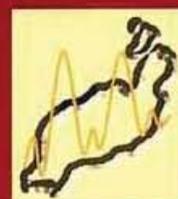


# LABORATORIO DE GEODINÁMICA DE LANZAROTE

*Guía del Laboratorio*

Ricardo Vieira Díaz  
Emilio J. Vélez Herranz



LABORATORIO DE GEODINÁMICA  
DE LANZAROTE

# LABORATORIO DE GEODINÁMICA DE LANZAROTE

## *Guía del Laboratorio*

Ricardo Vieira Díaz  
Emilio J. Vélez Herranz

Instituto de Astronomía y Geodesia  
Centro Mixto CSIC-UCM

MADRID  
2006



Imprime: Realigraf, S. A.  
Pedro Tezano, 26 - 28039 Madrid

Depósito legal: M. Sep. 894-1958  
ISSN: 0213-6198

## **Introducción**

Cuando se cumplen 20 años de la puesta en marcha del primer instrumento en el Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote, un gravímetro en la Cueva de los Verdes para el registro de la marea terrestre gravimétrica, y gracias a la financiación obtenida a través del proyecto "VULCMAC" de la convocatoria INTERREG IIIB de la Unión Europea, hemos considerado necesario actualizar un documento descriptivo sobre el Laboratorio y la actividad científica que hemos venido desarrollando en Lanzarote. La incorporación de nuevos instrumentos y las mejoras en las infraestructuras del Laboratorio han permitido ampliar el espectro de las señales que se registran, mejorar las precisiones con las que se observan y adaptar los sistemas a las nuevas tecnologías. Una de las condiciones impuestas a su funcionamiento ha sido procurar obtener series de datos suficientemente largas y completas. Así, series como las de mareas gravimétricas, deformaciones o de nivel del mar superan ya los 15 años. Además, las investigaciones desarrolladas en el IAG han posibilitado el desarrollo de metodologías y programas para el análisis e interpretación de los resultados que permite mejorar la calidad e interés de las investigaciones en el LGL.

En coincidencia temporal con esta publicación, a la que hemos denominado *Guía del LGL*, la Serie de Publicaciones de la Casa de los Volcanes edita un volumen especial con motivo del XX Aniversario del LGL. En este volumen se recoge una gran parte de la actividad científica desarrollada, en estos 20 años, por el grupo de investigación del Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM) del que depende el LGL y de sus colaboradores nacionales e internacionales. Esta actividad se extiende no solo a Lanzarote sino a todas las islas de los archipiélagos de Canarias y Azores. En el libro se ofrece una amplia bibliografía de los cerca de

200 artículos, informes, ponencias en congresos científicos, libros, cursos, tesis doctorales, etc, en los que hemos trabajado durante estas dos décadas. Ambos, libro y guía, se complementan en función del interés científico o simplemente general o divulgativo, que pueda tener el lector.

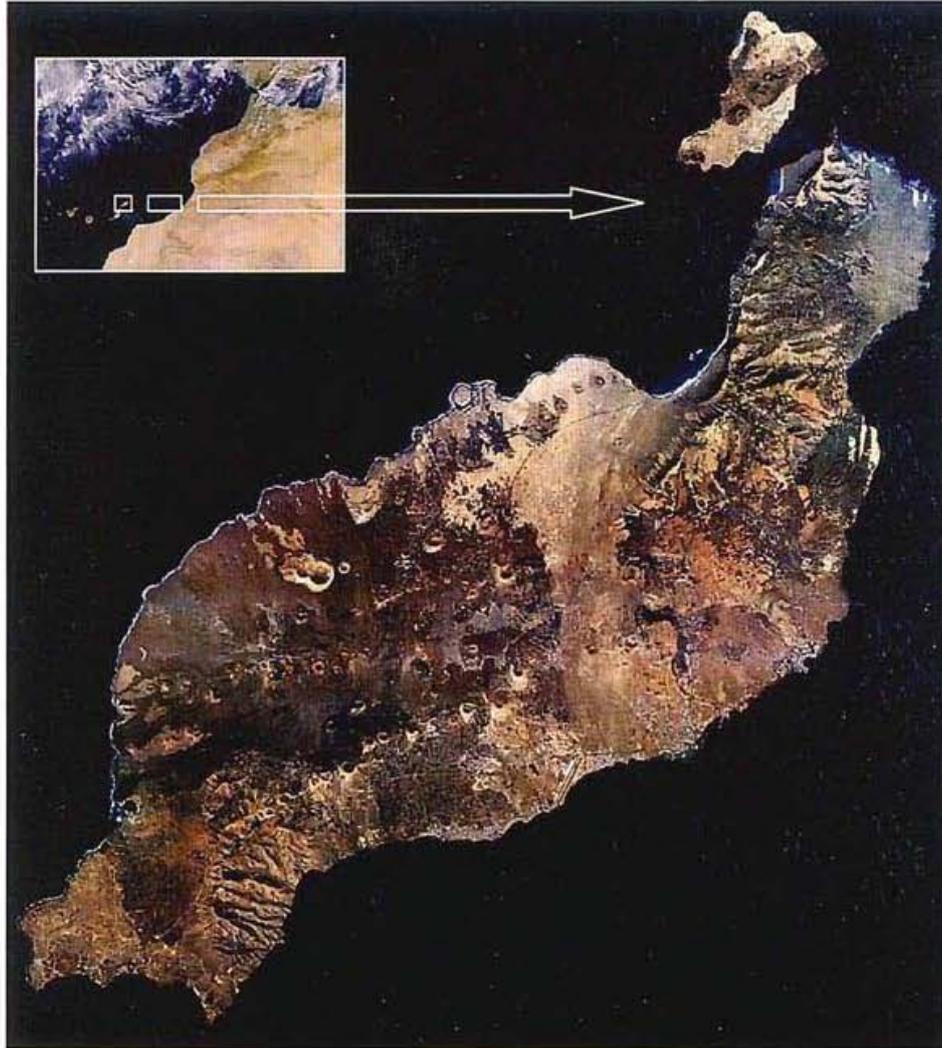
## **Presentación del Laboratorio**

El *Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote* (LGL) es, como su nombre indica, un laboratorio de investigación en técnicas y métodos geodésicos y geodinámicos que científicamente depende del *Instituto de Astronomía y Geodesia* (IAG), Centro Mixto del *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) y la *Universidad Complutense de Madrid* (UCM) y que es consecuencia de la colaboración establecida, mediante Acuerdo Marco, entre el Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote y el CSIC. En ese acuerdo se especificaba que el LGL se creaba con la finalidad de:

*"[...] hacer de la isla de Lanzarote un Laboratorio Natural donde se puedan llevar a cabo todo tipo de estudios y experiencias con el propósito de llegar a conocer algo más sobre su génesis, evolución y estado actual de la actividad geodinámica [...]"*

El Laboratorio, por tanto, está dedicado principalmente a la investigación y aplicación de técnicas geodésicas, terrestres y espaciales, en una zona de especial interés geodinámico como es Lanzarote. Por su carácter multidisciplinar, está abierto a la utilización de métodos y técnicas de otras disciplinas en Ciencias de la Tierra, como son la Geofísica o la Geodinámica.

En el año 1986, en el marco de las investigaciones sobre mareas terrestres y oceánicas y de efectos indirectos de origen oceánico y atmosférico que, desde 1972, se desarrollaban en el IAG, se inician las gestiones para la instalación de los primeros instrumentos. En esa primera etapa se realizaron estudios previos sobre las condiciones ambientales del posible emplazamiento en el interior del tubo volcánico conocido como Cueva de los Verdes. Estos estudios, que resultaron positivos, nos indujeron a pedir las correspondientes autorizaciones para la construcción



**Ortofoto de Lanzarote.** En ella puede apreciarse su situación geográfica con respecto al continente africano y, con gran nitidez, los cráteres de los diversos periodos eruptivos, principalmente el campo de lava y la directriz tectónica en la que se sitúan las bocas abierta en las erupciones históricas de los siglos XVIII y XIX

**Datos de interés**

- Formación de la isla: *Mioceno (~ 17 m. a.)*
- Situación:  
*28° 50' – 29° 15' N*  
*13° 25' – 13° 50' 30" W*
- Superficie total: *847 km<sup>2</sup>*
- Población total: *184.000 habitantes*
- Temperatura media: *21.1 °C*
- Humedad media: *61.2 %*
- Erupciones históricas:  
*1730 - 1736: Timanfaya*  
*1824: Tao, Fuego, Tinguatón*

(fuente: Centro de Datos. Cabildo de Lanzarote. 2005)

de un primer pilar de observación y la realización del tendido de cables de tensión, iluminación, y transmisión de datos, desde una zona del tubo volcánico, suficientemente alejada de la acondicionada para la visita turística a la Cueva, hasta lo que hoy es la Casa de los Volcanes, en los Jameos del Agua. En mayo de 1987 se instalan los primeros equipos científicos, el gravímetro relativo Lacoste&Romberg nº434, en funcionamiento desde entonces, y la instrumentación auxiliar de tiempo, alimentación, registro analógico y sensores meteorológicos. En ese mismo año se inicia la instrumentalización del segundo módulo de observación del LGL, dedicado muy especialmente a estudios geodésicos del nivel del mar, instalando los primeros mareógrafos y equipos auxiliares en los lagos de los Jameos del Agua. En 1990, en colaboración con el Cabildo y con el Parque Nacional de Timanfaya, se instalan en la Casa de los Camelleros, en las proximidades del volcán de Timanfaya, los primeros sensores del tercer módulo del LGL aprovechando la infraestructura ya existente y acondicionándola para estas investigaciones. Desde entonces, con el apoyo económico de proyectos de investigación, nacionales e internacionales, obtenidos siempre en convocatorias competitivas, y con la colaboración del Cabildo de Lanzarote, principalmente a través de la Casa de los Volcanes, el LGL ha crecido, tanto en objetivos científicos como en colaboraciones nacionales e internacionales y en instrumentación científica, hasta convertirse en la moderna, y creemos que importante realidad que, en forma resumida, presentamos en esta publicación como *Guía del LGL*. Hoy, pasados mas de 20 años desde aquellas experiencias iniciales en la Cueva de los Verdes, el LGL debe considerarse como extendido a toda la isla de Lanzarote y zonas próximas, incluyendo el conjunto de pequeñas islas e islotes que forman el llamado Archipiélago Chinijo en el que en estos últimos años venimos realizando también

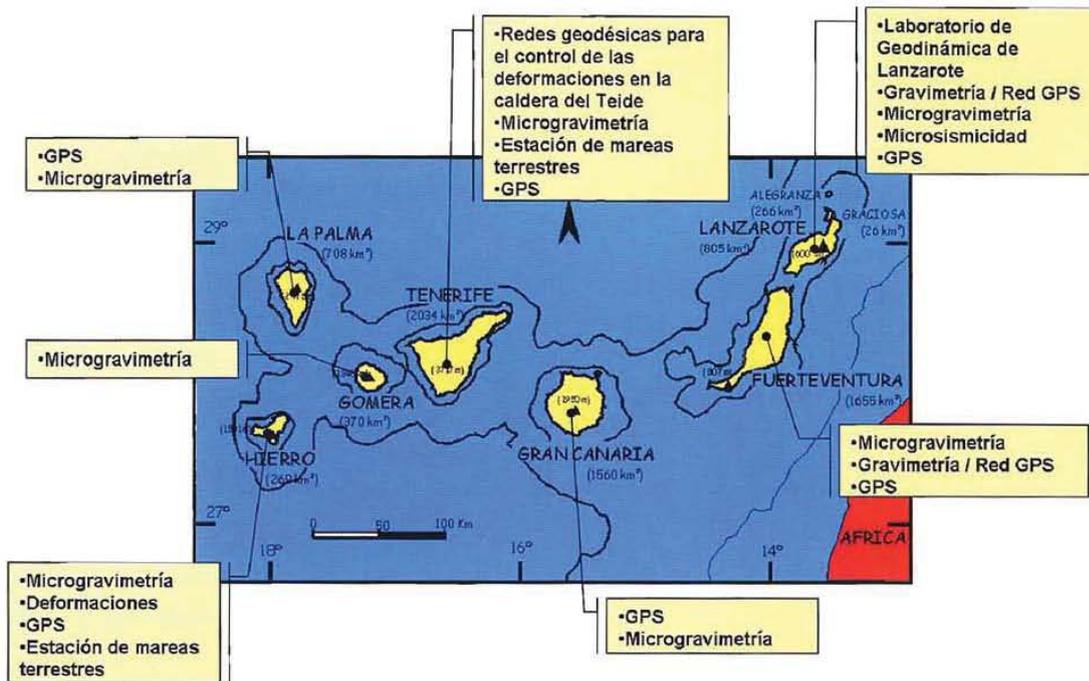
numerosas actividades científicas de nuestra especialidad.

El LGL ha pretendido desde sus inicios, ser un laboratorio de investigación en continua evolución de ideas, técnicas de observación y metodología de análisis e interpretación de resultados. En este sentido cabe señalar que durante sus 20 años de existencia se han realizado en Lanzarote múltiples experiencias, muchas de ellas consecuencia natural de la investigación en curso, en las que han intervenido científicos de instituciones españolas y extranjeras con el objetivo común de mejorar el conocimiento sobre los fenómenos que, debidos a la actividad de nuestro planeta y también a la influencia de fuerzas externas al mismo, se producen sobre sus superficie y en sus proximidades, tanto en sus zonas sólidas como en las líquidas y gaseosas. Estas experiencias, y sus resultados, han quedado recogidas en tesis doctorales, publicaciones científicas, comunicaciones en congresos e informes técnicos.

En resumen, el LGL se extiende a toda la isla de Lanzarote que, como es conocido, tiene un singular interés científico por su origen volcánico, sus importantes erupciones históricas, su situación geográfica, su actividad geodinámica y por el gran número de problemas e interrogantes que, aún hoy, tenemos sin resolver. En el marco de esta interpretación del Laboratorio extendido a toda la isla, disponemos de tres módulos de observación permanente, situados en diferentes puntos de la superficie insular de acuerdo con las posibilidades de infraestructuras y los objetivos de las investigaciones que se desarrollan. Estos módulos permanentes se complementan con redes geodésicas de medida, convenientemente señalizadas, y que nos permiten hacer estudios a nivel local, insular e interinsular.

