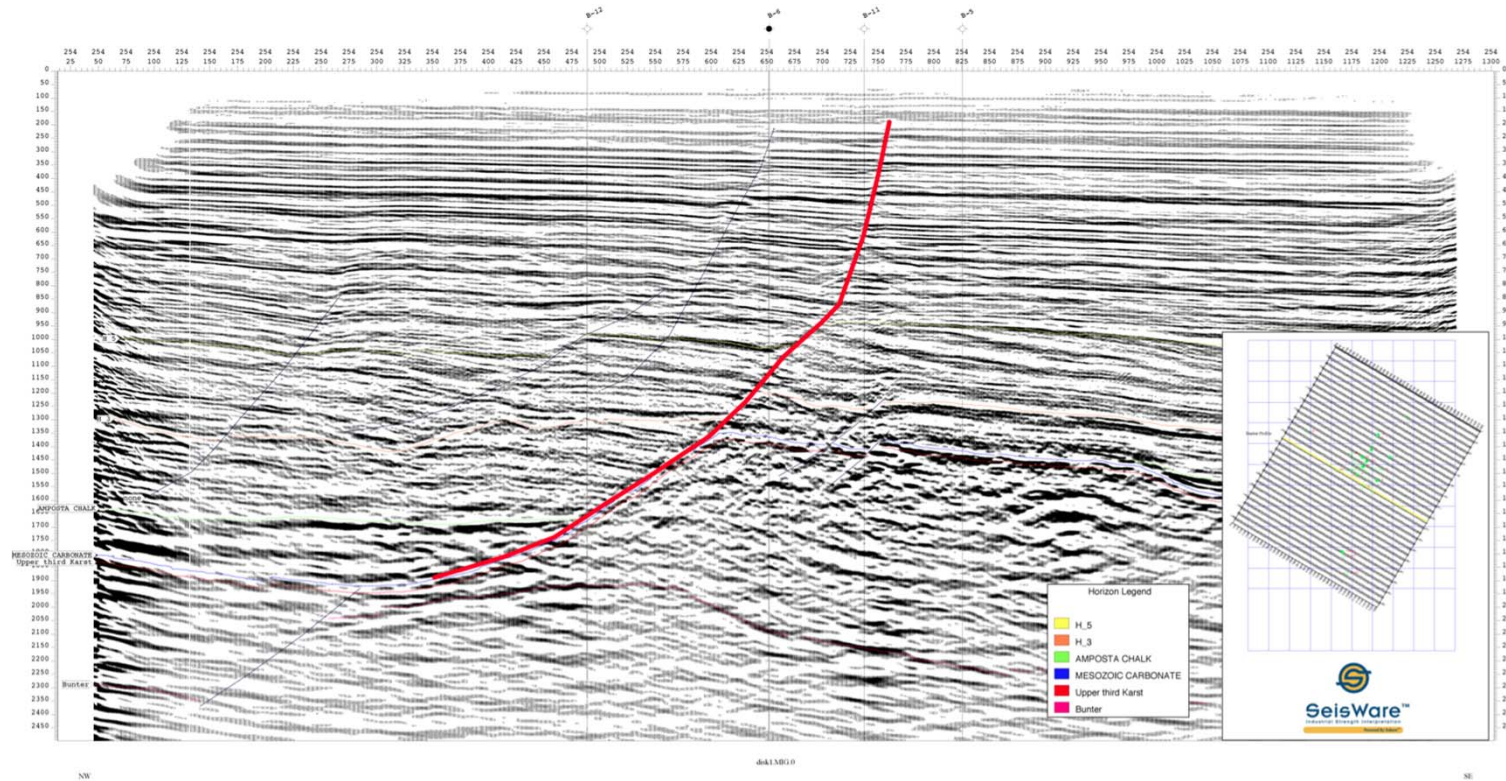


Figura 2. Perfil sísmico perpendicular a la falla Amposta, interpretado por Gilbert Laustsen Jung Associates Ltd. (2003) del bloque sísmico 3D de Shell de 1983,

