

# MEDIDAS TERMICAS DE ALTA PRECISION EN EL LABORATORIO GEODINAMICO DE LANZAROTE

J. Fernández; M. Van Ruymbeke\* and R. Vieira

Instituto de Astronomía y Geodesia  
Facultad de Ciencias Matemáticas  
Ciudad Universitaria  
28040-MADRID

\* Observatoire Royale de Belgique  
Avenue Circulaire, 3  
1180 Bruxelles

## ABSTRACT

Since 1988, under the existing collaboration between the Instituto de Astronomía y Geodesia, the Observatoire Royale de Belgique and the European Center for Geodynamics and Seismology, thermal measurements have been made in the geodynamic station Cueva de los Verdes (Lanzarote, Canary Islands), that have been used to check the quality of the sensors used as well the thermal stability of the laboratory.

Several experiments have been performed: measurements of vertical and horizontal thermal profiles, continuous records of the temperature in different points of rock and continuous record of the ambient temperature of the laboratory.

The measures of the temperature profiles have been made in three observation campaigns, the results of which we present here. We have achieved precisions in the range of  $10^{-2}$  °C. We have found a vertical gradient 0.03°C/m in the profile temperature.

The long and short period variations of rock and ambient temperature have been studied. The results of the harmonic analysis of those temperatures are presented here.

## 1 INTRODUCCION

Dentro del proyecto de investigación que el I.A.G. desarrolla en Canarias, y en colaboración con el O.R.B. y el E.C.G.S. se han realizado estudios térmicos, desde 1988, en la estación geodinámica de la *Cueva de los Verdes*, situada en el túnel volcánico del Volcán La Corona en Lanzarote, Islas

Canarias (Vieira et al., 1988(a), 1988(b), 1988(c), 1989(a), 1989(b), 1989(c), 1990) .

En una primera etapa se realizó la observación de perfiles térmicos en la roca, que nos permitieron establecer la precisión de los sensores utilizados en la realización de medidas puntuales. Posteriormente se procedió a dejar instalados de manera permanente sensores para estudiar las variaciones de largo y corto periodo de la temperatura en roca.

Durante este tiempo se realizó también un registro continuo de la temperatura ambiente y de la humedad relativa en el túnel, en la zona donde se encuentra situada la estación.

Las medidas de los perfiles térmicos se han repetido en dos ocasiones más.

## **2. PERFILES TERMICOS**

Se han observado diversos perfiles, Figura 1, (Fernández et al., 1988). Tres situados en la zona del túnel llamada Los Coropiales, llana y de fácil acceso: uno horizontal de 12 puntos, en unos 14 metros, cuyo objetivo fué estudiar el mejor método de observación; otro tridimensional de 8 puntos abarcando las dos paredes del tunel; y un tercer perfil, vertical, realizado para el estudio del gradiente vertical, con 21 puntos. También se hicieron observaciones en un perfil horizontal que une el Auditorium situado en la zona anterior a Los Coropiales con la estación geodinámica (aproximadamente 250 metros).

Para la observación de la temperatura se realizaron perforaciones en la roca de unos 10 cm de profundidad y aproximadamente 1.5 cm de diámetro. En estas se introdujeron tubos de material plástico para evitar la caída de tierra que impidiese el contacto directo del sensor con la roca.

Los sensores usados se basan en la utilización de resistencias termosensibles. Se utilizaron dos tipos de sensores, unos con salida directa en ohmios y otros con salida en mV a través de electrónica (Van Ruymbeke et al., 1989; Van Ruymbeke, 1990).

Se han hecho observaciones dejando distintos tiempos el sensor en la perforación, antes de realizar la lectura, buscando el intervalo que diese mejor resultado (Fernández et al. 1988).

### **2.1 Resultados**

La observación en los perfiles térmicos se ha hecho en tres campañas (Fernández et al., 1988, Van Ruymbeke et al. 1989) en los años 1988, 1989 y 1990. Los resultados más representativos pueden verse en las Tablas 1 y 2. Las desviaciones típicas de las medidas en la primera campaña están afectadas por tener muy reciente en el tiempo la realización de las perforaciones. Las

desviaciones típicas menores se han dado en los resultados de la segunda campaña, una vez eliminado este efecto perturbador. En los perfiles observados en 1990 se han obtenido las mayores dispersiones en las medidas.

