

# Cálculo de reservas remanentes de hidrocarburos en zonas estructuralmente complejas: aplicación al campo de "Ayoluengo" (2ª parte)

*Remaining hydrocarbon reserve estimation in structurally complex areas: Application to the «Ayoluengo» Field (Part 2)*

A. García y E. Alvarez de Buergo

LOCS OIL COMPANY OF SPAIN, Alfonso XII nº15. 28014 Madrid

## ABSTRACT

*A method is described to estimate recoverable reserves from a complex, highly fractured oil and gas field. The number of sands with fluid content (43), combined with the large amount of interpreted faults derived from a 3D seismic survey, converted in a challenge the final target: to have a unique map which showed from any point of the field the amount of drainable reserves remaining after 25 years of production.*

**Keywords:** *Ayoluengo hydrocarbon field, stratigraphic-structural trap, isolated blocks, reserves, wells, production, logs, drainage areas, recoverable reserves, computer application.*

*Geogaceta, 20 (1) (1996), 165-168  
ISSN: 0213683X*

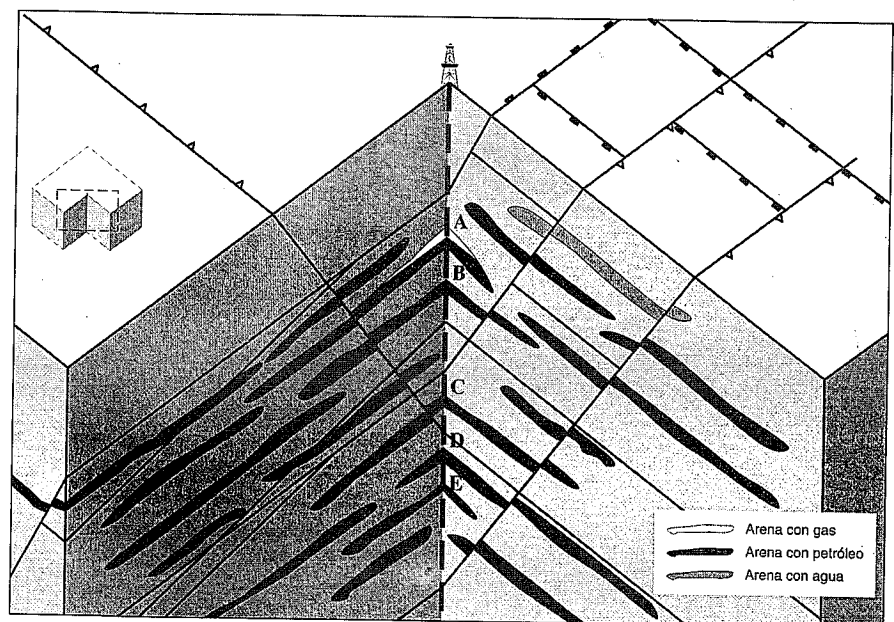
## Introducción

Las estimaciones de reservas de petróleo y gas para el campo de Ayoluengo se habían basado, hasta el momento de la realización del proyecto en el que se sustenta el presente trabajo (febrero de 1990), en la interpretación de los datos de producción disponibles y la correlación de sondeos. La interpretación de la campaña de sísmica tridimensional registrada en 1988 y la revisión de los datos de los sondeos existentes, permitió la realización de un trabajo más detallado de estimación de las reservas remanentes.

## Metodología y Aplicación

El estudio realizado tenía como finalidad el cálculo de las reservas recuperables que quedaban por drenar, siendo el objetivo final la obtención de un mapa único en el que se pudiera hacer una lectura directa de las reservas que se drenarían desde cualquier punto de la superficie.

La figura 1 es indicativa de la dificultad que presenta el cálculo. Un sondeo como el mostrado en la figura produciría petróleo y gas de la arena A y petróleo de B, C, D y E. Suponiendo que las fallas fueran estancas, si sobre un determinado bloque ya existen otros sondeos, a las reservas a producir por el nuevo sondeo habría que restarle las producidas por el sondeo antiguo.



**Fig. 1.-** Esquema general del problema planteado. Para el cálculo de reservas hay que considerar cada arena individualmente y de forma restringida para cada bloque, teniendo en cuenta la distribución aleatoria de los sondeos preexistentes.