Como en todas las islas del archipiélago canario, incluyendo las más pequeñas del archipiélago Chinijo y la Isla de Lobos, entre Lanzarote y Fuerteventura, se han llevado a cabo estudios microgravimétricos con una alta densidad de estaciones, en las cuales se ha realizado observación gravimétrica, determinación de coordenadas con GPS diferencial y toma de datos meteorológicos, con el fin inicial de obtener buenos mapas de anomalías gravimétricas y, a partir de ellos, ensayar y aplicar técnicas de inversión gravimétrica para la obtención de modelos tridimensionales de la corteza en forma de contrastes de densidades. Estas investigaciones, que llevan consigo el desarrollo del software propio en continua mejora y evolución, es otra de las líneas de trabajo surgidas como consecuencia de actividad científica que el IAG viene desarrollando en las Islas Canarias y en particular en Lanzarote. Todos los datos gravimétricos obtenidos por nosotros, así como otros, tanto gravimétricos como topográficos y batimétricos, facilitados por diversas Agencias, se han empleado para la realización del geoide de Canarias (GEOCAN), línea de investigación que también se desarrolla, desde hace más de 20 años en el IAG.

En la siguiente imagen puede verse, isla por isla, un resumen de la actividad desarrollada por el IAG en estas dos últimas décadas en el conjunto de las Islas Canarias.



Resumen de actividades del IAG en las Islas Canarias

## **Estructura del LGL**

El Laboratorio se extiende a la isla de Lanzarote y a la zona oceánica próxima, incluyendo el conjunto de pequeñas islas que se encuentran en sus proximidades. En la isla de Lanzarote se han seleccionado tres emplazamientos en los que se realizan observaciones continuas de diversos parámetros geodésicos y geodinámicos. A estos lugares, dos al norte, Cueva de los Verdes y Jameos del Agua, y uno al suroeste, Parque Nacional de Timanfaya, los denominamos *Módulos de Observación Permanente*. Asimismo, se han definido, señalado y observado un conjunto de redes geodésicas y geodinámicas para observación temporal y/o periódica, que se distribuyen, de forma homogénea, por toda la isla, dando contenido a la afirmación de que el LGL debe entenderse como extendido a toda la superficie de la isla y a su entorno próximo.

El *Centro de Recepción de Datos (CRD)* del Laboratorio se encuentra en la *Casa de los Volcanes*, Centro turístico, cultural y científico, dependiente del Cabildo de Lanzarote, desarrollado, también durante estos últimos 20 años, en estrecha colaboración de los técnicos del Cabildo con investigadores del CSIC. La Casa de los Volcanes está situada en la parte superior de los Jameos del Agua y su existencia ha sido fundamental para el desarrollo del LGL, que fue pensado y creado para formar parte de la estructura de la Casa de los Volcanes, en colaboración, naturalmente, con los científicos, responsables directos de las investigaciones que se desarrollan.

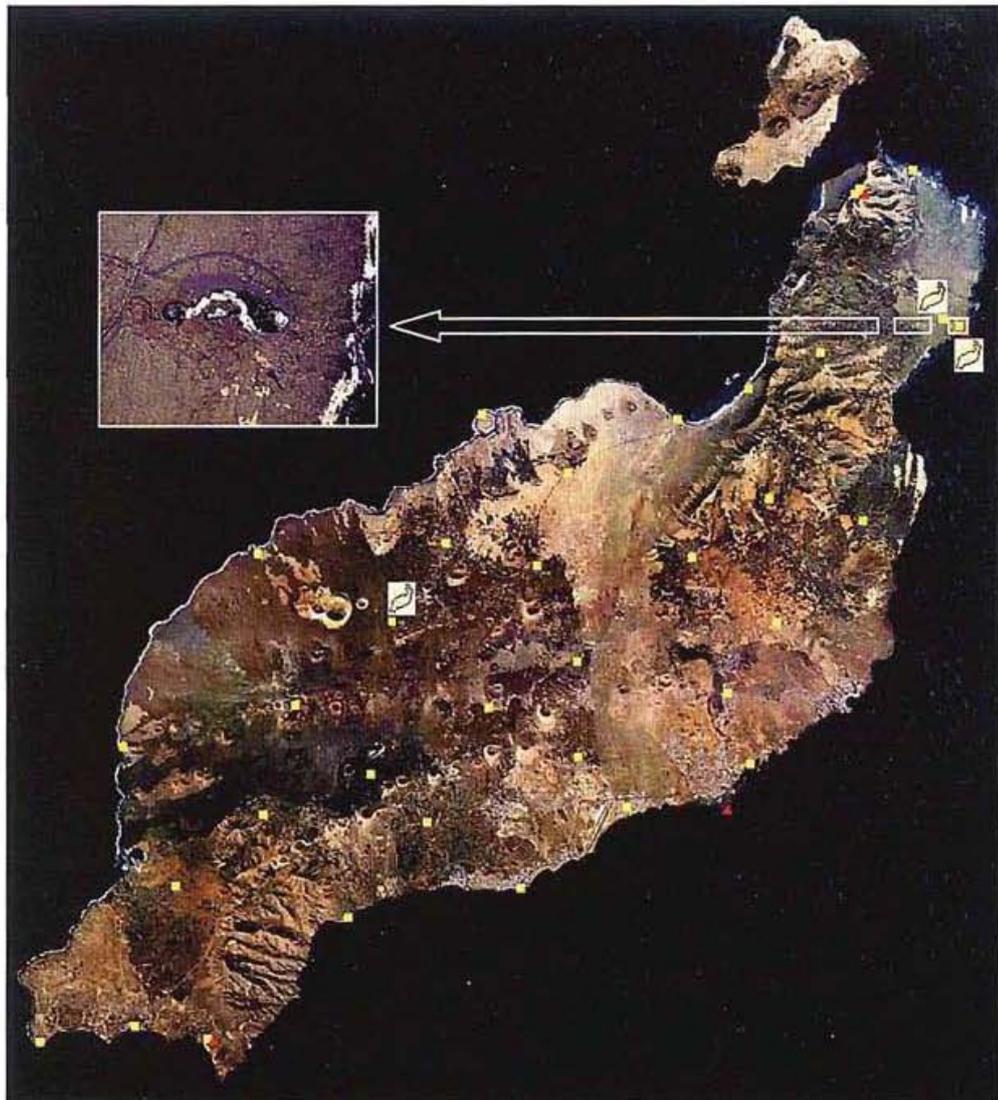
Los tres módulos de observación permanente, Cueva de los Verdes (CUE), Parque Nacional de Timanfaya (TIM) y Jameos del Agua (JAM) se encuentran en espacios singulares de la isla asociados a emblemáticos centros turísticos. En cada uno de

estos enclaves, y de acuerdo con las autoridades del Cabildo Insular de Lanzarote y del Parque Nacional de Timanfaya, se han acondicionado zonas restringidas para la investigación. En todos los casos, se ha tenido en cuenta la necesidad de integrar el Laboratorio en estos espacios protegidos, respetando las normativas existentes en Lanzarote en cuanto al respeto al medio ambiente y al paisaje natural. Los tres módulos de observación están conectados con el CRD, situado en la Casa de los Volcanes, a través de ADSL vía satélite, en el caso del módulo de Timanfaya, o por conexión directa punto a punto en los casos de la Cueva de los Verdes y de los Jameos del Agua.

En cuanto a las redes de observación periódica, se han definido y señalado tres redes con fines concretos. La *Red Geodinámica de Control*, que se extiende por toda la isla y en la cual se realizan de forma periódica observaciones de gravedad, gradiente, GPS, microsismicidad y parámetros meteorológicos, tiene como objetivo el estudio de la estructura de la corteza y la posible variación de la distribución de masas. La *Red de Nivelación* de los Jameos del Agua, compuesta por 13 señales alrededor del edificio de Jameos, y cuya misión principal es garantizar la conexión entre los cerros (marcas de referencia) de los mareógrafos y la estación de referencia GPS, y poder obtener información sobre posibles deformaciones locales que repercutirían, de no ser controladas, en la definición precisa del nivel del océano. Por último, en Lanzarote hay cuatro estaciones de la *Red GPS Interinsular*, que tiene por objeto la investigación, iniciada por el IAG en el 2003, sobre la dinámica interinsular en el archipiélago y de este con respecto a las placas continentales próximas y al resto de archipiélagos que constituyen la región macaronésica.

Con independencia de las redes se ha realizado en Lanzarote, como en el resto de las islas del archipiélago, estudios de microgravimetría, con

observación simultánea de gravedad, posicionamiento, GPS y parámetros meteorológicos. Exactamente en Lanzarote se ha observado en 280 puntos con el fin de obtener, con la ayuda también de datos de gravimetría marina y de satélite, buenos mapas de anomalías gravimétricas que, a su vez, sirvan de base para las investigaciones que venimos desarrollando sobre modelización tridimensional de la estructura cortical de la isla, expresada en forma de contrastes de densidades. Para ello se utilizan técnicas de inversión de campos potenciales con software desarrollado en el IAG. Esta línea de investigación, que hemos resumido en los objetivos como de desarrollo de software propio para una gran parte de nuestras actividades, es consecuencia de la fuerte formación matemática de gran parte de los investigadores del IAG.



Localización de los *Módulos de Observación* y las *Redes de Medida del LGL*

**Leyenda**

-  Módulos de Observación Permanente
-  Red de Control Geodinámico
-  Red GPS Interinsular
-  Red de Control de los Jameos del Agua

## **Objetivos Científicos y Líneas de Investigación**

Los objetivos científicos fundamentales del LGL quedaron plasmados en documentos, publicaciones y ponencias en congresos científicos, realizados desde los inicios de nuestras investigaciones en Lanzarote. Esos mismos objetivos genéricos son aplicables a todos los módulos, métodos y técnicas de observación y de análisis que, como hemos expresado, forman hoy el LGL. No obstante, como consecuencia de las propias investigaciones y por la ampliación con los años del ámbito geográfico del laboratorio, los objetivos se han enriquecido y, de alguna forma, singularizado en función de las características de cada módulo de observación, de los avances tecnológicos y del interés de nuevos proyectos y líneas de investigación que, como es lógico, experimentan continuos cambios. Esto puede entenderse fácilmente si consideramos, por ejemplo, el incremento de preocupación que, ante lo que se ha venido en llamar el Cambio Global, ha experimentado, en estos últimos años, el mundo científico y la sociedad en general.

Los objetivos fundamentales, tal y como figuran en los documentos iniciales, son:

- *Instrumentación: desarrollo y experimentación.*

Desarrollo y experimentación de equipos (sensores, sistemas de adquisición y transmisión de datos, sistemas auxiliares de alimentación, tiempo,...) que podamos creer interesantes para su aplicación a un mejor conocimiento de la actividad geodinámica de la isla o de otras zonas del planeta.

- *Auscultación continua de la actividad geodinámica.*

El estudio, mediante la auscultación continua y multidisciplinar, de la actividad geodinámica en la isla y de las posibles variaciones en el tiempo de los

parámetros geodésicos, geofísicos, meteorológicos, etc., puede darnos información de interés sobre la génesis y evolución de una posible crisis volcánica y, en general, de la actividad geodinámica en la zona. Esta información, en determinados casos, puede servirnos para conocer y sacar conclusiones, a medio y largo plazo, sobre fenómenos relacionados con el Cambio Global. Este es el caso de los registros permanentes, en los diversos lagos de los Jameos del Agua y mediante sensores de profundidad en mar abierto, del nivel del mar y de los parámetros geodésicos (posicionamiento GPS, deformaciones y gravedad) y físico-químicos del océano, la atmósfera y la corteza terrestre que estamos registrando en el LGL. La obtención y análisis de series de datos temporales de calidad, nos permiten comprobar cambios en tendencias y modelos establecidos, posibilitando nuevos conocimientos y mejoras en dichos modelos. Lanzarote y el LGL tienen especiales condiciones de calidad para estudios geodésicos de gran precisión en relación con las variaciones del nivel del océano en el Atlántico Norte. Esto hace que este tema constituya uno de los objetivos fundamentales del LGL encaminado a facilitar información fiable sobre el Cambio Climático.

- *Estudios de mareas y de la interacción Océano-Tierra-Atmósfera.*

Las especiales condiciones geográficas y morfológicas que se dan en la isla de Lanzarote han convertido el LGL en un lugar ideal para el estudio de posibles interacciones entre fenómenos terrestres, oceánicos y atmosféricos. Así, entre los diversos objetivos del laboratorio, figuran el estudio de las correlaciones entre la marea terrestre, oceánica y atmosférica, las posibles relaciones entre estructura y espesor de la corteza, el flujo térmico, anomalías geotérmicas, anomalías del geoide, volcanismo, sismicidad, deformaciones de la corteza, variaciones del campo de la gravedad y de la

distribución de masas en el interior de la corteza, cambios del nivel del mar, influencia de los parámetros meteorológicos en los demás observables, etc.

- *Desarrollo de metodología matemática para el análisis e interpretación de resultados.*

El IAG es un centro que está integrado en la Facultad de Matemáticas de la UCM y, por tanto, los problemas matemáticos tienen especial relevancia. En la actividad habitual del IAG está el desarrollo de software propio para pre-análisis, análisis e interpretación de resultados.