En el perfil vertical se observa un gradiente vertical de aproximadamente  $0.03 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$ , en las dos campañas en que se ha observado este perfil.

### 3 TERMOMETROS FIJOS

Tras la primera campaña de observación de los perfiles térmicos se procedió a la instalación de dos termómetros VRL8756, con salida en mV, números 901 y 902 (J.Flick et al., 1985; Van Ruymbeke, 1989) de manera permanente en la pared de tunel situada a la espalda de la caseta de la estación geodinámica, Figura 2, en dos puntos muy próximos.

En un primer periodo se realizaron lecturas dos veces por semana, detectándose una variación máxima anual de  $1.66 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se tuvo, en esta etapa, una respuesta análoga en ambos sensores (Van Ruymbeke et al., 1989).

En 1990 tras la resolución de ciertos problemas eléctricos, los termómetros situados en roca se conectaron al sistema de adquisición de datos de la estación (Fernández et al., 1989, Vieira et al. 1990), donde se han venido registrando de forma correcta, datos cada 10 minutos. El sensor número 902 se trasladó de su situación originaria, junto al 901, a una perforación realizada en la pared opuesta, Figura 2. Se situó en el techo de la estación un termómetro para el registro de la temperatura del aire en el tunel y un sensor de humedad relativa, Figura 2, conectados ambos también al sistema de adquisición de datos.

#### 3.1 Variaciones de corto y largo periodo

Las variaciones máximas experimentadas en la temperatura en roca y ambiente en el periodo comprendido entre el 13/04/90 y el 30/09/90 pueden verse en la Tabla 3. Entre los días que van desde el 29/06/90 al 01/08/90 no existen datos del termómetro en roca número 902.

Las variaciones diurnas para estas temperaturas en el mismo periodo, de diez en diez días, junto a la humedad relativa media del día puede verse en la Tabla 4.

#### 3.2 Análisis armónico

El resultado del análisis armónico realizado con los datos de los tres sensores, tanto con datos horarios, como semihorarios, refleja dos ondas de amplitud significativa, una de periodo diurno y otra de periodo semidiurno (Tabla 5). Estas dos

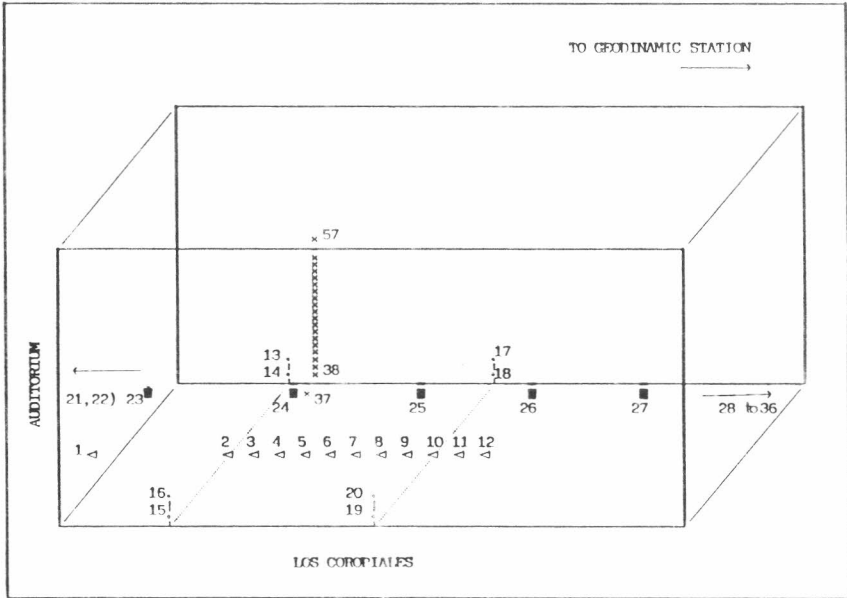


Figura 1. Esquema de los perfiles térmicos. Los puntos de los perfiles están indicados con los símbolos: ■, en el horizontal Auditorium-Geod. Station; •, en el perfil tridimensional, x, en el vertical y ▲, en el horizontal en Los Coropiales.

