

# Índice general

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Agradecimientos</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Objetivo</b>   | <b>11</b> |
| <b>1. Introducción</b>  | <b>12</b> |
| <b>2. Tecnología láser</b>  | <b>14</b> |
| 2.1. Láser de Helio-Neón. . . . .                                       | 15        |
| 2.1.1. Características Espectrales del Helio-Neón. . . . .              | 15        |
| 2.1.2. Funcionamiento del Láser de Helio-Neón. . . . .                  | 16        |
| 2.1.3. Algunas aplicaciones de los Láseres de Helio-Neón. . . . .       | 17        |
| 2.2. Láser de Argón ionizado . . . . .                                  | 18        |
| 2.2.1. Características Espectrales del Argón ionizado. . . . .          | 18        |
| 2.2.2. Funcionamiento del Láser de Argón Ionizado. . . . .              | 19        |
| 2.2.3. Algunas aplicaciones del Láser de Argón Ionizado. . . . .        | 20        |
| 2.3. Láser de semiconductores. . . . .                                  | 21        |
| 2.3.1. Características Generales de un Semiconductor. . . . .           | 21        |
| 2.3.2. Láseres de Semiconductores. . . . .                              | 23        |
| 2.3.3. Algunas aplicaciones de los láseres de semiconductores. . . . .  | 30        |
| 2.4. Diodo láser. . . . .   | 32        |
| 2.4.1. Especificaciones de funcionamiento de los Diodos Láser . . . . . | 32        |
| 2.4.2. Parámetros del Diodo Láser. . . . .                              | 35        |
| 2.4.3. Ventajas de los Diodos Láser. . . . .                            | 36        |
| 2.4.4. Diferencias que existen con los láseres convencionales. . . . .  | 36        |
| 2.4.5. Algunas aplicaciones de los diodos láser. . . . .                | 37        |
| <b>3. Controladores</b>   | <b>39</b> |
| 3.1. Funcionamiento de los motores a pasos. . . . .                     | 39        |
| 3.1.1. Unipolares. . . . .  | 40        |
| 3.1.2. Bipolares. . . . .   | 42        |
| 3.2. Controlador del motor a pasos . . . . .                            | 44        |
| 3.3. Introducción a la instrumentación virtual. . . . .                 | 44        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 3.3.1.    | LabVIEW. . . . .  | 46         |
| 3.3.2.    | NI USB 6009 DAQ. . . . .  | 48         |
| 3.3.3.    | Elección de la interfaz remota o bus de comunicación. . . . .               | 55         |
| 3.3.4.    | GPIO (IEEE-488.2). . . . .  | 56         |
| 3.4.      | Controlador de Diodos Láser. . . . .  | 57         |
| 3.4.1.    | Controlador LDC501 de Stanford Research Systems. . . . .                    | 57         |
| 3.4.2.    | Manipulación del LDC501 de manera manual. . . . .                           | 59         |
| 3.4.3.    | Manipulación del LDC501 de manera digital. . . . .                          | 60         |
| <b>4.</b> | <b>Diseño del prototipo</b>   | <b>61</b>  |
| 4.1.      | Hardware . . . . .  | 62         |
| 4.1.1.    | Diseño del controlador del motor a pasos . . . . .                          | 62         |
| 4.1.2.    | Control de velocidad . . . . .  | 65         |
| 4.1.3.    | Platina de precisión . . . . .  | 67         |
| 4.1.4.    | Acoplamiento mecánico . . . . .   | 69         |
| 4.1.5.    | Excellon . . . . .  | 73         |
| 4.1.6.    | Placa de polarización . . . . .   | 75         |
| 4.1.7.    | Placa de montaje y encoder . . . . .  | 75         |
| 4.1.8.    | Montaje del revólver láser . . . . .  | 77         |
| 4.1.9.    | Polarización de diodos . . . . .  | 84         |
| 4.1.10.   | Sensor infrarrojo . . . . .   | 86         |
| 4.1.11.   | Caracterización del dispositivo . . . . .                                   | 88         |
| 4.1.12.   | Colimación del haz láser . . . . .  | 88         |
| 4.2.      | Interfaz gráfica para el revólver láser. . . . .                            | 90         |
| 4.2.1.    | Diagrama de bloques para manipular el motor a pasos . . . . .               | 90         |
