



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DE CORTE-GRABADO MEDIANTE LÁSER CO₂, COMO EQUIPO DE PRÁCTICAS DOCENTES

Alumno: Miguel Mudarra Mata

Tutor: Prof.^a D.^a Francisca M^a Guerrero Villar
Prof. D. Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Junio, 2023

Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Linares
Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Título: Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO₂, como equipo de prácticas docentes

Alumno: Miguel Mudarra Mata

Tutores: Prof.^a D.^a Francisca M^a Guerrero Villar y Prof. D. Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Fecha: Junio, 2023

Firma del alumno:

Firmas de los tutores:

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
3. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LÁSER.....	8
3.1. Teoría y funcionamiento de un láser.....	8
3.1.1. Propiedades de la luz láser.....	10
3.1.2. Historia y desarrollo de la tecnología láser.....	12
3.1.4. Tipos de láseres.....	13
3.2. Aplicaciones de los láseres	21
3.2.1. Aplicaciones generales	21
3.2.2. Aplicaciones industriales.....	21
3.2.3. Procesamiento de materiales mediante láser.....	22
3.3. Normativa de seguridad en el uso de láseres.....	28
3.3.1. Clasificación de los láseres según su peligrosidad.....	29
4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y GUIA DE USO	30
4.1. Comparativa de equipos disponibles en el mercado	30
4.2. Descripción del equipo	31
4.2.1. Descripción de la máquina de corte-grabado por láser	32
4.2.2. ACCESORIOS.....	45
4.3. Diseño e implementación de mejoras para el equipo.....	45
4.3.1. Mesa de trabajo y transporte.....	45
4.3.2. Cama elevable	48
4.3.3. Piezas guía para ajustar el cuello del haz láser.....	50
4.3.4. Sistema antillama.....	51
4.3.5. Reposicionamiento del tubo láser	52
4.3.6. Tanque para el agua de refrigeración	53
4.3.7. Soporte para el tubo de escape de gases	54
4.3.8. Patas para la máquina láser.....	54
4.3.9. Sustitución de elementos dañados.....	55
4.4. Guía de uso.....	55
4.4.1. Instalación inicial.....	56
4.4.2. Guía de uso rápido	57
4.4.3. Descripción detallada del software.....	59
4.4.3. Mantenimiento del equipo	70
4.5. Normativa de seguridad	77
4.6. Errores comunes, solución y garantía.....	78

4.6.1. Errores comunes y solución	79
4.6.2. Garantía del equipo	81
4.6.3. Repuestos y posibles proveedores	81
5. METODOLOGÍA Y ENSAYOS.....	84
5.1. Materiales procesables con el equipo de corte-grabado láser	84
5.2. Materiales peligrosos.....	85
5.3. Desarrollo de los ensayos	87
5.3.1. Ensayos de corte	87
5.3.2. Ensayos de grabado	115
5.4. Resumen de los resultados obtenidos	118
6. INTRODUCIÓN A LA DOCENCIA Y UTILIDAD EN LA ESCUELA.....	119
7. CONCLUSIONES	121
8. ANEXOS.....	122
8.1. Anexo de planos.....	122
8.2. Anexo de ensayos.....	133
8.2.1. Parámetros de corte críticos para metacrilato de 3 mm	133
8.2.2. Parámetros de corte críticos para metacrilato de 4 mm	133
8.2.3. Ensayos con metacrilato en diferentes configuraciones	134
8.2.4. Ensayos con metacrilato de 10 mm en diferentes configuraciones	135
8.2.5. Parámetros de corte críticos para poliestireno de 2 mm.....	135
8.2.6. Parámetros de corte críticos para poliestireno de 4 mm.....	136
8.2.7. Parámetros de corte críticos para MDF de 2,5 mm	137
8.2.8. Ensayos con MDF en diferentes configuraciones.....	137
8.2.9. Tabla resumen con los parámetros de corte para diferentes materiales ..	139
9. REFERENCIAS	140

ÍNDICE DE TABLAS

Introducción a la tecnología láser:

Tabla 1. Comparativa entre SAF y FAF [2].....	17
Tabla 2. Comparativa entre diferentes tipos de fuente láser [2].....	21
Tabla 3. Clasificación de los láseres según su nivel de peligrosidad.....	29

Descripción detallada del equipo:

Tabla 4. Comparativa de características de las diferentes máquinas de corte-grabado consideradas.....	31
Tabla 5. Vida útil del tubo láser en función de la potencia de trabajo [6].....	34
Tabla 6. Características de la fuente de alimentación [6].....	41

Descripción detallada del software:

Tabla 7. Herramientas de la ventana principal.....	63
Tabla 8. Herramientas de los ajustes avanzados.....	65
Tabla 9. Ajustes generales.....	66
Tabla 10. Ajustes de grabado.....	67
Tabla 11. Menú de archivo.....	68
Tabla 12. Menú de vista.....	69
Tabla 13. Menú USB.....	69
Tabla 14. Menú ajustes.....	70
Tabla 15. Menú de ayuda.....	70

Mantenimiento del equipo:

Tabla 16. Errores comunes, análisis y solución.....	79
Tabla 17. Proveedores de repuestos para la máquina láser.....	81

Materiales y ensayos:

Tabla 18. Materiales procesables con la máquina láser.....	84
Tabla 19. Materiales peligrosos.....	86
Tabla 20. Parámetros críticos de corte para PMMA de 3 mm.....	93
Tabla 21. Parámetros críticos de corte para PMMA de 4 mm.....	95
Tabla 22. Parámetros de corte para diferentes espesores de PMMA.....	99
Tabla 23. Parámetros críticos de corte para PS de 2 mm.....	101
Tabla 24. Parámetros críticos de corte para PS de 4 mm.....	102
Tabla 25. Parámetros de corte para diferentes espesores de PS.....	106

Tabla 26. Parámetros críticos de corte para MDF de 2,5 mm.....111

Tabla 27. Parámetros de corte para diferentes materiales y espesores.....118

Anexo de ensayos:

Tabla 28. Resumen de ensayos con PMMA de pequeño espesor en diferentes configuraciones.....134

Tabla 29. Resumen de ensayos con PMMA de gran espesor en diferentes configuraciones.....135

Tabla 30. Resumen de ensayos con MDF en diferentes configuraciones.....137

1. RESUMEN

La tecnología láser empleada para el corte y grabado de materiales es una de las tecnologías más novedosas y que mejores resultados ofrece en la actualidad. Es por esto que se ha realizado un estudio de las prestaciones que ofrece esta tecnología y las ventajas que la implementación de la misma puede aportar a la escuela. Para la realización de este estudio se ha adquirido una máquina de corte-grabado mediante láser, la cual ha sido estudiada en profundidad, realizando en ella una serie de mejoras para aumentar sus prestaciones.

La metodología seguida durante este trabajo se ha dividido en partes muy diferenciadas. En primer lugar, se ha querido estudiar y explicar la teoría y funcionamiento de un dispositivo láser. Los láseres son elementos muy presentes en todos los ámbitos en la actualidad, pero a menudo se desconocen sus propiedades y mecanismos de funcionamiento. Es por esto que se ha realizado un pequeño estudio previo que describe el funcionamiento de los dispositivos láser, así como de la tecnología láser empleada en ámbitos industriales y de fabricación.

Tras conocer un poco más en profundidad a cerca de la tecnología láser, se ha realizado un estudio de mercado para adquirir el equipo de corte-grabado láser más adecuado para las necesidades de la escuela. Tras esto, se ha realizado un estudio detallado del equipo adquirido, analizando a fondo sus componentes, propiedades y funcionamiento. Al analizar el equipo y conocer sus carencias se han diseñado e implementado una serie de mejoras al equipo para aumentar sus capacidades. Adicionalmente, se ha redactado una guía de instalación y funcionamiento para facilitar el trabajo y aprendizaje de futuros usuarios de la máquina de corte-grabado láser.

También, se han realizado numerosas pruebas y ensayos con diferentes láminas de distintos materiales. Con estos ensayos se ha conseguido analizar el comportamiento del equipo al trabajar con estos materiales y se ha elaborado una tabla con los diferentes parámetros de corte y grabado para cada material, facilitando el trabajo de futuros usuarios.

Por último, se han analizado los resultados obtenidos con el equipo láser y se ha analizado las diferentes ventajas que ofrece la implantación de este equipo en la escuela, a nivel de desarrollo institucional y a nivel docente para el alumnado.

Se ha concluido que el equipo láser adquirido ofrece buenos resultados y abre las puertas a una futura incorporación otros equipos de corte-grabado mediante láser.

2. OBJETIVOS

1. Los objetivos de este trabajo de fin de grado son analizar el potencial de una máquina de corte-grabado láser de una potencia de 40 W. En esta parte se ha tratado de analizar los materiales que la máquina es capaz de procesar y las prestaciones que es capaz de ofrecer, así como intentar conocer y explicar de forma detallada sus componentes, funcionamiento y metodología de trabajo.

2. Otro de los objetivos es analizar las virtudes y puntos flacos de la máquina, con el fin de poder diseñar e implementar una serie de mejoras que aumenten las prestaciones del equipo láser. Se ha tratado de mejorar el equipo disponible para aumentar la comodidad y eficiencia a la hora de trabajar con la máquina láser.

3. También, se ha marcado como objetivo en este trabajo la realización de pruebas y parametrización de algunos de los materiales más comúnmente empleados tanto en proyectos de fabricación de la escuela como en prácticas docentes. Para ello, se ha analizado el comportamiento de diferentes materiales como el PVC, el policarbonato, el metacrilato, la madera, el latón, etc.

4. Por último, se ha querido analizar las ventajas que la implantación de este equipo puede aportar tanto a nivel de investigación como a nivel docente.

3. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LÁSER

3.1. Teoría y funcionamiento de un láser

La palabra láser es un acrónimo en inglés, cuyas siglas significan: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation; que en español se corresponde con amplificación de luz por emisión estimulada por radiación.

Un láser es un dispositivo que amplifica la luz. Consta de dos partes, un medio a través del cual pasa la luz y dos espejos. Cuando se aplica energía al medio, los átomos del mismo se excitan y sus electrones suben a niveles de energía más altos. Einstein fue el primero en darse cuenta de que, si se hace pasar luz a través de un medio excitado, los electrones se desexcitan produciendo más luz a cambio. Esta luz es de la misma frecuencia que la anterior y a su vez, estos fotones extra desexcitan más átomos y obtienen más fotones a cambio. Como la luz rebota en los espejos, el proceso se repite hasta que se obtiene una luz muy pura. En esencia, un láser es un dispositivo que clona fotones o “paquetes de luz”, que se basa en la emisión estimulada.

La emisión estimulada es un fenómeno en el cual un electrón de un átomo en un nivel de energía superior, decae a un nivel inferior en presencia de un fotón. Durante este proceso se emite otro fotón idéntico al primero. Sin embargo, los electrones tienden a ocupar los niveles de energía más bajos. Así que no es habitual encontrar electrones en los niveles más energéticos, que es lo que se denomina como un átomo excitado. En el caso de un láser, el medio en el que están los átomos que emiten la luz láser se llama medio activo y para excitarlos se pueden usar diferentes mecanismos que reciben comúnmente el nombre de bombeo. Para que en el medio activo haya más fotones que clonar, este se sitúa en una cavidad, formada por un espejo perfecto y otro que refleja gran parte de la luz, pero deja salir un pequeño porcentaje fuera. De esta manera la mayor parte de fotones que se emiten quedarán atrapados dentro de la cavidad y volverán a pasar por el medio activo para clonarse. Estos fotones emitidos forman lo que se conoce como luz láser [1].

Los medios que pueden generar radiaciones láser, también conocidos como medios activos, son materiales capaces de emitir radiación electromagnética cuando son excitados aplicándoles cierta cantidad de energía. Estos medios activos, pueden estar en diferentes niveles de excitación y por lo general los medios activos cuentan con cuatro niveles de excitación: e_1 , e_2 , e_3 y e_4 .

La energía generada mediante el fenómeno de emisión estimulada es cuantificable usando la constante de Planck “ h ” ($6,63 \times 10^{-34} \text{ J/s}$) y conociendo la frecuencia de la radiación electromagnética emitida “ f ” [2].

En definitiva, el fenómeno de emisión estimulada se puede utilizar para amplificar la energía emitida desde un medio excitado, pero este mecanismo por si solo es incapaz de producir rayos láser.

Para extraer la energía generada en el medio activo de forma continua, es necesario que el flujo de fotones a la salida del medio sea mayor que en la entrada del mismo. Esto quiere decir que el número de átomos o moléculas excitadas debe ser mayor que el número de átomos o moléculas estables, lo que se conoce inversión de población.

Por lo general, la mayoría de medios son amortiguadores, lo que significa que la energía introducida en el medio (F_{in}) es mayor a la energía emitida por el medio (F_{out}).

$$F_{out} - F_{in} = \Delta F \quad (\text{Ec. 1})$$

Normalmente, ΔF es menor que 0, ya que la mayoría de medios o materiales son amortiguadores. Por lo tanto, para conseguir que se produzca el fenómeno de emisión estimulada es necesario añadir una fuente de energía externa, lo que se conoce como bombeo de energía.

$$F_{out} = F_{in} + \frac{\Delta F}{\Delta x} * dx \quad (\text{Ec. 2})$$

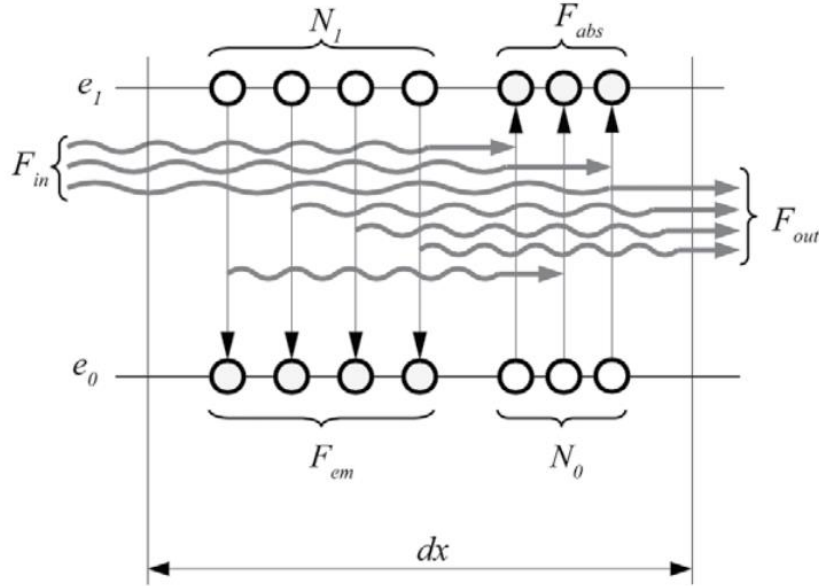


Fig. 1 Mecanismo de emisión estimulada [2]

Donde F_{in} es la energía aportada al medio; F_{out} es la energía emitida por el medio; e_0 es el nivel de excitación 0; e_1 es el nivel de excitación 1; N_0 son los átomos en el nivel de excitación 0; N_1 son los átomos en el nivel de excitación 1; F_{em} es la energía emitida por los átomos del nivel 1 y F_{abs} es la energía absorbida por los átomos del nivel 1 [2].

Existen diferentes formas de realizar este bombeo de energía, dependiendo del tipo de medio activo que se desee excitar: bombeo directo por excitación electrónica, bombeo indirecto por excitación electrónica en radiofrecuencia y bombeo directo por excitación óptica.

El bombeo de energía se puede realizar de manera continua, como es el caso del bombeo óptico por diodos, o de manera discontinua, como es el caso del bombeo óptico por lámpara flash.

Adicionalmente, para conseguir la amplificación de radiación electromagnética, es necesario que haya resonancia. Como se ha explicado anteriormente, la cavidad de resonancia en la que está contenido el medio activo está entre dos espejos. Dichos espejos están dispuestos de forma paralela y son los que van a definir la dirección en la que la luz se propaga dentro de la cavidad. Esta dirección se conoce como la dirección de resonancia de la cavidad.

Cuando un láser se enciende, se produce la denominada inversión de población y la emisión estimulada, por medio del bombeo de energía. Es entonces, cuando la energía bombeada se transforma en energía electromagnética. Durante el proceso, solo los rayos de luz que están en la dirección de resonancia de la cavidad consiguen replicarse y forman una onda estable de energía que rebota entre los espejos de la cavidad. El resto de radiaciones se disipan a través de las paredes de la cavidad. Este fenómeno se produce muy rápidamente, por lo que la onda de energía en resonancia se consigue de manera inmediata.

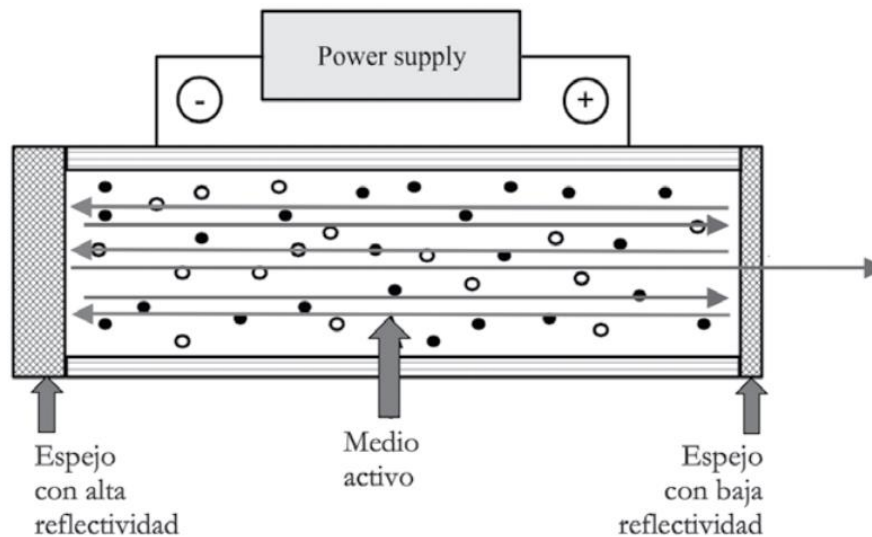


Fig. 2 Esquema de funcionamiento de un láser [2]

En definitiva, los componentes básicos de un láser son:

- El medio activo o de ganancia, capaz de sostener la emisión estimulada de radiación.
- Una fuente de bombeo, que añade energía al medio activo.
- Un resonador, formado por dos espejos, de los cuales uno de ellos es un reflector total para reflejar la energía y el otro es un reflector parcial, que deja pasar parte de la energía.
- Un cabezal de salida, por el cual salga el haz láser.

Tanto el medio activo como el resonador son los que determinan la longitud de onda y potencia del haz láser.

3.1.1. Propiedades de la luz láser

- **Es monocromática:** Los nuevos fotones tienen la misma longitud de onda que los originales, por lo tanto, en general el haz láser se ve de un solo color. Aunque los láseres más conocidos son los de luz visible (rojo, verde o azul), también existen láseres de luz infrarroja o rayos X.
- **Tiene alta coherencia y baja divergencia:** Los nuevos fotones se emiten con la misma fase que los fotones iniciales. Este efecto provoca que todos los fotones tengan la misma fase en tiempo y espacio. Esto hace que todas

las ondas viajen de forma ordenada, a diferencia de otras fuentes de luz donde la fase es aleatoria. La misma potencia producida por un láser permite más densidad de energía que una lámpara convencional.

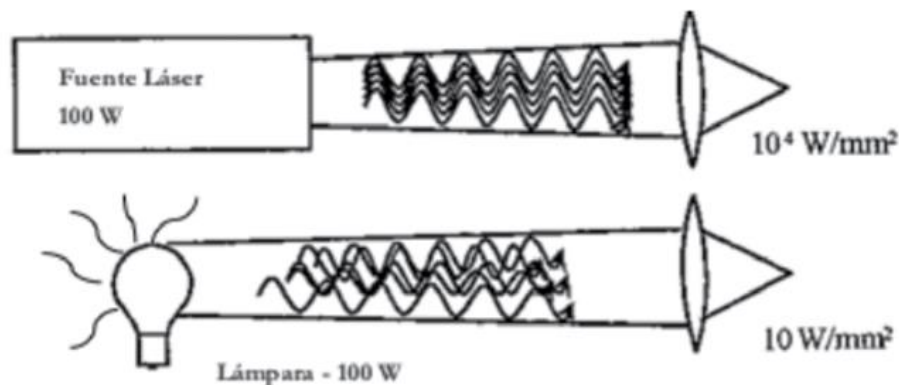


Fig. 3 Diferencia entre luz coherente y no coherente [2]

- **Es direccional:** Los nuevos fotones se emiten en la misma dirección que los fotones a los que clonan y no en direcciones aleatorias, como sucede en una bombilla. Esto permite concentrar gran cantidad de energía en un área muy pequeña, por lo que son fuentes de luz muy intensas.
- **Tiene una alta energía:** Los fotones que se van generando tienen la misma energía que los fotones anteriores. Por esto, se produce la amplificación energética dando lugar un haz de luz con mucha energía.
- **Focalización elevada:** Un rayo láser puede concentrarse en un área muy pequeña de superficie, lo que hace que toda la energía esté muy focalizada. A diferencia, por ejemplo, de una lámpara convencional donde se pierde mucha energía en los alrededores y tiene una región de focalización muchísimo más amplia.

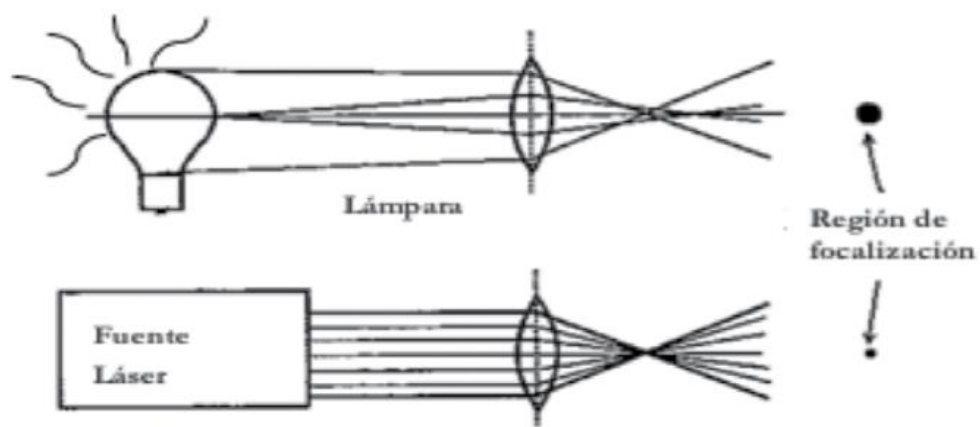


Fig. 4 Ejemplo de focalización de la luz [2]

- **Se puede transportar sin pérdidas de energía:** La alta coherencia y baja divergencia hacen que la energía pueda transportarse sin dispersión.

- **Alta eficiencia:** Se produce una alta eficiencia de interacción entre la radiación electromagnética y los materiales.

3.1.2. Historia y desarrollo de la tecnología láser

Aunque la tecnología láser es una tecnología novedosa, lo cierto es que, ya a principios del siglo XX, Albert Einstein comenzó a investigar sobre ella. Aunque no fue hasta 1960 cuando Hughes Research Laboratories construyó el primer dispositivo láser [8].

En 1917, Albert Einstein sienta las bases de la tecnología láser cuando define el fenómeno de la emisión estimulada, del cual ya se ha hablado en el apartado anterior y el cual es fundamental en el funcionamiento de cualquier dispositivo láser. Más tarde, en 1939, fue Valentin Fabrikant quien teorizó de dicha emisión estimulada para amplificar una radiación. En 1950, los físicos Charles Townes, Nikolay Basov y Alexander Prokhorov consiguieron desarrollar una teoría cuántica sobre la emisión estimulada y consiguen demostrar la emisión estimulada de microondas. Este descubrimiento les valió a los tres para recibir el Premio Nobel de física. Casi una década después, en 1959, Gordon Gould teoriza que la emisión estimulada puede utilizarse para amplificar la luz y diseña el primer resonador óptico, capaz de crear un haz de luz coherente, al cual llama láser. Un año después, en 1960, Theodore Maiman Hughes de Research Laboratories en Malibu, California, construye el primer prototipo de láser. Se trataba de un láser cuyo medio activo era el rubí sintético, lo cual hacía que emitiera un haz de luz roja con una longitud de onda de 694,3 nm. Inicialmente, el láser desarrollado por Maiman se utilizó en el campo de la telemetría militar. En la actualidad aún se sigue utilizando el láser de rubí para perforar y dar forma a diamantes, ya que cuenta con una gran potencia [8].

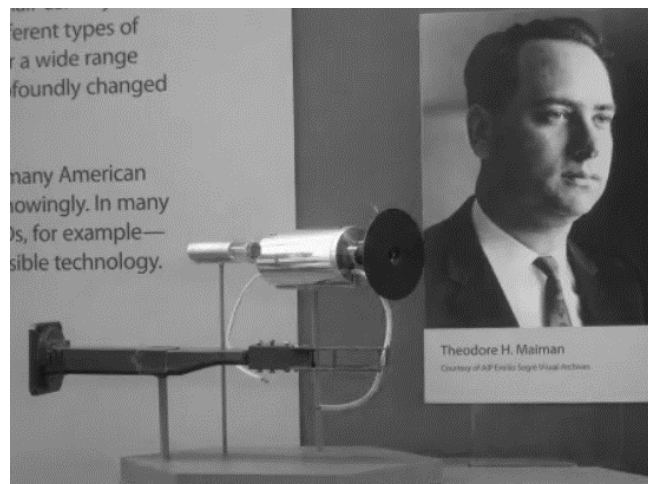


Fig. 5 Primer prototipo de láser [Imagen obtenida de la web]

Más tarde, en 1963, se fabrica el primer láser de CO₂ como medio activo en los laboratorios de AT&T Bell. Fue desarrollado por Kumar Patel, que consiguió un láser de menor coste de fabricación y mayor eficiencia que el láser de rubí. Por este motivo el láser de CO₂ es, desde entonces y hasta la actualidad, uno de los láseres más utilizados. Este primer láser de CO₂ apenas tenía una potencia de salida de 1 milivatio, pero solo tres años después ya era posible construir láseres que superaban los 1000 vatios de potencia. La primera aplicación comercial y para la industria del láser de CO₂ asistido

por oxígeno fue en 1967 donde se empezó a usar para cortar láminas de acero en Cambridge, Inglaterra. A partir de la década de los setentas fue cuando, con numerosos avances y mejoras, el uso de láseres en la industria fue ganando fuerza. En 1975 se desarrolló el primer sistema láser de dos ejes, lo que hizo que aparecieran las primeras aplicaciones del láser en la industria de la aeronáutica y el automovilismo. Descubriéndose así el gran potencial de la tecnología láser para el corte y la soldadura de metales [8].



Fig. 6 Primer láser de CO₂ [Imagen obtenida de la web]

Desde los años ochenta y hasta la actualidad se han desarrollado nuevos tipos de láseres menos costosos, como el láser de plancha de CO₂. Esto ha permitido que la tecnología láser se expanda desde el corte y soldado de metales hasta otro tipo de materiales de diversa índole, como los materiales plásticos, cerámicos o incluso orgánicos [8].

3.1.4. Tipos de láseres

Existen diversas formas de clasificar los láseres. Una de ellas es en función del tiempo de funcionamiento, distinguiéndose entre láseres continuos o láseres pulsados. En los láseres pulsados hay que tener en cuenta dos parámetros adicionales, como son la duración de la pulsación (τ) y el tiempo entre pulsaciones (T).

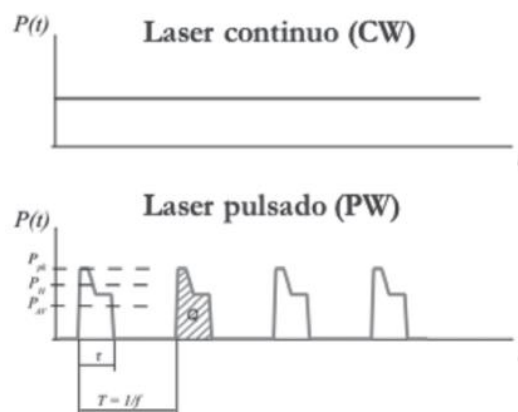


Fig. 7 Diferencia entre láser continuo y pulsado [2]

Otra forma de clasificar los láseres es en función del medio por el cual el haz láser puede ser transportado. Siendo las dos formas principales el transporte por espejos (siempre en el caso de láseres de CO₂) y transporte mediante fibra óptica.

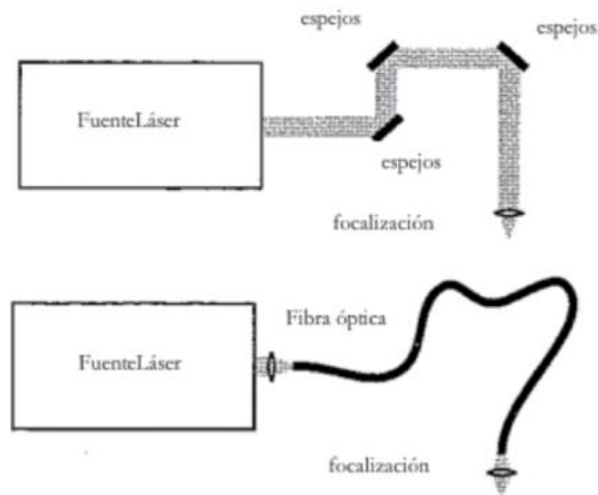


Fig. 8. Métodos de transporte láser [2]

Por último, una de las formas más generales de clasificar los láseres es en función del tipo de medio activo que utilicen. Los medios activos más comúnmente utilizados para la generación de emisión láser son el de estado sólido, el de gas, el de semiconductor y el de líquido o colorante.

3.1.4.1. Láseres de estado sólido

Los láseres de estado sólido son aquellos que usan como medio activo cristales o vidrios dopados con iones como el neodimio, el rubí, el titanio o el zafiro. Este tipo de láseres se suelen utilizar en la industria, la medicina y en diversas aplicaciones científicas.

Alguno de los láseres de estado sólido más utilizados en el ámbito industrial son el láser Nd:YAG, el láser Yb:YAG de disco y el láser de fibra de vidrio.

3.1.4.1.1. Láseres Nd:YAG

Estos láseres usan como medio activo un cristal de granate de itrio y aluminio ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), también llamado YAG, que ha de ser dopado con un pequeño porcentaje de neodimio (Nd^{3+}). En este caso, el neodimio es el material que es capaz de generar el rayo láser. Estos láseres emiten por lo general una luz infrarroja con una longitud de onda de 1064 nm, aunque pueden modificados para emitir luz verde o luz ultravioleta. Además, este tipo de láser requiere un exacto control de la temperatura del medio activo, ya que un aumento de la misma puede deteriorar el láser y reducir la calidad de la radiación emitida [2].

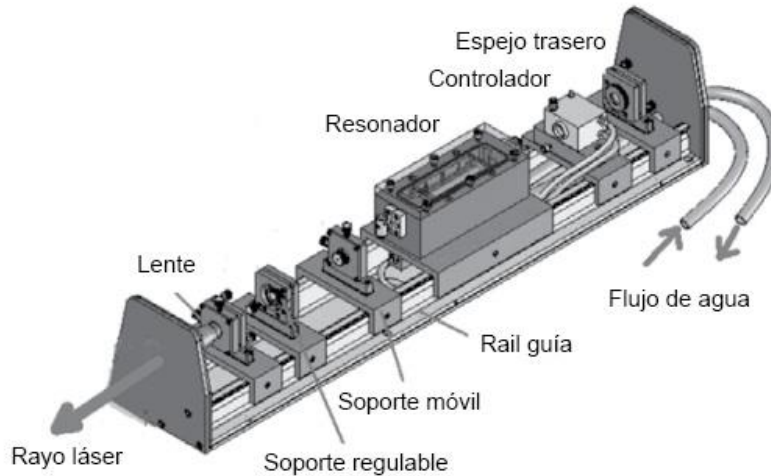


Fig. 9. Esquema de un láser Nd:YAG [2] (Traducida)

3.1.4.1.2. Láseres Yb:YAG de disco

Para conseguir controlar las variaciones de temperatura y aumentar la estabilidad del medio activo, se han diseñado unos láseres cuyo cristal es producido en forma de disco. Este disco es colocado sobre un material que disipa el calor de forma muy eficiente. De esta manera se consigue elevar la estabilidad del medio activo y se obtiene una potencia más alta. Estos láseres tienen una eficiencia mayor que los anteriores, ya que la cavidad de resonancia de los mismos presenta una geometría que permite una mayor refrigeración. Además, el medio activo contiene iterbio (Yb), que puede estar presente hasta en un 25%, frente al 3% del neodimio en los láseres Nd:YAG. Este es otro motivo por el cual los láseres Yb:YAG son más eficientes. Estos láseres emiten una luz infrarroja de longitud de onda de $1,03 \mu\text{m}$ [2].

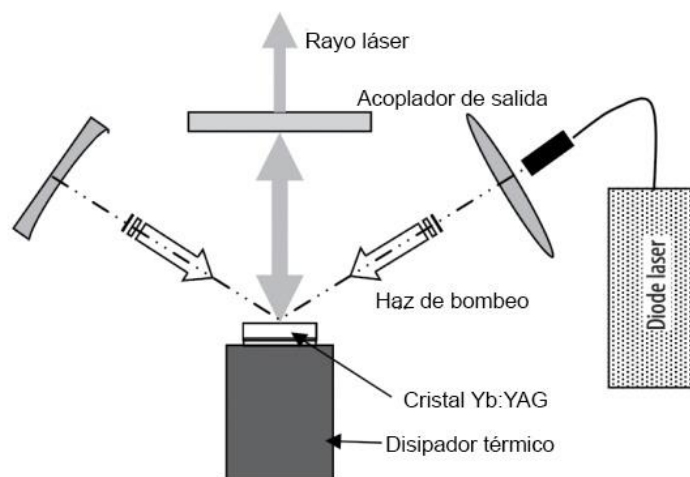


Fig. 10. Esquema de un láser Yb:YAG de disco [2] (Traducida)

3.1.4.1.3. Láseres de fibra de vidrio

Los láseres de fibra son tan utilizados hoy en día que podrían ser una categoría en sí mismos. En ellos, el medio activo es una fibra óptica que ha sido dopada con elementos como el iterbio o el neodimio, entre otros. Esta fibra tiene una muy buena conductividad térmica y para potencias bajas puede ser enfriada simplemente con aire soplado.

Estos láseres emiten un rayo láser más fino que los anteriores, lo que se traduce en una mayor precisión. Además, en la actualidad son de los láseres más utilizados ya que presentan una muy buena eficiencia eléctrica, pueden ser de tamaños reducidos y presentan bajos costes de mantenimiento.

3.1.4.2. Láseres de gas

Estos láseres utilizan como medio activo un gas o mezcla de gases, como puede ser el dióxido de carbono, el argón o el helio. Los láseres de gas tienen una gran variedad de aplicaciones, usándose en el ámbito industrial, la holografía, la espectroscopia, el escaneo de códigos, mediciones atmosféricas, procesado de materiales o la medicina. De todos ellos, el láser de gas más utilizado es el láser de CO_2 , que se utiliza principalmente para procesos de corte, grabado y soldadura de materiales.

