

ESTRUCTURA 3D Y CINEMATICA DEL SISTEMA SAN MARTIN – FITZCARRALD (ZONA DE CAMISEA, PERU)

Autores:

Edwing Rolindo Tejada ¹, Stéphane Brusset ², Patrice Baby ^{2,3}, Juan Chung ⁴

¹ Schlumberger del Perú S.A Etejada@iquitos.oilfield.slb.com

² LMTG, Univ. de Toulouse, CNRS, IRD, OMP, Toulouse, Francia brusset@lmtg.obs-mip.fr

³ LMTG, Univ. de Toulouse, CNRS, IRD, OMP, Toulouse, Francia Patrice.baby@ird.fr

⁴ Pluspetrol Corp. Perú S.A jchung@pluspetrol.net

RESUMEN

El borde oriental de la cordillera de los Andes en la región de Camisea (Sur de Perú) presenta un sistema de pliegues y corrimientos (fold and thrust belt) neógenos antitéticos a la subducción con vergencia hacia el Norte y Nor-NorEste, originados por la tectónica compresiva Andina que afectó la cuenca de back-arc a partir del Turoniano. Las estructuras están controladas por fallas inversas de sobrecorrimientos regionales y locales.

El análisis 2D y 3D de los perfiles sísmicos de la estructura San Martín y Fitzcarrald, usando el modelo geométrico de deformación de pliegue por flexión de falla (**Fault Bend folding**) aporta nueva información sobre la geometría en “**Hinterland dipping duplex**” del sistema San Martín – Fitzcarrald que evoluciona hacia el Oeste en forma de pliegues simple de rampa.

El acortamiento es de 4 a 5 Km. Para el conjunto del sistema y no varía significativamente paralelo a los pliegues.

INTRODUCCIÓN

El acortamiento de la cadena de los Andes se amortigua hacia el Este en la cuenca de ante-país amazónica bajo la forma de estructuras imbricadas, anticlinales de rampa o pliegues de propagación de falla.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis geométrico 2D y 3D a partir de secciones sísmicas, validadas por el software de modelización 3D Move que permita comprender mejor la evolución lateral de estructuras frontales complejas. Las estructuras estudiadas (Fig. 1) se localizan en la zona externa de la faja plegada y corrida (**fold and thrust belt**) de la zona subandina del Sur de Perú. Ellas corresponden al anticlinal de San Martín y de Fitzcarrald.

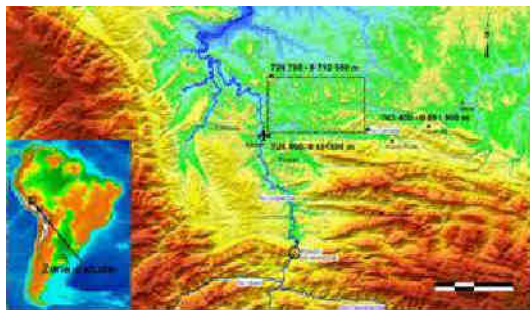
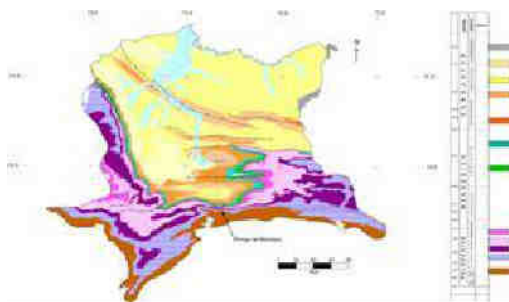


Figura 1: Localización de la zona de estudio: anticlinales de San Martín y Fitzcarrald (Camisea).

ESTRATIGRAFÍA – SERIES SEDIMENTARIAS IMPLICADAS EN LA DEFORMACIÓN SUBANDINA



En la parte Sur de la cuenca Ucayali, las unidades estratigráficas implicadas en la deformación corresponden a rocas sedimentarias desde el Paleozoico inferior hasta el Neógeno (Gil, 2001) (Fig. 2). Ellas son bien conocidas en afloramientos como en subsuelo (perfiles sísmicos y pozos).