| 4.2.2.    | Diagrama de bloques para manipular el controlador de diodos láser . . . . . | 91         |
| 4.2.3.    | Bloques básicos de la presente programación gráfica . . . . .               | 94         |
| <b>5.</b> | <b>Prueba y aplicación del revólver de diodos láser</b>                     | <b>97</b>  |
| 5.1.      | Calibración del prototipo. . . . .  | 97         |
| 5.2.      | Aplicación demostrativa con el prototipo. . . . .                           | 100        |
| 5.2.1.    | Índice de refracción . . . . .  | 100        |
| 5.2.2.    | Índice de gradiente. . . . .  | 101        |
| 5.2.3.    | Índice de gradiente de refracción en un medio estratificado. . . . .        | 102        |
| 5.2.4.    | Resultados Experimentales. . . . .  | 104        |
|           | <b>Conclusiones</b>   | <b>110</b> |
|           | <b>Apéndice</b>   | <b>114</b> |

# Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Ejemplos de varios elementos ópticos. . . . .  | 13 |
| 2.1. Diagrama de energía del sistema He-Ne. . . . .   | 16 |
| 2.2. Diagrama esquemático de un láser He-Ne. . . . .  | 18 |
| 2.3. Niveles energéticos de Ar. . . . .   | 19 |
| 2.4. Esquema típico de un láser de argón ionizado. . . . .                                  | 20 |
| 2.5. Potencial $V(x)$ producido por un conjunto de átomos en una dimensión $x$ . . . . .    | 22 |
| 2.6. Bandas de valencia y de conducción en un conductor. . . . .                            | 22 |
| 2.7. Bandas de valencia y conducción de diversos materiales. . . . .                        | 23 |
| 2.8. Bandas de valencia de un semiconductor. . . . .  | 25 |
| 2.9. Bandas de valencia y conducción en un semiconductor. . . . .                           | 26 |
| 2.10. Diagrama de un semiconductor en polarización directa. . . . .                         | 27 |
| 2.11. La potencia de salida de un láser semiconductor . . . . .                             | 29 |
| 2.12. Construcción práctica de un láser semiconductor. . . . .                              | 30 |
| 2.13. Aplicaciones de estos láseres en sistemas electro-ópticos de comunicación. . . . .    | 31 |
| 2.14. Aplicación de los diodos láser . . . . .  | 32 |
| 2.15. Los dos tipos principales de chip de diodos láser . . . . .                           | 34 |
| 2.16. Láser típico “horizontal” montado en su paquete . . . . .                             | 35 |
| 2.17. Diodo monitor . . . . .   | 35 |
| 2.18. Emisión del láser . . . . .   | 36 |
| 2.19. Un láser puede cortar hojas de acero con características y formas distintas . . . . . | 38 |
| 3.1. Motor a pasos. . . . .   | 40 |
| 3.2. Panel de un automóvil . . . . .  | 45 |
| 3.3. Tarjeta NI USB 6009. . . . .   | 49 |
| 3.4. Pines de tarjeta DAQ USB 6009. . . . .   | 51 |
| 3.5. Diagrama de bloques de una tarjeta DAQ. . . . .  | 53 |
| 3.6. Latencia vs. Ancho de banda . . . . .  | 55 |
| 3.7. Controlador de Diodos Láser LDC501 . . . . .   | 57 |
| 3.8. Esquema de conexión LDC501-Diodo láser . . . . .                                       | 59 |
| 3.9. Especificaciones de un diodo láser . . . . .   | 59 |
| 4.1. Diagrama a bloques del sistema. . . . .  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2. Circuito propuesto en la página web de sistemas de corte. . . . .                       | 63 |
| 4.3. Circuito impreso rediseñado del controlador de motor a pasos . . . . .                  | 64 |
| 4.4. Foto del controlador del motor a pasos. . . . .   | 64 |
| 4.5. Simulación del circuito generador de pulsos en Multisim. . . . .                        | 65 |
| 4.6. Diseño de circuito impreso en Adobe Illustrator del generador de pulsos. . . . .        | 66 |
| 4.7. Foto del generador de pulsos. . . . .   | 66 |
| 4.8. Platina M-472. . . . .  | 67 |
| 4.9. Relleno 471-I. . . . .  | 67 |
| 4.10. Revólver con clip rotatoria de 8 tiros. . . . .  | 68 |
| 4.11. Tipos de desalineación. . . . .  | 71 |
| 4.12. Acoplamiento flexible con prisioneros. . . . .   | 72 |
| 4.13. Acoplamientos flexibles ranurados de aluminio. . . . .                                 | 72 |