3.1.4.2.1. Láseres de CO_2

En este tipo de láseres el medio activo es una mezcla de gases, en la que aparecen el dióxido de carbono (CO_2), el nitrógeno (N_2) y el helio (He). En esta mezcla de gases, cada gas tiene una función determinada. El CO_2 es el medio activo como tal, ya que es el gas que es capaz de generar la radiación electromagnética. Sin embargo, no es posible excitar el CO_2 con los mecanismos habituales de bombeo. Por esto, se añade N_2 , que si se puede excitar mediante bombeo, que, a su vez, es el encargado de excitar el dióxido de carbono. La fuente externa de potencia excita al N_2 , que transmite esta excitación al CO_2 por colisión. Por último, el He tiene como función controlar la temperatura del medio activo, ya que es un gas que sirve para enfriar el medio robándole calor al CO_2 y al N_2 . El CO_2 tiene cuatro niveles de excitación, pero solo en el último se produce la radiación electromagnética, mientras que en el resto se genera únicamente calor. Por esto, el papel del He en la mezcla es fundamental, ya que evita que la temperatura del medio activo exceda los límites, lo que provocaría el deterioro de la mezcla por oxidación [4].

La radiación electromagnética emitida por este tipo de láseres es muy característica, estando en el campo infrarrojo, con una longitud de onda de $10,6 \mu\text{m}$.

Otro aspecto que caracteriza a los láseres de CO_2 es la arquitectura de la cavidad de resonancia. Es que, en los láseres de CO_2 hay diferentes arquitecturas que se pueden utilizar, siendo las más comunes las fuentes flujo axial, las fuentes de flujo transversal, las fuentes de flujo capilar y las fuentes selladas [2].

3.1.4.2.1.1. Láseres CO₂ de flujo axial

Esta es una de las geometrías más utilizadas en los láseres de CO₂. Se caracterizan porque dentro de la cavidad de resonancia, tanto la mezcla de gases como la radiación láser tienen la misma dirección. Para el correcto funcionamiento de estos láseres son necesarios una bomba que ponga en movimiento la mezcla de gases y un intercambiador de calor que evite la oxidación del medio activo. Por este motivo, los tubos láser de CO₂ se gastan y es necesario reponer el gas de su interior. Estos láseres presentan una eficiencia baja, que no suele llegar al 10%.

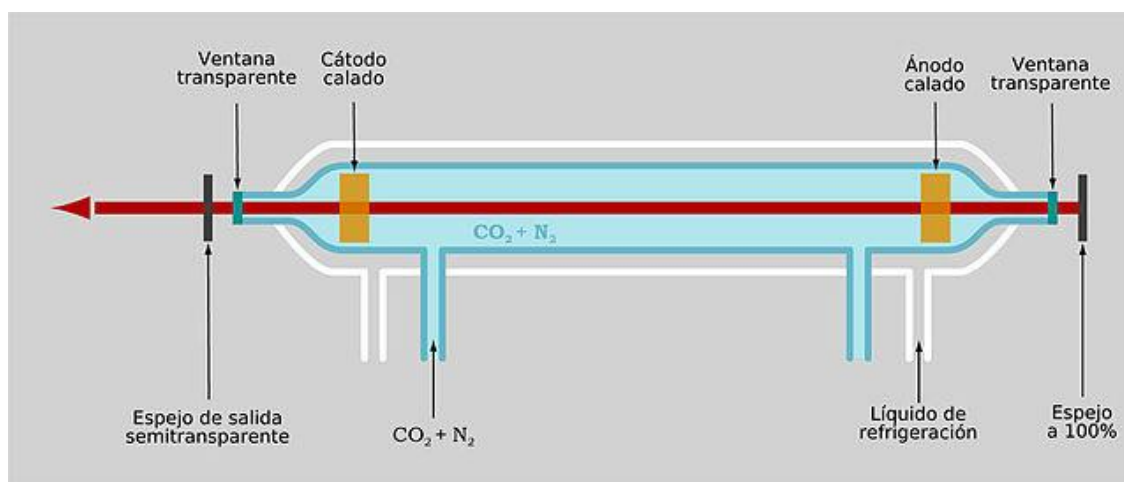


Fig. 11. Esquema de un láser de CO₂ de flujo axial [Imagen obtenida de internet]

Los láseres de CO₂ de flujo axial pueden ser de flujo lento (SAF) o de flujo rápido (FAF). Los láseres de flujo rápido pueden llegar a generar una alta potencia, cercana a 20kW. Sin embargo, requieren de una arquitectura compleja. Por el contrario, los láseres de flujo lento pueden tener arquitecturas más simples y por lo general producen un haz láser de mayor calidad, a cambio de limitar la potencia máxima que se puede obtener con ellos.

	Flujo lento (SAF)	Flujo rápido (FAF)
Velocidad de flujo (m/s)	1,0	200,0
Potencia (W/m)	60-80	600-800
Potencia máxima (kW)	1,5	20

Tabla 1. Comparativa entre SAF y FAF [2]

3.1.4.2.1.2. Láseres de CO₂ de flujo transversal

En este caso, el flujo de los gases del medio activo es transversal con respecto a la dirección de la radiación láser. Al igual que los anteriores, estos láseres también necesitan de un buen intercambiador de calor y de una bomba que mueva los gases del medio activo. Por lo contrario, el bombeo del medio activo se realiza mediante dos electrodos.

Estos láseres pueden llegar a producir una potencia máxima alta, similar a la de los láseres de flujo axial. Sin embargo, la calidad del haz láser en este caso es peor con respecto a los láseres axiales [2].

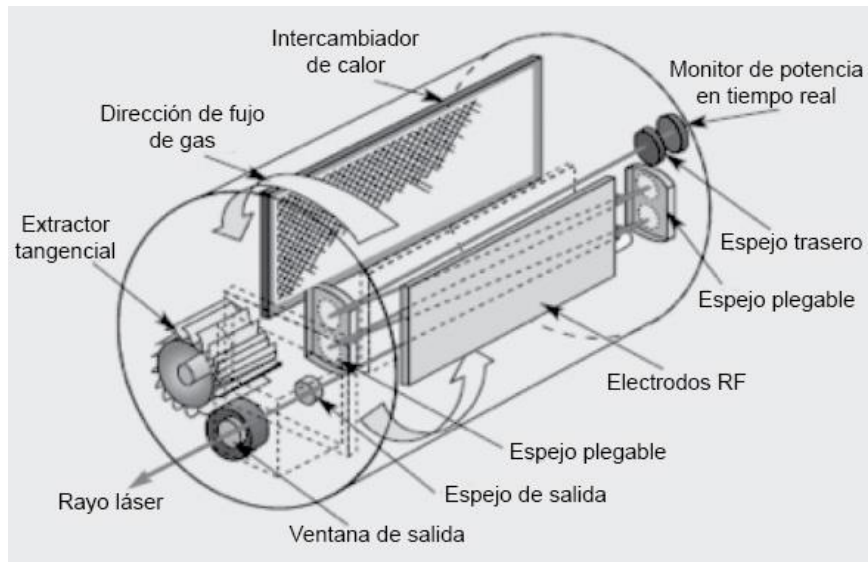


Fig. 12. Esquema de un láser de CO₂ de flujo transversal [2] (Traducida)

3.1.4.2.1.3. Láseres de CO₂ de flujo capilar

Estos láseres se han popularizado en los últimos tiempos, ya que son más baratos y tienen unos costes de mantenimiento menor que los láseres anteriores. Esto se debe a que presentan una arquitectura más simple, donde los electrodos son superficies planas que forman parte de las mismas paredes de la cavidad de resonancia y pueden ser refrigerados de manera más sencilla.

Son láseres que pueden dar potencias de entre 6 y 8 KW, aunque la calidad del haz láser es baja, tendiendo a presentar una geometría elíptica del haz. Para mejorar la calidad del haz en estos láseres se suelen incluir sistemas ópticos, a costa de reducir parcialmente la potencia [2].

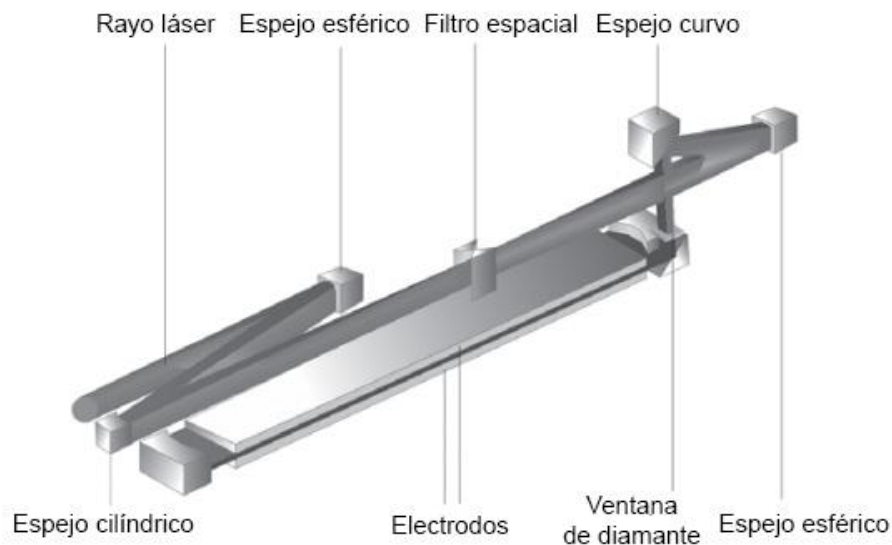


Fig. 13. Esquema de un láser de CO₂ de flujo capilar [2] (Traducida)

3.1.4.2.1.4. Láseres de CO₂ de fuente sellada

Se caracterizan por ser láseres que generan poca potencia, pero presentan una radiación láser de gran calidad. Presentan una arquitectura muy sencilla, ya que no requieren que el gas de la cavidad de resonancia sea renovado periódicamente. Esta cavidad está sellada herméticamente y pueden llegar a trabajar de forma continua durante aproximadamente 5000 horas. Estos láseres pueden generar potencias muy variadas, desde los 15 hasta los 600 W [2].

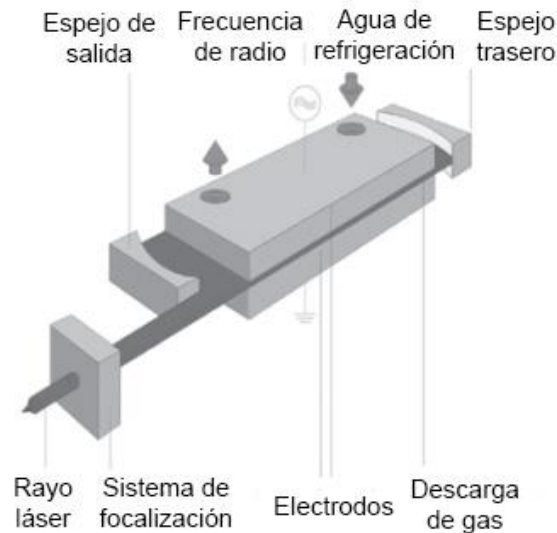


Fig. 14. Esquema de un láser de CO₂ de fuente sellada [2] (Traducida)

3.1.4.3. Láseres de semiconductor

Son láseres cuyo medio activo es un material sólido semiconductor. Se caracterizan por ser de pequeñas dimensiones y emitir un haz láser fino que se excita mediante corriente eléctrica. Estos láseres son utilizados principalmente en equipos e instrumentos electrónicos y en sistemas de telecomunicaciones. El tipo de láser de semiconductor más común es el diodo láser.

3.1.4.3.1. Diodos láser

Los diodos láser son dispositivos optoelectrónicos que emiten luz láser desde un medio activo que es un material semiconductor dopado. Este semiconductor se presenta en una capa muy fina en la superficie de un cristal. Con estos láseres se obtienen longitudes de onda variables, que oscilan entre 0,80 y 0,95 μm , dependiendo de la temperatura de trabajo. Son de los láseres más eficientes, ya que presentan una eficiencia global de entre el 30 y 40%. Generan poca potencia, por lo que es normal usar de manera conjunta un elevado número de diodos láser para conseguir la potencia deseada, llegando a conseguirse potencias cercanas a los 6 kW.

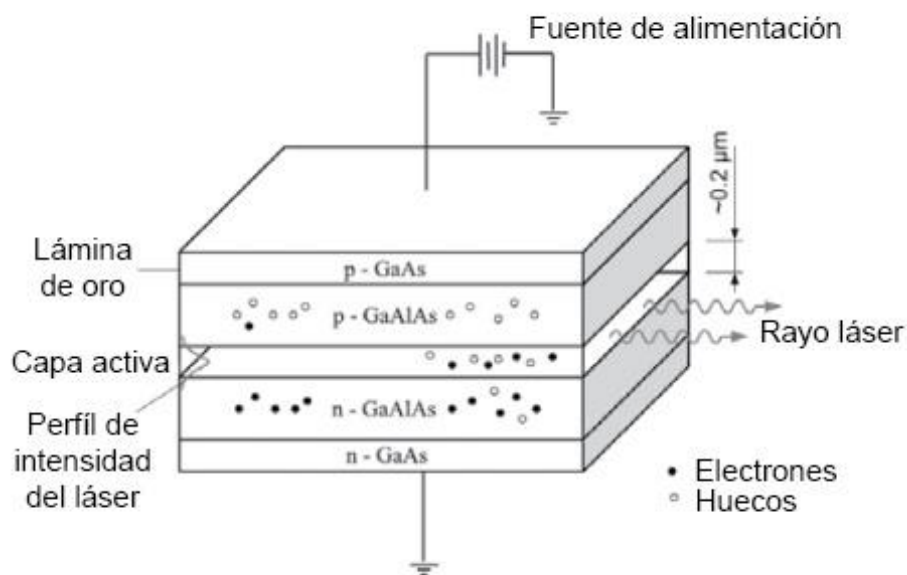


Fig. 15. Esquema de un diodo láser [2] (Traducida)

3.1.4.4. Láseres de líquido o colorante

Estos son un tipo de láser que utilizan como medio activo un colorante orgánico, comúnmente rodamina. Tienen que ser normalmente excitados mediante otros láseres o lámparas flash. Estos láseres pueden presentar longitudes de onda muy variadas, con la peculiaridad de que se puede controlar la longitud de onda durante el funcionamiento del láser.

Estos láseres son principalmente utilizados en medicina, espectroscopia y en la separación de isótopos.

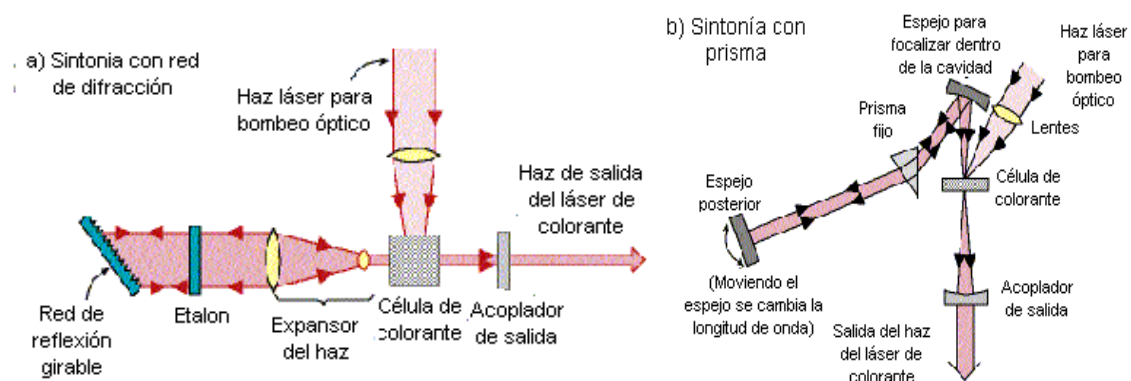


Fig. 16. Esquema de un láser de colorante [Imagen obtenida de internet]

3.1.4.5. Comparativa entre los distintos tipos de láser

A continuación, se muestra una tabla comparando las propiedades características de algunos de los tipos de láseres más utilizados en la actualidad.

Fuente láser	CO ₂	Nd:YAG	DIODO	FIBRA
Longitud de onda (μm)	10,06	1,06	0,80-0,95	1,03
Rendimiento (%)	20	5-20	30-40	30
Potencia máxima (kW)	40	6-15	10	100
Densidad potencia máx. (W/cm ²)	10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁶	10 ⁹

Tabla 2. Comparativa entre diferentes tipos de fuente láser [2]

3.2. Aplicaciones de los láseres

3.2.1. Aplicaciones generales

Como ya se ha comentado, existen diferentes tipos de láseres, con diferentes características. Esto provoca que también exista gran variedad de aplicaciones para la tecnología láser. Algunas de las aplicaciones más generales de la tecnología láser son las siguientes:

- **En industria:** Los láseres se usan con frecuencia en la realización de cortes de precisión, en soldadura y grabado de materiales.
- **En telecomunicaciones:** Se usan frecuentemente en el internet por fibra óptica.
- **En investigación científica:** Se emplean principalmente, entre otras muchas aplicaciones, para estudiar como interaccionan entre sí la luz y la materia y en la medición de distancias y tiempos de gran precisión.
- **En medicina:** Se emplean para cortar tejidos de forma precisa, en la cauterización de los mismos y para la creación de prótesis.
- **Otras aplicaciones:** Espectroscopia, fusión nuclear, fabricación de sensores o escáneres, entretenimiento, almacenamiento y lectura de datos, etc.

3.2.2. Aplicaciones industriales

El uso más frecuente de la tecnología láser en el sector industrial es el procesamiento de materiales. El procesamiento de materiales mediante láser utiliza la energía del láser para modificar la forma, superficie o aspecto del material. El uso de tecnología láser ofrece una serie de ventajas en el procesamiento de materiales frente a los métodos más tradicionales. Entre estas ventajas, se encuentran la capacidad de incorporar cambios rápidos en los diseños, mayor precisión dimensional y la mejora de los acabados del producto final. Además de estas ventajas, la tecnología láser es compatible con un gran número de diversos materiales. Entre los materiales compatibles

se encuentran desde los no metales, como la cerámica, materiales compuestos, plásticos/polímeros y adhesivos, hasta los metales, incluyendo aluminio, hierro, acero inoxidable y titanio [3].

Los efectos que un láser provoca sobre un material determinado dependen tanto de los parámetros del láser, como la longitud de onda y potencia del mismo, como de los parámetros propios del material, como la absorción y la composición química.

Cada tipo de láser tiene un rango de potencia, de entre el cual se deberá seleccionar el nivel más adecuado para que se produzca una óptima interacción entre el láser y el material a procesar. Sin embargo, los factores más determinantes en la selección del tipo de láser a utilizar son las características del material, tanto la absorción como la composición química. Estas características marcan también el nivel de potencia del láser necesario [3].

Los efectos que se producen cuando el láser interactúa con el material son el ablandamiento y la modificación de la superficie del material.

El ablandamiento hace que se elimine material. El material puede ser eliminado por completo desde la cara superior del material hasta la cara inferior, o de forma parcial, desde la cara superior hasta una profundidad determinada. Este fenómeno es el que se produce en los procesos de corte, grabado y taladrado del material.

También se puede modificar la superficie de un material cambiando sus propiedades o aspecto. Este proceso de modificación de superficie es el que tiene lugar cuando se realiza un marcado láser.

3.2.3. Procesamiento de materiales mediante láser

Los láseres están desempeñando un papel en continua expansión en el procesamiento de materiales, desde el desarrollo de nuevos productos hasta la fabricación a gran escala. Para todos los procesos láser, la energía de un haz láser interactúa con un material para transformarlo de alguna manera. Cada transformación (o proceso láser) es controlada mediante una regulación exacta de la longitud de onda, la potencia, el ciclo de trabajo y la tasa de repetición del haz láser.

A continuación, se explica más detalladamente el funcionamiento de los dos procesos láser de materiales que más se usan a nivel industrial, el corte y el grabado láser.

3.2.3.1. Proceso de corte láser

Existen diferentes mecanismos de corte láser, aunque el más común de todos ellos es el corte por fusión. La energía emitida por el láser hace que el material se funda a su paso. El corte por láser puede realizarse siguiendo una infinidad de rutas o trayectos, lo que permite la obtención de geometrías complejas con una gran precisión dimensional. Además, se pueden cortar por láser tanto materiales de una sola capa como materiales formados por diferentes capas de distintos materiales. Dos factores a tener en cuenta a la hora de realizar un corte láser son el espesor y la densidad del

material, ya cortar a través de un material delgado requiere una menor energía láser que cortar sobre un espesor mayor del mismo material.

Generalmente hablando, los láseres CO₂ de longitud de onda de 10,6 micrones principalmente se usan para cortar materiales no metálicos. Los láseres CO₂ y de fibra se usan igualmente para cortar metales. Sin embargo, como regla general, el corte de metales requiere niveles de potencia considerablemente mayores que los materiales no metálicos.

3.2.3.1.1. Aproximación de los parámetros de corte láser

Haciendo un balance de energía y conociendo tanto las propiedades del material como las capacidades y propiedades de la máquina láser de trabajo se pueden obtener algunos resultados interesantes a la hora de plantear un trabajo de corte por láser. Conociendo algunos parámetros como la cantidad de luz que refleja la superficie del material a trabajar, así como su conductividad térmica y sus calores específicos y latentes de fusión y evaporación, además de los parámetros mencionados anteriormente, se puede realizar el siguiente balance de energía:

$$A * P = w * h * V * \rho * (c_p * \Delta T + L_f + m' * L_v) \quad (\text{Ec. 3}) [2]$$

Donde, A es la absorción del material; P es la potencia láser; w es la anchura del surco de corte; h es el espesor del material; V es la velocidad de corte; ρ es la densidad del material; C_p es el calor específico del material; ΔT es el intervalo de temperatura hasta la fusión; L_f es el calor latente de fusión; m' es la cantidad de masa que se va a vaporizar y L_v es el calor latente de vaporización (todo en unidades del sistema internacional).

Agrupando la ecuación, de forma que en el primer término se sitúan los parámetros de corte y en el segundo las propiedades del material, esta queda de la siguiente forma:

$$\frac{P}{h * V} = \frac{w * \rho}{A} * (c_p * \Delta T + L_f + m' * L_v) \quad (\text{Ec. 4}) [2]$$

Agrupando todas las propiedades del material en un factor llamado F y pasando la velocidad de corte al término de la derecha, se puede obtener que hay una relación lineal entre la velocidad de corte y la potencia dividida entre el espesor del material.

$$\frac{P}{h} = F(\text{material}) * V \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad (\text{Ec. 5}) [2]$$

Algunos autores [1] sugieren que la ecuación 5 se puede aproximar a la siguiente ecuación (ecuación 6), sustituyendo la anchura del surco producido por el corte (w) por el diámetro del haz láser (d) y extrayendo este término del factor del material F, obteniéndose otro factor C, que al solo contener propiedades constantes del material sería también una constante. La nueva ecuación queda de la siguiente manera:

$$h = \frac{P * C(\text{material})}{V * w} \quad (\text{Ec. 6}) [1]$$

De esta forma, la ecuación podría ordenarse fácilmente en función del parámetro de corte que se desee conocer. Resultando útil a la hora de estimar procesos de corte en función del material con el que se desee trabajar.

3.2.3.1.2. Características generales de los sistemas de corte láser

Los sistemas de corte láser han de estar dotados con algunas características o elementos, además del propio láser, que permitan realizar el proceso de corte de manera adecuada. En definitiva, las más esenciales son el cabezal de corte, el sistema de gas de asistencia y la capacidad de poder trazar estrategias de corte para geometrías complicadas.

- **El cabezal de corte.** Este cabezal se sitúa en la salida del haz láser. Cuenta con un sistema de focalización del haz, una lente, que es el encargado de concentrar aún más el rayo láser, consiguiéndose así unificar toda la potencia y energía del láser en un punto aún más pequeño, consiguiéndose una precisión de corte todavía mayor. En este cabezal también suele ir la tobera o tubería por la que sale el gas de asistencia.

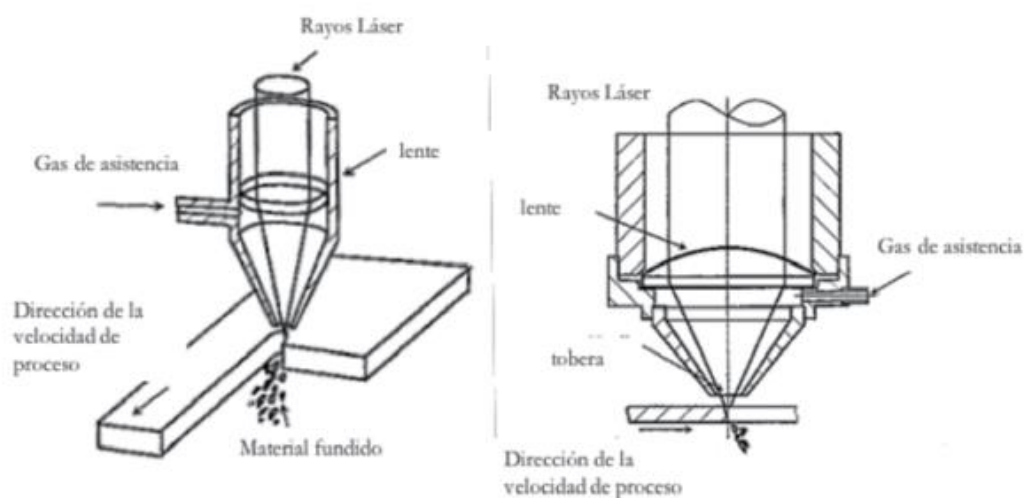


Fig. 17. Esquema de un cabezal de corte láser [2]

- **El sistema de gas de asistencia.** Este gas de asistencia puede tener varias funciones durante el proceso. La primera de ellas es ayudar a expulsar el material fundido del surco de corte. Para ello, se usa gas a presión, con esta función se consigue un índice de éxito mayor a la hora de realizar un corte y la eliminación de rebabas. Otras de las funciones de este gas de asistencia es evitar la aparición de llamas a la hora de cortar materiales propensos a producirlas cuando se calientan, como podría ser la madera. Por lo general, se tiende a usar el aire como el gas de asistencia, ya que es el gas más barato, aunque existen ocasiones donde es necesario usar otros gases. Por ejemplo, en el caso de las aleaciones ligeras es necesario evitar, en la medida de lo posible, usar el oxígeno como gas de asistencia. Esto se debe a produce reacciones violentas con demasiada generación de calor, pudiendo dañar tanto el equipo como el material que se desea trabajar.
- **Capacidad de trazar geometrías complejas.** Los sistemas de corte deben dotar al cabezal láser de movilidad, de forma que sea capaz de cortar piezas con geometrías complicadas. Esto se consigue mediante ejes por los que se desplaza el cabezal, que pueden ir desde ejes en dos o tres dimensiones hasta ejes rotatorios. Además, se ha de contar con un buen sistema que sea capaz de trazar las rutas de corte de la manera más eficiente posible.

Durante el proceso de corte láser también es necesario tener en cuenta algunos de los siguientes parámetros de trabajo. Como la potencia del láser, la velocidad de corte y la posición entre el punto de máximo enfoque del haz láser.

- **Potencia del láser.** La potencia del equipo depende entre varios factores del tipo de láser utilizado. La mayoría de equipos láser permiten regular y controlar la potencia que se está utilizando durante el trabajo. Como es lógico, se necesitará más o menos potencia en función de las propiedades y dimensiones del material a trabajar.
- **Velocidad de corte.** Al igual que la potencia, la velocidad máxima a la que se puede trabajar con un equipo láser depende de cada equipo. Velocidad y potencia son dos parámetros que dependen el uno del otro. Esto se debe a que, en la mayoría de casos, a mayor velocidad de corte también se necesitará más potencia para conseguir el corte.
- **Colocación del punto de máximo enfoque del haz láser.** Cuando un haz láser pasa a través de una lente (convergente), esta concentra ese haz en un punto muy pequeño haciendo que todos los rayos del láser converjan en ese punto. Ese punto es el punto de máxima focalización o cuello del haz láser y es el punto en el que el haz láser tiene un diámetro menor. A partir de ese punto, los rayos láser vuelven a separarse. La distancia entre la salida de la lente y el punto de máxima focalización se conoce como distancia focal y depende del tipo y geometría de la lente.

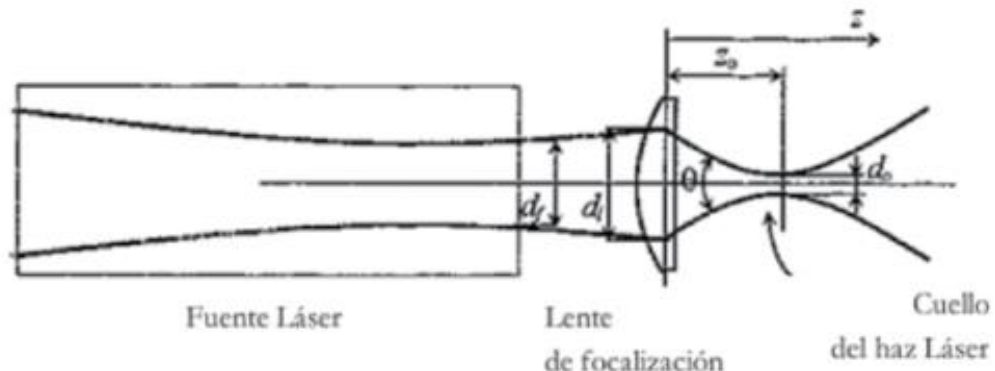


Fig. 18. Distintas zonas de un haz focalizado [2]

La correcta colocación del cuello del haz láser con respecto a la pieza que se va a trabajar es determinante. Se ha demostrado que la forma más eficiente de trabajar es colocar el cuello del haz en el centro del espesor del material de trabajo en el caso de cortes y en la superficie en el caso de grabados o marcados. En los cortes, colocando el cuello del haz en el centro del espesor se consigue que el corte se realice de forma más eficiente, obteniéndose además mejores acabados, evitando en la medida de lo posible que los bordes de corte salgan biselados. Situar el cuello del haz más arriba o más debajo del material a trabajar haría que el láser perdiese potencia, comprometiendo el corte. En el caso de los grabados, es más recomendable situar el cuello del haz en la superficie del material, ya que es la zona del material que se va a trabajar, consiguiéndose así mayor precisión a la hora de hacer grabados o marcados pequeños.

3.2.3.1.3. Calidad del corte láser

La calidad de un corte hecho por láser puede medirse comparando algunas de los parámetros característicos que aparecen en el surco de corte. Los dos parámetros principales a tener en cuenta son la anchura del surco de corte (w) y la inclinación de la pared lateral (u).

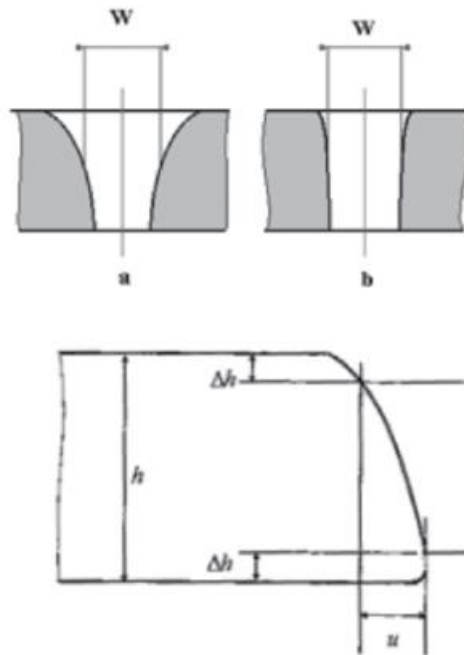


Fig. 19. Parámetros de calidad de un corte láser [2]

Midiendo este valor de la inclinación de la pared lateral, los cortes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Corte muy bueno cuando: $0 < u < 0.05 + 0.0025 \cdot h$
- Corte bueno cuando: $0.05 + 0.0025 \cdot h < u < 0.1 + 0.015 \cdot h$
- Corte malo cuando: $0.1 + 0.015 \cdot h < u < 0.25 + 0.025 \cdot h$
- Corte muy malo cuando: $u > 0.25 + 0.025 \cdot h$

Donde h es el espesor del material a cortar. Como realmente en este criterio, solo el parámetro u es el que se tiene en cuenta a la hora de clasificar el corte, al parámetro u también se le suele llamar parámetro de calidad del corte [2].

Otro factor a tener en cuenta a la hora de determinar si un corte es bueno o no, es que la pieza final obtenida respete las dimensiones del diseño inicial. En definitiva, el corte debe tener una buena precisión dimensional. El corte con láser es un corte de gran precisión, que en muchos casos permite conseguir geometrías complejas con más precisión que otros métodos de corte más tradicionales. Aunque para ello, es necesario que el equipo con el que se está trabajando cumpla algunos requisitos esenciales, como tener un buen ajuste de potencia y velocidad de corte, ajustar bien la distancia focal con respecto al centro del espesor de la pieza que se desea cortar y, además, es necesario trazar correctamente las rutas de corte que el cabezal láser va a realizar para obtener las geometrías deseadas.

También se puede medir la calidad de un corte láser en función de los defectos o irregularidades que puedan aparecer tras realizar el corte. Algunos de estos defectos son:

- **Las rebabas o adhesiones.** Son diferentes salientes o imperfecciones que aparecen en el borde inferior del corte. Estas imperfecciones pueden formarse porque parte del material fundido se ha solidificado antes de tiempo dentro del surco de corte o al intentar retirar la pieza de la matriz cuando no se ha realizado un corte del todo completo.
- **Las zonas alteradas térmicamente.** Aparecen en las regiones más cercanas al surco de corte. Son zonas en las que, debido a las altas temperaturas alcanzadas durante el corte, la estructura del material se ve ligeramente modificada.
- **Las estrías.** Son pequeños defectos o fisuras que aparecen en las paredes laterales del surco de corte. Aun hoy en día no está claro el motivo por el cual aparecen este tipo de defectos después del corte por láser, aunque algunos expertos han afirmado que la geometría de estas estrías varía en función de los parámetros del corte.
- **Otros defectos estéticos o superficiales.** Estos son imperfecciones que no comprometen la estructura del material ni la geometría de la pieza a cortar, pero si pueden empeorar el acabado y la estética de la misma. Son defectos tales como quemaduras superficiales o manchas que pueden aparecer dependiendo del tipo de material con el que se esté tratando.

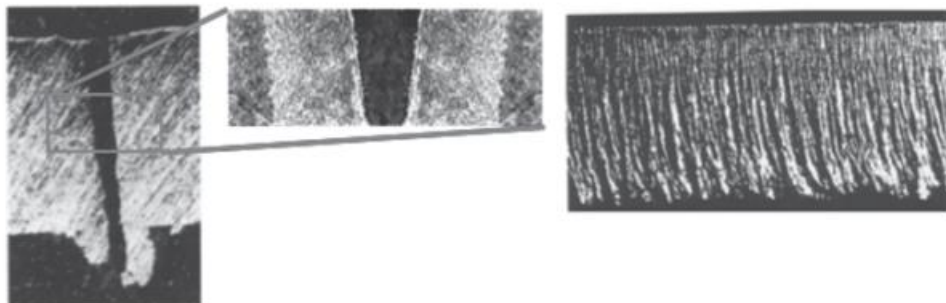


Fig. 20. Imperfecciones de un corte láser [2]

3.2.3.1.4. Comparación con otros métodos de corte

En general el corte mediante tecnología láser presenta una serie de ventajas con respecto a otros mecanismos de corte más tradicionales. Estas ventajas son las siguientes:

- La calidad del surco de corte es muy alta, en especial cuando se trabaja con espesores de menos de 20 mm.
- El surco de corte es más estrecho que en la mayoría de métodos de corte tradicionales, lo que se traduce en una mayor precisión dimensional.