- *Colaboración científica multidisciplinar.*

Una de las características más importantes del LGL es su carácter de Centro abierto a la colaboración, nacional e internacional, que pueda ser de interés. Se mantienen estrechas colaboraciones de trabajo, en los objetivos antes señalados, con instituciones y grupos científicos de prestigio internacional. Especialmente destacamos, además de la colaboración con el grupo de Volcanología y Física de Volcanes del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), las colaboraciones que desde 1987 mantenemos, entre otras Instituciones, con el European Center for Geodynamics and Seismology del Consejo de Europa, con sede en Luxemburgo, con el Royal Observatory of Belgium, con el China Earthquake Administration, a través del Institute of Seismology de Wuhan, con el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Academia de Ciencias de Rusia o con el Instituto de Geofísica de la Academia de Ciencias de Bulgaria. El LGL pretende ser un referente a nivel internacional de colaboración multidisciplinar en el campo de la investigación de técnicas geodésicas y geodinámicas y su aplicación al estudio de zonas activas o potencialmente activas de la corteza terrestre.

**Colaboraciones Nacionales**

	Casa de los Volcanes	Cabildo de Lanzarote
	Parque Nacional de Timanfaya	Ministerio de Medio Ambiente
	Servicio de Medio Ambiente	Cabildo de Lanzarote
	Departamento de Volcanología.	Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC
	Estación Volcanológica de Canarias	Instituto de Productos Naturales y Agrobiología CSIC
	Departamento de Oceanografía Física	Universidad de Cádiz
	Centro Geofísico de Canarias	Instituto Geográfico Nacional

**Colaboraciones Internacionales**

	Institute of Seismology of Wuhan	China Earthquake Administration
	Laboratory for Geophysical Instrumentation	Royal Observatory of Belgium
	European Center for Geodynamics and Seismology	Luxembourg
	Institute of Physics of the Earth	Russian Academy of Sciences
	Geophysical Institute	Bulgarian Academy of Sciences
	International Center for Earth Tides	FAGS-WDC

**Empresas Colaboradoras**

		
Grupo de Intervención de Emergencias (CICO)	EXTECO	
		<b>GEONICA, S.A.</b>
Aplicaciones Tecnológicas S.L.		CIENCIAS DE LA TIERRA

Las líneas de investigación que se desarrollan en el LGL vienen marcadas por los objetivos científicos descritos y por la actividad investigadora del grupo, a través de los proyectos de investigación. Estas pueden resumirse en las siguientes:

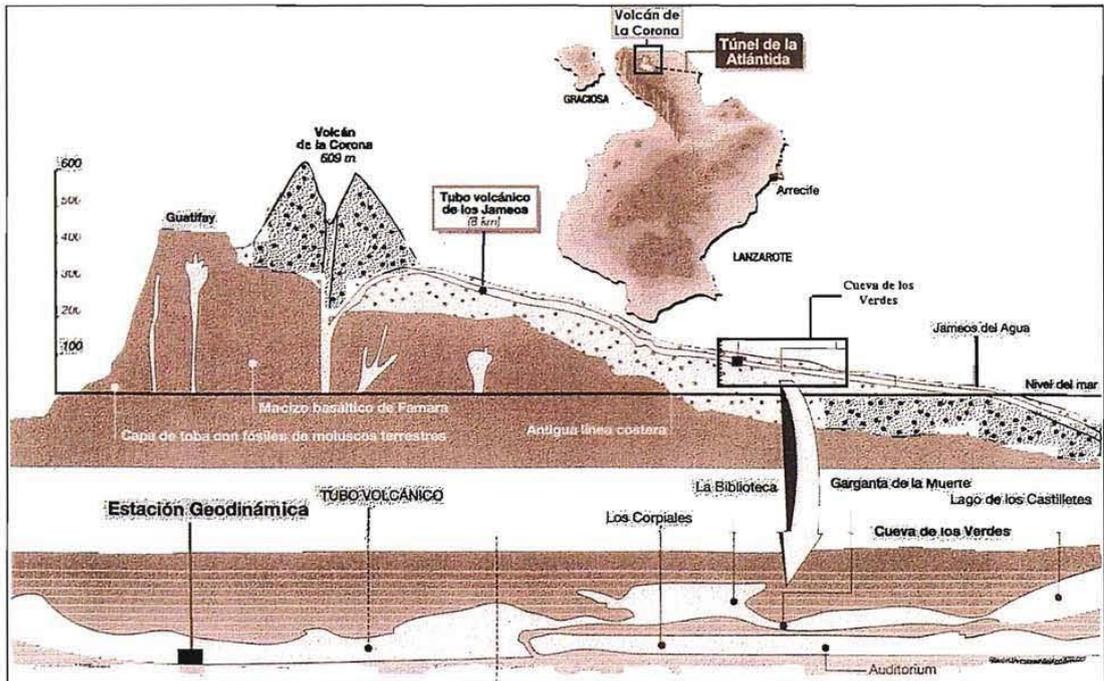
- Instrumentación en geodesia y geodinámica
- Mareas terrestres, oceánicas y atmosféricas.
- Gravimetría y microgravimetría: determinación del geoide y técnicas de inversión de campos potenciales.
- Deformación. Redes geodésicas.
- Variaciones del nivel del mar. Implicaciones en relación con el Cambio Global
- Interacción Tierra-Océano-Atmósfera
- Desarrollo de software para el análisis de observaciones multiparamétricas

## **Módulo de Observación “Cueva de los Verdes”**

### **Localización**

*La Cueva de los Verdes* se encuentra situada al norte de la Isla, dentro de la zona reconocida como *Monumento Natural de la Corona*. Dentro de este Espacio Natural está situado el volcán de *La Corona*, que entró en erupción hace algunos miles de años. Sus lavas rellenaron una amplia zona, dando lugar a la formación de tubos volcánicos desde la base del volcán hasta la costa. El túnel del volcán de la Corona tiene casi 7 km de longitud, de ellos, al menos, 1,5 km de recorrido submarino que se conoce como *Túnel de la Atlántida*. En su itinerario bajo la superficie del mar de lavas pueden apreciarse 16 jameos, palabra de origen local que da nombre a las zonas de colapsos del techo del túnel. A través de uno de esos jameos el visitante puede entrar y visitar una zona del tubo volcánico que se conoce como Cueva de los Verdes. Desde este punto de entrada a la zona de visita turística y en su discurrir hacia la línea de costa, el túnel desciende en varias ocasiones por debajo del nivel del mar, formándose pequeños lagos que, con peculiar régimen hidrodinámico, están sometidos a los efectos de las mareas oceánicas.

El módulo de observación de la Cueva de los Verdes está situado en el interior del túnel, a aproximadamente 2 km de la línea de costa, 5 km del volcán y 37 m sobre el nivel del mar. En este módulo se realizan, principalmente, observaciones continuas de la aceleración de la gravedad, desviaciones de la vertical y deformaciones del terreno así como de numerosos otros parámetros meteorológicos, ambientales, geoquímicos y geofísicos.



Esquema del tubo volcánico del volcán de la Corona

## Instrumentación

La instrumentación instalada nos permite estudiar las tres componentes de la marea terrestre: *gravimétrica* (variaciones del módulo de la gravedad), *clinométrica* (variaciones en la dirección de la gravedad) y *extensométrica* (variaciones en las deformaciones lineales, superficiales y volumétricas).

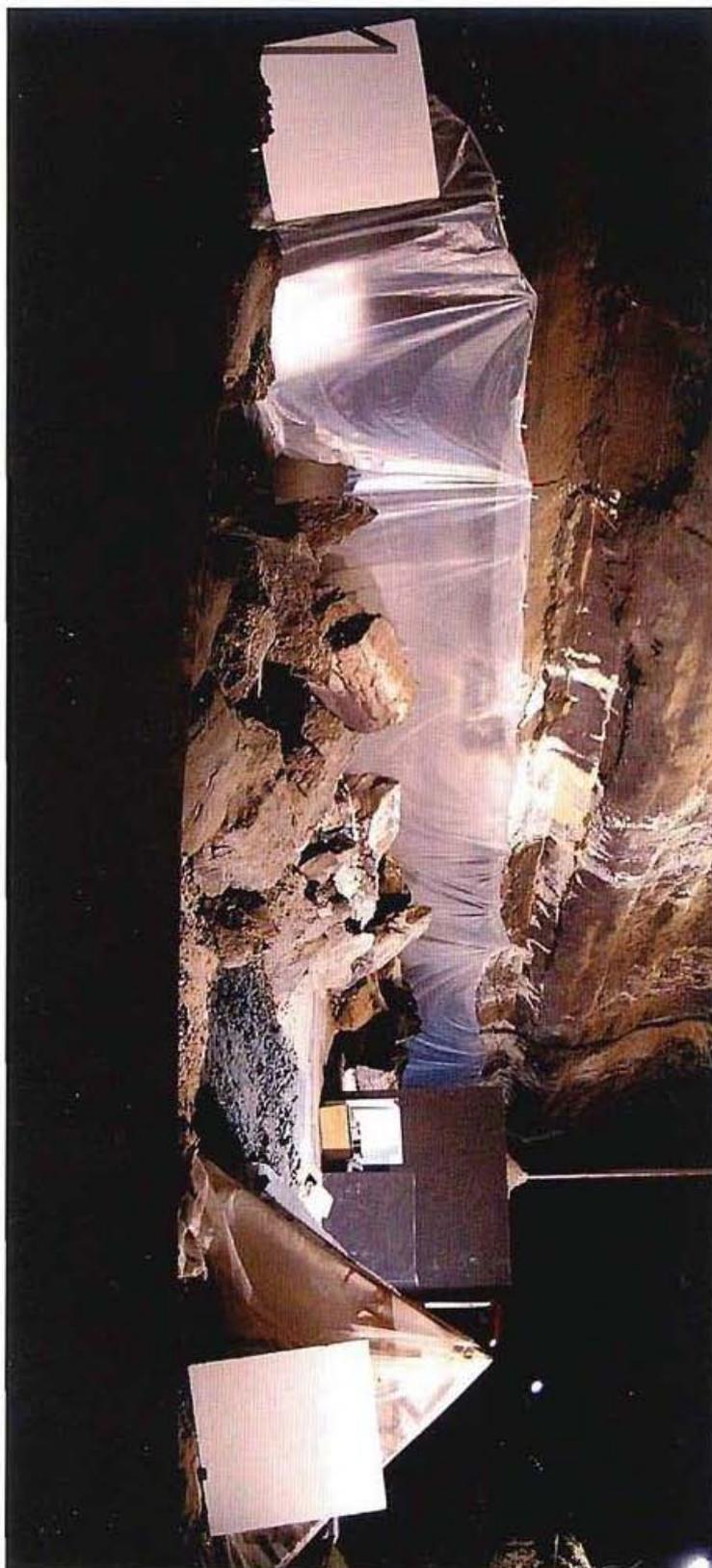
Otro de los objetivos fundamentales de la investigación desarrollada en el módulo es estudiar las interacciones entre fenómenos terrestres, oceánicos y atmosféricos. La precisión de la instrumentación instalada,  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup> para las variaciones del módulo de g,  $10^{-3}$  segundos de arco en inclinación y  $10^{-9}$  unidades de extensión en deformación, permiten observar pequeños fenómenos anómalos que pudieran estar relacionados con la actividad geodinámica de la isla.

La instrumentación del módulo se complementa con equipos de sismica y sensores para la medida de parámetros atmosféricos (presión, temperatura y humedad). Estos últimos resultan fundamentales en el estudio de la correlación entre dichos parámetros y la señal de marea. Las observaciones están muy influenciadas por efectos indirectos, atmosféricos u oceánicos, siendo necesario poder modelar estas influencias y a ser posible eliminarlas de la señal registrada, ya que, sin duda, dan lugar a perturbaciones que pueden enmascarar otras señales de posible interés geodinámico.

La mayoría de los equipos instalados, especialmente los sensores, son prototipos, desarrollados expresamente para su instalación en la Cueva y modificados según las condiciones presentes y el objetivo de la investigación. Este es el caso de los clinómetros de corta base, tipo péndulo vertical u horizontal, los clinómetros de larga base, tipo water tube, o los extensómetros horizontales de barra. Estos

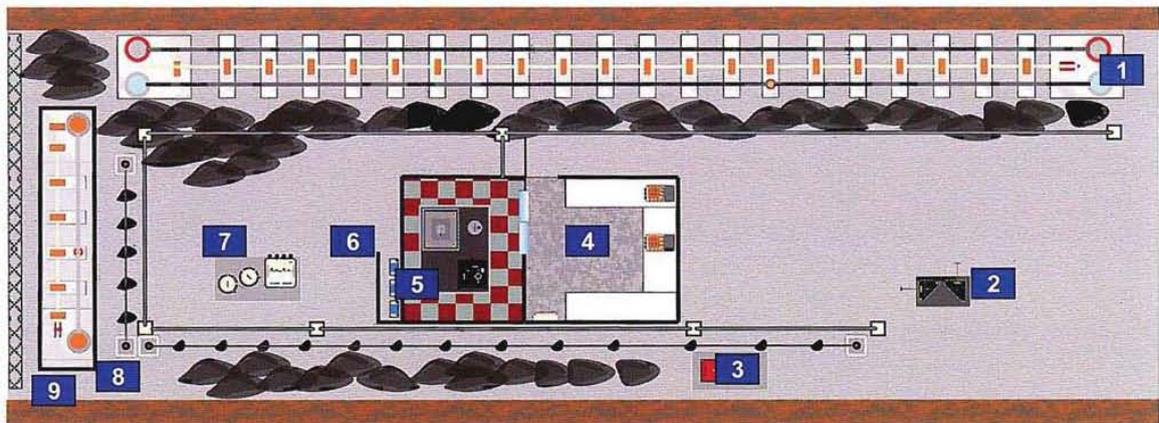
equipos están instalados siguiendo las direcciones, longitudinal y transversal, del tubo volcánico. También destaca la presencia de un péndulo vertical, de más de 8 m de longitud desde el techo de la cueva hasta el suelo, que nos permite registrar, además de las dos componentes de inclinación, una componente extensométrica de deformación vertical.

El módulo de la Cueva de los Verdes está conectado con la Casa de los Volcanes a través de dos líneas dedicadas. De esta forma podemos establecer conexiones directas punto a punto (PPP) vía modem, con los equipos instalados para la configuración y transmisión de datos, o enviar directamente la señal para que sea registrada en modo remoto. La existencia de conexión de banda ancha en los Jameos del Agua nos va a permitir ampliar la red local de la Casa de los Volcanes a la Cueva, bien a través de fibra óptica o con dispositivos sobre tecnología VDSL.



