

## INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL Y MONITOREO REMOTO DE UN ESPECTRÓMETRO AUGER

Ariel Loyarte <sup>\*,1</sup> Mariano Nicolau <sup>\*,1</sup>

*\* Grupo de Control y Seguridad Eléctrica (CySE), Facultad  
Regional Santa Fe (FRSF), Universidad Tecnológica Nacional  
(UTN), Lavaise 610, 3000, Santa Fe, Argentina*

**Resumen:** Se desarrollan las etapas que complementan un proceso de adecuación tecnológica del espectrómetro Auger Perkin Elmer PHI-590A, como continuación de un trabajo previo. Para este equipo, con más de treinta años de antigüedad, se implementó mediante LabVIEW un sistema de adquisición y registro comandados vía PC. En esta etapa, se desarrolla un sistema de auto-calibración de la excitación, se extienden las posibilidades del software a la activación a distancia de los módulos electrónicos de comando, se incorpora un sistema de medición y control de los procesos de calentamiento de las muestras y horneado del equipo; y se implementa un servidor Web para el monitoreo remoto de las experiencias que requieren supervisión.

**Palabras Claves:** instrumentación virtual, espectrómetro Auger, monitoreo.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la investigación, y más precisamente cuando las tareas investigativas se desarrollan en torno a actividades de laboratorio, la calidad del instrumental utilizado puede resultar de fundamental importancia para la obtención de resultados concluyentes, principalmente cuando las mediciones requieren altos grados de precisión y exactitud, o cuando se trata de señales muy débiles.

El instrumental de laboratorio comprende al equipamiento principal, propio de la actividad que se realiza, y a su complemento dado por los dispositivos auxiliares que hacen de intermediario entre el experimento y el formato final de las mediciones, capaz de ser manipulado en última instancia por el investigador. En este último grupo se incluye a los dispositivos de captura y digitalización, y a las interfaces hombre-máquina.

En este contexto, y principalmente cuando el equipo de medición incluye múltiples controles y/o requiere de la supervisión de múltiples variables en simultáneo, la instrumentación cumple

un papel relevante que en los últimos años ha devenido en el concepto de *instrumentación virtual* (Meneses Benavides, 2008; Custodio Ruiz, 2006).

En Instrumentación Virtual, las mediciones son digitalizadas y enviadas a una PC sobre la cual un software adecuado, desarrollado para estos fines, provee la forma más conveniente para visualizar y registrar dicha información. El mismo software puede, a su vez, admitir el control del equipo, o algunas de sus funciones, emitiendo las señales correspondientes que accionan sobre la máquina. El nexo entre la PC y el equipo de laboratorio es un dispositivo capaz de realizar las conversiones entre señales digitales y analógicas, habitualmente conocido como placa de adquisición o DAQ (Data Acquisition) (Dogaru Ulieru *et al.*, 2006).

En este esquema, la PC cumple las funciones de un centro integral de control, monitoreo y gestión de las mediciones (Ugurlu, 2011). Asimismo, la disponibilidad en todo momento de la información registrada y el estado del equipo y/o de los procesos involucrados sobre una misma PC, hace posible que otras tecnologías de software converjan con la finalidad de incorporar soluciones a tareas complementarias. Tal es el

---

<sup>1</sup> Estudiantes de Posgrado UTN.

caso del procesamiento matemático de las señales adquiridas y el monitoreo remoto de determinados procesos en los que la supervisión es importante.

En espectrometría, los sistemas de instrumentación requeridos se caracterizan por su complejidad, dadas las condiciones controladas del medio sobre el cual se dispone la muestra a excitar. En particular, el presente trabajo aborda el desarrollo de un sistema integral de instrumentación virtual, procesamiento de señales y monitoreo remoto, aplicado a un espectrómetro Auger de barrido (McGuire, 1979), perteneciente al Laboratorio de Física de Superficies e Interfaces (LASUI), del Instituto de Física del Litoral (IFIS Litoral) (Bajales *et al.*, 2007, 2008).

El objetivo consta de adecuar tecnológicamente un equipamiento que dispone de más de treinta (30) años de antigüedad, incluyendo la electrónica de comando y medición. Los trabajos parten de un desarrollo previo (Loyarte and Nicolau, 2012), en el cual se implementa la generación de la señal de excitación, y el sistema de medición y registro de espectros mediante Instrumentación Virtual. Un segundo componente de software complementa la aplicación, con finalidad en el post-procesamiento de los espectros adquiridos.

