

# **MODELO DE BLOQUES ESTRUCTURALES EN EL ACORTAMIENTO ANDINO DEL SUR DEL PERU**

**Víctor Carlotto Caillaux**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú INGEMMET vcarlotto@ingemmet.gob.pe  
Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú

## **INTRODUCCION**

El presente trabajo muestra que la corteza del sur del Perú y particularmente la región de Cusco está constituida por diferentes dominios estructurales yuxtapuestos que denominamos bloques estructurales. Estos bloques presentan cada uno sus evoluciones sedimentarias, tectónicas y magmáticas propios. Los límites de estos grandes dominios estructurales están marcados por sistemas complejos de fallas, algunas veces señalados por unidades magmáticas mesozoicas y cenozoicas, calco-alcalinas en la parte sur-occidental y potásicas en la parte nor-oriental. Se han realizado cálculos de acortamientos para cada uno de estos bloques en la región de Cusco, las que luego han sido integradas a un corte general de las Andes del Sur del Perú obteniendo valores de acortamiento que no se relacionan con el espesamiento de la corteza mostrada por la geofísica, por lo que se plantea que fenómenos de erosión tectónica sean la causa, o que eventualmente el doblamiento tectónico no este bien expresado superficialmente en el conjunto de los Andes.

## **METODOLOGIA**

Para estudiar el acortamiento se han elaborado cortes o secciones estructurales locales y regionales así como un corte a través del Sur de Perú (Ver figura). Se restauraron en el estado no deformado con el fin de comprobar su coherencia geométrica y considerar los tipos de acortamiento en los distintos bloques estructurales. Estos cortes se basan esencialmente en las observaciones de geología de superficie.

Los bloques estructurales muestran cada uno un estilo tectónico propio. En cada uno de estos se observa frecuentemente variaciones de espesores y de litología de las series sedimentarias de la misma edad. Para que esto influya lo mínimo, al momento de la construcción de los cortes estructurales, se consideró que las longitudes estaban conservadas. Así las longitudes de las capas deben ser idénticas en los estados iniciales y restaurados. El componente transcurrente o de rumbo que caracteriza los límites de los principales dominios estructurales (bloques) constituye un obstáculo a las condiciones ideales teóricas de restauración. Por esta razón se restauró independientemente cada uno de los bloques y se consideró que ningún acortamiento se ha introducido durante la transurrencia. El resultado obtenido sobre los cortes está pues marcado de error. El valor del acortamiento obtenido es en consecuencia un valor mínimo.

## **LA DEFORMACION Y EL ACORTAMIENTO EN LOS DOMINIOS ESTRUCTURALES**

El estudio estructural se ha realizado en base a trabajos de campo, no contando con información sísmica. Se ha partido de un análisis detallado del acortamiento a nivel de la región de Cusco con 7 secciones estructurales entre el borde nor-este de la Cordillera Occidental y la Zona Subandina. Además, se ha completado el corte a través de los Andes del sur del Perú (Carlotto, 1998-2002) (Ver figura).

### **El Ante Arco**

El Ante Arco se extiende desde la fosa hasta el arco magmático. En el talud superior se desarrolló la cuenca Camana (Oligo-Mioceno), mientras que en la plataforma la cuenca Moquegua (Eoceno-Mioceno), ambas separadas por la Cordillera de la Costa. El relleno sedimentario se halla deformado

por fallas y flexuras originados en el Oligoceno Mioceno y selladas por las ignimbritas del Mioceno superior, que a su vez están cubiertas en discordancia por el vulcanismo reciente del arco actual. El acortamiento estimado es del 5%.

### **La Cuenca Occidental**

Corresponde a la antigua Cuenca Occidental mesozoica rellena por depósitos detríticos y carbonatados del Jurasico-Cretácico. La parte central se halla recubierta por depósitos volcánicos cenozoicos y del arco actual, con relieves que pasan los 5000 m. Para el cálculo del acortamiento hemos considerado la zona de Cincha-Lluta, el borde NE y el Bloque Anta. Para la zona cubierta se ha considerado un promedio entre el acortamiento de Cincha-Lluta y el borde NE.

#### **Zona de Cincha-Lluta**

En la región de Arequipa los terrenos mesozoicos de la parte sur-occidental de la cordillera son recortados por el Batolito de la Costa (Cretáceo-Paleoceno). Aquí la deformación Andina es la más antigua y la más intensa y se pone de manifiesto a través del cabalgamiento de Cincha-Lluta (Vicente, et al, 1979) del Cretácico superior. Se trata de una estructura NO-SE, visible sobre cerca de 300 km de longitud, implicando el zócalo precámbrico y con un desplazamiento de al menos 25 km hacia el NE, lo que se traduce por un acortamiento del 60%. Claro está que el cabalgamiento ha sido retomado durante el Cenozoico por movimientos de rumbo.