Laboratorio en el interior de la Cueva de los Verdes

### Croquis del Laboratorio



1. Clinómetros de agua y extensómetro
2. Péndulos horizontales
3. Estación sísmica de corto periodo y sensor de Rn
4. Sistemas de adquisición y transmisión de datos
5. Gravímetro, Péndulo vertical y Broad-Band
6. Sistemas auxiliares de alimentación
7. Clinómetros y acelerómetro
8. Clinómetros de agua
9. Clinómetro de agua y extensómetro

Sensor	Tipo	Características	Instalación	Sensibilidad
GRA434	Gravímetro	Relativo	1987	$10^{-9}$ m/s <sup>2</sup>
PH512	Clinómetro	Péndulo horizontal VMR	1991	0.1 mseg
PH535	Clinómetro	Péndulo horizontal VMR	1991	0.1 mseg
PV001	Clinómetro/extensómetro	Péndulo y extensómetro vertical	1991	0.2 mseg
TR001	Termómetro de roca	Termopar	1991	0.002 °C
TR002	Termómetro de roca	Termopar	1991	0.002 °C
WT001	Clinómetro	Tubo de agua	1991	0.1 mseg
WT002	Clinómetro	Tubo de agua	1991	0.2 mseg
EXTCE92	Extensómetro	Rígido de barra	1992	$0.001 \times 10^{-9}$ m
HUM299	Higrómetro	% humedad en aire	1992	0.2 %
PRE393	Barómetro	Relativo	1992	0.2 mbar
TAI001	Termómetro de aire	Termopar	1992	0.01 °C
TAICE92	Termómetro de aire	Termopar	1992	0.01 °C
TRCE92	Termómetro de roca	Termopar	1992	0.01 °C
WTCE92	Clinómetro	Tubo de agua	1992	0.1 mseg
EXTCE94	Extensómetro	Rígido de barra	1994	$0.001 \times 10^{-6}$ m
WTCE94	Clinómetro	Tubo de agua	1994	0.1 mseg
TAS711	Clinómetro/Acelerómetro	Péndulo "Ostrovsky"	1995	0.2 mseg / $10^{-7}$ m/s <sup>2</sup>
TAS712	Clinómetro/Acelerómetro	Péndulo "Ostrovsky"	1995	0.2 mseg / $10^{-7}$ m/s <sup>2</sup>
WTCE00	Clinómetro	Tubo de agua	2000	0.1 mseg
PRECE02	Barómetro	Relativo	2002	0.02 mbar

Tabla de instrumentación instalada en la Cueva de los Verdes



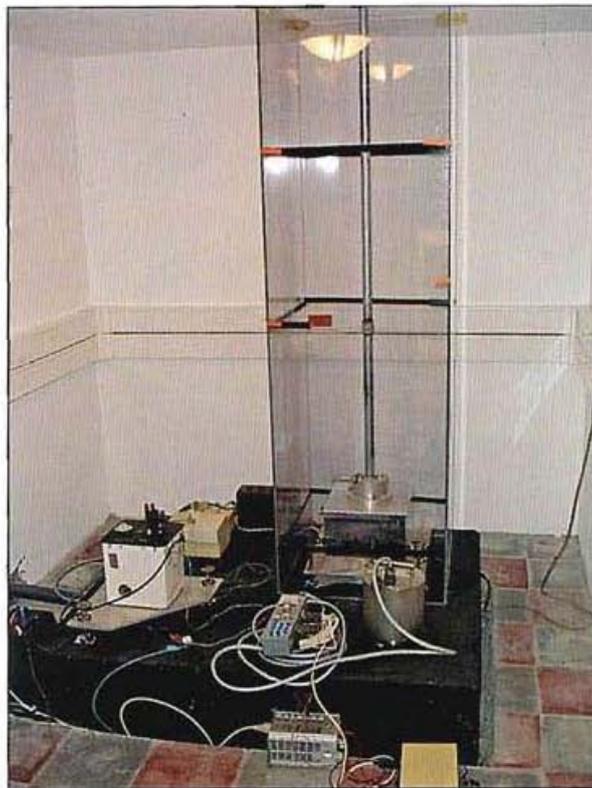
Exterior de la caseta del laboratorio



Interior de la caseta de recepción de datos



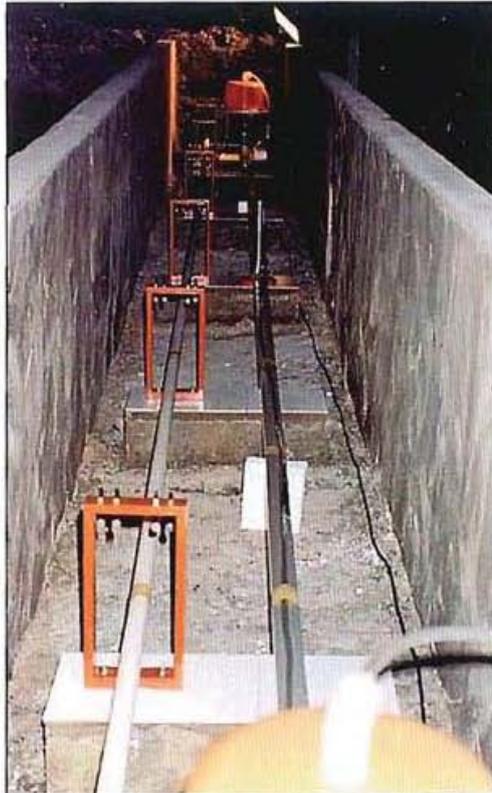
Vista exterior del péndulo vertical



Pilar de observación en el interior de la caseta



Clinómetros de agua y extensómetro CE92 y CE2000



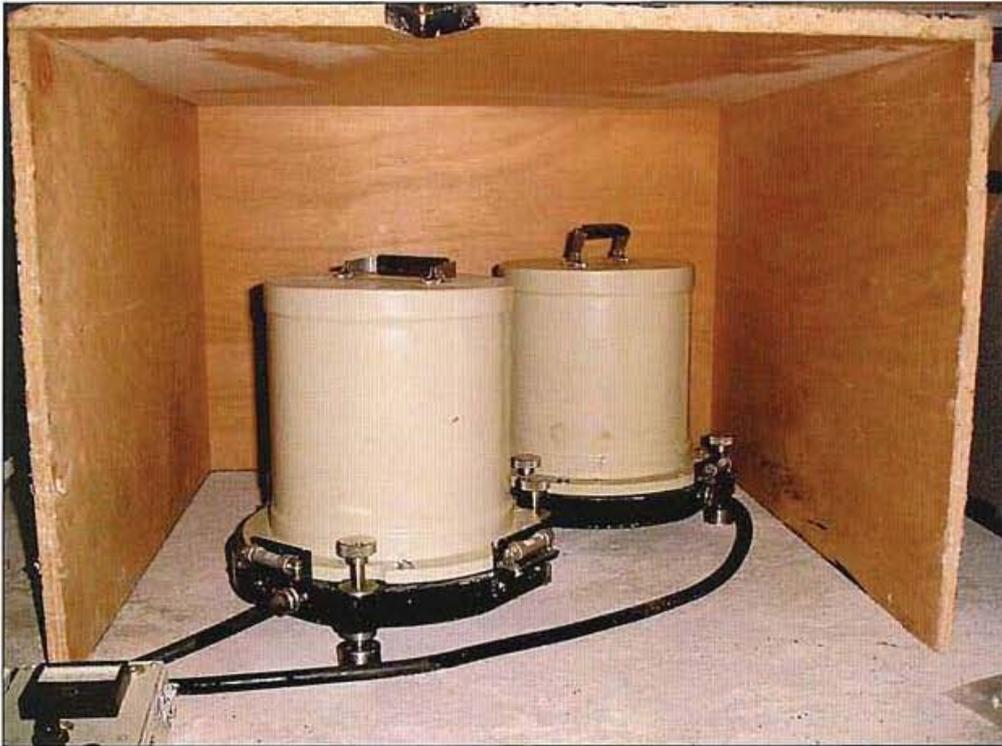
Clinómetros de agua y extensómetro CE94



Clinómetros de agua BEL (WT001 y WT002)



Péndulos horizontales VMR (n<sup>os</sup> 512 y 535)



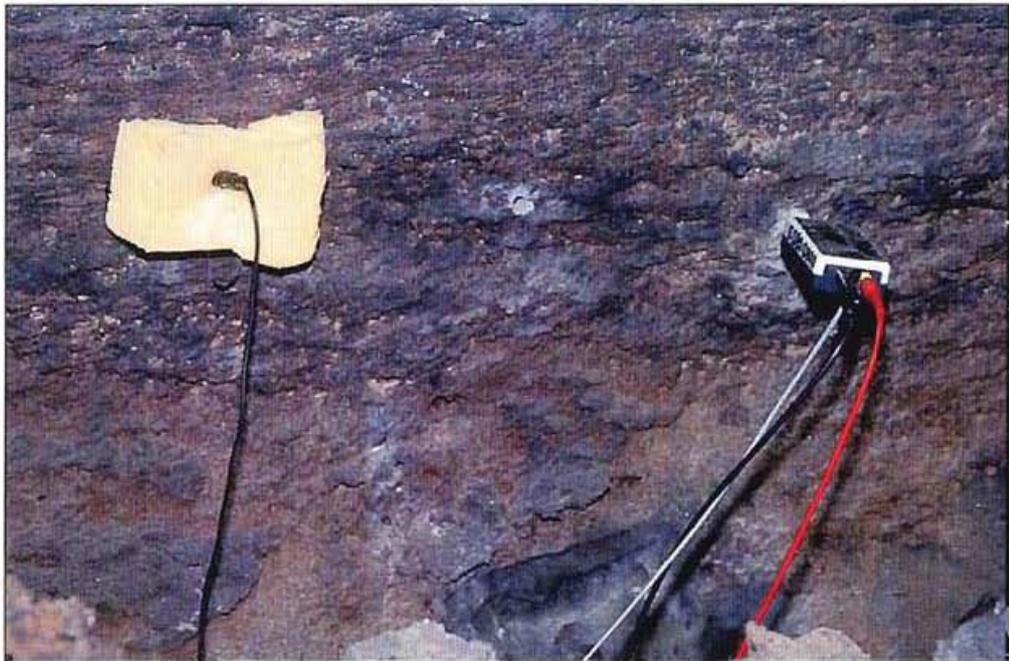
Péndulos verticales "Ostrovsky"



Sensor para la medida de la velocidad de inclinación del terreno



Pilar de observación sísmica con estaciones de corto y largo periodo



Sensores para la medida de temperatura en roca

## **Módulo de Observación “Parque Nacional de Timanfaya”**

### **Localización**

Entre los años 1730 y 1736 tuvo lugar en Lanzarote un largo periodo eruptivo que dejó una imborrable huella en la topografía de la isla y que dio origen a lo que hoy es el *Parque Nacional de Timanfaya*. Esta es una de las mayores erupciones basálticas históricas, cuyas lavas cambiaron la topografía de la isla en más de un 20% de su superficie. La lava cubrió 200 km<sup>2</sup>, destruyendo 24 pueblos y devastó extensas zonas de cultivo. La acción del viento hizo que las cenizas se extendiesen en todas las direcciones, principalmente hacia el sureste. La erupción a lo largo de una serie de fracturas hizo que se formasen más de 100 conos volcánicos que hoy podemos todavía contemplar en un estado muy similar al que se encontraba nada más concluir el periodo eruptivo. Desde *Montaña Rajada* hacia el noroeste, podemos apreciar un importante alineamiento, las *Montañas del Fuego*, y hacia el oeste un extenso campo de lava que llega hasta el mar. En esta zona la vegetación es muy pobre, estando colonizada fundamentalmente por líquenes. No obstante, en los últimos años, comienzan a verse otras especies de plantas, tanto de origen endógeno como exógeno, y juncos, estos últimos asociados posiblemente a fenómenos de evaporación en zonas de fisuras que amenaza con cambiar el característico paisaje lunar con el que suele comparar la visión de Timanfaya. La última erupción en la isla se produjo, en 1824, en la zona de parque y pre-parque, abriéndose tres nuevas bocas alineadas de acuerdo con el sistema de fracturas de la erupción del siglo XVIII.

El módulo de observación del LGL en el Parque Nacional de Timanfaya está dividido en dos partes,

localizadas en una zona de anomalías geotérmicas asociadas, probablemente, a la existencia de una cámara magmática residual y bastante somera, consecuencia de las erupciones históricas a las que hemos hecho referencia. En esta zona, los valores de temperaturas pueden alcanzar entre 100 y 200 °C a pocos centímetros bajo la superficie, y llegar hasta los 600 °C a 13 m de profundidad.

Como puede verse en la siguiente imagen, el módulo de Timanfaya, conocido popularmente como *Casa de los Camelleros*, está situado en las proximidades del cráter del volcán que da nombre al Parque Nacional. En este lugar se había construido, hace ya algunos años, un habitáculo subterráneo, simulado externamente bajo la forma de un pequeño cono volcánico, que era utilizado como lugar de descanso de los cuidadores de los camellos que tradicionalmente paseaban a los turistas por esta zona del parque. Hace unos años la zona turística dedicada al paseo en camello se desplazó hacia el exterior del parque, dejando por tanto de tener utilidad para las funciones que la habían originado. El recinto está compuesto un patio central abierto y dos habitaciones laterales, unidas por una galería. Se ha acondicionado haciéndolo sede de una gran parte de los sensores, sistemas de adquisición de datos e instrumentación que componen el módulo de observación, y es aprovechado conjuntamente con otras funciones del propio Parque Nacional.

La segunda zona del laboratorio está a unos 200 m de la Casa de los Camelleros, al aire libre y sobre una zona en la que se habían realizado sondeos, de hasta 40 m de profundidad, en el marco del proyecto *JOULE*, que patrocinó la Unión Europea y tenía como objetivo el estudio de las posibilidades de aprovechamiento geotérmico de Timanfaya.



