EFECTOS OCEÁNICOS EN OBSERVACIONES DE MAREA TERRESTRE DE INCLINACIÓN EN LANZAROTE

OCEAN LOADING EFFECTS FROM TIDAL TILT OBSERVATIONS IN LANZAROTE ISLAND

J. Arnoso[(1)], M. Benavent[(1)], R. Vieira[(1)], A. Kalinina[(2)], A. Gorbatikov[(2)] and V. Volkov[(2)]

[(1)]Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM), Facultad de Matemáticas. 28040 Madrid, jose_arnoso@mat.ucm.es

[(2] Joint Institute of Physics of the Earth (Russian Academy of Sciences), Moscow (Russia)

SUMMARY

Since 1995 two short base-length horizontal pendulums are continuously recording at the station Cueva de los Verdes (Geodynamics laboratory of Lanzarote). Both tilt-meters are modified from the classical Ostrovsky pendulums and are adapted to the local features of the station. The tilt-meters have a working range of measurements of ±20 seconds of arc and can resolve up to one second of arc. Such technical properties allow determining the precise tilt response to Earth tides. The tidal tilt models obtained show an important influence from ocean tides. Thus, the estimated amplitude for the main harmonic constituents is of some 4-5 times larger than values measured at continental stations. In this work, the ocean loading and attraction effect, which are computed from global ocean tidal models supplemented with precise regional and local ones will be evaluated. Hence, tidal tilt observations can be corrected from this effect.

1. INTRODUCCIÓN

El efecto oceánico, en zonas próximas a la costa, es una de las causas que produce mayores perturbaciones en las observaciones contínuas de inclinación. En nuestro caso, las observaciones están realizadas en la Cueva de los Verdes, uno de los tres módulos de observación del Laboratorio Geodinámico de Lanzarote (Vieira et al., 1991), en funcionamiento desde el año 1987. La estación está localizada en la parte noreste de la isla, en el interior de túnel del volcán La Corona, a una distancia de 1.3 kilómetros de la costa y una altitud de 37 metros sobre el nivel del mar. Los instrumentos utilizados son dos péndulos horizontales de corta base tipo Ostrovsky (Ostrovsky, 1961) modificados, que se encuentran registrando continuamente desde Mayo de 1995, gracias a la cooperación entre el Instituto de Astronomía y Geodesia de Madrid y el Instituto de Física de la Tierra de Moscú. El rango de medida de los péndulos es de ±20 segundos de arco y las modificaciones realizadas, respecto su diseño original, tienen como fin adaptarlos a las condiciones de observación en Lanzarote. Afectan, principalmente, a su sistema de registro que actualmente está compuesto por un Sistema de Adquisición de Datos digital que alcanza una resolución de un milisegundo de arco y recoge una muestra por segundo (Kalinina et al. 2000). Además, se dispone de una visualización continua por ordenador de las señales registradas. Ambos péndulos, PH711NS y PH712EO, están instalados sobre un pilar de hormigón y orientados en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, respectivamente. Todo el sistema está cubierto por una protección especial para aislarlos de las corrientes de aire.

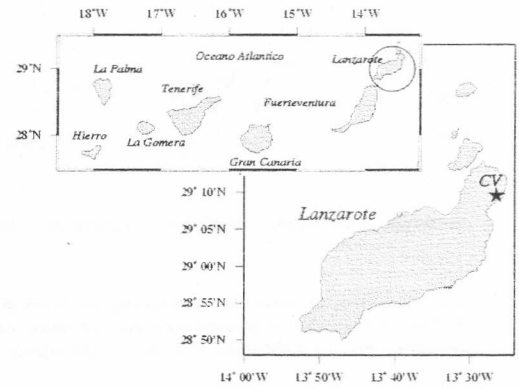

Figura 1* – Localización de la estación Cueva de los Verdes (CV) en Lanzarote, Islas Canarias (ϕ:29°.1601E, λ:-13°.4411N). *(Location of station Cueva de los verdes (CV) in Lanzarote, Canary Islands.).

