

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



XVIII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA "SIE 2019"

**Propuesta de automatización del sistema de enfriamiento de un láser
de CO2 utilizado en espectroscopía**

*Proposal for automatization of the cooling system of a CO2 laser used in
spectroscopy*

**Ing. D. F. Piñeiro¹, Dra. M. A. Vargas², Dr. S. Vergara³, Dr. F. Reyes Cortés⁴,
Dra. M. D. Grether⁵, Dra. A. Palomino Merino⁶**

1- David Ferreiro Piñeiro. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. E-mail: davidfp9210@gmail.com

2- María Aurora Diozcora Vargas Treviño. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. E-mail: aurora.vargas@correo.buap.mx

3- Sergio Vergara Limón. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. E-mail: sergio.vergara@correo.buap.mx

4- Fernando Reyes Cortés. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. E-mail: fernando.reyes@correo.buap.mx

5- Marcela Dolores Grether González. Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: mdgg@ciencias.unam.mx

6- Amparo Dora Palomino Merino. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. E-mail: ampalomino@gmail.com

Resumen: Se realiza un estudio de los principios básicos de funcionamiento de los dispositivos láser, características de emisión, potencias y clasificaciones de acuerdo con el medio activo que emplean, realizando hincapié en el láser gaseoso de CO2 por ser sobre

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



el cual se desarrollan los experimentos le será automatizado su sistema de enfriamiento. Se proponen los diagramas básicos de los diferentes lazos de control para el proceso de enfriamiento y se describe la lógica a implementar en la investigación. Se detallan 3 lazos de control, dos para la temperatura y un tercer lazo destinado a automatizar el sistema de llenado de los recipientes de agua para garantizar el enfriamiento. La principal motivación del trabajo va orientada a garantizar la seguridad de operación del experimento ubicado en el laboratorio de Resonancia y Luminiscencia de la UNAM a la vez que se garantiza minimizar las derivas en la emisión de la luz producto al aumento de la temperatura de operación.

***Abstract:** In the present research was studies the basic principles of operation the laser device, emission characteristics, powers and classification according to the active environment use, emphasizing in the gaseous CO₂ laser because for being on which the experiments are developed and the which will be automated your cooling system. The basic diagrams of the different control loop for the cooling process are proposed and the logic hat is proposed to be implemented in the development of the research process. 3 control loops are detailed, two for the temperature and third loop designed to automate the filling system of the water containers to guarantee cooling. The main motivation of the work is oriented to guarantee the safety operation of the experiment developed in the Resonance and Luminescence Laboratory of the UNAM, while minimizing the drift in the emission of the product light at the increase of the operating temperature.*

Palabras Clave: control de temperatura, láser, CO₂, automatización.

Keywords: temperature control, laser, CO₂, automation.

1. Introducción

El avance de la ciencia y la técnica ha permitido el desarrollo de dispositivos cuánticos que emiten luz de forma coherente, monocromática y direccional. La conjunción de estas tres propiedades ha viabilizado la interdisciplinariedad entre diversas áreas del

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



conocimiento, generando un sinnúmero de aplicaciones tanto en áreas de las ingenierías, como en las ciencias biológicas y exactas. El efecto fotoacústico fue descubierto en 1880 por Alexander Graham Bell (Graham Bell, 1880) y se basa en la conversión de la luz en energía térmica y ello en variaciones de presión que provocan sonidos al incidir sobre determinada muestra. Sus aplicaciones se extienden a la detección de contaminantes en la atmósfera o de productos maduradores en la fruticultura hasta la detección de componentes volátiles orgánicos, en particular en el análisis de metabolitos en el aliento humano como área creciente en el desarrollo de la medicina (Pérez Pacheco, et al., 2014). Este tipo de técnica de detección operan en el rango espectral de infrarrojo medio donde una gran cantidad de moléculas exhiben fuertes líneas de absorción correspondientes a sus transiciones rotacionales de vibraciones fundamentales. Para llevar a cabo este tipo de experimento se requieren condiciones específicas en cuanto a la fuente luminosa, para ello se ocupan los dispositivos láser.