Vista satélite del Parque Nacional de Timanfaya



Plano del Parque (fuente: Parque Nacional de Timanfaya)  
Ubicación de la Casa de los Camelleros

## **Instrumentación**

La equipación del laboratorio incluye clinómetros, extensómetros horizontales de barra, termómetros de alta temperatura, gravímetros, sensores para la medida de parámetros meteorológicos y GPS, todo ello con el objetivo de estudiar las posibles deformaciones del terreno en relación con las anomalías geotérmicas presentes y la actividad geodinámica en general, con especial atención a aquellas señales que pudiesen facilitarnos información sobre la génesis, evolución y posible desencadenamiento de fenómenos volcánicos en la isla. También se cuenta con equipos de medida de geoquímica de gases, con el fin de analizar la relación entre la marea de tierra sólida y las variaciones en procesos de desgasificación difusa ( $\text{CO}_2$  y  $^{222}\text{Rn}$ ) en un entorno activo como es Timanfaya, como parte de un estudio global, realizándose el mismo tipo de medidas en la Cueva de los Verdes, siendo este un entorno pasivo.

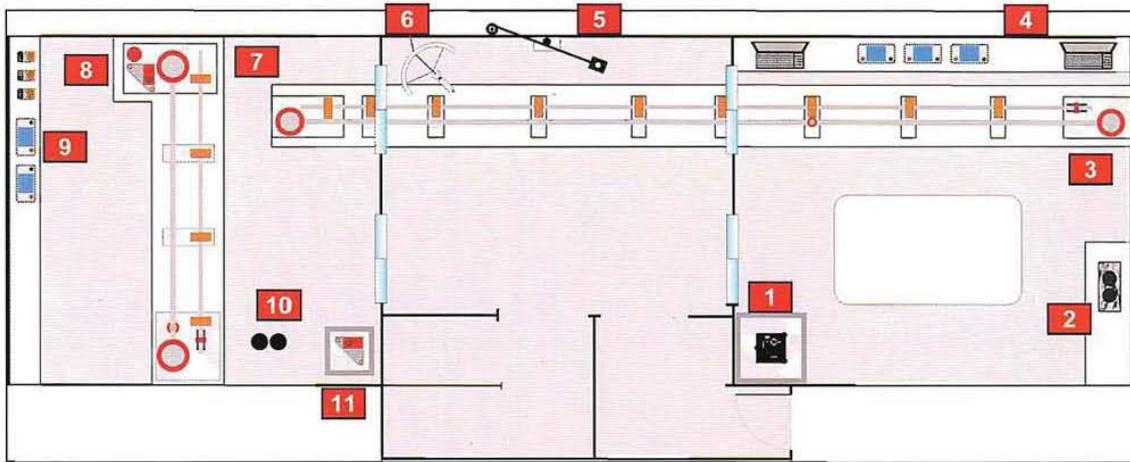
La mayoría de los equipos instalados en Timanfaya son parecidos a los que están instalados en la Cueva de los Verdes. Debido a las condiciones locales presentes, ha sido necesario modificarlos en el sentido de reducir su sensibilidad, ampliar el rango de medida y adaptar su consumo al mínimo, dado que durante más de 10 años, hasta el año 2002, se carecía de red eléctrica, utilizándose paneles solares y baterías para alimentarlos. El robo de todos los paneles en el mes de enero de 2002 hizo que nos replanteáramos la situación, llegando a un acuerdo con la Dirección del Parque para tender una línea de alimentación desde el generador eléctrico situado en el Islote de Hilario, a aproximadamente 1.5 km de distancia, hasta el propio laboratorio. Esta línea va enterrada siguiendo el trazado de la ruta turística que pasa cerca del laboratorio. El generador funciona solamente durante

las horas en las que el Parque está abierto, por lo que sigue siendo necesario el uso de baterías, que se recargan durante las horas de funcionamiento de los generadores y permiten mantener las condiciones necesarias para la alimentación de los equipos durante las noches.

Otro aspecto importante es que los equipos de adquisición debían de estar dotados de capacidad suficiente para poder almacenar los datos registrados, hasta que un operador los transfería a un ordenador portátil para, posteriormente, enviarlos a Madrid. Desde el año 2004 el módulo está dotado de conexión a Internet de banda ancha vía satélite (ADSL satélite bidireccional) Esto nos permite tener acceso a la mayoría de los equipos en tiempo real y poder comprobar así su correcto funcionamiento desde cualquier lugar, mejorando notablemente las labores de mantenimiento.

Muchas de las experiencias, sobre todo a nivel instrumental, que en este módulo se realizan son de gran importancia en la aplicación de estas mismas técnicas en otros entornos similares.

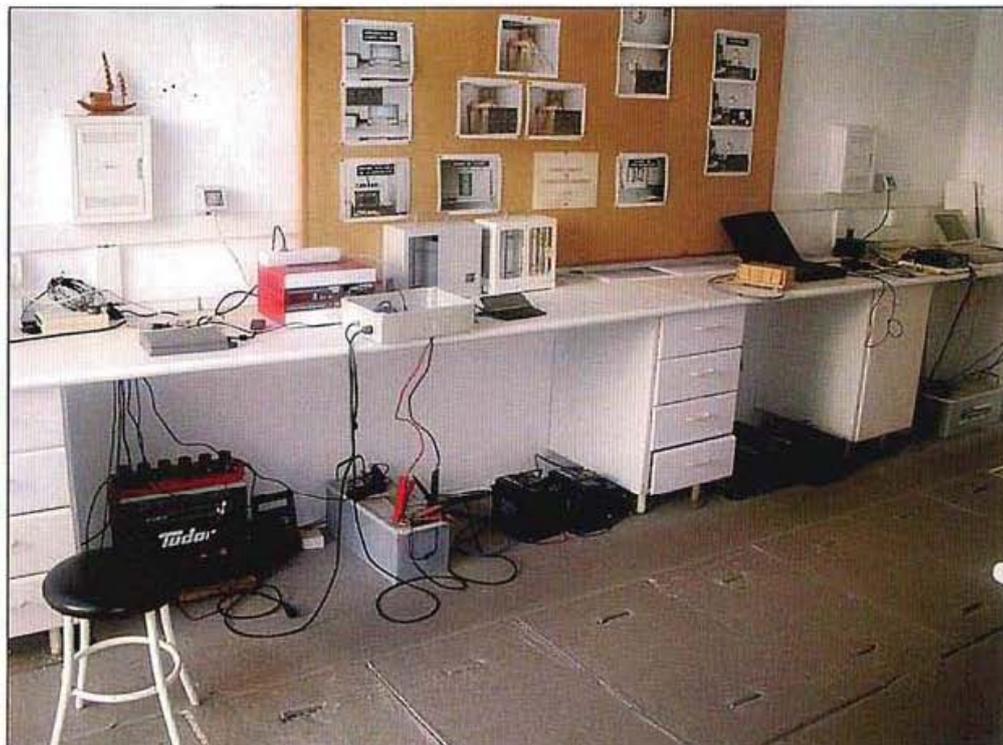
### Croquis del Laboratorio



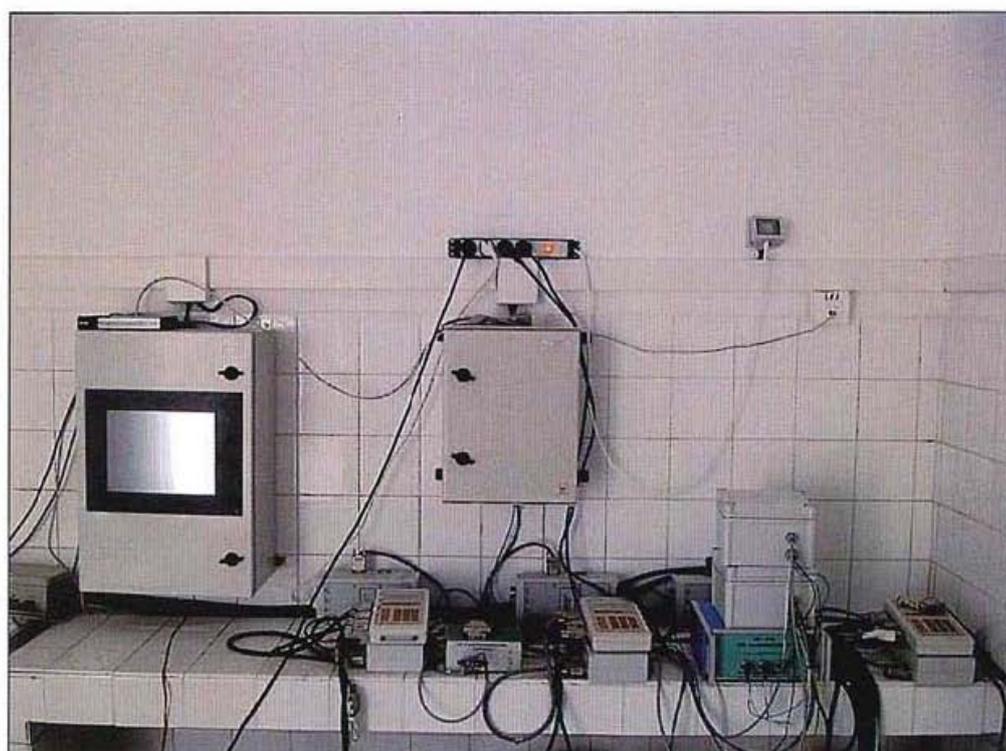
1. Gravímetro LcR nº003
2. Péndulos verticales tipo Borehole
3. Clinómetro de agua y extensómetro CE99
4. Sistemas de adquisición y alimentación
5. Estación meteorológica PNT (velocidad y dirección de viento, luminosidad)
6. ADSL vía satélite
7. Clinómetro de agua y extensómetro CE96
8. Péndulo vertical GK-10 CE96 (N-S)
9. Sistemas de adquisición y alimentación
10. Sondeos para termometría
11. Péndulo vertical GK-10 CE96 (E-W)

Sensor	Tipo	Características	Instalación	Sensibilidad
RPH662	Clinómetro	Péndulo vertical "Borehole"	1995	0.1 mseg
RPH661	Clinómetro	Péndulo vertical "Borehole"	1995	0.1 mseg
EXTCE96	Extensómetro	Rígido de barra	1996	$0.01 \times 10^{-6}$ m
PVCE96EW	Clinómetro	Péndulo vertical GK-10c	1996	10 mseg
PVCE96NS	Clinómetro	Péndulo vertical GK-10c	1996	10 mseg
TAICE96	Termómetro de aire	Termopar	1996	0.01 °C
TRCE96	Termómetro de roca	Termopar	1996	0.01 °C
WTCE96	Clinómetro	Tubo de agua	1996	1 mseg
TATCE98_1	Termómetro de alta temperatura	Termopar (30 m)	1998	0.02 °C
TATCE98_2	Termómetro de alta temperatura	Termopar (20 m)	1998	0.02 °C
TATCE98_3	Termómetro de alta temperatura	Termopar (10 m)	1998	0.01 °C
EXTCE99	Extensómetro	Rígido de barra	1999	$0.01 \times 10^{-6}$ m
TAICE99	Termómetro de aire	Termopar	1999	0.01 °C
WTCE99	Clinómetro	Tubo de agua	1999	1 mseg
GRA003	Gravímetro	Relativo	2001	$10^{-8}$ m/s <sup>2</sup>
PRECE02	Barómetro	Relativo	2002	0.02 mbar
F100	Termómetro de precisión	Sondas tipo PT100 y PRT	2006	0.02 °C
F150	Calibrador	Sondas tipo PT100 y termopar	2006	0.01 °C

Tabla de instrumentación instalada en el Parque Nacional de Timanfaya



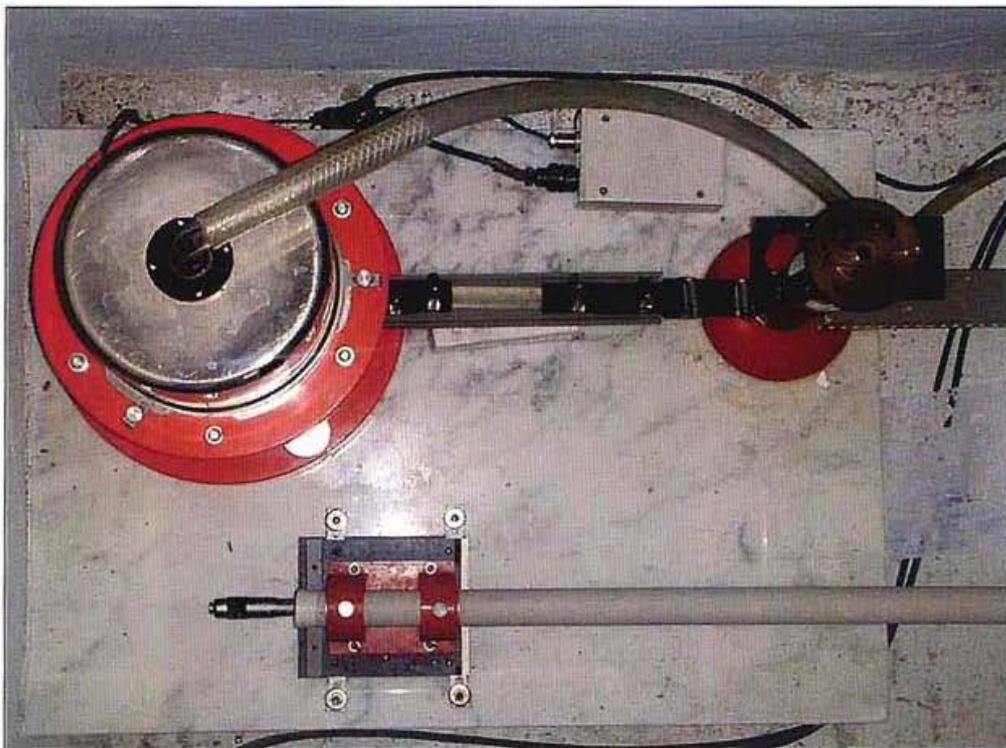
Vista del interior de la Casa de los Camelleros