*Fig. 1.- General schematic view of the problem. The reserves calculation has to take into account each individual sand considered inside each block and the random distribution of pre-existing wells.*

La complejidad estructural, la gran cantidad de arenas -43 en total-, la necesidad de extraer de cada bloque las reservas previamente producidas, la inseguridad en la delimitación de los contactos gas-petróleo y

petróleo-agua, junto a un tratamiento específico para el cálculo de las reservas de gas, llevaron a un proyecto de más de un año de duración, periodo durante el cual se elaboraron unos 600 mapas.

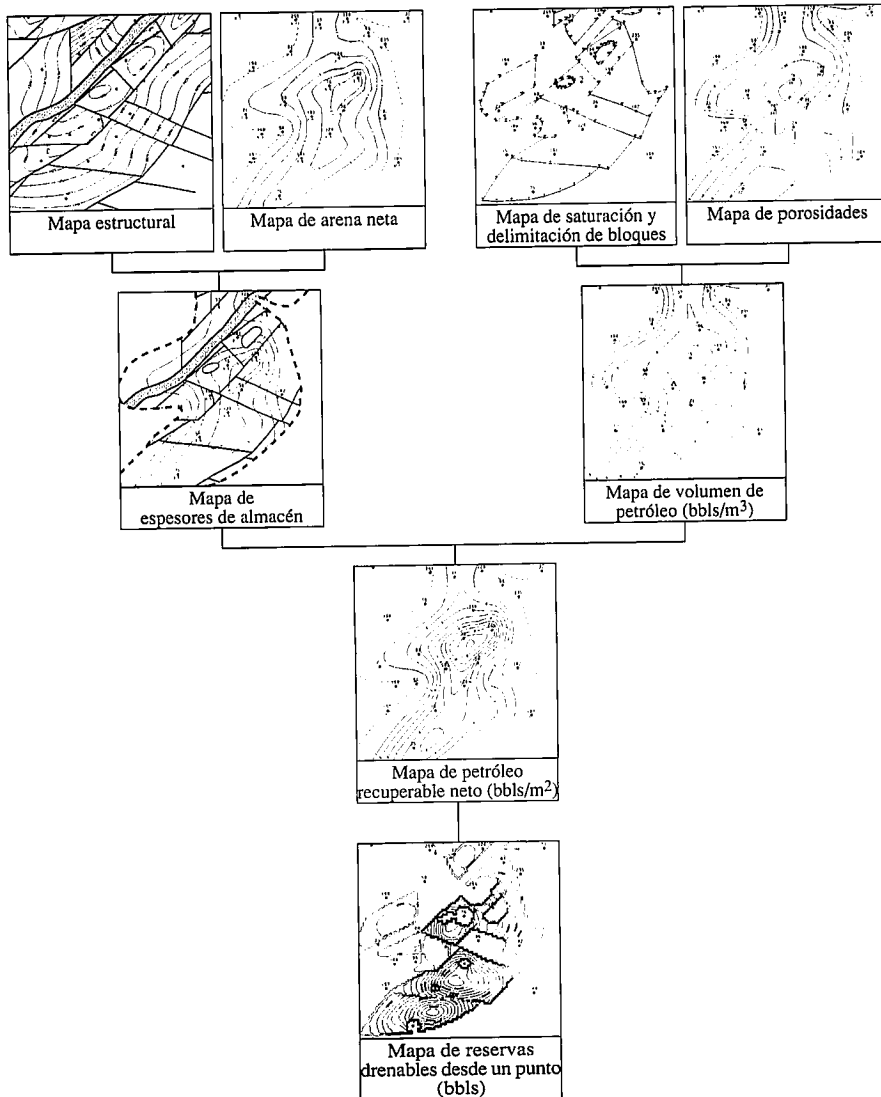


Fig. 2.- Mapas construidos. Se realizan por método convencional todos los mapas excepto el de reservas drenables desde un punto, para la obtención del cual se desarrolló un programa específico.

Fig. 2.- Constructed maps. All maps except the drainable reserves from any point map were made using a commercial application. To obtain the last one a specific program was developed.