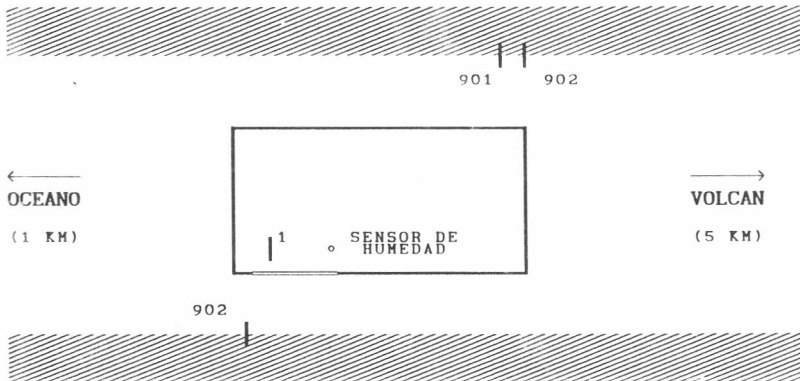


Figura 2

ondas son, además, de amplitudes muy similares para las tres temperaturas.

La existencia de la onda de periodo semidiurno podría deberse a una influencia de la marea oceánica, principalmente por el efecto de esta en el nivel de aguas subterráneas. La existencia de posibles acuíferos subterráneos conectados al océano, dado el origen del terreno (Vieira et al., 1989(a)) no sería tampoco un hecho anómalo.

#### 4 CONCLUSIONES

Las desviaciones típicas de las medidas realizadas en los perfiles térmicos están en el margen comprendido entre  $5 \cdot 10^{-3}$  y  $5 \cdot 10^{-2}$ , y parecen depender, principalmente, una vez disipado el efecto de la perforación, de la variación diurna de la temperatura, ya que en la tercera campaña, donde esta variación fue mayor, se obtuvieron las peores precisiones.

En el análisis de las observaciones, la variación diurna de temperatura se considera como deriva instrumental, lo que es equivalente a considerar que no varía a lo largo del día (Fernández et al., 1988), siendo ajustada por una recta. Si la variación de temperatura es pequeña, el error cometido al ajustar por una recta puede ser suficientemente pequeño, sobre todo si el intervalo de observación no es muy amplio; pero parece más lógico ajustar por una función de grado dos (al menos) en algunas ocasiones. Estamos trabajando en la realización de un nuevo análisis de las tres campañas ajustando la deriva en cada perfil (en la que se incluye la variación diurna de temperatura) por una recta y una parábola, quedándonos para su corrección con la curva que nos de un mejor ajuste. De esta manera esperamos disminuir las desviaciones estandar de las medidas.

Se ha observado que el método más apropiado de observación es, en perfiles con poca separación entre puntos (perfiles térmicos situados en Los Coropiales), dejar diez minutos el sensor en la perforación antes de realizar lectura; y en perfiles con una distancia mayor (perfil Auditorium-Estación Geodinámica) esperar veinte minutos.

En relación con el registro continuo, se observa que las variaciones diurnas máximas se dan en verano, llegando a ser algunos días del orden de cinco décimas de grado. En épocas menos cálidas es normal que no sobrepase una décima.

Puede haber una conexión entre las variaciones de la temperatura en roca a lo largo del día con la temperatura ambiente y el tanto por ciento de humedad del aire. Estamos trabajando en la obtención de un modelo experimental de la relación entre estos tres parámetros. Será interesante considerar los días en los que se han producido precipitaciones.

La señal registrada con el sensor 902 es de una amplitud bastante más pequeña que la registrada con el sensor 901, instalado también en roca; esto nos indica claramente que el

aislamiento del sensor respecto a la temperatura ambiente debe ser bueno, o cuanto menos mejor que el del 901. El análisis armónico de las temperaturas registradas en la roca es análogo, en cuanto a las ondas representativas, al obtenido con la temperatura ambiente, lo que parece reflejar un efecto de esta última sobre las primeras.

Algo realmente importante es la mejora en el análisis armónico observada al hacerlo con datos semihorarios en lugar de horarios, Table 5, lo que, junto a la precisión del registro con el Sistema de Adquisición de Datos nos ha permitido separar claramente ondas de una amplitud tan pequeña como las obtenidas en el análisis de la temperatura registrada con el sensor 902.

Podemos utilizar para el análisis datos obtenidos cada 10 minutos, lo que sería interesante buscando mejorar los resultados del análisis armónico, tanto en este caso, como en cualquier otro.