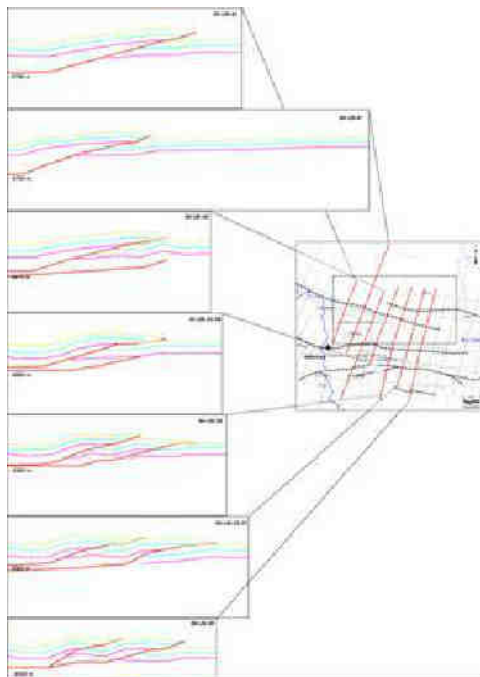
Figura 2: Carta geológica de la zona de estudio (instituto geológico del Perú- INGEMET)

Figura 5: Parte superior izquierda, perfil sísmico transformado a profundidad no interpretado (85-UB-36) mostrando claramente las superficies de cabalgamiento. Sobre el perfil interpretado, se puede observar el estilo de deformación.

El análisis geométrico muestra que el flanco Sur del pliegue de San Martín corresponde a un “**kink-band**” determinado por una superficie axial activa situada al pie de la rampa del corrimiento y por una superficie axial pasiva desplazada bajo el efecto del acortamiento sobre esta rampa (Fig. 6). El flanco Norte es el resultado del desplazamiento de la rampa por la unidad cabalgante, de un segundo “**kink-band**”, limitado por una superficie axial activa situada en la parte superior de la rampa de cabalgamiento, y por una segunda superficie axial pasiva que se desplaza sobre el flanco, por efecto del acortamiento.

El anticlinal de Fitzcarrald no se observa en superficie porque está cubierto por las unidades terciarias retrocabalgantes. Se desarrolla debajo del corrimiento de San Martín y se caracteriza por tener una estructura bien desarrollada en la parte Este que se amortigua hacia el Oeste. Se trata de una estructura de tipo pliegue de rampa. El cabalgamiento responsable de este pliegue presenta una geometría más compleja, que evoluciona de Este a Oeste desde un dispositivo de tipo “**staircase**” hacia un sistema de rampa simple.

RECONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE UN SISTEMA DE CORRIMIENTOS



El análisis de la evolución E-W del sistema San Martín – Fitzcarrald, se realizó utilizando 7 secciones sísmicas transformadas a profundidad, e interpretadas como pliegues por flexión de falla (“**fault bend folds**”) para reconstruir la geometría de horizontes y de segmentos de fallas.

El anticlinal de San Martín es un pliegue donde la altura general no varía de Este a Oeste por que se trata de un pliegue de sobre corrimientos, donde la geometría está compuesta de tres segmentos: un flanco inferior, una rampa y un flanco superior. El acortamiento fue medido sobre el reflector del tope de Copacabana al igual que la profundidad del flanco inferior.

El anticlinal de Fitzcarrald es una estructura más compleja, presenta una trayectoria de cinco segmentos, con dos rupturas de pendiente. El acortamiento fue medido sobre el reflector del tope Copacabana al igual que la profundidad del flanco inferior.

Figura 6: Perfiles sísmicos construidos utilizando pliegues por flexión de falla (“**fault bend holding**”). Notar que la profundidad con respecto al **Datum** del nivel de despegue basal es idéntica sobre cada corte.

VARIACIÓN DEL ACORTAMIENTO

El acortamiento calculado para la zona subandina de Perú varía entre 80 y 140 Km. (Gil 2001). Nuestro estudio tiene exclusivo interés sobre las estructuras frontales San Martín – Fitzcarrald, las cuales presentan medidas de acortamiento horizontal de entre 4 y 5 Km.

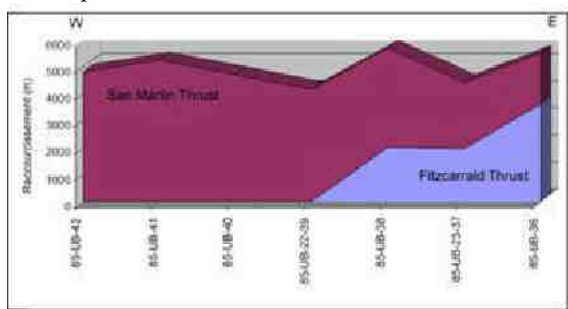


Figura 7: Acortamiento acumulado de los corrimientos de San Martín y de Fitzcarrald.