El láser es un acrónimo del inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, es decir, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación, este dispositivo permite generar ondas electromagnéticas en el rango óptico. Si bien la emisión estimulada fue propuesta por Einstein en 1917 (Martínez de Mendivil Varas, 2015), no fue hasta 1960 cuando Maiman demostró la emisión estimulada a estas frecuencias empleando un cristal de Rubí (Maiman, 1960) (Hecht, 2000); desde entonces los avances han sido continuos.

En la actualidad existen diferentes tipos de láser que pueden ser clasificados en función del medio activo en el que se produce la emisión estimulada, entre ellos se pueden mencionar al láser gaseoso, el láser de estado sólido, los láseres semiconductores y los del tipo colorante. En el presente trabajo se realiza un estudio de los láseres gaseosos, específicamente un láser de CO₂.

El láser de CO₂ utilizado fue desarrollado y construido dentro del laboratorio de Resonancia y Luminiscencia de la UNAM y es de tipo axial, es decir, debido a las altas potencias que se manejan, su tubo capilar debe de ser refrigerado con agua para evitar operaciones mal deseadas.

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

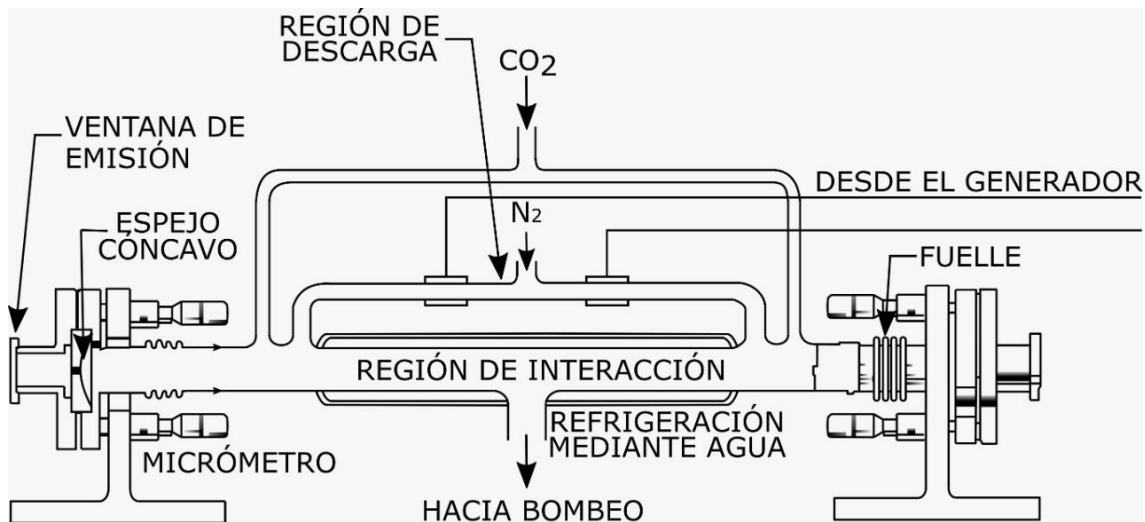


Figura 1 : Esquema de un láser de CO₂

Los estudios que generalmente se realizan sobre este tipo de dispositivos, se enfocan en sus aplicaciones prácticas y relegan a un segundo plano la importancia de los sistemas de enfriamiento en (Anon., 2006) (Aboites, et al., 1987) (Canales Sánchez, 2007) (Williams, 1997) se menciona la necesidad de realizar el proceso de enfriamiento sin embargo no se reporta ningún sistema de control automático. No obstante, en (Çıklaçandır & İslser, 2018) se realiza una propuesta de sistema de enfriamiento, pero para un láser de estado sólido. En el presente trabajo se propone un diseño inicial de un sistema de control completo para evitar un sobrecalentamiento en la operación del dispositivo láser que comprometa el desarrollo de los experimentos y la integridad física del personal cualificado que trabaja con el mismo. Por otra parte, se pretende eliminar una deriva de emisión que se encuentra relacionada con la temperatura de operación del dispositivo.

2. Metodología

En un láser gaseoso de CO₂ los niveles de energía se deben al movimiento oscilatorio de la molécula de carbono y no por la distribución de los electrones. La molécula se representa como un arreglo lineal de átomos O-C-O que vibran cada uno respecto a los demás. Los diferentes modos de vibración originan un conjunto de niveles de energía con transiciones que se ubican en el infrarrojo.

