

## Lidar MPL en Santa Cruz de Tenerife. Proyecto de automatización y control de las medidas.

José M. Rodríguez-González<sup>(1)</sup>, César López<sup>(2)</sup>, Sergio Chueca<sup>(2)</sup>, Tomás J. Martín<sup>(2)</sup>, Víctor Ayala<sup>(1)</sup>, Manuel Gil<sup>(3)</sup>, Emilio Cuevas<sup>(1)</sup> y Nicolas Guillemont<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Observatorio Atmosférico de Izaña. Instituto Nacional de Meteorología. C/ La Marina 20, planta 6. 38071 Santa Cruz de Tenerife, Tenerife, Canarias. jmrodriguez@inm.es, vayala@inm.es, ecuevas@inm.es.

<sup>(2)</sup>SIELTEC Canarias S.L. Apdo. de correos 272. 38200 La Laguna, Tenerife, Canarias. sielteccanarias@sieltec.com.

<sup>(3)</sup>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica. Ctra. Aljavir Km. 4. 28050 Torrejón de Ardoz, Madrid. gilm@inta.es.

<sup>(4)</sup>École Centrale de Paris. Grande Voie des Vignes. 92295 Châtenay-Malabry Cedex, Francia. guillen6@cti.ecp.fr.

### Resumen

En este documento se presenta el lidar MPL ubicado en Santa Cruz de Tenerife y utilizado por el área de Investigación y de Instrumentación Atmosférica del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y por el Observatorio Atmosférico de Izaña (dependiente del Instituto Nacional de Meteorología, INM) para la caracterización de los aerosoles atmosféricos sobre Canarias. Con el objetivo de garantizar la seguridad del equipamiento y de facilitar su operación se ha desarrollado un proyecto de automatización y control del proceso de medida. El proyecto ha precisado desarrollos en hardware y en software. Con el sistema de control se consigue una operación programada, desatendida y más segura del equipo, extendiendo el programa de medida a los periodos en los que el observatorio carece de personal.

### 1. Introducción

Resulta importante caracterizar la distribución de los aerosoles atmosféricos tanto para los programas de vigilancia atmosférica como para la validación de las medidas de satélites. Su distribución horizontal se conoce mejor que la vertical, para cuya determinación se precisa de instrumentación más avanzada.

El área de Investigación e Instrumentación Atmosférica del INTA, en colaboración con el Instituto Nacional de Meteorología, ha instalado un lidar MPL (Micro Pulse Lidar) modelo 1000 en la sede del Observatorio Atmosférico de Izaña en Santa Cruz de Tenerife en julio de 2002. Con la participación de este instrumento se persiguen varios objetivos científicos: en primer lugar, contribuir a la validación de las medidas de aerosoles obtenidas desde satélites (SCIAMACHY/ENVISAT y OMI/AURA), así como a la

evaluación de las posibles interferencias que pueda ocasionar la presencia de polvo sahariano en las medidas de radiación ultravioleta retrodifundida desde satélites; en segundo lugar, caracterizar verticalmente la masa de aire sahariano (Saharian Air Layer, SAL); y en tercer lugar, estudiar la intervención de las nubes altas (cirros) en la destrucción de ozono. Dichos objetivos forman parte del proyecto TROMPETA (TROPICAL Monitoring Phase in The Atmosphere), en el que participan el INTA y el INM.

### 2. Descripción del equipo y de la instalación

El lidar emite pulsos de baja potencia, con un elevado ritmo de repetición ( $2500 \text{ s}^{-1}$ ), a una única longitud de onda de 523,5 nm. Su configuración es coaxial: el mismo telescopio expande el haz laser, produciendo un haz colimado y focaliza la radiación retrodispersada sobre el detector. Al estar superpuestos los caminos de transmisión y de recepción se puede limitar mucho el campo de visión del detector (hasta unos  $100 \mu\text{rad}$ ), y de ese modo reducir la contribución de la radiación de fondo. Puesto que los pulsos emitidos son de baja potencia y se expanden hasta el diámetro del telescopio, no entrañan riesgo de producir daños visuales. Así se suprime la obligatoriedad de supervisar su funcionamiento, como ocurre en equipos que emiten pulsos de mayor intensidad. Una descripción detallada de las características de este instrumento se puede encontrar en [1].