Las medidas de acortamiento tienen un valor acumulado constante. La distribución del acortamiento sobre las dos superficies de corrimientos muestran una variación E – O. El acortamiento sobre el corrimiento de

Fitzcarrald disminuye hasta hacerse cero (0) a nivel de la línea 85-UB-39 y en contrapartida aumenta el acortamiento sobre el corrimiento de San Martín en la misma dirección. El amortiguamiento lateral de la estructura de Fitzcarrald cambia de cinemática y la estructura deviene en un pliegue de propagación de falla. Al parecer, el acortamiento se transfiere desde el corrimiento de Fitzcarrald hacia el de San Martín (Fig. 7).

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO 3D DE LA DEFORMACIÓN A CAUSA DEL SISTEMA DE DUPLEX (SAN MARTÍN – FITZCARRALD)

La información utilizada en la construcción del modelo geológico del sistema de duplex San Martín – Fitzcarrald corresponde a 7 perfiles sísmicos (Fig. 3, 6) transformados a profundidad e interpretados como pliegues por flexión de falla (“**fault bend holding**”) (Suppe, 1983). En la elaboración del modelo geométrico 3D del sistema de corrimiento San Martín- Fitzcarrald se ha utilizado el software 3Dmove que permite al extrapolación de valores, la visualización y la construcción de superficies marcadas (Fig. 8). La información cargada en este software corresponde a perfiles sísmicos 2D.

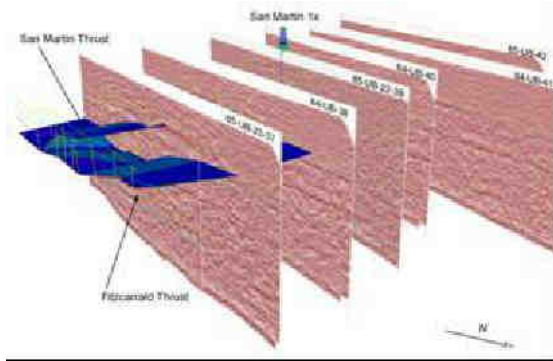
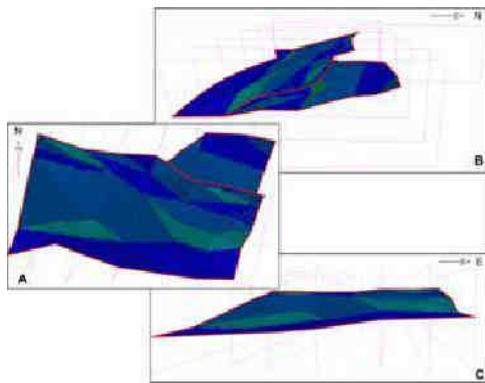


Figura 8: Modelo 3D del sistema duplex de San Martín Fitzcarrald. Superficies en azul representan las superficies de cabalgamiento.

ANÁLISIS DEL MODELO GEOLÓGICO 3D



El análisis del modelo geológico (fallas y topes de formaciones) en 3D nos permite identificar las variaciones laterales de la deformación. Podemos identificar un nivel de despegue basal común de las dos estructuras que no es horizontal, con pendiente hacia la cadena, pero también con otra pendiente general del orden de 3° grados en dirección Oeste (Fig. 9-C). En la misma dirección se puede observar que la pendiente (N-S) del corrimiento de San Martín disminuye. Esta disminución del ángulo de la rampa de San Martín está relacionada a la desaparición del corrimiento de Fitzcarrald (Fig. 9-A).

Figura 9: Modelo 3D de la superficie de falla de San Martín – Fitzcarrald. La variación de color indica la variación del valor del ángulo de la pendiente de la superficie (color verde mayor valor del ángulo – color celeste menor valor del ángulo).

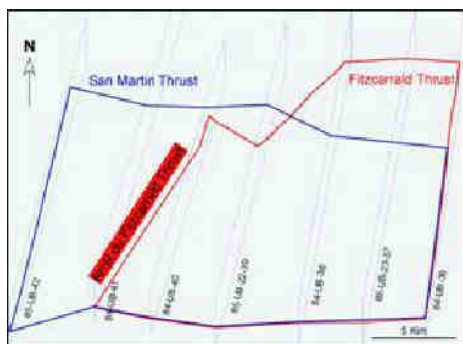
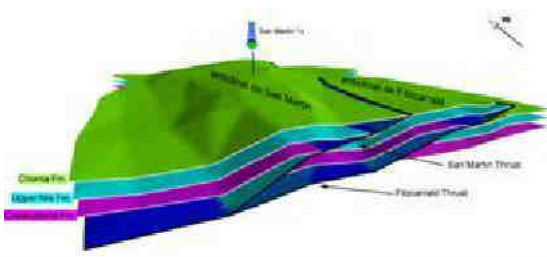


Figura 10: Esquema de la terminación del corrimiento de Fitzcarrald bajo el corrimiento de San Martín.

