

**Automatización de obturadores de sistema de crecimiento por haces moleculares  
usando arduino mega en una interfaz de Labview**

Lara Velázquez Ismael<sup>1</sup>, Diaz de León Zapata Ramón<sup>1</sup>, Flores García Efrén<sup>1</sup>, Méndez  
García Victor Hugo<sup>2</sup>, Espinosa Vega Leticia Ithsmel<sup>2</sup>, Perea Parrales Felipe Eduardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, Soledad de Graciano  
Sánchez, San Luis Potosí, C.P. 78376, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

\*e-mail: ismael.lara@tec.itslp.edu.mx

**Resumen**

En este trabajo reportamos el desarrollo de un control de obturadores para un sistema de crecimiento por Haces Moleculares (EHM) o del Inglés Molecular Beam Epitaxy (MBE) utilizando una interfaz gráfica de LabView y la plataforma de Arduino Mega para la adquisición de datos. La técnica de epitaxia por haces moleculares permite controlar espesores a escala nanométrica de muy alta calidad cristalina, para la fabricación de dispositivos electrónicos y optoelectrónicos [1].

**Palabras Claves:** Arduino Mega, Control, Epitaxia de Haces Moleculares, LabView, películas semiconductoras.

**Abstract**

In this work, we report the development of a shutter control for a system of growth by Molecular Beams Epitaxy (MBE) using a graphical interface of LabView and the

platform of Arduino Mega for the acquisition of data. This allows molecular beams epitaxy technique to produce thicknesses at nanometric scale of very high crystalline quality, for the manufacture of electronic and optoelectronic devices [1]

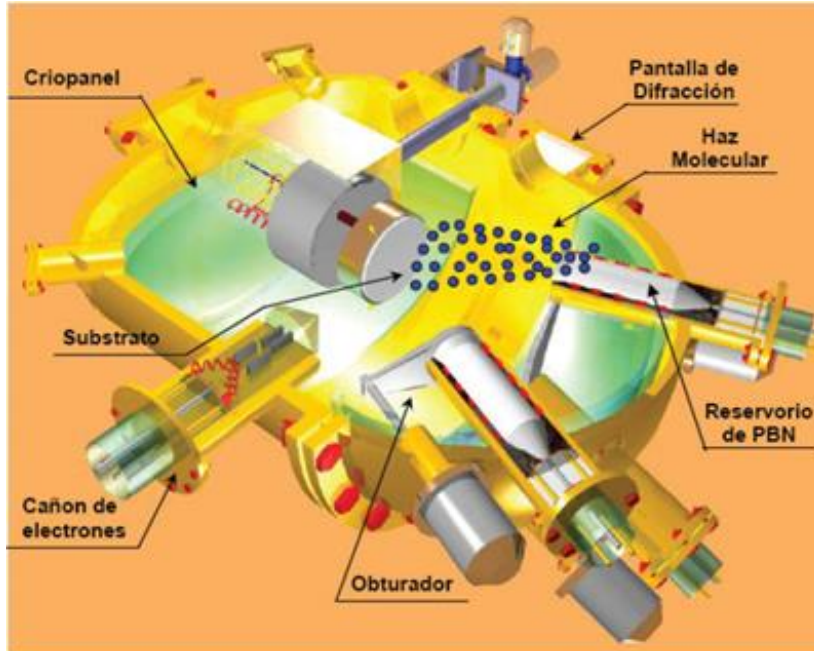
**Keywords:** Arduino Mega, Control, Molecular Beam Epitaxy, Labview, semiconductor layer.

## 1. Introducción

En la fabricación de películas semiconductores se pueden encontrar una variedad de sistemas, pero una de las más poderosas para la síntesis de estas películas es la técnica por epitaxia por haces moleculares inicialmente desarrollada por J. R. Arthur y A. Y. Cho. Esta técnica mantiene ventajas sobre las otras técnicas que incluyen la capacidad de controlar la reproducibilidad del crecimiento en dimensiones de Angstrom monitoreando el crecimiento en situ.