Entre los procesos físicos que sustentan la operación del láser se significan:

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- Absorción: ocurre cuando una onda electromagnética con energía $h\nu$ interactúa con un átomo o molécula que se encuentra en un nivel E_1 y se excita a un nivel superior de energía E_2 donde $h\nu \geq (E_2 - E_1)$.
- Emisión espontánea: Ocurre cuando un átomo o molécula, inicialmente con un nivel de energía E_1 es excitado a un nivel E_2 y después de un tiempo, el átomo o molécula decae al nivel E_1 emitiendo un fotón de energía $h\nu = (E_2 - E_1)$.
- Emisión estimulada: La emisión de un fotón por un átomo o molécula puede ser estimulada por una onda electromagnética con una energía igual o diferente a $(E_2 - E_1)$. Esto ocurre cuando un átomo o molécula es excitada a E_2 y después emite un fotón por emisión espontánea, este átomo o molécula interactúa con la onda electromagnética $h\nu = (E_2 - E_1)$.

Lo más complicado es lograr una inversión de población en el dispositivo cuántico que nos garantice el mantenimiento de la emisión estimulada del láser. Ahora bien; al ser un láser de tipo gaseoso, el nivel de radiación obtenida depende en gran medida de la composición de la mezcla empleada. En el caso que nos ocupa se utiliza:

- Dióxido de carbono CO₂ (10 – 20%)
- Nitrógeno N₂ (10-20%)
- Hidrógeno H₂ en pequeños porcentajes
- Helio He en cantidades suficientes para completar

Para un correcto funcionamiento se vuelve necesario mantener la temperatura de operación del tubo capilar por debajo de los 30 grados Celsius, temperaturas superiores podrían comprometer la estabilidad de todo el experimento, así como los resultados obtenidos.

En la Figura 2 se puede apreciar un diagrama general de la disposición de equipos en el laboratorio. Los equipos a los cuales es necesario controlar la temperatura son:

1. Tubo capilar del láser de CO₂
2. Atenuador de potencias ópticas

Por cuestiones obvias la principal problemática está en el control de la temperatura del tubo capilar en el cual se generan las mayores potencias.

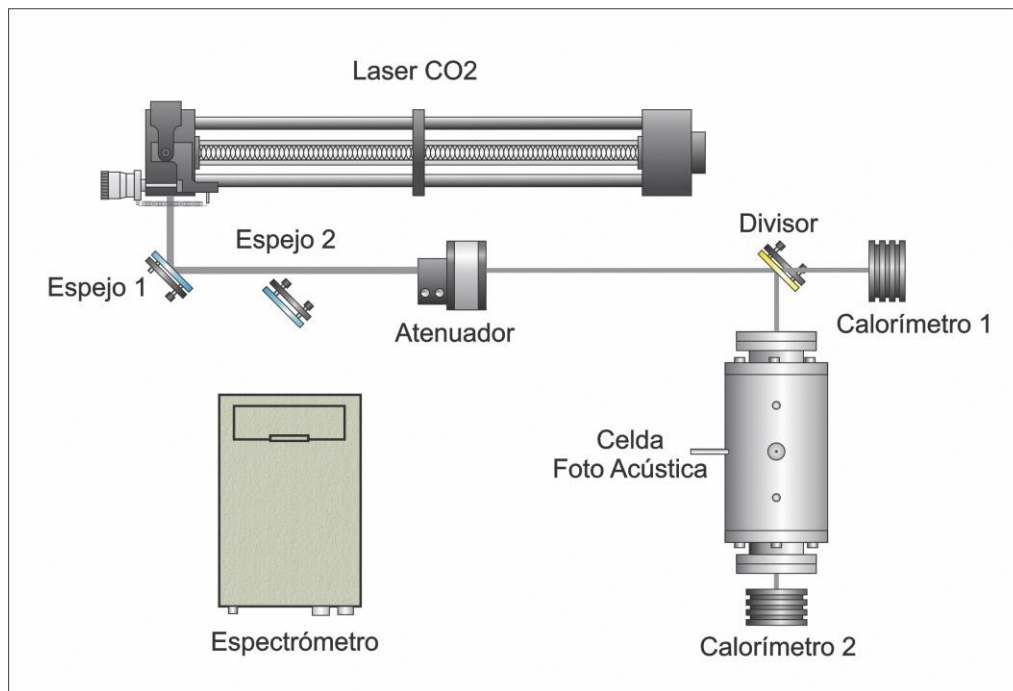


Figura 2: Diagrama general de funcionamiento del experimento

Con motivo de lo expresado anteriormente, se han propuesto tres lazos de control para esta aplicación:

