

## RESIDUALES Y ANOMALIAS DE ESTACIÓN EN PERU DEDUCIDAS DE ONDAS P TELESISMICAS

Bilha Herrera y Hernando Tavera

Instituto Geofísico del Perú-Dirección de Sismología. Calle Badajoz 169, Mayorazgo, Ate-Perú. Email: bilha.herrera@igp.gob.pe

### INTRODUCCIÓN

El análisis de residuales de tiempos de recorrido de las ondas sísmicas y anomalías de estación es uno de los métodos de la investigación sismológica utilizado para evaluar y analizar las propiedades físicas presentes en la corteza y manto superior. Este método consiste en realizar la corrección entre el tiempo teórico de un evento sísmico, comparado con su tiempo de propagación observado en un sismograma, para lo cual se considera un modelo de Tierra estándar y simétrico.

Las anomalías de estación han sido objeto de numeroso trabajos a nivel mundial entre los que se puede mencionar los de Cleary y Hales (1966), Poupinet (1977), Dorbath y Dorbath (1985). Aplicaciones de este método en Perú solo se conoce el trabajo realizado por Tavera (1987), en el que utilizando onda P y PKIKP telesísmicas calculó las anomalías de estación para deducir el espesor de la corteza para la región central de Perú.

Utilizando la misma metodología, en el presente trabajo se calcula los residuales y anomalías de estación para ondas P telesísmicas registradas en 14 estaciones de la Red Sísmica Nacional (RSN) a cargo del Instituto Geofísico del Perú (IGP) durante el periodo 2000-2008.

### METODOLOGÍA APLICADA

Uno de los métodos sismológicos para conocer las heterogeneidades laterales de la litosfera y determinar la estructura profunda de continentes consiste en comparar el tiempo observado de recorrido de la onda de P con los tiempos del recorrido calculados para un modelo homogéneo y estándar de la Tierra. Esta diferencia de tiempo es conocida como residual y a partir de ella se calcula las Anomalías de Estación. En general, la residual  $R_{ij}$  es la suma de las anomalías alrededor del foco ( $F_i$ ), anomalías dentro del manto ( $R_k$ ), y de anomalías alrededor de la estación ( $S_j$ ), tal como se muestra en la Figura 1.

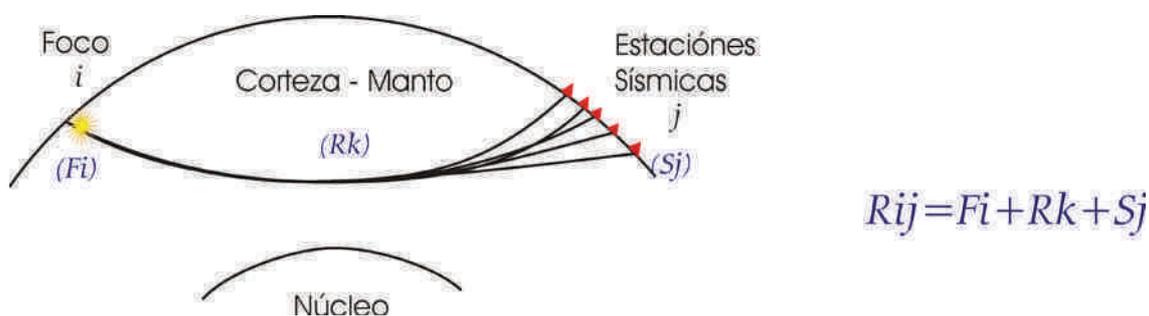


Figura 1. Esquema de Residuales de las ondas sísmicas.  $F_i$  es la anomalía alrededor del foco,  $R_k$  la anomalía en el manto y  $S_j$  la anomalía alrededor de la estación.