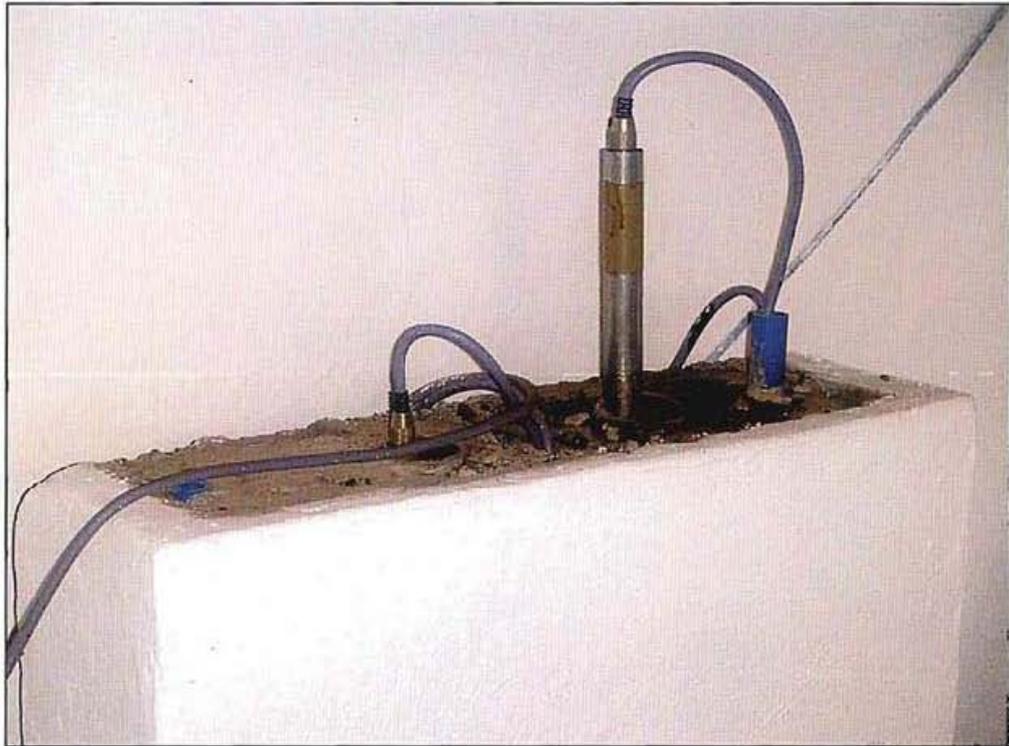
Sistemas de adquisición de datos (Meteodatas 1256C)



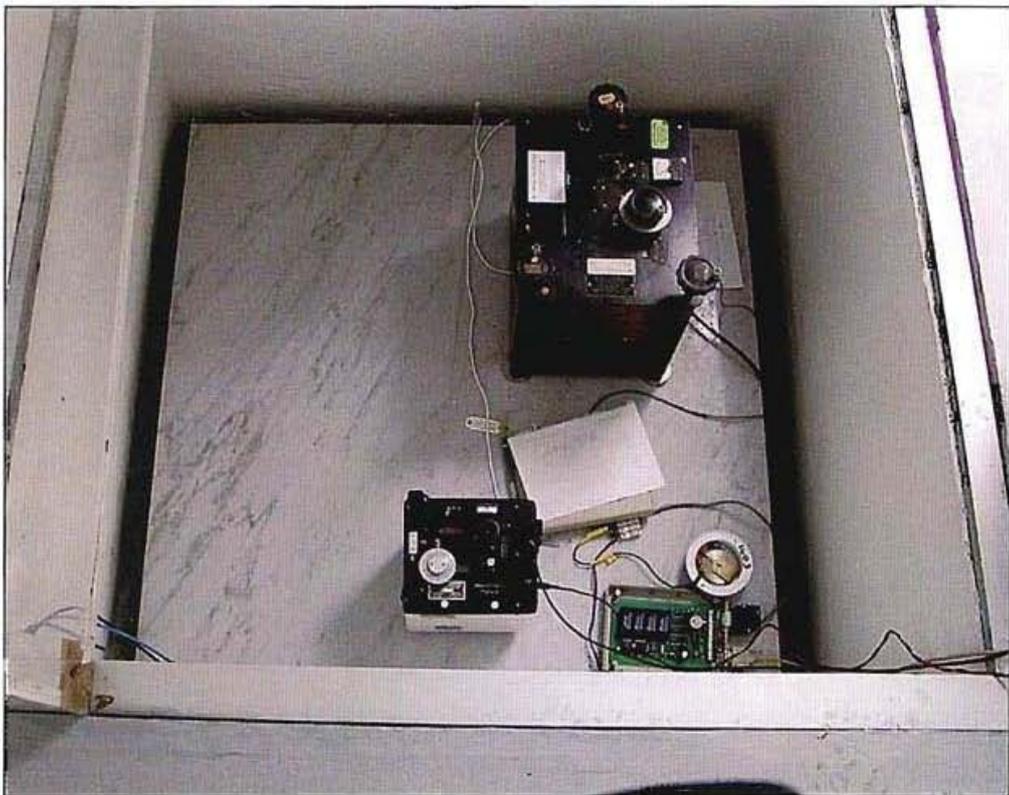
Pilar de observación en la dirección N-S



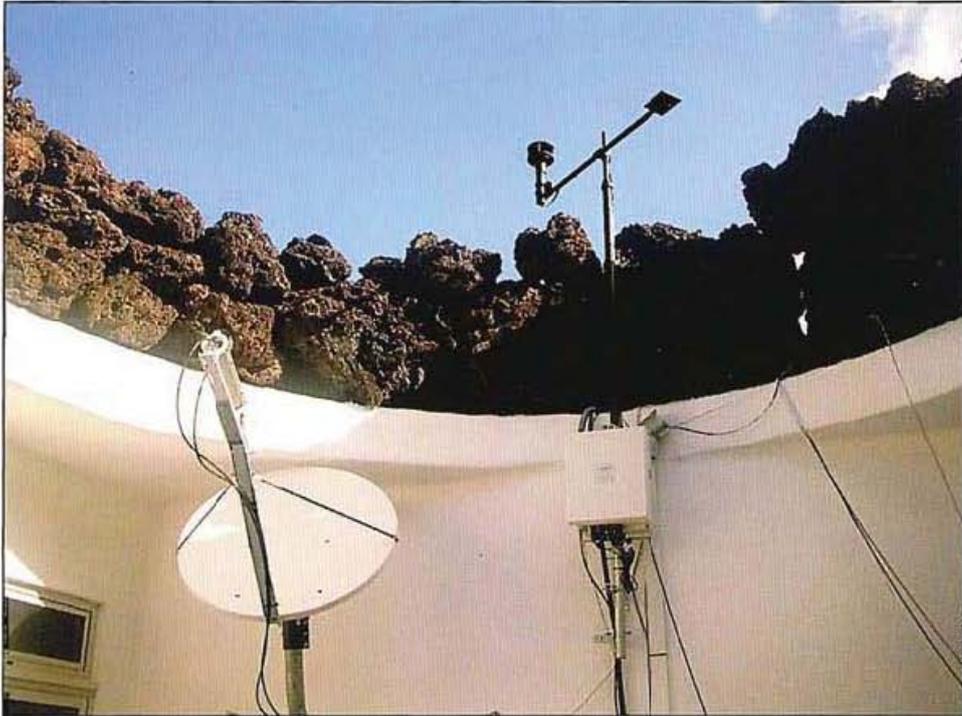
Cabeza y sistema de calibración del clinómetro de agua CE96



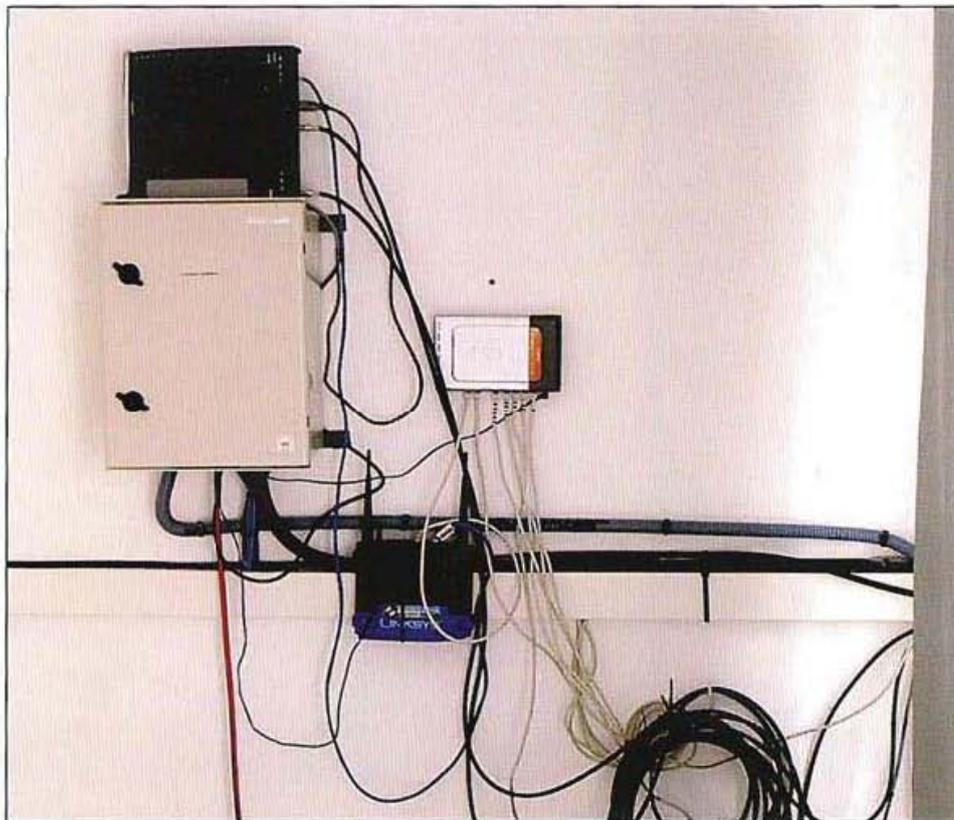
Péndulos verticales tipo *Borehole* (nº 661 y 662)



Pilar de observación para gravímetros



Estación meteorológica y antena para ADSL satélite



Equipo terminal decodificador y router ADSL WI-FI



Vista de la zona de anomalías geotérmicas



Sondeo instrumentalizado para la medida de alta temperatura

## ***Módulo de Observación “Jameos del Agua”***

### **Localización**

Las lavas de la erupción del volcán La Corona formaron un extenso malpaís, en la zona norte de la isla, que llegó desde las cumbres de Famara al océano, dando lugar, en su recorrido entre barrancos, a varios tubos lávicos de estructuras y dimensiones ciertamente interesantes. El más importante va desde el volcán La Corona en dirección oeste, en un recorrido de cerca de 6 kilómetros bajo la topografía de la isla hasta llegar a su límite, continuando bajo el océano al menos otros 2 kilómetros, en el tramo conocido como Túnel de la Atlántida. En su último kilómetro de recorrido terrestre, el tubo desciende varias veces por debajo del nivel del mar, formándose pequeños lagos. Esta zona próxima a la costa, se denomina Jameos del Agua. Tanto los Jameos del Agua como la Cueva de los Verdes se encuentran en el *Sitio de Interés Científico de los Jameos* (Ley 12/1994 de Espacios Naturales de Canarias)

Su singular emplazamiento y condiciones, convierten a esta parte del tubo volcánico, en un lugar ideal para realizar estudios en relación con la marea oceánica y el nivel del mar, ya que, entre otras muchas características de especial interés destacamos la de estar situada en una pequeña isla atlántica de escaso relieve, que permite eliminar con cierta facilidad muchas de las singularidades y efectos perturbadores, de origen principalmente atmosférico y geoestructurales que presentan habitualmente las estaciones mareográficas continentales. Los resultados que se desprenden de las observaciones realizadas, nos permiten evaluar y cuantificar las variaciones del nivel del mar, tanto las debidas a fenómenos bien conocidos, como la marea oceánica, como las que son consecuencias de la geodinámica local o aquellas que

podieran derivarse del Cambio Global. Estas observaciones, de tanto interés vulcanológico y de información a medio y largo plazo sobre el posible cambio climático, son también de interés para los estudios de los efectos de carga oceánica sobre la corteza que debemos conocer para poder hacer una mejor interpretación de los observables de mareas terrestre.

El módulo cuenta con tres lugares de medida continua. Dos están situados en los dos últimos lagos (Lago Grande y Lago Chico) formados por la intersección del túnel con el océano. El tercero se localiza frente a la costa de Jameos, en mar abierto, a unos 200 m de la playa y a unos 10 m de profundidad.



