



**Escuela Universitaria  
de Ingeniería Técnica  
Industrial de Zaragoza**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**MEMORIA ACADÉMICA**

**ESTUDIO SOBRE LAS  
APLICACIONES INDUSTRIALES  
DEL LÁSER**

**Alumno:** Javier Esténoz Valenzuela

**Especialidad:** Electrónica Industrial

**Director:** Miguel Ángel Torres Portero

**Convocatoria:** Marzo 2011



# Índice

<b>1.- Introducción.....</b>	2
<b>2.- Desarrollo.....</b>	3
<b>3.- Planificación del proyecto.....</b>	6
<b>4.- Ejecución y seguimiento tutorial.....</b>	7
<b>5.- Balance de horas.....</b>	8
<b>6.- Conclusiones personales.....</b>	9
<b>7.- Agradecimientos.....</b>	10
<b>8.- Bibliografía.....</b>	11



## 1.- Introducción

El objeto de este proyecto es indagar en las aplicaciones del láser, en especial en el ámbito industrial. También se desarrolla el funcionamiento del láser, los elementos que lo componen y los diferentes tipos que existen.

Elegí este proyecto fin de carrera porque vi una manera de conocer esta herramienta, el láser, ya que su uso está muy extendido y creo que en el futuro será una pieza importante en las nuevas tecnologías.

Puedo decir que antes de realizar este trabajo tenía unos conocimientos básicos sobre el láser, pero gracias a este trabajo me he dado cuenta que es una herramienta muy útil en la industria y conocerla me podrá abrir muchas puertas en mi carrera profesional.



## 2.- Desarrollo

El documento principal de proyecto es la memoria, la cual sigue el siguiente índice:

<b>1.- Introducción histórica.....</b>	4
<b>2.- Estructura y funcionamiento del láser.....</b>	7
<b>2.1.- Absorción.....</b>	10
<b>2.2.- Emisión espontánea de radiación.....</b>	11
<b>2.3.- Emisión estimulada de radiación.....</b>	12
<b>2.4.- Bombeo.....</b>	12
<b>2.5.- Resonador óptico.....</b>	15
<b>3.- Tipos de láseres.....</b>	18
<b>3.1.- Láser sólido.....</b>	18
<b>3.1.1.- Láser de cromo en rubí sintético.....</b>	18
<b>3.1.2.- Láser de neodimio-YAG.....</b>	23
<b>3.2.- Láser de gas .....</b>	24
<b>3.2.1.- Láser de helio-neón.....</b>	25
<b>3.2.2.- Láser de CO2.....</b>	31
<b>3.3.- Láser semiconductor.....</b>	33
<b>3.3.1.- Funcionamiento y características principales.....</b>	33
<b>3.3.2.- Láser de heteroestructura.....</b>	43
<b>3.3.3.- Láser de pozo cuántico.....</b>	46
<b>3.3.4.- Láser de hilo cuántico.....</b>	51
<b>3.3.5.- Láser de punto cuántico.....</b>	52
<b>3.3.6.- Diodo láser azul.....</b>	53
<b>3.4.- Otros láseres .....</b>	54
<b>4.- Seguridad.....</b>	58
<b>5.- Tratamiento del haz.....</b>	67



<b>5.1.- Transformaciones de un haz láser.....</b>	67
<b>5.2.- Interacción del láser con los materiales.....</b>	69
<b>5.3.- Enfoque del haz.....</b>	72
<b>5.4.- Estado superficial del material.....</b>	73
<b>5.5.- Régimen de funcionamiento del láser .....</b>	73
<b>5.6.- Aporte de gas.....</b>	73
<b>5.7.- Elementos ópticos.....</b>	75
<b>6.- Sistemas láser.....</b>	81
<b>7.- Aplicaciones.....</b>	90
<b>    7.1.- Soldadura de materiales .....</b>	91
<b>        7.1.1.- Proceso de soldadura por láser.....</b>	91
<b>        7.1.2.- Soldadura de metales.....</b>	95
<b>        7.1.3.- Geometría de soldadura.....</b>	105
<b>        7.1.4.- Microsoldadura y soldadura de no metales</b>	106
<b>        7.1.5.- Ejemplos de aplicación.....</b>	110
<b>        7.1.6.- Comparativa con otros métodos de soldadura.....</b>	116
<b>    7.2.- Corte de materiales.....</b>	118
<b>        7.2.1.- Proceso de corte por láser.....</b>	118
<b>        7.2.2.- Sistemas de corte.....</b>	122
<b>        7.2.3.- Corte de metal.....</b>	126
<b>        7.2.4.- Corte de plásticos.....</b>	127
<b>        7.2.5.- Corte de madera.....</b>	129
<b>        7.2.5.- Corte de otros materiales.....</b>	130
<b>        7.2.6.- Ejemplos de aplicación.....</b>	131
<b>        7.2.7.- Comparativa con otros métodos de corte</b>	134
<b>    7.3.- Perforado de materiales.....</b>	136
<b>        7.3.1.- Proceso de perforado por láser.....</b>	136
<b>        7.3.2.- Geometría del taladrado.....</b>	141