2. ANÁLISIS DE LOS DATOS. MODELOS DE MAREA DE INCLINACIÓN

Con los datos observados, desde Agosto de 2000 hasta Septiembre de 2001, se ha realizado un tratamiento previo al análsis de marea, consistente en corregir saltos, picos e interpolar lagunas en los datos para periodos nunca superiores a dos horas. La serie considerada únicamente está interrumpida por pequeñas ausencias de datos de origen instrumental, principalmente. Aproximadamente, un 94% del total de muestras registradas son válidas para el análisis. El proceso se lleva a cabo, manualmente y de forma gráfica, con el programa Tsoft (P. Vauterin, 1998).

En la Figura 2 están representados los datos de inclinación, para ambas componentes, para todo el periodo de tiempo considerado. Ampliando un detalle de esta gráfica, para la componente Norte-Sur, sobre dos días de observaciones (Figura 3) se puede apreciar que la resolución de los aparatos es suficiente para determinar perfectamente la marea de inclinación.

El análisis armónico de los datos se ha realizado con el programa Eterna 3.4 (H.G.Wenzel, 1997). En la Tabla 1 se muestran los factores de amortiguamiento y los desfasajes, además de la amplitud teórica y las desviaciones estándar de cada parámetro, para las principales ondas diurnas y semidiurnas, en ambas componentes. Con este programa, el ajuste de los parámetros de marea se realiza mediante mínimos cuadrados y, para ello, se ha considerado el potencial de marea de Tamura (1987).

Se observa que los factores de amortiguamiento (γ) de los principales armónicos son de 4 a 5 veces superiores a los que se podrían registrar en estaciones continentales, donde se obtienen valores en torno a 0.65 y 0.7. Por su magnitud, esto hace pensar que el efecto oceánico es una de las causas que produce más perturbaciones en este tipo de observaciones.

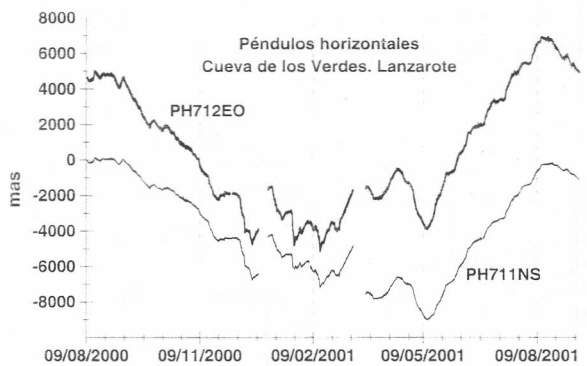

Figura 2 – **Registros de marea de inclinación, desde 09/08/2000 a 12/09/2001. Amplitudes en milisegundos de arco (mas).** ***(Tidal tilt registrations, from 09/08/2000 to 12/09/2001. Amplitudes in mas.).***

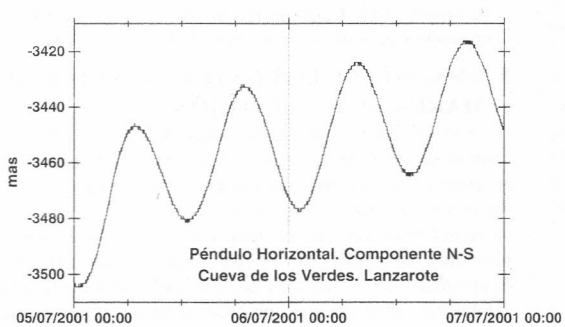

Figura 3 – **Marea de inclinación observada en CV durante un periodo de dos días.** ***(Tidal tilt observed at station CV during a period of two days.).***

Tabla 1 – Resultados del análisis de marea (amplitud teórica, R, y parámetros de marea, γ y α) para los clinómetros PH712EO y PH711NS, desde 09/08/2000 a 12/09/2001. Amplitudes en mas y fases, locales, en grados. ***(Result of the tidal analysis (theoretical amplitude, R, and tidal parameters, γ and α) for the PH712EO and PH711NS tiltmeters, from 09/08/2000 to 12/09/2001. Amplitudes in mas and phases, in degree, are local.)***