En esta nueva etapa, se procede a la implementación de un sistema de auto-calibración de la señal de excitación, el accionamiento a distancia de los módulos de control del equipo, y la instrumentación requerida por los procesos auxiliares de calentamiento de la muestra y horneado de la máquina; este último como requerimiento esencial para la obtención de la presión de Ultra Alto Vacío (UHV) exigida en la cámara de medición.

Con la finalidad de supervisión a distancia del proceso de horneado, justificada es su extensa duración y relevancia, se implementa a su vez un sistema de monitoreo remoto vía Web, en comunicación permanente con el software de instrumentación. Asimismo, se incorpora la funcionalidad de monitoreo de los ensayos de adquisición tradicionales, que cobra interés en el caso de experiencias que implican la adquisición de cientos de espectros.

El aplicativo dedicado a la gestión de las señales de medición, excitación y accionamiento de los módulos electrónicos de control del equipo es desarrollado en LabVIEW. Éste constituye una herramienta especializada en el desarrollo de interfaces gráficas para su aplicación en Instrumentación Virtual, a partir del uso de un lenguaje de programación gráfico, mediante bloques (Zidek *et al.*, 2011), y una extensa lista de dispositivos de hardware (DAQ) compatibles (Beck *et al.*, 2006; Schierbaum *et al.*, 2010).

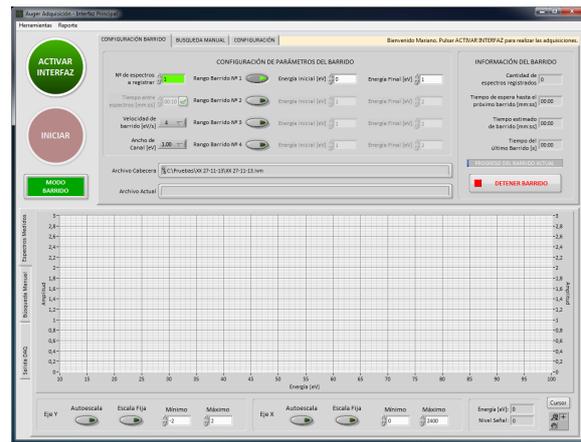


Fig. 1. Software de adquisición.

El servidor para el monitoreo remoto de las experiencias se ejecuta en lenguaje Python, mediante Django como framework de desarrollo Web (Holovaty and Kaplan-Moss, 2009). Del lado cliente se utiliza la extendida combinación de HTML, CSS y JavaScript.

Los desarrollos aquí presentados forman parte de un proyecto final de la carrera de Ingeniería Eléctrica, de la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

## 2. ANTECEDENTES

Durante el segundo semestre de 2011, en el contexto de una Práctica Profesional Supervisada de la carrera de Ingeniería Eléctrica (UTN FRSF), se inició un proceso de actualización tecnológica del espectrómetro Perkin Elmer PHI-590A perteneciente al LASUI. El objetivo inicial propuesto comprendía la sustitución de una PC antigua que comandaba la señal de excitación de la máquina y registraba los espectros en formato digital. La PC se constituía de un hardware muy limitado y obsoleto, de principios de los años 90. Y el DAQ utilizado empleaba una conexión ISA, en desuso desde hace más de una década.

De este modo, una eventual contingencia en la PC determinaba que el equipo quedara fuera de operación. Pues su uso quedaba limitado a los controles manuales disponibles que impiden la programación del registro de múltiples espectros, puesto a que los mismos alternativamente sólo pueden registrarse mediante un dispositivo analógico sobre papel; imposibilitando sobre todo el procesamiento posterior de dicha información.

Además, el software empleado en ese entonces carecía de funcionalidades importantes (como la visualización en línea del espectro que se registra), opciones de configuración (como la modificación de la señal de excitación para calibración), y su interface era poco intuitiva (en modo texto) y confusa.

Por otra parte, el software utilizado no podía ser trasladado a una PC moderna, dada la incompatibilidad con el DAQ (zócalo ISA) y la incompatibilidad para ejecutarse en sistemas operativos actuales. El programa sólo funciona en sistemas Microsoft D.O.S. o Windows 95.

En el transcurso del semestre de desarrolló, mediante LabVIEW (Figura 1), un software de mayores prestaciones en cuanto a la programación y gestión automática de ensayos, y opciones de visualización de espectros. Y, en complemento con el anterior, un segundo software dedicado al post-tratamiento de señales, que utiliza el formato de salida de la aplicación de adquisición (Loyarte and Nicolau, 2012).

