

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320065122>

Control System for Solid State Pulsed Laser

Article · January 2003

CITATIONS

0

READS

2,959

1 author:



[Bradies Lambert](#)

University of Havana

21 PUBLICATIONS 25 CITATIONS

SEE PROFILE

Sistema de control electrónico para láser pulsado de estado sólido

B. J. Lambert;¹ A. Durán;¹ J. Picans;¹ M. Arronte;¹ T. García;¹ A. Lastres²

¹ Laboratorio de Tecnología Láser; Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.

² Centro de Investigaciones en Microelectrónica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE, Ciudad de La Habana, Cuba.

RESUMEN / ABSTRACT

Se presenta el sistema de control para el láser pulsado de Nd:YAG tipo PLC-Art. Este sistema interactúa con los demás sistemas del láser para garantizar el funcionamiento correcto del mismo. El uso de un microcontrolador permite ejecutar con eficiencia y precisión temporal los comandos básicos de operación del láser e implementar funciones adicionales como la comunicación serie y la detección de eventos peligrosos en la operación del equipo.

Palabras clave: sistema de control, láser, microcontrolador.

It is presented the Control System for the Nd:YAG pulsed laser PLC-Art. This interacts with other systems in the laser to guarantee their proper functioning. The use of a microcontroller permits to execute efficiently and with temporal accuracy basic operation commands of the laser and to implement supplementary functions as serial communication and detection of dangerous events during the operation of the laser.

Key words: control system, laser, microcontroller.

Recibido: diciembre 2002

Aprobado: marzo 2002

INTRODUCCIÓN

El sistema de control para láser pulsado de Nd:YAG tipo PLC-Art¹ garantiza el funcionamiento correcto de este al interactuar con los demás sistemas del láser. En la tabla 1 se exponen sus características fundamentales y en la figura 1 se presenta un esquema simplificado de las partes del láser PLC-Art.

La barra láser² es de Nd:YAG y en ella ocurre el efecto inversión de población que permite obtener la radiación láser. Para ello, debe ser excitada con la radiación emitida por la lámpara de destello.³ Esta última, junto a la fuente de excitación, conforma el sistema de bombeo óptico (figura 2), sobre el cual se ejecutan las acciones de control para establecer el correcto funcionamiento del láser.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO ÓPTICO

La **fuente de energía** se utiliza para cargar el capacitor incluido en la **red de formación del pulso**. Este, entrega la energía a la lámpara de destello en el momento de disparo del láser. El circuito de disparo genera pulsos de alto voltaje y corta duración con el objetivo de ionizar la lámpara y de esta manera reducir su impedancia, que inicialmente es de decenas de gigaohm (GΩ), hasta valores ligeramente inferiores a 1 GΩ.^{4,5} A partir de este momento, la **fuente de calentamiento** entrega una corriente directa que mantiene a la lámpara en estado de conducción y baja impedancia, lista para aceptar la descarga energética desde el capacitor. Con la lámpara en este estado, el **sistema de control**

Tabla 1 Características fundamentales del láser PLC-Art	
Régimen de trabajo	Pulsado
Frecuencia de trabajo	De 1 a 10 Hz
Longitud de onda	1 064 nm
Energía por pulso	300 mJ

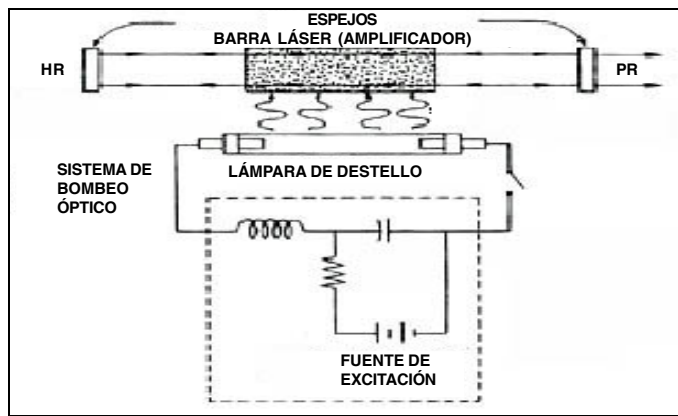


Figura 1
Esquema simplificado de un láser pulsado de estado sólido.

