

Universidad Complutense
Facultad de Ciencias Matemáticas - Madrid

SEMINARIO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA
(Coordinado con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
Departamento de Mecánica y Astronomía)

Publicación núm. 120

**DESCRIPCION, ESTUDIO DE LA PRECISION
Y APLICACIONES GEODESICAS Y GEOFISICAS
DE LOS NUEVOS NIVELES DE LECTURA
ELECTRONICA**

por

F. LAMBAS y R. VIEIRA



PRESENTADO A LA IV ASAMBLEA NACIONAL DE GEODESIA Y GEOFÍSICA

M A D R I D
1 9 8 1

DESCRIPCIÓN, ESTUDIO DE LA PRECISIÓN Y APLICACIONES GEODESICAS Y GEOFISICAS
DE LOS NUEVOS NIVELES DE LECTURA ELECTRONICA

F. LAMBAS y R. VIEIRA.

Departamento de Mecánica y Astronomía. C.S.I.C.
Cátedra de Astronomía y Geodesia
Facultad de Ciencias Matemáticas
Universidad Complutense. Madrid.

Como consecuencia de las investigaciones que en nuestro Departamento se vienen realizando para desarrollo de instrumentación en detección y medidas de microinclinaciones, presentamos en esta comunicación los resultados obtenidos con los niveles de lectura electrónica.

PRINCIPIOS BASICOS DEL NIVEL DE LECTURA ELECTRONICA

Varias de las diversas investigaciones que en materia de instrumentación venimos desarrollando, tienen en común la necesidad de medir las posibles inclinaciones que los instrumentos pueden sufrir durante el tiempo en que las observaciones se lleven a efecto. Así, los módulos de control automático para gravímetros registradores de variaciones de la gravedad, las cámaras cenitales para aplicaciones astrogeodésicas o auscultación de deformaciones en movimientos, como la Cruz del Valle de los Caídos, o estructurales de origen geodinámico, son ejemplos de estas aplicaciones en los que debemos obtener un control de desviaciones de la vertical a ser posible mejor del segundo de arco y además tener un registro permanente de las mismas para su posterior interpretación.

La instrumentación más actual existente en este campo, bien sea por cuestiones económicas o por no ser posible su adaptación a los módulos de observación desarrollados, aconsejaban un esfuerzo de imaginación con el fin de llegar a conseguir un sensor de fácil manejo, precio asequible y

precisión, exactitud y repetibilidad adecuadas a nuestras necesidades.

En una primera etapa de las investigaciones se probaron diversas líneas de trabajo teniendo en todas ellas como soporte común salida analógica digital a través de un sistema capacitivo. Así se ensayaron varios tipos de pequeños péndulos verticales con suspensión por hilos o láminas flexibles. Problemas de tipo mecánico y de linealidad del sistema no hicieron aconsejable estas soluciones.

El prototipo final que presentamos se basa en el acoplamiento a los clásicos niveles de burbujas de un sistema capacitivo que permite la lectura de dichos niveles con una precisión mucho mayor que la que puede obtenerse de la lectura visual directa o fotográfica de los mismos.

Las principales características del nivel de lectura electrónica podemos resumirlas en los siguientes puntos:

- a) Nivel de burbuja clásico sin graduación grabada.
- b) Láminas del sistema capacitivo en oro, depositadas directamente sobre el cristal por bombardeo molecular al vacío. Va recubierto de una película aislante antiabrasiva.

El mismo nivel fue inicialmente probado con electrodos de pintura de plata con contactos soldados y con láminas de cobre, los resultados no fueron lo suficientemente aceptables para las finalidades de nuestro trabajo.

- c) Los contactos de salida del sistema se hace por resortes de presión sobre las placas.
- d) Salida analógica sobre registrador convencional.
- e) Salida digital.
- f) Tornillo de regulación de cero.

Las principales causas que tiene influencia sobre la sensibilidad y exactitud del sistema son:

- a) Falta de homogeneidad en las capas del condensador producidas por los pequeños poros que pudiesen quedar sobre la superficie y por defectos del cristal. Estos defectos no se producen con el sistema

de bombardeo molecular cuando las burbujas empleadas son de suficiente calidad.