En cuanto al hardware, en concordancia con el reemplazo de la PC, el DAQ fue sustituido por un National Instruments USB-6009 (y posteriormente por un Keithley KUSB-3108, por necesidad de mayores resoluciones).

### 3. AUTO-CALIBRACIÓN DE LA SEÑAL DE EXCITACIÓN

A partir de una entrada auxiliar externa disponible en uno de los módulos electrónicos de control del equipo se logra aplicar una tensión que, en espectrometría Auger, permite controlar la excitación de la máquina, siendo esta tensión proporcional a la energía de electrones Auger captados, emitidos por la muestra.

Así, la tensión aplicada controla el cañón de electrones que excita la muestra, pero es proporcional a la energía de los electrones captados, expulsados por la propia muestra en su estado de desequilibrio así inducido. Para la toma de un espectro, esta tensión se incrementa paulatinamente entre valores extremos configurables, de modo que esta evolución es lineal en el tiempo, y recibe el nombre de *rampa de excitación*.

Tal relación lineal sufre de eventuales derivas dadas por las desviaciones de las características de los componentes electrónicos, por temperatura y envejecimiento.

El software de adquisición desarrollado contempla la posibilidad de modificar la expresión matemática de la rampa de excitación, a partir de su pendiente. No obstante la pendiente de la rampa realmente ejecutada puede no coincidir con la estipulada en el software por motivos de la conversión digital/análogica y de los defectos propios de

la electrónica del mismo DAQ. Además, existen derivas en los circuitos de recepción de la señal de excitación y posibles ruidos inducidos.

En vistas de solucionar este inconveniente, se diseñó un sistema de auto-calibración, basado en una serie de ciclos de barrido sucesivos, en los que se compara la pendiente de la rampa de excitación configurada en el software, con la medida de la misma en el punto más cercano posible al espectrómetro propiamente dicho (salida auxiliar del módulo de control del analizador), Figura 2.

El valor de consigna ( $m_{SP}$ ) está dado por la pendiente de la rampa de excitación determinada según la metodología de mínimos cuadrados, aplicada a un ensayo sobre una muestra patrón, cuyos picos característicos se conocen. Ocurre que aún estableciendo esta pendiente en el software de adquisición, las derivas descritas afectan al sistema de modo que la pendiente real o medida ( $m_R$ ) no coincide con la  $m_{SP}$  especificada.

El sistema de auto-calibración propuesto busca determinar el valor a configurar para esta pendiente, de forma que la pendiente real obtenida coincida con  $m_{SP}$ . Para esto se utiliza un controlador proporcional (ganancia  $K_p$ ) de la siguiente manera: Se fija la consigna  $m_{SP}$  y se realiza un barrido en todo el rango de medición, utilizándose la última pendiente  $m_U$  configurada en el software; se aplica a esta medición un ajuste por mínimos cuadrados obteniéndose la pendiente real  $m_R$ ; la diferencia entre  $m_{SP}$  y  $m_R$  (error) se afecta por el factor  $K_p$  y el resultado se aplica como corrección sobre  $m_U$ , obteniéndose la nueva pendiente  $m_N$  a configurar (Ec. 1).

$$m_N = K_p \cdot (m_{SP} - m_R) + m_U \quad (1)$$

De esta manera, tras cada ciclo  $m_N$  reemplaza a  $m_U$ , y es este valor el que se emplea como pendiente de la rampa de excitación en la medición del próximo ciclo.

Se observa que las derivas mencionadas no pueden evitarse durante el proceso de medición, pues se utiliza el mismo DAQ tanto para medir como para emitir la señal de excitación. Sin embargo, si el procedimiento de corrección mencionado se repite durante varios ciclos, es de esperar una tendencia de evolución de  $m_R$  a  $m_{SP}$ .

A diferencia de un control proporcional tradicional, en este caso el controlador no actúa en línea, sino que por cada ciclo operará una vez que la medición de todos los puntos de la rampa se haya completado (según resolución del DAQ), y luego de determinada la pendiente de la rampa experimental ( $m_R$ ). El número de ciclos a reproducir se configura en el programa de adquisición.

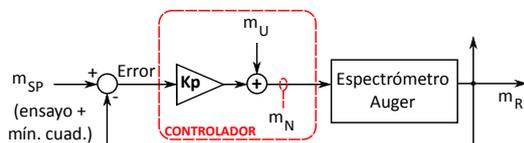


Fig. 2. Esquema de auto-ajuste de la rampa de excitación.