1. Control de llenado de los reservorios de agua
2. Control de temperatura del tubo capilar del láser
3. Control de temperatura del atenuador de potencias ópticas

En la Figura 3 se presenta el diagrama de control general propuesto. Se puede apreciar que se emplearán como transductores a medidores de flujo, así como sensores de temperatura y en el caso de los actuadores se encuentran las electroválvulas de entrada y salida para garantizar el funcionamiento de los sistemas, así como las bombas de agua para mantener el flujo constante. En todo momento será reciclada el agua empleada para evitar derrames de este líquido de manera innecesaria.

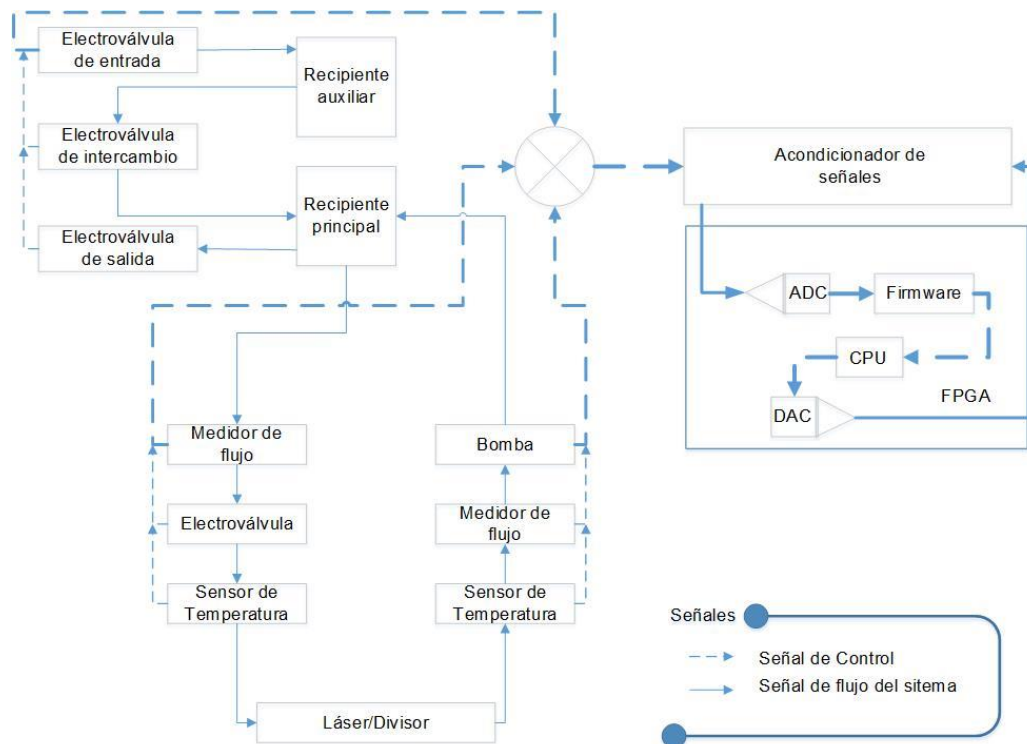


Figura 3: Diagrama general de control

Las principales problemáticas enfrentadas a la hora de realizar el diseño vienen dadas por las propias características del medio utilizado para realizar el enfriamiento. Como es bien conocido el agua tiene propiedades corrosivas que limitan el tiempo de vida útil de los sensores y electrodos que se encuentran en contacto con ella. En el diseño del control de llenado se pretende utilizar sensores de nivel, comercialmente nos encontramos que este tipo de circuitos se realizan sobre la base de CD sin embargo, las investigaciones han demostrado que cuando se le aplica CD al agua ocurre un proceso de reducción-oxidación que redundaría en la ruptura de la molécula de agua generando O_2 y H_2 , el aumento de la concentración de hidrógeno se traduce en la acidificación del agua en las proximidades de los electrodos y esto conlleva a su ruptura. Para evitar ese tipo de inconveniente se propone emplear para los electrodos de nivel una alimentación de CA, investigaciones han demostrado que la cantidad de electrólisis del agua disminuye en tanto se aumenta la frecuencia de trabajo (Hayden, 1907) con lo cual se evita la problemática descrita con anterioridad.