- El láser como tal es una herramienta que no se desgasta, a diferencia de las herramientas tipo sierra que realizan un corte por fricción. Esto no quiere decir que los láseres no requieran de mantenimiento. Algunos de ellos incluso requieren de un remplazo del medio activo con cierta periodicidad, como es de los láseres de CO₂.
- La tecnología láser permite el planteamiento de rutas para la realización de cortes complejos con mayor rapidez que otros mecanismos tradicionales.

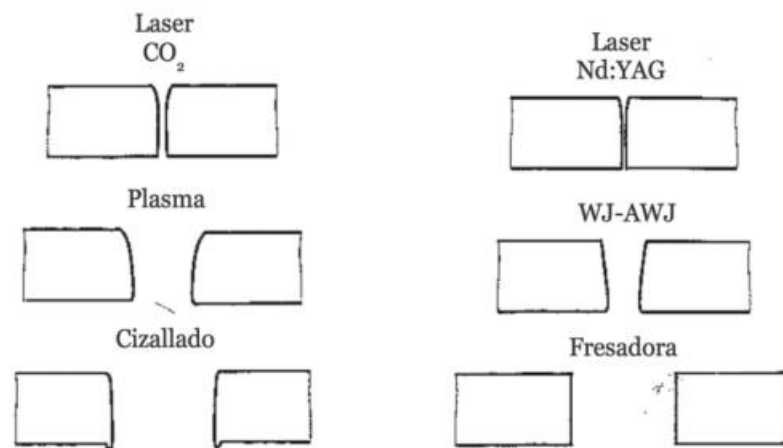


Fig. 21. Diferencias entre cortes con diferentes tecnologías [2]

3.2.3.2. Proceso de grabado láser

El grabado láser es la eliminación del material desde la superficie superior de un material hasta una profundidad determinada.

El tipo de material y el nivel de potencia láser determinan la profundidad máxima del grabado, así como su velocidad. Generalmente el grabado superficial es un proceso más rápido que el grabado profundo. Adicionalmente, los materiales de menor densidad se pueden grabar de manera más rápida que los materiales de densidad mayor. Aumentar el nivel de potencia láser generalmente consigue poder aumentar la velocidad del grabado láser.

Los láseres CO₂ de longitud de onda de 10,6 micrones principalmente se usan para retirar el material para el grabado sobre materiales no metálicos.

Normalmente, los láseres CO₂ no se usan para grabar metales debido a que la mayor parte de la energía láser se refleja. Sin embargo, los láseres de fibra de longitud de onda de 1,06 micrones si pueden usarse para el grabado superficial sobre metal.

3.3. Normativa de seguridad en el uso de láseres

El láser es una herramienta muy útil pero también puede ser peligrosa si no se emplea adecuadamente. Debido a su alta intensidad, los láseres pueden generar daños

oculares irreparables, así como cortes. Además, cuando se trabaja con láseres especialmente potentes interaccionando con la materia se pueden producir procesos radiactivos. Por ello, siempre que se emplea un láser se deben conocer bien sus características y el tipo de protección que requieren.

3.3.1. Clasificación de los láseres según su peligrosidad

Según la normativa UNE-EN 60825-1:2015 los productos láseres se pueden agrupar en cuatro clases generales en función de su peligrosidad [5].

Clase	Tipo de láser	Daños	Riesgo	Medidas de seguridad
Clase I	Láseres que no pueden emitir radiación por encima de los niveles máximos de exposición permitidos.	Ninguno	Ninguno	Etiquetas de peligro
Clase II	Láseres emisores de luz visible que no tengan suficiente potencia para producir daños por accidente, pero pueden producir daños por una observación directa del haz durante un período superior a 0,25 segundos.	Ocular	Crónico para exposiciones de 1.000 segundos	-Carcasa protectora -Etiquetas de peligro -Indicadores de funcionamiento -Gafas de protección
Clase III a	Láseres emisores de luz visible que no producen daños por observación indirecta, pero dañan la retina si se focalizan dentro del ojo.	Ocular	Crónico para exposiciones mayores de 0,25 segundos	-Controles de ingeniería -Gafas de protección -Controles administrativos -Señales de peligro
Clase III b	Láseres que pueden producir daños por accidente si se observa directamente el haz o sus reflexiones en distintas ópticas.	Ocular Cutáneo	Peligro agudo en contacto con el haz	-Controles de ingeniería -Gafas de protección -Controles administrativos -Señales de peligro
Clase IV	Sistemas láser que producen daños graves, por incidencia directa, indirecta o reflexión difusa, en los ojos y la piel.	Ocular Cutáneo	Peligro agudo en contacto con el haz o con su radiación difusa	-Controles de ingeniería -Gafas de protección -Controles administrativos -Señales de peligro

Tabla 3. Clasificación de los láseres según su nivel de peligrosidad

4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y GUIA DE USO

4.1. Comparativa de equipos disponibles en el mercado

La tecnología láser es una tecnología en auge y cada vez más presente en muchos de los sectores industriales. Es por esto que en el mercado existe una gran variedad de máquina de corte-grabado láser de todo tipo. Al tratarse de una tecnología ya muy implantada en varios sectores, existen máquinas láser de todo rango de precios. Estos precios van desde los 500 € hasta los varios miles de euros, en función de las características y prestaciones de la máquina.

En la actualidad, existen cortadoras láser de todo tipo de tamaños, formas, estilos y precios. Por lo tanto, será necesario seleccionar la máquina de corte láser correcta en función de la actividad y el uso que se le desee dar. De entre los tipos principales de láser utilizados para el corte-grabado de materiales, destacan el láser de diodo, el láser de CO₂ y el láser de fibra.

Para que una máquina de corte láser sea buena será necesario que esta sea capaz de producir cortes precisos y de gran calidad en una gran variedad de materiales diferentes. Es por este motivo que se descartó en primera instancia la adquisición de un láser de diodo. Esto se debe a que a pesar de que estos láseres son los más asequibles y manejables, son también láseres de poca potencia, resultando incapaces de realizar cortes de buena calidad en la mayoría de materiales. Estos láseres de diodo están más enfocados a trabajos de grabado que a trabajos de corte de materiales.

Dentro de estos tres tipos de láseres de corte, los más potentes y los que cuentan con mejores prestaciones son los láseres de fibra. El problema es que estos láseres son excesivamente costosos, llegando a alcanzar precios de varios miles de euros. Esto, sumado a que además esta se ha tratado de la primera experiencia de la escuela con una máquina láser ha servido para descartar también a los láseres de fibra como la opción más adecuada.

Finalmente se decidió apostar por una opción intermedia como son los láseres de CO₂. Estos láseres pueden llegar a ser mucho más potentes que los láseres de diodo y su precio es similar al de estos. Además, estos láseres son muy versátiles y permiten trabajar con gran variedad de materiales.

Otro factor a tener en cuenta son las medidas de seguridad con las que cuenta la máquina láser. Al tratarse de un equipo que va a estar destinado entre otros usos a la docencia, es de vital importancia que la máquina láser seleccionada cuente con unas medidas de seguridad importantes que protejan a futuros alumnos (personal poco experimentado en tecnología láser) que interactúen con ella. Es por eso que la máquina seleccionada ha de ser una máquina que cuente varias de estas medidas de seguridad, como contar con un área de trabajo aislada por una compuerta de seguridad.

Además, al tratarse de la primera vez que se va a introducir este tipo de tecnología en la escuela interesa que el equipo elegido sea un equipo con el que sea lo más sencillo y cómodo posible trabajar. También, debe contar con un software intuitivo y con una curva de aprendizaje rápida.

Atendiendo a todas estas necesidades las mejores máquinas de corte láser disponibles en el mercado son la OMTech DF de 40 W, la Flux Beamo de 30 W y la

Glowforge Plus de 40 W. Las características de estas máquinas se resumen en la siguiente tabla.

	Flux Beamo	OMTech DF	Golwforge Plus
Precio aprox. (€)	2000	600	4500
Área de trabajo (mm x mm)	300x210	300x200	495x279
Profundidad área de trabajo (mm)	45	30	50
Tipo de láser	CO2	CO2	CO2
Potencia (W)	30	40	40
Enfoque del láser	Manual	Manual	Automático
Cámara	SI	NO	SI
Software	Beam Studio	LaserDRW CorelLaser K40 Whisperer	Glowforge Print
Funcionamiento sin internet	SI	SI	NO
Dimensiones (mm x mm x mm)	486x430x486	800x500x250	965x527x210
Peso (kg)	22	22	25

Tabla 4. Comparativa de características de las diferentes máquinas de corte-grabado consideradas.

Atendiendo a estas características y siendo el objetivo de este trabajo ser una primera toma de contacto con la tecnología de corte láser se ha seleccionado como equipo de trabajo la máquina OMTech DF de 40 W. Esta se trata de una máquina con un precio bastante ajustado para las características que presenta. Además, esta máquina permite una ampliación de potencia si en el futuro se ve necesario.

4.2. Descripción del equipo

Como se ha comentado en el apartado anterior, finalmente la máquina corte y grabado láser adquirida ha sido la OMTech modelo DF0812-40BG. Es una máquina que cuenta con un láser de 40 W de potencia, lo que la hace capaz de cortar y grabar diversos materiales.



Fig. 22. Máquina de corte y grabado láser de 40W [6]



Fig. 23. Máquina de corte y grabado láser de 40W [6]

4.2.1. Descripción de la máquina de corte-grabado por láser

Se trata de una máquina de escritorio de apariencia casi rectangular. La máquina cuenta con unas dimensiones totales de 800x500x250 mm y un peso aproximado de 26 kg, por lo que se trata de una herramienta compacta de dimensiones reducidas. La máquina cuenta con tres compartimentos diferenciados y está provista de cuatro ruedines giratorios para facilitar su movimiento y transporte. La máquina cuenta con un tubo láser de CO₂ capaz de proporcionar un haz láser de una potencia máxima de 40W. Cuenta con un área de trabajo de 300 x 200 mm. Esta máquina es capaz de realizar grabados a una velocidad máxima de 500 mm/s y cortes a una velocidad máxima de 400 mm/s. [6]

4.2.1.1. Primer compartimento

El primero de los compartimentos se encuentra en la parte trasera de la máquina láser. Se trata de un compartimento alargado en cual están contenidos principalmente dos elementos de la máquina láser. El tubo láser y el primero de los espejos del sistema que transporta el haz láser desde el tubo hasta el cabezal de corte. Además, en este compartimento también se encuentra parte del cableado y pasan por él los conductos de entrada y salida del agua de refrigeración del tubo láser.



Fig. 24. Primer compartimento de la máquina láser [Imagen propia]

Por lo general, una vez calibrado el primero de los espejos no será necesario estar abriendo y cerrando este compartimento a menudo. A excepción de cuando se desee sustituir alguno de los componentes que en él se encuentran o para realizar mantenimiento.

Adicionalmente, este compartimento cuenta con una trampilla que se puede retirar en caso de que se desee cambiar el tubo láser por un tubo láser de mayor potencia y por lo tanto de mayor longitud.

4.2.1.1.1. El tubo láser

El tubo láser es el elemento más trascendental dentro de la máquina ya que es el encargado de generar el haz láser. En este caso, se trata de un láser de gas, que usa como medio activo el CO_2 . La cámara de resonancia del láser es un cilindro hermético construido en vidrio. El tubo láser cuenta con el cableado que le permite recibir la energía necesaria para generar el haz láser.

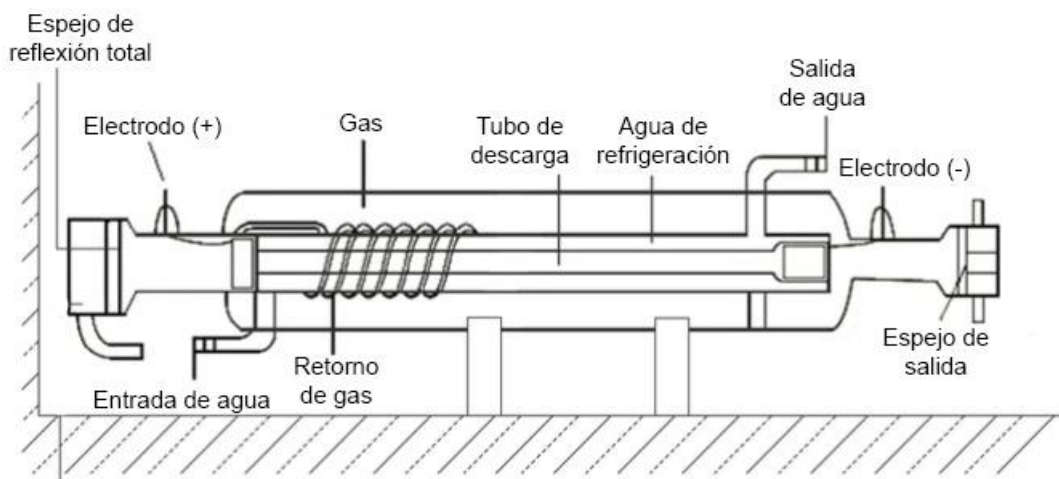


Fig. 25. Esquema de un tubo láser [Imagen obtenida de internet] (Traducida)

El tubo cuenta también con un sistema de refrigeración de agua, el cual impide que el tubo láser alcance una temperatura excesiva que pueda comprometer el equipo. Este sistema está compuesto por dos conductos, uno de entrada y otro de salida, a través de los cuales el tubo láser realiza la refrigeración por agua. El primero de los conductos, situado en la parte trasera del tubo láser, es el que suministra el agua de refrigeración

al tubo desde el tanque de agua. El segundo de los conductos es el que se sitúa en la zona delantera, próximo a la salida del haz láser. Este tubo es el que devuelve el agua de refrigeración desde el tubo hasta el tanque de agua. El sistema de refrigeración es crucial para el correcto funcionamiento del láser. Por ello conviene asegurarse de que el tubo está completamente lleno del agua de refrigeración mientras este está funcionando. Además, el agua de refrigeración no debe superar en ningún caso los 40°C, siendo el rango de temperatura óptimo del agua entre 15°C y 20°C. Por este motivo, es necesario cambiar el agua de refrigeración periódicamente y enfriarla en caso de que sea necesario. Además, el agua tampoco debe tener una temperatura inferior a 0°C. En caso de que esto suceda, es necesario el uso de anticongelante.

Este tubo láser tiene unas dimensiones de casi 650 mm de largo y unos 50 mm de diámetro, por lo que ocupa casi la totalidad del compartimento. Es capaz de suministrar una potencia operativa máxima de 40W. El tubo láser funciona con una corriente muy baja, de entre 14 y 20 mA, por lo tanto, trabaja con un voltaje de operación muy alto cercano a los 15 kV en corriente alterna. Este tubo láser genera un haz de luz láser de color verde con una longitud de onda de 10640 nm. Como se explica anteriormente, los láseres de CO₂ tienen una vida útil finita, ya que el gas que compone el medio activo se va consumiendo. En este caso, el tubo láser cuenta con una vida útil de 800 y 2000 horas, en función de la potencia a la que se suele utilizar.

	Potencia de trabajo (%)	Vida útil (Horas)
Potencia baja	10 - 40	1700 - 2000
Potencia moderada	40 - 70	1300 - 1500
Potencia alta	70 - 100	800 - 1000

Tabla 5. Vida útil del tubo láser en función de la potencia de trabajo [6]

Como ya se ha comentado, el tubo láser es uno de los elementos más importantes y delicados de la máquina láser. Por este motivo, es conveniente manipularlo con el máximo cuidado posible.

4.2.1.1.2. Primer espejo del sistema

Como ya se ha visto en el caso de los láseres de CO₂, el transporte del haz láser hasta el cabezal de corte se realiza siempre mediante espejos. Esto se debe a que la geometría y construcción de este tipo de tubo láser dificulta la implementación de un sistema de transporte del haz mediante fibra.

En este caso esta máquina cuenta con un sistema de transporte del láser formado por tres pequeños espejos circulares. Estos espejos de reflexión total son los encargados de llevar el haz láser desde la salida del tubo hasta el cabezal de corte.

El primero de los espejos se encuentra ubicado en el primer compartimento. Este espejo se sitúa muy cercano a la salida del tubo láser y, al rebotar el haz láser en él, dirige el haz láser hasta el segundo de los espejos del sistema. Este espejo es fijo, pero posee un mecanismo de tornillos, formado por tres tornillos, que permite ajustar su ángulo e inclinación.



Fig. 26. Primer espejo del sistema óptico [Imagen propia]

4.2.1.2. Segundo compartimento

En el segundo compartimento, el más grande los tres, es donde se encuentra el área propia de trabajo. Su interior tiene unas dimensiones de 350x230 mm. A pesar de esto, el área de trabajo efectiva es un poco más reducida, de 300 x 200 mm. El área de trabajo es el área que el cabezal del láser es capaz abarcar en su recorrido.

En el interior de este compartimento se encuentra, además de la propia zona de trabajo, los ejes a través de los cuales el cabezal láser realiza los movimientos, el propio cabezal láser, dos de los tres espejos que forman parte del sistema que transporta el haz láser desde la salida del tubo hasta el cabezal y el sistema de extracción de gases.



Fig. 27. Segundo compartimento de la máquina láser [6]

Este compartimento cuenta con una puerta de acceso, la cual cuenta con una ventana con pantalla protectora. De esta forma se puede observar el interior de la máquina, mientras esta está trabajando, sin que haya riesgo para el usuario. Además, la puerta cuenta con un final de carrera incomparable, lo que provoca que el tubo deje de emitir láser si la puerta se halla abierta, asegurando de esta forma que no se pueda generar ningún daño ocular o de cualquier otra índole en el usuario.

4.2.1.2.1. El área de trabajo

Como ya se ha comentado el área de trabajo cuenta con unas dimensiones efectivas de 300 mm de largo por 200 mm de ancho. Esta área representa el espacio sobre el cual el cabezal láser puede moverse. Cuenta con una base de aluminio, el cual es bastante brillante y reflectante. Esto resulta útil, ya que evita que el haz láser pueda dañar la zona de trabajo a su paso.

En el centro del área de trabajo se encuentra una zona perforada de tamaño más reducido con un sistema que sirve como sujeción para piezas más pequeñas.

Este sistema de sujeción parecía de utilidad en un inicio, pero en la práctica se comprobó que no era tan útil ya que carecía de una forma de sujetar las piezas de manera que quedaran totalmente perpendiculares al haz láser. Además, el área de trabajo está fijada por unos separadores al chasis de la máquina, por lo que no permite el movimiento de la misma en el eje Z. Por estos dos motivos, el área de trabajo fue una de las primeras zonas de la máquina considerada para ser mejorada.

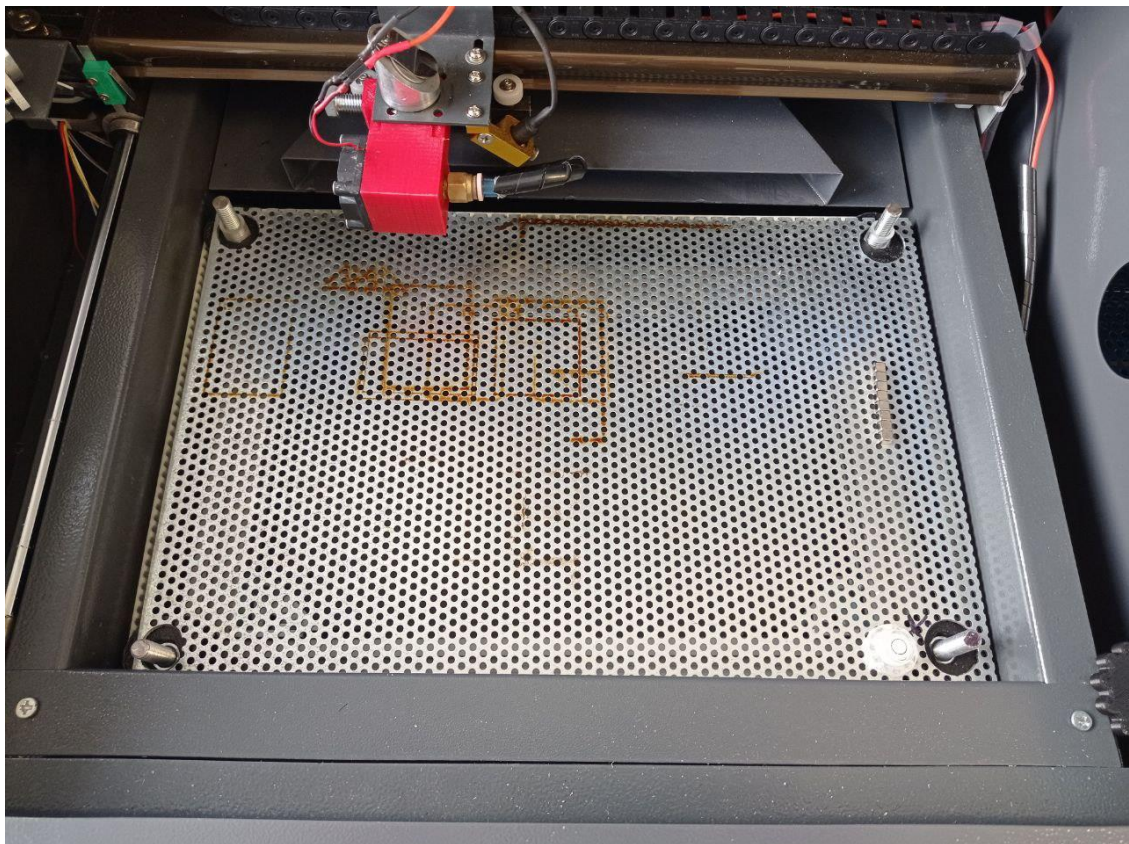


Fig. 28. Área de trabajo [Imagen propia]

4.2.1.2.2. El sistema de ejes

El sistema el cual permite el movimiento del cabezal láser está compuesto por dos ejes. El primero de ellos, el eje vertical, es un eje fijo y sobre eje, a su vez, se mueve el eje horizontal. El eje horizontal es móvil, permitiendo el movimiento a lo largo del eje Y. A su vez, sobre este eje móvil se mueve el cabezal láser, permitiendo el movimiento a lo largo del eje X. Estos dos elementos móviles permiten el movimiento completo del cabezal láser y la realización de todo tipo de geometrías en dos dimensiones.

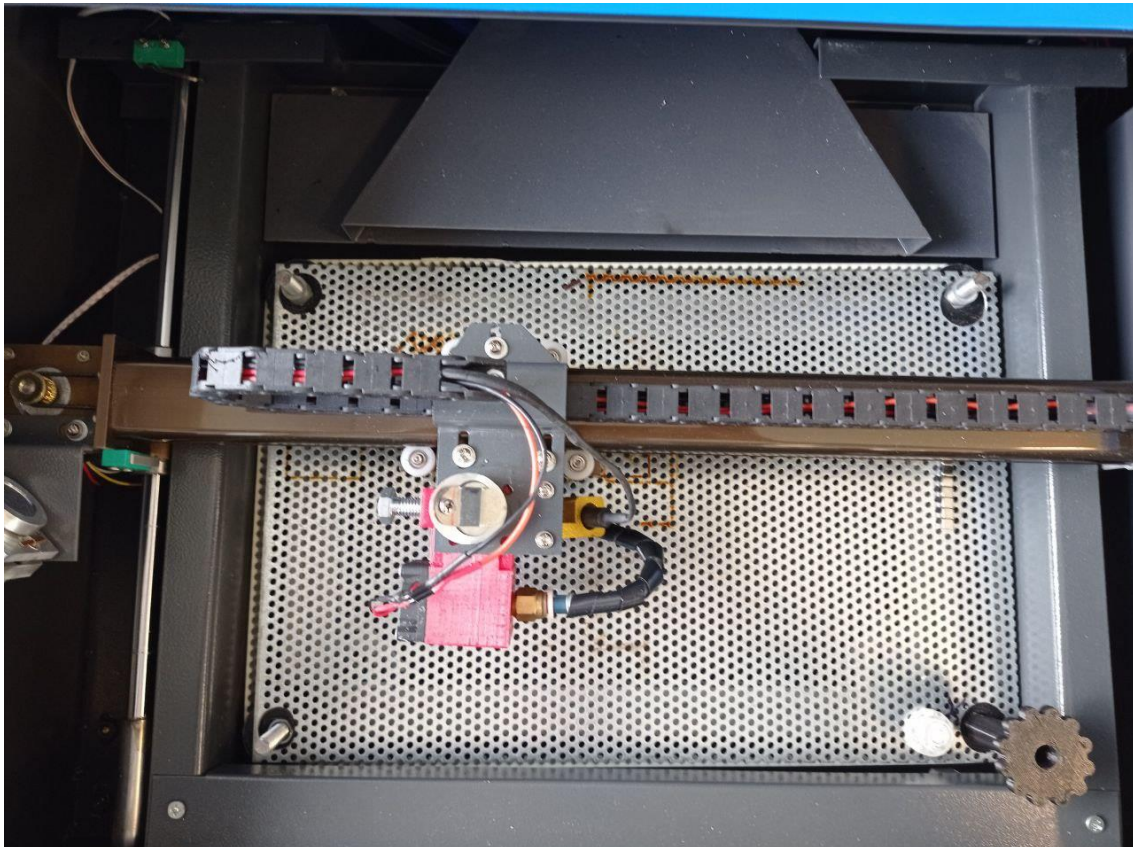


Fig. 29. Sistema de railes y rieles [Imagen propia]

4.2.1.2.3. Segundo espejo del sistema

Este es el segundo de los espejos que conforman el sistema que transporta el haz láser desde el tubo hasta el cabezal láser. Se trata de un pequeño espejo de reflexión total que se encuentra situado sobre el eje móvil, moviéndose solidariamente con ese en el sentido del eje Y. En concreto, este espejo se sitúa fijo en el extremo izquierdo del eje móvil.

Al igual que el primero de los espejos, este también es regulable. Su posición se puede regular mediante el mismo sistema de tornillos que el primer espejo. La función de este espejo es dirigir el haz láser, que viene de rebotado desde el primer espejo, hasta el tercero de los espejos, situado en el cabezal láser.

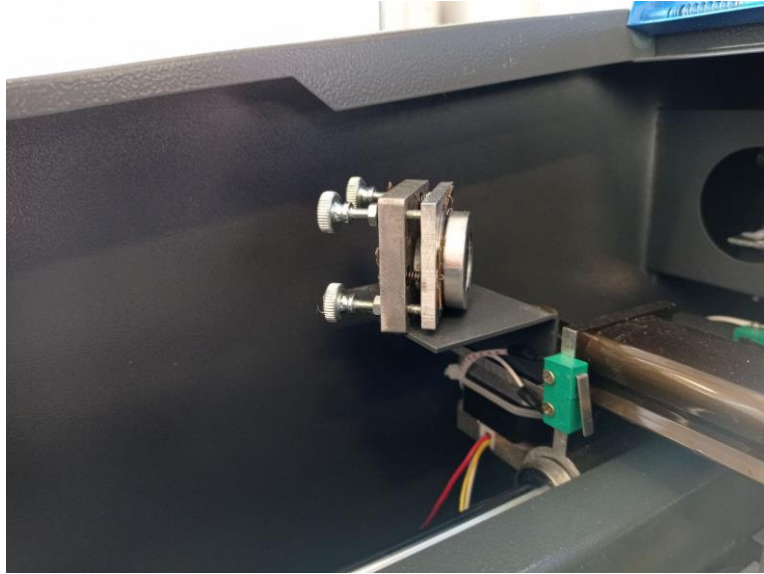


Fig. 30. Segundo espejo del sistema óptico [Imagen propia]

4.2.1.2.4. El cabezal láser

El cabezal láser es el encargado de realizar el movimiento durante el trabajo. Este, a su vez se mueve sobre el rail horizontal (X), que a su vez se mueve sobre el eje vertical (Y), formando de esta forma el movimiento completo del cabezal sobre toda el área de trabajo. A través de este cabezal móvil es por donde sale el haz final del láser, ya focalizado, que es el encargado de realizar los corte y los grabados. Este cabezal está compuesto por una estructura metálica, de forma cilíndrica, en la que se encuentran los siguientes componentes: el tercero de los espejos del sistema de transporte del láser, la lente de focalización y un puntero láser de soporte, que marca la trayectoria que va siguiendo el haz láser.

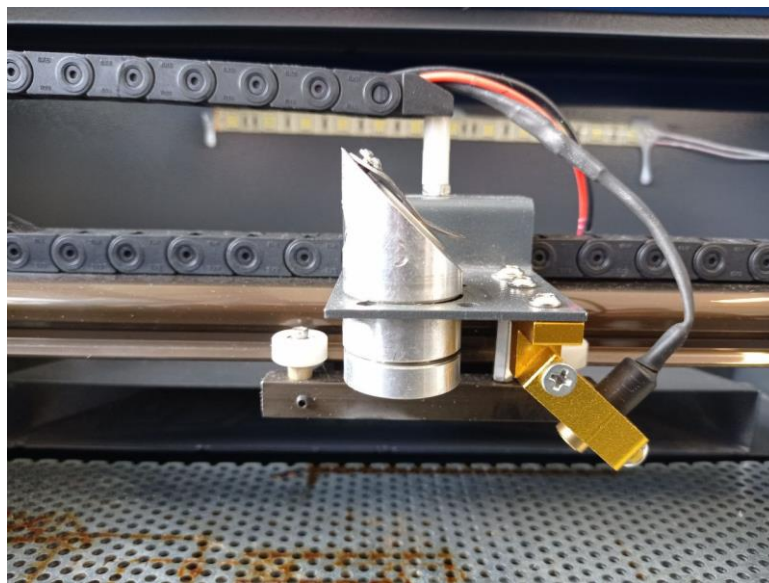


Fig. 31. Cabezal de corte láser [Imagen propia]

4.2.1.2.4.1. Tercer espejo del sistema

Este es el último de los espejos por los cuales pasa el recorrido del haz láser. Se encuentra fijado en el cabezal láser mediante una pletina con un tornillo. Este es el único espejo del sistema que tiene una posición fija (no es regulable), aunque puede ser retirado del cabezal para su mantenimiento o sustitución.

La función de este espejo es dirigir el haz láser hacia abajo, de forma perpendicular al área de trabajo. El haz láser llega al cabezal, procedente del segundo espejo, de forma horizontal y entra en el cabezal por un orificio circular situado en su lado izquierdo. El haz láser impacta así en el tercer espejo, el cual tiene una inclinación aproximada de 45° con la horizontal, haciendo que el haz salga de manera vertical hacia abajo. Gracias a este espejo se consigue que el haz láser tenga una dirección vertical, dirigida de forma perpendicular hacia el área de trabajo.

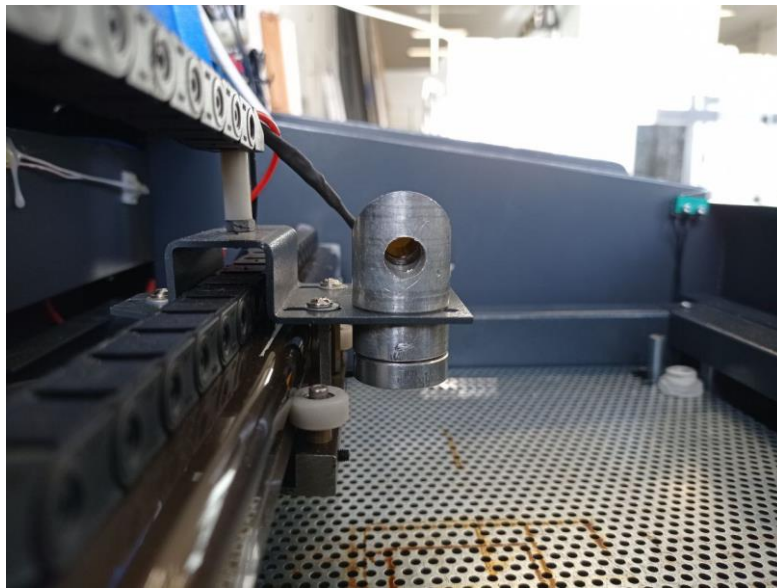


Fig. 32. Entrada del haz láser al cabezal. Tercer espejo [Imagen propia]

4.2.1.2.4.2. La lente

La lente es un elemento de vital importancia en un sistema de corte-grabado láser. La lente se encarga de la focalización del haz láser en la salida del cabezal. Esto hace que el láser pueda concentra toda su energía en un punto aún más pequeño, aumentando la efectividad de la máquina en los procesos de trabajo.

Se trata de una lente circular de 10 mm de diámetro. Una de sus caras, por la que entra el haz láser, tiene cierta convexidad. Por el contrario, la cara de la lente por la que sale el haz láser es totalmente plana. Esta geometría de la lente provoca que los rayos de luz del haz láser se concentren en un punto muy pequeño. Como ya se ha explicado el punto en el que los rayos se concentran más recibe el nombre de cuello del haz o punto de máxima concentración. La distancia entre la salida de la lente y este punto de máxima concentración (distancia focal) depende de la propia lente. En este caso, esta lente proporciona una distancia focal de 50,8 mm.

La lente se encuentra fijada al cabezal de forma horizontal (el haz debe pasar de forma perpendicular a través de ella) mediante una pieza metálica roscada en la parte inferior del cabezal. Esta pieza permite ser retirada fácilmente para la limpieza o sustitución de la lente.



Fig. 33. Lente [6]

4.2.1.2.4.3. El puntero láser

Este puntero láser sirve para marcar el lugar en el que está apuntando el láser de corte-grabado. Este es un sistema útil para el posicionamiento tanto del material como del cabezal en la zona de trabajo. Además, también es útil para trazar la trayectoria que ha de seguir el cabezal sin necesidad de tener conectado el láser de corte, comprobando así espacios disponibles en los materiales y la geometría de los cortes-grabados antes de la realización de los mismos.

Este puntero láser se trata simplemente de un pequeño láser de luz roja inocua para el usuario. El puntero se encuentra directamente conectado a la fuente de alimentación de la máquina, por lo que se encenderá automáticamente al conectar la máquina. El puntero se encuentra unido al cabezal por una pieza móvil a través de dos tornillos. Estos tornillos permiten regular la posición del puntero para que coincida de forma exacta con el punto de corte del láser.

4.2.1.2.5. El sistema de extracción de gases

Este sistema de extracción de gases es el encargado de expulsar los gases y vapores producidos durante los procesos de corte-grabado del interior de la máquina láser.

Este sistema se encuentra en la parte posterior del segundo compartimento y está compuesto que por una tobera conectada a un ventilador de extracción. Este ventilador se activa automáticamente al encender la máquina. Adicionalmente, la máquina ofrece la posibilidad de sustituir este ventilador por uno mayor o de conectar varios ventiladores en caso de que se desee mejorar la extracción de gases.

Gracias a este sistema se permite evacuar los gases protegiendo así la salud del usuario y alargando la vida útil de los componentes de la máquina láser.

4.2.1.3. Tercer compartimento

Este es el más pequeño de los compartimentos. Se sitúa en la parte delantera derecha de la máquina. En su interior está contenida la mayor parte del cableado, así como la fuente de alimentación y la placa base del sistema. En la compuerta del compartimento se encuentra ubicado el panel de control de la máquina láser.

No se recomienda la apertura de este compartimento mientras la máquina láser esté conectada a la red.