El corrimiento de Fitzcarrald desaparece entre el perfil sísmico 84-UB-38 y el 85-UB-22-39 (Fig. 6) donde debe de situarse el “**tip line**” que limita al Oeste la superficie de corrimiento. A medida que nos dirigimos hacia el Oeste el pliegue de Fitzcarrald adquiere una cinemática de pliegue por propagación de falla (“**fault propagation fold**”). Así nosotros podemos observar un amortiguamiento lateral progresivo del pliegue de

Fitzcarrald que tiende hacia cero en dirección del Oeste (Fig. 6-7) y se transfiere sobre la superficie de corrimiento de San Martín.

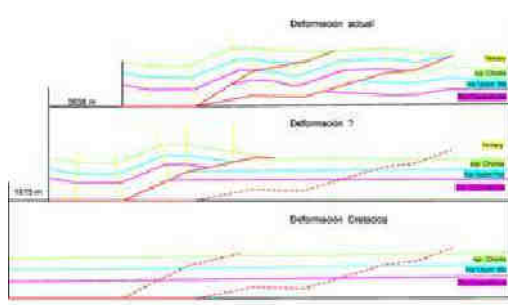
Al Este, la superficie de falla del corrimiento de San Martín presenta una pendiente de 30 grados y el anticlinal de San Martín corresponde a un relieve importante (tope de la formación Chonta sobre la sección sísmica 84-UB-36 a -1630 m). Este relieve disminuye progresivamente hacia el Oeste.



Donde la pendiente de la superficie de falla es de 13 grados (tope de la formación Chonta sobre la sección sísmica 85-UB-42 en -1800 m) (Fig. 11). Se constata claramente que el anticlinal de Fitzcarrald se estructura después del anticlinal de San Martín.

Figura 11: Modelo geológico 3D mostrando la deformación del duplex San Martín – Fitzcarrald.

EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE DUPLEX – SECUENCIA DE DEFORMACIÓN



Para las estructuras San Martín y Fitzcarrald, se propone una secuencia de deformación y propagación conforme (Fig. 12), es decir que la estructura mas joven se localiza hacia el ante-país. Así el anticlinal de San Martín sufre la deformación asociada a su creación pero también la que le impone el cabalgamiento de Fitzcarrald que lo remplace, generando un sistema de “**hitenrland dipping duplex**” al Este que evoluciona lateralmente en un pliegue de rampa pasiva.

Figura 12: Secuencia de deformación progresiva y acortamiento del sistema de San Martín – Fitzcarrald “**forward-breaking sequence**”. Reconstruido a partir de la interpretación geométrica, perfil 84-UB-36.

DISCUSIONES

La reconstrucción a partir de la interpretación de las secciones sísmicas muestra que las unidades cabalgantes frontales del sistema San Martín – Fitzcarrald pertenecen a un duplex con vergencia Norte presentando un estilo clásico de deformación de cobertura (“**thin skinned**”).

El modelo geométrico 3D que proponemos muestra una buena adecuación entre la interpretación directa de los segmentos de la falla en rampa, con variaciones en el segmento inferior, es decir cuando la falla es paralela a los horizontes. En esta zona de falla paralela a las capas, el reconocimiento sobre los perfiles sísmicos es difícil, así la influencia de la interpretación es muy importante. Para poner en evidencia esta adecuación, hemos realizado dos grillas correspondientes a la superficie observada y a la modelizada (Figura D-1, D-2). Sustrayendo las dos grillas podemos visualizar la zona donde la adecuación es buena (inferior igual a la resolución sísmica) y la otra donde no es satisfactoria (superior o igual a la resolución sísmica).

En este trabajo hemos utilizado algunas herramientas susceptibles a márgenes de error intrínsecas que no hemos cuantificado.

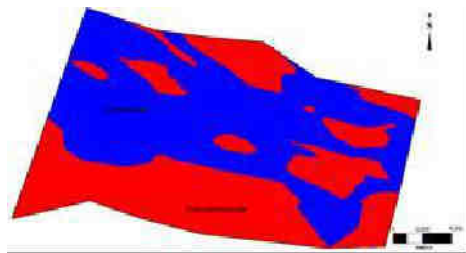
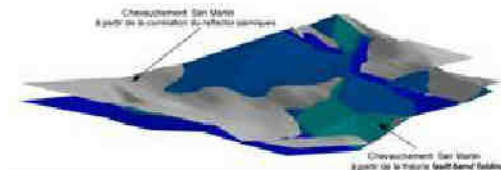


Figura D-1: Mapa mostrando las diferencias entre la superficie observada y modelizada. Zonas rojas, donde la diferencia es superior a 100 m y las zonas azules, donde la diferencia es inferior a 100 m.