Vista aérea de los Jameos del Agua  
(fuente: <http://www.rheinhessen-luftbild.de/index.php>)



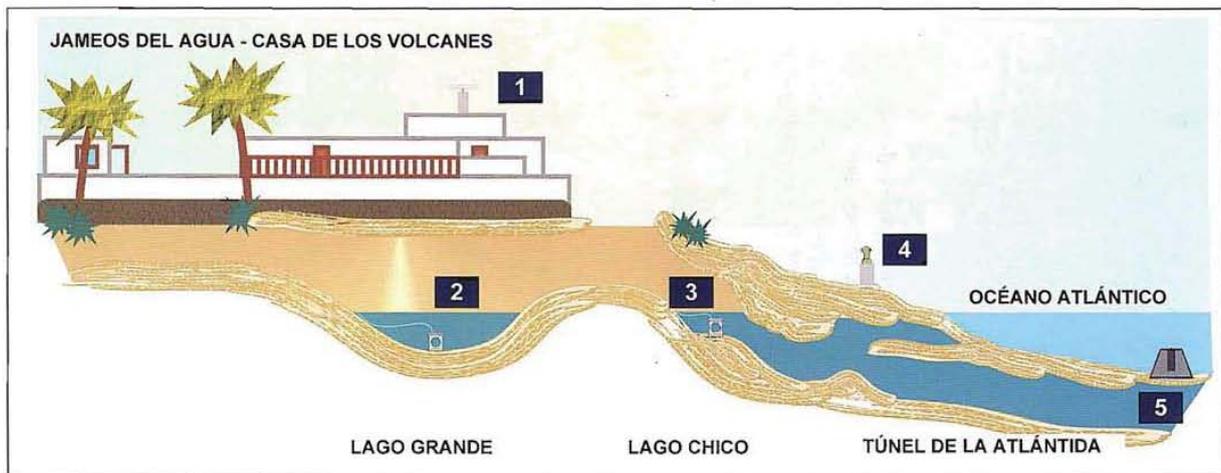
Puntos de observación permanente

## Instrumentación

Desde el año 1987 se vienen realizando observaciones de las variaciones del nivel del mar en los lagos de los Jameos del Agua. Para ello, los mareógrafos instalados son sensores de nivel que miden las variaciones de presión producidas por la columna de agua situada sobre el sensor, con una resolución milimétrica. Además, estos equipos están dotados de termómetros para el registro de la temperatura del agua. Uno de los objetivos es garantizar la calidad y precisión de las observaciones, así como su continuidad en el tiempo. Durante el año 2003, dentro del proyecto "VULCMAC", de la convocatoria INTERREGIII-B, se realizó una importante mejora instalando nuevos equipos y conectando este módulo a la red local de la Casa de los Volcanes.

Desde el año 2001, el LGL cuenta con una estación permanente de GPS, situada en la terraza de los Jameos del Agua. Su objetivo es el estudio del nivel del mar relacionando los movimientos verticales de la corteza con las variaciones registradas por los mareógrafos. La antena GPS está enlazada con el cero de los mareógrafos (marca de referencia) por nivelación geométrica y trigonométrica de precisión. Los posibles movimientos del pilar en el que está situada la antena están controlados con una red geodésica compuesta por 13 señales distribuidas a su alrededor. La estación GPS está formada por un receptor Astech Z-Surveyor de doble frecuencia, con conexión directa a Internet, y antena Astech de tipo *choque-ring*, según las recomendaciones dadas por el *International GPS Service*. Estas observaciones se complementan con una estación meteorológica MET3A (Paroscientific) con registro continuo de presión, temperatura y humedad.

### Croquis del Laboratorio



1. Estación GPS de referencia iCGRS *THALES Navigation* y estación meteorológica MET3A (presión, temperatura y humedad) 2. Mareógrafos *Paroscientific 8DP070-GV*, *Saiv TD301R* (nivel y temperatura del agua) y *Druck PTX1830* 3. Mareógrafos *Paroscientific 8DP070-GV* y *Druck PTX1830*; Péndulo vertical tipo "Borehole" y termómetros de agua 4. Red de Control 5. Mareógrafo *Saiv TD301A*

Sensor	Tipo	Características	Instalación	Sensibilidad
RPH551	Clinómetro	Péndulo vertical "Borehole"	1994	0.1 mseg
M222	Mareógrafo	Nivel del agua (presión)	1994	0.001 m
TR010	Termómetro de roca	Termopar	1994	0.01 °C
M223	Mareógrafo	Nivel del agua (presión)	1994	0.001 m
ICGRS	Estación de referencia GPS	12 canales, doble frecuencia	2001	
MET3A	Estación meteorológica	Presión Temperatura Humedad	2005	± 0.08 hPa ± 0.01 °C ± 2%
PAROS02	Mareógrafo	Nivel del agua (presión) Temperatura	2005	0.01% f. e.
TD301R	Mareógrafo	Nivel del agua (presión) Temperatura	2005	± 0.01% f. e. ± 0.01 °C
TD301A	Mareógrafo	Nivel del agua (presión) Temperatura	2005	± 0.01% f. e. ± 0.01 °C
DRUCK01	Mareógrafo	Nivel del agua (presión)	2005	± 0.06% f. e.
DRUCK02	Mareógrafo	Nivel del agua (presión)	2006	± 0.06% f. e.
PAROS01	Mareógrafo	Nivel del agua (presión) Temperatura	2007	0.01% f. e.
CMP3	Radiación solar	Piranómetro termopilas	2007	5-15 $\mu\text{WV}^{-1} \text{m}^2$
UWS1	Dirección y velocidad de viento	Ultrasónico	2007	± 2%
ARG100	Pluviómetro	Cazoletas	2007	0.2 mm

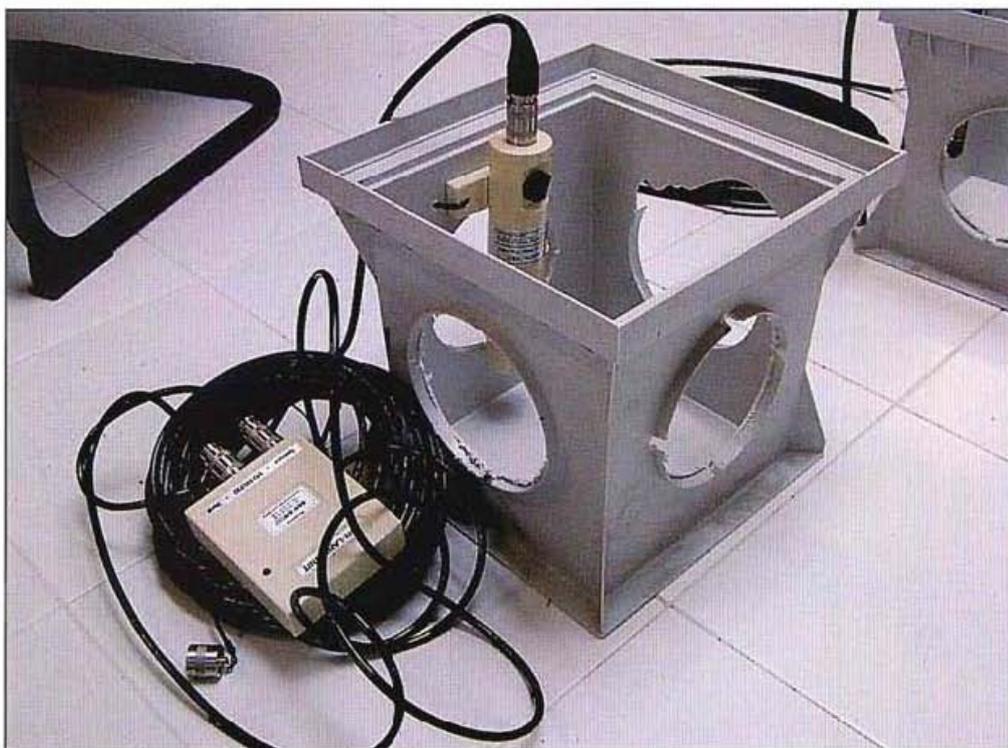
Tabla de instrumentación instalada en los Jameos del Agua



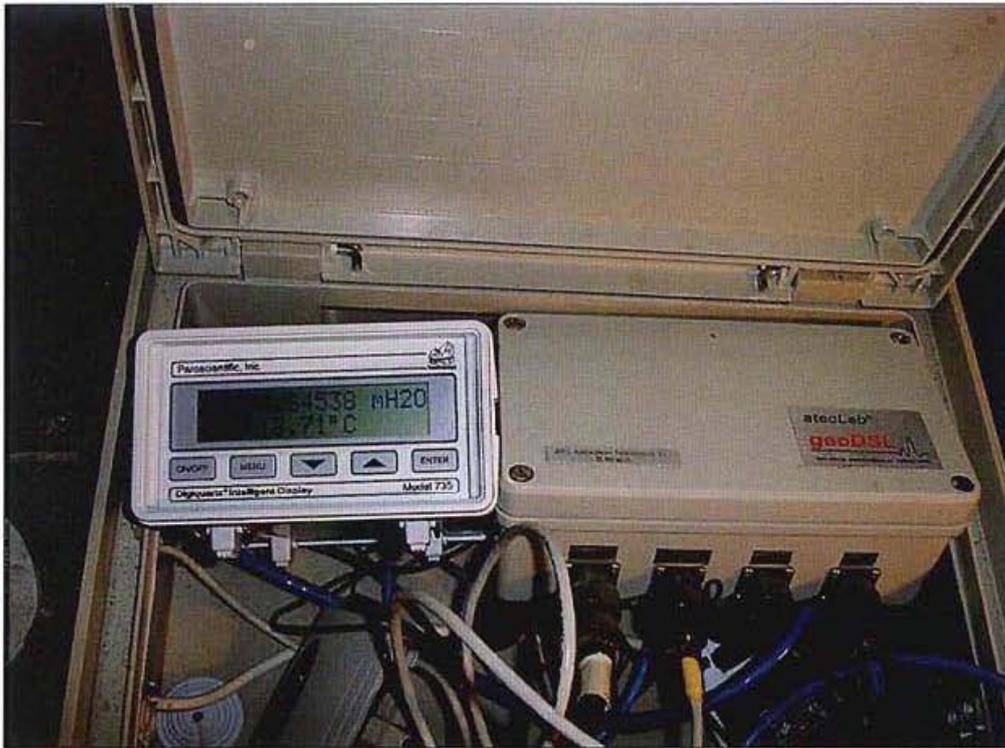
Vista panorámica del Lago Chico



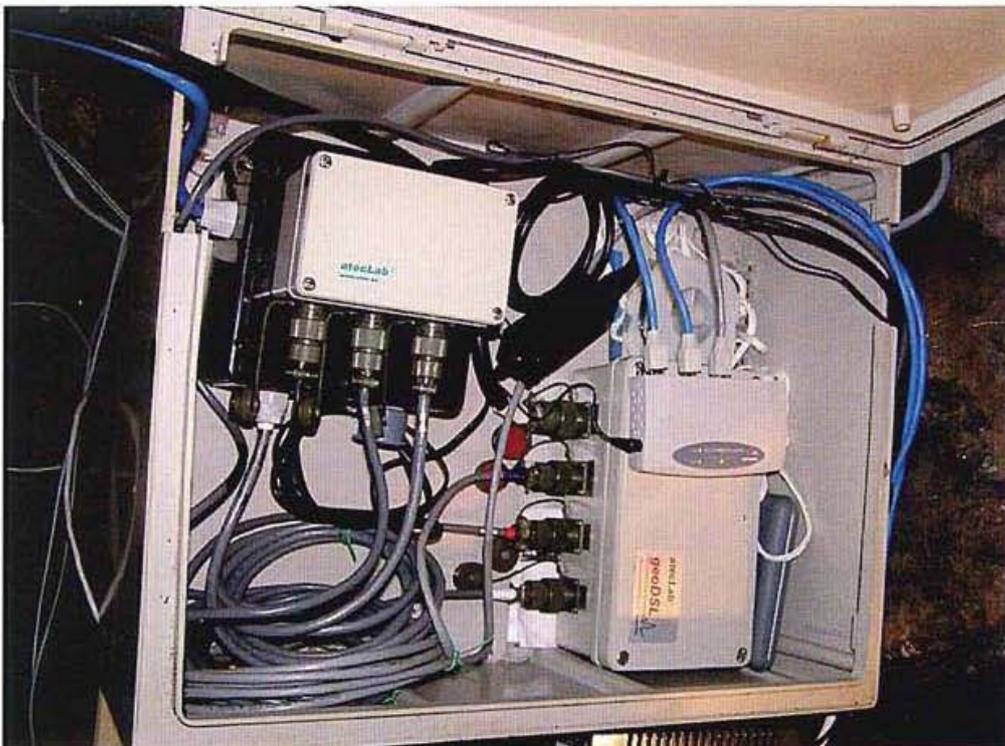
Mareógrafos *Paroscientific 8DP070-GV* y *Druck PTX1830* instalados en el Lago Chico



Mareógrafo *Saiv TD301R* instalado en el Lago Grande



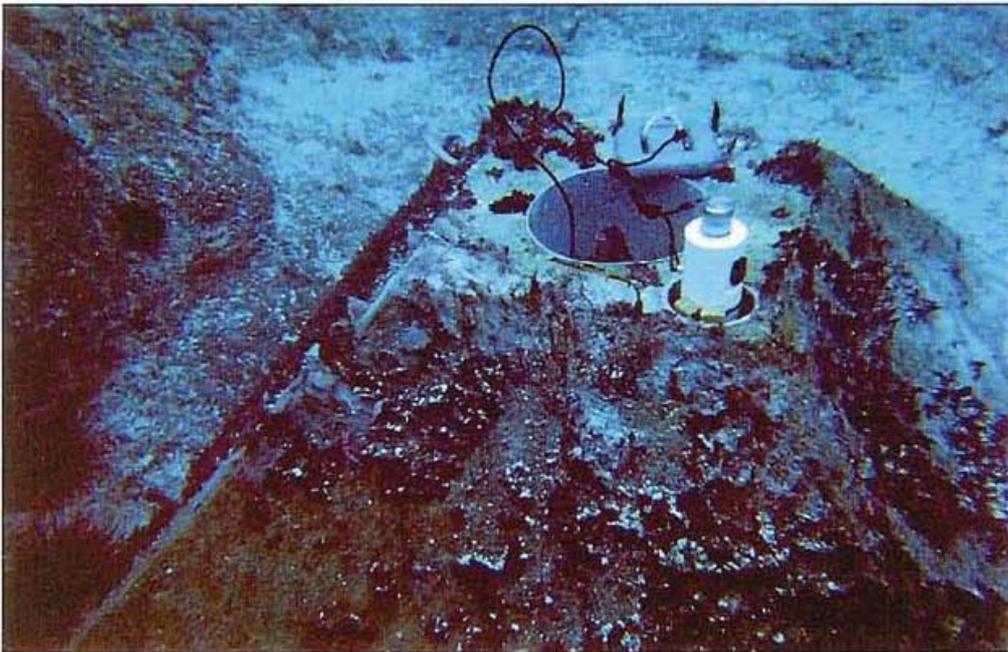
Sistemas de adquisición y transmisión de datos (Lago Grande)