Para eliminar los efectos de la fuente y del recorrido de la onda por el manto, se realiza el cálculo de residuales absolutas ( $R_{ij}$ ), relativas ( $r_{ij}$ ) y anomalías de estación ( $r_j$ ) con las siguientes formulaciones:

$$R_{ij} = (T_{ij} - T_{io}) - C_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

$$r_{ij} = R_{ij} / R_i \dots\dots\dots(2)$$

$$r_j = \left( \sum_{i=1}^{n_j} r_{ij} \right) / n_j \dots\dots\dots(3)$$

- Donde:  $T_{ij}$  = Tiempo de arribo observado en el sismograma.  
 $T_{io}$  = Tiempo origen para el evento  $i$ .  
 $C_{ij}$  = Tiempo de recorrido calculado utilizando las tablas sismológicas Herrin (1968) para el evento  $i$ .  
 $R_i$  = Residual media por sismo  $i$ .  
 $n_i$  = Número de estaciones que registraron la llegada de la onda P para el Sismo  $i$ .  
 $n_j$  = Número de sismos registrados en la estación  $j$ .

**DATOS**

Para el cálculo de residuales y anomalías de estación para el Perú se ha utilizado 950 registros de ondas P correspondientes a 75 eventos telesísmicos registrados por 14 estaciones de banda ancha correspondientes a la Red Sísmica Nacional del Perú a cargo del IGP. Todos los sismogramas fueron obtenidos a distancias comprendidas entre 30° y 90° a fin de evitar los efectos de reflexión y refracción de ondas, tanto en la corteza terrestre como en el núcleo. En la Figura 2 se muestra ejemplos de registros utilizados en este estudio.

**RESULTADOS PRELIMINARES**

Los valores de residuales y anomalías fueron calculados utilizando las formulas anteriores y el modelo de Tierra definido por Herrin (1986). En relación a las *residuales absolutas* ( $R_{ij}$ ), en la Tabla 1 se observa que estos valores varían entre -0.08 y 1.68 seg. Los valores mas bajos se presentan en las estaciones de LYA -0.08 seg. y PTM 0.34 seg.; mientras que, los valores más altos se observan en las estaciones HUA y YLA (1.68 y 1.51 seg.). En la Figura 3 se observa que los valores más altos de  $R_{ij}$  se presentan en la zona de cordillera; mientras que, los valores mas bajos en las zonas de costa y subandina. Estos resultados son coherentes con los datos gravimétricos (Fukao et al. 1999), que definen mayor espesor de la corteza en la cordillera y menor en las zonas costanera y subandina.

En relación a las *residuales relativas*  $r_{ij}$  en la Figura 4 se presentan resultados obtenidos en función del azimut. La estación LAY presenta valores negativos; mientras que, para HUA y CAJ los valores son positivos. Estos resultados podrían relacionarse con la altura a la cual se encuentran las estaciones y el modelo de Tierra utilizado. Este resultado define la existencia de equilibrio isostático.

Las Anomalías de estación por ser una contribución de la propia estructura por debajo de las diferentes estaciones utilizadas en este estudio, serán empleadas para estimar el espesor de la corteza en la región norte, centro y sur del Perú. Estos espesores podrían ser utilizados como un aporte para ajustar los modelos de velocidad de las ondas sísmicas y así mejorar la localización de los hipocentros.

**Tabla 1.** Valores de Residuales Absolutos para las estaciones de banda ancha de la RSN a cargo del IGP

Estación	Rij	$\sigma$	N
CAJ	1.45	0.19	33
CTH	1.44	0.12	3
CON	1.06	0.27	9
CUS	1.49	0.28	25
CHA	1.17	0.20	22
HUA	1.68	0.23	35
HCO	1.30	0.22	3
LYA	-0.08	0.32	22
PIU	1.02	0.44	3
PTM	0.34	0.31	3
PUN	1.16	0.17	3
TAR	0.36	0.40	4
TOQ	1.16	0.17	30
YLA	1.51	0.19	32

Donde Rij=Residual Absoluto en seg.