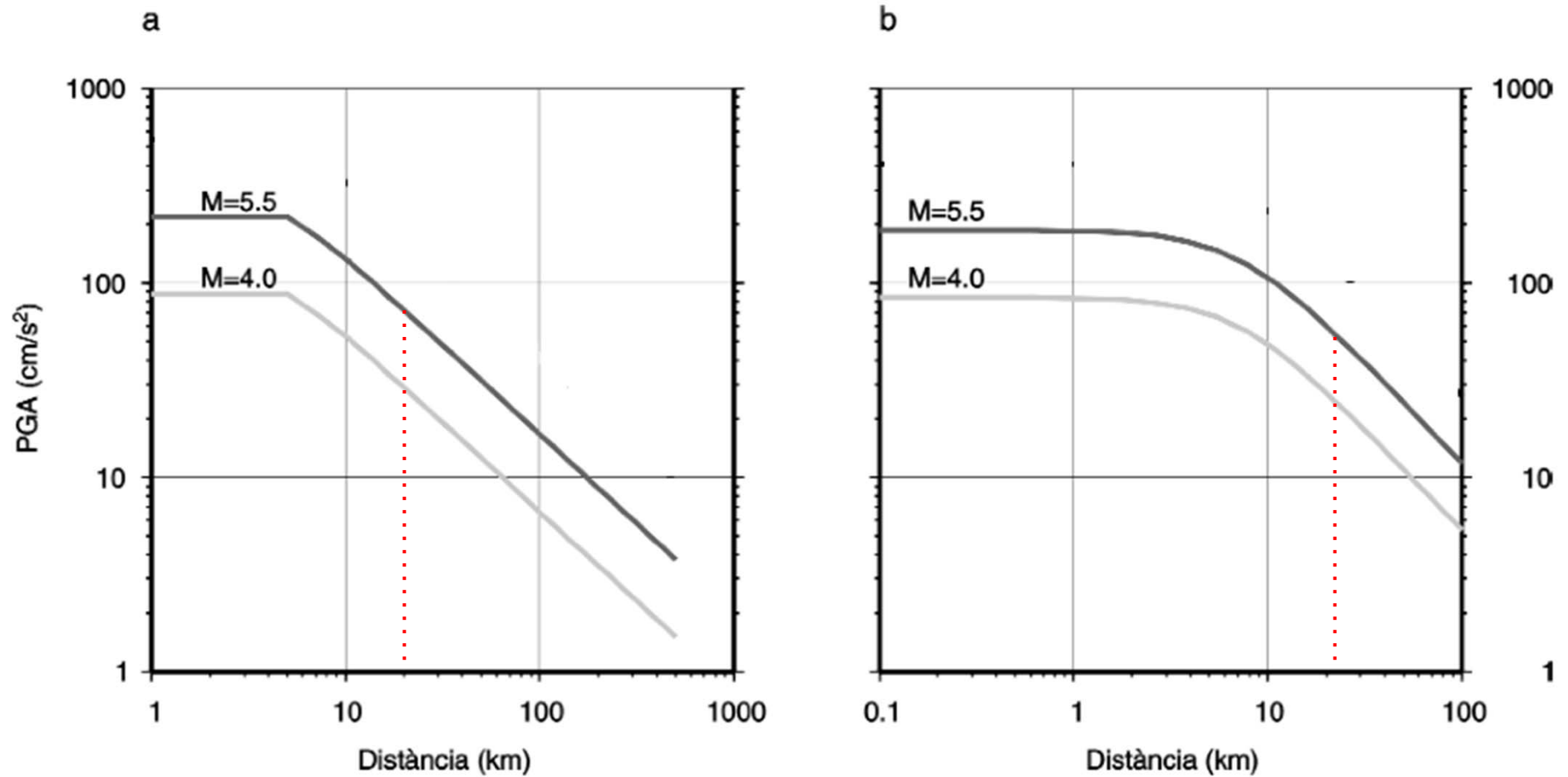
# Magnitud e Intensidad

Magnitud - es una medida del tamaño del terremoto. Es un indicador de la energía que ha liberado.