envía la señal que conmuta al tiristor de **carga** para permitir el almacenamiento de energía en el capacitor. Posteriormente envía la señal de **disparo**, que conmuta al tiristor correspondiente para dar paso a la descarga energética a través de la lámpara de destello. Las señales de **carga y disparo** deben tener la frecuencia establecida por el operador del láser. Nunca deben coincidir temporalmente, pues en este caso la lámpara de destello queda conectada directamente a la **fuerza de energía** a través de ambos tiristores y circula una corriente continua de gran magnitud, que puede provocar su ruptura y la de otros elementos. Para repetir el disparo, el **sistema de control** reenvía, con la secuencia adecuada, las señales de **carga y disparo**. La frecuencia máxima depende de los tiempos de carga y descarga del capacitor y del tiempo de recuperación de los tiristores.⁶

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO ÓPTICO DEL LÁSER PLC-ART

El sistema de bombeo óptico está habilitado para recibir, de forma óptica, los comandos de carga y de disparo del láser. Además, emite señales ópticas de forma continua, mientras la lámpara de destello se mantenga ionizada y mientras que la tensión de alimentación alterna se mantenga estable en $220\text{ VCA} \pm 10\%$. Su circuito de disparo es autoconsistente, una vez que se le aplica la alimentación, comienza a generar los pulsos y solo cesa cuando la lámpara se ioniza y pasa a la condición de **listo**.

El comando de **carga** debe durar 20 ms, posteriormente es necesario esperar un tiempo de 5 ms (t_{ret1}) antes de enviar el comando de **disparo**, que debe tener una duración de 70 ms. Al concluir este último deben esperarse al menos 5 ms (t_{ret2}) antes de enviar el próximo comando de **carga**. La duración de t_{ret2} define la frecuencia de trabajo.