- b) Sensibilidad del nivel base. La sensibilidad de los niveles empleados es de 8 seg. por 2 mn. Es lógico pensar que una mejor sensibilidad nos llevaría a resultados aún más interesantes.
- c) Efectos térmicos. Las variaciones de temperatura dan lugar a deformaciones de la ampolla y del líquido. Las experiencias realizadas muestran que dada la simetría del nivel y del sistema capacitivo diferencial acoplado al mismo, estos efectos son prácticamente - despreciables hasta variaciones térmicas de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ en el conjunto de la burbuja. No obstante dichas variaciones de temperatura en el sistema a que dicho nivel va acoplado, base del instrumento o soporte de hormigón etc. producirán deformaciones en el mismo que - son, entre otras, las que deseamos medir.
- d) Los efectos de origen electrónico están por debajo del nivel de - sensibilidad buscado.

El estudio de la sensibilidad y la repetibilidad se ha hecho de dos - formas. Un primer estudio se ha realizado acoplando el nivel a un comparador de niveles clásico e inclinando el mismo de segundo en segundo a lo largo de todo el rango del nivel que consideramos útil (± 30 segundos). La linealidad es prácticamente del 100 % en un intervalo central de ± 15 segundos llegando a ser del 96 % en los extremos del intervalo de utilización. Posteriormente y dentro de cada uno de los intervalos de segundo en la zona óptima, se ha procedido a un estudio de detalle de la sensibilidad. El procedimiento utilizado ha sido mediante acoplamiento del nivel a una base de péndulo horizontal tipo VM con tejo dilatante por diferencia de la presión de mercurio en su interior. Estos tejos son los utilizados para la calibración de los péndulos horizontales para registros de mareas de inclinación. La diferencia de altura del depósito de mercurio, que va conectado al tejo, produce deformaciones de la membrana externa del mismo y como consecuencia inclinaciones en la base. Previamente los tejos han sido calibrados

interferométricamente con precisiones superiores a la centésima de segundo de arco. El intervalo utilizado ha sido de $0^{\circ}05$ y los resultados, siempre referidos a la zona central de $+15$ segundos con respecto al cero, dan una precisión en la lectura de $+0^{\circ}03$. Podemos pues asegurar que mediante este tipo de niveles de lectura electrónica puede mantenerse un control a las inclinaciones del orden de la décima de segundo, muy superior a cualquier otro sistema que se utilice para este tipo de trabajos.

APLICACIONES

Son múltiples las posibles aplicaciones del nivel de lectura electrónico por lo que aquí solo damos algunas de las que, desde nuestro punto de vista, son más inmediatas.

Los dos primeros niveles han sido incorporados al nuevo módulo de control automático para gravímetros LaCoste Romberg mod. G o D en los que como en todo sistema astático existe una dependencia de la respuesta en función de la inclinación, para poder emplear en cada caso las constantes de corrección apropiadas. Este ejemplo nos sirve para cualquier otro instrumento en que, sea necesario dicho control. Paralelamente se ha ensayado este tipo de nivel en el estudio de las deformaciones de la Cruz del Valle de los Caídos en donde los fuertes vientos dan lugar a tensiones deformadoras a lo largo de la estructura de la Cruz. De forma similar se podrá hacer el control de inclinaciones en cualquier tipo de edificios, obras hidráulicas etc.

Es igualmente de interés y así va a ser ensayado próximamente en colaboración con el Instituto de Geología del C.S.I.C. en Lanzarote, utilizar dichos sensores como sistema de vigilancia continua en zonas de interés geodinámico como son las de riesgo sísmico, vulcanológico, fallas activas, hundimientos y levantamientos del terreno etc.

Estas investigaciones se han desarrollado en el Departamento de Mecánica y Astronomía, centro coordinado del C.S.I.C. y la Cátedra de Astronomía y Geodesia de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid, habiéndose empleado fondos de ambos Organismos y de la Sub-

vención concedida por la Comisión Asora de Investigación Científica y Técnica.