**Datos de partida**

- Se disponía de los siguientes elementos:
- Mapa en tiempo del techo del almacén (horizonte aproximadamente equivalente a las calizas del techo del Purbeckiense Inferior).
  - Mapa en tiempo de la base del almacén (aproximadamente techo del Dogger).
  - Correlación de arenas.
  - Producción por sondeo.
  - Diagrafías de todos los sondeos: valores de porosidad y saturación.

**Desarrollo del proyecto**

El proyecto se llevó a cabo siguiendo el esquema mostrado en la figura 2.

Para cada arena se construyeron los siguientes mapas:

- **Mapa estructural:** ya que la sísmica no tiene la resolución vertical necesaria para poder interpretar cada arena individualmente, se construyeron los mapas estructurales por interpolación de las trazas de falla entre los mapas de techo (horizonte aproximadamente equivalente al techo del Purbeckiense Inferior) y base (techo del Dogger) del almacén (Fig. 3). Para ello, se fijó el sondeo Ayoluengo 37 como sondeo tipo, ya que parece no presentar fallas y en el cual están presentes la gran mayoría de las arenas. A continuación se obtuvo, para cada punto de cada una de las trazas de falla, el coeficiente

$$C = \frac{h_i - H_t}{H_b - H_t}$$

en donde « $h_i$ » representa la cota de la arena a calcular y « $H_t$ » y « $H_b$ » las cotas

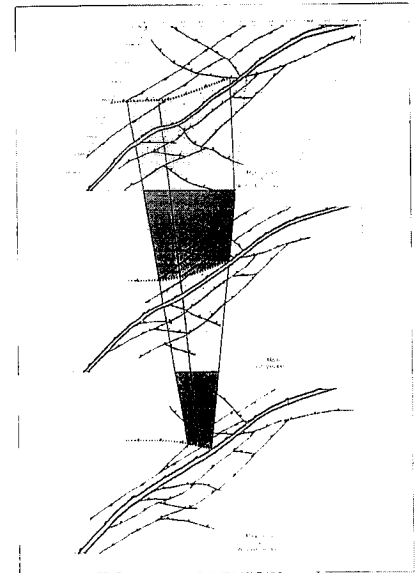


Fig. 3.- Interpolación de los mapas estructurales

Fig. 3.- Structural map interpolation.

del techo y la base del almacén. Después se calcularon las coordenadas de las trazas de falla del nuevo mapa mediante

$$x_i = X_t + C * (X_b - X_t)$$

$$y_i = Y_t + C * (Y_b - Y_t)$$

Los mapas así interpolados, fueron ajustados con la información disponible de los sondeos, sirviendo los techos correspondientes para completar la cartografía.

- **Mapa de arena neta:** obtenido a partir de la información de las diagrafías, especialmente de la curva del potencial espontáneo.

- **Mapa de saturación de petróleo:** debido a la escasez de datos, se aplicó una saturación media del 75 %, utilizándose las lecturas reales donde éstas existían. Los mapas muestran también los contactos gas-petróleo-agua. Se calificaron las reservas de cada bloque según el siguiente criterio:

- Reservas probadas. Se consideraron así los bloques con algún sondeo que probara su contenido.
- Reservas probables. Se definieron así aquellos bloques cuyo contenido podía ser interpolado del de los bloques contiguos. A veces, se incluyeron en este tipo las reservas de flanco («downdip»).
- Reservas posibles. La cualificación de estas reservas implica un cierto riesgo ya que la información disponible correspondía a sondeos no próximos al bloque y, por tanto, son el resultado de una cierta extrapolación.