Esta técnica es un método de evaporación basada en alto vacío con un control en la composición de materiales y niveles de impurezas [2]. La figura 1 muestra el esquema de la cámara de crecimiento de un sistema EHM. En esta técnica los elementos que contienen el material se encuentran dentro de un crisol llamado reservorio de Nitruro de Boro Piroclítico (PNB) ubicados dentro de las celdas y salen expulsados en forma de haces moleculares hacia un sustrato cristalino sobre la cual se formara la película epitaxial en crecimiento. Estos haces emergen al evaporizar térmicamente las fuentes solidas de los elementos. La cámara de crecimiento se mantiene en un ambiente de ultra alto vacío lo que garantiza la pureza del material a depositar. En los sistemas EHM las celdas contienen materiales de alta pureza de Al, Ga, As, Be, In y Si, y una fuente de gas de N. Rodeando las celdas sobre las paredes

internas de la cámara, se localizan crio paneles; al mantenerlos a temperatura de nitrógeno líquido, las paredes atrapan impurezas. Frente a la cámara se encuentra en el centro de la cámara el sustrato montado sobre un porta sustrato de molibdeno (moliblock), sujeto a un mecanismo manipulador que permite rotar con respecto a la normal del sustrato. Durante el crecimiento, este movimiento ayuda a homogenizar el crecimiento de la película.



**Figura 1.** Diagrama esquemático del sistema de EHM [2]

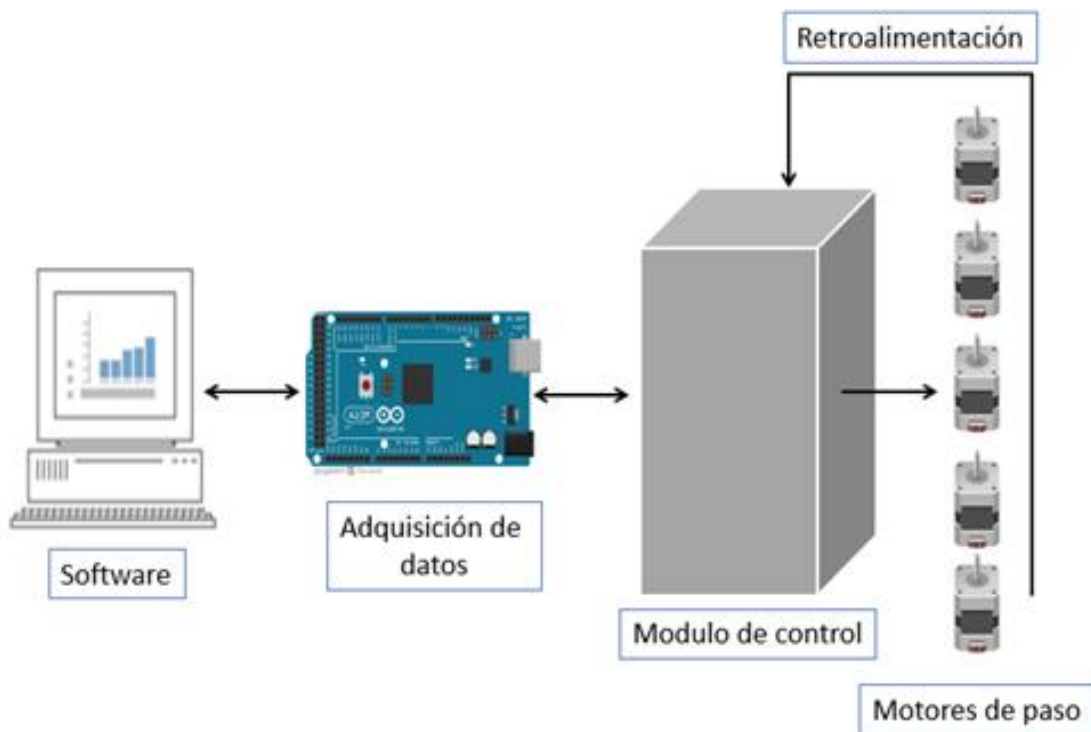
Las temperaturas de las celdas y del porta sustrato son controladas por separado. El tiempo de operación de los obturadores permite realizar cambios en la composición desde dimensiones atómicas [3], muy importante en el diseño de dispositivos en los que se encuentran fotoceldas, fotodiodos y transistores de alta frecuencia.