3. Resultados y discusión

En la Figura 4 se presenta el esquema lógico propuesto para realizar el control de llenado de los reservorios de agua para el sistema de enfriamiento.

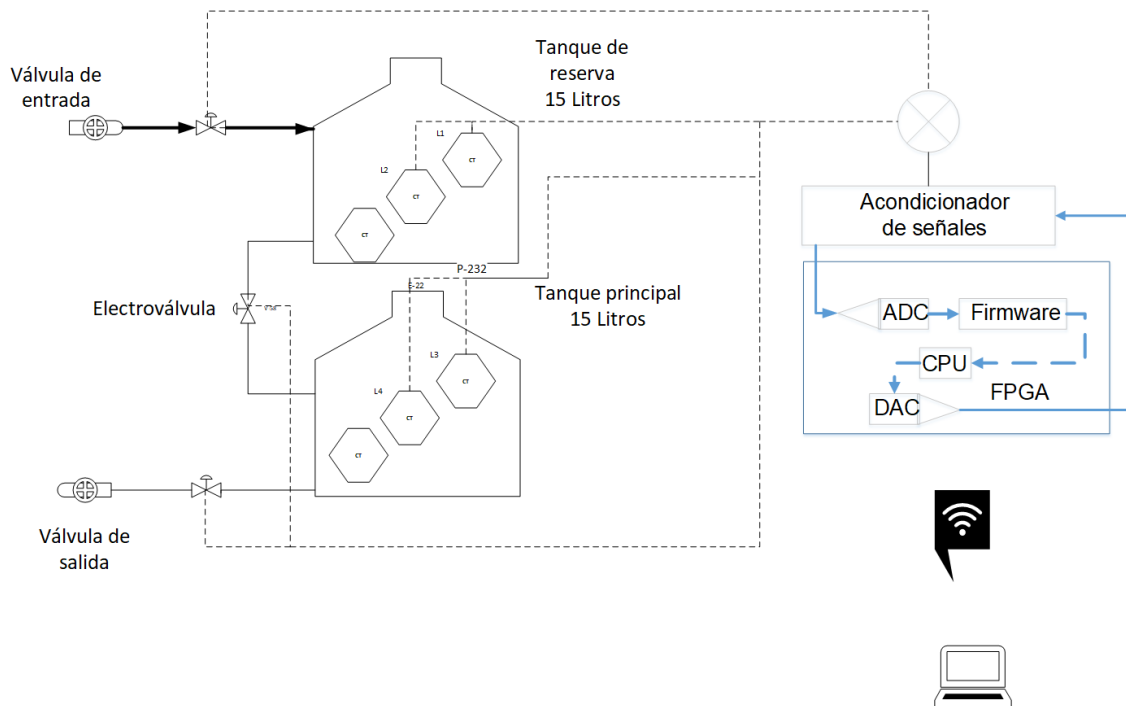


Figura 4: Diagrama de control del llenado de los recipientes.

Inicialmente se propone que los recipientes sean confeccionados de acero inoxidable con el objetivo de que sean resistentes a la acción corrosiva del agua y para que de manera general contribuyan al proceso de disipación de la temperatura.

El control por implementar será del tipo on/off de acuerdo con los ciclos de histéresis de llenado de los recipientes y para evitar de ese modo oscilaciones en el sistema que conlleven a inestabilidades o derrames.

La lógica propuesta para la programación de firmware se detalla a continuación:

- 1- El llenado del dispositivo de reserva se realizará en función de la disponibilidad de agua en la toma que llega del servicio público.