Planteamos realizar en un futuro próximo un estudio de la conductividad y el flujo térmico en diversas zonas del túnel volcánico, principalmente en la zona donde se encuentra situada la estación geodinámica. En estos estudios se utilizarían termómetros, basados en la misma técnica que los que estamos usando en la actualidad, pero instalados entre 1 y 2 metros de profundidad, evitándose así, en lo posible, la influencia de la temperatura externa.

También se realizará un estudio de posibles correlaciones entre las temperaturas, ambiente y en roca, y la marea oceánica, investigando la posible existencia de aguas subterráneas conectadas con el mar.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado con fondos del proyecto "Dinámica Superficial y Profunda de la Caldera del Teide y de la Isla de Lanzarote investigada a partir de Técnicas y Métodos Geodésicos y Gravimétricos de alta precisión (PB-0022)" del Instituto de Astronomía y Geodesia (Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Universidad Complutense de Madrid) y del European Center for Geodynamics and Seismology (E.C.G.S.).

Queremos agradecer la colaboración prestada por el Ing. J. Flick, presidente del E.C.G.S. y del Prof P. Melchior, director de Observatoire Royale de Belgique, así como el enorme apoyo prestado por el Cabildo Insular de Lanzarote y todo el personal del centro turístico de Jameos del Agua y de la Casa de los Volcanes, especialmente a J.Naverán, J. Soto, O. Hernández y M. Espino.

Agradecemos también la ayuda prestada en la observación de los perfiles térmicos por J.P. Davidts, A. Van Ruymbeke y J. Arnoso.

HORIZONTAL PROFILE IN LOS COROPIALES

POINT	19-01-88			26-01-88		
	T	S.D.	$\Delta$	T	S.D.	$\Delta$
1				18.324	12	-187
2	18.339	11	-176	18.140	5	-86
3	18.163	8	-51	18.054	*	+18
4	18.112	3	-39	18.072	*	-8
5	18.073	12	-4	18.064	*	-18
6	18.069	22		18.046	*	+12
7			+46	18.058	1	-15
8	18.115	14	+75	18.043	*	+11
9	18.190	9	-103	18.054	*	-2
10	18.087	20	+39	18.052	*	-14
11	18.126	26	+11	18.038	*	-11
12	18.137	4		18.027	*	
$T_2 - T_{12}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )			+202	+113		

(a)

TRIDIMENSIONAL PROFILE IN LOS COROPIALES

POINT	25-01-88			01-03-89			08-04-90		
	T	S.D.	$\Delta$	T	S.D.	$\Delta$	T	S.D.	$\Delta$
13	18.041	5	+42	18.004	1	+8	18.142	20	-31
14	18.083	12	-37	18.011	3	-31	18.111	11	-12
15	18.046	11	-40	17.980	2	+11	18.099	29	+55
16	18.006	5	-38	17.991	4	-29	18.154	17	-20
17	17.968	3	-8	17.962	2	-44	18.134	34	-58
18	17.960	1	+2	17.918	2	-13	18.076	19	-18
19	17.962	4	-1	17.905	1	+35	18.058	20	+80
20	17.961	2		17.940	3		18.138	27	
$T_{13} - T_{20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )			+80	+64			+4		

T = temperature in  $^{\circ}\text{C}$   
 S.D. = standar deviation in  $^{\circ}\text{C}$   
 $\Delta$  = increment in  $^{\circ}\text{C}$   
 \* = only one measurement

(b)

Tabla 1

VERTICAL PROFILE IN LOS COROPIALES

HORIZONTAL PROFILE AUDITORIUM-GEDDINAMIC STATION

14

POINT	25-01-88			02-03-89			
	T	S.D.	Δ	T	S.D.	Δ	
37	18.078	6		18.021	11	- 15	
38	18.094	7	+ 16	18.006	19		
39	18.116	13	+ 22				
40	18.130	16	+ 14				
41	18.118	34	- 12	18.033	16	+ 27	
42	18.139	52	+ 21				
43	18.115	22	- 24				
44	18.118	28	+ 3				
45	18.127	28	+ 9				
46	18.168	36	+ 41	18.063	26	+ 30	
47	18.153	18	- 15				
48	18.159	35	+ 6				
49	18.190	29	+ 31				
50	18.174	29	- 16				
51	18.156	44	- 18				
52	18.192	47	+ 36				
53	18.183	38	- 9				
54	18.169	17	- 14				
55	18.201	18	+ 32	18.122	13	+ 56	
56	18.199	22	- 2				
57	18.230	39	+ 31	18.151	7	+ 29	
$T_{37} - T_{57} (m C)$			-152	$T_{37} - T_{57} (m C)$			-130