## 2. Métodos

### 2.1 Diagrama de bloques

La técnica de EHM hace posible la preparación de estructuras semiconductoras, creciendo de forma organizada. Para la preparación de las estructuras y su investigación se necesita un

control muy preciso del equipo de EHM con tiempos de obturación de 100 ms. En esta comunicación se reporta la automatización del movimiento de los obturadores entre la computadora y el módulo de control a través de una interfaz de LabView que permite manejar en forma programada el accionamiento de los obturadores. En la figura 2 se describe el diagrama de bloques del sistema de automatización de los obturadores del EHM, los comandos y estados del programa son ejecutados por el software de labView [4] y enviados a la tarjeta de Arduino Mega [5] que maneja las señales de datos. El bloque de control contiene la circuitería electrónica para accionar los motores de pasos [6]. El módulo de control se encarga de recibir los comandos y dar movimiento a los motores la retroalimentación está integrada al módulo y regresa a la tarjeta de Arduino Mega para señalar es estado de los motores.



**Figura 2** Esquema del sistema de control.

## 2.2 Módulo de control

El módulo de control es parte del equipo RIBER del sistema EHM que se compone de un rack de tarjetas de potencia y una de control., cada tarjeta se encarga del accionamiento de cada motor la cual consta de interruptores para seleccionar

- Angulo de rotación
- Dirección de rotación
- Velocidad
- Retención de corriente

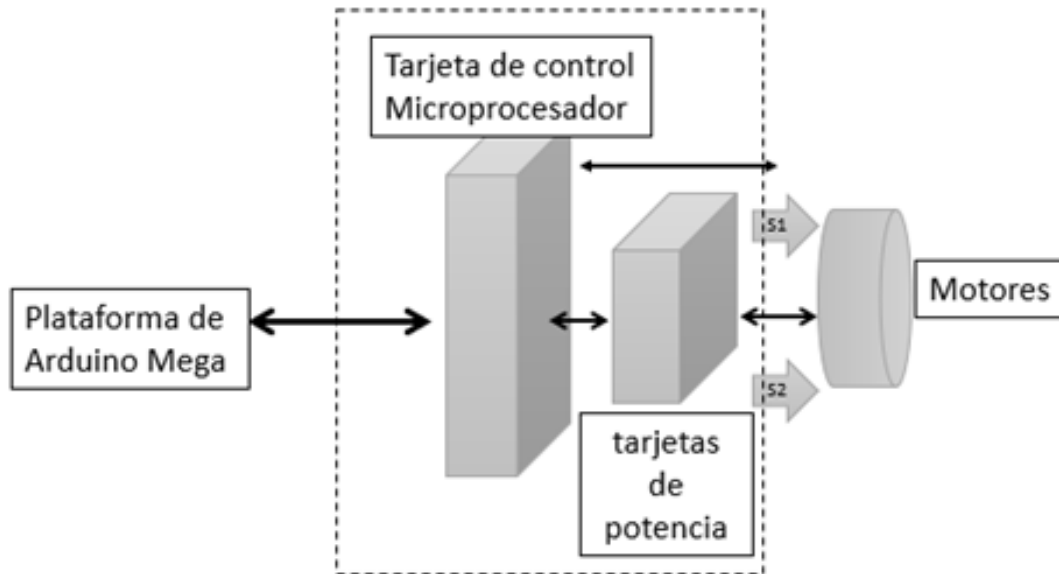
La figura 3 muestra un diagrama a bloques del sistema de control de cada uno de motores y la comunicación bidireccional con la plataforma de Arduino, el área encerrada con línea punteada indica los circuitos principales que contiene el módulo de control.

La tarjeta de control consta de un microprocesador 68701 la cual controla lo siguiente:

- Panel frontal del teclado
- Enlace serial
- La Tarjeta de interfaz permite operar la unidad de control en
  - Modo local donde se manipula con las teclas el panel lo que permite controlar los motores.
  - Modo remoto, en esta opción los motores se operan con una programación en C desde la computadora. Actualmente es una desventaja porque el código fuente no es amigable de ahí la versatilidad del proyecto al implementarlo con el software de instrumentación virtual.