REFERENCIAS

F. LAMBAS y R. VIEIRA.- "Automatic control module of tilts, calibrations and data acquisition for LaCoste Romberg gravimeters, Models G and D". Proceeding of the 9th International Symposium on Earth Tides. New York, 1981.

PUBLICACIONES DEL SEMINARIO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA
DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE — MADRID

- 20.—J. M. TORROJA: Nueva órbita del Asteroide 1557 (1942 AD) (1954).
- 27.—R. CARRASCO y M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1290 «Albertine» (1954).
- 28.—J. PENSADO: Distribución de los periodos y excentricidades y relación período-excentricidad en las binarias visuales (1955).
- 29.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Nueva órbita del Asteroide 1372 «Haremaria» (1955).
- 30.—M. DE PASCUAL: Rectificación de la órbita del Asteroide 1547 (1929 CZ) (1955).
- 31.—J. M. TORROJA: Órbita del Asteroide 1554 «Yugoslavia» (1955).
- 32.—J. PENSADO: Nueva órbita del Asteroide 1401 «Lavonne» (1956).
- 33.—J. M. TORROJA: Nuevos métodos astronómicos en el estudio de la figura de la Tierra (1956).
- 34.—D. CALVO: Rectificación de la órbita del Asteroide 1466 «Mündleria» (1956).
- 35.—M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1238 «Predappia» (1956).
- 36.—J. PENSADO: Distribución de las inclinaciones y de los polos de las órbitas de las estrellas dobles visuales (1956).
- 37.—J. M. TORROJA y V. BONGERA: Resultados de la observación del eclipse total de Sol de 30 de junio de 1954 en Sydkoster (Suecia) (1957).
- 38.—ST. WIERZBINSKI: Solution des équations normales par l'algorithme des cracoviens (1958).
- 39.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Rectificación de la órbita del Asteroide 1192 «Prisma» (1958).
- 40.—M. LÓPEZ ARROYO: Sobre la distribución en longitud heliográfica de las manchas solares (1958).
- 41.—F. MÚGICA: Sobre la ecuación de Laplace (1958).
- 42.—F. MARTÍN ASÍN: Un estudio estadístico sobre las coordenadas de los vértices de la triangulación de primer orden española (1958).
- 43.—ST. WIERZBINSKI: Orbite améliorée de η 4530 = γ Cen = Cpd —48°, 4965 (1958).
- 44.—D. CALVO BARRENA: Rectificación de la órbita del Asteroide 1164 «Kobolda» (1958).
- 45.—M. LÓPEZ ARROYO: El ciclo largo de la actividad solar (1959).
- 46.—F. MÚGICA: Un nuevo método para la determinación de la latitud (1959).
- 47.—J. M. TORROJA: La observación del eclipse de 2 de octubre de 1959 desde El Aaiun (Sahara) (1960).
- 48.—J. M. TORROJA, P. JIMÉNEZ-LANDI y M. SOLÍS: Estudio de la polarización de la luz de la corona solar durante el eclipse total de Sol del día 2 de octubre de 1959 (1960).
- 49.—E. PAJARES: Sobre el mecanismo diferencial de un celóstato (1960).
- 50.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Sobre la diferencia entre los radios vectores del elipsoide internacional y el esferoide de nivel (1960).
- 51.—J. M. TORROJA: Resultado de las observaciones del paso de Mercurio por delante del disco solar del 7 de noviembre de 1960 efectuadas en los observatorios españoles (1961).
- 52.—F. MÚGICA: Determinación de la latitud por el método de los verticales simétricos (1961).
- 53.—M. LÓPEZ ARROYO: La evolución del área de las manchas solares (1962).
- 54.—F. MÚGICA: Determinación simultánea e independiente de la latitud y longitud mediante verticales simétricos (1962).
- 55.—P. DÍEZ-PICAZO: Elementos de la órbita de la variable eclipsante V 499 Scorpionis (1964).
- 56.—J. M. TORROJA: Los Observatorios Astronómicos en la era espacial (1965).
- 57.—F. MARTÍN ASÍN: Nueva aportación al estudio de la red geodésica de primer orden española y su comparación con la red compensada del sistema europeo (1966).
- 58.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ: La Luz Zodiacal. Luz del espacio interplanetario (1966).
- 59.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Variaciones de las coordenadas geodésicas de los vértices de una red, por cambio de elipsoide de referencia (1966).
- 60.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ y R. DUMONT: Fotometría absoluta de la raya verde y del continuo atmosférico en el Observatorio Astronómico del Teide (Tenerife), de enero de 1964 a julio de 1965 (1967).
- 61.—M. REGO: Estudio del espectro de la estrella 31 Aql. en la región $\lambda\lambda$ 4000 6600 Å (1969).
- 62.—C. MACHÍN: Mareas terrestres (1969).