		R	γ	stdv	α	stdv
EO	O1	3.1745	1.65946	0.42222	-13.5493	14.5777
	P1	1.4771	3.76673	0.89574	-8.0828	13.6251
	S1K1	4.4646	1.53804	0.29946	-32.5977	11.1556
	N2	2.6434	2.64307	0.21183	-87.4772	4.5920
	M2	13.8064	2.10245	0.04097	-103.3658	1.1166
	S2	6.4234	1.36686	0.09079	-123.4825	3.8057
	K2	1.7462	1.79856	0.35006	-114.5144	11.1517
NS	O1	3.4550	0.53030	0.18850	-37.5410	20.3652
	P1	1.6076	1.16376	0.39710	63.6925	19.5503
	S1K1	4.8590	0.49126	0.13345	40.4762	15.5637
	N2	1.2880	2.90125	0.28028	3.7087	5.5352
	M2	6.7272	2.82252	0.05070	-7.9703	1.0293
	S2	3.1299	2.35038	0.11262	-29.3282	2.7453
	K2	0.8508	2.18053	0.43446	-40.8583	11.4161

3. EFECTO OCEÁNICO INDIRECTO

El Efecto Oceánico Indirecto (EOI) es el efecto de carga causado por las mareas oceánicas. En inclinación, su magnitud es considerable, incluso puede llegar a superar el propio efecto de la marea terrestre en zonas próximas a la costa. Por la complejidad del EOI, para su estudio se descompone en dos contribuciones principales, la atracción gravitatoria directa y la carga oceánica. Para el cálculo numérico de cada una de ellas se utiliza una cuadrícula construida a partir de modelos oceánicos globales, complementados con modelos regionales y locales más precisos.

Por un lado se tiene, la atracción gravitatoria directa, que se debe al desplazamiento de las masas de agua bajo el efecto del potencial lunisolar de marea, calculada mediante:

$$g^a(t) = \sum_{k=1}^{L}\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N}\Delta g^a(t) \qquad (1)$$

donde $\Delta g^a(t)$ es la atracción newtoniana evaluada en cada uno de los elementos de la cuadrícula. Por otra parte, el cálculo de la deformación elástica de la corteza terrestre bajo el peso de la marea oceánica se basa en las funciones de Green (Farrell, 1972) que describen la respuesta elástica de la deformación de la corteza terrestre y dependen de la distancia al punto de la superficie sobre el que se está calculando la carga. Así, el efecto de carga oceánica se obtiene mediante:

$$L(r) = \rho \cdot \iint_{\text{Oceano}} G(|r - r'|) \cdot H(r') \cdot dA \qquad (2)$$

que es la integral de convolución entre la función de Green de inclinación (G) y la distribución de la marea oceánica. Además, r y r' son vectores de posición sobre la superficie de la Tierra, ρ es la densidad del agua del mar y H es la altura de la marea oceánica.

En nuestro caso, los cálculos de atracción y carga oceánica se han realizado con el programa NLOADF (D.C. Agnew, 1996), que se basa en las funciones de Green calculadas por Farrell (1972) para el modelo de Tierra de Gutenberg-Bullen. Con el fin de comparar resultados, se han realizado los cálculos con tres modelos oceánicos diferentes: Schwiderski (1980), Eanes y Bettadpur (1995) y G. Egbert (1994) (nos referimos a ellos como SCHW80, CSR3.0 y TPXO2, respectivamente).

La Tabla 2 muestra el EOI en inclinación para las principales ondas diurnas y semidiurnas, para cada uno de los tres modelos oceánicos considerados en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste. Se observa que las mayores diferencias entre los modelos se encuentran, en ambas direcciones, para las ondas semidiurnas, alcanzando, en amplitudes, diferencias hasta de un 22% para la onda N2 en la componente Norte-Sur, y un 15% para la onda K2 en la componente Este-Oeste (entre los modelos SCW80 y TPXO2). Esta diferencia, para las ondas diurnas, siempre es inferior a un 3%. En cuanto a las fases, igual que en el caso anterior, las mayores diferencias se encuentran para la onda N2, con una diferencia de 4°.3 en la dirección Norte-Sur (entre los modelos CSR3.0 y TPXO2) y K2, con una diferencia de 8° en la dirección Este-Oeste (entre los modelos SCW80 y TPXO2).