En la circuitería de control se cuenta con una etapa de potencia para el motor, una etapa de optoacopladores que retroalimentan al sistema detectando la posición del motor. Estos

sensores se encuentran fijos al soporte del motor y son activados por una laminilla sujeta al rotor del motor etiquetas S1 y S2.



**Figura 3.** Módulo de control del Sistema EHM marca RIBER.

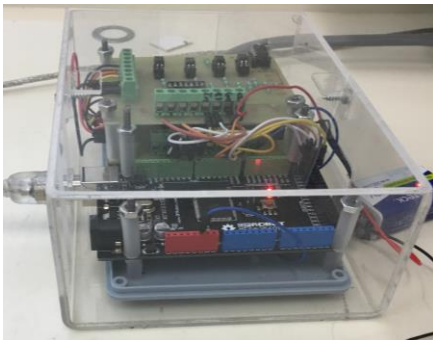
### 2.3 Interfaz Arduino

El microcontrolador de Arduino es una plataforma de desarrollo que tiene implementados los puertos digitales entrada/salida escalándolo hasta 54 bits. [7] [7] Con la interfaz de LabView para Arduino se interactuó a través del puerto serie, mientras que para la comunicación entre Arduino y el módulo se construyó una tarjeta que actúa como puente entre el modo manual o en modo programado desde la computadora permitiendo gran flexibilidad de manipular los motores trabajen de manera coordinada, se diseñó un protocolo de comunicación que permite el intercambio de información- La comunicación se establece entre la computadora y el Arduino que envía comando a la unidad de control que reconoce dichos comando y ejecutan la activación de los motores en intervalos de tiempo y sin obstruir el funcionamiento del módulo de control de los motores .

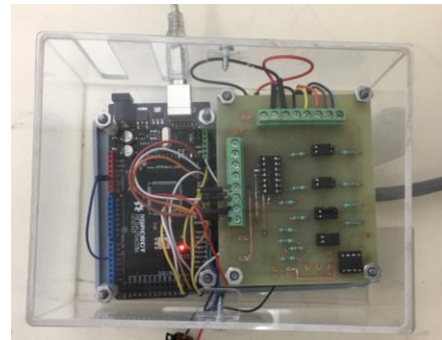
La operación de escritura que se realiza desde Labview hacia el Arduino se efectúa de la siguiente manera: se manda una señal pulsada, la tarjeta recibe el pulso y lo activa por medio del relevador HE721A el cual recibe el pulso y se reenvía al módulo de control mientras en la operación de lectura por medio de optoacopladores SFH619A que actúan como bandera señalizando la posición del motor. Para la señal de activación de cada motor se utilizó el comparador MCP6004 indicando señales de estado hacia el Arduino.

Las figuras 4a y 4b muestran las imágenes de la tarjeta de desarrollo y la 4c muestra el diagrama esquemático completo de la tarjeta de interfase con Arduino en donde se aprecian los dispositivos de entrada y salida.