#### 4. ACCIONAMIENTO A DISTANCIA DE LOS MÓDULOS DE CONTROL

Se pretende que los módulos de control más relevantes para el equipo puedan ser accionados (activados/desactivados) a distancia, por medio de la misma PC que ejecuta las tareas de excitación, adquisición, medición y registro. De esta manera, no se requiere del accionamiento permanente de los mandos de los tableros, quedando esto último relegado a movimientos eventuales no tan frecuentes.

La activación/desactivación de cada módulo se realiza por medio de una salida digital del DAQ, en complemento con circuitos digitales de operación vía relé, que cumplen con el mismo accionamiento que interruptores y perillas selectoras ubicadas en los tableros de mando.

Cada relé opera en paralelo con los contactos del interruptor del tablero, de manera que permaneciendo éstos sin excitación, siempre será posible accionar manualmente sobre los controles originales.

Para el caso, se consideran los siguientes módulos más relevantes de la instalación: (a) Módulo del **cañón de electrones**, como componente fundamental que inyecta sobre la muestra electrones acelerados, con vistas de llevar ésta hacia un estado de desequilibrio energético y forzar la emisión de electrones Auger; (b) Módulo **multiplicador de electrones**, que funciona como ganancia ante la percepción de un número reducido de electrones Auger por parte del sensor primario; (c) Módulo de mando del **cañón de iones**, como dispositivo encargado de inyectar sobre la muestra partículas más pesadas (iones), con la finalidad de erosionar y eliminar impurezas de la superficie; (d) Módulo de **temporizado del proceso de horneado** (descrito en el punto 5).

De acuerdo a cada caso en particular, el circuito puede incluir uno, dos o hasta tres relés dispuestos convenientemente. Para el conexionado, se combinan con un nuevo módulo, diseñado específicamente para estas circunstancias, que recibe las señales emitidas por el DAQ y las direcciona por medio de conectores adecuados a cada uno de los módulos del tablero. De esta forma, se prevé la posibilidad de reemplazar incluso el DAQ sin necesidad de alterar las conexiones aguas abajo (del lado de los tableros), ubicadas en posiciones de difícil acceso y, por ende, que requieren de ser fijas.

El aprovechamiento íntegro de este nuevo módulo, de aquí en más denominado como **módulo de conexionado**, se realiza añadiendo al mismo no sólo el cableado correspondiente al control de los módulos a distancia, sino también el correspon-

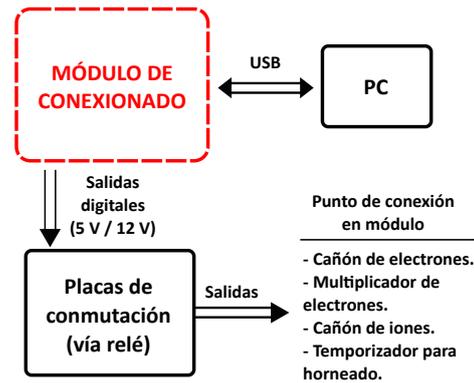


Fig. 3. Esquema general de conexiones.

diente a las demás conexiones importantes, tales como la señal de excitación, la medición de retorno para auto-calibración y la señal de medición de espectros.

##### 4.1. Esquema de conexionado

En la Figura 3 se muestra un esquema general de las conexiones. En ésta se listan los siguientes bloques componentes: (i) **PC**: Encargada de la ejecución del programa de adquisición y, de acuerdo a los descrito posteriormente en el punto 6, del servidor de monitoreo remoto; (ii) **Módulo de conexionado**, compuesto por el DAQ (recibe las mediciones y envía las señales de control) y una placa destinada a la adaptación del cableado y alimentación; (iii) **Placas de conmutación vía relé**: placas de accionamiento activadas por señales digitales de 5 [V] emitidas desde el DAQ, que comandan relés de 12 [V] para los propósitos de control a distancia de los mandos.

La adaptación del cableado se refiere al uso de terminales BNC y cable coaxil para entradas y salidas analógicas, y entradas digitales. Mientras que se utiliza terminales PLT y cable CM04CS (mallado, tetrapolar) para salidas digitales en general.

##### 4.2. Implementación

Las placas de accionamiento están compuestas por un transistor funcionando en corte y saturación, alimentando la bobina del relé, frente a una señal de estado alto (5 [V]), proveniente de una salida digital del DAQ. De esta manera cierran los contactos "puenteando" el interruptor a controlar, de forma remota. Tanto las señales de excitación del transistor, como la alimentación y referencia de tensión (masa) para el relé, son enviadas a través de los cables multipolares CM04C-S. Las Figuras 4 y 5 muestran el esquema de conexionado y la implementación física final.