(a)

POINT	21-01-88			27-02-89			01-04-90				
	T	S.D.	Δ	T	S.D.	Δ	T	S.D.	Δ		
21	18.369	31		18.310	10		18.559	57			
22	18.160	32	-209	18.165	10	-145	18.337	51	-222		
23	17.974	6	-186	17.904	6	-261	18.085	52	-252		
24	18.050	28	+ 76	17.956	9	+ 52	18.105	46	+ 20		
25	18.004	24	- 46	17.908	4	- 48	18.024	28	- 81		
26	17.745	20	-259	17.844	5	- 64	18.060	35	+ 36		
27	17.731	22	- 14	17.701	5	-143	17.822	39	-238		
28	17.728	20	- 3	17.770	8	+ 69	17.914	38	+ 92		
29	17.547	21	-181	17.709	8	- 61	17.963	37	+ 49		
30	17.590	20	+ 43	17.708	12	- 1	17.875	37	- 88		
31	17.854	12	+264	17.785	8	+ 77	17.877	37	+ 2		
32	17.798	11	- 56	17.796	24	+ 11	17.893	38	+ 16		
33	17.759	11	- 39	17.783	14	- 13	17.902	38	+ 9		
34	17.732	32	- 27	17.766	24	- 17	17.923	45	+ 21		
35	17.858	20	+126	17.730	7	- 36	17.776	38	-147		
36	17.800	18	- 58	17.688	9	- 42	17.840	37	+ 64		
$T_{21} - T_{36} (m C)$			+569	$T_{21} - T_{36} (m C)$			+622	$T_{21} - T_{36} (m C)$			+719

(b)

T = temperature in °C  
 S.D. = standar deviation in m°C  
 Δ = increment in m°C

Tabla 2



TEMPERATURA AMBIENTE INSTRUMENTO NUMERO 001			
Periodo:	13/04/90	a	30/09/90
Max.:	20.49	°C	Fecha: 26/08/90
Min.:	17.69	°C	Fecha: 15/04/90
$\Delta = (\text{Max.} - \text{Min.}) =$	2.8	°C	

(a)

TEMPERATURA EN ROCA INSTRUMENTO NUMERO 901			
Periodo:	13/04/90	a	30/09/90
Max.:	19.012	°C	Fecha: 26/08/90
Min.:	17.714	°C	Fecha: 28/04/90
$\Delta = (\text{Max.} - \text{Min.}) =$	1.298	°C	

(b)

TEMPERATURA EN ROCA INSTRUMENTO NUMERO 902			
Periodo:	13/04/90	a	20/06/90
Max.:	18.023	°C	Fecha: 20/06/90
Min.:	17.643	°C	Fecha: 28/04/90
$\Delta = (\text{Max.} - \text{Min.}) =$	0.380	°C	
Period:	01/08/90	to	30/09/90
Max.:	18.738	°C	Date: 27/08/90
Min.:	18.438	°C	Date: 01/08/90
$\Delta = (\text{Max.} - \text{Min.}) =$	0.3	°C	

(c)

Tabla 3

	SENSORES DE TEMPERATURA			H. R. M.
	001	901	902	( % )
13-04-90	0.050	0.010	0.004	67
23-04-90	0.090	0.040	0.026	63
04-05-90	0.100	0.010	0.005	71
14-05-90	0.080	0.003	0.002	72
23-05-90	0.080	0.022	0.011	75
03-06-90	0.180	0.013	0.007	78
13-06-90	0.120	0.016	0.009	77
23-06-90	0.080	0.007	0.004	80
28-06-90	0.250	0.083		82
12-07-90	0.230	0.018		85
22-07-90	0.210	0.015		84
03-08-90	0.510	0.069	0.032	89
13-08-90	0.220	0.046	0.030	85
23-08-90	0.230	0.019	0.005	87
02-09-90	0.180	0.020	0.012	85
11-09-90	0.250	0.024	0.007	84
22-09-90	0.220	0.047	0.021	85
30-09-90	0.150	0.020	0.007	84