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



- 2- El proceso de desagüe se realizará con una periodicidad determinada de acuerdo a las características y especificaciones del experimento, pero teniendo en cuenta que solo se podrá realizar siempre y cuando el recipiente auxiliar cuente con disponibilidad de agua porque no se puede dar el caso de permitir el desagüe y que en su defecto no existan reservas para continuar con un adecuado funcionamiento del sistema.
- 3- El traspaso de agua de un recipiente a otro se hará bajo la lógica de garantizar en todo momento la disponibilidad del líquido porque en caso contrario no se puede realizar el experimento.
- 4- Todas las señales resultantes de los electrodos serán acondicionadas en el acondicionador de señales y desde ahí serán transmitidas al dispositivo FPGA

Todo el proceso de control se realizará a través del FPGA haciendo uso de la lógica descrita con anterioridad.

En la Figura 5 se puede observar el diagrama lógico de funcionamiento del lazo de control de temperatura propuesto para el láser. Se puede significar el empleo de una bomba de agua, 2 medidores de flujo, 2 sensores de temperatura y una electroválvula, todos conectados a un acondicionador de señales y este al FPGA en el cual se va a programar el firmware de control.

Como sensores de funcionamiento tendremos a los medidores de flujo y a los termómetros, y los actuadores serán la bomba hidráulica y la electroválvula. Todo el firmware que se programe será incluido en un macro software de control de todo el experimento, por cuanto lo que se propone en el presente avance de tesis es una parte funcional del experimento de forma general. Todo el sistema contará con interfaz wifi que permitirá la portabilidad del software a interés del usuario y garantizará la movilidad absoluta dentro del rango de trabajo, aumentando las potencialidades.

La lógica propuesta se expone a continuación:

- 1- Se comienza el experimento, si no se cuenta con suficiente agua en los depósitos se emite una alerta y se cancela la operación. (Acción de seguridad)

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

- 2- Si se cuenta con suficiente agua, se procede a permitir el paso por la electroválvula de control de flujo y se acciona la bomba hidráulica para garantizar la circulación del agua mientras dure el experimento.
- 3- Se mantendrá todo el tiempo comprobando el valor de temperatura que emiten los sensores y comparándoseles con un valor máximo de 50°C con una tolerancia máxima de 1°C con vistas a garantizar que no se salgan de los valores adecuados.
- 4- Mientras no se detecte ningún parámetro fuera de lo normal (temperatura, flujo de agua) el sistema continuará funcionando como está programado, en caso contrario, se emite una alarma y se detiene el proceso por cuestiones de seguridad.
- 5- Al finalizar el experimento se debe de garantizar que se cierra el flujo de agua a través de la electroválvula al tiempo que se elimina todo resto del líquido de los conductores para evitar que el agua estancada pueda generar algún perjuicio a largo plazo, teniendo en cuenta de que el experimento solo se ejecuta una vez a la semana.