## 5. HORNEADO DEL EQUIPO Y CALENTAMIENTO DE LAS MUESTRAS

### 5.1. Proceso de horneado del equipo

La necesidad de presiones de Ultra Alto Vacío (UHV) en la cámara que contiene las muestras a analizar, implica a su vez el requerimiento imperioso de eliminar (o disminuir al mínimo) los contaminantes que puedan existir dentro de la misma. Éstos se deben tanto a impurezas del aire, como a partículas que han quedado adheridas a las paredes internas, o contaminantes liberados por una muestra durante los ensayos, y que pueden afectar la medición, o incluso recaer sobre otro material ubicado en el porta-muestras contiguo. La mantención de la Alta Presión de Vacío (UHV) en el interior de la cámara se pierde en aquellos casos en que la misma debe ser abierta.

Deberá abrirse la cámara ante cualquiera de las siguientes circunstancias posibles:

- Introducción de una nueva muestra.
- Instalación de dispositivos accesorios, con objeto en la reproducción de un ambiente particular para la muestra.
- Necesidad de reparaciones o mantenimiento.

Realizadas las prácticas que exigieron la apertura de la cámara, deberá recuperarse la presión de vacío, mediante la utilización progresiva de bombas del tipo *mecánica*, *turbomolecular* e *iónica*, que alcanzan valores deseados de Ultra Alto Vacío de  $10^{-9}$  [Torr]. Aunque el uso de estos sistemas de bombeo puede requerir de un tiempo aproximado de siete (7) días para conseguir tales presiones. Se trata de tiempos demasiado largos si se tiene

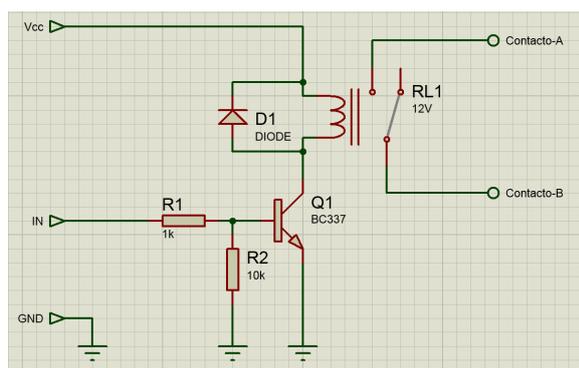


Fig. 4. Placa de accionamiento a distancia (esquema).



Fig. 5. Placa de accionamiento a distancia.

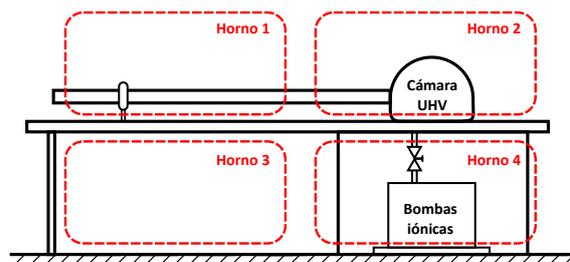


Fig. 6. Ubicación de los hornos de calefacción.

el cuenta que durante este período el equipo no puede ser utilizado, además de que necesita de la supervisión permanente de un operador.

Los elevados requerimientos de tiempo para la obtención de la presión pretendida pueden reducirse (a 36-48 [hs], habitualmente durante el fin de semana) acelerando la *desorción* de los depósitos acumulados. Esto puede lograrse incrementando la temperatura del ambiente, justificando el *horneado del equipo*.

Se busca de esta manera alcanzar temperaturas óptimas del orden de los 200 [°C]. Para ello se utilizan una serie de resistencias eléctricas, empleadas como medio de calefacción. Se utilizan cuatro (4) resistencias, dos de ellas ubicadas en la parte inferior del equipo (debajo de la cámara, en la zona donde se encuentran las bombas iónicas), y otras dos en la parte superior, por encima de la cámara (Figura 6). Se propone la utilización de dos termocuplas tipo K para el registro de la temperaturas de cada zona.

Las estufas no se disponen en tal posición en forma permanente, sino que se las coloca allí cada que vez que se realiza este proceso. Las *velas* están constituidas por resistencias en el interior de un tubo metálico con forma de serpentín, y a su vez en el interior de campanas metálicas de aproximadamente 1,60 [m] x 0,60 [m] x 0,60 [m].