<b>7.3.3.- Ejemplos de aplicación.....</b>	143
<b>7.3.4.- Comparativa con otros métodos de perforado.....</b>	147
<b>7.4.- <i>Marcaje de materiales</i>.....</b>	149
<b>    7.4.1.- Proceso de marcaje por láser.....</b>	149
<b>    7.4.2.- Tipos de marcaje.....</b>	156
<b>    7.4.3.- Ejemplos de aplicación.....</b>	165
<b>    7.4.4.- Comparativa con otros métodos de marcaje.....</b>	170
<b>7.5.- <i>Tratamiento superficial</i>.....</b>	174
<b>    7.5.1.- Proceso de tratamiento superficial por láser.....</b>	174
<b>    7.5.2.- Endurecimiento térmico.....</b>	175
<b>    7.5.3.- Fusión superficial.....</b>	177
<b>    7.5.4.- Aleación superficial.....</b>	179
<b>    7.5.5.- Ejemplos de aplicación.....</b>	181
<b>7.6.- <i>Otras aplicaciones</i>.....</b>	188
<b>    6.4.1.- Medición tridimensional con láser.....</b>	188
<b>    6.4.2.- Medición de velocidad.....</b>	199
<b>    6.4.3.- Sistemas de conteo.....</b>	212
<b>    6.4.4.- Nivelación de terrenos agrícolas.....</b>	216
<b>8.- Perspectivas de futuro de las aplicaciones del láser.....</b>	218
<b>9.- Normativa.....</b>	230
<b>10.- Bibliografía.....</b>	241



### 3.- Planificación del proyecto

Desde el mes de abril de 2010 en que me puse en contacto por primera vez con mi tutor, Miguel Ángel Torres Portero, el cronograma de acciones y pasos para la realización de este proyecto ha sido la siguiente:

Tarea	Inicio	Fin	2010									2011		
			Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	mar
Documentación	Jun-2010	Feb-2011												
Redacción del Proyecto	Sep-2010	Feb-2011												
Redacción de la Memoria Académica	Ene-2011	Feb-2011												
Preparación de la presentación	Feb-2011	Mar-2011												



## 4.- Ejecución y seguimiento tutorial

Durante todo el proyecto, he mantenido constante contacto con mi tutor, Miguel Ángel Torres Portero, bien vía correo electrónico o mediante reuniones. A continuación, se detallan las reuniones realizadas:

---

**Fecha: 20/04/2010**

**Asuntos tratados:**

Primera reunión en la que Miguel Ángel me orienta sobre la realización del PFC y me explica los objetivos del proyecto.

---

**Fecha: 4/05/2010**

**Asuntos tratados:**

Presentación, características y elaboración de las pautas a seguir para la realización del proyecto

---

**Fecha: 15/07/2010**

**Asuntos tratados:**

Mediante correo electrónico le mando el índice completo de mi proyecto

---

**Fecha: 21/07/2010**

**Asuntos tratados:**

Como el primer índice de mi trabajo tenía errores, le mando el índice revisado y definitivo de mi proyecto.

---

**Fecha: 5/10/2010**

**Asuntos tratados:**

Reunión en el despacho donde acordamos la entrega del proyecto para la convocatoria de marzo de 2011

---

**Fecha: 18/01/2011**

**Asuntos tratados:**

Dudas sobre la realización de la memoria académica. Revisión de los documentos realizados.



## 5.- Balance de horas

El total aproximado de horas dedicadas a este proyecto son:

Concepto	Total horas
Recopilación de información	235
Estudio de la materia y principios básicos	90
Redacción de la memoria	450
Redacción de la memoria académica	8
Elaboración del CD	2
Reuniones con el tutor	1
<b>Total</b>	<b>786</b>



## 6.- Conclusiones personales

Después de realizar este proyecto, estoy muy satisfecho ya que he aprendido mucho sobre una herramienta muy utilizada industrialmente.