$\sigma$  =Error medio cuadrático

n=Número de eventos

## REFERENCIAS

- Cleary J. And Hales A. (1966). *An Analysis of the travel time of P waves to North American stations in the distance range 32° to 100°*, Bull. Seism. Soc. Am. 56,467-489.
- Dorbath C. & Dorbath L. (1985). *Seismological Investigation of Bangui magnetic Anomaly region and its relation to the margin Congo Craton. Earth and Planetary Science Letters*, 75, pp, 231-144.
- Dziewonski A. & Anderson D. (1983). *Travel Times And Station Corrections For P Waves At Teleseismic Distances*, Journal Of Geophysical Research, Vol. 88, N° B4, Pp. 3295-3314
- Fukao Y., Kono M. & Yamamoto A. (1999). *Gravity Measurements and data Reduction for Bouguer Anomaly Map of Peru*. Bull. Eart. Res. Inst. Univ. Tokio. Vol. 74 (1999) pp. 161-266.
- Poupinet G., Pillet R. & Souriaus A. (1983). *Possible Heterogeneity Of The Earth'S Core Deduced From Pkikp Travel Times*, Reprinted From Nature, Vol. 305, N°. 5931. Pp. 204-206.
- Plomerova J. Y Vabuska V. (1984), *Special variations of P residuals and deep structure of the European Litosphere*. Geophys. J. Roy. Astr. Soc., 79, pp, 363-383.
- Tavera H. (1987). *Heterogeneidades de La Corteza y el Manto Superior Terrestre, Deducidos de la propagación de Ondas P Y PKIKP (Región Andina y Subandina del Perú Central)* . Tesis Univ. Nac. Sn. Agustín, Arequipa-Perú, 90 P.
- Tavera H. (1990). *Interpretación de las anomalías de estación a partir de las fases P y PKIKP para la región del Perú central*, Bol. Soc. Geológica del Perú, v. 81, pp.47-54.