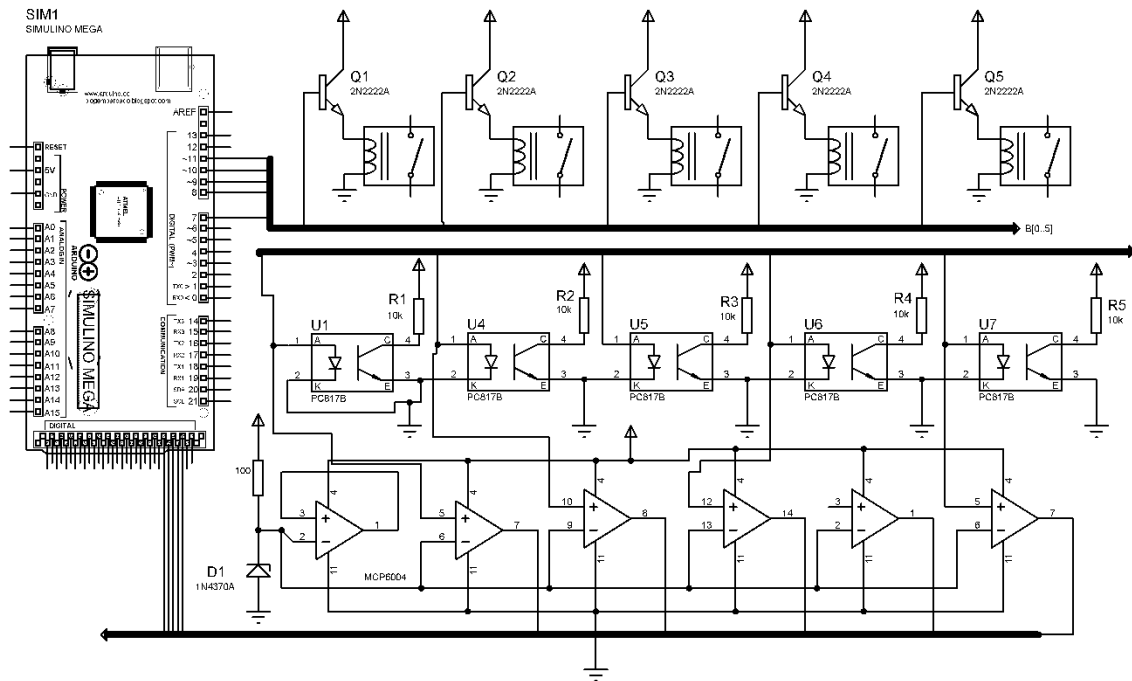
**Figura 4**



a) Vista lateral de la tarjeta de desarrollo



b) Vista superior de la tarjeta de desarrollo



c) Diagrama esquemático de la tarjeta de interfaz con Arduino Mega

## 2.4 Software

El software de automatización es una comunicación virtual entre el usuario [4] y los motores del sistema de EHM. El programa permite al usuario abrir y cerrar los obturadores, la operación puede ser en forma individual o en forma programada.

En la operación individual los controles de los obturadores se indican en interruptores boléanos que envían a la tarjeta de Arduino que envía el código para realizar el movimiento del motor, la retroalimentación proviene de los sensores optoelectrónicos que son llamadas señales de estado que reconoce la tarjeta lo cual también es interpretado en la palabra digital que se lee del Arduino.

Cuando se elige en forma programada la operación de los motores de las celdas se tiene que realizar secuencias para abrir o cerrar los obturadores deseados por un determinado

tiempo, por cada secuencia que se activa es una película semiconductores que se crece en el sistema de EHM. Esta secuencia programada de abrir y cerrar obturadores se realiza desde LabView cargando un archivo externo en formato de texto en el que se edita el funcionamiento de los obturadores como se muestra en la tabla 1. La edición del programa es por líneas y cada línea equivale a una secuencia, en la línea hay un espaciado entre los valores lógicos el programa lo interpreta valor por cada elemento de la celda. Abierto se escribe un 1 lógico y si se desea cerrado corresponderá a un 0 lógico. En la última columna se establece el tiempo de duración de la secuencia. En la tabla 1 se muestra los elementos Al Ga e In automatizados. La celda de As no está automatizada ya que el sustrato y las películas siempre deben estar bañadas en As dado que es un material que se evapora a temperaturas de crecimiento y la superficie se hace rugosa ocasionando daños irreversibles a la calidad de las películas.

#### 2.4.1 Señales de estado

Las señales de estado indican si el accionamiento del obturador se llevó con éxito (si abrió o cerro completamente) estas señales provienen de sensores ópticos de la laminilla que contienen los motores como se puede ver en la figura 5. Si hay algún error en el accionamiento de no inicializar o no llega se activa una alarma y detiene el funcionamiento del motor. El giro puede realizarse a favor de las manecillas de reloj o en contra, el ángulo de apertura varia de por cada elemento y puede ser 120° hasta 180°, La velocidad de accionamiento de 100 ms con una corriente sostenida de 120 ms, estos parámetros de los motores son controlados por el módulo de control.