Fig. 34. Tercer compartimento de la máquina láser [Imagen propia]

4.2.1.3.1. La fuente de alimentación

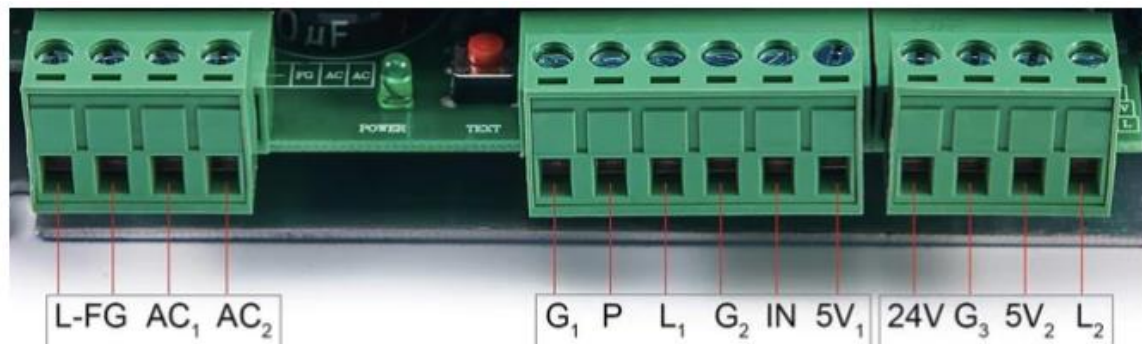
La máquina cuenta con una fuente de alimentación que cuenta con las siguientes características:

Características de la fuente de alimentación		
Entrada	Voltaje	110/220 AC
	Frecuencia AC	47-440 Hz
	Potencia Máxima	450 W
	Corriente Máxima	3 A
Salida	Voltaje Máximo	35 kV DC
	Corriente Máxima	24 mA DC
Rendimiento		$\geq 90\%$ (carga completa)
Vida útil		≥ 10000 horas
Tiempo de respuesta		≤ 1 milisegundo
Voltaje soportado		1500 V a 10 mA durante 60 segundos
Medio de operación		Temperatura: -10°C - 40°C Humedad relativa: $\leq 90\%$
Sistema de refrigeración		Forced-Air Cooling (FAC)

Tabla 6. Características de la fuente de alimentación [6]



Fig. 35. Fuente de alimentación [6]



L-: Laser Return: Connection to the Laser Tube Cathode (and usually Ammeter)

FG: Ground Wire for the Mains & Case

AC₁: Neutral Wire to 110V Power

AC₂: Live Input from 110V Power

The second & third bank connect your laser power supply to the engraver's control system. Just like the first bank, if you have one already set up, you can simply plug in your old screw terminal block directly. Otherwise take care to install the wiring correctly. Use of separately colored wiring is recommended.

G₁: Ground Wire for the Laser Trigger & Water System

P: Line to the Laser Trigger, Water, & Other Systems (such as a door switch)

L₁: Active Low Pin₁: Line to the Engraver's Test Switch for Alignment and Checking

G₂: Ground Wire for the Engraver Laser Trigger & Test Switch Circuit

IN: Input Power for PWM Level Shifters or Potentiometers

5V₁: 5V Connection for PWM Level Shifters or Potentiometers

24V: 24V Connection to the Motherboard

G₃: Ground Wire for the Motherboard

5V₂: 5V Connection for Digital Signals

L₂: Active Low Pin₂: L0 Control Line to Motherboard

Fig. 36. Conexiones de la fuente de alimentación [6]

4.2.1.3.2. El panel de control

El panel de control de la máquina se encuentra situado sobre la compuerta del tercer compartimento. Este panel de control cuenta con las siguientes funciones.



Fig. 37. Panel de control [Imagen propia]

- **(1) Interruptor general.** Este es el interruptor de alimentación principal de la máquina. Al encender el interruptor la máquina y todos los componentes de ella se activan. Además, al encender la máquina el cabezal láser se mueve hasta el origen, la esquina superior izquierda del área de trabajo.
- **(2) Botón de activación del láser.** Con este botón se puede apagar o encender la generación de láser en la máquina. Al estar activado el indicador del porcentaje de potencia estará encendido. Si está apagado el tubo láser no generará luz láser a pesar de que la máquina este encendida.

- **(3) Indicador de porcentaje de potencia.** Se trata de un indicador led que muestra el porcentaje de la potencia máxima (40 W) que está configurado en la máquina en ese momento.
- **(4) Botones de porcentaje (+/-).** A través de estos botones se puede configurar el porcentaje de potencia máxima de trabajo. Esta es la única forma de configurar el porcentaje de potencia, ya que no se puede controlar a través del software. Se trata de seis botones iguales, con los de la izquierda se regula el porcentaje potencia de diez en diez unidades, con los centrales se puede regular de uno en uno y finalmente con los de la derecha se puede controlar el porcentaje de décima en décima.
- **(5) Botón test.** Mientras esté presionado este botón el láser emitirá una pulsación. Este botón es útil para realizar pruebas.
- **(6) Indicador luminoso.** Se trata de una pequeña luz led que se encenderá mientras se esté emitiendo luz láser.

Adicionalmente, la máquina láser cuenta con una serie de indicadores situados sobre el panel de control.

Cuenta con dos indicadores de temperatura. El primero mide la temperatura de la fuente de alimentación, la cual no debe superar los 40 °C. El segundo de los indicadores mide la temperatura del agua de refrigeración, la cual debe estar entre 0 °C y 35 °C. Ambos indicadores miden la temperatura mediante unas sondas colocadas en la fuente de alimentación y en el tubo láser, respectivamente.

También, cuenta con un amperímetro integrado que mide la corriente de trabajo del tubo láser. Esta corriente no debe superar los 20 – 22 mA, por seguridad del tubo láser.

Por último, en esta zona también se encuentra el botón de para de emergencia. En caso de emergencia al pulsar este botón la máquina láser se detendrá por completo.

4.2.1.4. Conexiones externas

La máquina cuenta con una serie de elementos y conexiones en la parte exterior de la estructura de la máquina. En la parte posterior de la máquina se encuentran los siguientes elementos:

- El enchufe general de corriente.
- Un enchufe a tierra. Que permite conectar la máquina a tierra en el caso de que el cable de alimentación general no cuente con toma de tierra.
- Dos enchufes adicionales. Estos enchufes permiten conectar directamente a la fuente de alimentación de la máquina algunos accesorios. Útiles para conectar la bomba del sistema de refrigeración o para conectar un ventilador de extracción adicional.
- Salida del sistema de extracción de gases.
- Conductos de entrada y salida del agua de refrigeración.

En el lateral derecho de la máquina se encuentra la conexión USB para conectar la máquina al ordenador en el cual se encuentra el software controlador de la máquina. Esta máquina solo es compatible con el sistema operativo Windows.

4.2.2. ACCESORIOS

La máquina láser cuenta con una serie de accesorios, necesarios para el funcionamiento de la misma.

Los principales de estos accesorios son la bomba, que sirve para mover el agua del sistema de refrigeración, y el conducto de escape de gases, que permite evacuar los gases emitidos fuera de la habitación en la que se encuentra la máquina.

Además, junto con la máquina venía una pequeña bolsa que contiene algunos elementos como manuales y pen-drives con los softwares necesarios.



Fig. 38. Accesorios de la máquina láser [Imagen propia]

4.3. Diseño e implementación de mejoras para el equipo

Como ya se ha visto en apartados anteriores, la máquina láser DF2030-40B de OMTech es una máquina compacta y bastante completa para la realización de trabajos de corte y grabado láser. A pesar de esto, esta máquina también presenta algunas carencias o componentes que pueden ser mejorados. Por ello, se han diseñado las siguientes mejoras y componentes para mejorar la eficiencia de la máquina y aumentar la comodidad a la hora de trabajar con la misma.

Los planos de todas las piezas y elementos diseñados y fabricados durante el proceso de mejora de la máquina láser se hayan en el anexo de planos (página 115).

4.3.1. Mesa de trabajo y transporte

La finalidad de esta máquina no es solo la ser una herramienta más en un alguno de los laboratorios de la escuela sino la de servir como elemento de docencia. Por ello, se ha construido una mesa que facilite el transporte y trabajo con la máquina en función de sus funciones en la investigación y la docencia. Esta mesa ha sido construida para satisfacer las necesidades y dimensiones de la máquina láser.



Fig. 39. Mesa de trabajo [Imagen propia]

La estructura de la mesa ha sido fabricada utilizando perfil cuadrado de aluminio de 45 mm, dotándola de un cuerpo estable y resistente que asegure la integridad de la máquina láser. La altura de la mesa es de 90 cm, así se ha conseguido una altura que permite trabajar cómodamente en ella tanto sentado como de pie. La mesa cuenta con un tablero superior de madera resistente de 130 x 80 cm y 2,5 cm de espesor. De esta forma, se ha conseguido un espacio de trabajo amplio que permite, además de colocar la máquina láser, colocar sobre él el resto de elementos necesarios para trabajar con la máquina, como un ordenador y demás herramientas. Adicionalmente, para este tablero se han diseñado tres ganchos de plástico, los cuales han sido colocados en la cara inferior del tablero. Estos ganchos permiten tanto el transporte y almacenamiento del soporte para el conducto de extracción de gases como el almacenamiento del cableado y otras herramientas.



Fig. 40. Ganchos de la mesa de trabajo [Imagen propia]

Además, la mesa cuenta con un tablero inferior construido en la misma madera que el superior, aunque de dimensiones ligeramente menores. Este tablero cumple la función de sostener el tanque de agua de refrigeración, de forma que este tanque se mueva solidario con la máquina a la hora de cambiar la ubicación de la misma. En este tablero inferior también queda un espacio amplio para el almacenamiento de material de trabajo de la máquina o de más componentes de la misma.

Por último, la mesa ha sido equipada con cuatro ruedas giratorias con freno. De este modo se puede transportar y cambiar la ubicación de la máquina láser de forma sencilla.



Fig. 41. Ruedas y pieza conectora [Imagen propia]

Como ya se ha dicho, la estructura ha sido fabricada en perfil de aluminio el cual ha sido cortado a medida mediante sierra mecánica y el tablero ha sido encargado a medida en madera resistente acabada en color blanco. El resto de piezas que conforman esta mesa, al igual que la mayoría de las piezas usadas en cada una de las mejoras de la máquina, han sido diseñadas en 3D mediante el software Inventor de AutoDesk. Las piezas que sirven de unión entre el tablero superior y la estructura, además de las piezas que unen las ruedas a las patas de la mesa, han sido fabricadas en PVC mediante procesos de torneado y fresado. Los ganchos añadidos al tablero superior han sido fabricados por impresión 3D en PLA, utilizando el software Cura de Ultimaker.

4.3.2. Cama elevable

Uno de los factores relevantes a la hora de obtener un corte láser de calidad es localizar el cuello del haz láser en el centro del espesor de la lámina de material a cortar.

Inicialmente, la máquina láser contaba con una cama fija de aluminio sobre la que colocar la lámina de material a trabajar. Por esto, no se podía controlar la distancia entre la salida del cabezal láser y la lámina de material, impidiendo hacer coincidir la distancia focal del láser con el centro de la lámina de material. Al trabajar con láminas de materiales de diferentes espesores y dimensiones, era crucial el diseño e implementación de algún dispositivo que permitiese la correcta colocación de la lámina del material con respecto a la salida del cabezal láser. En definitiva, un dispositivo que permita el movimiento de la lámina del material en el eje Z.

Para ello, se ha diseñado y fabricado un soporte móvil que, de manera manual, permite elevar y bajar la superficie o cama sobre la que se sitúan las láminas de material a trabajar. De esta forma se consigue situar las láminas de material a trabajar a la distancia adecuada de la salida del cabezal láser para obtener cortes más eficientes y con mejores acabados.

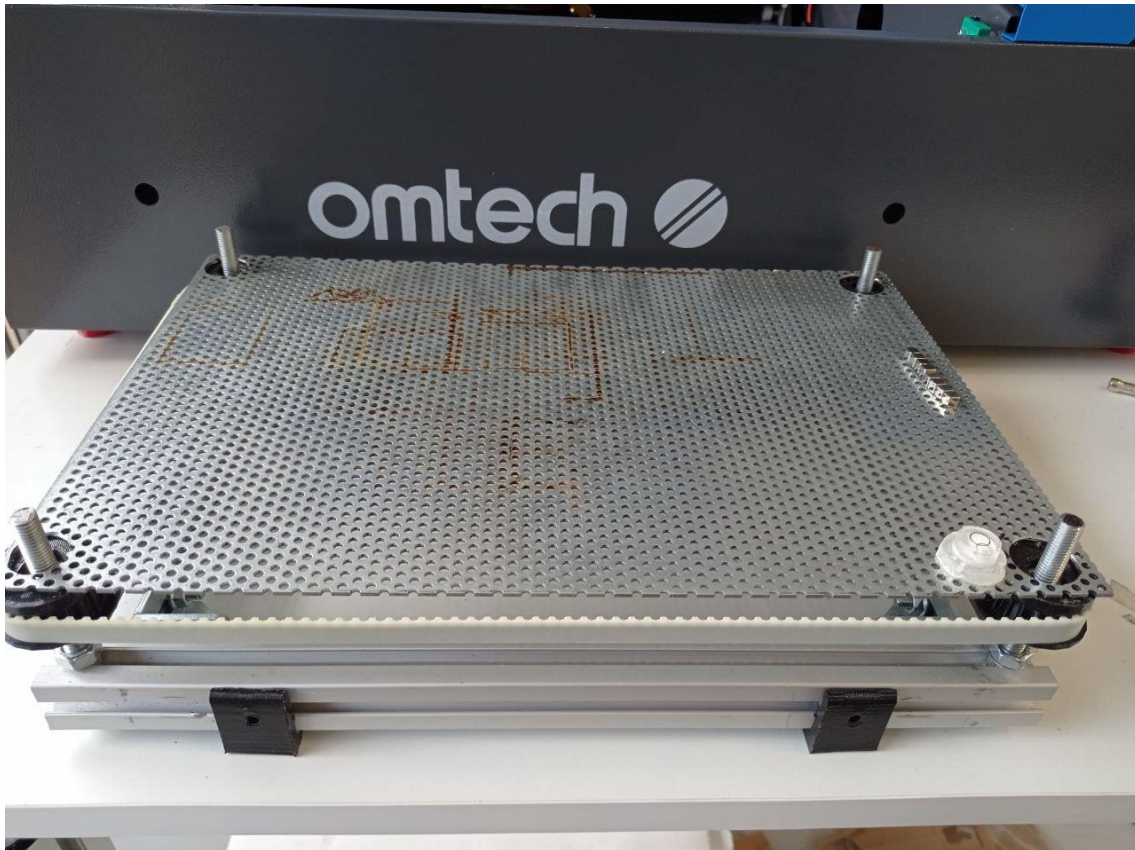


Fig. 42. Sistema de cama elevable [Imagen propia]

El soporte cuenta con una base rectangular fabricada en perfiles de aluminio de 25 mm. En cada esquina de la base se han fijado una varilla rosca. Para cada una de las cuatro varillas roscadas se ha diseñado una pieza cilíndrica dentada, con una superficie superior plana sobre las que descansa la cama sobre la que se sitúa el material a trabaja. Cada una de las piezas contiene una tuerca de métrica 8 en su interior que se desplaza a lo largo de la varilla rosca. Para lograr el movimiento solidario de las cuatro piezas, estas están conectadas mediante una correa dentada. Se ha diseñado también una manivela, que se puede encajar en cualquiera de las cuatro piezas, con la cual, el usuario eleva o baja la cama. La propia cama se ha fabricado en chapa perforada de un material metálico, lo que permite una fácil fijación de las láminas material a trabajar. Por último, la base cuenta con cuatro patas de plástico con imanes en la parte inferior que permiten fijar el soporte completo a la base de la máquina láser. En última instancia, se le ha añadido un pequeño nivel circular, que permite comprobar en todo momento que la cama elevable está nivelada con respecto a la horizontal.

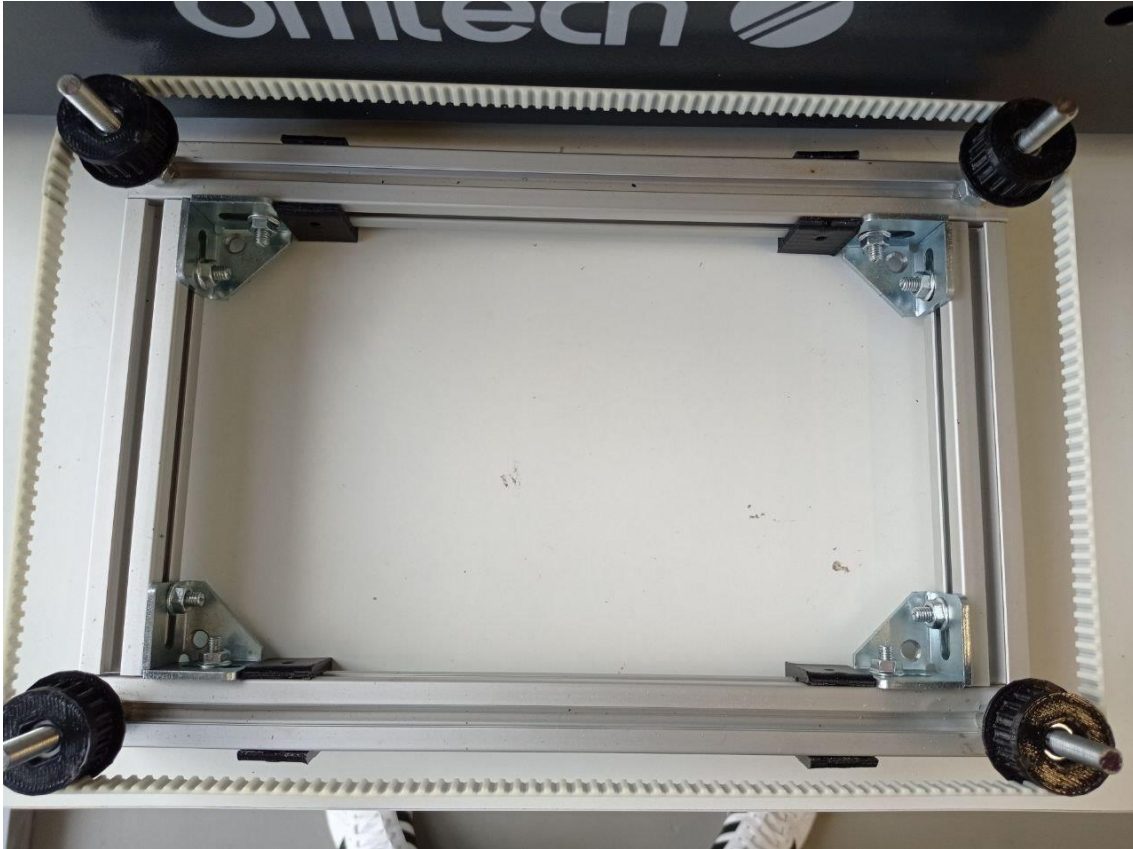


Fig. 43. Mecanismo de la cama elevable [Imagen propia]

Tanto las cuatro piezas que se desplazan a lo largo de las varillas rosadas, como la manivela y las patas del soporte, se han diseñado en AutoDesk Inventor y se han fabricado en PLA mediante impresión 3D.

4.3.3. Piezas guía para ajustar el cuello del haz láser

Para poder conocer de forma rápida y cómoda la distancia a la que hay que colocar las láminas de material con respecto a la salida del cabezal láser se han diseñado dos piezas guía.

Estas piezas son rectangulares y tienen un largo máximo de 50,8 mm, igual a la distancia focal del láser. Cada pieza cuenta con una cara inferior plana y una cara superior escalonada. Cada uno de los escalones disminuye el largo de la pieza una determinada distancia. De esta forma, la distancia entre la parte inferior plana de la pieza y cada uno de los escalones de la parte superior se corresponde con la distancia a la que habría que colocar la lámina de material a trabajar para que el cuello del haz láser quedase justo en el centro del espesor de la lámina, en función del espesor de la lámina.



Fig. 44. Piezas para regular la distancia focal [Imagen propia]

Se han fabricado dos piezas, cada una con distancias para espesores comunes. La primera permite colocar correctamente láminas de material de espesor impar (1mm, 3mm, 5mm, 7mm y 9mm), mientras que la segunda ayuda a la correcta colocación de láminas de espesor par (2mm, 4mm, 6mm, 8 mm y 10mm).

Ambas piezas se han fabricado en MDF de 2,5 mm y han sido cortadas usando la propia máquina láser.

4.3.4. Sistema antillama

A la hora de trabajar con algunos materiales, como maderas, es frecuente la aparición de llamas que pueden dañar tanto los componentes del equipo y empeorar el acabado del corte o grabado que se desea realizar. Así mismo, esta aparición de llamas puede comprometer también la seguridad del usuario que esté trabajando con la máquina láser.



Fig. 45. Sistema antillama [Imagen propia]

Para evitar la aparición de estas llamas se ha diseñado y construido un sistema antillama. Este sistema está compuesto por un pequeño ventilador de 40 mm de diámetro de 5V; una pieza embudo, que concentra el aire soplado por el ventilador; una pieza que sujeta el sistema al cabezal móvil y un tubo flexible y articulado que expulsa el aire en la zona de trabajo, apagando así las llamas que pueden aparecer durante el proceso.

Para la conexión del ventilador se ha instalado un pequeño transformador a 5V a la fuente de alimentación de la máquina láser, ya que la propia fuente de alimentación no contaba con salida a 5V. Además, se ha instalado un interruptor en el panel de control de la máquina que permite encender o apagar el ventilador en función del material que se vaya a trabajar.

Tanto la pieza embudo, como la pieza que sujeta el sistema al cabezal, han sido diseñadas usando también AutoDesk Inventor.

4.3.5. Reposicionamiento del tubo láser

Como ya se ha explicado anteriormente, para el correcto funcionamiento del tubo láser es fundamental que el agua refrigeración este circulando y llenando completamente el tubo durante el proceso de trabajo. Al momento de iniciar la máquina láser, se forman una serie de pequeñas burbujas en el interior del tubo. Estas burbujas, se van eliminando del tubo, a través del conducto de salida de agua del tubo, pasado

aproximadamente un minuto desde la puesta en marcha de la máquina. Si estas burbujas no se eliminan correctamente podrían poner en peligro la integridad del tubo láser. Las burbujas ascienden y se acumulan en la cara superior del tubo láser, sin embargo, el conducto de salida del agua está ubicado horizontalmente en un lateral del tubo.

Se ha observado que, girando ligeramente el tubo láser, de manera que la salida del agua quede en la parte superior, estas burbujas son eliminadas más rápidamente y de forma más eficiente. Con este sencillo movimiento, se ha conseguido proteger y alargar la vida útil del tubo láser.

4.3.6. Tanque para el agua de refrigeración

Para el agua de refrigeración se ha construido un tanque, aprovechando un bidón. El tanque de agua es opaco y se cierra de manera hermética, mediante una tapadera, para así evitar la aparición de microalgas en el agua, que pudieran dañar el tubo láser. El tanque cuenta con una gran capacidad de agua, consiguiendo así que la misma tarde un mayor tiempo en calentarse. En la base del tanque se ha fijado la bomba mediante ventosas. Tanto los conductos de entrada y salida del agua, como el cable de la bomba, se introducen al depósito por unos orificios perforados en la tapadera del tanque. El conducto que vierte el agua que sale del tubo láser al tanque se ha colocado a cierta altura, con respecto a la superficie del agua del depósito. Así el usuario puede estar seguro, durante todo el proceso de trabajo, de que el agua está circulando a través del tubo láser correctamente.



Fig. 46. Tanque de agua de refrigeración [Imagen propia]

4.3.7. Soporte para el tubo de escape de gases

Para poder colocar correctamente el tubo de escapes de gases, se ha construido un soporte móvil. El soporte consiste en una base circular pesada, para dar estabilidad al soporte, con tres pequeñas patas de PVC. Desde el centro de la base asciende un perfil de aluminio de 45x45 mm, sobrante de la construcción de la mesa. En el extremo superior del perfil se ha colocado una pieza abrazadera de PLA construida mediante impresión 3D. Esta pieza tiene como función sostener y orientar el extremo del conducto de escape de gases. Con esta mejora se consigue poder situar la salida de gases en el exterior de la zona de trabajo, garantizando así que no haya riesgo de inhalación de gases por parte de los usuarios que manipulan la máquina láser.



Fig 47. Soporte para el tubo de escape de gases [Imagen propia]

4.3.8. Patas para la máquina láser

Inicialmente, la máquina láser contaba con cuatro pequeñas ruedas giratorias de goma. Al haber construido una mesa de trabajo para la máquina se ha decidido sustituir las ruedas de serie por unas pequeñas patas de impresas en tres de 3D. Así, se consigue que la máquina tenga más estabilidad y esté más segura sobre la mesa.

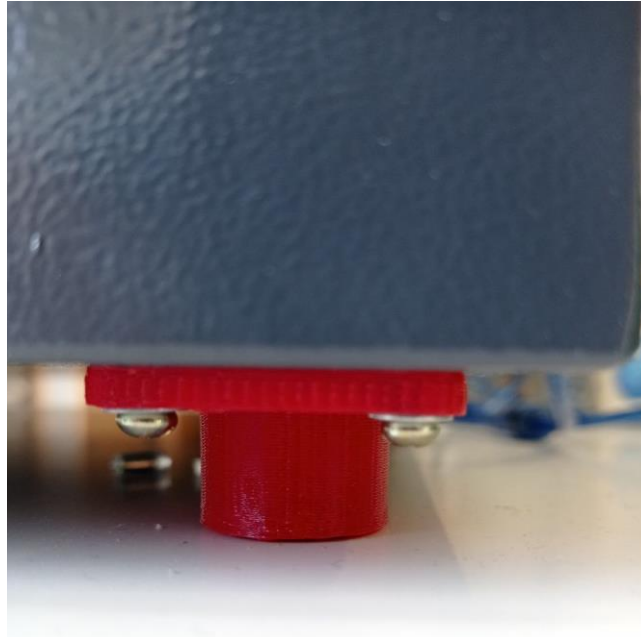


Fig. 48. Patas para la máquina láser [Imagen propia]

4.3.9. Sustitución de elementos dañados

Acabando con este apartado de mejoras, se han sustituido algunos de los componentes que venían estropeados o que eran de mala calidad. Al tratarse de una máquina láser de precio reducido, algunos de los elementos de la tornillería eran de mala calidad o de métricas poco normalizadas. Todos estos elementos de tornillería han sido sustituidos por otros de una mejor calidad. Así mismo, también se ha sustituido el amperímetro, el cual venía roto de serie.

4.4. Guía de uso

A continuación, se ha redactado lo que se podría utilizar tanto como manual de instalación como guía de uso rápido de la máquina láser. Esta guía contiene desde los pasos principales a seguir durante el trabajo con la máquina láser, así como instrucciones detalladas del uso del software y medidas de seguridad y mantenimiento del equipo. Este apartado ha sido configurado de manera que en el futuro pueda funcionar como manual para que los diferentes usuarios de la escuela puedan trabajar con la máquina láser de la forma más eficiente.

4.4.1. Instalación inicial

La máquina tiene una instalación inicial relativamente sencilla. En primer lugar, se ha de colocar la propia máquina en un espacio que permita trabajar con ella de manera cómoda y eficiente. El espacio debe estar dotado de ventilación y/o con una campana de extracción de gases. Además, el espacio de trabajo debe contar con sistema de protección frente a incendios.

Una vez situada la máquina láser, se han de realizar las conexiones de cableado. Conectando el cable de alimentación general de la máquina y conectando también el cable de alimentación de la bomba de agua a la máquina. También, se deberá conectar a la bomba el conducto encargado de enviar el agua de refrigeración hasta el tubo láser. Hecho esto, se ha de llenar el tanque de agua de refrigeración. El tanque ha de ser opaco y lo más hermético posible y el agua es recomendable que sea agua destilada. De esta forma se evita la aparición de microalgas o impurezas que pudieran comprometer el tubo láser. Una vez llenado el tanque de agua, introducir en el tanto la bomba como el conducto de salida del agua de refrigeración del tubo láser.

A continuación, conectar el tubo de extracción de gases al sistema de extracción. Eso se puede hacer fácilmente gracias a la abrazadera regulable que posee el conducto de extracción. Una vez conectado el conducto de extracción de gases es recomendable también conectar el mismo a una campa de extracción de gases para maximizar el rendimiento del sistema de extracción.



Fig. 49. Ejemplo de instalación del tubo de escape de gases [Imagen propia]

Por último, será necesario realizar una calibración inicial de la posición de los espejos. Por lo general, la posición de los espejos viene calibrada de fábrica, pero es posible que durante el proceso de transporte de la máquina estos espejos hayan sufrido pequeñas variaciones en su posición que afecten al correcto transporte del haz láser desde el tubo hasta el cabezal (Consultar el apartado 4.4.3.1.1. Ajuste del recorrido óptico del láser en la página 67).

4.4.2. Guía de uso rápido

Primer paso. Antes incluso de encender la máquina realizar la limpieza diaria de los espejos y la lente. Se ha comprobado que una correcta limpieza de espejos y lentes antes de realizar cualquier trabajo influye notablemente en los resultados. Por ello, es más que recomendable realizar una buena limpieza de espejos y lente antes de trabajar con la máquina láser. *(Consultar el apartado de limpieza de espejos y lentes en la sección de mantenimiento).*

Segundo paso. Si el conducto de extracción de gases está conectado a una campana de extracción, encender la campana. En caso de no estar conectado a una campana de extracción, se ha de sacar el conducto al exterior de la sala de trabajo. Para colocar el conducto en el exterior conviene ayudarse del soporte diseñado para la sujeción del conducto, colocando el extremo de salida lo más alejado posible de la zona de trabajo, para evitar que los gases puedan volver hacia el interior por diferencias de presión o por rachas de viento. De esta forma se garantiza la salud y seguridad de los usuarios de la máquina láser.

Tercer paso. Encender la máquina láser. Al encender la máquina el cabezal de corte se moverá automáticamente hasta el origen de coordenadas (esquina superior izquierda). Además, al encender la máquina se encenderán automáticamente tanto el ventilador de extracción como la bomba de agua. Es necesario esperar alrededor de uno o dos minutos hasta que el agua del sistema de refrigeración haya llenado por completo el tubo láser antes de empezar a trabajar. Se ha de comprobar que no se han formado burbujas de gran tamaño en interior del tubo (alguna burbuja de pequeño tamaño es aceptable). Se ha de comprobar también que el agua del sistema de refrigeración está continuamente circulando durante todo el proceso de trabajo.

Cuarto paso. Conectar la máquina a un ordenador mediante el cable USB y abrir el software de trabajo. Una vez dentro del software se ha de realizar la conexión entre la máquina láser y el software. Antes de realizar esta conexión, el cabezal de corte se puede mover manualmente. Una vez se ha realizado la conexión máquina-software el cabezal de corte volverá de nuevo al origen de coordenadas y ese solo podrá moverse utilizando los controladores del software.

Quinto paso. Por precaución apagar la generación de láser, mediante el botón de activación del láser (botón 2 del panel de control). Colocar el material con el que se va a trabajar sobre el área de trabajo. Colocar la manivela de control de la cama elevable y ajustar la altura de la cama en función del espesor del material de trabajo. Para ello, se ha de utilizar las piezas guía para regular correctamente la altura de la cama. Colocar la pieza guía en vertical sobre la superficie del material y elevar o bajar la cama hasta que el escalón de la pieza guía correspondiente al espesor del material encaje perfectamente entre la cara superior del material y la cara inferior del cabezal láser. De

esta forma, se consigue que el cuello o punto de máxima focalización del haz láser coincida con el centro del espesor del material. Tras realizar este ajuste, volver a encender la generación de láser (botón 2 del panel de control).

Sexto paso. Abrir el archivo de corte y/o grabado en el software. Una vez abierto, mover el cabezal láser, usando los controladores del software, hasta colocarlo sobre la zona del material que se desee trabajar. Para ello, resulta útil guiarse con el puntero láser incorporado en el cabezal. Si es necesario, se puede realizar una simulación de corte, con la generación de láser apagada, para comprobar que el perímetro exterior de la geometría de corte cabe en el material colocado.

Séptimo paso. Si es necesario, conectar el sistema antillama. Encender el interruptor situado en el panel de control y comprobar que el ventilador del sistema antillama está funcionando correctamente. Ajustar el extremo del conducto flexible del sistema antillama de manera que el aire sea expulsado justo en la zona de corte. Este paso siempre será obligatorio si se trabaja con materiales propensos a generar llama durante el proceso.

Octavo paso. Establecer en la máquina láser el porcentaje de la potencia máxima que se desea utilizar durante el proceso de corte o grabado. También, se han de introducir en el software los parámetros de velocidad de movimiento del cabezal y el número de pasadas, además del resto de parámetros modificables en el software si se estima conveniente. Una vez introducidos todos los parámetros de trabajo, ejecutar las órdenes de corte, grabado o grabado vectorial. Si la compuerta de seguridad está cerrada la máquina comenzará a trabajar. Es necesario estar presente durante todo el proceso de trabajo de la máquina para evitar incidentes. Una vez acabado el proceso de trabajo, esperar unos segundos antes de abrir la compuerta de seguridad para que todos los humos generados puedan ser evacuados por el sistema de extracción.

Noveno paso. Abrir la compuerta de seguridad y retirar el material ya procesado. Es recomendable hacerlo con cierta precaución ya que el material puede estar caliente. Una vez se ha terminado la jornada de trabajo es recomendable volver a realizar una limpieza de espejos y lente, así como del área de trabajo.

Si durante el proceso de trabajo ocurre alguna falla que pueda poner en peligro tanto al usuario como al equipo, se ha de pulsar de inmediato el botón de parada de emergencia. La máquina láser se desconectará por completo.

Además, siempre que se esté manipulando algunos de los componentes situados en el tercer compartimento de la máquina, tales como cableado o la fuente de alimentación, se recomienda hacerlo con la máquina desconectada de la corriente. También, si durante el proceso se ha de manipular algún otro componente, como los espejos o la cama elevable, se recomienda hacerlo con la generación de láser desconectada.

Como ya se ha dicho es necesario que el usuario esté presente durante de todo el proceso de trabajo de la máquina. Si durante el trabajo alguno de los indicadores de temperatura sobrepasa la temperatura máxima permitida o el amperímetro marca más intensidad de la permitida, se recomienda apagar de inmediato la máquina láser para evitar fallas.

4.4.3. Descripción detallada del software

La máquina láser es compatible con diferentes programas o softwares para el trabajo y control de la misma. Los principales de estos softwares son LaserDRW, CorelLASER y K40 Whisperer. Los tres softwares vienen incluidos con la máquina láser en sus versiones para Windows. Hay que recordar esta máquina láser solo es compatible con el sistema operativo Windows.

El primero, LaserDRW es el software por defecto de esta máquina láser. Tanto el paquete de instalación del programa como la licencia vienen incluidos junto con la máquina. Hay que recalcar que para poder utilizar este programa es necesario conectar en el PC una memoria USB, incluida junto con la máquina, que contiene la licencia del programa. Este programa cuenta tanto con un módulo para la realización de los diseños y geometrías como con un módulo para controlar la máquina láser y realizar las diferentes operaciones de corte y grabado.