#### **Borde NE de la Cordillera Occidental**

El borde NE de la Cordillera Occidental corresponde al borde NE de la Cuenca Occidental mesozoica, donde las series sedimentarias se hallan deformadas por sistemas de pliegues cilíndricos con plano axial vertical o ligeramente inclinado al NE, de dirección E-O a ONO-ESE. Este ámbito se caracteriza también por la presencia del batolito Andahuaylas-Yauri (Eoceno-Oligoceno) que intruye las series mesozoicas, mientras que la parte sur se halla cubierta por gruesas series volcánicas cenozoicas calco-alcalinas de arco. Los límites norte y nor-este están marcados por un gran cabalgamiento de dirección E-O (Abancay-Limatambo) que luego se hace NO-SE (Huanquite-Accha) y que en realidad son parte del gran sistema Cusco-Lagunillas-Mañazo (C-L-M).

Las medidas de acortamiento son escasas y dan solamente el 9.3%, lo que pone de manifiesto que a este nivel la deformación es escasa sin relación con el espesor de la corteza que alcanza aquí los 55 km. Sin embargo, en Curahuasi el cabalgamiento E-O de Abancay-Limatambo, con vergencia norte hace subir gabros cumulat eocenos del batolito y produce duplex en las series jurásicas. Estos cabalgamientos se interpretan como antiguas fallas normales que limitaban el borde NE de la cuenca, las que han sido invertidas durante el Eoceno. Aquí el cálculo del acortamiento es de cerca de 70 %.

#### **Bloque Anta**

Sobre el borde septentrional de la Cordillera Occidental y cerca del Altiplano existe una zona que designamos bajo el nombre de Bloque Anta, que viene a ser el límite entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, caracterizado por las fallas de Abancay-Limatambo ó Huanquite-Accha, y la falla de Cotabambas que la pone en contacto con intrusivos del batolito.

El bloque está caracterizado por la presencia de la Formación Anta (Eoceno superior-Oligoceno inferior) que sobreyace en discordancia angular a las unidades mesozoicas de la Cuenca Occidental o a las formaciones continentales paleocenas (Quilque y Chilca). Las estructuras observadas son anticlinales y sinclinales con gran radio de curvatura que caracterizan una deformación más intensa en la parte meridional. Se interpretan como pliegues de propagación de fallas y pliegues de amortiguamiento desarrollados principalmente en el Eoceno superior-Oligoceno inferior y contemporáneo con el relleno sedimentario de la cuenca Anta. El porcentaje de acortamiento es de 13%.

## **El Altiplano**

El Altiplano es la expresión morfológica del oroclino boliviano y con altura promedio de 4000 m. La región de Cusco-Abancay constituye la terminación NO, caracterizada por dividirse en 2 bloques, occidental y oriental, separados por el Umbral Cusco-Puno s.s.

### **Altiplano Occidental (Bloque Cusco-Sicuani)**

El Altiplano Occidental muestra en las regiones de Cusco y Sicuani extensos afloramientos de Capas Rojas del Grupo San Jerónimo (Eoceno basal-Oligoceno inferior). Este dominio, llamado bloque Cusco-Sicuani, está separado del Umbral Cusco-Puno s.s. por una zona de fallas transcurrentes (Falla Uchuyqosqo) perteneciente al Sistema Urcos-Sicuani-Ayaviri (U-S-A), y del bloque Anta por el cabalgamiento Abancay-Limatambo ó Huanoquite-Accha ambos del sistema C-L-M. Las Capas Rojas del Grupo San Jerónimo descansan en discordancia de erosión (concordancia estructural) sobre las formaciones paleocenas (Chilca o Quilque) o a las formaciones mesozoicas.

Este dominio se caracteriza por pliegues plurikilométricos NO-SE y ONO-ESE que muestran fuerte deformación, incluyendo discordancias progresivas desarrolladas durante el Eoceno superior-oligoceno inferior y sincrónicas al relleno superior de la cuenca de Capas Rojas. Además, se presentan cabalgamientos con vergencia al NE que nosotros consideramos para el cálculo del acortamiento solamente la cobertura. Sin embargo, el análisis tectono-sedimentario de las series cenozoicas indica, que en el seno de este bloque, las fallas también funcionaron en transurrencia. El valor de acortamiento así obtenido varía entre 25 y 45 %

### **Umbral Cusco-Puno s.s.**

Definimos como Umbral Cusco-Puno s.s. a un estrecho corredor estructural de algunos km de ancho y dirección NO-SE, que se extiende desde Cusco a Puno. En el sector de Cusco-Sicuani este umbral separa el Altiplano Occidental del Altiplano Oriental (Cuenca Putina) o del borde SO de la Cordillera Oriental (Falla Urcos-Sicuani-Ayaviri). Definimos igualmente el Umbral Cusco Puno s.l. agregando el Altiplano Occidental (bloque Cusco-Sicuani) donde la serie mesozoica es muy reducida por comparación a la Cuenca Occidental.