Los códigos de estado se muestran en la tabla 1

A1	A2	Estado
0	0	Alarma

0	1	Abierto
1	0	Cerrado
1	1	Ocupado



**Figura 5** Motores de pasos integrados con sensores ópticos de herradura.

#### 2.4.2 Señales de comandos

El programa de LabView importa un archivo de texto que empieza a leer los datos línea por línea, esos datos son los valores de entrada en forma digital que se envían a la tarjeta de Arduino y el programa de LabView con el algoritmo desarrollado y las señales de entrada retroalimentadas de los sensores ópticos se encarga de activar un contador ascendente estableciendo el tiempo en segundos. El programa ejecuta esta matriz que corresponde a los elementos y al tiempo de duración en ese estado que identifican las películas o capas que se crecen ejecutándose cada iteración en la que se está leyendo, esto ocurre indefinidamente hasta la enésima iteración (n) o concluir el crecimiento.

Al	Ga	In	Tiempo (seg)
1	1	0	2

0	1	1	10
..	..	..	..
n	N	N	n

**Tabla 1.** Líneas a programar en el archivo de programación

Cuando el programa lee cada línea activa los motores finalizando cada secuencia con cerrar los obturadores para llevar un control homogéneo de las películas.

El programa cuenta con un botón booleano de stop ligado con la tecla de escape del teclado que finaliza la ejecución del programa esto por si se requiere abortar la operación.

#### 2.4.3 Programa de control

En la figura 6 se muestra la interfaz gráfica del control de los obturadores, en la parte superior corresponde a la opción manual. En la primera columna se localizan los botones de los elementos de los obturadores los que se presionan para habilitarlos, en la siguiente columna se encuentran indicadores tipo led indican el estado de los obturadores, la tercera columna muestra indicadores numéricos que contiene el comando enviados al Arduino Mega para accionar los motores, los comandos son los siguientes como se muestra en la tabla 2:

Comando	Estado
10	Abrir
01	Cerrar

**Tabla 2.** Comandos enviados a la plataforma de Arduino

En la parte inferior se encuentra el menú de operación programada para llevar a cabo un crecimiento de una estructura donde en forma alternada se requiere tener diferentes películas de diferentes materiales y con diferentes espesores.

Para que el programa se ejecute en forma programada se pulsa el botón booleano de programa. El software carga el archivo de texto previamente editado y empieza a correr desplegando en el indicador numérico el tiempo en segundos por cada película o capa, el estado de cada obturador se señala en indicadores tipo led si están activados se encienden, al extremo de estos se encuentra un temporizador que muestra el avance por cada película.