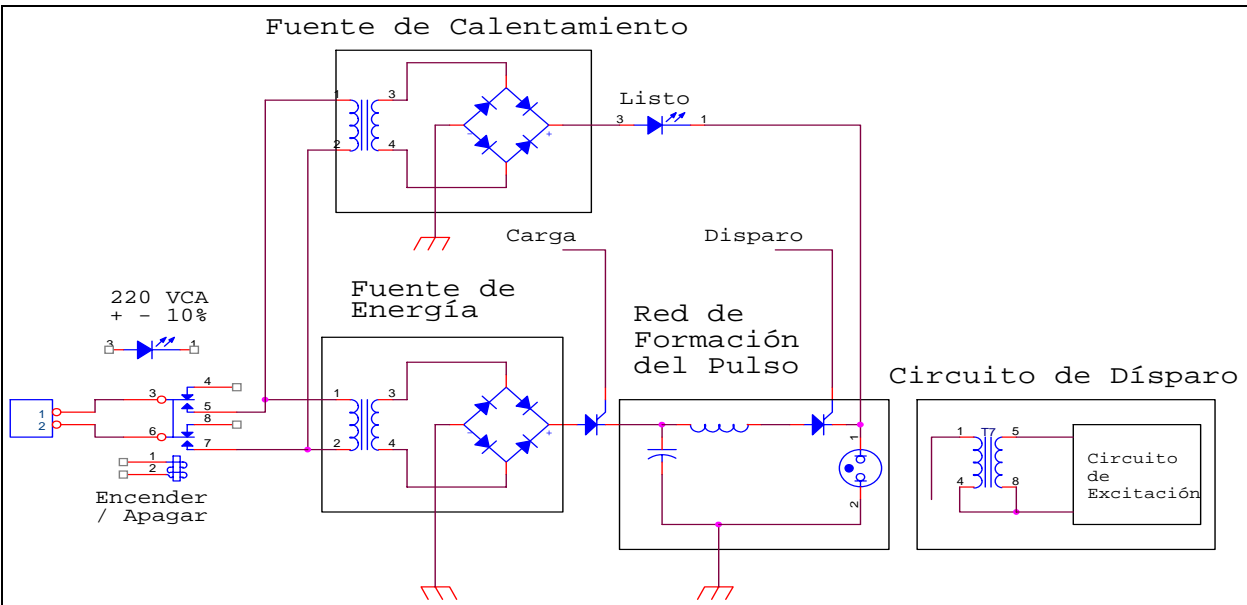
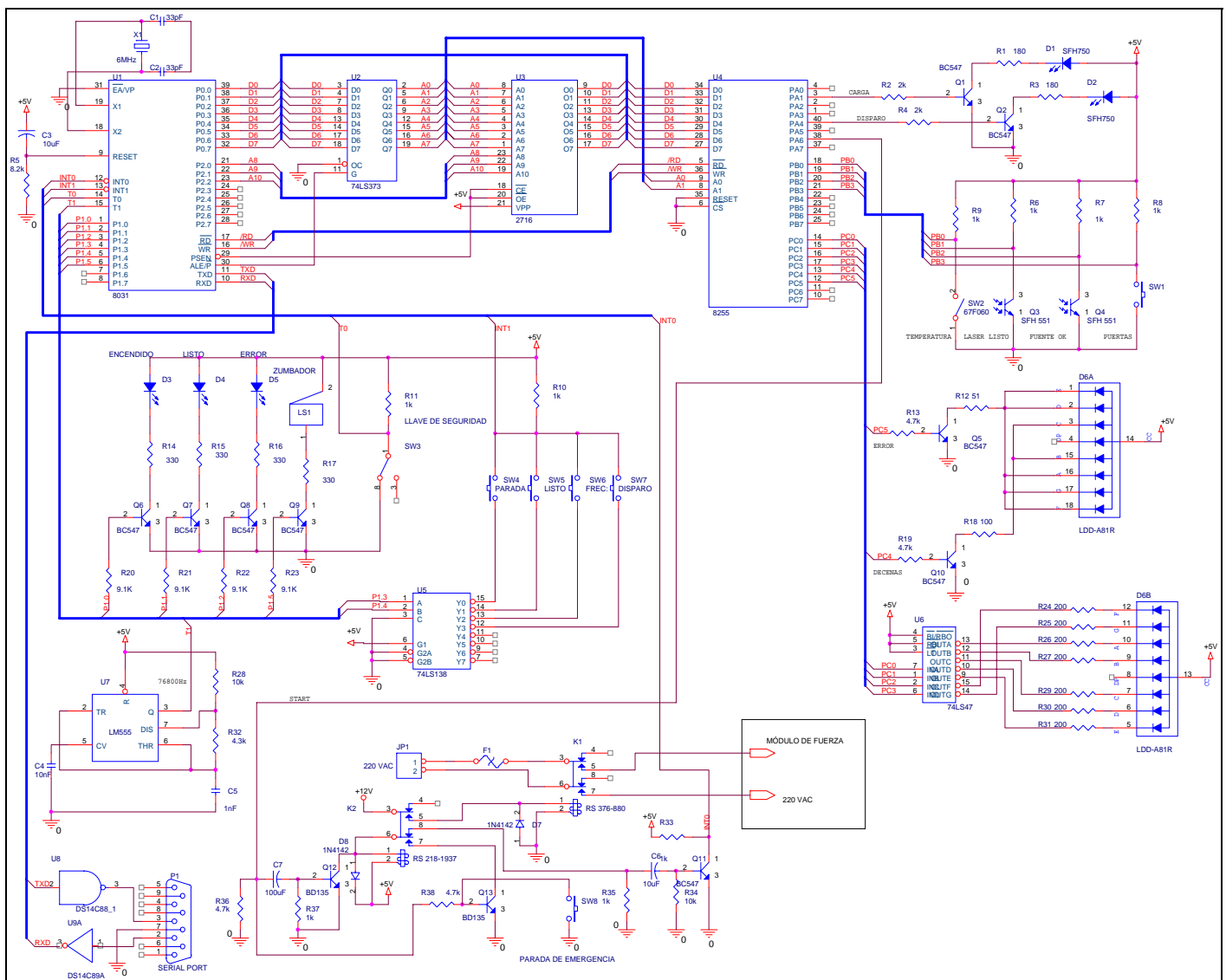


Figura 2
Diagrama eléctrico simplificado del sistema de bombeo óptico.

- Encendido y apagado del láser.
- Generación y sincronización de los comandos de **carga** y de **disparo**.
- Detección del estado de conducción de la **lámpara de destello**.

- Generación de señales de aviso sonoro.
- Establecimiento de la comunicación vía RS-232 con una PC o microprocesador externo.
- Detección e indicación de las distintas condiciones de alarma.
- Apagado automático del láser después de cinco minutos de inactividad.