| 4.14. Excellon Mark V. . . . .   | 73 |
| 4.15. Ruteado del enconder y circunferencia . . . . .  | 74 |
| 4.16. Placa de polarización en su forma simple. . . . .                                      | 75 |
| 4.17. Diseño de circuito con su máscara antisoldadura . . . . .                              | 76 |
| 4.18. Placa encoder, la cual nos asegura un posicionamiento más confiable. . . . .           | 76 |
| 4.19. Dimensiones del láser Ión-Argón Stellar-Pro 457/10. . . . .                            | 78 |
| 4.20. Dimensiones del Láser multilínea He-Ne. . . . .  | 78 |
| 4.21. Dimensiones de la Platina de precisión(a) y el Motor a pasos(b). . . . .               | 79 |
| 4.22. Plano dimensional del prototipo. . . . .   | 80 |
| 4.23. Placa base de aluminio. . . . .  | 81 |
| 4.24. Materiales usados en el montaje del prototipo. . . . .                                 | 81 |
| 4.25. Foto del prototipo con placa de polarización. . . . .                                  | 83 |
| 4.26. Foto del prototipo completo. . . . .   | 83 |
| 4.27. Piezas que conforman el sistema para polarizar los diodos láser. . . . .               | 85 |
| 4.28. Conector DB-9 macho/macho. . . . .   | 85 |
| 4.29. Aspecto físico del sensor infrarrojo y su esquema representativo de operación. . . . . | 86 |
| 4.30. Esquemático del circuito para sensado. . . . .   | 86 |
| 4.31. Tarjeta para el sensor con las dimensiones justas para el sensado. . . . .             | 87 |
| 4.32. Foto de la tarjeta del sensor. . . . .   | 87 |
| 4.33. Sistema de calibración. . . . .  | 88 |
| 4.34. Base para la montura de la lente. . . . .  | 89 |
| 4.35. Panel frontal de control del revólver de diodos láser. . . . .                         | 90 |
| 4.36. Diagrama de bloques de la parte de control del motor a pasos en LabVIEW. . . . .       | 91 |
| 4.37. Diagrama de bloques de la parte de control del LDC501 en LabVIEW. . . . .              | 91 |
| 4.38. Estructura de casos que contiene la información de cada diodo láser. . . . .           | 92 |
| 4.39. Estructura de configuración del GPIB en modo de escritura. . . . .                     | 92 |
| 4.40. Retardo entre lectura y escritura. . . . .   | 93 |
| 4.41. Estructura de configuración del GPIB en modo de lectura. . . . .                       | 93 |
| 4.42. DAQmx start task (VI). . . . .   | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.43. DAQmx stop task (VI).   | 94  |
| 4.44. DAQmx write (VI).   | 94  |
| 4.45. DAQ assistant express VI.   | 95  |
| 4.46. GPIB read function.   | 95  |
| 4.47. GPIB write function.  | 95  |
| 4.48. Decimal string to number function.  | 96  |
| 4.49. Select function.  | 96  |
| 4.50. Simple error handler VI.  | 96  |
|   |     |
| 5.1. Modificación de la conductividad eléctrica del brazo flexible.                 | 98  |
| 5.2. Haz de un láser color azul no colimado.  | 99  |
| 5.3. Concentración del haz láser usando una lente colimadora.                       | 99  |
| 5.4. Refracción de la luz en la interfaz entre dos medios                           | 100 |
| 5.5. Refracción atmosférica regular(a), “looming”(b), y espejo(c).                  | 102 |
| 5.6. Recipiente de acrílico con agua y miel.  | 103 |
| 5.7. Deflexión de un rayo luminoso  | 104 |
| 5.8. Fenómeno del índice de gradiente con un láser de $\lambda = 514nm$ .           | 106 |
| 5.9. Fenómeno del índice de gradiente con un láser de $\lambda = 457nm$ .           | 106 |
| 5.10. Fenómeno del índice de gradiente con un láser de $\lambda = 660nm$ .          | 107 |
| 5.11. Fenómeno del índice de gradiente con un láser de $\lambda = 488nm$ .          | 107 |
| 5.12. Fenómeno del índice de gradiente con un láser Multilínea.                     | 107 |
| 5.13. Fenómeno del índice de gradiente después de 48 horas con el láser multilínea. | 109 |
| 5.14. Fenómeno del índice de gradiente después de 48 horas con el láser verde.      | 109 |

© Copyright 2011 por César Andrés Orozco Cuauhtémoc y Arturo Ortiz Madin  
 Todos los derechos reservados