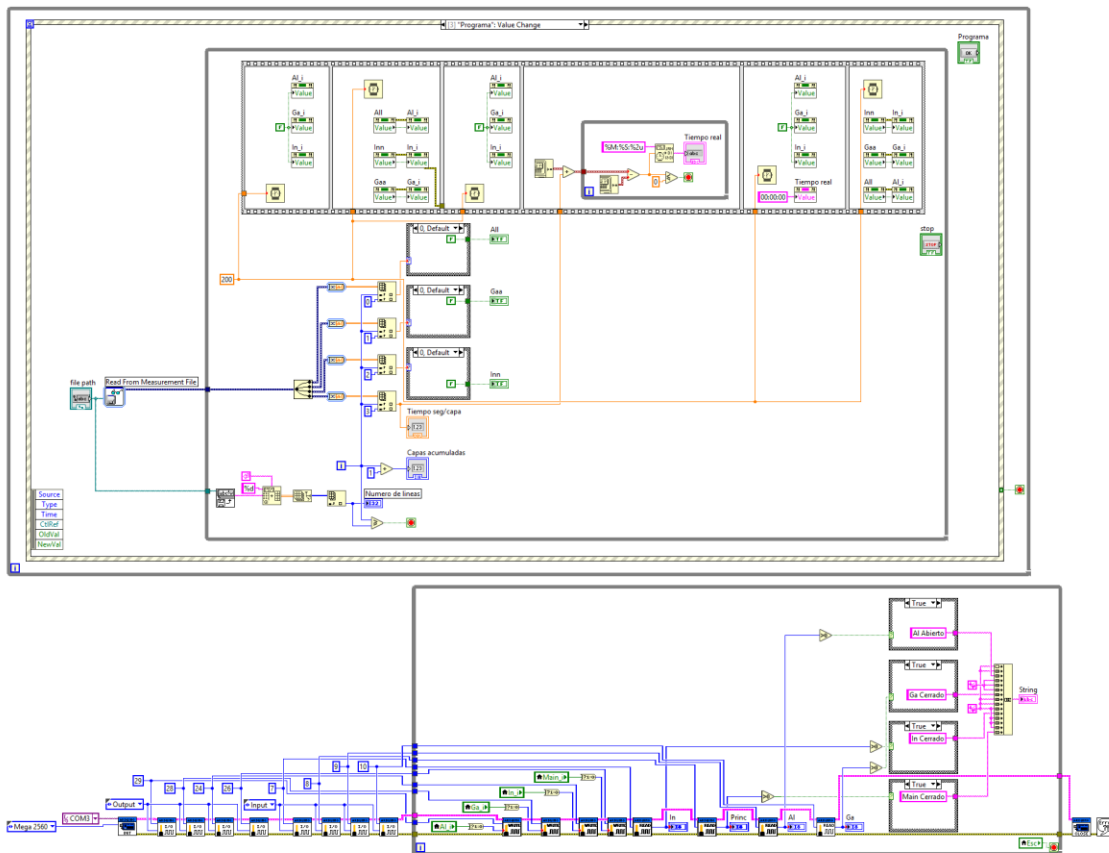
Al final se encuentran dos indicadores numéricos, el de la izquierda indica el número de líneas totales que se leyó del programa y el de la derecha indica el estatus de la línea actual.



**Figura 6** panel principal de la interfase de LabView

En la figura 7 se muestra el esquema del diagrama de bloques de la programación de los objetos de la LabView. Un Event Case permite escoger entre el modo manual y el modo

programado explicado líneas arriba y el caso de abortar la programación. El Event Case se ejecuta en un lazo While hasta que la condición de verdadera se cumpla, la condición está ligada a otro lazo While con variables locales que se ejecutan simultáneamente con la interfaz de Labview. Se cuenta con herramientas de Arduino para enviar y recibir datos del microcontrolador en donde se realizan las funciones de escritura y lectura digital y se procesan en el entorno grafico de LabView.



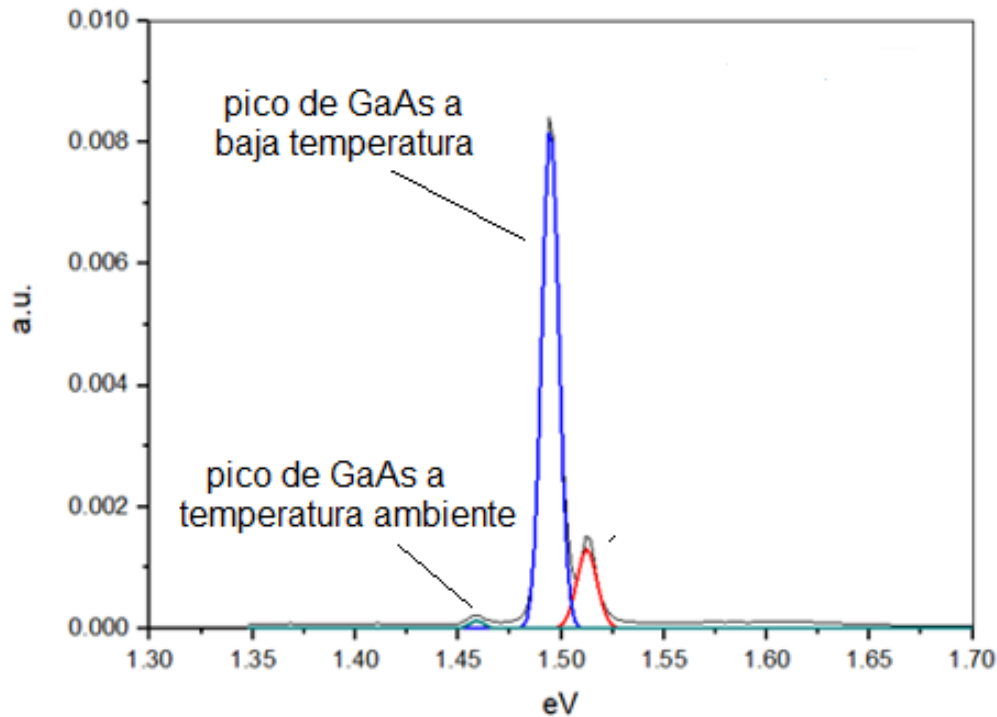
**Figura 7** Esquema del diagrama de bloques del programa en LabView