En las Tablas 3 y 4 están representados los parámetros de marea observados después de la corrección del EOI, para cada uno de los tres modelos oceánicos. Esta corrección, no es más que la diferencia vectorial entre el vector de marea observado y el vector de atracción y carga oceánica. Evaluando la contribución del EOI a los parámetros de marea, se observa que es hasta 6 veces superior para la componente Norte-Sur. Para las ondas diurnas, la mayor contribución, en amplitudes, se produce para la onda K1 en ambas componentes, y para ondas semidiurnas, para N2 con un 53% en la componente Norte-Sur y para S2 con un 15% en la componente Este-Oeste. En general, esta contribución es hasta 2.6 veces superior para las ondas semidiurnas, excepto para la onda K1, debido a que este consituyente se encuentra más afectado por las variaciones de temperatura.

Tabla 2 – Amplitudes y fases del vector de atracción y carga oceánica (L,λ) para los clinómetros PH711NS y PH712EO, para cada uno de los modelos oceánicos. ***(Amplitudes and phases of the ocean loading and attraction (L,λ) for the tiltmeters PH711NS and PH712EO, for each ocean model.)***

		PH711NS		PH712EO	
		L	λ	L	λ
O1	CSR3.0	0.4464	30°.0	0.7198	61°.6
	SCW80	0.4622	32°.6	0.7502	69°.3
	TPXO2	0.4901	35°.2	0.7946	67°.0
P1	CSR3.0	0.2237	-76°.9	0.2908	-19°.3
	SCW80	0.1635	-78°.2	0.2210	-10°.7
	TPXO2	0.2026	-63°.6	0.3190	-11°.3
K1	CSR3.0	0.7038	-82°.2	0.8927	-28°.9
	SCW80	0.5482	-89°.9	0.9818	-18°.3
	TPXO2	0.7287	-83°.5	1.0084	-28°.4
N2	CSR3.0	2.1856	-24°.0	3.2660	-1°.0
	SCW80	2.4327	-18°.6	2.7044	-3°.8
	TPXO2	2.2443	-30°.2	2.8781	-0°.7
M2	CSR3.0	10.0419	-42°.4	15.3603	-17°.5
	SCW80	9.7641	-48°.7	15.5710	-19°.8
	TPXO2	10.6377	-44°.6	15.0014	-13°.0
S2	CSR3.0	3.4356	-69°.7	5.5643	-41°.6
	SCW80	3.4869	-70°.9	4.1745	-45°.1
	TPXO2	3.4394	-71°.5	5.5477	-37°.0
K2	CSR3.0	0.8986	-71°.1	1.4568	-43°.0
	SCW80	0.9563	-70°.9	1.1646	-41°.5
	TPXO2	1.0347	-63°.2	1.7492	-26°.9

Tabla 3 – Parámetros de marea observados después de la corrección de los efectos de carga y atracción oceánica, δ^C y α^C, para el clinómetro PH711NS y para cada uno de los modelos oceánicos considerados. ***(Observed tidal parameters after ocean loading and attraction correction, δ^C y α^C, for the tiltmeter PH711NS and for each ocean model.)***

		PH711NS		
		A^C	α^C	γ^C
O1	CSR3.0	1.7118	308°.6	0.4955
	SCW80	1.7303	308°.0	0.5008
	TPXO2	1.7502	307°.0	0.5066
P1	CSR3.0	2.0487	67°.7	1.2744
	SCW80	2.0022	66°.6	1.2454
	TPXO2	2.0002	68°.3	1.2442
K1	CSR3.0	2.8296	52°.6	0.5824
	SCW80	2.7734	49°.1	0.5708
	TPXO2	2.8593	52°.7	0.5885
N2	CSR3.0	2.0687	33°.1	1.6061
	SCW80	1.7493	35°.6	1.3582
	TPXO2	2.2535	37°.4	1.7496
M2	CSR3.0	12.1126	19°.9	1.8005
	SCW80	13.2194	20°.8	1.9651
	TPXO2	12.2219	23°.3	1.8168
S2	CSR3.0	5.2371	355°.9	1.6732
	SCW80	5.2830	356°.7	1.6879
	TPXO2	5.3348	356°.4	1.7045
K2	CSR3.0	1.1707	342°.0	1.3759
	SCW80	1.1342	344°.2	1.3331
	TPXO2	0.9813	342°.9	1.1534