### **El Altiplano Oriental (Cuenca Putina)**

La cuenca Putina se sitúa entre el Umbral Cusco-Puno s.s. y la Cordillera Oriental. El substrato está constituido por formaciones del Paleozoico y el relleno sedimentario, grueso de más 2000 m, está formado por un conjunto mesozoico-cenozoico. Está caracterizada por la presencia de cabalgamientos, escamas imbricadas, pliegues cilíndricos e isópacos, de dirección NO-SE con vergencia al SO, producto de la deformación eocena u oligocena. El acortamiento en esta unidad es de 31%.

## **La Cordillera Oriental**

La Cordillera Oriental corresponde a la zona axial de la antigua cadena hercínica y está formada por rocas principalmente del Paleozoico inferior. Esta puede dividirse en 3 sectores: el borde SO, la parte central y el borde NE. El borde SO que corresponde en la región de Cusco, es una zona marcada por cabalgamientos NO-SE con vergencia SO afectando el zócalo. Se trata de antiguas fallas normales que han controlado la sedimentación Permo-triásica del Grupo Mitu. En el sector central el Ordovícico y batolitos Permo-Triásicos se hallan levantados mediante anticlinorios que sobrepasan los 6000 m, mientras que el sector NE cabalga la Zona Subandina por intermedio de una estructura de zócalo con vergencia NE, que corresponde al sub-cabalgamiento del escudo brasileño bajo la cordillera. El porcentaje de acortamiento calculado para la cordillera es del 20%, sin embargo, para la parte SO al límite con el Altiplano, varía entre 40 y 66%. En general, estructuralmente la Cordillera Oriental es interpretada como debida a la inversión tectónica del rift Permo-Triásico durante el Cenozoico.

## **La Zona Subandina**

La Zona Subandina está caracterizada por un conjunto de cabalgamientos y pliegues de flexión NO-SE con vergencia NE, que afecta el zócalo e involucra rocas paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas de la cuenca antepaís, donde se desarrolló un prisma sedimentario constituido por las potentes series meso-cenozoicas del borde occidental de la cuenca, las que disminuyen hacia el Este. El porcentaje de acortamiento es del 34%. Se sabe que las primeras deformaciones compresivas de la cuenca subandina tuvieron lugar hacia el límite Eoceno-Oligoceno y que el acortamiento principal se produjo durante el Mioceno superior-Plioceno (6-7 Ma).