Este estudio presenta un interés económico por que se sitúa en la zona Hidrocarbúfera de Camisea donde las reservas estimadas son de alrededor de 10 tcf trillones de

pies cúbicos) para gas y 620 millones de barriles para condensados. Esta estimación no toma en cuenta la estructura de Fitzcarrald, donde no existen razones para no considerarla como una estructura favorable económicamente.

Figura D-2: Esquema que muestra la superficie de falla de San Martín con dos interpretaciones, azul modelizada, gris interpretación a partir de la correlación de reflectores sísmicos.



CONCLUSIONES

Los principales resultados de este estudio son:

La capacidad del modelo para determinar la profundidad de los “paliers” o segmentos inferiores cuando la información sísmica presenta problemas en la imagen.

El “palier” o segmento inferior de las dos estructuras pertenece probablemente a la formación Ananea o Cabanillas.

La geometría en **hinterland dipping duplex** del sistema San Martín – Fitzcarrald evoluciona hacia el Oeste en forma de pliegue simple de rampa.

El acortamiento medido es de 4 – 5 Km. para el conjunto del sistema y no varía significativamente paralelamente a los pliegues. El acortamiento se distribuye sobre las dos superficies de cabalgamiento.

El anticlinal de Fitzcarrald constituye un objetivo importante para la exploración del campo de Camisea el cual aumentaría significativamente las reservas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado en el marco del convenio IRD-PERUPETRO-PLUSPETROL, y corresponde a los resultados de una memoria de Master obtenido en la Univ. de Toulouse III (Francia).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Boyer S. Elliott D., 1982. Thrust Systems. American Association of petroleum Geologists Bulletin, V. 66, p 1196-1230.
- Chung J. Arteaga M. Davis S. Seminario F., 2006. Impacto de la sísmica 3D en el desarrollo de los yacimientos de camisea – bloque 88, Cuenca Ucayali, Perú. Petrotecnia p 114- 125.
- Gil W., 2001. Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico ejemplo de las cuencas subandinas entre 0° y 16° S. Thèse de l’université Paul Sabatier de Toulouse III, 146 p.
- McClay K. R., 1992. Thrust Tectonics, Editorial Chapman and Hall. London. p 427- 432.
- Mitra S., 1986. Duplex Structures and Imbricate Thrust Systems: Geometry, Structural Position, and Hydrocarbon Potencial. American Association of petroleum Geologists, Bulletin V. 70, No. 9, p 1087-1112.
- Medwedeff a., Suppe J., 1996. Mulibend Fault Bend Folding. Jurnal of Structural Geology, V. 19 Nos. 3-4, p 279-292.
- Richards D., Calvert S., Yamamoto H., 2004. 2D and 3D structural Balancing in a Deformed Foreland Basin, Peruvian Subandean belt.
- Rodgers J., 1971. The Taconic Orogeny: Geological Society of America, Bulletin 82 (5), p.1141-1178.
- Shaw J., Hook S., Suppe J., 1994. Structural trend analysis by Axial Surface Mapping. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, V. 78, No. 5, p 700-721.
- Shaw J. bilotti F. brennan P., 1999. Patterns of Imbricate Thusting. Geological society of American bulletin V.111, No 8 p 1140-1154.
- Suppe J., 1983. Geometry and kinematics of Fault Bend Folding. American Jurnal of Science, V. 283 p. 648-721.
- Sanders C., Bonora Máximo., Richards D., Kozlowski., Sylwan C., Cohen M., 2004. Kinematic structural Restorations and discrete fracture modelling of a thrust trap: a case study from the Tarija Basin, Argentina. Marine and Petroleum Geology, V. 21, p 845-855.
- Vann I., Graham R., Hayward A., 1986. The Structure of Mountain Fronts. Journal of Structural Geology, V. 8, Nos 3/4, p 215-227.
- Wine G., Parker B., Martinez E., Fernandez J., Calderon Y., Galdos C., 2002. Ucayali & Ene basins technical report. PARSEP. Zoetemeijer r. Sassi W., 1992. 2-d reconstrucción of thrust evolution using the fault – bend fold method. Thrusttectonic, Editorial Chapman and Hall. London. p. 133- 140.