Tabla 4 – Parámetros de marea observados después de la corrección de los efectos de carga y atracción oceánica, δ^C y α^C, para el clinómetro PH712EO y para cada uno de los modelos oceánicos considerados. ***(Observed tidal parameters after ocean loading and attraction correction, δ^C y α^C, for the tiltmeter PH712EO and for each ocean model.)***

		PH712EO		
		A^C	α^C	γ^C
O1	CSR3.0	5.1301	338°.7	1.6160
	SCW80	5.2273	338°.3	1.6467
	TPXO2	5.1964	337°.8	1.6369
P1	CSR3.0	5.2788	352°.5	3.5738
	SCW80	5.3430	352°.0	3.6172
	TPXO2	5.2453	352°.1	3.5511
K1	CSR3.0	5.9760	326°.8	1.3385
	SCW80	5.9201	325°.1	1.3260
	TPXO2	5.8614	326°.7	1.3129
N2	CSR3.0	7.5296	246°.8	2.8484
	SCW80	7.2099	250°.6	2.7275
	TPXO2	7.4063	249°.7	2.8018
M2	CSR3.0	31.8548	227°.9	2.3072
	SCW80	30.6414	230°.5	2.2194
	TPXO2	32.7668	229°.4	2.3733
S2	CSR3.0	9.7101	201°.9	1.5117
	SCW80	8.9318	209°.3	1.3905
	TPXO2	10.0956	203°.2	1.5717
K2	CSR3.0	3.0138	218°.2	1.7259
	SCW80	3.0136	223°.8	1.7258
	TPXO2	3.5304	215°.8	2.0218

Tabla 5 – Contribución del efecto oceánico a los parámetros de marea. ***(Ocean effect contribution to the tidal parameters.)***

		O1		P1		K1		N2		M2		S2		K2	
		δ	α	δ	α	δ	α	δ	α	δ	α	δ	α	δ	α
NS	CSR3.0	7%	13°.9	9%	4°.0	18%	12°.1	44%	29°.4	36%	332°.1	29%	25°.2	37%	22°.8
	SCW80	6%	14°.5	7%	2°.9	16%	8°.6	53%	31°.9	30%	331°.2	28%	26°.0	39%	25°.0
	TPXO2	4%	15°.5	7%	4°.6	20%	12°.2	40%	33°.7	36%	328°.7	27%	25°.7	47%	23°.7
EO	CSR3.0	3%	7°.8	5%	0°.6	13%	0°.6	8%	25°.7	10%	28°.7	11%	34°.6	4%	27°.3
	SCW80	1%	8°.2	4%	0°.1	14%	2°.3	3%	21°.9	6%	26°.1	2%	27°.2	4%	21°.7
	TPXO2	1%	8°.7	5%	0°.2	15%	0°.7	6%	22°.8	13%	27°.2	15%	33°.3	12%	29°.7

4. EFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Como se ha dicho, el EOI es una de las perturbaciones que más afecta a las observaciones de inclinación, pero hay otras que, por su magnitud, también deben tenerse en cuenta, como es el efecto de la temperatura ambiente, que induce deformaciones.

En la Figura 3 está representada la inclinación para el péndulo en la dirección Norte-Sur, junto con la variación relativa de temperatura en el interior de la estación. Ampliando un detalle de esta gráfica (Figura 4) se aprecia la correlación existente entre inclinación y temperatura, principalmente, en las bajas frecuencias. Con el programa Eterna, hemos obtenido un valor genérico, para toda la banda de frecuencias, a partir del análisis de regresión entre las observaciones de inclinación y las variaciones de la temperatura ambiente observadas en la CV, resultando que estas perturbaciones alcanzan valores del orden de 1.98 y 5.33 milisegundos de arco por grado centígrado para las componentes Norte-Sur y Este-Oeste, respectivamente. Se observa que, el valor de la perturbación en la componente Este-Oeste es hasta 3 veces superior a la de la Norte-Sur.