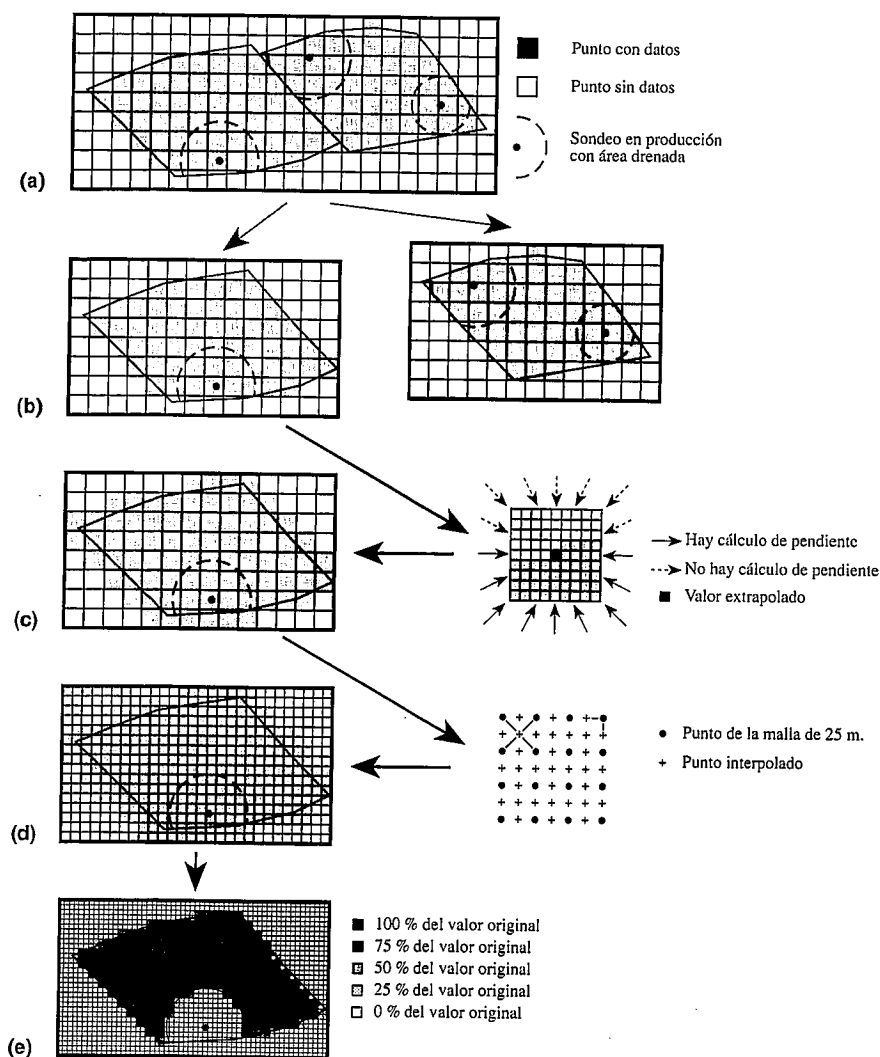


Fig. 4.- Fases de cálculo del programa. (a) Entrada. (b) Individualización de mallas. (c) Extrapolación. (d) Interpolación de 25 m a 12,5 m. (e) Cálculo de coeficientes simulando una malla de 6,25 m. Obtención de la malla de petróleo recuperable neto

Fig. 4.- Calculation steps. (a) Input. (b) Grid individualization. (c) Extrapolation. (d) 25 m to 12.5 m interpolation. (e) Coefficients computation to simulate a 6.25 m grid. The net recoverable oil grid is obtained.

• Reservas optimistas. De alto riesgo, debido a la extrapolación o a la forma en que se establecieron los contactos agua-petróleo (explicada más abajo).

-Mapa de porosidades: construido también a partir de las lecturas de las diagráffas.

-Mapa de espesores de almacén: este mapa representa la cantidad de estructura capaz de actuar como almacén. Se establecieron sobre él los límites de existencia de la arena y los contactos gas-petróleo y petróleo-agua, obteniéndose éstos por interpolación de la información suministrada por los sondeos más cercanos. Este mapa dio como resultado el establecimiento de la geometría de los bloques junto al espesor de arena.

-Mapa de volumen de petróleo (en barriles/m<sup>3</sup>): es el resultado de la multiplicación de los mapas de porosidad y

saturación y su resultado representa la cantidad de petróleo que puede producir un metro cúbico de arena.

-Mapa de petróleo recuperable neto (en barriles/m<sup>2</sup>): resulta del producto de los dos mapas anteriores al que se le aplica un factor de recuperación del 17 % y representa la cantidad de petróleo recuperable por metro cuadrado de superficie.

-Mapa de reservas por bloque: no incluido en el esquema de la figura 2, refleja las reservas drenables globalmente en cada bloque, teniendo en cuenta los radios de drenaje de cada sondeo. Más adelante se desarrolla la explicación de los cálculos.