El lidar y la instalación de Santa Cruz de Tenerife que lo alberga, mostradas en la figura 1, forman parte de la red MPLNET [2]. Esta red, gestionada por la NASA, tiene el propósito fundamental de obtener registros duraderos de observaciones de la estructura vertical de aerosoles y nubes. La red MPLNET está vinculada con la más extensa red de fotómetros



Figura 1: *Instalación del lidar MPL en Santa Cruz de Tenerife. La fotografía superior muestra la chimenea exterior que protege de la incidencia solar directa. La compuerta superior se encuentra abierta en el momento de tomar la fotografía. Abajo se muestra el telescopio del lidar en el laboratorio.*

solares AERONET [3], también impulsada por la NASA. El fotómetro de la red AERONET, un CIMEL del que dispone el observatorio de Izaña, proporciona el espesor óptico en columna utilizado para la normalización de los perfiles de lidar. Adicionalmente, para el análisis de los datos de lidar se dispone de la información de los sondeos aerológicos realizados dos veces al día desde la estación de Güímar, los sondeos semanales de ozono desde Santa Cruz, y un conjunto de fotómetros en Santa Cruz de Tenerife e Izaña.

El lidar, tal como se recibe del fabricante, precisa la intervención de un operador durante el inicio y la

finalización de las medidas, así como una supervisión de las condiciones ambientales durante su transcurso. Esto ha limitado el programa de medida durante el primer año de operación, especialmente en el horario nocturno, en el que el observatorio carece de personal. La aceptación de la instalación en MPLNET, en la que todos los participantes operan ininterrumpidamente, supuso la necesidad de un sistema automático para supervisar los parámetros críticos para el funcionamiento del equipo: temperatura del detector y del laboratorio que alberga el lidar, humedad relativa en el laboratorio, obstáculos en la trayectoria del haz transmitido, incidencia de radiación solar directa sobre el detector, precipitación en el exterior, etc. Bajo esta doble motivación de optimizar la utilización y la seguridad del instrumento se ha desarrollado el trabajo de automatización que se presenta en este documento.

### 3. Sistema automático de control de medidas

**Componentes.** El sistema automático de control de medidas consta de un hardware específico y de un software de control. El hardware proporciona una interfaz entre el PC de control y los dispositivos empleados para la realización de las acciones necesarias para controlar el instrumento.

La capacidad de actuación se consigue gracias a un conjunto de relés, que controlan el encendido y apagado de cada componente, y a un motor para la apertura y cierre de la compuerta de observación.

El sistema de control se alimenta de los datos proporcionados por una serie de sensores con los que se determinan las condiciones ambientales y el estado del equipo: dos sensores de temperatura situados en el laboratorio que alberga el equipo, uno próximo al lidar, por donde disipan calor sus fuentes de alimentación, y otro de las condiciones predominantes en el laboratorio; un sensor de humedad en el laboratorio (la humedad relativa debe de mantenerse por debajo del 80%); un sensor de precipitación en el exterior del edificio; dos sensores ópticos para determinar la posición de la compuerta de observación; y varios medidores de corriente en las fuentes de alimentación de los distintos componentes.