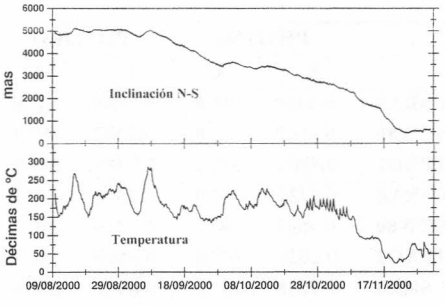

Figura 4 – (Superior) **Datos observados en la estación CV con el péndulo PH711NS. (Inferior) Variación de temperatura ambiente en el interior de la galeria.** ***((Up) Data observed at station CV with PH711NS. (Down) Air temperature variation inside the gallery.).***

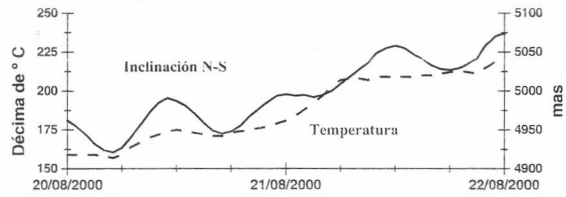

Figura 5 – **Datos observados en la estación CV con el péndulo PH711NS y variación de temperatura en el interior de la galeria (línea discontínua), durante un periodo de dos días** ***(Data observed at station CV with PH711N and temperature variation inside the gallery (*****dashed line*****), during a period of two days.).***

5. DEFORMACIONES LOCALES

Con objeto de obtener una primera valoración de las deformaciones observadas con estos instrumentos, calculamos la traza de inclinación a partir de la deriva residual, que es el resultado de eliminar el modelo de marea obtenido de las observaciones, y representando ambas componentes en una gráfica. Ello nos permite conocer el sentido en el que se produce la dirección predominante de inclinación local. Se obtiene que la inclinación parece tener una dirección aproximada de 45º, que resulta ser próxima a la dirección de la línea de costa (Figuras 5 y 6) y prácticamente coincidente con la dirección transversal del túnel en el que se encuentran instalados estos instrumentos.

Este resultado es muy similar al obtenido en CV por Arnoso et al. (2001), mediante observaciones con clinómetros de larga base situados en las direcciones longitudinal y transversal del túnel (acimut 135º.2N y 45º.2N respectivamente). En principio, a la vista de estos resultados, podría descartarse que la deformación se produzca por el Efecto Oceánico Indirecto, puesto que de ser así, la inclinación debería producirse en la dirección perpendicular a la línea de costa (Rabbel y Zschau, 1985). Esto hace pensar, que una posible causa de la deformación es el *efecto cavidad*, por el cual, la deformación debería producirse en la dirección perpendicular a los ejes del túnel (J.C. Harrison, 1976).

6. CONCLUSIONES

En este trabajo, hemos obtenido un modelo de marea de inclinación, para las componentes Norte-Sur y Este-Oeste mediante observaciones realizadas con péndulos horizontales de corta base. Los resultados muestran una fuerte influencia oceánica provocada por la proximidad de la estación a la costa. Por esto, hemos evaluado y corregido el Efecto Oceánico Indirecto, resultando una mayor contribución para la componente Norte-Sur y que, por otra parte, es mayor para la banda semidiurna, siendo las más significativas un 53% para la onda N2, en la componente Norte-Sur, y un 15% para la onda S2, en la componente Este-Oeste.

Entre los diferentes modelos oceánicos empleados, SCHW80, CSR3.0 y TPXO2, también las mayores diferencias se encuentran para las ondas semidiurnas, con un 22% para la onda N2, en la componente Norte-Sur y un 15% para la onda K2, en la componente Este-Oeste.

En cuanto a las deformaciones locales observadas, se ha obtenido una primera estimación, para toda la banda de frecuencias, con un valor 3 veces superior para la componente Este-Oeste. Por otra parte, la traza de inclinación muestra una dirección predominante próxima a la línea de costa, que puede estar relacionada con la orientación del túnel.