El proceso de horneado del espectrómetro, incluye las siguientes variables de interés:

- Temperaturas. Indicativas de la evolución del proceso y cuyas variaciones dan idea del grado de desorción de los gases.
- Estado de funcionamiento de las resistencias calefactoras (estufas).
- Presión en la cámara de vacío.
- Tiempo de operación del proceso.

### 5.2. Calentamiento de las muestras

Es común que la superficie de la muestra contenga impurezas, producto de su contacto con el ambiente. En muchos casos se pretenderá entonces eliminarlas.

El proceso de eliminación de tales impurezas se realiza erosionando la superficie mediante un haz

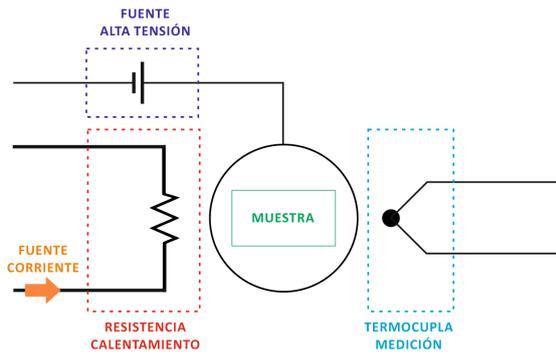


Fig. 7. Esquema calentamiento de la muestra.



Fig. 8. DAQ Termocuplas.

de iones. Este procedimiento, conocido como *decapado iónico*, permite penetrar en profundidades del orden de los nano-metros (nm). El bombardeo iónico produce cierta rugosidad sobre la superficie, debida a la cual se pierde el igual ordenamiento de elementos que caracteriza a todo *monocristal*. Resulta entonces en un efecto desventajoso del *decapado iónico*.

No obstante, el ordenamiento de los cristales puede recuperarse elevando la temperatura del material. Se habla entonces de un *calentamiento de las muestras*, que debe realizarse consecuentemente en el interior de la cámara de UHV.

De esta manera, la limpieza superficial de una muestra tipo *monocristal* se realiza mediante sucesivos ciclos de *bombardeos iónicos*, seguidos de procesos de calentamiento. Esta secuencia es conocida como **annealing**.

El proceso de calentamiento de la muestra es llevado a cabo de dos maneras: mediante la aplicación de una corriente continua a través de una resistencia (calentamiento resistivo), ubicada en el sector de alojamiento de dicha muestra y, mediante la aplicación de una alta tensión en el porta-muestras local (calentamiento por bombardeo electrónico) (Figura 7). Estas acciones se realizan mediante dos fuentes de alimentación independientes. Solidaria a la muestra, una termocupla de tipo C permite el registro de la temperatura alcanzada, mediante sus terminales exteriorizados en un panel lateral.

Ambas fuentes de alimentación poseen, en su panel posterior, terminales que permiten la programación remota de la tensión y corriente de salida, a partir de una tensión proporcional de control. Esta característica será aprovechada para realizar el control del calentamiento de la muestra en forma externa, a través de la programación de la corriente y la tensión aplicadas a la resistencia y al porta-muestras, respectivamente.

### 5.3. Implementación

En base a los requerimientos necesarios para los procesos de calentamiento de la muestra y horneado del espectrómetro, se desarrolló una tarjeta de adquisición de datos y control (*denominada DAQ Termocuplas*, Figura 8), independiente del DAQ principal, con las siguientes características:

- Tres entradas analógicas acondicionadas para termocuplas. Dos para termocuplas K, utilizadas para el horneado (miden temperatura de la zona superior e inferior); y la restante para termocupla C, para medir la temperatura de la muestra.
- Compensación de junta fría.
- Acondicionamiento, linealización y conversión de la señal, por software, a su temperatura correspondiente, según tipo de termocupla.
- Dos salidas analógicas 0-10 [V], para controlar la tensión y corriente suministrada para el proceso de calentamiento de la muestra.
- LCD para visualización online de las mediciones.
- Comunicación USB.

Por otro lado, las restantes señales de interés son gestionadas por el DAQ principal, debido a la disponibilidad de entradas acondicionadas para este tipo de tareas. Ellas son:

- Temporizador para el funcionamiento de las resistencias calefactoras (señal digital ON-OFF). Implementado a través de una placa electrónica compuesta por un relé conectado en paralelo a los contactos del antiguo temporizador mecánico del equipo. Actúa según tiempos definidos desde el mismo software de adquisición y control.
- Estado de alimentación de las resistencias calefactoras (señales digitales). Implementado a partir de un sensor de corriente toroidal pasivo, que detecta la circulación de corriente de alimentación de las resistencias. La salida del sensor utiliza un transistor NPN en corte y saturación, para enviar la señal (0-5 [V]) hacia el DAQ principal.
- Presión dentro de la cámara de vacío. Obtenida de una conexión de salida presente en la parte posterior del módulo de medición correspondiente. Brinda una señal analógica de 0-1 [V], proporcional en el rango de presiones de  $10^{-3}$  a  $10^{-11}$  [Torr].