### 3. Resultados

La figura 8 muestra el espectro de fotoluminiscencia tomados a 14 K. correspondiente a las películas crecidas con la automatización, las características son pozo de GaAs de 4.5 nm de grosor insertado en barreras de 10 nm. de espesor de AlGaAs, crecidas sobre una película

buffer de 270 nm de GaAs y la película de tapa de GaAs de 20 nm. Los substratos de GaAs están orientados cristalográficamente en (631) tipo A.

La separación de 2 picos a baja temperatura en color azul es indicativa que está presente la estructura de pozo de GaAs y de barreras de AlGaAs.



**Figura 8.** Espectro de fotoluminiscencia realizado a 14k correspondiente a un pozo cuántico de GaAs de 4.5 nm de espesor

#### 4. Discusión

Con la automatización de sistema EHM, los investigadores pueden desarrollar sus propios programas de interfaz en sus computadoras personales en la comodidad de sus espacios de trabajo, hacer la depuración y pruebas que consideren apropiadas, incluso varios investigadores trabajando a la par sin depender de un solo equipo de cómputo. Cabe mencionar que por tratarse de un laboratorio con condiciones controladas de temperatura

llega a resultar incómodo permanecer varias horas programando la aplicación in situ, situación a la que se veía obligado el investigador antes de la presente actualización.

Es también importante señalar que la aplicación no es única y la interfaz permite a cualquiera que lo requiera experimentar nuevos aspectos de control del equipo del EHM.

## 5. Conclusión

El objetivo planteado se ha alcanzado, se implementó un medio de control para los obturadores de un sistema de epitaxia por haces moleculares, que permite tiempos de accionamiento mucho más precisos que los que se podía tener mediante el accionamiento manual, además de evitar el error humano. Este sistema permite programar y controlar desde una computadora personal el crecimiento de dispositivos optoelectrónicos el módulo retroalimenta la posición de los obturadores y verificar que el accionamiento de los obturadores sea correcto, de lo contrario puede indicarlo mediante un mensaje de error en el software de automatización. La comunicación de información entre la PC y la plataforma de Arduino requirió la implementación de un protocolo de comunicación por medio de señales digitales que permiten el flujo de información en ambos sentidos. Dado que se consiguieron tiempos de obturación de 0.1 segundo el tiempo de transición es el equivalente al depósito de 3 angstrom/seg de una película, esto posibilita la formación de interfases semiconductoras abruptas a nivel atómico.

## Referencias

- [1] R. D. d. L. Z. J. O. G. Ismael Lara Velázquez, «Fabricación de láseres semiconductores basados en puntos cuánticos de InAs insertados en un pozo de InGaAs por EHM,» *Pistas Educativas*, n° 108, pp. 262-275, 2014.
- [2] M. G. V. H. López López Máximo, «Autoensamblado de puntos cuánticos semiconductores,» *CINVESTAV*, pp. 44-49, 2008.

- [3] G. T. Á. N. Péter Kucsera, «Control of the MBE equipment for growth of nano structures,» *IEEE 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, 2010.
- [4] R. W. Larsen, *LabView for Engineers*, Pearson Education, 2010.
- [5] M. M. Roberts, *Beginning Arduino*, Springer Nature, 2010.
- [6] I. S. GROUP, «Shutter Controller Model ISC».
- [7] ©Arduino, «Main Site Blog Playground Forum Labs Store,» [En línea]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/1674878.pdf>.
- [8] J. Boxall, *ARDUINO WORKSHOP*, San Francisco: no starch press.