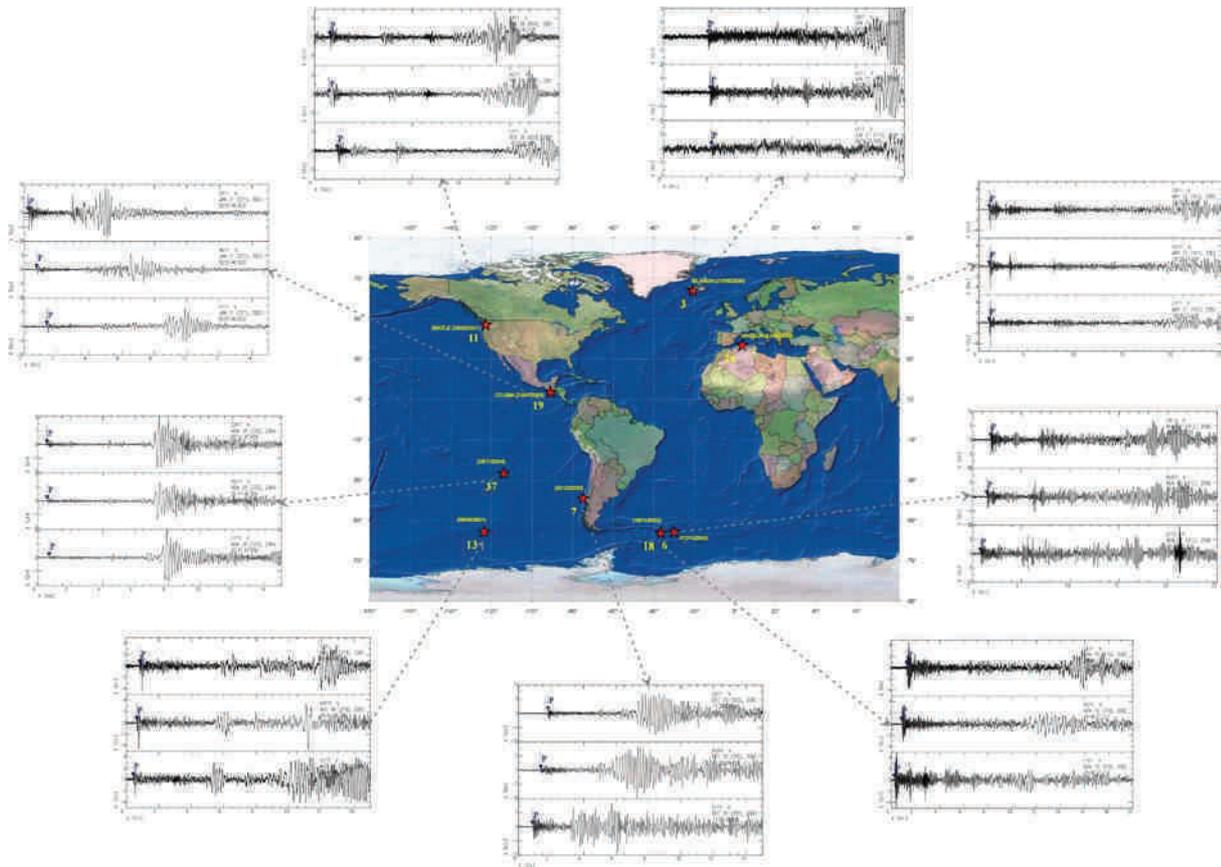


Figura 2. Ejemplos de registros utilizados en este estudio. Los tres registros que se presentan por evento, son las componentes verticales para estaciones CAJ (Cajamarca), HUA (Huancayo) y LYA (Layarada).



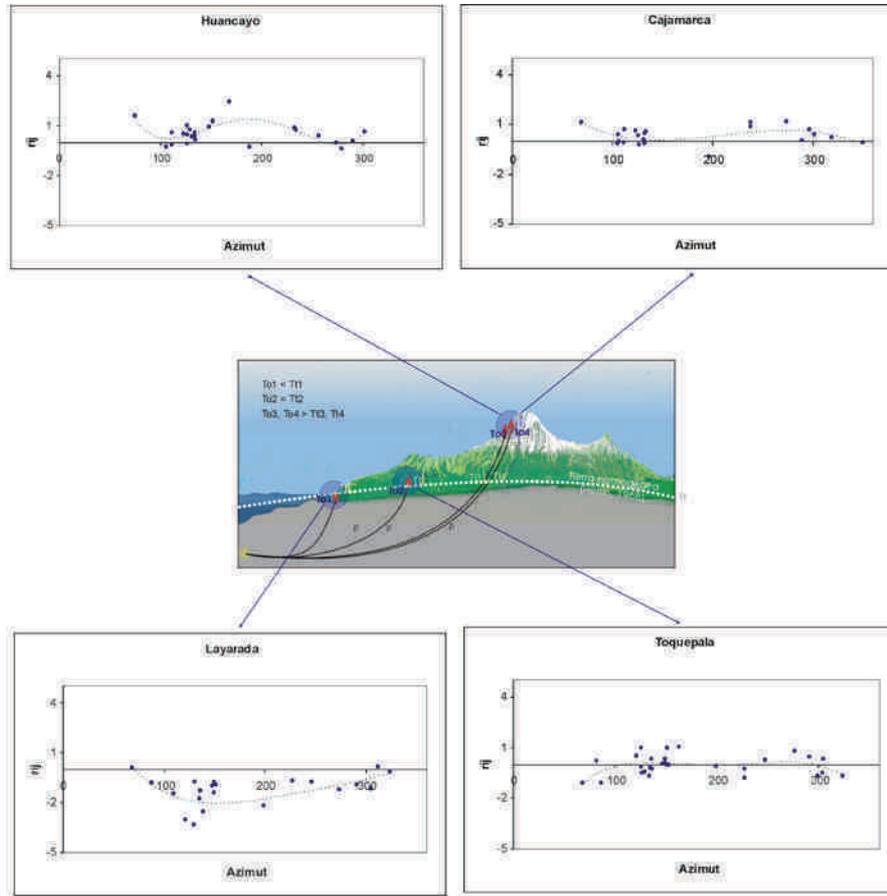


Figura 4. Ejemplos de distribución de los residuales  $r_{ij}$  en función del azimut. La línea blanca discontinua representa el modelo de tierra homogéneo; Las estaciones están representadas por los triángulos rojos;  $T_1$  es el tiempo teórico calculado para una tierra homogénea y  $T_0$  es el tiempo observado en los sismogramas. La estación LAY presenta valores de  $r_{ij}$  negativos lo que sugiere el tiempo observado es menor que el tiempo calculado para el modelo homogéneo. Las estaciones HUA y CAJ presentan valores positivos indicando que el tiempo de recorrido observado es mayor que el tiempo teórico.