Aunque LaserDRW es un software bastante completo para trabajos de corte y grabado láser presenta algunos defectos o inconvenientes. El software presenta un rango de formatos compatibles limitado. Realmente es compatible con gran variedad de formatos, pero no lo es con la mayoría de formatos usados en proyectos de diseño y fabricación, como los formatos de CAD, formatos de imagen vectorial o G-Code. Además, el módulo de diseño es bastante rudimentario, lo que convierte la realización de diseños y geometrías con este programa en un trabajo tedioso. Esto, sumado a la limitada compatibilidad de formatos, impide que el diseño de cortes y grabados pueda ser realizado en programas más completos y luego ser abierto en este programa para su posterior envío a la máquina láser. Por este motivo, y tras haber trabajado durante un tiempo considerable con este software, LaserDRW ha sido descartado como el software controlador principal de la máquina láser.

El siguiente de los softwares incluidos es CorelLASER. Este más que un software propiamente dicho se trata de una extensión del programa CorelDRAW. CorelDRAW es un software de creación y edición de imágenes vectorial. Se trata de un software de pago cuya licencia no viene incluida junto con la máquina láser. Por este motivo, CorelLASER ha sido también descartado como software principal para el trabajo con la máquina láser.

Por último, K40 Whisperer, el cual ha sido el software seleccionado para la realización de los ensayos y en general para todo el trabajo con la máquina láser. Se trata de un software de uso libre, ligero y que ocupa pocos recursos. Este software, a diferencia de los anteriores, no cuenta con su propio módulo para la realización de los diseños y geometrías. Pero, por el contrario, este programa sí que es compatible con la mayoría de formatos usados habitualmente en proyectos de diseño y fabricación, como formatos de CAD, formatos de imagen vectorial y G-Code. El software cuenta con una serie de comandos y herramientas que hacen que el trabajo con él sea cómodo, sencillo e intuitivo, con una curva de aprendizaje rápida. Esto hace que sea un programa ideal para el trabajo de los alumnos durante la docencia o para la rápida formación de usuarios que vayan a trabajar con la máquina láser en el futuro.

En definitiva, trabajar con este software permite al usuario crear sus diseños en alguno de los programas frecuentemente usados en el ámbito ingenieril como AutoCAD o Inventor, para posteriormente trabajar con estos diseños en K40 Whisperer y trasladarlos a la máquina láser.

4.4.3.1. K40 Whisperer

En este apartado se incluye una guía de uso rápido del software K40 Whisperer y una descripción detallada de cada uno de los menús y herramientas del mismo.

4.4.3.1.1. Guía de uso rápido del software

Paso 0. Si es la primera vez que se usa el software habrá que realizar algunas configuraciones previas. En la pestaña de ajustes, concretamente en ajustes generales habrá que introducir tanto el tipo de placa base que usa la máquina (en este caso LASER-M2) como las dimensiones del área de trabajo (en este caso 300 x 200 mm).

Paso 1. Crear un archivo de entrada para K40 Whisperer. Es decir, un archivo que contenga el diseño con las geometrías de corte y/o grabado. Este programa es compatible con los siguientes formatos: .svg, .dxf, .ngc, .gcode, .g y .tap.

Hay que tener en cuenta que K40 Whisperer usa un código de colores a la hora de interpretar las geometrías del diseño. Por esto, a la hora de realizar el diseño hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Usar el color **ROJO** en el diseño para indicar las líneas de corte. Todas las líneas o partes del diseño que estén en color rojo serán interpretadas como zonas de corte por el software K40 Whisperer.
- Usar el color **NEGRO** en el diseño para indicar las zonas de grabado rasterizado (pueden ser formas, líneas o imágenes). El grabado rasterizado es un tipo de grabado en el cual el cabezal láser se va moviendo por capas horizontalmente (eje X). Cuando termina de grabar una capa, el cabezal se mueve de forma vertical (eje Y) para pasar a la siguiente. Este es el tipo de grabado que se utiliza para grabar imágenes o geometrías con relleno. Todas las líneas o partes del diseño que estén en color negro serán interpretadas como zonas de grabado rasterizado por el software K40 Whisperer.
- Usar el color **AZUL** en el diseño para indicar las líneas de grabado vectorial. El grabado vectorial es el segundo tipo de grabado que puede realizar la máquina láser. En este caso el cabezal se mueve siguiendo trayectorias marcadas durante el trabajo de grabado. Este tipo de grabado se realiza a una velocidad mucho más pequeña que el anterior y es la opción que hay que utilizar cuando se desee grabar líneas o geometrías sin relleno. Todas las líneas o partes del diseño que estén en color azul serán interpretadas como zonas de grabado vectorial por el software K40 Whisperer.

En el caso de realizar el diseño en AutoCAD, el programa K40Whisperer interpretará como líneas o zona de corte todas aquellas partes del diseño que no se encuentren en ninguno de los colores antes mencionados.

Además, K40Whisperer permite realizar grabados con diferentes profundidades en función de la intensidad del color negro presente en el diseño. Esto permite realizar

grabados en 3D utilizando escalas de grises en el diseño, lo que resulta útil a la hora de grabar fotografías.



Fig. 50. Ejemplo de diseño de corte y grabado [7]

Una vez realizado el diseño, guardar el archivo en alguno de los formatos soportados por el software. Es recomendable ajustar bien el tamaño de la página de trabajo con el tamaño del diseño, ya que, de esta forma, la importación del archivo del diseño a K40 Whisperer se hará más rápidamente.

Paso 2. Abrir K40 Whisperer. Lo primero que hacer es completar la conexión entre el software y la máquina láser, pulsando en 'Initialize Laser Cutter'. Al realizar esta acción, el cabezal láser se moverá hasta el origen de coordenadas.

Paso 3. Abrir el diseño creado previamente. Pulsando el botón 'Open Design File' se abrirá una ventana la cual permitirá abrir el diseño con el que se quiera trabajar. Al abrir el diseño este aparecerá representado sobre el área de trabajo, con un punto gris que representa la posición del cabezal láser. La posición del diseño con respecto al cabezal puede cambiarse usando el panel de crucetas presente en el software.

Paso 4. Establecer la posición del cabezal y el diseño. En este paso hay colocar el cabezal sobre la posición inicial de trabajo, es decir colocar el cabezal sobre la zona del material que se desee trabajar. Esta acción se puede realizar de dos maneras, arrastrando el punto que representa el cabezal con el ratón sobre el área de trabajo del software o bien haciéndolo a través del panel de los cursores que tiene el programa. El programa permite modificar la distancia que se moverá el cabezal al pulsar alguno de los cursores.

Paso 5. Establecer los parámetros de trabajo. Una vez posicionado el cabezal sobre el material hay que establecer los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de corte o grabado. Estos parámetros son la velocidad de movimiento del cabezal y el número de pasadas (el porcentaje de potencia del láser solo se puede modificar en el panel de control de la máquina). En la esquina inferior izquierda de la venta principal aparecen tres casillas que permiten introducir las de grabado rasterizado, grabado vectorial y corte respectivamente. Así mismo, en la pestaña de ajustes avanzados se encuentran las tres casillas que permiten introducir el número de pasadas que el cabezal láser realizará durante los procesos de grabado rasterizado, grabado

vectorial y corte respectivamente. Es conveniente tener esta ventana de ajustes avanzados siempre visible.

Paso 6. Ejecutar las acciones. Una vez configurado todo lo anterior, se puede proceder a realizar los trabajos de corte y/o grabado propiamente dichos. Para iniciar el proceso de trabajo, solo hay que pulsar en la opción del tipo de trabajo que se desee realiza: Raster Engrave para grabado rasterizado, Vector Engrave para grabado vectorial y Vector Cut para corte.

Estas acciones se pueden agrupar de dos maneras en la pestaña de ajustes avanzados. Pudiendo agruparse en tareas de grabado, es decir el software agruparía las tareas de grabado rasterizado y vectorial en una sola acción, o bien, agrupar las tareas vectoriales, donde el software agruparía las tareas de corte y grabado vectorial en una sola acción.

En caso de que el proyecto que se vaya a realizar contenga tanto acciones de corte como acciones de grabado es recomendable realizar primero las tareas de grabado. De la misma forma, si el diseño cuenta con varias geometrías de corte es recomendable realizar primero las geometrías más interiores y acabar por la más externas. El software trabajará con esta prioridad de forma automática si está seleccionada la opción 'Cut Inside First' en la pestaña de ajustes avanzados.

Una vez seleccionado uno de los modos de trabajo el software analizará el diseño y la máquina láser comenzará a trabajar. En la parte inferior de la venta principal aparecerá el porcentaje de la operación seleccionada que la máquina ha realizado en cada momento y el tiempo estimado que toma realizar dicha operación.

El software cuenta con un botón de pausa y parada en caso de que se quiera pausar o detener por completo una operación durante la realización de la misma.

4.4.3.1.2. Descripción detallada del software

A continuación, se muestra una serie de tablas que explica de forma detallada cada una de las ventanas, herramientas y funciones con las que cuenta el software K40 Whisperer.

4.4.3.1.2.1. Ventana principal de software

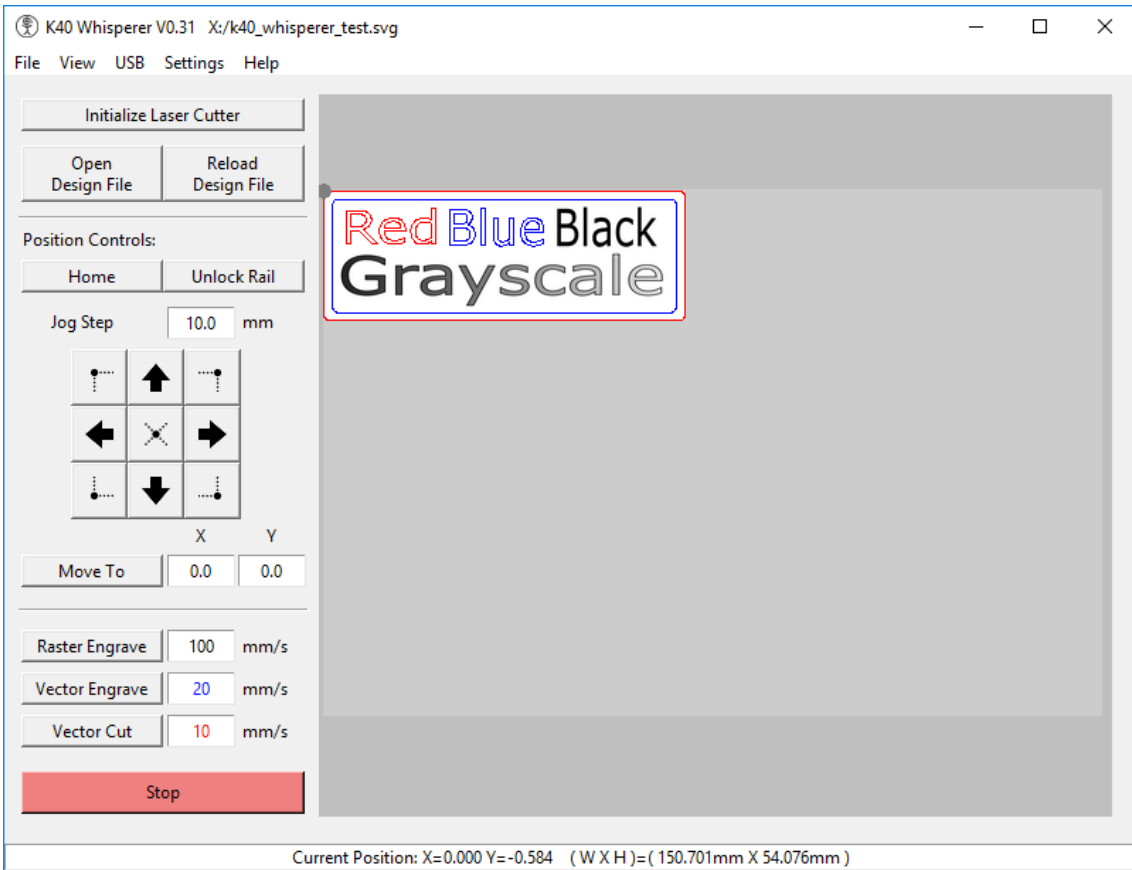


Fig. 51. Ventana principal [7]

Función	Acción
Initialize Laser	Establece conexión entre el programa y la máquina láser. Por defecto, al inicializar el cabezal del láser se mueve hasta el origen.
Open Design File	Abre un cuadro de diálogo para seleccionar un archivo de diseño para abrir. K40 Whisperer puede abrir archivos SVG, DXF y G-Code.
Reload Design File	Recarga el diseño actual. Vuelve a leer la información del archivo de diseño desde la ubicación de almacenamiento.
Home	Envía el láser a su posición de origen.
Unlock Rail	Apaga los motores paso a paso conectados a los ejes X e Y. Esto permite al usuario mover la cabeza del láser manualmente.
Jog Step	Sirve para introducir la distancia que se moverá el cabezal láser cuando se presionen los cursores.
Cursores	Los cuatro cursores mueven la cabeza del láser en la dirección indicada la distancia ingresada en el campo de entrada Jog Step.
Esquinas y centro	Los cuatro botones de las esquinas y el botón central se utilizan para mover el cabezal del láser a las esquinas o centro del diseño cargado. Esto es útil para verificar que el diseño se ajusta al espacio disponible en el material que se está utilizando.
Move To	Sitúa el cabezal láser en las coordenadas introducidas.

Raster Engrave	Inicia el proceso de grabado. Esto activará el láser.
Vector Engrave	Inicia el proceso de grabado vectorial. Esto activará el láser.
Vector Cut	Inicia el proceso de corte. Esto activará el láser.
Stop	Al presionar este botón, se pausará el envío de los datos del trabajo actual al láser y aparecerá un cuadro de diálogo que preguntará si se desea cancelar el resto del trabajo.

Tabla 7. Herramientas de la ventana principal

4.4.3.1.2.2. Menú de ajustes avanzados

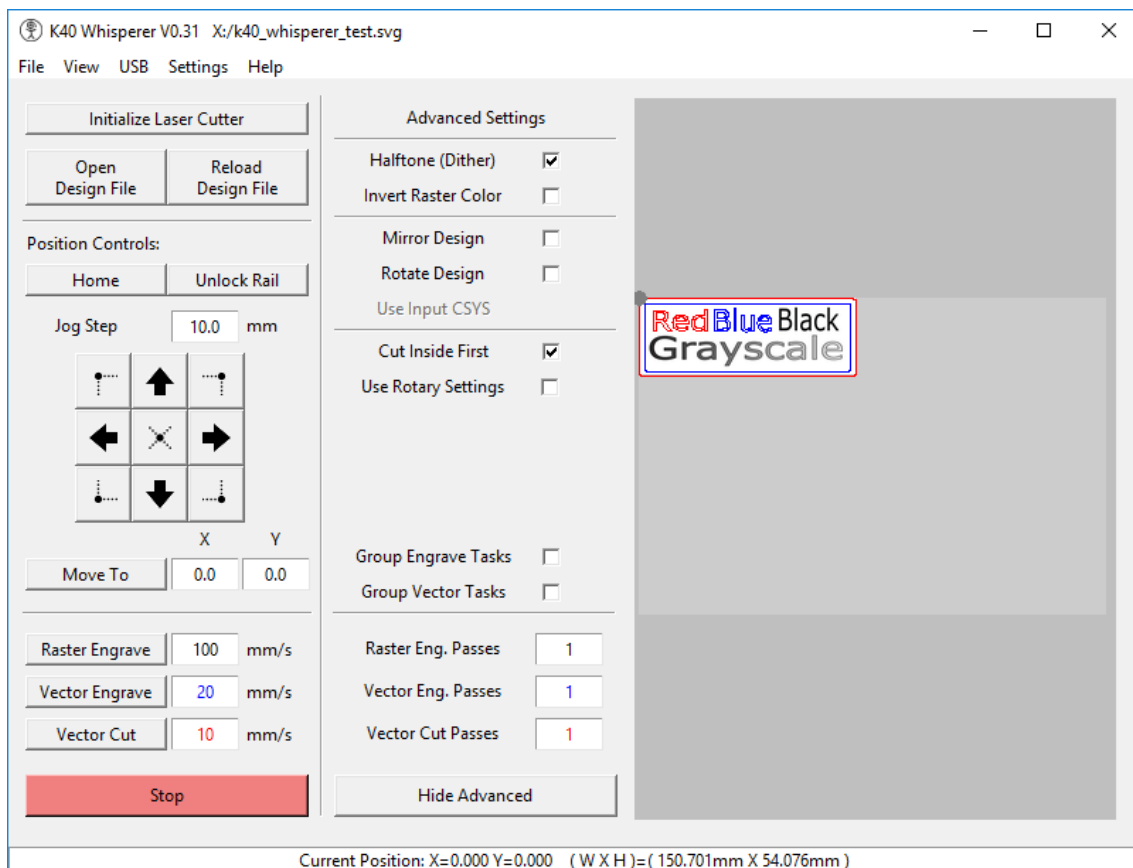


Fig. 52. Menú de ajustes avanzados [7]

Función	Acción
Halftone (Dither)	Esta opción convierte cualquier diseño de entrada en escala de grises en puntos que están más o menos espaciados entre sí. El software no puede controlar la potencia del láser, por lo que esta es la única forma de obtener grabados con profundidades variables.
Invert Raster Color	Invierte los colores en la imagen que se va a grabar. Se obtiene el negativo de la imagen.
Mirror Design	Refleja el diseño de entrada.
Rotate Design	Gira el diseño de entrada 90 grados.
Use Input CSYS (coordinate system)	Hace que el punto de referencia de un diseño sea el origen de coordenadas del archivo DXF de entrada.
Cut inside First	Realiza primero los cortes interiores del diseño.

Use Rotary Settings	Si se ha sustituido uno de los ejes de la máquina por un eje rotatorio, abre una ventana que permite modificar ajustes para dicho eje rotatorio.
Group Engrave Tasks	Combina los botones para grabado y grabado vectorial en uno solo. De esta forma se harían ambas tareas en un solo clic.
Group Vector Tasks	Combina los botones de grabado vectorial y corte en uno solo. De esta forma se harían ambas tareas en un solo clic.
Raster Eng. Passes	Establece el número de pasadas para el grabado.
Vector Eng. Passes	Establece el número de pasadas para el grabado vectorial.
Vector Cut Passes	Establece el número de pasadas para el corte.
Hide Advanced	Ocultar los ajustes avanzados.

Tabla 8. Herramientas de los ajustes avanzados

4.4.3.1.2.3. Menú de ajustes generales

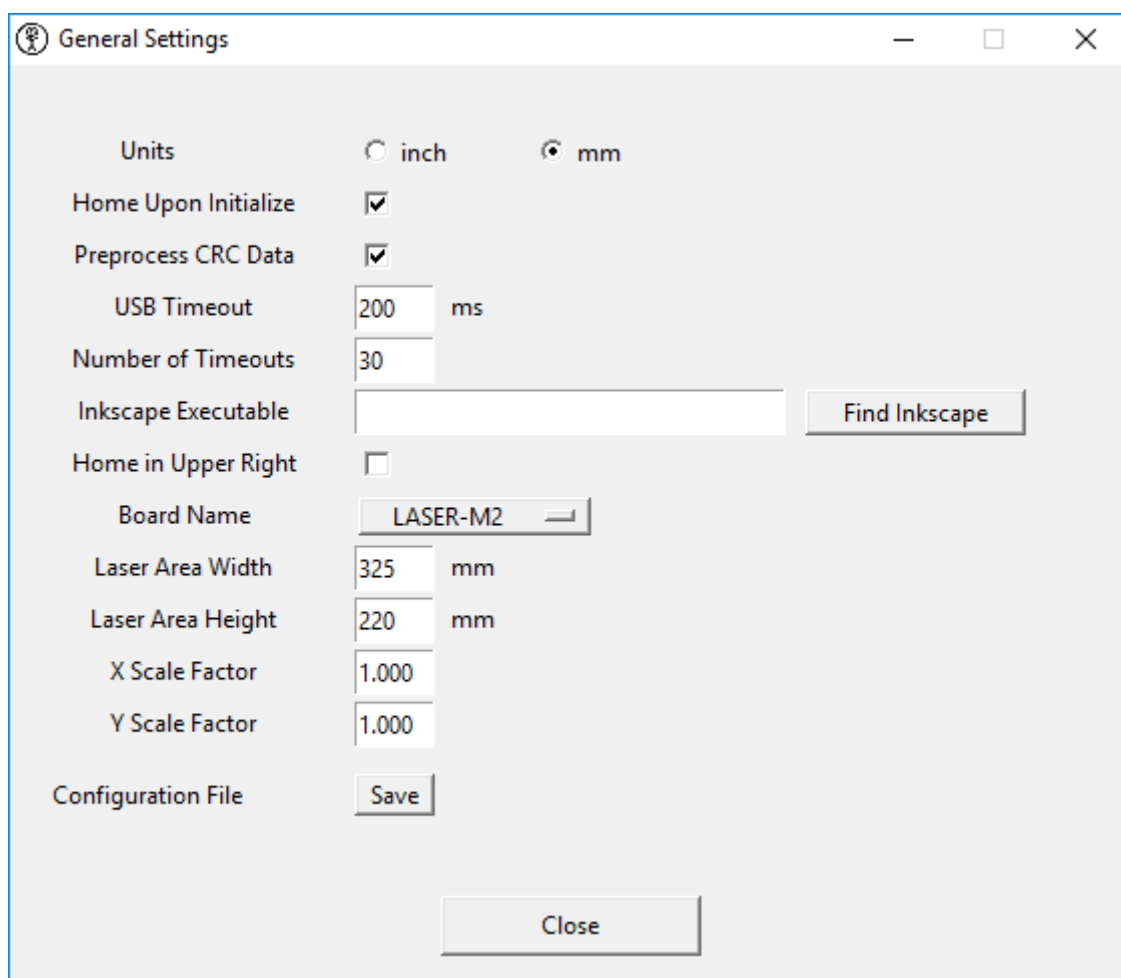


Fig. 53. Ajustes generales [7]

Función	Acción
Units	Establece las unidades de trabajo.
Home Upon Initialize	Si está marcada esta opción, el láser se moverá al origen de coordenadas cada vez que se inicialice la máquina.
Pre-process CRC Data	Para cada paquete de datos enviado al láser, se envía un código de verificación de redundancia cíclica (CRC) para garantizar que la placa del controlador reciba los datos correctamente. De manera predeterminada, los datos de CRC se calculan antes de que K40 Whisperer comience a enviar datos al láser. Si anula la selección de esta opción, puede ahorrar tiempo al hacer que los datos de CRC se calculen sobre la marcha.
USB Timout	Establece el tiempo de espera entre que se ordena una acción y la máquina empieza a trabajar. Se recomienda no cambiar esta opción.
Number of Timouts	Establece el número de tiempos de espera. Se recomienda no cambiar esta opción.
Inkscape Executable	Se ha de poner la ruta al archivo ejecutable de Inkscape.
Home in Upper Right	La mayoría de máquinas láser sitúan el origen de coordenadas en la esquina superior izquierda. Pero si se usa una máquina cuyo origen de coordenadas esté en la esquina superior derecha se ha de marcar esta opción, de lo contrario los cortes y grabados se harán reflejados horizontalmente.
Board Name	Selecciona el tipo de placa de control de la máquina láser.
Laser Area Width	El valor establece el ancho o tamaño del láser utilizable en el eje X para el láser. Esto establece el tamaño del área que se muestra en la ventana principal.
Laser Area Height	El valor establece el ancho o tamaño del láser utilizable en el eje Y para el láser. Esto establece el tamaño del área que se muestra en la ventana principal.
X Scale Factor	El factor de escala a la salida del láser por el valor ingresado.
Y Scale Factor	El factor de escala a la salida del láser por el valor ingresado.
Configuration File (Save Button)	Guardará todas las configuraciones actuales en un archivo de configuración. El archivo de configuración se leerá cuando se abra K40 Whisperer en el futuro.

Tabla 9. Ajustes generales

4.4.3.1.2.4. Menú de ajustes de grabado

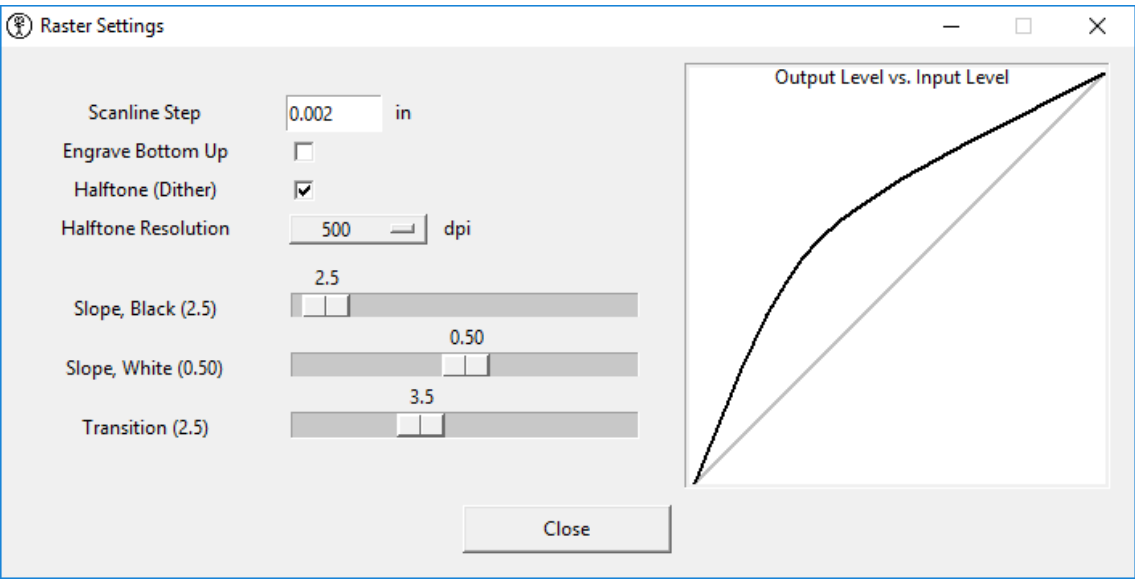


Fig. 54. Ajustes de grabado [7]

Función	Acción
Scanline Step	Establece la distancia que avanza el cabezal del láser en Y al realizar cada pasada durante un grabado. Siempre en pulgadas.
Engrave Bottom Up	Esta opción hace que el grabado se realice desde abajo hacia arriba.
Halftone (Dither)	Esta opción convierte cualquier diseño de entrada en escala de grises en puntos que están más o menos espaciados entre sí. El software no puede controlar la potencia del láser, por lo que esta es la única forma de obtener grabados con profundidades variables.
Halftone Resolution	Esta configuración establece el tamaño de los puntos utilizados en la operación anterior. Una resolución más baja da como resultado puntos más grandes.
Slope, Black (Por defecto 2.5)	Esta es la relación entre el nivel de salida y el nivel de entrada en el extremo oscuro del espectro de escala de grises. Aumentar este valor hará que las áreas más oscuras de la imagen se oscurezcan más rápidamente, pero la mayor parte de la imagen permanecerá más clara.
Slope, White (Por defecto 0,50)	Esta es la relación entre el nivel de salida y el nivel de entrada en el extremo blanco del espectro de escala de grises. Si disminuye este valor, las partes más claras de la imagen se volverán más claras a un ritmo más lento a medida que se acerque al lado blanco del espectro de escala de grises.
Transition (Por defecto 3,5)	Esta configuración determina como de suave ocurre la transición entre el negro y el blanco en la escala de grises. Cuanto mayor sea el número, más nítida será la transición.

Tabla 10. Ajustes de grabado

4.4.3.1.2.5. Menú de archivo

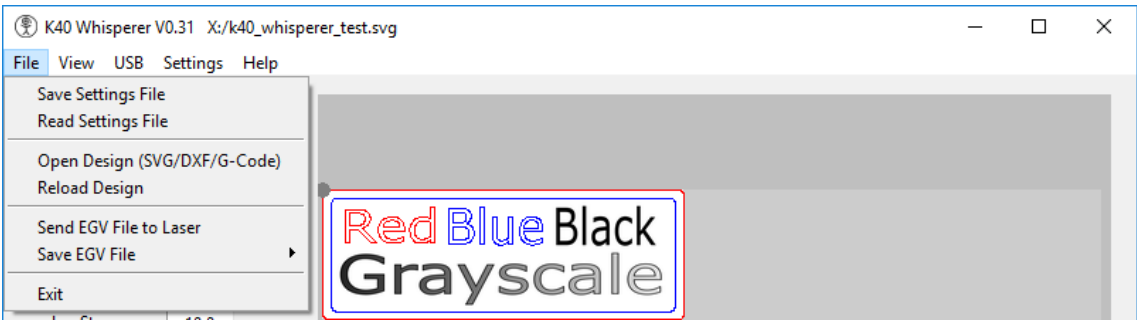


Fig. 55. Menú archivo [7]

Función	Acción
Save Settings File	Abre un cuadro de diálogo para guardar un archivo con configuración actual. El archivo contendrá todas las configuraciones tal como están cuando se guarda el archivo.
Read Settings File	Abre un cuadro de diálogo para seleccionar un archivo desde el que leer la configuración.
Open Design (SVG/DXF/G-Code)	Abre un cuadro de diálogo para seleccionar un archivo de diseño para abrir. K40 Whisperer puede abrir archivos SVG, DXF y G-Code.
Reload Design	Recarga el diseño actual.
Send EGV File to Laser	Abre un cuadro de diálogo de apertura de archivo para seleccionar un archivo EGV para enviar a la máquina láser. K40 Whisperer no interpreta los datos sin procesar, por lo que no hay una vista previa de los datos que se enviarán al láser. Los archivos EGV contienen los datos sin procesar que la placa del controlador acepta como entrada. Los archivos EGV pueden ser generados por K40 Whisperer o por Laser Draw (LaserDRW). Los archivos EGV se pueden usar para tareas repetitivas para evitar el tiempo requerido para generar los datos EGV. Los archivos EGV generados por K40 Whisperer también se pueden enviar al láser mediante Laser Draw (LaserDRW).
Save EGV File - Raster Engrave	Guarda los datos de grabado en un archivo EGV. El archivo contendrá los datos que se enviarían al láser si se presionara el botón Raster Engrave.
Save EGV File - Vector Engrave	Guarda los datos de grabado vectorial en un archivo EGV. El archivo contendrá los datos que se enviarían al láser si se presionara el botón Vector Engrave.
Save EGV File - Vector Cut	Guarde los datos de corte en un archivo EGV. El archivo contendrá los datos que se enviarían al láser si se presionara el botón Vector Cut.
Save EGV File - G-Code Operation	Guarde los datos de G-Code Run en un archivo EGV. El archivo contendrá los datos que se enviarían al láser si se presionara el botón G-Code run.
Exit	Cierra el programa.

Tabla 11. Menú de archivo

4.4.3.1.2.6. Menú de vista



Fig. 56. Menú de vista [7]

Función	Acción
Refresh	Actualiza los elementos que se muestran en la ventana principal.
Show Raster Image	Activa y desactiva la visualización del diseño de grabado. Los datos simplemente no se muestran, lo que puede ayudar a que el programa se ejecute más rápido.
Show Vector Engrave	Activa y desactiva la visualización de las líneas de grabado vectorial. Los datos simplemente no se muestran, lo que puede ayudar a que el programa se ejecute más rápido.
Show Vector Cut	Activa y desactiva la visualización de las líneas de corte. Los datos simplemente no se muestran, lo que puede ayudar a que el programa se ejecute más rápido.
Show G-Code Paths	Activa y desactiva la visualización de las líneas de G-Code. Los datos simplemente no se muestran, lo que puede ayudar a que el programa se ejecute más rápido.
Show Time Estimates	Activa y desactiva la visualización de estimaciones de tiempo.
Zoom to Design Size	Ajusta el tamaño del diseño de entrada al área de trabajo.

Tabla 12. Menú de vista

4.4.3.1.2.7. Menú USB

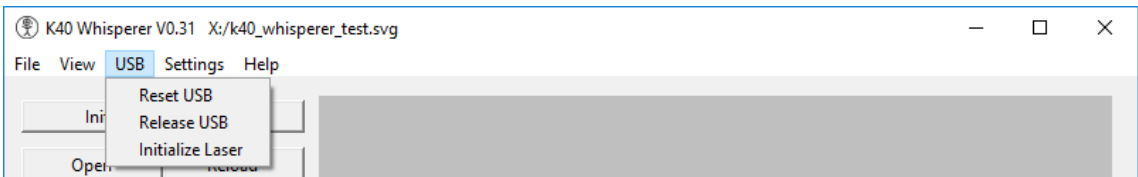


Fig 57. Menú USB [7]

Función	Acción
Reset USB	Reinicia el puerto USB.
Release USB	Desconecta la placa del controlador láser.
Initialize Laser	Establece conexión entre el programa y la máquina láser. Por defecto, al inicializar el cabezal del láser se mueve hasta el origen.

Tabla 13. Menú USB

4.4.3.1.2.8. Menú de ajustes

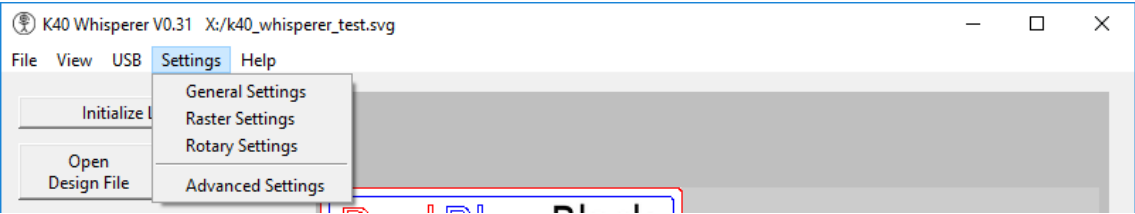


Fig. 58. Menú ajustes [7]

Función	Acción
General Settings	Abre la ventana Configuración general.
Raster Settings	Abre la ventana de configuración de grabado.
Advanced Settings	Muestra u oculta los ajustes avanzados en la ventana principal.

Tabla 14. Menú ajustes

4.4.3.1.2.9. Menú de ayuda

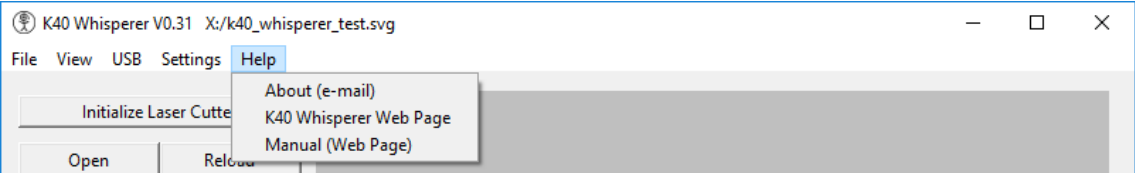


Fig. 59. Menú de ayuda

Función	Acción
About (e-mail)	Abre una ventana que muestra diferentes opciones de contacto con los desarrolladores del programa.
K40 Whisperer Web Page	Abre la página web de K40 Whisperer en el navegador.
Manual (Web Page)	Abre una nueva ventana del navegador a la página web del Manual de K40 Whisperer.

Tabla 15. Menú de ayuda

4.4.3. Mantenimiento del equipo

Esta máquina láser y, en general, cualquier tecnología láser que se use a nivel industrial requieren de un mantenimiento continuado para su correcto funcionamiento. Un buen mantenimiento de la máquina láser contribuirá a aumentar la vida útil de la misma y de cada uno de sus componentes. A continuación, se detallan las diferentes rutinas de mantenimiento que se han de seguir para conseguir un funcionamiento óptimo de la máquina láser.