**Funcionamiento.** El hardware recopila los datos de los sensores, que se envían por medio una conexión serie al PC de control. El hardware dispone de un micro-procesador que permite detectar algunos tipos de situaciones de alarma en función de las lecturas

de estos sensores. Cuando se detecta alguna de estas condiciones de alarma, se notifica al PC en un mensaje transmitido por la conexión serie. El programa de control ejecutado en el PC dispone de un intervalo de tiempo configurable para tomar el control de la situación. Además, el PC puede detectar otros tipos de circunstancias potencialmente dañinas en función de la información recibida directamente del lidar, por medio de la tarjeta de adquisición de datos, o por parte de la instrumentación meteorológica del observatorio accesible a través de la red de datos. La conexión serie se utiliza también para que el PC pueda transmitir comandos de control al hardware. Si el PC no toma el control de una situación de alarma detectada por el hardware en su tiempo de preferencia, el programa que ejecuta el hardware realizará las acciones necesarias para conducir el sistema a un estado seguro de parada.

**Ventajas del sistema automático.** Con la utilización del sistema automático de control de medidas se superan las principales limitaciones que plantea la operación del lidar MPL.

Los intervalos de medida se pueden programar, y su ejecución se efectúa de forma automática, sin intervención del operador.

Las condiciones de medida se controlan de modo continuo, pudiendo reaccionar inmediatamente ante situaciones potencialmente peligrosas para la integridad del lidar (por ejemplo, un calentamiento excesivo del detector) y evitar en algunos casos daños al equipo.

El control de las condiciones de medida se realiza de modo redundante por el PC de adquisición de datos y por el hardware específico del controlador. De este modo se fortalece el sistema frente a fallos del ordenador o de la conexión entre ambos.

#### 4. Hardware específico del controlador

El cerebro del hardware específico del controlador es un microcontrolador de 8 bits PIC16F877. Cuenta con convertidores analógico-digital, comparadores, modulación de anchura de pulsos, canales serie RS232, bus I2C, temporizadores, memoria de datos EEPROM, y otros módulos internos. Se dispone de 368 bytes de memoria tipo RAM y 268 bytes de memoria EEPROM, así como 8 Kb de memoria de programa tipo FLASH, y puede operar a una frecuencia de hasta 20 MHz. Se pueden emplear hasta 33 de sus pines como entradas y/o salidas. Para esta aplicación se han multiplexado diversas de estas líneas, de

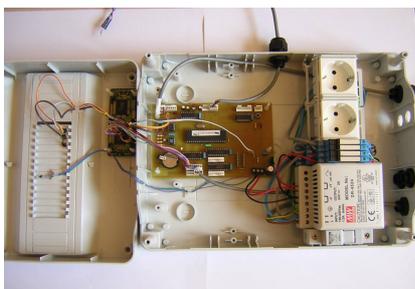


Figura 2: Vista interior del módulo hardware del sistema de automatización del lidar.

tal modo que se dispone de los siguientes recursos: 16 líneas digitales de entrada, 8 líneas digitales de salida, 1 línea e/s de contador, 3 entradas analógicas, 2 puertos 1-wire, 1 puerto serie, 1 puerto para interface con display LCD, 1 puerto I2C para comunicaciones con memoria I2C serial externa, 1 puerto I2C para comunicaciones adicionales con un reloj DS1307 y otros recursos externos.

El módulo principal que encapsula el hardware de control se muestra en la figura 2. También incluye un sistema de alimentación ininterrumpida, mediante el cual se puede, en caso de un fallo de suministro eléctrico, desencadenar la secuencia de finalización de medidas de un modo controlado.

### 5. Software del controlador

El software de control tiene dos componentes. El primero se ejecuta en un PC (el mismo con el que se realiza la adquisición de datos del lidar), mientras que el segundo se ejecuta en el hardware específico. Ambos programas cooperan intercambiando mensajes a través de un cable de conexión en serie. La finalidad de cada componente se describe a continuación.

#### 5.1. Software del PC de control

El software ejecutado en el PC de control facilita el diálogo con el operador mediante una interfaz gráfica de usuario. Ésta se utiliza para establecer la configuración general del sistema y la programación de las medidas. En el transcurso de una medida, se presentan al operador los parámetros relevantes, destacando las situaciones de alarma que se hayan detectado en cada momento.

Las tareas necesarias para el inicio o finalización

de las medidas se ejecutan automáticamente a las horas programadas, y siguiendo una secuencia estricta de acciones y comprobaciones para garantizar la seguridad del equipo.