(Continúa en la tercera de cubierta)

- 63.—J. M. TORROJA: La estación para la observación de satélites geodésicos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid (1969).
- 64.—M. J. SEVILLA: Reducción automática de posiciones de estrellas (1970).
- 65.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid en 1969 (1970).
- 66.—M. J. SEVILLA: Los cálculos de estación en triangulación espacial (1970).
- 67.—MANUEL E. REGO: Determinación de las abundancias de los elementos en la atmósfera de la estrella de alta velocidad 31 Aql. (1970).
- 68.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Análisis cualitativo del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1971).
- 69.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1970 (1971).
- 70.—R. VIEIRA y R. ORTIZ: Descripción de un aparato para medida de coordenadas (1971).
- 71.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1971 (1972).
- 72.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Observación y estudio teórico del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1972).
- 73.—M. J. SEVILLA: Cálculo de las constantes de distorsión y parámetros del disco obturador para cámaras balísticas (1973).
- 74.—R. PARRA y M. J. SEVILLA: Cálculo de efemérides y previsiones de pasos de satélites geodésicos (1973).
- 75.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Resultado de las observaciones de α Peg efectuadas desde el satélite europeo TDI (1973).
- 76.—É. SIMONNEAU: Problemas en la determinación de abundancias de elementos en las estrellas en condiciones de equilibrio termodinámico local y alejadas del equilibrio termodinámico local (1974).
- 77.—J. ARANDA: Construcción de modelos de estructura interna para estrellas en la secuencia principal inicial (1974).
- 78.—R. ORTIZ, M. SEVILLA y R. VIEIRA: Estudio de la calibración, técnica de medida y automatización de datos en un comparador para medidas de placas estelares (1974).
- 79.—M. J. SEVILLA: Método autocorrector para el cálculo de direcciones de satélites geodésicos y análisis de los errores en la restitución de un arco de órbita (1974).
- 80.—M. A. ACOSTA, R. ORTIZ y R. VIEIRA: Diseño y construcción de un fotómetro fotoeléctrico para la observación de ocultaciones de estrellas por la Luna (1974).
- 81.—T. J. VIVES, C. MORALES, J. GARCÍA-PELAYO y J. BARBERO: Fotometría fotográfica UBV del cúmulo galáctico King 19 (1974).
- 82.—R. ORTIZ y R. VIEIRA: Control automático en posición y tiempo de los sistemas de obturación de las cámaras de observación de satélites geodésicos (1974).
- 83.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1972 y 1973 (1974).
- 84.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA y M. REGO: α CrB en el ultravioleta lejano (1975).
- 85.—J. M. TORROJA, R. VIEIRA, R. ORTIZ y M. J. SEVILLA: Estudio de mareas terrestres en España (1975).
- 86.—M. J. SEVILLA y R. PARRA: Levantamiento gravimétrico de Lanzarote (1975).
- 87.—P. KUNDANMAL SUKHWANI: Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema β Lyrae (1975).
- 88.—M. J. SEVILLA: Coordenadas astronómicas y geodésicas. Desviación relativa de la vertical (1975).
- 89.—C. TEJEDOR: Fotometría fotoeléctrica R. G. U. del cúmulo galáctico IC 2581 (1976).
- 90.—M. J. SEVILLA: Nuevos coeficientes para la reducción automática de posiciones de estrellas (1976).
- 91.—M. REGO: Técnicas observacionales en espectroscopia astrofísica (1976).
- 92.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud por distancias cenitales de la polar, método de Littrow (1976).
- 93.—T. J. VIVES: Determinación fotométrica del tipo espectral de la componente desconocida de una estrella binaria eclipsante (1976).
- 94.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ FIGUEROA: Contraste y determinación por métodos astrofísicos de fuerzas de oscilador (1977).
- 95.—M. J. SEVILLA y R. CHUECA: Determinación de acimutes por observación de la Polar. Método micrométrico (1977).
- 96.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Fotometría R G U en un campo del anticentro galáctico, cerca del NGC 581 (1977).