Sistemas de adquisición y transmisión de datos (Lago Chico)



Instalación del "muerto" en el océano



Mareógrafo Saiv TD301A instalado en mar abierto



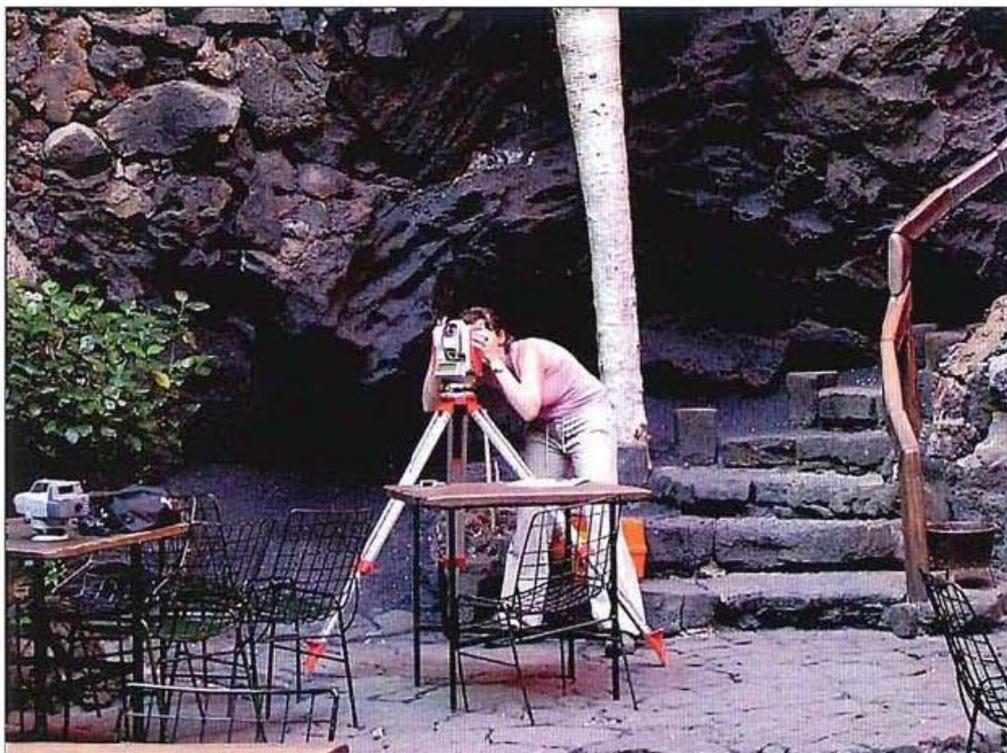
Ubicación de los puntos de la Red de Control de la antena GPS



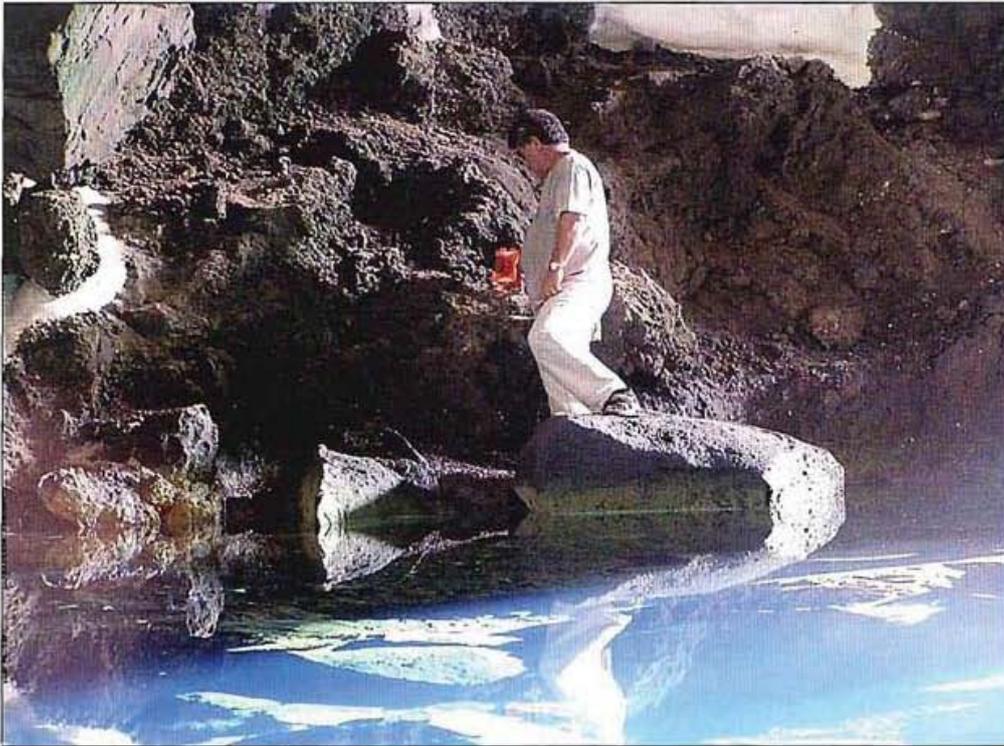
Medida GPS en los puntos de la Red de Control



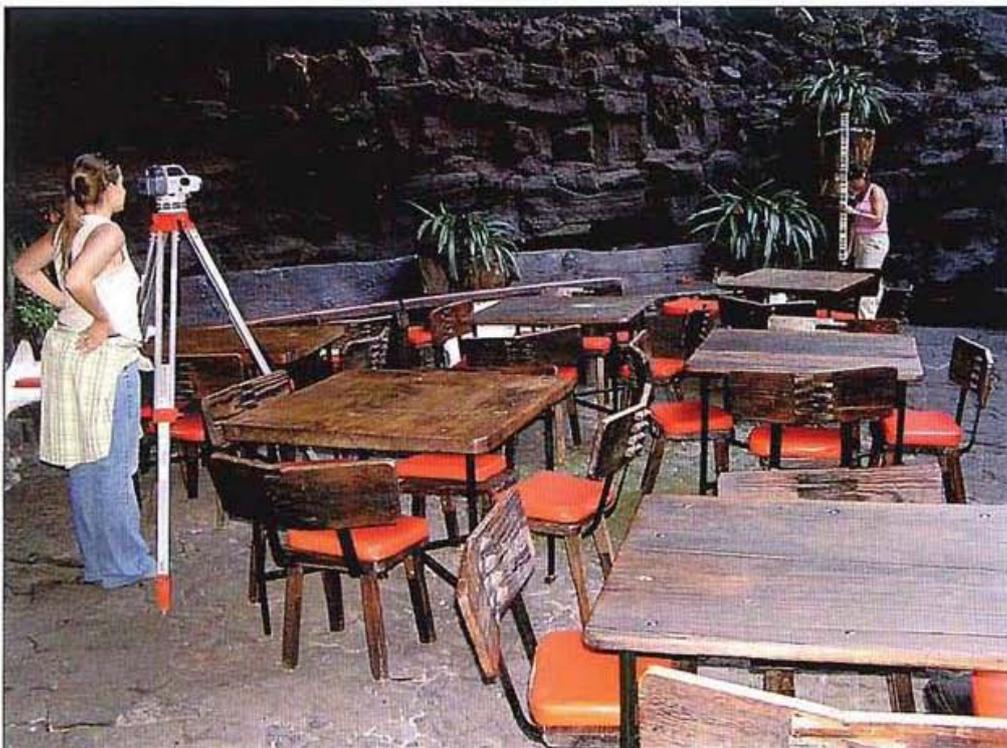
Antena GPS y estación meteorológica



Enlace GPS-Mareógrafo



Marca de referencia de los mareógrafos



Campaña de nivelación y enlace entre el GPS y los mareógrafos

## **Casa de los Volcanes**

Dentro de las instalaciones del LGL merece una mención especial la *Casa de los Volcanes*, en la cual se concentra la recepción de datos de todos los módulos del laboratorio. La Casa de los Volcanes es un centro volcanológico, de interés científico, cultural, pedagógico y turístico del Cabildo Insular de Lanzarote. Está situado en los Jameos del Agua y fue creado en colaboración con miembros del CSIC. En la actualidad, sus instalaciones ocupan 2500 m<sup>2</sup> distribuidos en dos plantas. Sus actividades pueden clasificarse en:

- *Científicas*: en sus instalaciones se ubica el Centro de Recepción de Datos del LGL. Desde allí, los datos recogidos son transmitidos vía Internet a la sede del IAG en Madrid. Además, sus técnicos realizan labores de seguimiento y mantenimiento de la instrumentación instalada. Su sede es también utilizada para la organización de congresos y reuniones científicas.
- *Didácticas*: se realizan visitas y talleres para escolares, participa en programas de formación e información para el profesorado y se organizan concursos escolares
- *Culturales*: sirve de apoyo para la organización de visitas para grupos turísticos y especializados, organizan cursillos para guías, intérpretes, etc, y, entre sus actividades, destaca la realización de campañas de información y divulgación en el ámbito de la volcanología.

Además de estos, se ofrecen los servicios de su *Centro de Documentación, Biblioteca y Videoteca*.

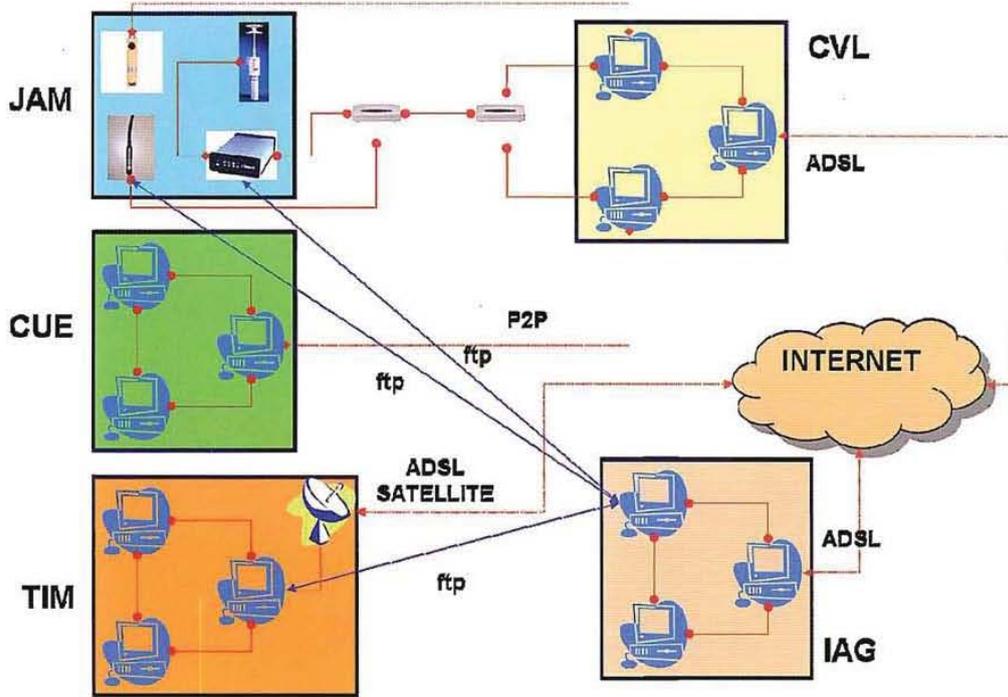
Más información sobre su organización, instalaciones o publicaciones puede obtenerse a través de la web del Cabildo de Lanzarote.

## **Centro de Recepción de Datos**

El Centro de Recepción de Datos del LGL se encuentra en la Casa de los Volcanes. Todos los datos provenientes de los distintos módulos del Laboratorio, de forma automática o manual, son recogidos y almacenados en un servidor central, desde el cual se da acceso restringido a los usuarios a través de internet. Desde allí, los datos son transmitidos vía ftp a la sede del IAG en Madrid para su procesamiento y posterior análisis.

Como segunda misión del CRD, todos los datos son guardados de forma organizada, por fecha, módulo y sensor, en copias de seguridad. Esto permite disponer de una base de datos originales del Laboratorio a la cual recurrir en caso de tener algún problema. Con los más de 70 sensores en registro continuo, con periodos de adquisición que van desde los milisegundos, en el caso de la sísmica, hasta algunos minutos, para los parámetros meteorológicos, estamos produciendo un volumen de datos de más de 300.000 muestras al día, lo que implica una capacidad de almacenamiento de más de 12 Giga-bytes al año.

Simultáneamente, algunas de las señales de sensores instalados en los Jameos del Agua y en la Cueva de los Verdes son mostradas en tiempo real en los ordenadores del CRD situados en una vitrina de una de las salas de exposiciones de la Casa de los Volcanes. Estas señales, junto con la información descriptiva de la instrumentación dada en algunos paneles, permiten dar a conocer al visitante de los Jameos la investigación que se está realizando, participando así de forma muy activa en las labores de difusión y divulgación de la ciencia.



Esquema de conectividad entre los módulos de observación, el CRD y la sede del IAG



Vista del interior de la vitrina de señales del LGL



Instrumentación del LGL mostrada en las salas de exposición de la Casa de los Volcanes

## **Información y contacto**

*Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote (LGL)*  
[www.iag-lgl.csic.es](http://www.iag-lgl.csic.es)

*Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM)*  
Facultad de Matemáticas. Plaza de Ciencias, 3  
28040 – MADRID  
[www.iag.csic.es](http://www.iag.csic.es)

*Ricardo Vieira Díaz*

Director

Tel: (+34) 91 394 45 86

e-mail: [ricardo\\_vieira@mat.ucm.es](mailto:ricardo_vieira@mat.ucm.es)

*Emilio J. Vélez Herranz*

Tel: (+34) 91 394 45 78

e-mail: [evelez@iag.csic.es](mailto:evelez@iag.csic.es)



esta guía ha sido financiada por el proyecto  
"VULCMAC II" de la convocatoria INTERREG IIIB