4.4.3.1. Mantenimiento de espejos y lente

Se comprobado, durante los diferentes ensayos y el resto de trabajos realizados con la máquina, que la acumulación de suciedad en espejos y lentes reduce notablemente la eficiencia de la máquina. Por este motivo, es recomendable realizar

una limpieza exhaustiva de los espejos y la lente antes de cada jornada de trabajo en la máquina.

Para la limpieza de los espejos y la lente se puede utilizar tanto limpiacristales común como alcohol o acetona. Se deben limpiar cuidadosamente, ya que se tratan de componentes frágiles, realizando movimientos circulares desde dentro hacia fuera. Se recomienda utilizar algún tipo de gamuza o elemento de un material que no deje pequeñas partículas o pelusas.

Para la limpieza del primer espejo, el más cercano al tubo láser, se recomienda ayudarse de un hisopo o elemento alargado, ya que se encuentra en una ubicación de difícil acceso. No presentan ningún problema accesibilidad ni el segundo espejo ni el tercero, el cual se puede retirar del cabezal láser retirando la pletina que lo sujeta.

Para la limpieza de la lente, retirar la pieza roscada del inferior del cabezal láser y extraer cuidadosamente la lente. Limpiarla del mismo modo que el resto de espejos y volver a colocarla, teniendo cuidado de posicionarla correctamente (con la cara plana hacia abajo).

También, es recomendable realizar esta limpieza tras finalizar la jornada de trabajo con la máquina láser. De esta forma se evita que los espejos y la lente se manchen con suciedad que puede ser más difícil de eliminar con el paso del tiempo, sobre todo si se ha trabajado con materiales que emitan muchas sustancias volátiles.

Además, se debe comprobar periódicamente el recorrido óptico. El recorrido óptico es el camino que recorre el haz láser desde su salida del tubo láser, pasando por los tres espejos, hasta que llega a la lente de enfoque. Debe comprobarse que no existan elementos que interfieran en el recorrido óptico.

La orientación de los espejos puede modificarse con el paso del tiempo, debido a pequeñas vibraciones producidas por la máquina durante el trabajo, o durante el transporte de la máquina láser. Por eso, es recomendable comprobar con frecuencia el recorrido óptico y ajustarlo en caso de que sea necesario. A continuación, se incluye una guía de procedimiento para el ajuste de los espejos del recorrido óptico.

4.4.3.1.1. Ajuste del recorrido óptico del láser

Como ya se ha dicho, el recorrido óptico de la máquina láser cuenta con tres espejos que serán designados como #1, #2 y #3 de acuerdo con la siguiente imagen. La lente, que es el último elemento del recorrido óptico, será designada como #4.

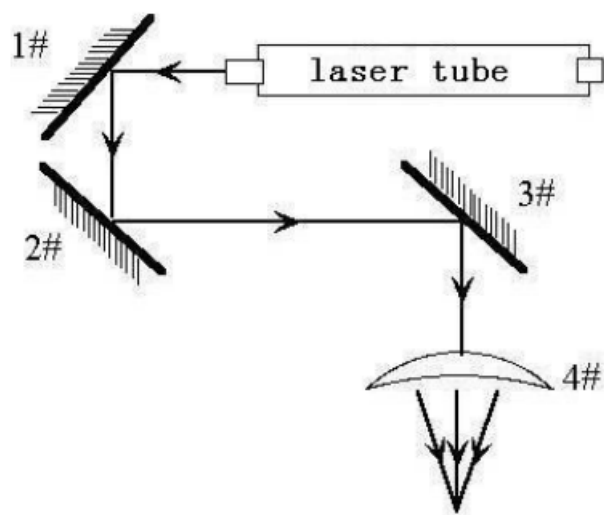


Fig. 60. Recorrido óptico [Imagen extraída del manual]

Paso 1. Para la realización de este ajuste se recomienda utilizar un porcentaje de potencia de la máquina del 12% o inferior. De esta forma, se evita que se pueda producir algún accidente mayor.

Paso 2. Colocar cuatro capas de cinta adhesiva de doble cara sobre el espejo #1 (la máquina láser incluye un rollo de cinta adhesiva de doble cara especial para la realización de este ajuste). A continuación, presionar el botón de prueba (TEST) para obtener un punto sobre la cinta. Hay que asegurarse de que el punto queda lo más centrado posible con respecto al centro del espejo, de no ser así hay que ajustar la posición del tubo láser. Generalmente, no es necesario ajustar la posición del tubo láser. Tras esto, retirar la cinta adhesiva.

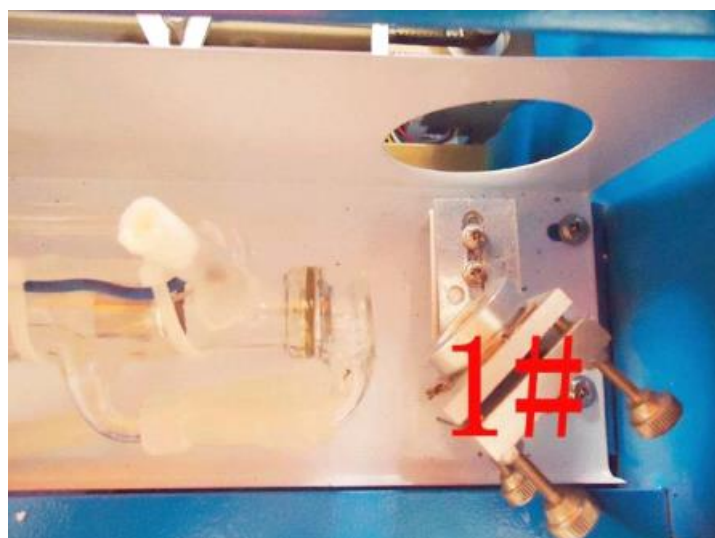


Fig. 61. Primer espejo del sistema [Imagen extraída del manual]

Paso 3. Colocar cuatro capas de la cinta adhesiva sobre el espejo #2 y llevar el riel móvil hasta su extremo superior, de manera que el espejo #2 se encuentre situado en la posición A, la más cercana del tubo láser. Después, presionar el botón de prueba

(TEST) para obtener un punto en la cinta. El punto láser también debe estar lo más cercano posible al centro del espejo, como se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 62. Espejo 2 en la posición A [Imagen extraída del manual]

Paso 4. Desplazar el riel móvil hasta el extremo inferior, de forma que el espejo #2 quede en la posición B (posición más alejada del tubo láser). Después, presionar nuevamente el botón de prueba (TEST) para obtener otro punto sobre la cinta.

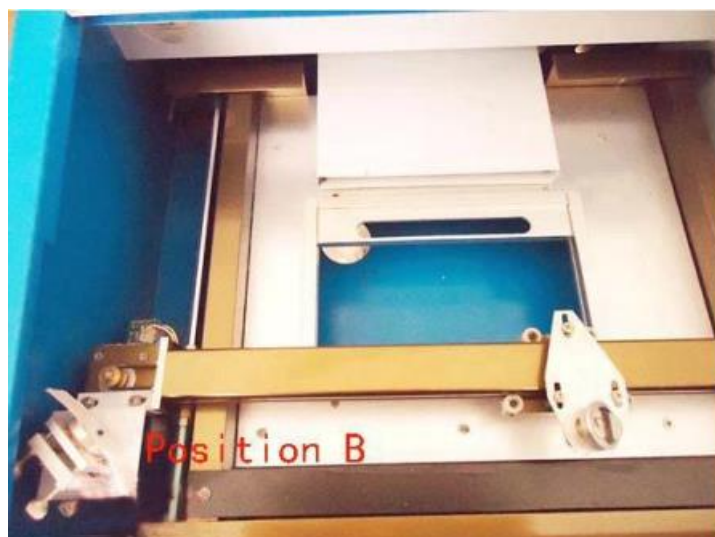


Fig. 63. Espejo 2 en la posición B [Imagen extraída del manual]

Paso 5. Si los dos puntos coinciden en la misma posición, la orientación del espejo #1 es correcta. En el caso de que los dos puntos sobre la cinta adhesiva no coincidan, será necesario ajustar la posición de espejo #1. Para ello, hay que aflojar primero los tornillos de fijación que se encuentran en la parte posterior del espejo y regular los tres tornillos para ajustar la posición del espejo #1. Los dos tornillos

superiores se usan para ajustar el movimiento del punto hacia la izquierda y la derecha, mientras que el tornillo inferior sirve para mover el punto hacia arriba y hacia abajo, como se muestra en la siguiente imagen.

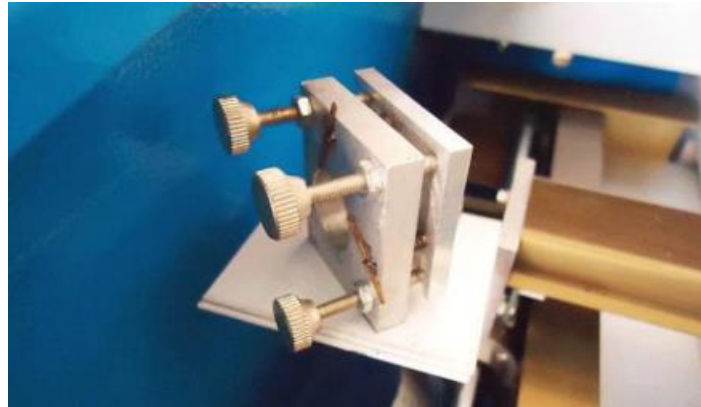


Fig. 64. Tornillos de ajuste del espejo [Imagen extraída del manual]

Paso 6. Repetir los pasos 3, 4 y 5 hasta que los dos puntos coincidan en la misma posición y retirar la cinta adhesiva.

Paso 7. Con el riel móvil en su extremo inferior, colocar cuatro capas de cinta adhesiva sobre el orificio de entrada del haz láser al cabezal de corte (espejo #3) y colocar el cabezal de corte en la posición más cercana al espejo #2. A continuación, presionar el botón de prueba (TEST) para obtener un punto sobre la cinta, como se muestra en la imagen.

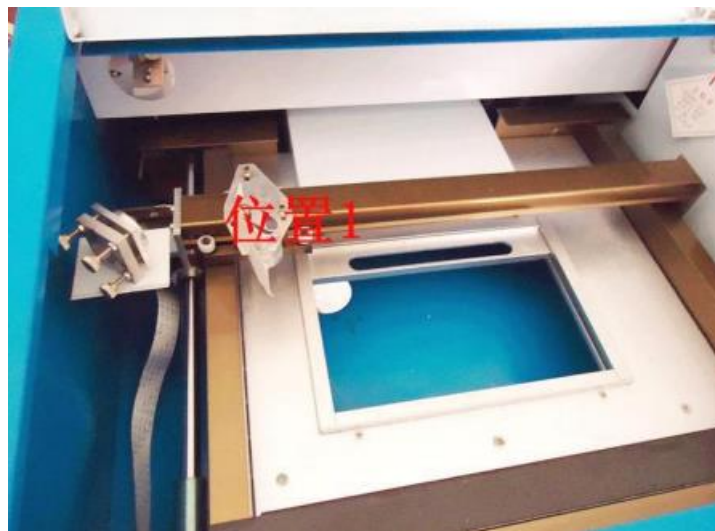


Fig. 65. Cabezal láser en la posición de ajuste 1 [Imagen extraída del manual]

Paso 8. Mover el cabezal láser lentamente hasta la posición más alejada del espejo #2 y presionar el botón de prueba (TEST) para obtener un nuevo punto sobre la cinta.

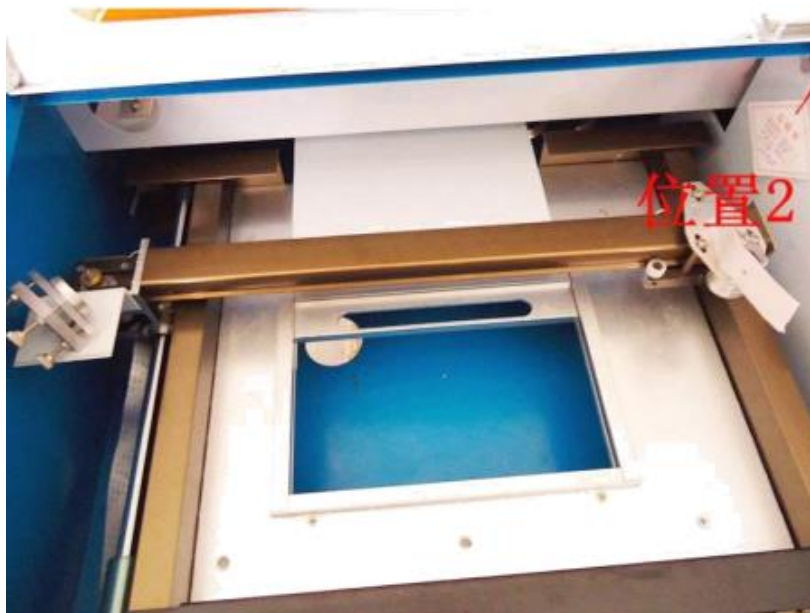


Fig. 66. Cabezal láser en la posición de ajuste 2 [Imagen extraída del manual]

Paso 9. Si los dos puntos se superponen el espejo #2 estará bien calibrado. En caso contrario habrá que ajustar la posición del espejo #2. Para ello, se procede de forma análoga que con el espejo #1, ayudándose de los tres tornillos.

Paso 10. Repetir los pasos 7, 8 y 9 hasta que las posiciones de los dos puntos coincidan y retirar la cinta adhesiva.

Paso 11. Retirar la pieza roscada del inferior del cabezal junto con la lente y colocar en su lugar cuatro capas de la cinta adhesiva. Apretar el botón de prueba (TEST) y comprobar que el punto obtenido en la cinta está completo y se encuentra en una posición centrada.

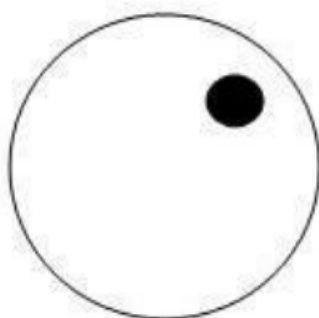


Fig. 67. Punto láser descentrado [Imagen extraída del manual]

Tras seguir estos pasos el recorrido óptico se encontrará bien calibrado. Cuanto mejor calibrado esté el recorrido óptico mejores resultados se obtendrán durante el trabajo con la máquina láser.

4.4.3.2. Mantenimiento del área de trabajo

La limpieza de la zona de trabajo del láser también es necesaria si se desea aumentar lo máximo posible la vida útil de la máquina láser.

Por ello, es recomendable limpiar la superficie del área de trabajo para así evitar que los diferentes líquidos y gases productos del procesamiento de los materiales solidifiquen. De lo contrario, podrían producirse acumulaciones de suciedad que pueden afectar a la horizontalidad y estabilidad de las piezas en el área de trabajo.

También, es necesario realizar una limpieza periódica de los raíles y rieles, para evitar que se formen acumulaciones de suciedad que dificulten el correcto movimiento del cabezal láser. Esta limpieza se recomienda hacer cada dos semanas, con el equipo apagado. Esta limpieza puede hacerse pasando un paño seco cuidadosamente hasta que los raíles queden brillantes. También, es recomendable lubricar el riel móvil con algún lubricante industrial y mover el cabezal de corte de lado a lado hasta que el lubricante se distribuya de forma homogénea.

Para evitar la aparición de suciedad excesiva en el área de trabajo y en el sistema óptico y recomendable no trabajar con materiales que puedan comprometer estos componentes. Estos materiales se encuentran enumerados en el apartado 5.2. (página 80).

4.4.3.3. Mantenimiento del agua de refrigeración

El sistema de refrigeración es una parte fundamental de la máquina láser, ya que impide que el tubo láser se sobrecaliente y pueda fallar. Por este motivo, es necesario realizar un exhaustivo mantenimiento del agua de refrigeración.

Como ya se ha comentado, es recomendable usar agua destilada para el sistema de refrigeración, ya que de esta manera se evita la aparición de cal en el interior del tubo láser. La temperatura del agua debe encontrarse en todo momento entre 0 y 35°C. Trabajar con una temperatura del agua fuera de este rango haría que la refrigeración del tubo láser no se realice correctamente, lo que podría provocar daños irreparables en el tubo láser. Por esto, se recomienda añadir anticongelante al agua de refrigeración, en caso de que la temperatura ambiental sea menor a 0°C, o añadir hielo o utilizar un chiller en caso de que la temperatura del agua sobrepase los 35°C. Para contener esta agua de refrigeración, se recomienda utilizar un taque opaco y que permita un cierre hermético, para evitar la aparición de microalgas u otras partículas en el agua que puedan dañar el tubo láser.

La vida útil del agua del sistema de refrigeración depende en gran medida de las condiciones de almacenamiento de la misma, así como de la frecuencia de trabajo con la máquina láser. Por lo general, se recomienda la sustitución del agua cada 3-4 semanas o si aparece en la misma alguna de las impurezas antes mencionadas. La sustitución del agua debe realizarse con la máquina desconectada, realizando también una limpieza exhaustiva del tanque y de la bomba.

4.4.3.4. Mantenimiento del sistema de extracción de humos

Después de muchas horas de uso de la máquina láser, el interior del ventilador de extracción de gases acumulará polvo y otros sólidos, que pueden provocar que el ventilador emita un gran ruido y no funcione de manera adecuada. Al notar que la extracción de gases se vuelve pobre se debe limpiar el ventilador y la tubería de escape.

Para realizar esta limpieza, en primer lugar, se debe desconectar la fuente de alimentación y separar el tubo de escape. Después, hay que limpiar exhaustivamente el ventilador y el tubo.

4.4.3.5. Mantenimiento del tubo láser

El tubo láser es un elemento muy delicado debido a los materiales con los que está fabricado, por ello es necesario extremar las precauciones cuando este sea manipulado. Al tratarse de un láser CO₂ el gas que forma el medio activo en el interior del tubo tiende a gastarse. Por ello es necesario cambiar el tubo láser cuando se aprecie una caída en las prestaciones de corte-grabado de la máquina (consultar la tabla de vida útil del tubo láser en la página 31).

4.5. Normativa de seguridad

Esta máquina contiene un láser de clase IV. Como ya se ha explicado, este es tipo de láseres son los más peligrosos, por eso es necesario cumplir estrictamente una serie de normas de seguridad mientras se esté trabajando con esta máquina láser. Además, se ha de cumplir con las condiciones de seguridad para los láseres de clase IV mencionadas anteriormente (página 26).

Al emitir radiación de clase IV, no seguir a rajatabla todas las normas de seguridad podría conducir a los siguientes accidentes:

- Combustión de elementos inflamables situados alrededor de la máquina láser.
- Exposición a gases tóxicos y/o radiaciones emitidas por los materiales durante su procesamiento con láser.
- Daños corporales en el usuario.

Medidas de seguridad:

- Antes de manipular la máquina láser o de trabajar con ella por primera vez, el usuario debe haber leído atentamente los manuales de la máquina. Deben obedecerse estrictamente las normas y procedimientos de trabajo descritos en los mismos. Cualquier persona no capacitada para operar con la máquina láser debe tener prohibido su manipulación.
- La ubicación de la máquina láser debe estar equipada con equipo de protección contra incendios. Cualquier tipo de combustible o material explosivo se debe mantener alejado de la máquina láser. Se debe mantener una correcta ventilación en el lugar de trabajo.

- Tanto los materiales que se van a procesar con la máquina como las emisiones resultantes de este procesamiento deben cumplir con las leyes y normativa vigente.
- El usuario debe considerar si los materiales elegidos para trabajar con la máquina son aptos para su procesamiento con láser. Evitándose materiales que puedan emitir gases que puedan resultar perjudiciales para la salud del usuario y para la integridad del equipo. Consultar la tabla de materiales peligrosos (página 80).
- La máquina y algunos de sus componentes trabajan con voltajes altos, por lo que solo deben ser desmontados por personal formado.
- El usuario debe estar presente durante todo el proceso de trabajo de la máquina y debe asegurarse de apagar la máquina una vez el trabajo haya finalizado.
- El operador debe observar cuidadosamente durante la operación. Si se observa que algo está funcionando de manera extraña o inadecuada, se deben cortar todos los interruptores de manera inmediata.
- Queda prohibido abrir cualquiera de los compartimentos mientras la máquina láser esté operando.
- El usuario debe comprobar que la máquina está conectada a tierra correctamente antes de operar.
- Evitar el uso de componentes que puedan causar reflejos del láser que puedan dañar a usuarios o al equipo.
- Mantener la máquina en un lugar seco, sin contaminación y sin riesgo de sufrir golpes. Proteger de las subidas de tensión y del magnetismo fuerte. La temperatura ambiente debe estar entre 5 y 40 °C, siendo la humedad del ambiente de entre el 5 y 95% (sin vapor condensado).
- La máquina láser debe estar alejada de equipos sensibles a EMI. La EMI es la interferencia causada por una perturbación electromagnética que afecta el rendimiento de un dispositivo. Las fuentes de la EMI pueden ser ambientales, como tormentas eléctricas y radiación solar, pero más generalmente será otro dispositivo electrónico o sistema eléctrico.
- Está prohibido manipular la máquina cuando el voltaje de trabajo sea inestable.

4.6. Errores comunes, solución y garantía

En el siguiente apartado se enumeran algunos de los posibles errores o fallas que puede presentar la máquina y como solucionarlos. Además, se detalla la garantía que tienen la máquina láser y sus componentes y un listado completo de proveedores donde adquirir repuestos de los diferentes componentes del equipo.

4.6.1. Errores comunes y solución

Esta tabla muestra algunos de los errores comunes y no comunes que pueden surgir durante el funcionamiento de la máquina y las posibles soluciones a los mismos.

Nº.	Posible fallo	Método de análisis	Solución
1	La máquina enciende pero no hay movimiento.	Comprobar si la fuente de alimentación está bien conectada.	Conectar o sustituir la fuente de alimentación.
2	La máquina no deja de emitir luz láser.	Comprobar si el cable de tierra está conectado correctamente.	Conectar correctamente el cable de tierra a la máquina.
3	Luz inconexa cuando se trabaja.	Comprobar si la circulación de agua funciona correctamente.	Limpiar el tanque, bomba y tuberías de agua.
		Comprobar si el voltaje es estable.	Añadir un regulador de tensión a la máquina.
4	Comportamientos erráticos de las partes móviles al encender la máquina.	Comprobar si el cableado está conectado correctamente al interruptor general	Ajustar la posición de la hoja de metal para tocar bien el interruptor general.
5	Después de enviar los datos la máquina no realiza ninguna acción.	Comprobar el cable de transferencia de datos.	Conectar bien el cable de transferencia de datos.
		Comprobar si la máquina está encendida.	Encender la máquina.
		Comprobar el cable de tierra.	Conectar bien el cable de tierra.
		Comprobar si están instalados los drivers USB.	Instalar los drivers.
6	No hay láser durante las operaciones.	Comprobar si el recorrido del láser está bien calibrado.	Ajustar los espejos reflectores.
		Comprobar si el agua de refrigeración circula correctamente.	Arreglar el sistema de refrigeración.
		Realizar el test de la resistencia cerámica.*	Sustituir el elemento afectado.
7	Durante el corte-grabado la cabeza del láser se mueve de forma irregular.	Comprobar si la velocidad está demasiado alta.	Reducir la velocidad de corte-grabado.
		Comprobar si el cable de tierra está bien conectado.	Conectar bien el cable de tierra.
8	La emisión láser está dividido en dos o más haces.	Comprobar si el recorrido óptico está bien ajustado	Ajustar el recorrido óptico.
		Comprobar si alguno de los espejos está dañado.	Remplazar el elemento dañado.

Tabla 16. Errores comunes, análisis y solución

***Realización del test de la resistencia cerámica.**

En caso de que la máquina láser se encienda correctamente, pero esta no produzca emisión láser a la hora de trabajar, se puede realizar este test de la resistencia cerámica para comprobar si el fallo se encuentra en el tubo láser o en otro componente de la máquina láser. Este test consiste básicamente en sustituir, en el circuito del sistema, el tubo láser por un elemento cerámico de alta resistencia. Esta resistencia viene incluida con el equipo.



Fig. 68. Resistencia cerámica [Imagen extraída del manual]

Paso 1. Retirar el tornillo de la cubierta del tubo láser.

Paso 2. Abrir la cubierta, cortar la brida del cable de alto voltaje, sacar la cubierta protectora blanca y retirar la cinta aislante.

Paso 3. Cortar la brida del cable de baja tensión y retirar la cinta aislante.

Paso 4. Conectar los cables de alto y bajo voltaje a ambos extremos de la resistencia cerámica y recubrir con cinta aislante. Teniendo especial precaución a la hora de conectar el cable de alta tensión.

Paso 5. Separar la resistencia cerámica de la máquina.

Paso 6. Encender la máquina, presionar el botón de prueba (TEST), observar el amperímetro, si hay desviación de corriente la fuente de alimentación está bien y el fallo residirá en el tubo láser.

Paso 7. Una vez el test haya terminado, esperar tres minutos para evitar descarga eléctrica, desmontar la resistencia cerámica y los cables de acuerdo a los pasos anteriores. Por último, volver a conectar los cables de alta y baja tensión.

4.6.2. Garantía del equipo

4.6.2.1. Periodo de garantía del equipo

El periodo de garantía de la máquina será de un año desde la fecha de compra.

El periodo de garantía de los consumibles (lentes, tubo láser y otros) será de tres meses desde la fecha de compra.

4.6.2.2. Cláusulas de garantía del equipo

Durante el periodo de garantía y siempre y cuando se haya hecho un uso correcto de la máquina, el usuario puede acogerse a la garantía y dispondrá de servicio técnico gratuito.

En los casos siguientes, el usuario no podrá acogerse a la garantía:

1) Fallos causados por la utilización de productos no aptos para el mantenimiento de la máquina.

2) Exceder el periodo de garantía.

3) No cumplir con la obligación contractual.

4) No mostrar o alterar la tarjeta de garantía.

5) Sin la aprobación de la empresa, abrir, modificar o manipular la máquina por personal no cualificado.

6) Falla del equipo por causas humanas o de fuerza mayor.

La empresa solo asume la obligación legal por el producto en sí, pero no asume otras responsabilidades que deriven del uso del producto.

4.6.3. Repuestos y posibles proveedores

En este apartado se ha realizado un listado de los componentes propios de la máquina láser, que son susceptibles de necesitar ser repuestos a lo largo de la vida útil de la máquina, y una serie de proveedores que ofrecen repuestos para cada uno de estos componentes. Este listado contiene los proveedores que ofrecen la mejor calidad-precio a fecha de mayo de 2023.

Componente	Proveedor	Precio (€)	Enlace
Tubo láser	OMTech	169,39	https://omtechlaser.es/collections/tubo-laser-de-co2
	VEVOR	76,99	https://www.vevor.es/tubo-laser-c_11139/tubo-laser-de-co2-40w-700mm-

			para-maquina-de-grabado-tubo-de-descarga-20kv-p_010130051179
	LiquidLaser	280,16	https://liqui-laser.com/shop/tubos-laser-co2-40w50w60w80w100w130w150w/
	Amazon	189,90	https://www.amazon.es/dp/B00BKWOS1E?tag=track-ect5-es-375505-21&linkCode=osi&th=1&psc=1&ascsubtag=ecSEP1yirilhm85v38
Fuente de alimentación	OMTech	48,39	https://omtechlaser.es/collections/power-supply/products/40w-laser-power-supply-lps-0040-uk
	VEVOR	51,99	https://www.vevor.es/fuente-de-alimentacion-laser-c_11138/fuente-de-alimentacion-laser-co2-para-grabador-laser-40w-suministros-de-grabado-p_010281808511?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_id=17792251166&utm_term=&gclid=CjwKCAjw04yjBhApEiwAJcvNoWG8jfSmnzymNGOG95TBv6Tw_hfWA-_DnA2kxylkXNPFpZmbDf2WEBoC7acQAvD_BwE
	Amazon	59,99	https://www.amazon.es/VEVOR-Fuente-alimentaci%C3%B3n-l%C3%A1ser-grabador/dp/B083HFF7QT/ref=sr_1_3?adgrpid=70669773563&hvadid=601148204626&hvdev=c&hvlocphy=9047063&hvn etw=g&hvqmt=b&hvrnd=16145779370017714259&hvtargid=kwd-869282444370&hydadcr=4811_2184290&keywords=fuente%2Blaser%2B40w&qid=1684251064&sr=8-3&th=1
Espejos	Amazon	33,00	https://www.amazon.es/Mirrors-10-6um-Laser-Engraver-Cutter/dp/B079FW2Q41/ref=asc_df_B079FW2Q41/?tag=&linkCode=df0&hvadid=420396016028&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=12995439288835023197&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=9047062&hvtargid=pla-811778004865&ref=&adgrpid=101790899251&th=1
	Fruugo	20,95	https://www.fruugo.es/espejo-laser-demolibdeno-co2-diametro-20mm-079inch-espesor-3mm-012inch-para-grabado-y-corte-laser/p-143733121-303418949?language=es&ac=ProductC asterAPI&asc=pmax&gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWyT4LqTGnRzH4KkoC7ZhufGhD0MU97Qd1KzZSUnsovg2UxO0YYwPothoCTjAQAvD_BwE
	Cloudray (Amazon)	27,90	https://www.amazon.es/Reflector-l%C3%A1ser-Mirror-D20-

			m%C3%A1quina/dp/B07BJHKG4S?ref_ =ast_sto_dp&th=1
Lente	Amazon	20,00	https://www.amazon.es/COLETECH- Power-Laser-Engraver- Cutter/dp/B01DP2HXYA/ref=asc_df_B01 DP2HXYA/?tag=googshopes- 21&linkCode=df0&hvadid=42040795484 9&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=11134797 137162414&hvpone=&hvptwo=&hvqmt= &hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocp hy=9047062&hvtargid=pla- 571527456183&psc=1&tag=&ref=&adgr pid=98661084640&hvpone=&hvptwo=&h vadid=420407954849&hvpos=&hvnetw= g&hvrnd=11134797137162414&hvqmt= &hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocp hy=9047062&hvtargid=pla- 571527456183
	Cloudray (Amazon)	40,50	https://www.amazon.es/Cloudray- Objetivo-enfoque-diapositivas- cortador/dp/B07B8J9PMV/ref=asc_df_B0 7B8KYDHY/?tag=googshopes- 21&linkCode=df0&hvadid=59295228084 5&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=11134797 137162414&hvpone=&hvptwo=&hvqmt= &hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocp hy=9047062&hvtargid=pla- 658578099056&th=1

Tabla 17. Proveedores de repuestos para la máquina láser

5. METODOLOGÍA Y ENSAYOS

Durante este la realización de este trabajo se han llevado a cabo diferentes ensayos con la máquina láser, con el fin de conocer sus prestaciones reales a la hora de procesar diferentes tipos de materiales. Durante este proceso se ha trabajado con materiales de características y propiedades diversas, principalmente materiales plásticos y maderas. Estos materiales han sido sometidos a ensayos de corte y grabado, con el fin de estandarizar los diferentes parámetros de que intervienen en los procesos de corte y grabado.

5.1. Materiales procesables con el equipo de corte-grabado láser

Esta máquina láser, aunque es una máquina de potencia limitada, permite el procesamiento de gran variedad de materiales. Por lo general, esta máquina ha sido diseñada para trabajar con materiales que no presenten una gran conducción del calor, como materiales plásticos, acrílicos, maderas y derivados, telas, etc.

Esta máquina debido a sus dimensiones y condiciones de potencia, no está diseñada para cortar materiales metálicos, aunque se pueden realizar grabados en algunos de ellos si se realiza un tratamiento superficial previo.

Según el fabricante, esta máquina es capaz de cortar los siguientes materiales: materiales acrílicos, algunas maderas, cuero, plásticos, telas, MDF, cartón, papel, corian, espumas, gomas y fibra de vidrio. Además, se pueden realizar grabados y marcados en: acrílicos, maderas, plásticos, telas, vidrios, goma, corcho, ladrillos, granito, mármol, azulejo, hueso, melanina, fenólico, river-rock, aluminio, acero inoxidable y otros metales. [6]

A continuación, se muestra una tabla más completa con los materiales procesables en la máquina láser.

Material	Grabado	Grabado 3D	Corte	Comentario
Metacrilato	SI	SI	SI	Excelente corte- grabado.
Metacrilato bicapa	SI	NO	SI	-
Lámina PET	SI	NO	SI	-
Lámina de vinilo PU	NO	NO	SI	-
Poliestireno	SI	NO	SI	-
Polycarbonato	SI	SI	SI	Espesores muy pequeños.
Poliacetel	NO	NO	SI	-
Conglomerado	SI	SI	SI	Inflamable.
Contrachapado	SI	NO	SI	Inflamable.
Madera maciza	SI	SI	SI	Inflamable.
MDF	SI	SI	SI	Inflamable.
Tablón de madera	SI	SI	NO	Inflamable.
Corcho	SI	NO	SI	Inflamable.
Cartón	SI	NO	SI	Inflamable.
Cartulina	SI	NO	SI	Inflamable.

Filtro	NO	NO	SI	Inflamable.
Tela	SI	NO	SI	Inflamable.
Cerámica	SI	NO	NO	-
Vidrio	SI	NO	NO	-
Teflón	SI	NO	SI	Necesita tratamiento.
Aluminio	SI	NO	NO	Necesita tratamiento.
Aluminio Anodizado	SI	NO	NO	Necesita tratamiento.
Latón	SI	NO	NO	Necesita tratamiento.
Otros Metales	SI	NO	NO	Necesita tratamiento.

Tabla 18. Materiales procesables con la máquina láser

5.2. Materiales peligrosos

Ya se ha visto que existe una serie de materiales con los que no es recomendable trabajar en la máquina láser porque esta no es capaz de cortar o realizar grabados sobre ellos, como los materiales metálicos. Además de estos, existen también una serie de materiales con los que no se recomienda trabajar por su peligrosidad. La máquina láser si es capaz de procesar estos materiales, pero el procesamiento de los mismos genera una serie de riesgos que no los hacen aptos para su procesamiento con láser. Estos materiales peligrosos son los siguientes:

- **Metales sin tratamiento superficial.** Aun ya se ha comentado que esta máquina láser no es capaz de cortar metales, sí que puede hacer grabados sobre algunos de ellos. Para trabajar con metales, la superficie del material ha de ser tratada previamente. Esto se debe a que la mayoría de metales presentan superficies brillantes con gran reflectividad, lo que podría provocar que el rayo láser saliera rebotado de la superficie y dañara algún componente del equipo o, peor aún, a alguno de los usuarios de la máquina. Además, trabajar sin el tratamiento superficial de material metálico reduce casi a cero el porcentaje de éxito a la hora de realizar un grabado sobre el mismo.
- **PVC.** El cloruro de polivinilo al ser procesado mediante láser emite una serie de gases cuya composición es muy perjudicial para la salud humana. Además, estos gases también son perjudiciales para algunos de los componentes de la máquina, pudiendo arruinar la óptica del sistema, haciendo también que aparezca corrosión en las partes metálicas de la máquina, afectando al movimiento del cabezal láser. Todo esto se debe al alto contenido en cloro del PVC. Este al quemarse provoca emisiones de vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno, por este motivo hay que tener especial precaución con los materiales con alto contenido en cloro.
- **ABS.** El acrilonitrilo butadieno estireno al ser calentado por el haz láser no se vaporiza, sino que queda en estado líquido. Este material en estado líquido puede brotar por todo el interior de la máquina, dañando seriamente la óptica y otros componentes de la máquina. Además, al calentarse puede producir emisiones de cianuro de hidrógeno.
- **Polycarbonato (de espesor superior a 1 mm).** El polycarbonato es un material que absorbe muy bien la radiación emitida por el láser, lo que hace que sea difícil cortar este material usando la máquina láser. Además, se obtienen malos

acabado y durante el proceso el policarbonato emite una serie de gases y partículas sólidas volátiles que pueden afectar seriamente a los componentes de la máquina.