- 97.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Datos fotométricos de 2.445 estrellas estudiadas en la región de Casiopea, entre los cúmulos abiertos Trumpler 1 y NGC 581 (1977).
- 98.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Spectral Analysis of Earth Tides (1977).
- 99.—JOSÉ M. TORROJA y RICARDO VIEIRA: Earth Tides in Spain. Preliminary results (1977).
- 100.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Three different methods for taking in account the gaps in spectral analysis of Earth Tides records (1978).
- 101.—R. VIEIRA: Mareas terrestres (1978).
- 102.—M. J. SEVILLA y A. NÚÑEZ: Determinación de la longitud por el método de Mayer. Programas de Cálculo Automático (1979).
- 103.—M. J. SEVILLA y A. NÚÑEZ: Determinación de la latitud por el método de Sterneck. Programas de Cálculo Automático (1979).
- 104.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud y la longitud por el método de alturas iguales. Programas de Cálculo Automático (1979).
- 105.—P. K. SUKHWANI y A. GIMÉNEZ: Corrección de efectos atmosféricos para imágenes tomadas desde satélites Landsat (1979).
- 106.—M. J. SEVILLA: Inversión de matrices simétricas en el método de mínimos cuadrados (1979).
- 107.—A. GIMÉNEZ: Análisis de la curva de luz del sistema binario eclipsante S Velorum (1979).
- 108.—M. J. SEVILLA: Determinación del acimut de una referencia por observación de la estrella Polar. Programa de cálculo automático (1979).
- 109.—M. J. SEVILLA: El sistema IAU (1976) de constantes astronómicas y su repercusión en la reducción de posiciones de estrellas (primera parte) (1980).
- 110.—M. J. SEVILLA y R. PARRA: Determinación de la latitud por el método de Horrebow-Talcott. Programas de Cálculo Automático (1980).
- 111.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud y la longitud por fotografías cenitales de estrellas (1980).
- 112.—R. VIEIRA y M. OREJANA: Comunicaciones presentadas en las XLI y XLII Jornadas del Grupo de Trabajo de Geodinámica del Consejo de Europa. Luxemburgo (1979-80).
- 113.—M. J. SEVILLA: Sobre un método de cálculo para la resolución de los problemas geodésicos directo e inverso (1981).
- 114.—R. VIEIRA, J. M. TORROJA, C. TORO, F. LAMBAS, M. OREJANA y P. K. SUKHWANI: Comunicaciones presentadas en el IX Simposium Internacional de Mareas Terrestres. Nueva York (1981).
- 115.—M. A. MONTULL, M. J. SEVILLA y A. GONZÁLEZ-CAMACHO: Aplicación de la V. L. B. I. al estudio del movimiento del Polo (1981).
- 116.—A. GONZÁLEZ-CAMACHO y M. J. SEVILLA: Algunas relaciones entre diferentes ejes que se consideran en la rotación de la Tierra (1981).
- 117.—R. VIEIRA, F. LAMBAS y E. GIMÉNEZ: Modificaciones realizadas en un gravímetro LaCoste Romberg mod. G para su utilización en registro continuo de la gravedad (1981).
- 118.—R. VIEIRA: La microrred de mareas gravimétricas del Sistema Central (1981).
- 119.—J. M. TORROJA y R. VIEIRA: Informe sobre el desarrollo del programa de investigación sobre mareas terrestres en el último bienio (1981).