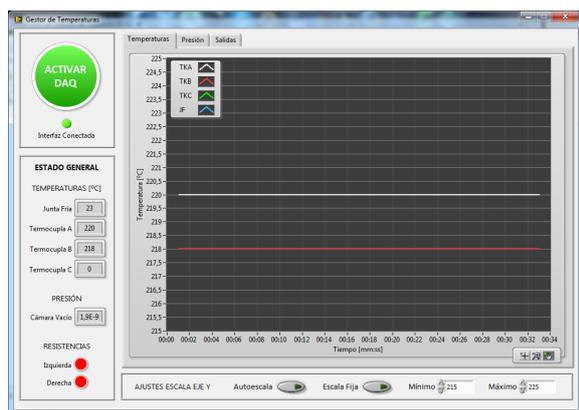


Fig. 9. Software DAQ Termocuplas - Ventana.

#### 5.4. Software - DAQ Termocuplas

El software de gestión para los procesos de horneado y calentamiento de la muestra (Figura 9) forma parte de la plataforma implementada, pudiendo acceder a él a través de la pantalla de bienvenida. Sus funciones se detallan a continuación:

- Visualización de las variables de interés (temperaturas, presión de la cámara y estado de las resistencias de calefacción).
- Registro y almacenamiento de las lecturas.
- Control del temporizador para el horneado.
- Control de las salidas analógicas, para regular el calentamiento de la muestra.

## 6. MONITOREO REMOTO DE LAS EXPERIENCIAS

### 6.1. Generalidades

De acuerdo a lo descrito en la sección 5, el proceso de horneado se ejecuta habitualmente durante los fines de semana, y el sistema de monitoreo propuesto vía Web pretende dar posibilidad a su supervisión a distancia, pudiendo alertarse de alguna eventual contingencia.

La Web incorpora un sistema de acceso restringido por contraseña y permite visualizar el estado de funcionamiento de cada una de las velas calefactoras, la curva de evolución de la presión interior de la cámara desde el inicio del proceso, y la evolución de las temperaturas en las regiones superior e inferior de la zona de calefacción.

Por otro lado, se optó por incorporar también la función de monitoreo en línea de los ensayos programados, dado que esto no implicaría exigencias mucho mayores al desarrollo del sistema. En este caso, es factible desde la Web obtener información acerca del estado de funcionamiento del equipo, el nombre del operador (quien debe identificarse al momento de utilizar el programa de adquisición),

el número de espectros programados para ser adquiridos, el porcentaje de avance en el proceso y el tiempo estimado restante para su finalización. Además, es posible visualizar el último espectro registrado.

### 6.2. Estructura del servidor

El software de instrumentación controla la adquisición y registro de espectros, y considera en su algoritmo el almacenamiento de las variables que el cliente precisa observar remotamente. Por cada ciclo de su bucle iterativo de funcionamiento registra esta información en un **archivo de intercambio**, mediante una sintaxis particular, convenida y de fácil acceso tanto desde el lenguaje gráfico de programación de LabVIEW (para el software de adquisición), como del programa servidor HTTP, que se ejecuta en la misma PC. Se trata de un archivo ASCII en el que cada línea representa un dato en particular que el servidor debe mostrar en el sitio Web al cual accede el cliente.

En cuanto a los gráficos, el programa de adquisición genera por cada uno de ellos un archivo de imagen que es embebido en la Web por el servidor, cada vez que el cliente así lo solicita.

De esta manera, el programa de adquisición escribe el *archivo de intercambio* mediante el cual transfiere la información hacia el programa servidor, al mismo tiempo que los gráficos son generados en forma de imágenes que también son utilizadas por el mismo.

El sincronismo entre ambas aplicaciones se logra a partir de que el servidor es ejecutado desde el mismo software de adquisición, en el momento en que dicha funcionalidad es activada.

### 6.3. Resultados

El servidor manipula en simultáneo tres (3) versiones de la Web de monitoreo. La versión principal está destinada a su acceso desde una computadora, mientras que una segunda variante dispone de su contenido en menor resolución, haciéndolo particularmente apto para su acceso a partir de dispositivos más pequeños tales como teléfonos inteligentes.