- **Gomas.** Por lo general son materiales muy inflamables. Además, presentan composiciones muy variables, por lo que pueden generarse humos nocivos en función de los aditivos presentes en las gomas.
- **Materiales tintados.** Algunos de los tintes que se les aplican a materiales como cueros o plásticos pueden contener metales u otros elementos nocivos para la salud humana.
- **Materiales espumados.** Por lo general, los plásticos espumados son altamente inflamables, pudiendo llegar a producir llamas de gran tamaño que podrían dañar el equipo y al usuario.
- **Otros plásticos.** Antes de procesar cualquier material plástico hay que asegurarse de que en su composición no haya ningún componente que pueda generar vapores nocivos para el usuario. Según el reglamento CE número 1907/2006 (apartado 17), el fabricante está obligado a presentar la hoja técnica de composición del material, de esta forma es posible asegurarse de que se trate de un material seguro para su procesamiento con láser.

A continuación, se incluye una tabla resumen con estos materiales peligrosos y otros que, aunque sean menos comunes o puedan presentar menos riesgos, también tienen que ser tenidos en cuenta.

Material	Peligro	Consecuencia
Metal sin tratamiento superficial	El haz láser puede rebotar en la superficie del material.	Daño en equipo y usuarios.
PVC	Emisiones de cloruro de hidrógeno.	Daño en la salud del usuario. Daño en la óptica y corrosión de partes metálicas.
ABS	Emisiones de cianuro de hidrógeno y material líquido.	Daños en la salud del usuario. Acumulaciones de material solidificado que dañan el equipo.
PC (e>1 mm)	Generación de llama. Emisión de gases y sólidos volátiles.	Daños en el equipo.
HDPE	Muy inflamable. Se vuelve pegajoso.	Puede provocar daños en algunos componentes de la máquina.
Espuma de poliestireno	Muy inflamable.	Puede provocar un incendio.
Espuma de polipropileno	Muy inflamable.	Puede provocar un incendio.
Fibra de vidrio	Emite gases nocivos.	Daños en la salud del usuario.
Fibra de carbono	Emite gases nocivos.	Daños en la salud del usuario.

Tabla 19. Materiales peligrosos

El procesamiento de estos materiales mediante la máquina láser no es que esté prohibido, pero si es recomendable evitarlos. Se debe extremar la precaución si se trabaja con alguno de estos materiales y disponer de las medidas de seguridad y mantenimiento necesarias para hacer frente a los peligros y problemas que estos materiales pueden producir. Por otra parte, sí que se recomienda no trabajar bajo ningún concepto con el PVC, ya que los gases emitidos durante su procesamiento son demasiado perjudiciales para la salud humana.

5.3. Desarrollo de los ensayos

5.3.1. Ensayos de corte

5.3.1.1. Objetivo de los ensayos de corte

Con la realización de estos ensayos de corte se han perseguido varios objetivos.

1.El primero de estos objetivos ha sido comprobar si de verdad la máquina láser era capaz de procesar algunos de los materiales que indica el fabricante y conocer las posibilidades y limitaciones de la máquina. Se ha querido comprobar hasta qué punto la máquina puede resultar de utilidad como herramienta de trabajo en alguno de los laboratorios y talleres de la escuela. Para ello se han realizado ensayos con los materiales comunes de trabajo para la fabricación y desarrollo de proyectos de la escuela.

2. También, se ha querido encontrar los parámetros ideales para el corte y grabado de estos materiales. De esta forma se ha buscado parametrizar cada uno de los materiales de trabajo más habituales con la idea de facilitar y agilizar el trabajo de los futuros usuarios de la máquina. Por ello, se han desarrollado una serie de tablas con los parámetros a introducir en procesos de corte y grabado en función de cada material y su espesor.

3. Se ha realizado también un estudio de la precisión dimensional que ofrece esta máquina a la hora de la realización de cortes de geometrías de diferentes niveles de complejidad. Buscando, para ello, idear estrategias o mecanismos que mejoren la precisión dimensional en los cortes.

4. El estudio y trabajo con esta máquina ha servido como introducción para la escuela a la tecnología láser. Sirviendo como estudio para analizar el potencial de esta tecnología de cara a adentrarse un poco más en la tecnología. En definitiva, estudiar si esta tecnología puede resultar de utilidad para los distintos proyectos que se desarrollan en la escuela y si merecería la pena seguir apostando por esta tecnología en el futuro, adentrándose en la compra de nuevos equipos más potentes en el futuro.

5. Por último, se buscado también observar las posibilidades que ofrece la tecnología láser a nivel de docencia. La tecnología láser es una técnica en auge en el sector industrial y de fabricación. Por este motivo, se ha analizado el potencial de esta tecnología a la hora de ser introducida en la docencia de los alumnos, permitiendo que futuros alumno puedan recibir conocimientos acerca de esta tecnología.

5.3.1.2. Metodología y procedimiento

Para la realización de estos ensayos de corte se han tenido en cuenta varios factores y procedimientos con el fin de observar cómo afectan estos factores a la hora de conseguir un corte satisfactorio.

5.3.1.2.1. Mantenimiento del recorrido óptico

El primero de estos factores a tener en cuenta es la limpieza y mantenimiento de lentes y espejos. Durante los primeros ensayos y días de trabajo con la máquina láser se observaron resultados dispares e incoherentes entre sí. Para unos parámetros determinados de potencia y velocidad de corte, para un material determinado, se observó que mientras que unos días se conseguía realizar los cortes y geometrías con facilidad y sin ningún problema aparente, otros días no se conseguía realizar cortes completos o de buena calidad.

Se ha determinado que estas irregularidades o fluctuación en el porcentaje de éxito de las operaciones, para un material y con unos parámetros de corte determinados, se deben al estado de los espejos y la lente del recorrido óptico. La acumulación de suciedad en los diferentes espejos y en la lente del sistema óptico afecta considerablemente al rendimiento de la máquina. Tras una jornada de trabajo de la máquina láser las partículas volátiles, contenidas en los gases producidos por los materiales de trabajo, pueden acumularse en los diferentes elementos del recorrido óptico del haz láser, ensuciando espejos y lente. Esta suciedad, la mayoría de veces puede ser imperceptible pero afecta notablemente a la efectividad de la máquina. La acumulación de suciedad reduce el nivel de reflexión de los espejos. Esto provoca que el haz láser no se refleje de forma completa en los espejos, perdiendo energía al pasar por cada espejo y produciéndose una reducción considerable de la potencia del láser al final del recorrido óptico. Es por este motivo que existen estas irregularidades a la hora de conseguir realizar cortes con unos parámetros de corte que, a priori, deberían ser suficientes para conseguir realizar dichos cortes.

Por este motivo, se ha establecido una rutina de mantenimiento diaria y limpieza exhaustiva del sistema óptico de la máquina. Esta rutina de mantenimiento es esencial para el correcto funcionamiento de la máquina. Por ello se recomienda realizarla antes de cualquier ensayo o trabajo con la máquina láser. Tras la implementación de esta rutina de mantenimiento se ha conseguido obtener resultado parejos y coherentes a la hora de realizar cortes con la máquina láser. Esta rutina se encuentra detallada en el apartado de mantenimiento (página 66).

5.3.1.2.2. Geometrías y estrategias de corte

Otro de los factores que se ha observado que afecta a la hora de realizar un corte láser es la geometría propia del corte, es decir, la geometría de la pieza final que se desea obtener. La máquina láser es una herramienta de corte de gran precisión, lo que permite crear geometrías de complejas y con muchos detalles, así como geometrías

pequeñas que resultarían imposibles de crear con otras tecnologías de corte más tradicionales.

Se ha observado, que para geometrías complejas cuesta más realizar el corte completo o separar la pieza de la matriz que en geometrías sencillas. Esto se debe a que el surco de corte generado durante el proceso es muy fino, ya que el haz láser es muy delgado. Por esto, en geometrías muy complejas, con muchos entrantes y salientes, es posible que la pieza quede encajada en la matriz, resultando complicado separar la pieza de la matriz sin dañar el producto final. También, en materiales que tienden a derretirse en lugar de vaporizarse, se ha observado que parte de este material derretido puede adherirse en el surco de corte, provocando que se produzcan cortes incompletos por algunas zonas.

Para evitar todo esto, es necesario establecer una buena estrategia a la hora de realizar el diseño de corte. A la hora de realizar el diseño de la geometría de corte es conveniente añadir líneas suplementarias o de apoyo que ayuden a mejorar la eficacia y la calidad del corte. Estas líneas suplementarias no forman parte en sí de la pieza que se desea obtener, pero ayudan a que la misma tenga una mayor precisión dimensional y que el corte de dicha pieza se realice de forma más sencilla y eficiente. Por ejemplo, es conveniente evitar que el haz láser pase de forma continuada y repetida por una zona pequeña del diseño en un periodo pequeño de tiempo, sobretodo en materiales que se calientan rápidamente. Esto puede hacer que el calor de más que recibe el material en una zona determinada afecte a la precisión de sus dimensiones y geometría en esa zona. Por este motivo, es necesario, a veces, añadir líneas de apoyo que alteren el diseño y por tanto el recorrido del haz láser, consiguiéndose la misma pieza, pero con una mejor precisión dimensional y mejor acabado final.

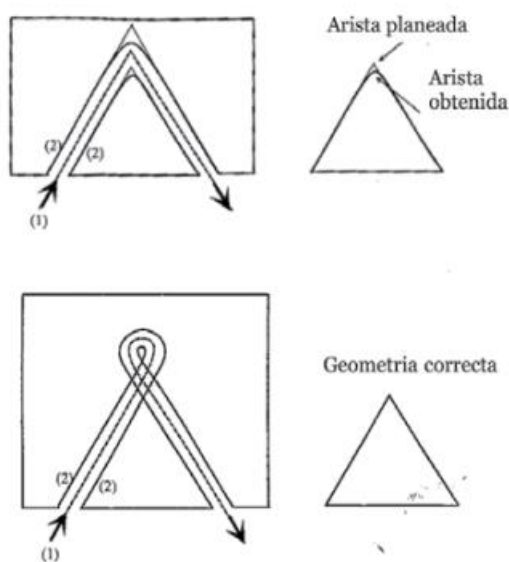


Fig. 69. Estrategia de diseño de geometrías [2]

Para la realización de los ensayos con los diferentes materiales y con el fin de medir la precisión dimensional del producto final con respecto al diseño se han realizado ensayos utilizando dos diseños diferentes de probeta de ensayos. La primera (Probeta 1) presenta un diseño simple con una geometría sencilla. Tratándose de un diseño cuadrado de 20 milímetros de lado. Esta probeta ha servido para determinar los parámetros críticos de potencia y velocidad de corte máxima que permiten realizar con éxito un corte en un material determinado. La segunda de las probetas (Probeta 2)

cuenta con una geometría más compleja, con salientes y entrantes, así como con líneas curvas y taladros. Esta geometría resulta útil para medir la precisión dimensional que se obtiene con cada uno de los diferentes materiales de trabajo. Midiéndose también, como afecta cada uno de estos elementos en la geometría a la precisión dimensional de la pieza final.

5.3.1.2.3. Posición y emplazamiento del material de corte

Durante el proceso de trabajo con la máquina láser también se observó que existía cierta variación dimensional entre unos ensayos y otros que se realizaban con los mismos parámetros. Tras una serie de pruebas y observaciones se determinó que estas variaciones eran debidas a la posición en la que se colocaba la pieza, es decir, a la zona del área de trabajo en la que se situaba el material.

Este fallo se soluciona ajustando a la perfección los espejos del recorrido óptico. Ya que, si alguno o varios de los espejos no está bien calibrado, puede ser que el haz láser, en vez de llegar hasta el material de forma totalmente perpendicular a la superficie del material, llegue con una cierta inclinación. Esto provoca que se puedan producir ciertas imprecisiones dimensionales en alguno de los sentidos del movimiento del cabezal láser, acentuándose o atenuándose estas variaciones en función de la posición del cabezal láser. Por este motivo, es fundamental realizar una calibración óptima del recorrido óptico si se desean obtener piezas con una gran precisión dimensional y conseguir que el emplazamiento del material no influya en el corte.

Por todo esto, el recorrido óptico ha sido revisado periódicamente durante la realización de los diferentes ensayos, para evitar que este haya podido sufrir variaciones durante el proceso de trabajo con la máquina. Además, se ha procurado, en la medida de lo posible, colocar las láminas de material siempre en una misma posición. Colocándolas en una posición centrada, y tratando de realizar los ensayos siempre sobre las mismas coordenadas. También, se ha procurado que el área de trabajo se encuentre en todo momento lo más nivelada posible, para evitar cortes inclinados o muy biselados, aunque ya se ha comentado que el haz del láser de CO₂ por sus características tiende a dejar cierto bisel en los cortes.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta, es la disipación de calor del área de trabajo en contacto con el material a procesar. En este caso la cama el área de trabajo está construida en acero, el cual tiene una conductividad térmica promedio de 45 W/MK, mientras que la conductividad térmica del aire es de 0,025 W/MK.

Para estudiar cómo puede afectar un aumento o disminución de la conductividad térmica del entorno del material en el proceso de corte se han realizado ensayos con dos disposiciones diferentes del material. En unos ensayos se ha situado el material directamente sobre la cama de acero del área de trabajo, mientras que en otros ensayos el material ha sido colocado sobre unos pequeños soportes, en este caso pequeños imanes, de forma que el material no estuviera en contacto con la cama de acero, formándose una pequeña capa de aire bajo la cara inferior del material.

Con esta prueba se han conseguido resultados diferentes en función del material de trabajo. Mientras que con unos materiales no se aprecian diferencias reseñables entre una disposición y otra, con otros materiales si se ha observado la aparición de pequeñas quemaduras o manchas superficiales en la cara inferior. En cualquier caso,

no se ha observado una diferencia notable en las dimensiones del producto final o en la calidad del corte. Tampoco se ha observado que una disposición u otra presenten diferencias en el porcentaje de éxito a la hora de realizar el corte. Por esto, en principio el situar el material directamente sobre la cama de acero o no, depende únicamente de si la pieza a cortar debe cumplir ciertos estándares estéticos y también en función del material.

5.3.1.2.4. Procedimiento seguido en los ensayos

El procedimiento seguido en todos los ensayos de corte de los diferentes materiales ha sido el mismo. Los materiales utilizados en los ensayos han sido, en su mayoría, materiales reciclados de otros procesos de fabricación anteriores. Se ha ensayado con algunos de los materiales más comúnmente utilizados en los distintos trabajos de fabricación de la escuela, siempre y cuando estos materiales cumplieren con las condiciones de seguridad necesaria para ser procesados con láser. Se han realizado ensayos para diferentes espesores de cada material, con el fin de determinar cómo varía la influencia del espesor a la hora de seleccionar los parámetros de corte. Estos diferentes espesores han sido seleccionados en función de la disponibilidad de cada material y procurando que existiera una diferencia de espesor significativa entre unos y otros, siempre teniendo en cuenta las limitaciones del equipo con el que se está trabajando. Finalmente, los materiales ensayados han sido: el metacrilato, el polietileno y el policarbonato, en el caso de los materiales plásticos; los diferentes tipos de madera y MDF y láminas finas de latón en el caso de los ensayos con los materiales metálicos.

El procedimiento de los ensayos ha sido el siguiente: se ha realizado una primera serie de ensayos con cada material para determinar los parámetros críticos de potencia y velocidad de corte máxima con los que la máquina es capaz de cortar ese material y ese espesor. Para esta serie de ensayos, se ha utilizado la Probeta 1 como diseño de corte y se ha obtenido una gráfica que permita ver cuál es la velocidad máxima de corte en función de la potencia establecida.

Una vez realizado esto, se ha procedido con la segunda serie de ensayos. En esta segunda serie se ha utilizado como diseño de corte la probeta 2 y han tenido como objetivo obtener con qué combinación de los parámetros de corte se obtiene una mejor precisión dimensional y un mejor acabado.

4.3.1.3. Materiales plásticos

Los materiales plásticos por lo general son materiales muy versátiles y económicos. Esto se debe principalmente a que son materiales ligeros y que requieren de poca administración de energía para su transformación y procesamiento. En general son materiales que pueden adaptarse a casi cualquier uso que se pueda imaginar por lo que son materiales muy interesantes en el ámbito de la fabricación.

En cuanto al proceso de fabricación mediante láser, la energía láser generada por los láseres de CO₂ es fácilmente absorbida por la mayoría de plásticos, lo que provoca que el material en la ruta del haz láser se caliente y se evapore rápidamente. Por esto, la mayoría de plásticos pueden cortarse con relativa facilidad mediante láser

de CO₂, consiguiéndose bordes de corte suaves y con poca zona afectada por el calor, en la mayoría de los casos.

La arquitectura y funciones de la máquina láser hace que sea ideal para el procesamiento de materiales en forma de lámina. Es por eso que para estos ensayos con materiales plásticos se han usado algunos de los materiales en lámina más utilizados a nivel industrial. En este caso, el metacrilato, el poliestireno y el policarbonato.

5.3.1.3.1. Láminas de metacrilato (PMMA)

El metacrilato, también llamado polimetilmetacrilato de metilo (PMMA), es un polímero termoplástico altamente transparente, cuenta con una transparencia cercana al 93%. Es ligero y resistente. Se trata de un polímero parecido al vidrio pero que cuenta con más resistencia y es más ligero que este. Este material se obtiene de la polimerización del monómero metilmetacrilato y se suele conformar en forma de placas o granulado.

Algunas de las propiedades más características del metacrilato son:

- Es polímero altamente transparente, cerca del 93% de transparencia.
- Tiene una alta resistencia frente a los impactos.
- Posee una alta resistencia a las inclemencias climáticas.
- Es considerado un buen aislante térmico y acústico.
- Es muy ligero, con el doble de ligereza que el vidrio.
- Tiene una gran dureza, similar a la del aluminio.
- Es de fácil combustión, pero también es autoextinguible, es decir la llama se apaga rápidamente al ser retirado del fuego.
- Es flexible, pero no puede doblarse en frío.
- Resistente a múltiples productos químicos.
- Es un plástico rígido, pero que se trabaja con facilidad. Es fácil de moldear con la aplicación de calor.

Estas propiedades hacen que el metacrilato sea un polímero muy usado en el sector de la fabricación. Además, algunas de estas propiedades, como el hecho de que sea autoextinguible y de que se pueda moldear fácilmente con la aplicación de calor, hacen que el metacrilato sea un material idóneo para ser procesado con tecnología láser.

Por estos motivos, y ya que es un material usado con frecuencia en distintos procesos y proyectos de fabricación de la escuela, el metacrilato ha sido el primer material considerado a la hora de ser ensayado.

Durante los ensayos con este material se han usado láminas de diferentes espesores, con el fin de determinar los parámetros de corte ideales para cada uno de estos espesores. De esta forma se ha conseguido crear una tabla que contenga los parámetros de corte ideales a introducir en función del espesor. Estos parámetros ideales se han seleccionado atendiendo a varios aspectos.

El primero de ellos ha sido el intentar realizar el corte de la manera más eficiente y económica posible. Por ello, se ha intentado encontrar la combinación de parámetros potencia-velocidad de corte más eficiente. Utilizar una potencia baja hace que la vida

útil del tubo láser se alargue y además se consigue un haz láser más fino, lo que se traduce en cortes más precisos. Por otra parte, una velocidad de corte mayor hace que el proceso de corte dure menos, lo que hará que la máquina láser esté menos tiempo trabajando y consuma menos energía, alargando también su vida útil y resultando en un proceso más económico.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el acabado de la pieza final. En cuanto a que un acabado sea bueno o no hay que tener en cuenta dos cosas. La primera es que la pieza final cuente con una buena precisión dimensional, es decir, que las medidas de la pieza final y el diseño sean lo más parecidas posibles. Utilizar una potencia excesiva durante el corte puede hacer que la precisión dimensional y geométrica de la pieza final bajen, ya que a mayor potencia el haz láser tiende a ensancharse. También hay que tener en cuenta el acabado de la pieza final, es decir, que presente buenos surcos de corte, limpios y rectos, y que la superficie de la pieza no presente machas o quemaduras derivadas del proceso de corte. Estos aspectos de acabado de la pieza, tendrán más o menos relevancia en función de la utilidad a cumplir por la pieza final.

Atendiendo a estos dos aspectos, se ha elaborado una tabla para que futuros usuarios de la máquina láser puedan establecer rápidamente los parámetros de corte en función del material a trabajar y de su espesor. De esta forma, se consigue un trabajo más eficiente con la máquina láser, ayudando a aumentar su vida útil lo máximo posible y obteniéndose mejores resultados de corte.

Por ello, el primer paso en el ensayo con metacrilato ha sido elaborar una tabla gráfica en la que se muestre las combinaciones de potencia y velocidad de corte máxima a la que el láser es capaz de cortar cada espesor. Es decir, para cada porcentaje de potencia cual es la velocidad de corte máxima a la que el láser es capaz de realizar un corte completo en un espesor determinado de metacrilato. Como ya se ha descrito anteriormente, para la realización de estas gráficas se ha usado la Probeta 1, es decir, la probeta cuadrada de 20 mm de lado.

Se ha procedido de la siguiente forma. Para un espesor determinado, se ha ido fijado cada configuración de porcentaje de potencia, yendo desde un 10% hasta el 50% del total, aumentando el valor del porcentaje de potencia cinco puntos cada vez. Con cada porcentaje de potencia fijado se ha ido variando la velocidad de corte, yendo desde una velocidad alta hasta velocidades más bajas, hasta que el láser era capaz de realizar un corte completo. De esta forma, y repitiendo el proceso varias veces para cada uno de los porcentajes de potencia fijados (con el fin de minimizar los error y variaciones), se ha obtenido una tabla que a su vez ha permitido configurar una gráfica. Por ejemplo, para una lámina de metacrilato de 3 mm de espesor se ha obtenido la siguiente gráfica.

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	8
15	12
20	14
25	15
30	17
35	18
40	19
45	19
50	19

Tabla 20. Parámetros críticos de corte para PMMA de 3 mm

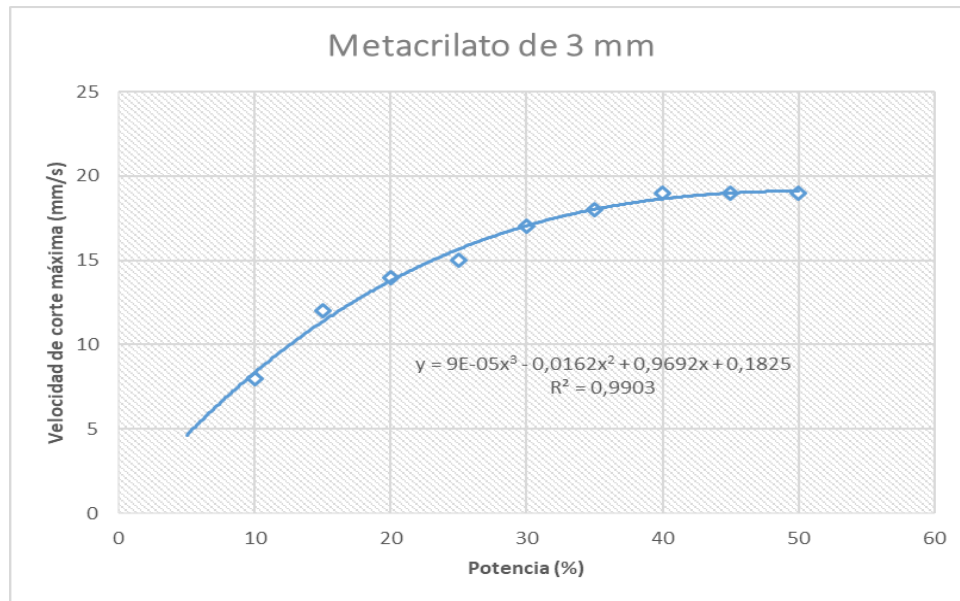


Gráfico 1. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PMMA de 3 mm

Como se puede observar en la gráfica a medida que la potencia aumenta también aumenta la velocidad de corte máxima. Se puede ver como al principio, para porcentajes de potencia bajos la velocidad de corte máxima aumenta rápidamente a medida que se aumenta la potencia. También, se observa cómo llega un punto en el que la velocidad de corte máxima ya no aumenta tan rápidamente a medida que crece el porcentaje de potencia, llegando incluso a estancarse siguiendo una tendencia prácticamente asintótica cercana a los 20 mm/s.

Esto se debe a que por mucho que se aumente la potencia y, por tanto, la energía suministrada al material también aumente, la velocidad máxima de corte no podrá seguir aumentando tan rápido, llegando incluso a un límite. Esto es debido a que llega un momento en que el cabezal de corte láser se mueve tan rápido que no da tiempo a que el láser caliente lo suficiente el material (aunque la potencia sea muy alta) impidiendo que el corte se realice correctamente. Esta función que se forma tras un ajuste de los datos obtenidos conformará la línea de parámetros de corte críticos.

Como ya se ha dicho anteriormente, en los procesos de corte láser pueden producirse diversas variaciones o alteraciones pequeñas debidas a factores como la limpieza de los espejos o la temperatura del agua de refrigeración. Estas variaciones hacen que se puedan distinguir tres zonas diferentes en esta gráfica.

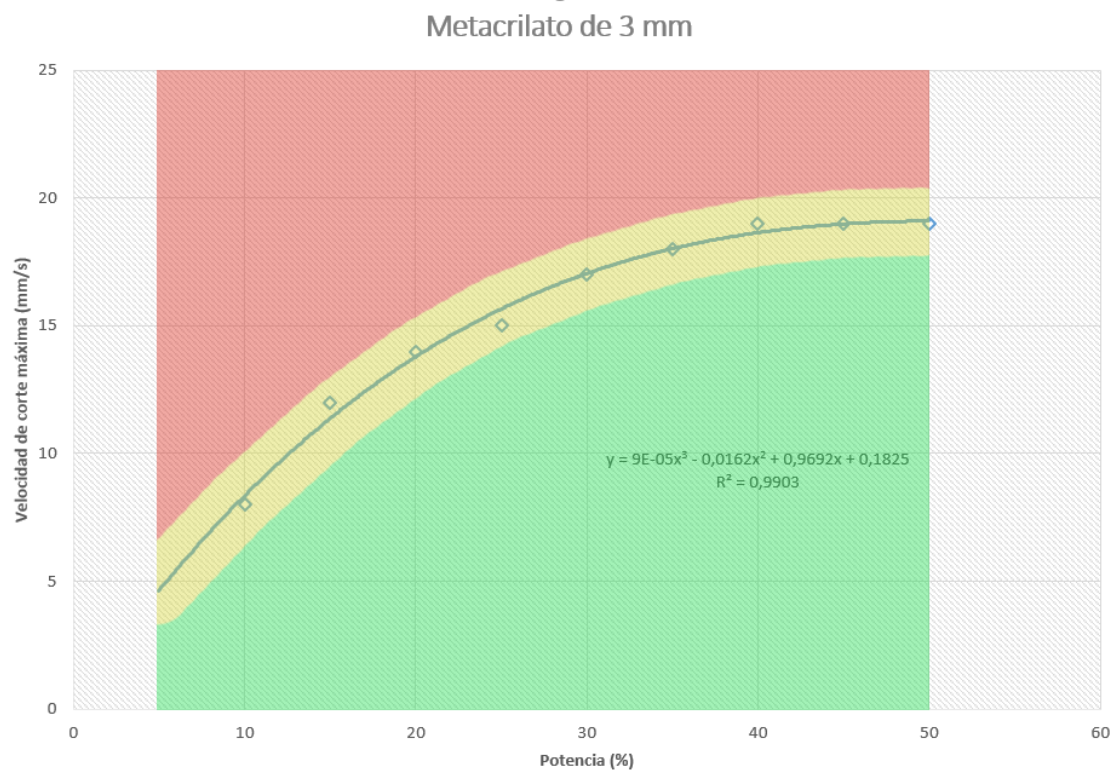


Gráfico 2. Zonas de corte para PMMA de 3 mm

La zona verde, situada bajo la función es la zona en la que el corte se realizará de forma satisfactoria. Es decir, cualquier combinación de potencia y velocidad de corte que se sitúe dentro de la zona verde será una combinación de parámetros capaz de realizar el corte completo.

La zona roja, situada sobre la función, es la zona en la que el láser no será capaz de ejecutar el corte. Es decir, cualquier combinación de potencia y velocidad de corte que se sitúe dentro de la zona roja será una combinación de parámetros insuficiente para realizar el corte de forma adecuada.

La zona amarilla, una pequeña franja situada en torno a la línea crítica de corte, es la zona donde los cortes pueden o no realizarse de forma satisfactoria. Es una zona de incertidumbre. La existencia de esta zona se debe a las variaciones y factores externos antes mencionados, como la limpieza o la temperatura del agua. La realización de un trabajo con una combinación de parámetros ubicados en esta zona de incertidumbre puede provocar que unas veces se consiga cortar el material y otras veces no, o pudiéndose producir cortes incompletos. La correcta limpieza y mantenimiento de la máquina provoca que esta zona amarilla de incertidumbre se reduzca.

De esta forma, se ha procedido de manera análoga con los diferentes espesores disponibles. Obteniéndose para el espesor de 4 mm los siguientes resultados:

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	5
15	8
20	9
25	10
30	11

35	11
40	12
45	12
50	12

Tabla 21. Parámetros críticos de corte para PMMA de 4 mm

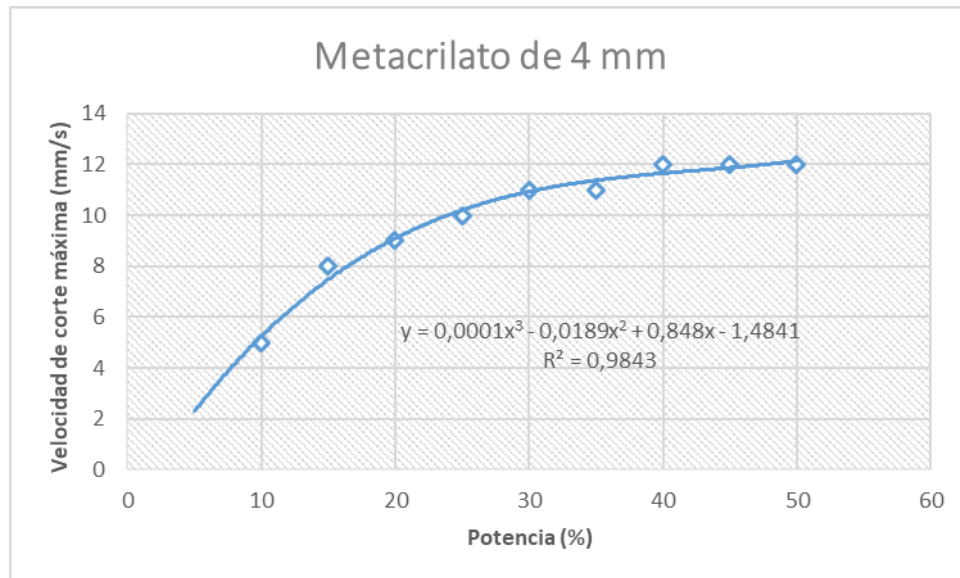
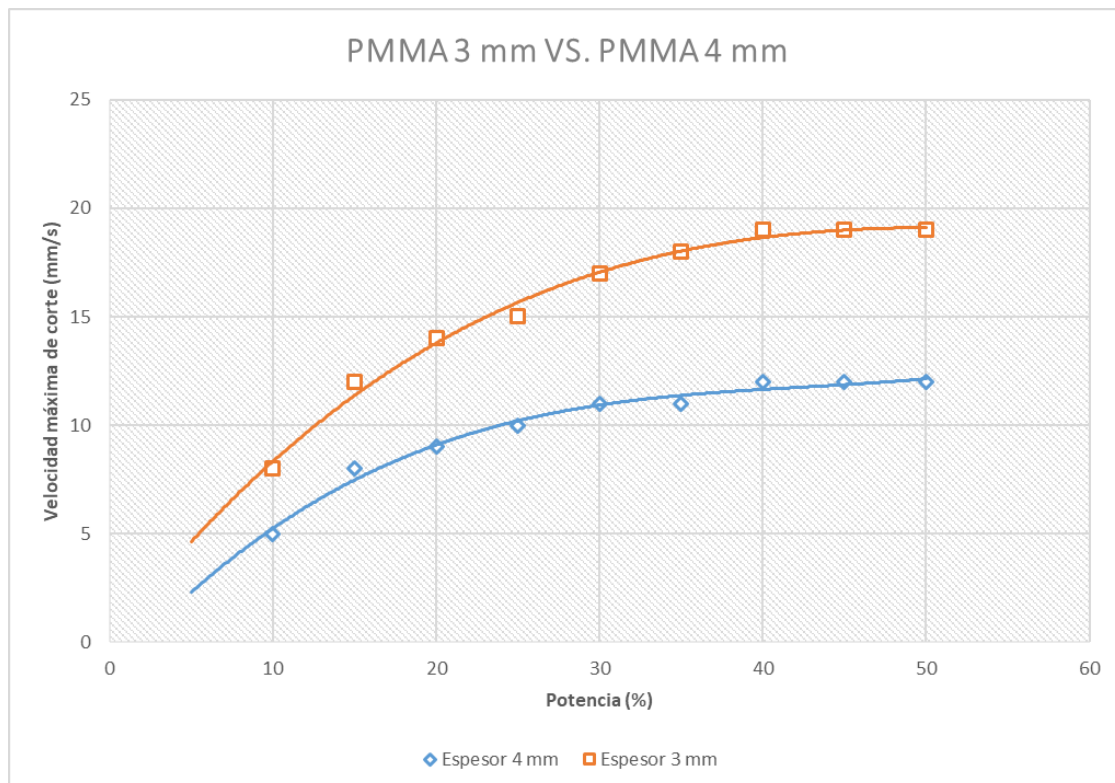


Gráfico 3. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PMMA de 4 mm

Los resultados obtenidos se pueden analizar mejor si se superponen las dos gráficas anteriores.



Como era de esperar al aumentar el espesor del material, la velocidad máxima de corte para cada configuración de potencia disminuye. Se puede apreciar una disminución significativa de la velocidad de corte máxima. Se puede ver también como para espesores menores los valores de velocidad máxima de corte aumentan más rápidamente al principio de la curva, para configuraciones de potencia bajas. Esto es lógico ya que para espesores pequeños será más fácil realizar el corte, aunque la potencia introducida sea baja. También se puede observar como a medida que el espesor aumente la gráfica alcanzará su valor asintótico o límite de velocidad de corte máxima más rápidamente.