Intensidad - es una medida del tamaño del terremoto basada en los efectos que produce (sobre las personas, los objetos, las construcciones y el terreno). La intensidad es distinta en cada lugar ya que varía con la distancia al foco del terremoto.

**Lo importante es por tanto la intensidad**

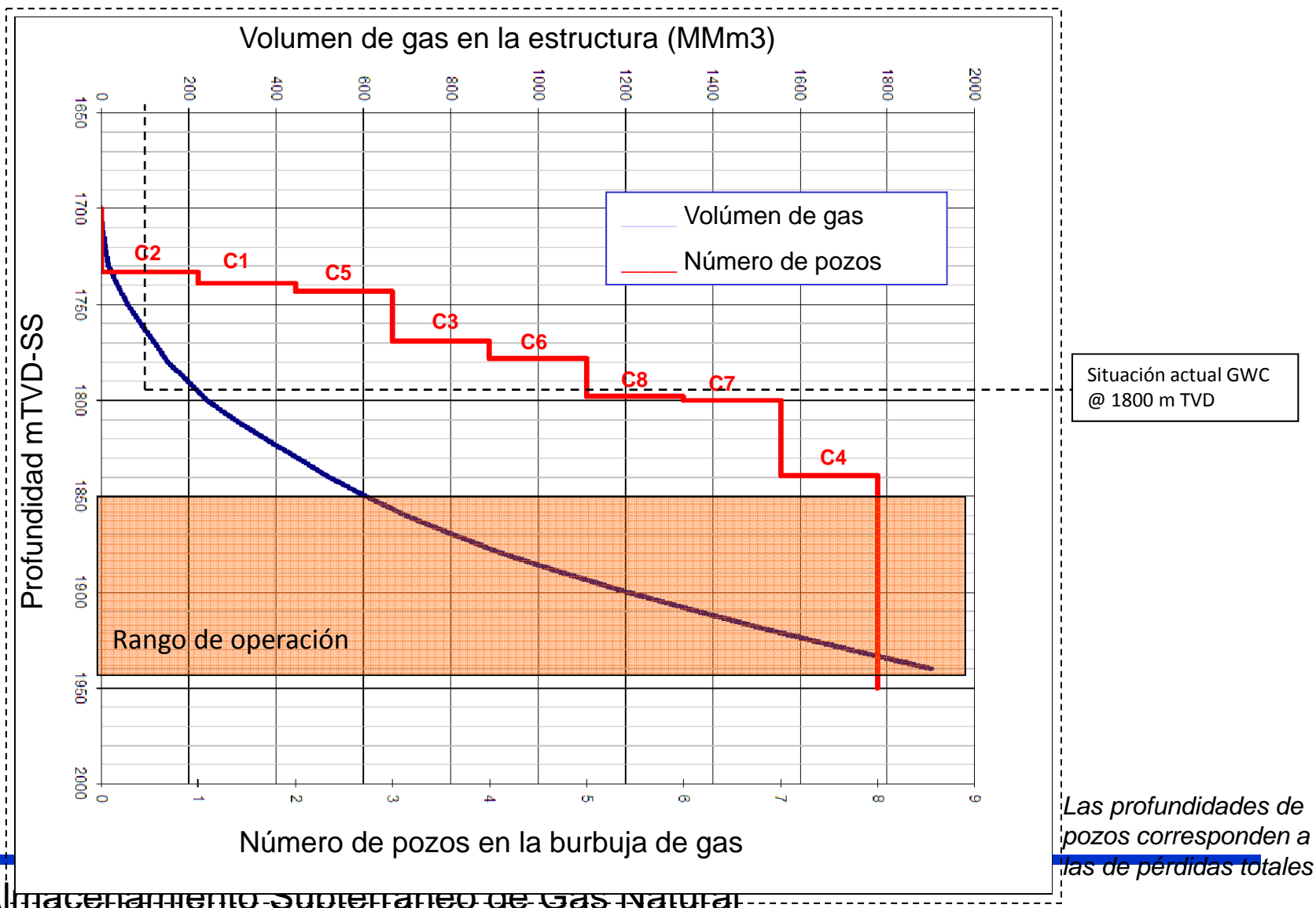
# Magnitud e Intensidad



Perea (2006)