Debido al amplio conjunto de tareas a realizar y considerando que algunas son rutinarias y requieren gran precisión temporal, se decidió utilizar un CPU como elemento fundamental de este sistema. Se seleccionó el microcontrolador 80C31 de INTEL, considerado como un estándar para aplicaciones de mediana complejidad por su facilidad de manejo y alto nivel de prestaciones.⁷



17

DISEÑO ELÉCTRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

El **sistema de control** se divide en los doce bloques funcionales mostrados en la figura 4.

•BLOQUE MICROCONTROLADOR-MEMORIA

El microcontrolador, valiéndose del programa almacenado en la memoria, activa consecuentemente el resto de los bloques para generar todas de las acciones de control.

•BLOQUE PUERTO PARALELO

Es un puerto paralelo programable 8255 que trabaja en modo 0.⁸ Sus puertos **A** y **C** se utilizan como salidas y el puerto **B** como entrada.

•Puerto A

PA1 genera la señal de **carga**. Se activa durante 20 ms para que el LED D1 envíe esta señal mediante una fibra óptica conectada al **sistema de bombeo óptico**.

PA4 genera la señal de **disparo** durante 20 ms, que también se aplica mediante fibra óptica al **sistema de bombeo óptico**.

PA6 se activa para permitir el paso de energía eléctrica al **sistema de bombeo óptico**. Se desactiva para lograr el efecto contrario.

•Puerto B

Mediante cuatro de sus líneas se detectan las distintas condiciones de alarma. Permanecen en "0" en condiciones de operación normal. Al pasar a "1" se activan las siguientes indicaciones:

PB0: Sobrecalentamiento.

PB1: Lámpara no ionizada.

PB2: Tensión de alimentación de alterna (220VAC) fuera de su rango de operación.

PB3: Chasis o puertas del equipo mal cerradas.

•Puerto C

Genera la información que se representa en las lámparas de siete segmentos (**D6A** y **D6B**) ubicadas en el panel frontal del láser.

PC0 a **PC3** alimentan las entradas del decodificador **BCD** a siete segmentos que excita a **D6B**.

PC4 y **PC5** activan directamente los segmentos de la segunda lámpara de siete segmentos (**D6A**) para representar la letra **E** (cuando se detecta alguna condición de error) o el dígito 1 (para indicar la decena cuando el láser está trabajando a 10 Hz).

•BLOQUE DECODIFICADOR Y TECLADO

Se comunica con U1 mediante las líneas P1.3, P1.4 e INT1. Está formado por un decodificador 74LS138 (U5) y el teclado compuesto por cuatro interruptores tipo Pulsador (SW4 a SW7).

U1 envía un código de dos bits (0,0; 0,1; 1,0; y 1,1) de forma sucesiva, por las líneas P1.3 y P1.4 conectadas a las dos entradas menos significativas de U5. Como resultado, por sus líneas de salida Y0 a Y3, se desplaza un 0, permaneciendo cada línea en ese estado durante 1ms. Al presionar cualquiera de las teclas, la línea INT1 pasa a 0 y activa la solicitud de interrupción. Para identificar la tecla presionada, durante la subrutina de atención se lee el estado de las líneas P1.3 y P1.4.

•BLOQUE LED Y ZUMBADOR PANEL FRONTAL

Brinda información sobre el estado de funcionamiento del láser mediante los LED D3 a D5 y el zumbador LS1, ubicados en el panel frontal. Cada uno tiene un significado particular (equipo encendido, equipo listo y error, respectivamente). El zumbador genera una señal audible, que sirve como indicación sonora al operador del láser.

•BLOQUE OSCILADOR

Genera un tren de pulsos con frecuencia de 76 800 Hz, usado por el temporizador T1 del microcontrolador como señal de reloj para la transmisión serie.