-Mapa de reservas drenables desde un punto: representa, para cada arena, las reservas que podrían producirse desde cualquier punto de la superficie, considerando una superficie media de drenaje de

30 acres (121380 m<sup>2</sup>, r = 196,56 m).

La adición de los 43 mapas de reservas drenables desde un punto dio como resultado el mapa buscado. Finalmente se obtuvieron 4 mapas según las calificaciones de riesgo.

### Reservas drenables desde un punto. El programa de ordenador

Los mapas de espesores de arena y porosidades eran cartografiados a mano y digitalizados a continuación, obteniéndose a partir de cada uno de ellos una malla regular de valores, mediante la aplicación «zycor». Operando de la forma antes descrita se llegaba hasta el mapa de petróleo recuperable neto (barriles/m<sup>2</sup>).

La entrada al programa estaba formada por un fichero con la malla del mapa anterior (62901 valores correspondientes a una malla de 241 filas y 261 columnas separadas 25 m en ambas direcciones), un segundo fichero con las coordenadas de los vértices de los polígonos que definían cada bloque y un tercer fichero con los radios de drenaje de los sondeos existentes.

Una vez ejecutadas las rutinas de entrada, el programa lee la malla de valores de petróleo recuperable neto, comprueba qué puntos caen dentro de cada bloque y construye una malla restringida de valores para cada bloque, procesándose a continuación cada malla individualmente (Fig. 4a y 4b).

Con el fin de garantizar que todos los valores de la malla que han de intervenir en el cálculo tengan un valor coherente, la malla anterior se extrapola. Para cada punto de la malla con un valor nulo se investigan las 16 posibles pendientes que resultan de la malla de 81 puntos más próximos al calculado (Fig. 4c). Cuando los dos puntos más próximos en cada dirección tienen un valor no nulo, se calcula el valor extrapolado teniendo en cuenta la pendiente y, si existe más de una posibilidad, se calcula la media de todas ellas.

Con el fin de ganar precisión en los cálculos, la nueva malla con valores extrapolados se interpola, obteniéndose una nueva malla con una distancia entre filas y entre columnas de 12,5 m. Para el cálculo se utilizan los 2 o los 4 valores más próximos (Fig. 4d).

El paso siguiente consiste en el cálculo de la malla neta que se utilizará para calcular volúmenes. Para cada punto de la nueva malla, el programa divide el cuadrado de 12,5 m de lado al que representa, en 4 nuevos cuadrados de 6,25 m de lado. Para el punto central de cada uno de los nuevos cuadrados el programa com-

prueba si está dentro o fuera del bloque correspondiente, dentro o fuera de las áreas de drenaje de los pozos preexistentes y dentro o fuera de las zonas de gas y le asigna 0 si el punto está fuera de la zona con reservas o el 25 % del valor de la malla de 12,5 m, si está dentro. Dependiendo de cuántos de los 4 puntos estén dentro de la zona con reservas, el valor final será el 0 %, 25 %, 50 %, 75 % ó 100 % del valor de entrada. Haciendo el cálculo de esta forma se simula una malla de 6,25 m cuando la malla de entrada era de 12,5 m (Fig. 4e).

Una vez terminado este proceso se suman los productos de los coeficientes por el valor de cada punto de la malla y se multiplica el resultado por la superficie de una celdilla, 156,25 m<sup>2</sup> (12,5 \* 12,5) obteniéndose así las reservas totales para el bloque.

Para calcular el petróleo que drenará cada punto, la malla neta se carga en la memoria del ordenador como una matriz. Se calcula una segunda matriz de valor 1 dentro del área teórica de drenaje (30 acres) y puntos de valor 0 fuera (Fig. 5a). Se coloca el centro de esta segunda matriz sobre uno de cada dos puntos de la primera (para obtener una malla final de 25 m) y se comprueba si dicho centro está dentro o fuera de la zona con reservas (Fig. 5b). Si está fuera se le asigna un valor nulo sobre la malla de salida. Si está dentro se multiplican los valores correspondientes de ambas matrices y se realiza la suma. Se multiplica por 156,25 (12,5 \* 12,5) y se obtiene así el valor de las reservas drenables para ese punto (Fig. 5c).