Tabla 4. Variaciones diurnas en °C dadas, normalmente, cada diez días, y la humedad relativa media (H.R.M) en % correspondiente al mismo día

PERIODO DIURNO

INSTRUMENTO	AMPLITUD (°C)		E. C. M.	
	DH	DS	DH	DS
001	0.104	0.083	0.033	0.022
901	0.0107	0.0147	0.0048	0.0033
902	0.0038	0.0046	0.0021	0.0015

(a)

PERIODO SEMIDIURNO

INSTRUMENTO	AMPLITUD (°C)		E. C. M.	
	HD	HS	HD	HS
001	0.156	0.154	0.015	0.010
901	0.0103	0.0110	0.0014	0.0008
902	0.0032	0.0032	0.0005	0.0004

(b)

HD = DATOS HORARIOS  
 HS = DATOS SEMIHORARIOS

Tabla 5

## REFERENCIAS

- Fernández, J.; and Van Ruymbeke, M.: "Estudio térmico de una zona de la Cueva de los Verdes (Lanzarote, Islas canarias)." Publicaciones de Instituto de Astronomía y Geodesia n° 164, pp. 7-13, (1988).
- Fernández, J.; Vieira, R.; Lambas, F.; and Toro, C.: "Data acquisition systems in the "Valle de los Caidos" and "Cueva de los verdes" stations." Proc. of the XI Int. Symp. on Earth Tides. Helsinki, 12 pp. (En prensa) (1989).
- Flick, J.; Van Ruymbeke, M.; and Melchior, P.: "Instrumental Developments at the underground laboratory for geodynamics (Walferdange Grand Ducht of Luxemburg)." Proc. X Int. Symp. on Earth Tides; pp. 83-94. Edit. R. Vieira; C.S.I.C.. Madrid (1985).
- Van Ruymbeke, M.; Fernández, J.; and Westerhaus, H.: "Temperature measurements". Proc. of the XI Int. Symp. on Earth Tides. Helsinki, 10 pp. (En prensa) (1989).
- Van Ruymbeke: "Temperature measurements." Cahiers du centre Européen de Géodynamique et de Séismologie (En prensa).
- Vieira, R.; Fernández, J.; and Toro, C.: " La estación de la Cueva de los Verdes (Lanzarote): primeros resultados de las experiencias realizadas." Revista de la Real academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Tomo LXXXII, cuaderno 2. pp 309-312 (1988(a)).
- Vieira, R.; Fernández, J.; Toro, C.; and Camacho A.G.: "Estación Geodinámica del complejo Jameos de Agua-Cueva de los Verdes (Lanzarote). Objetivos científicos y estado actual de las instalaciones." Publicaciones del Instituto de Astronomía y Geodesia, n° 164, pp. 1-6, (1988(b)).

- Vieira, R.; Fernández, J.; and Toro, C.: "Las variaciones periódicas de la gravedad observadas en el tunel volcánico de La Cueva de los Verdes (Lanzarote)." Publicaciones del Instituto de Astronomía y Geodesia, n° 164, pp. 15-19, (1988(c)).
- Vieira, R.; Fernández, J.; Toro, C.; and Camacho, A.G.: "Structural and oceanic effects in the gravimetric tides observations in Lanzarote." Proc. of the XI Int. Symp. on Earth Tides. Helsinki, 10 pp. (En prensa) (1989(a)).
- Vieira, R.; Fernández, J.; Toro, C.; and Van Ruymbeke, M.: "Estación geodinámica de Lanzarote" ESF meeting on Canarian Volcanism. Edit. E.S.F.-C.S.I.C, pp. 276-277. Lanzarote (1989(b)).
- Vieira, R.; Fernández, J.; Toro, C.; Camacho, A.G.; and Van Ruymbeke, M.: "Dos años de observaciones en la estación geodinámica de Lanzarote" ESF meeting on Canarian Volcanism. Edit. E.S.F.-C.S.I.C, pp. 278-280. Lanzarote (1989(c)).
- Vieira, R.; Van Ruymbeke, M.; Fernández, J.; Arnos, J.; and Toro, C.: "The Lanzarote underground laboratory." Cahiers du centre Européen de Géodynamique et de Séismologie (En prensa).