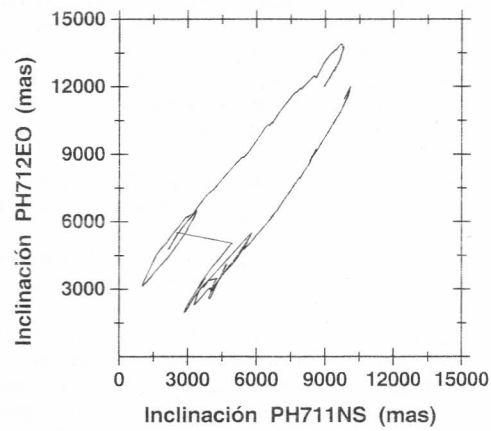

Figura 6 – **Gráfica de la traza de inclinación mostrando la dirección predominante observada con los clinómetros PH711NS y PH712EO instalados en CV.** ***(Tilt tracer plot showing the predominant direction observed with tilmeters PH711NS and PH712EO installed at station CV).***

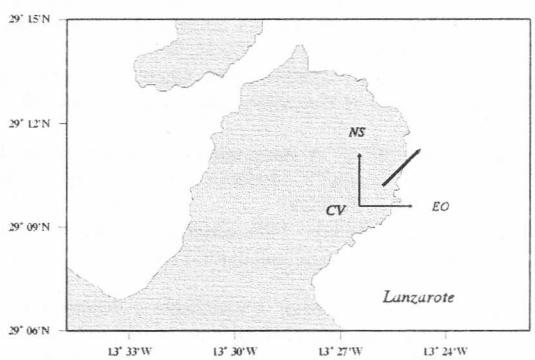

Figura 7 – **Dirección predominante de inclinación observada, próxima a la línea de costa.** ***(Predominant observed tilt, which is near to the coast-line direction.)-***

7. AGRADECIMIENTOS

Estas investigaciones se han llevado a cabo mediante el Convenio de Cooperación financiado entre la Academia de Ciencias de Rusia y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, así como dentro del Proyecto AMB99-0824 de la CICYT.

8. REFERENCIAS

- Agnew, D.C. (1996): "SPOTL: Some programs for ocean-tide loading". *SIO, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA.* Ref. Ser. 96-8, 35pp.
- Arnoso, J., R. Vieira, E. Velez, C. Weixin, T. Shiling, J. Jun y A. Venedikov (2001): "Monitoring Tidal and Non-tidal Variations in Lanzarote Island (Spain)". *Journal of Geodetic Society of Japan,* **47**, 1, 456-462.
- Eanes, R.J. y S. Bettadpur (1995): "The CSR3.0 Global Ocean Tide Model. CSR-TM-95-06". *Center for Space Research, University of Texas, Austin.*
- Egbert, G.D., Bennett, A.F. y Foreman, M. (1994): "TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model". *Journal of Geophysical Research* 99 (C12), 24821-24852.
- Farrell, W.E. (1972): "Deformation of the Earth by Surface Loads". *Reviews of Geophysics and Space Physics,* **10**, 761-797.
- Jentzsch, G. (1997): "Earth Tides and Ocean Tidal Loading". *Lecture Notes in Earth Science. Tidal Phenomena. Springer, 145-171.*
- Kalinina, A., V. Volkov, R. Vieira, J. Arnoso, A. Buloshnikov, A. Gorbatikov y A. Nikolaev (2000): "Preliminary results from tiltmeter records of earthquakes made at the Cueva De Los Verdes Geodynamical Observatory on Lanzarote Island, Spain". *Volcanology and Seismology*, **22**, 73-86.
- Harrison, J.C. (1976): "Cavity and Topographic Effects in Tilt and Strain Measurements". *Journal Geophysical Research,* **81**, 319-328.
- Ostrovsky, A.E. (1961): "Tiltmeter with photo-electric registration". *BIM*, **25**, 500 y *BIM*, **26**, 540.
- Rabbel, W. y J. Zschau (1985): "Statics Deformations and Gravity Changes at the Earth's Surface due to Atmospherics Loading". *Journal of Geophysics*, **56**, 81-99.
- Schwiderski, E.W. (1980): "On Charting Global Ocean Tides". *Reviews of Geophysics and Space Physics,* **18**, 243-268.
- Tamura, Y. (1987): "A Harmonic Development of the Tide-generating Potential". *Bulletin d'Information Marées Terrestres*, **93**, 6202-6228.
- Vauterin, P. (1998): "Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Earth Tides". *Brussels*, pp.481-486.
- Vieira, R., Van Ruymbeke, J. Fernández, J. Arnoso y C. Toro (1991): "The Lanzarote underground laboratory". *Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et.Seismologie*, **4**, 71-86.
- Wenzel, H-G. (1996): "The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3 30". *Bulletin d'Information Marées Terrestres*, **124**, 9425-9439.