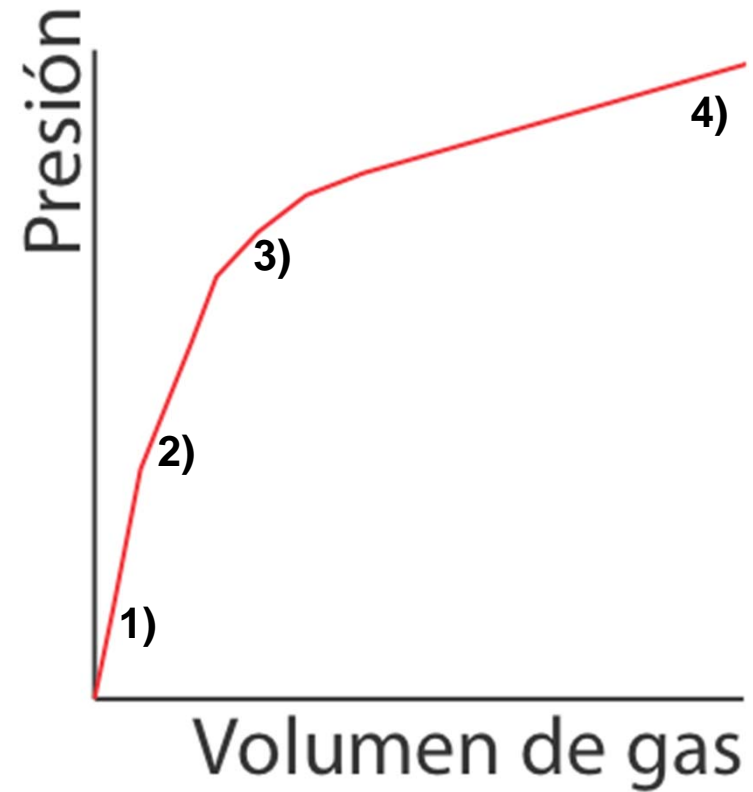
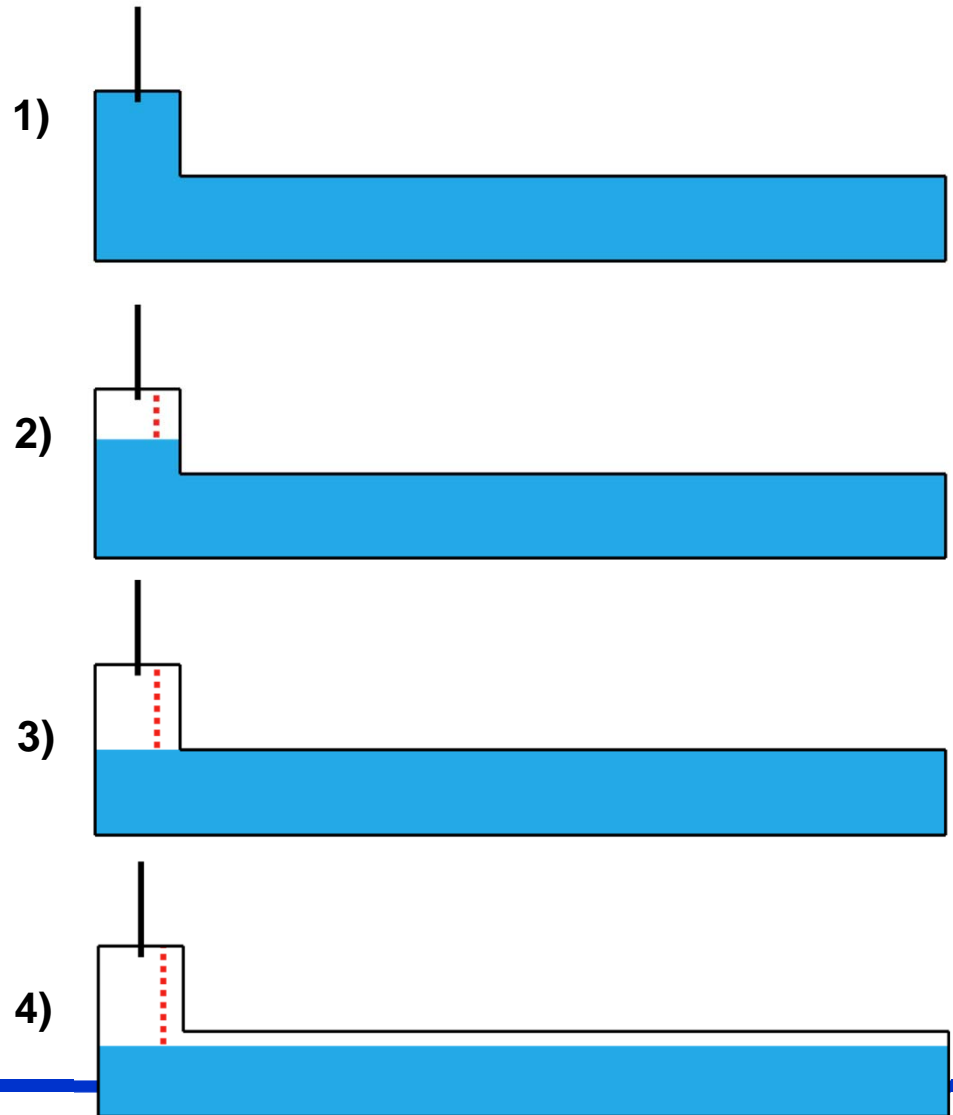
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Tasa de inyección