Se efectúa un seguimiento de las condiciones de medida según las lecturas de los sensores integrados en el hardware específico, los parámetros internos del lidar obtenidos a través de la tarjeta de adquisición de datos (temperaturas del detector y el laser, valores medio y máximo del ritmo de detecciones, etc.), y los parámetros meteorológicos obtenidos por otros instrumentos del observatorio accesibles a través de la red de datos.

En el caso de que las situaciones ambientales puedan entrañar algún riesgo para el equipamiento, o un mal funcionamiento de alguno de sus componentes, automáticamente se ordena una finalización de la medida.

Desde el momento en que se origine una situación de alarma, se advierte de ello al operador por medio de mensajes en pantalla y señales acústicas. Si el operador no se encuentra presente y la situación obliga a interrumpir la medida, se notifica por medio de mensajes de correo electrónico.

## 5.2. Software del controlador

Por su parte, el software que se ejecuta en el hardware específico tiene encomendadas las funciones que se citan a continuación.

A partir de los datos de los sensores, se construye una representación interna del estado del sistema. Esta representación, junto con las lecturas directas de cada sensor, se transfiere periódicamente al PC de control.

Todos los comandos recibidos se someten a un proceso de validación antes de ejecutar ninguna de las acciones que requieren. La validación se realiza conforme a la representación que se maneja del estado del equipo. Un ejemplo de validación se puede encontrar en la secuencia de inicio de las medidas. En ésta, el detector debe encenderse en condiciones de baja iluminación, lo que requiere que para procesar la orden de encendido del detector antes hay que verificar que el laser se encuentra apagado y la compuerta de observación cerrada. Posteriormente, se debe de respetar un tiempo de 90 segundos durante los cuales la iluminación sobre el detector se debe de mantener a un nivel bajo, por lo que durante este tiempo no se debe de tramitar ninguna orden de encendido del laser o de apertura de la compuerta de observación.

La representación interna del estado permite de-

tectar algunas situaciones de alarma que serán notificadas al PC de control, y en ausencia de respuesta de éste, conducirán a la finalización de la medida.

El comportamiento del software se puede modificar según una serie de modos predefinidos de funcionamiento. Estos modos son: *manual* (sin validación de comandos ni detección de situaciones de alarma); modo de *validación* exclusivamente; modo de *vigilancia* (se validan los comandos y se detectan situaciones de alarma); y modo *estricto*, en el que las situaciones de alarma ocasionan la interrupción inmediata de las medidas.

El sistema es configurable: los umbrales en base a los que se realiza la detección de situaciones de alarma, así como los parámetros necesarios para la temporización de las acciones, se almacenan en un módulo de memoria no volátil, pero modificable. También se almacena en memoria no volátil un registro de las situaciones de alarma detectadas, los comandos recibidos y el resultado de su validación.

## 6. Perspectivas

La solución adoptada en este proyecto se puede caracterizar por la modularidad y la flexibilidad del hardware empleado, lo cual permitiría extender esta solución a otros proyectos de automatización similares, aunque los parámetros que se precise controlar requieran la utilización de sensores o actuadores distintos de los empleados en este proyecto. La adaptación del sistema de control requeriría, según la similitud del proyecto con el que nos ocupa, de modificaciones ligeras a un diseño completamente novedoso del software de control.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CGL2004-03669 del Plan Nacional de Investigación.

## 8. References

- [1] Campbell, J.R., D.L. Hlavka, E.J. Welton, C.J. Flynn, D.D. Turner, J.D. Spinhirne, V. Stanley Scott III, and I.H. Hwang, "Full-Time, Eye-Safe Cloud and Aerosol Lidar Observations at Atmospheric Radiation Measurement Program Sites: Instruments and Data Processing", *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19, 431-442, 2002.
- [2] <http://mplnet.gsfc.nasa.gov>.
- [3] <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.