## **CALCULO DEL ACORTAMIENTO: RESULTADOS E INTERPRETACIONES**

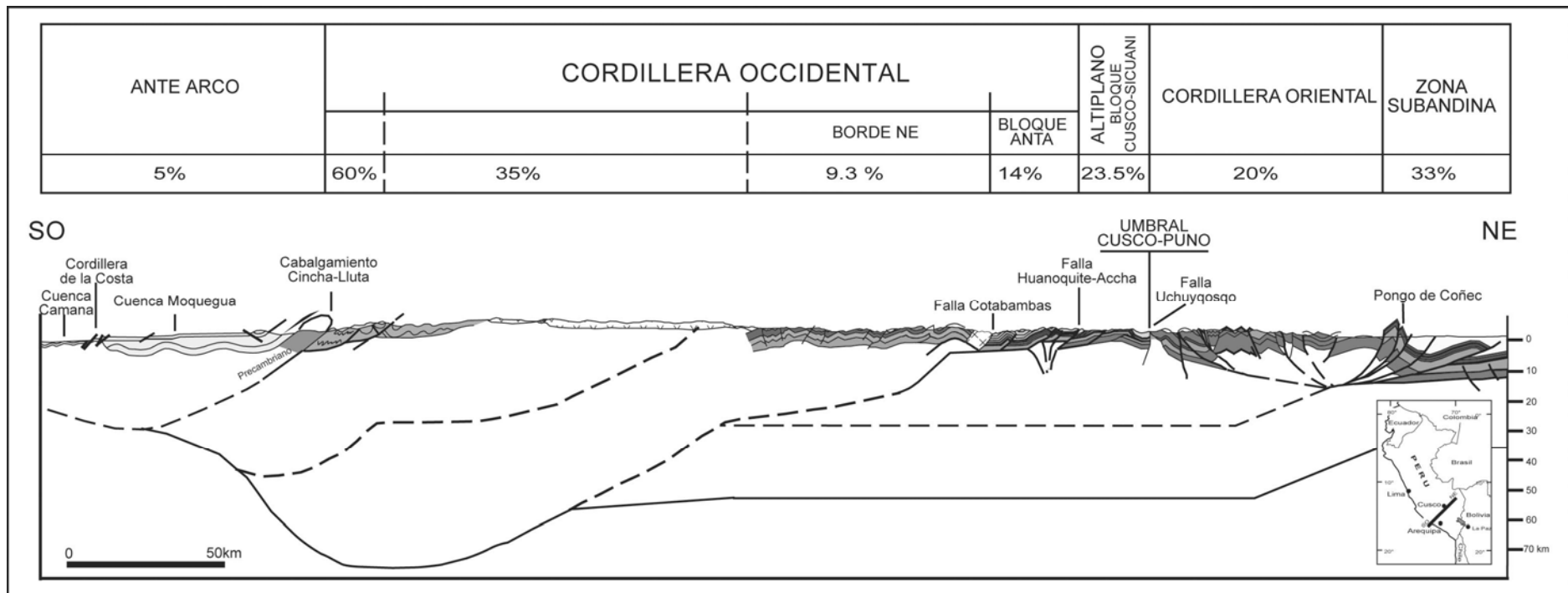
Distintos métodos permiten intentar una evaluación del acortamiento registrado por la cadena de los Andes Centrales en el Perú. A partir de los datos geofísicos se puede obtener el espesor de la corteza. Para el sur del Perú, la gravimetría, la sísmica refracción y la dispersión de ondas de superficie, indican una fuerte variación de espesor de la corteza, de 35 km bajo la costa, a más de 70 km bajo la Cordillera Occidental y el Altiplano, y de 50 km bajo la Cordillera Oriental. No obstante, la incertidumbre sobre los datos sísmicos y gravimétricos no permite elegir entre dos modelos extremos, el primero considerando un espesor máximo y el segundo un espesor mínimo. Para calcular el acortamiento en los Andes Sur de Perú a partir de los datos estructurales de terreno, se ha considerado las tasas de acortamiento para cada dominio estructural (Carlotto, 1998-2002). Para evaluar el acortamiento cortical se ha utilizado el método de superficies admitiendo un espesor original promedio de la corteza es 30 km. La nomenclatura utilizada es la siguiente:  $L_f$  es la longitud final de las capas,  $L_i$  es la longitud inicial,  $R = L_i - L_f$  es el acortamiento.

La superficie obtenida en la sección estructural del sur del Perú a partir de los datos geofísicos es en promedio, 26,150 km<sup>2</sup>. A partir de los acortamientos medidos en cada bloque obtenemos el acortamiento total mínimo a través de toda la sección estructural de  $R$ : 158 km ( $L_f$ : 482.9 km,  $L_i$ : 640.9 km) lo que da, con una corteza promedio de 30 km, una superficie  $S$  de 19,227 km<sup>2</sup>. Este resultado indica que los valores de acortamiento calculados no bastan para producir el acortamiento cortical. Por lo tanto, hemos asumido acortamientos máximos en toda la Cordillera Occidental y considerado un valor del 50%, incluyendo el Bloque Anta. La superficie obtenida da un valor de 23,697 km<sup>2</sup>, lo que tampoco explica el acortamiento cortical. Solo considerando un valor de acortamiento del 60% al conjunto de la Cordillera Occidental obtenemos una superficie de corteza similar al mostrado por la geofísica.

En consecuencia dos hipótesis se plantean, la primera, muestra que los valores de acortamiento obtenidos a partir de los datos geológicos de superficie no bastan para producir el espesamiento cortical en el sur del Perú puesto en evidencia por la geofísica. Para explicar este exceso de volumen proponemos que la contribución de pedazos litosféricos como efecto de la erosión tectónica, puede ser la causa de este sobre-espesamiento cortical. La segunda hipótesis, supone que la duplicación de la corteza, se debe enteramente al acortamiento, pero la deformación en superficie solamente se expresa bien en algunos lugares como en Cincha-Lluta ó Curahuasi (Carlotto, 1998-2002).

## **REFERENCIAS**

- Carlotto, V. (1998). Evolution Andine et Raccourcissement au Niveau de Cusco (13-16°S) Perou. Enregistrement sédimentaire, chronologie, controles paleogeographiques, evolution cinématique. Tesis Doctor. Universidad de Grenoble. Francia. 158 p.
- Carlotto, V. (2002). Évolution Andine et Raccourcissement au Niveau de Cusco (13-16°S), Pérou. Geologie Alpine, Memoire H.S. Nro. 39, Grenoble-France, 203 p.
- Vicente, J.C., Sequeiros, F., Valdivia, M.A. & Zavala, J. (1979). El sobre-escurrimiento de Cincha-Lluta, elemento del accidente mayor andino al Nor-Oeste de Arequipa. Bol. Soc. geol. Perú, 61, 67-99.



Sección estructural transversal a los Andes del Sur del Perú (Carlotto, 1998-2002)