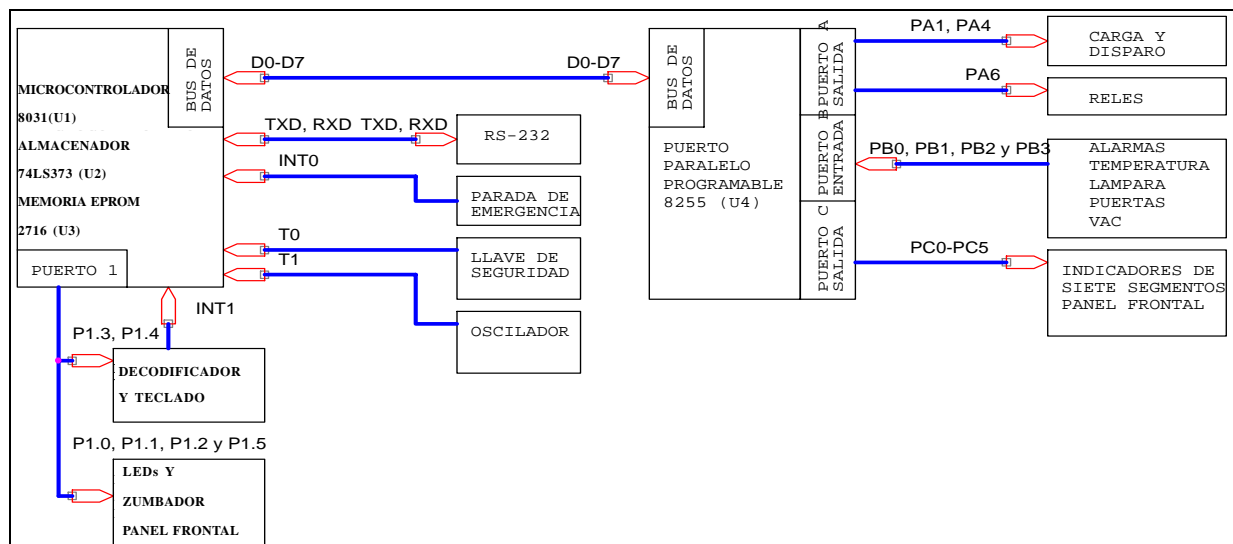


Figura 4
Diagrama en bloques del sistema de control.

• BLOQUE LLAVE DE SEGURIDAD

Se ha situado un interruptor (SW3) en el exterior del láser, que solo puede ser conmutado usando una llave que posee el personal autorizado a operar el equipo. Cuando esta abierto, la línea T0 de U1 permanece activa. El programa de control detecta esta condición, impide el funcionamiento del equipo y genera la indicación de error correspondiente.

• BLOQUE PARADA DE EMERGENCIA

Interrompe el funcionamiento del láser en el momento que se pulsa el interruptor SW8, situado en el panel frontal.

• BLOQUE RS-232

Convierte los niveles digitales TTL que utiliza el microcontrolador, a los niveles de trabajo de la interfaz serie RS-232 y viceversa.

• BLOQUE CARGA-DISPARO

Genera las señales ópticas de carga y disparo.

• BLOQUE RELÉS

Controla el suministro de energía a la fuente de excitación del láser.

• BLOQUE ALARMAS

Compuesto por los cuatro sensores que detectan las condiciones que pueden generar alarma durante la operación del equipo.

• BLOQUE INDICADORES DE SIETE SEGMENTOS

Representa la información correspondiente a la frecuencia de trabajo o al código del error detectado.

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control está formado por un cuerpo principal y cuatro subrutinas fundamentales que son:

- Subrutina de atención a la interrupción 0 (INT0), que brinda el servicio de parada por emergencia (hardware).
 - Subrutina de atención a la interrupción 1 (INT1), que brinda el servicio de la atención al teclado del láser (hardware).
 - Subrutina de atención a la interrupción del contador-temporizador 0 (software). Es una de las secciones fundamentales y tiene máxima prioridad. Interrumpe cada 1 ms y se usa como base de tiempo principal.
 - Subrutina de atención a la interrupción del contador-temporizador 1 (software). Se utiliza como reloj del puerto serie.
- Además, existen otras subrutinas que se encargan de tareas como:
- Atender a las alarmas.
 - Activar de la señal sonora de aviso.
 - Establecer la condición de listo.
 - Generar las señales de carga y disparo.
 - Establecer la frecuencia de trabajo.
 - Enviar información por el puerto serie.
 - Borrar el contador de tiempo de inactividad del láser.

• Funcionamiento del programa principal

Verifica la existencia de condiciones de alarma. Ante la ocurrencia de una de ellas, pasa a la subrutina de atención adecuada. Si no hay alarma, entra a un ciclo de espera por la recepción de comandos de operación del láser. Estos comandos pueden ser enviados desde una PC remota por el puerto serie, o generados por el teclado. Ante la recepción de un comando, este se decodifica y para pasar a la subrutina de atención adecuada, según se aprecia en el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.