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

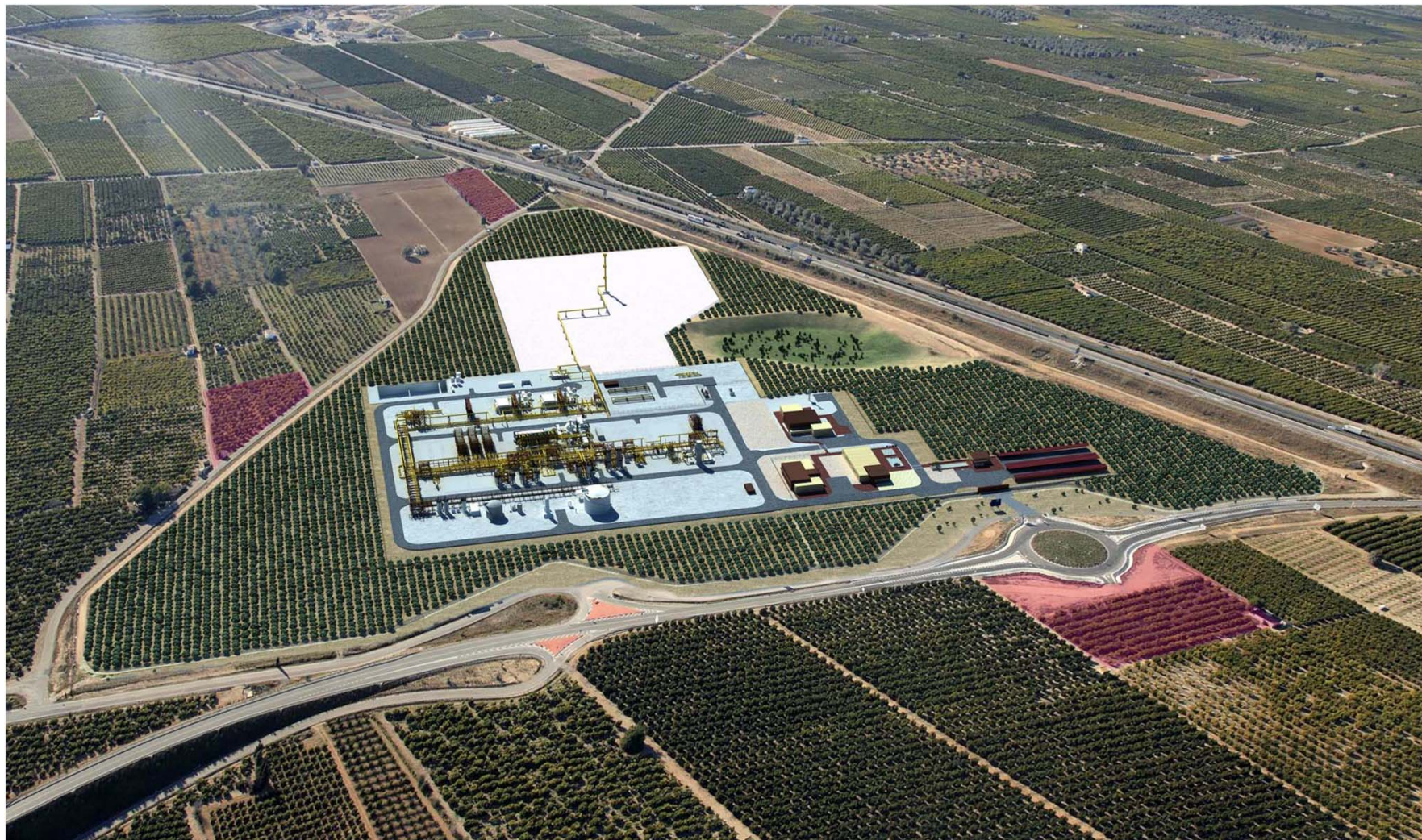
# Rampas de presión



# Conclusiones

- Debido a la geometría del almacén, las rampas de presión más fuertes ya han sido superadas.
- La inyección de gas de Castor no aumenta el potencial sísmico de la zona.
- El potencial sísmico que indica el QAFI, y que ha generado alarma social, no está soportado por observaciones reales, y por tanto no está justificado.
- Las observaciones de todos los datos disponibles, realizadas por ESCAL, indican que la falla es mucho menor y por lo tanto también lo es su potencial.