Una tercera versión sólo utiliza HTML sin aditamentos, siendo especialmente apta para dispositivos que aunque disponen de conexión a Internet, son más limitados en cuanto a prestaciones. En este caso, el contenido exhibido no se actualiza en forma automática, pero se provee de un botón que permite forzar dicha acción. La Figura 10 muestra el aspecto de parte de la Web, donde se visualiza el estado de las resistencias calefactoras durante el proceso de horneado, y la evolución de las temperaturas.



Fig. 10. Web de monitoreo remoto.

## 7. CONCLUSIONES

Los desarrollos aquí presentados cumplen satisfactoriamente los objetivos propuestos.

Las adaptaciones al nuevo sistema de comando vía PC fueron ejecutadas considerando la alternativa menos invasiva. Así, ante circunstancias particulares que impliquen la no disponibilidad del control a distancia, los controles manuales del diseño original de los equipos continúan estando disponibles.

Por otra parte, la tecnología del software y DAQ utilizados evitan la dependencia del funcionamiento de la máquina para con estos componentes. Es factible ahora reemplazar cualquiera de ellos dada la compatibilidad con cualquier hardware de PC actual.

Además, se han incorporado nuevas características que mejoran sustancialmente las prestaciones del sistema de instrumentación. La supervisión del proceso de horneado, y el control remoto del calentamiento electrónico de las muestras son las características más destacadas.

El servidor Web para monitoreo remoto, por su parte, facilita la tarea de supervisión de procesos de larga duración. El proceso puede iniciarse en el laboratorio y supervisar su correcta evolución desde Internet. Sólo será necesaria la presencia del operador cuando las mediciones hayan identificado una falla o un funcionamiento indebido del proceso.

Es de destacar que gran parte de los desarrollos aquí presentados son perfectamente adaptables a otros equipos, incluso con finalidades diferentes. El control de mandos a distancia es aplicable a un gran número de equipos de laboratorio o en la industria. Y de igual manera, las funciones de monitoreo remoto son también aplicables a la supervisión de cualquier proceso industrial o experimental.

## REFERENCIAS

- Bajales, N., J. Ferrón and E.C. Goldberg (2007). Neutralization mechanisms in He + Al surface collisions. *Applied Surface Science*. **254**(1), 401–404.
- Bajales, N., L. Cristina, S. Mendoza, R.A. Baragiola, E.C. Goldberg and J. Ferrón (2008). Exciton autoionization in ion-induced electron emission. *Physical Review Letters*.
- Beck, D., H. Brand, C. Karagiannis and C. Rauth (2006). The first approach to object oriented programming for LabVIEW real-time targets. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. **53**(3), 930–935.
- Custodio Ruiz, A. (2006). Mejora de laboratorios tradicionales mediante el uso de instrumentación virtual. *Virtual Educa Bilbao 2006, Bilbao (España), 20-23 de junio*.
- Dogaru Ulieru, V., C. Cepisca, H. Andrei, A. Husu, C. Dogaru Ulieru and M. Popa (2006). Electric measurements with LabVIEW. *MMACTEE'06 Proceedings of the 8th WSEAS international conference on Mathematical methods and computational techniques in electrical engineering*.
- Holovaty, A. and J. Kaplan-Moss (2009). *The Definitive Guide to Django: Web Development Done Right*. Apress. United States.
- Loyarte, A. and M. Nicolau (2012). Adquisición y tratamiento de datos, aplicado a un espectrómetro auger. *XXIII Congreso Argentino de Control Automático - AADECA 2012*.
- McGuire, G.E. (1979). *Auger electron spectroscopy reference manual*. Plenum Press. New York.
- Meneses Benavides, G.A (2008). Aplicaciones avanzadas de transferencia de datos de medición con software de instrumentación virtual. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*. **24**, 105–122.
- Schierbaum, K.D., M. Cherradi and M. Bouchtaoui (2010). Computer - Control of Surface Science Experiments with Labview. *International Journal of Computer Applications*. **3**(4), 1–8.
- Ugurlu, Y. (2011). Measuring the impact of virtual instrumentation for teaching and research. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) - Learning Environments and Ecosystems in Engineering Education*. pp. 152–158.
- Zidek, J., P. Bilik and T. Wittassek (2011). Application of graphical programming and benefit of virtual instrumentation in teaching of state-of-the-art instrumentation. *2011 IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. **2**, 688–691.