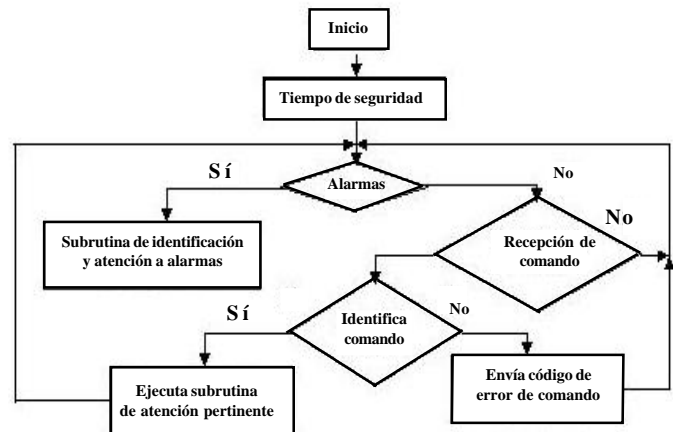


Figura 5
Diagrama de flujo del programa principal.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA

Las formas de onda mostradas en las figuras 6 y 7, se obtuvieron en los terminales de salida del sistema de control encargados de generar los comandos de carga y disparo, usando un osciloscopio digital programable Tektronix TDS 210.⁹ En cada oscilograma, la señal de **disparo** ocupa la parte superior y la de **carga**, la inferior.

Se aprecia que la duración de la señal de **carga** es de 70 ms. Entre el flanco negativo de la señal de **carga** y el flanco positivo de la de **disparo** hay un tiempo de retardo (t_{ret1}) de 5 ms. Inmediatamente después se genera la señal de **disparo** con duración de 20 ms. A continuación hay un tiempo de retardo (t_{ret2}) que depende de la frecuencia de trabajo seleccionada, pero que en ningún caso es inferior a los 5 ms y a continuación se genera la próxima señal de **carga**, de acuerdo con la frecuencia de trabajo seleccionada.

Las formas de onda mostradas en las figuras 8 y 9, se obtuvieron haciendo incidir la radiación emitida por el equipo, sobre un fotodiodo que alimenta un circuito conversor corriente-voltaje. Este circuito genera un pincho negativo cada vez que la radiación incidente lo excita. En el primer caso la frecuencia de trabajo es de 10 Hz y en el segundo de 2 Hz.

Se aprecia que el período entre disparos es de 100 ms y 500 ms respectivamente, lo cual se corresponde con la frecuencia de trabajo seleccionada.

CONCLUSIONES

El sistema de control diseñado es capaz de:

- Generar con precisión las señales de **carga** y **disparo** a la frecuencia seleccionada por el operador.

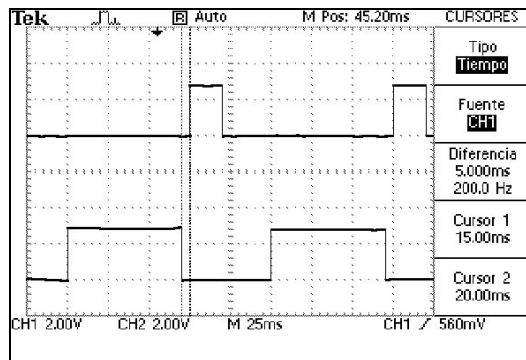


Figura 6
Láser trabajando a 8 Hz.

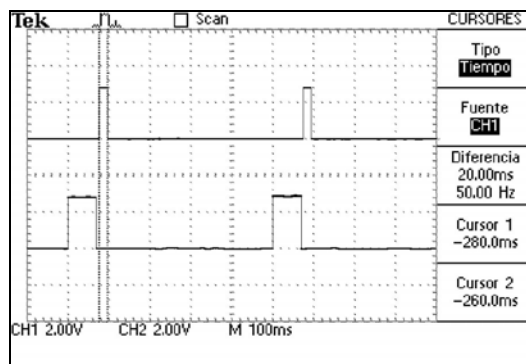


Figura 7
Láser trabajando a 2 Hz.