# Onshore Operations Plant View



Onshore Operations Plant. General view of the facilities

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



# WHP – Descarga de los pilotes



WHP piles unloading

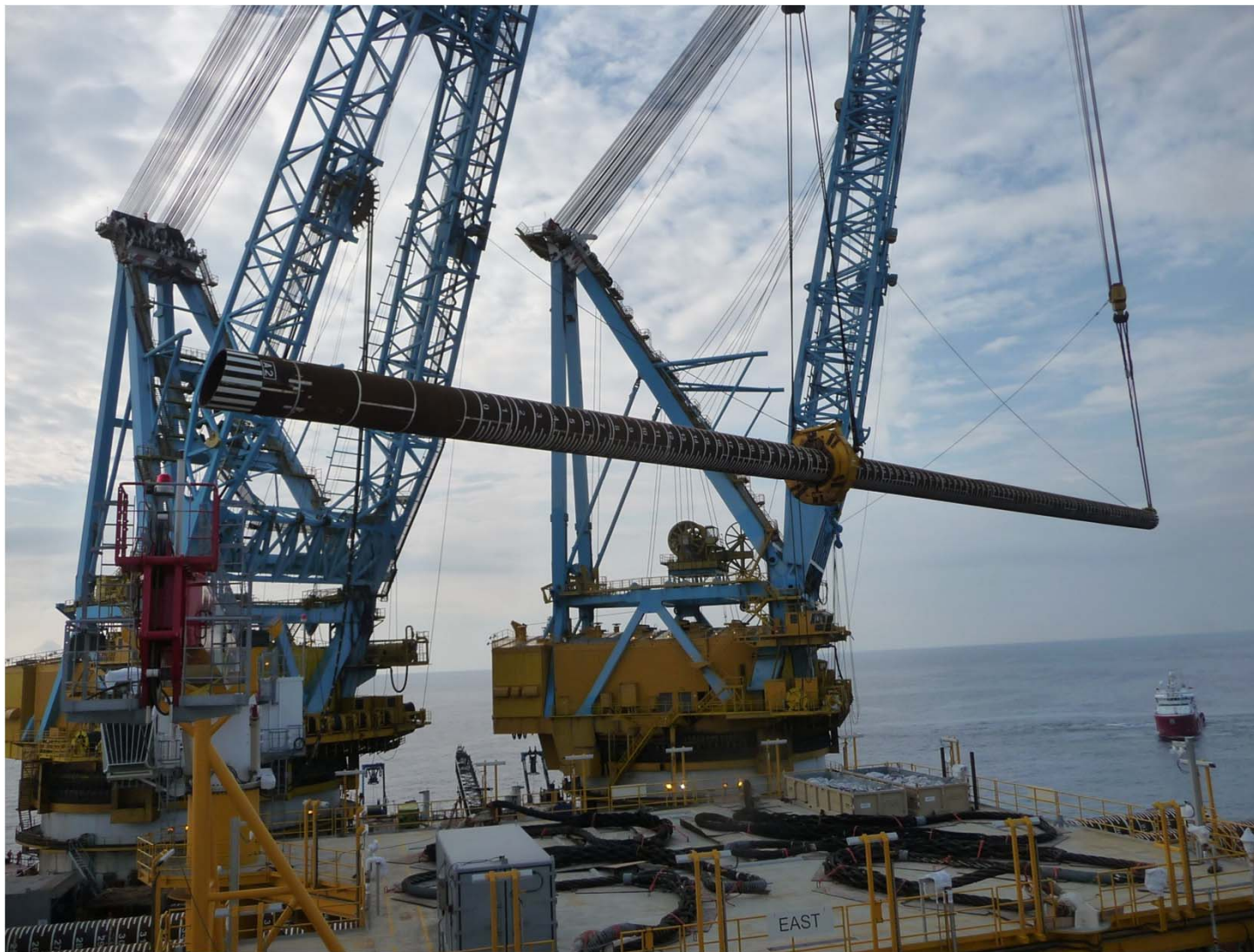
Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# WHP – Izado de los pilotes



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# WHP Piles



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# WHP Pile Driving



WHP Pile driving

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Drilling rig positioning



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Drilling rig in place



Gudnus.com: Engineering HD Video & Photography

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Pipeline Installation (Landfall)



Landfall – Microtunnel



Micro-tunnel casing

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# Pipeline Installation (Landfall)



TBM – Detail of the cutting structure

Landfall – Tunnel Boring Machine TBM

---

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



# Pipeline Installation (Offshore)



Pipe loading at Castellón Port



Pipeline laying (S-355 stinger)