Una vez terminado el cálculo para todos y cada uno de los bloques, se ensamblan obteniéndose una sola malla de 25 m, idéntica en tamaño a la de entrada, con los valores de reservas de petróleo drenables desde cada punto del mapa para esa arena.

Tras repetir el cálculo para las 43 arenas, se cargan las mallas correspondientes en «zycor» y se realiza la suma. El resultado final es un mapa de aspecto similar al obtenido para cada arena que muestra las reservas extraíbles desde cada punto del campo.

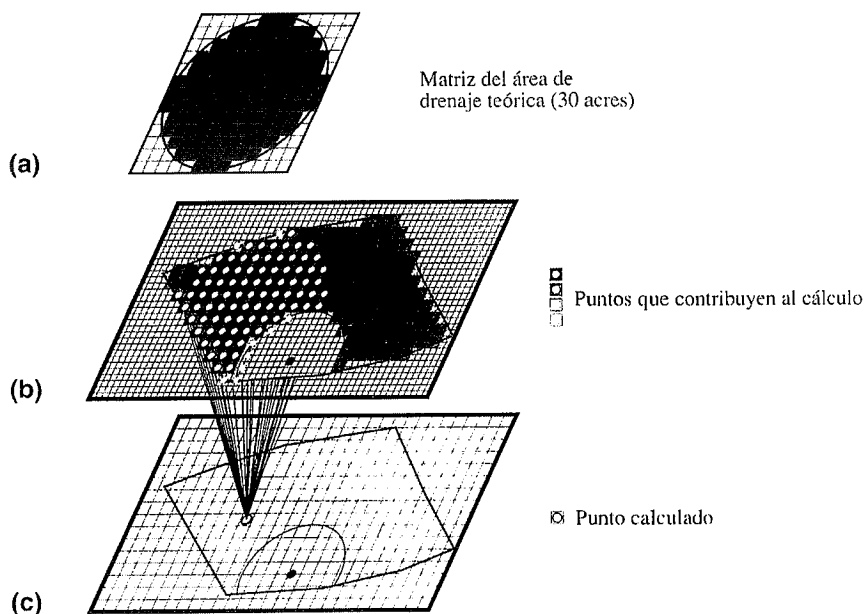


Fig. 5.- Fase final de cálculo. Cada celda en negro -de valor 1- de la matriz de drenaje teórico (a) se multiplica por la celda correspondiente de la matriz (b) de petróleo recuperable neto y se suman todos los valores para obtener las reservas drenables desde un punto (c).

Fig. 5.- Final phase. Each black cell -value 1- of the theoretical drainage matrix (a) is multiplied by the corresponding cell value of the net recoverable oil matrix (b) and all values added to obtain the drainable reserves from a point (c).

### El gas

Se realizó un proceso similar para el cálculo de las reservas de gas, teniendo en cuenta las singularidades que el mismo presenta y cuya explicación detallada sería el objeto de otro artículo.

### Conclusiones

1- Debido a la complejidad de los factores que intervienen en el cálculo de reservas -compartimentación en bloques, establecimiento de límites de arena y contactos agua-petróleo-gas, 51 sondeos perforados... - no existía, en el momento de llevar a cabo el proyecto (febrero 1990 - abril 1991), ninguna aplicación informática comercial adecuada y se desarrolló un programa específico.

2- Se consiguió obtener un mapa que mostrara en un solo documento las reservas remanentes estimadas extraíbles desde cualquier punto de la superficie.

### Agradecimientos

A Repsol Exploración que proporcionó todos los medios para que este trabajo pudiera desarrollarse. A RIPSAs, TERE-DO y LOCS por autorizar la publicación de esta síntesis.

### Referencias

- Chevron (1990): Ayoaluengo 3D Interpretation. Informe interno por Suárez, A.
- Repsol Exploración, S.A. (1990): Ayoaluengo Field Remaining Reserves Study. Informe Interno.
- Repsol Exploración, S.A. (1990): Ayoaluengo 53 Final Report. Informe Interno.
- Repsol Exploración, S.A. (1991): Ayoaluengo Field Remaining Reserves Update. Informe Interno.