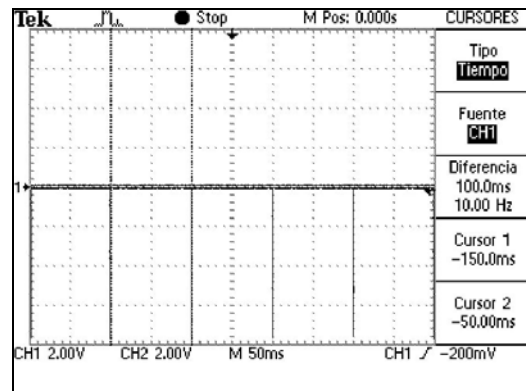


Figura 8
Láser trabajando a 10 Hz.

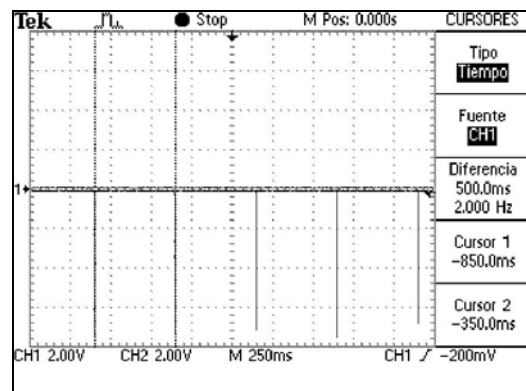


Figura 9
Láser trabajando a 2 Hz.

- Establecer la comunicación serie RS-232, con una PC o microcontrolador remoto.
- Desconectar el equipo a los cinco minutos de no detectar ningún comando de operación.
- Representar en el panel frontal la información correspondiente a las condiciones de operación fundamentales.
- Detectar la ocurrencia de condiciones de alarma y generar las señales de aviso sonoro y visual correspondientes.

REFERENCIAS

1. LAMBERT, BRADIES J. *et al.*: "Desarrollo del Láser PLC-Art para restauración de obras de arte"; *Revista Cubana de Física*; Vol. 18; No. 1; pp. 45-48, Ciudad de La Habana, 2001.
2. MATHEWS, STEPHEN J.: "Light From Crystals"; *Laser Focus World*; Vol. 37; No. 11; pp. 115-122, Nashua 2001.
3. LITTLECHILD, J.: *High Performance Flash and Arc Lamps*; Book 1, 2nd ed., pp. 1-14, Q-Arc; 1989.
4. "Laser and Electro Optic Technologies: Module 3-2 Pulsed Laser Flash Lamps and Power Supplies", CORD Inc; [en línea]. CCI Publishing, citado febrero 2002. Texas, 2001. Disponible en World Wide Web.
5. KOECHNER, W.: "Solid State Laser Engineering"; *Springer*; pp. 88-293, Germany, 1999.
6. "Laser and Electro Optic Technologies: Module 3.3 Energy Transfer in Solid State Lasers", CORD Inc., [en línea]. CCI Publishing, citado febrero 2002. Texas, 2001. Disponible en World Wide Web http://cord.org/cm/leot/course03_mod03_03.htm
7. *Microcontroller Handbook*; pp. 7.1-7.35 y 8.1-8.85, INTEL Corp; 1986.
8. *Microprocessor and Peripheral Handbook*, Vol. II, pp. 2.63-2.86, Peripheral; INTEL Corp; 1987.
9. "Tektroniks TDS 210, TDS 220, TDS 224 Digital Real Time TM Oscilloscopes 4/99 HB/XBS 40W_10992_4", Tektroniks Inc; [en línea]. Beaverton, Oregon U. S. A, [citado marzo 2002]. Disponible en World Wide Web: <http://www.tektroniks.com>

AUTORES

Bradies J. Lambert Navarrete

Ingeniero en Automática. Máster en Electrónica, Aspirante a Investigador. Se dedica al desarrollo e investigación de equipamiento láser y sus aplicaciones
Correo electrónico: bradies@ff.oc.uh.cu

Alejandro Durán Carrillo

Ingeniero en Equipos y Componentes Electrónicos, Máster en Electrónica. Se dedica a la automatización de experimentos mediante técnicas de instrumentación virtual.
Correo electrónico: duan@ff.oc.uh.cu

Tupak García Fernández

Ingeniero Físico, Doctor en Ciencias Físicas, Investigador Agregado. Se dedica a la investigación y desarrollo de equipos láseres, así como en sus aplicaciones
Correo electrónico: tupac@ff.oc.uh.cu

Alberto Lastres Capote

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular
Correo electrónico: alberto.lastres@cime.cujae.edu.cu