S-355 vessel

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# PUQ Platform



WHP/PUG Bridge

Jacket

Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# PUQ Platform



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

# PUQ Top Sides



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

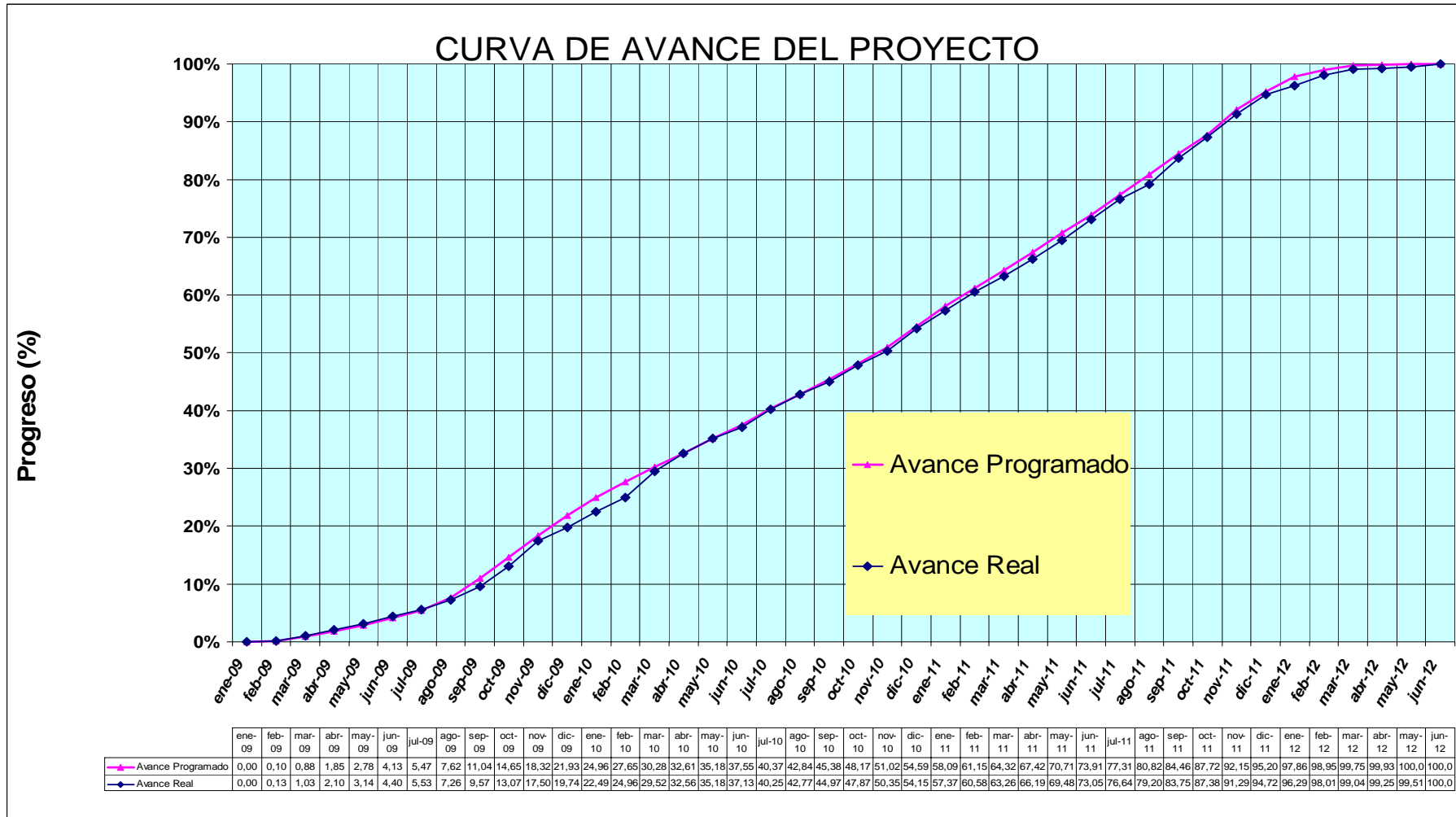
# Instalación Topsides PUQ



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural



# CURVA DE AVANCE



Almacenamiento Subterráneo de Gas Natural

- **Actualización presupuesto en Diciembre 2007:** 1.163 M€  
Con ingeniería: 12 pozos, separación de líquidos y secado en mar, dos etapas de compresión, la segunda etapa en mar, reinyección de líquidos en mar, unidad de endulzamiento, nuevo emplazamiento en tierra 6 km alejado del anterior y con una superficie 3 veces mayor)
- **Presupuesto final revisado Julio 2010:** 1.272,9 M€
- **RD 1383/2011 (Cap de Inversión reconocible):** 1.272,9 M€
- **Cierre auditado de inversiones a 5/7/2012:** 1.259,5 M€