Además, es una herramienta de futuro por lo que es un tema interesante en mi formación ya que en un futuro es posible que tenga que trabajar con ella.

Otra característica importante es la versatilidad de los sistemas láser. Los láseres tienen muchos campos de aplicación, por lo que los conocimientos adquiridos en la realización de este proyecto me serán útiles en diferentes áreas de trabajo.



## 7.- Agradecimientos

En primer lugar y como no puede ser de otra manera, quiero agradecer a mi tutor, Miguel Ángel Torres Portero, la predisposición que siempre ha tenido para ayudarme en todos los problemas que me han surgido durante la realización de este proyecto.

A mis padres, hermano y demás familia, por su apoyo y comprensión que siempre han mostrado, y sin los cuales nunca podría haber estudiado esta carrera.

Y por último a mis compañeros y amigos, que me han apoyado siempre y me han ayudado en lo que les he pedido.

A todos ellos, MUCHAS GRACIAS.



## 8.- Bibliografía

### - Libros utilizados:

- *Aplicaciones industriales del láser*, L. Bachs, J. Cuesta, N. Carles, 1988
- *Láser, tecnología y aplicaciones*, Samuel L. Marshall, 1972
- *El láser: principios básicos*, Édgar González, 2003

### - Páginas web:

- <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/>
- <http://www.wikipedia.org>
- [http://docencia.itz.uam.mx/mfg/laseres1/material\\_adicional/material.htm](http://docencia.itz.uam.mx/mfg/laseres1/material_adicional/material.htm)
- <http://www.interempresas.net>
- <http://www.df.uba.ar/~acha/Lab5/Lasersemicond.pdf>
- <http://www.gnclaser.es>
- <http://www.envapack.com/883/>
- <http://www.obtesol.es>
- <http://www.argimetal.com>
- <http://www.scribd.com/doc/43471225/Soldadura-Por-Laser>
- <http://www.uslascercorp.com/envoy/welding.html>
- <http://www.robotiker.com/es>
- <http://www.ifer.es/opencms/opencms/ifer/es/tecnologia/soldadura/>
- [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Laser\\_cutting](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Laser_cutting)
- <http://ing-instalar.com.ar/procesos/laser.html>
- <http://www.lcs-laser.com>
- <http://www.trotec.net>
- <http://www.corte-laser.com>
- <http://www.rofin.es>
- <http://www.aimen.es>
- [http://www.consilium.europa.eu/prado/es/glossaryPopup.html#\\_147\\_1](http://www.consilium.europa.eu/prado/es/glossaryPopup.html#_147_1)
- <http://www.scribd.com/doc/35833497/TecnicasModernasdeConformadoPlasticoCorteElectroerosionParteI>



- <http://www.compute-rs.com/es/>
- <http://soldadura.org.ar/>
- <http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=3&su=32&co=1292226788>
- <http://www.wearcheckiberica.es/boletinmensual/pdfs/contaje.pdf>
- <http://www.consumo-inc.es/Seguridad/informacion/informes/laser.htm>

**- Artículos y documentos.**

- *Introducción a las aplicaciones del láser: interacción luz-materiales y su explotación industrial*, Prof. Paolo Villoresi. ICS- UNIDO Training Course on Laser technologies for the industrial sector. 7-9 noviembre de 2007 - Guatemala City, Guatemala
- *Instalación y puesta en marcha de una celda robotizada de soldadura láser*, Centro tecnológico AIMEN. 9 de noviembre de 2009.
- *Corte por láser en 3D, la imaginación no tiene límites*, Ana Mará Rojas Gutiérrez. Revista metalactual.com
- *Bebidas, soluciones de codificación y marcaje*, domino-printing.com
- *Marcado láser en la industria*, Rofin-Baasel España.
- *Tratamiento superficial por láser*, Rofin-Sinar Technologies.
- *Temple por láser*, GNC láser.
- *Tendencias en las técnicas analíticas de las aguas*, Francisco Armijo Castro. II Jornadas sobre aguas minerales y minero-medicinales.
- *Empleo de la nivelación con rayo láser para la mejora del riego por inundación*, Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes de la Diputación General de Aragón. Informaciones técnicas. 1987
- *Sistema láser de medida de velocidad por efecto doppler de bajo coste para aplicaciones industriales e hidrodinámicas*, David García Vizcaino. 2005