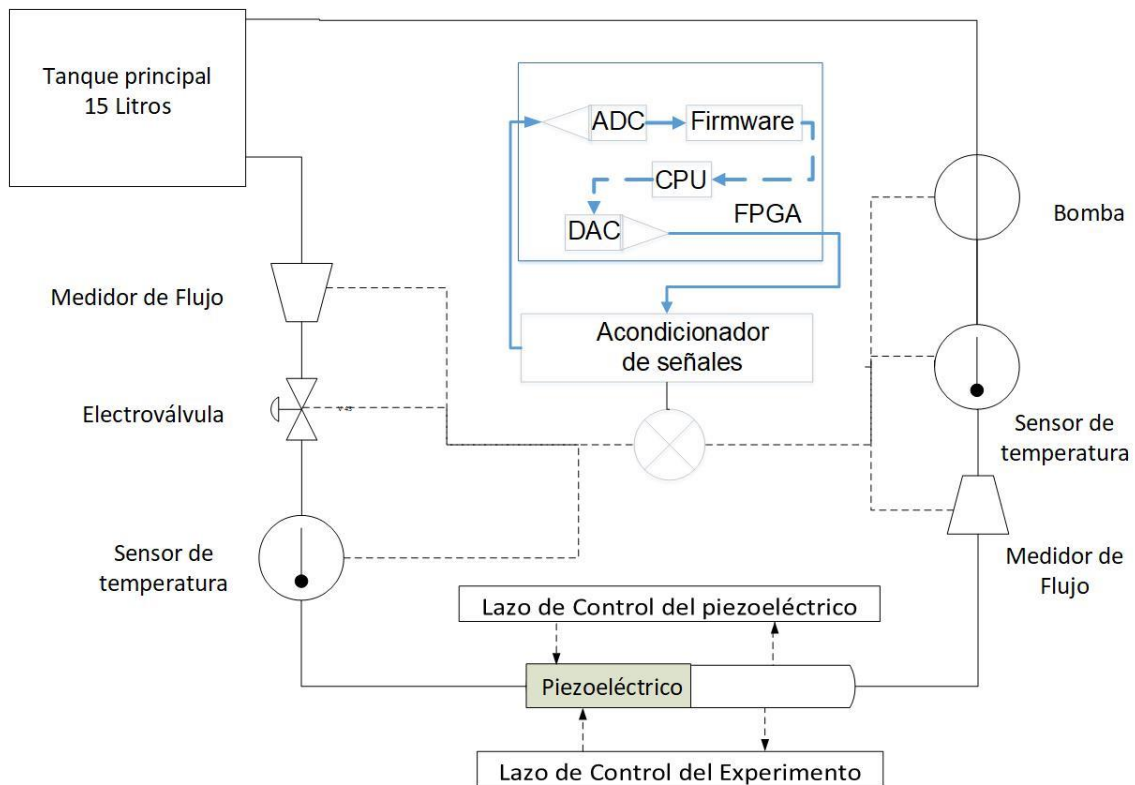


Figura 5: Diagrama de control de temperatura del láser.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Para realizar la implementación de los diferentes sistemas de control es necesario la caracterización de los componentes a utilizar entre los que podemos significar:

La tarjeta FPGA propuesta para desarrollar el firmware es la DE0CV, Figura 6.

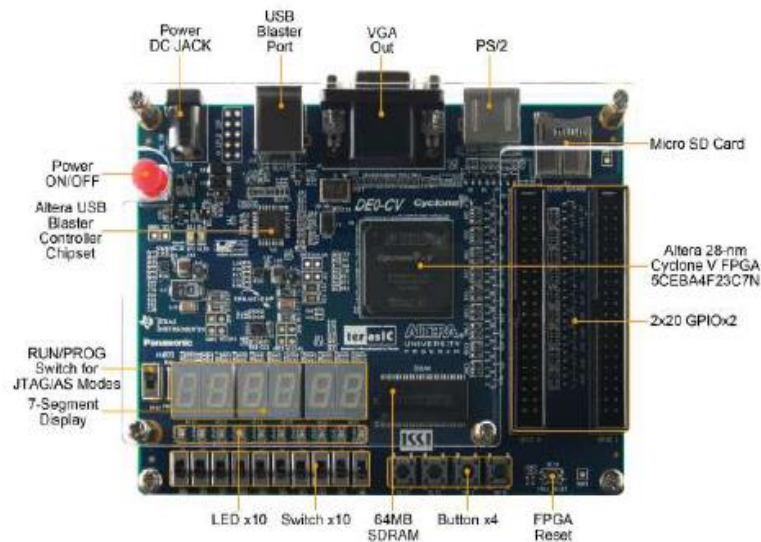


Figura 6: Tarjeta DE0CV

Esta tarjeta provee el siguiente hardware:

- FPGA 5CEBA4F23C7N de la familia de Altera Cyclone® V
- 49 K Elementos de lógica programable
- 3080 Kbits de memoria embebida
- Fuente de alimentación de 5 V
- Dispositivo de configuración serial de Altera EPCS64
- 64 Mbyte SDRAM, x 16 bits de bus de datos
- Dos bloques de 40 pines de expansión

En el caso de los sensores de temperatura se propone implementar un control utilizando el sensor DS18B20, Figura 7, este sensor es de tipo digital, configurable y permite obtener una resolución de 9 a 12 bits para una tensión de alimentación de 5 V. Por otro lado posee una dirección de 64 bits por defecto única que permite identificar el dispositivo que se está utilizando dado el caso de que existan más de unos.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Para su comunicación utiliza el protocolo 1-Wire empleando la transmisión serie por un único terminal de datos. Es un sensor bien versátil y permite una respuesta lineal en un rango desde los -50° hasta los 125°C



Figura 7: Sensor de temperatura

Aplicaciones del sistema propuesto

Este sistema permite realizar el control efectivo de la temperatura de operación del tubo capilar del dispositivo cuántico. Ello redundaría en garantizar la seguridad de operación del equipamiento y del personal que trabaja en el laboratorio. Es necesario realizar un proceso de cuantificación de manera práctica de en cuanto disminuye la deriva de las propiedades de emisión del láser una vez esté completado todo el sistema de enfriamiento para de esta forma realizar una valoración más acertada de los impactos de este en la calidad de los resultados obtenidos.

4. Conclusiones

Se presenta una propuesta inicial para un sistema de control de temperatura para un láser de CO_2 que se encuentra en el Laboratorio de Resonancia y Luminiscencia en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Se definen los lazos de control a implementar, así como los sensores, actuadores y otros componentes necesarios para realizar la implementación. Se realizó para ello un proceso de caracterización de cada uno de los mismos.

Los diagramas de control propuestos se diseñaron para lograr el control de la variable física de temperatura en función de los intereses de los especialistas que trabaja en el laboratorio. El esquema de control permitirá garantizar la seguridad de operación del

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



dispositivo cuántico a la vez que mejorará los resultados obtenidos por cuanto limitará la deriva en las características de emisión que presenta el dispositivo láser.

Una vez ocurra la implementación de todo el sistema se necesita cuantificar la manera real en la cual disminuyen las perturbaciones en las características de emisión del dispositivo cuántico una vez haya sido controlado el comportamiento de la variable física. Los diagramas propuestos incluyen la utilización de interfases inalámbricas que garantizarían la movilidad del personal del laboratorio y les permitiría no depender de los equipos de cómputos para realizar el procesamiento de los resultados. El proceso de automatización del sistema de enfriamiento permitirá la operación sin riesgos, desde un punto de vista de la seguridad, del dispositivo cuántico y de esta manera se ampliarán las posibilidades experimentales y sus aplicaciones.

5. Referencias bibliográficas

Çıklaçandır, S. & İslser, Y., 2018. *Design of a New Mechanism in Medical Applications With Laser*. Izmir, Turkey, s.n.

Aboites, V. y otros, 1987. Láser de CO₂. *Revista Mexicana de Física*, Issue 3, pp. 489-497.

Anon., 2006. Gas lasers. *CRC Press*.

Caligulu, U., Taskin, M., Kejanli, H. & Orhan, A., 2012. Interface characterization of CO₂ laser welded austenitic stainless steel and low carbon steel couple. *Industrial Lubrication and Tribology*, LIV(4), pp. 196-207.

Canales Sánchez, M. E., 2007. El laser de media potencia y sus aplicaciones en medicina. *Plasticidad y Restauración neurológica*, 6(1).

Chang, H., 2012. *Is Water H₂O?*. s.l.:Springer, Dordrecht.

Domínguez-Rocha, V. y otros, 2014. *Diseño de una cavidad fotoacustica para aplicaciones médicas*. Puerto Vallarta, Jalisco, México, s.n.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



- Estevez, F. & Alonso, H., 2007. Effect of Co2 Laser Radiation on Surface. *Research Journal of Textile and Apparel*, XI(3), pp. 42-47.
- Graham Bell, A., 1880. Upon the production and reproduction of sound by light. 9(34).
- Hayden, J., 1907. Alternating-current electrolysi. *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, 26(2).
- Hecht, E., 2000. *Óptica*. Madrid: Addisson Wesley Iberoamericana.
- Maiman, T., 1960. Stimulated Optical Radiation in Ruby. *Nature*, Issue 187, pp. 493-494.
- Martínez de Mendivil Varas, J., 2015. *Láseres integrados en dobles tungstatos y niobato de litio basados en guías de onda ridge*, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Pérez Pacheco, A. y otros, 2014. *Detección fotoacústica de Bio-marcadores para el análisis de metabolitos en el aliento humano*. Tonantzintla, s.n.
- Schawlow, A. L. & Townes, C. H., 1958. Infrared and Optical Masers. *Physical Review*, Issue 112, pp. 1940-1949.
- Williams, C., 1997. CO2 laser processing - an overview. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 69(1), pp. 43-52.
- Yagci, M., 2017. *Design of Microcontroller Controlled YAG Laser Device Cooling Systems using Thermoelectric Materials*. s.l., s.n.