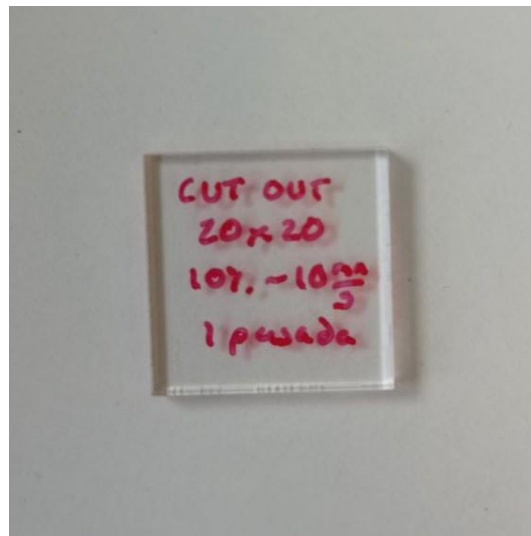


Fig. 70. Probeta de pruebas 1. Metacrilato [Imagen propia]

Para el caso del metacrilato de 10 mm de espesor no se ha conseguido realizar un corte completo realizando una sola pasada con ninguna de las combinaciones de potencia y velocidad de corte disponibles. Esto hace indicar que, para espesores grandes, cercanos a los 10 mm y superiores se necesitarán realizar varias pasadas para poder realizar el corte en su totalidad.

En este caso, se han probado diferentes combinaciones de los parámetros de corte utilizando tanto dos como tres pasadas. El láser ha sido capaz de realizar el corte completo en ambos casos, aunque como es de esperar para las configuraciones con dos pasadas se ha necesitado una configuración de potencia mayor y una velocidad de corte menor que en las configuraciones con tres pasadas. Por lo general, el aumento del número de pasadas realizadas durante el proceso disminuye la calidad del corte, ya que la zona por donde pasa el láser se calienta más veces provocando un surco de corte mayor, haciendo que las dimensiones de la pieza final disminuyan alejándose de las dimensiones originales del diseño. Además, un aumento del número de pasadas provoca, en materiales plásticos como el metacrilato, que los bordes de corte salgan más biselados, empeorando la calidad del corte. Por estos motivos, se recomienda, en la medida de lo posible, realizar el menor número de pasadas posible para obtener mejores resultados.

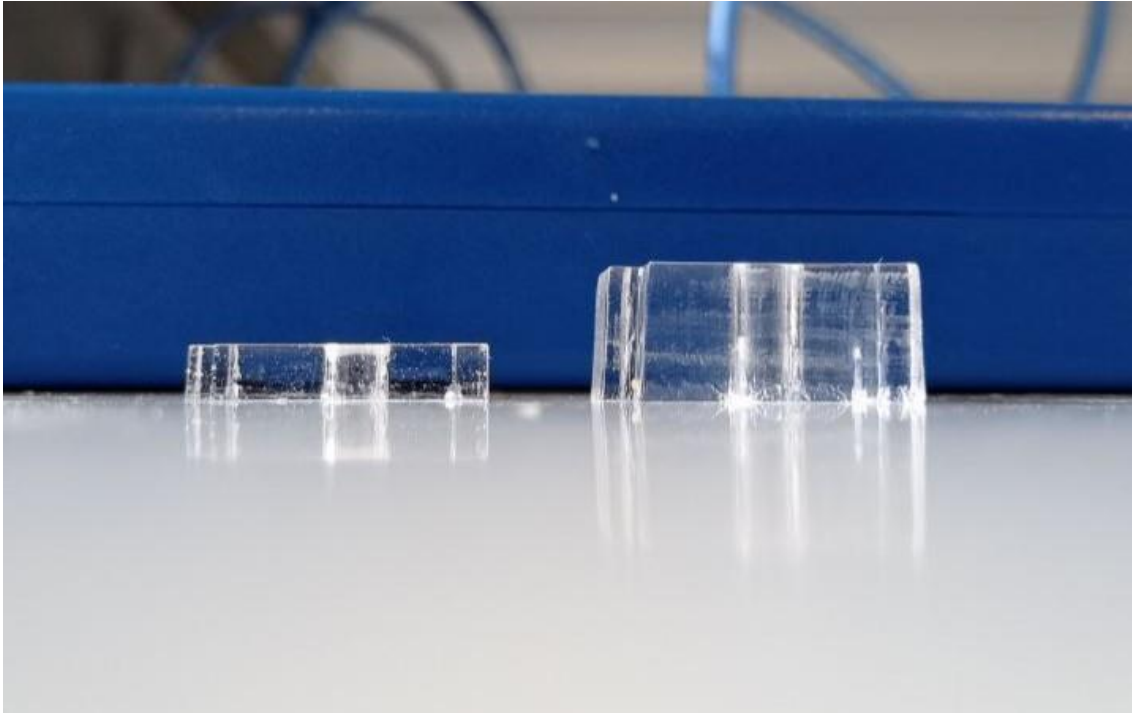


Fig. 71. Diferencia de acabado entre metacrilato de 4mm y metacrilato de 10 mm [Imagen propia]

Una vez realizado este primer estudio se ha proseguido intentando encontrar la combinación de potencia y velocidad de corte, dentro de los límites de cada espesor, que ofrece mejores resultados de acabado superficial y mejor precisión dimensional. Para este segundo estudio se han probado diferentes combinaciones de potencia y velocidad de corte, probando desde configuraciones con potencia y velocidad de corte bajas hasta configuraciones con potencia y velocidad de corte más altas. Como ya se ha explicado, a la hora de realizar un corte interesa hacerlo con una velocidad de corte muy alta y una potencia baja, pero esto normalmente no es posible, ya que se necesita cierto equilibrio. Este segundo estudio se ha realizado utilizando la probeta de pruebas 2.

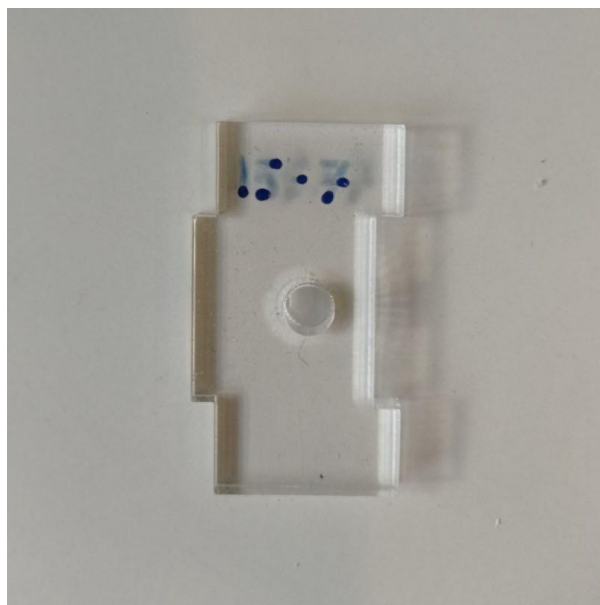


Fig. 72. Probeta de pruebas 2. Metacrilato [Imagen propia]

Por este motivo se ha observado que, al trabajar con configuraciones de potencia altas, la precisión dimensional disminuye. Esto es debido, como ya se ha comentado, a que el diámetro del haz láser aumenta ligeramente al aumentar la potencia. Estas variaciones dimensionales no son muy grandes, pero dependiendo del uso que se le vaya a dar a la pieza final pueden llegar a ser significativas. Al intentar reducir esta potencia hay que reducir también, como es lógico, la velocidad de corte. Se ha observado también que para velocidades de corte muy bajas se produce un sobrecalentamiento en las zonas próximas al surco de corte. Este sobrecalentamiento se debe a que el haz láser, al moverse más lento, pasa más tiempo sobre una zona determinada del material. El sobrecalentamiento del material provoca desperfectos como rebabas o bordes derretidos en exceso, lo que afecta también a la precisión dimensional de la pieza. También pueden aparecer manchas o quemaduras en las zonas cercanas al surco de corte.

Esto parece indicar que la configuración más adecuada es una que utilice unos parámetros de potencia y velocidad de corte intermedios. Atendiendo a esto se ha configurado la siguiente tabla con la configuración ideal de parámetros para cada espesor. Interpolando los resultados se han configurado también estos parámetros para espesores que no han sido ensayados por falta de disponibilidad.

Material: Metacrilato PMMA			
Espesor (mm)	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad de corte (mm/s)
2	1	15-20	6-8
3	1	20-25	7-9
4	1	25-30	8-10
5	1	30-35	9-11
10	2-3	40-60	4-8

Tabla 22. Parámetros de corte para diferentes espesores de PMMA

También, se ha probado con diferentes configuraciones en la colocación del material de trabajo. Probando a colocar el material directamente sobre la cama de acero del área de trabajo y probando a colocarlo sobre pequeños soportes separadores (imanes) de forma que el material no esté en contacto con ninguna superficie.

Se ha observado que al colocar el material directamente sobre la cama de acero pueden aparecer algunas manchas en la cara inferior del material. Estas manchas se producen ya que parte del material derretido y vaporizado queda entre la cama y la cara inferior de la pieza, manchando el material. Estas manchas se distribuyen alrededor de la zona de corte. Al colocar la pieza sobre los separadores, la aparición de estas manchas se reduce notablemente. El uso de una u otra configuración no afecta significativamente a la precisión dimensional del producto final, siempre y cuando se haya ajustado bien la posición del cuello del haz láser con respecto al material de trabajo.



Fig. 73. Diferentes ensayos en PMMA. Diferentes configuraciones [Imagen propia]

En cuanto al acabado de las piezas de metacrilato con una buena configuración de parámetros se obtienen resultados muy gratificantes. Se obtiene una precisión dimensional extremadamente buena, respetando la geometría del diseño, con variaciones máximas de centésimas de milímetro. Si es cierto que se ha observado que, en la realización de taladros u orificios interiores, tienen a salir ligeramente achatados en la dimensión Y, aunque esta diferencia resulta prácticamente imperceptible.

Se obtienen bordes de corte lisos y suaves, sin rebaba. Los cortes suelen presentar el biselado característico del corte con láser de CO₂ en la parte más próxima a la cara superior de la pieza. Este biselado es prácticamente inapreciable en espesores pequeños, pero se acentúa según aumenta el espesor del material. También se acentúa si se aumenta el número de pasadas.

En definitiva, el metacrilato resulta un material ideal para su procesamiento con láser, obteniéndose buenos resultados. Los productos finales presentan un acabado superior al obtenido con otros métodos tradicionales de corte. Consiguiéndose hacer geometrías complejas y de tamaños diversos, siempre respetando una precisión dimensional adecuada.

5.3.1.3.2. Láminas de poliestireno (PS)

El siguiente material plástico que se ha ensayado ha sido el poliestireno, en concreto láminas de poliestireno rígido transparente. Estas planchas se fabrican a partir del poliestireno de choque, un termoplástico de alto impacto. Cuenta con una gran resistencia al frío y una gran resistencia mecánica, presentando una transparencia similar a la del metacrilato. De entre las propiedades del poliestireno rígido destacan:

- Tiene una gran ligereza y resistencia a los impactos, equiparable con la del metacrilato o el policarbonato.
- Es fácilmente moldeable, no produce astillas ni bordes vivos al cortarse.
- Posee una excelente elasticidad.
- Es muy resistente a la humedad, es impermeable.
- Tiene una gran estabilidad frente al calor.
- Tienen una baja resistencia a disolventes aromáticos y clorados.
- Las planchas de poliestireno rígido son 100% reciclables.

Por estas buenas propiedades, el poliestireno es uno de los materiales más usados en el sector de la fabricación. Por lo general, las planchas de poliestireno rígido son más baratas que las planchas de metacrilato. Esto, sumado a que cuenta con unas propiedades similares, ha hecho que el poliestireno sea otro de los materiales a considerar en los ensayos.

Para los ensayos con el poliestireno se ha procedido de forma análoga a los ensayos con el metacrilato. Se han usado diferentes espesores de plancha de poliestireno. En este caso se ha ensayado con los espesores comerciales más habituales, siendo estos 2 y 4 mm. No se ha ensayado con espesores mayores, a diferencia que con el metacrilato, por los diferentes resultados obtenidos que se comentarán más adelante.

Para la primera fase de los ensayos con poliestireno se ha procedido igual que con el metacrilato. Primero se ha intentado encontrar la curva de parámetros críticos. Es decir, la curva que define la velocidad de corte máxima para cada una de las diferentes configuraciones de potencia para un espesor de material determinado. Al igual que con el material anterior, esta primera parte de los ensayos con poliestireno se han realizado utilizando como diseño de corte la probeta de pruebas 1.

De esta forma, procediendo primero con el espesor más pequeño disponible, el de 2 mm, se han obtenido los siguientes resultados:

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	6
15	11
20	12
25	13
30	14
35	15
40	16

Tabla 23. Parámetros críticos de corte para PS de 2 mm

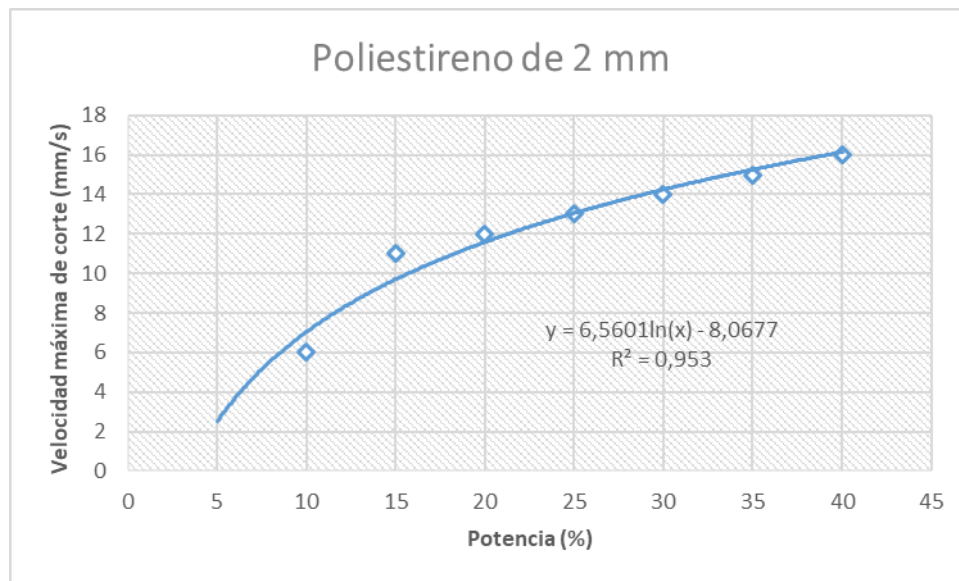


Gráfico 5. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PS de 2 mm

Se puede observar que al igual que pasaba con el metacrilato al principio de la curva, para configuraciones de potencia bajas, la velocidad de corte máxima aumenta rápidamente y para configuraciones de potencia más altas el crecimiento se ralentiza. Sin embargo, en el caso del poliestireno se puede observar como la curva no alcanza el valor asintótico tan rápido, como si ocurría en el caso del metacrilato. Para el espesor mayor, el de 4 mm, se han obtenido los siguientes resultados:

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	-
15	-
20	4
25	4
30	5
35	5
40	6
50	6

Tabla 24. Parámetros críticos de corte para PS de 4 mm

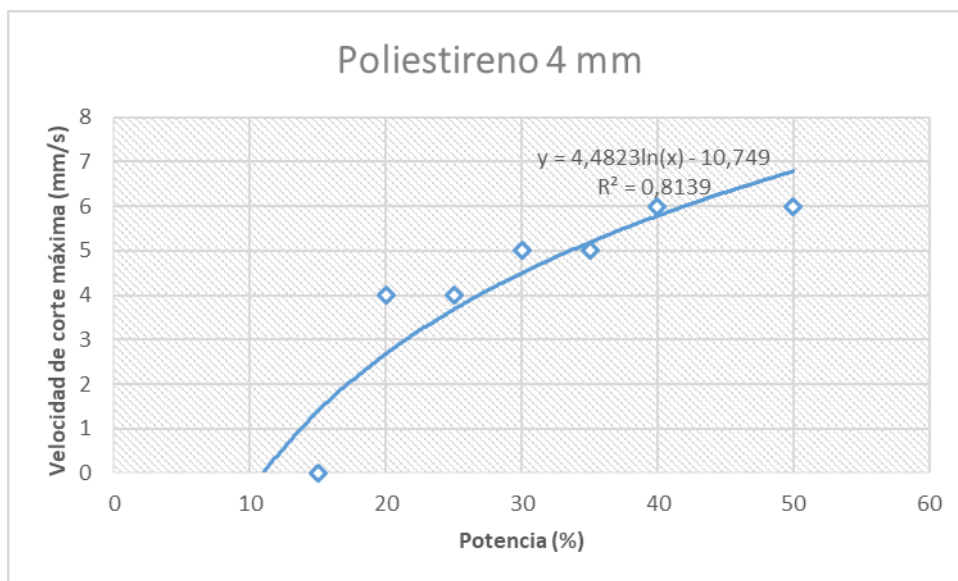


Gráfico 6. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PS de 4 mm

Como se puede observar con este aumento de 2 mm del espesor del material provoca un cambio significativo en los parámetros críticos de corte. Se puede ver como para potencias bajas inferiores al 20% el láser es prácticamente incapaz de realizar un corte completo en el poliestireno. Esta reducción de los parámetros críticos de corte se hace más evidente si se superponen las dos gráficas.

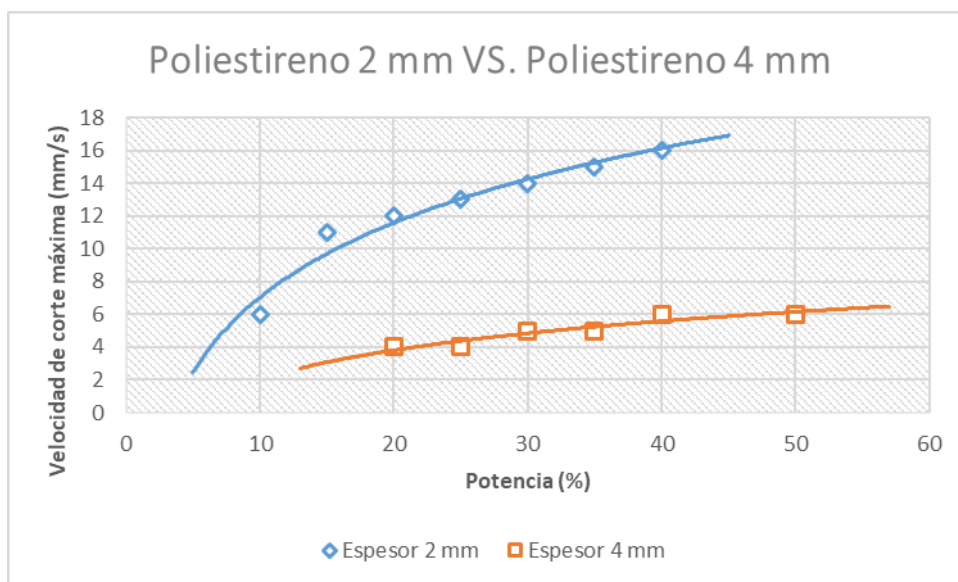


Gráfico 7. Diferencias de parámetros críticos entre espesores de 2 y 4 mm (PS)

Se puede ver como los parámetros de corte críticos se reducen drásticamente con un aumento del espesor. Esta reducción tan drástica se debe en parte a las propiedades térmicas del poliestireno y a su estructura. El poliestireno es un material que al ser calentado por el haz láser gran parte tiende a derretirse en lugar de vaporizarse. Esto provoca que parte del material derretido se vuelva a adherir en el

surco de corte, al enfriarse, haciendo que resulte más costoso realizar el corte completo. Este material derretido hace que el corte en el poliestireno presente malos acabados, como borde derretidos y rebabas.

Resulta de interés comparar el comportamiento de esta curva de parámetros de corte críticos con la de otros materiales. Comparando la curva del poliestireno con la del metacrilato, para un mismo espesor, se obtienen los siguientes resultados.

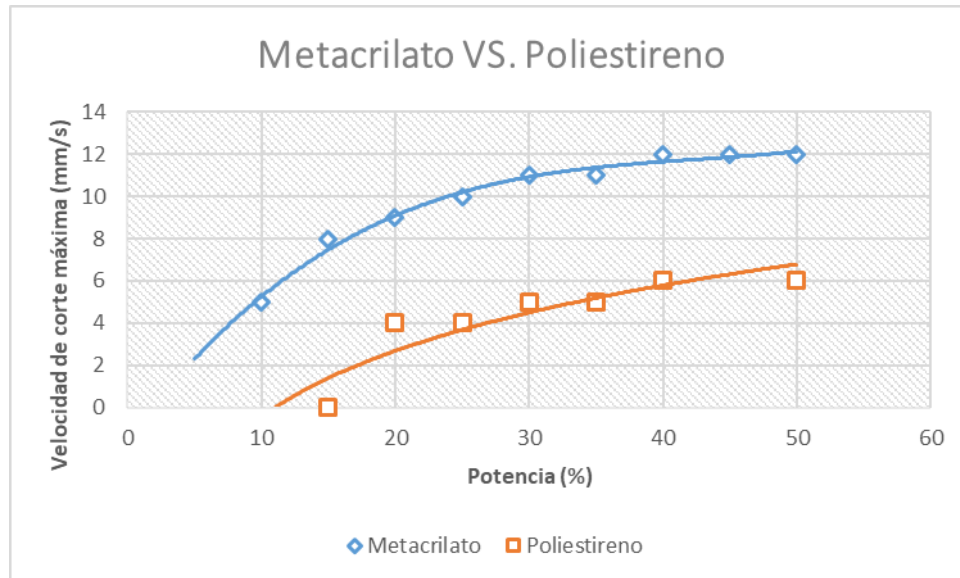


Gráfico 8. Diferencias entre los parámetros críticos de corte para PMMA y PS

Se puede ver como para la misma configuración de potencia, el metacrilato permite introducir una velocidad de corte máxima mayor que el poliestireno. Esto es debido en parte al fenómeno antes comentado, esa tendencia del poliestireno a fundir antes que vaporizarse hace que resulte más difícil de cortar que el metacrilato. Esto puede explicarse o verse mejor si se atienden a algunas de las propiedades térmicas de estos materiales. Mientras que el poliestireno tienen una temperatura de transición vítrea de 95 °C aproximadamente, el metacrilato tiene una temperatura de transición vítrea del metacrilato es de 105 °C en promedio. Esta temperatura de transición vítrea marca la transición gradual y reversible de en los materiales amorfos (o en las regiones amorfas de los materiales semicristalinos) de un estado vítreo a un estado viscoso a medida que aumenta la temperatura. Esto indica que el poliestireno empieza a fundirse antes que el metacrilato, lo que provoca que se formen estas acumulaciones de material fundido a medida que pasa el haz láser, provocando que sea más difícil su corte.

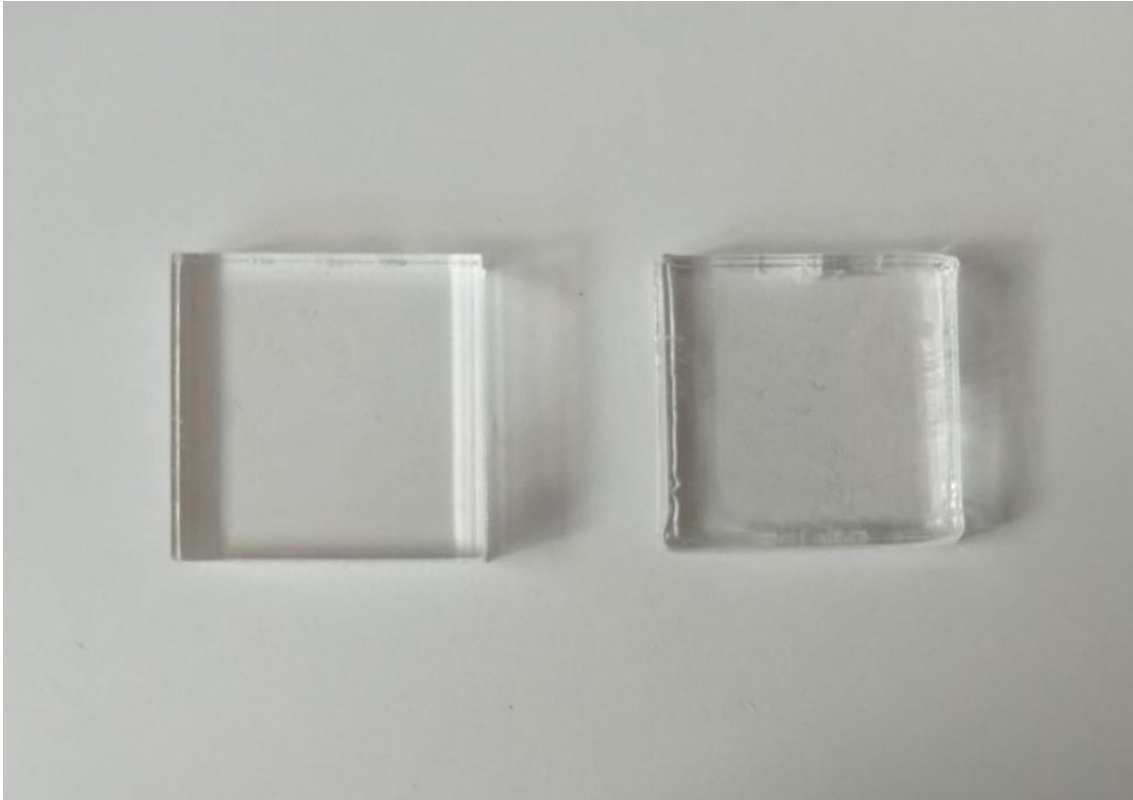


Fig. 74. Diferencias de acabado entre PMMA y PS [Imagen propia]

De esta primera parte del ensayo se puede obtener que se necesita más potencia y/o menos velocidad de corte para conseguir cortar correctamente un mismo espesor de poliestireno que uno de metacrilato. Esto ya da un punto a favor al metacrilato sobre el poliestireno.

En cuanto a la segunda parte de los ensayos con este material, no ha sido necesario realizar un estudio en gran profundidad para darse cuenta de las limitaciones que presenta este material. En esta parte del ensayo, al igual que con el metacrilato, se ha intentado medir la calidad del corte, así como su acabado superficial y su precisión dimensional.

Ya los resultados obtenidos en la primera parte del ensayo no invitan a ser demasiado optimista con la obtención de buenos resultados en esta segunda parte. Como se ha comentado antes, el poliestireno tiende a fundir antes que vaporizar por lo que se han obtenido resultados malos en cuanto al acabado de la pieza final. Estas piezas finales presentaban todas en mayor o menor medida bordes derretidos en exceso. Esto provoca que se obtengan bordes con geometría irregular, por la acumulación del material fundido, pudiendo producirse la formación de pequeñas rebabas. La diferencia en este apartado entre el poliestireno y el metacrilato es más que notable.

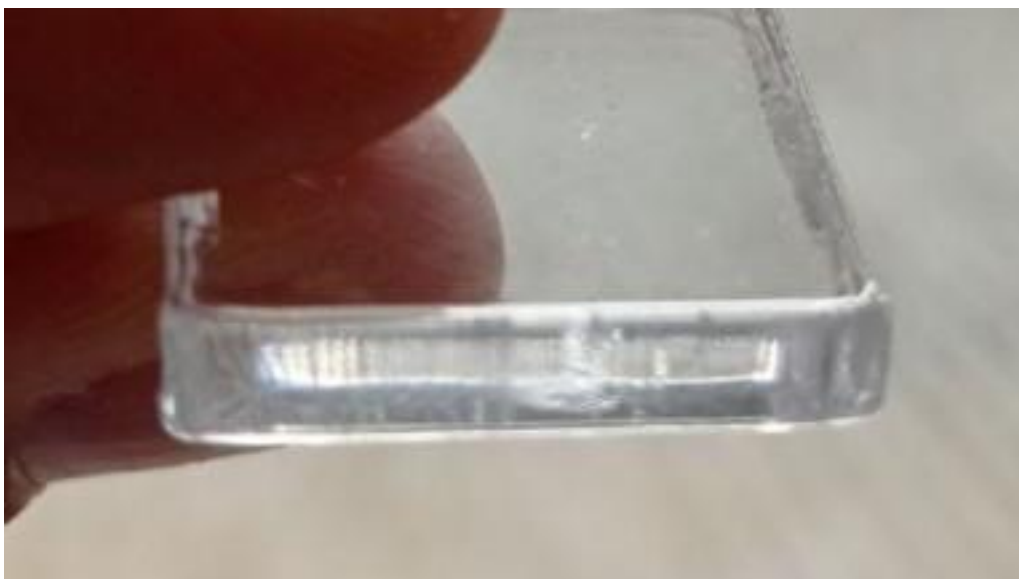


Fig. 75. Bordes de corte del PS [Imagen propia]

En cuanto a la precisión dimensional también se han obtenido malos resultados. Esta acumulación de material fundido y exceso de material derretido en los bordes de corte hacen que la pieza final presente dimensiones significativamente menores a las del diseño inicial. Además, la acumulación de material fundido hace que se produzcan ligeras variaciones en la geometría de la pieza, sobretodo en piezas pequeñas y de geometrías muy detalladas.

Es por estos motivos que el poliestireno no resulta un material idóneo para la realización de piezas que requieran de buena precisión dimensional. Además, no es recomendable su uso frente al del metacrilato, ya que la diferencia de precios no es tan significativa como la diferencia de prestaciones y acabados que ambos presentan. A pesar de esto, se ha diseñado también la tabla con los parámetros ideales de corte en el caso de que un futuro usuario de la máquina láser requiera de la utilización de este material.

Poliestireno rígido transparente			
Espesor (mm)	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad de corte (mm/s)
2	1	20-25	6-10
3	1	25-35	5-6
4	1	30-40	4-5

Tabla 25. Parámetros de corte para diferentes espesores de PS

Este problema de la acumulación de material fundido podría subsanarse o atenuarse añadiendo al equipo un sistema de asistencia de aire a presión. Este sistema debería ser mucho más potente que el sistema antillama actual, siendo capaz de expulsar rápidamente el material fundido del surco de corte a la vez que el propio corte se está produciendo. Este sistema podría ayudar a mejorar las prestaciones y los acabados que se obtienen al trabajar con poliestireno.

5.3.1.3.3. Láminas de policarbonato (PC)

El policarbonato es un material sintético y está catalogado dentro de los termoplásticos. Este polímetro está compuesto por cadenas de carbonato. Esto convierte al policarbonato en uno de los polímeros más utilizados en el ámbito industrial. El policarbonato posee propiedades que lo hacen ideal para usos en construcción y creación de estructuras, piezas de ingeniería y muchos otros usos. Algunas de las propiedades que más destacan son:

- Posee una muy alta resistencia a impactos.
- Tiene una transparencia cercana al 90 %, similar al metacrilato.
- Es muy resistente a la deformación térmica.
- Es un material rígido y resistente.
- Se muestra muy efectivo ante la fluencia.
- Es considerado un aislante eléctrico óptimo.
- Presenta buena protección frente a los rayos ultravioletas.

El policarbonato es un material muy similar al metacrilato en aspecto y prestaciones. En principio, sus buenas propiedades y su precio económico pueden hacer creer que el policarbonato es un material idóneo para ser procesado con el láser de CO₂, pero hay que recordar que el policarbonato está catalogado como uno de los materiales peligrosos para su procesamiento con láser.

Es por este motivo que los ensayos con este material se han realizado de forma diferente a los anteriores. Como se recoge en la tabla 19 (tabla de materiales peligrosos), el policarbonato puede resultar problemático cuando se trabaja con espesores superiores a 1 mm. Por este motivo, se ha querido analizar mediante los ensayos como son las diferencias de comportamiento que presenta el metacrilato cuando se trabaja tanto con espesores superiores e inferiores a 1 mm.

En la primera parte de los ensayos con este material se realizaron pequeñas pruebas controladas con lámina de policarbonato de 1,5 mm. Con este espesor las pruebas fueron rápidas y poco numerosas, para evitar incidentes, ya que durante los primeros ensayos ya se obtuvieron resultados más preocupantes de lo esperado. El policarbonato es un material que emite una gran cantidad de humos durante su procesamiento con láser, en principio estos humos no serían un problema si se trabaja con las medidas de seguridad adecuadas y si el equipo cuenta con un sistema de extracción de gases efectivo. El problema reside en que a medida que se aumenta el espesor de las láminas de policarbonato aumenta también la cantidad de gases y humos emitidos. Para el espesor de 1,5 mm la cantidad de humos es tal que al ventilador de extracción le cuesta bastante trabajo expulsar los humos de forma eficiente. Además, estos humos contienen una gran cantidad de partículas sólidas volátiles de color anaranjado que se extiende y adhieren por toda la zona de trabajo de la máquina láser. Estas partículas forman una gran cantidad de suciedad en los elementos móviles de la máquina y en los diferentes componentes del sistema óptico. Se trata de una suciedad bastante difícil de eliminar, por lo que puede resultar dañina para la integridad de la máquina láser. Además, hay que añadir que, aunque los gases emitidos por el policarbonato no son tan dañinos para la salud como los que pueden emitir otros materiales, como el PVC, una exposición larga y continuada a estos gases por parte del usuario puede provocar daños en la salud, sobretodo en el sistema respiratorio.

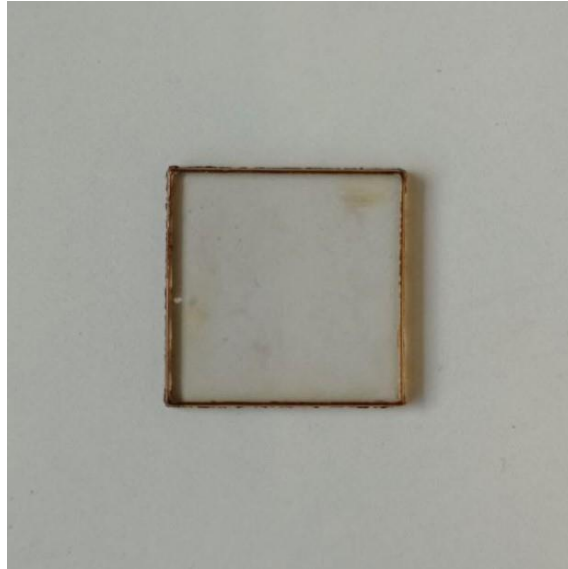


Fig. 76. Probeta de pruebas 1. PC [Imagen propia]

Es por estos motivos que se ha corroborado que esta máquina láser no es apta para el procesamiento de láminas de policarbonato de un espesor superior a 1 mm. Además, se ha llegado a la conclusión de que cuando se trabaje con este material será necesario activar el sistema antillama, ya que se produce una llama de tamaño considerable, y será necesario también que el usuario utilice un equipo de protección adecuado, aconsejando el uso de mascarilla, aunque el sistema de extracción de gases funcione correctamente. Habrá que aumentar al máximo las labores de mantenimiento y limpieza cuando se trabaje con esta máquina.

Para la segunda parte de los ensayos con policarbonato se ha utilizado una lámina de un espesor muy pequeño, inferior a 1 mm. Esta vez se obtuvieron mejores resultados. Al tratarse de un espesor muy pequeño la emisión de gases y partículas volátiles se redujo drásticamente. De esta forma, el ventilador de extracción si es capaz de evacuar los humos eficientemente, lo que se traduce en los peligros antes presentes, tanto para el equipo como para el usuario, también se reducen, resultando posible trabajar adecuadamente con espesores de este calibre.

Hay que comentar que, aunque es posible trabajar con espesores pequeños de este material, los resultados obtenidos no son demasiado buenos. La máquina láser de CO₂ es capaz de cortar cualquier espesor de policarbonato inferior a 1 mm sin ningún problema. Pudiéndose establecer configuraciones de potencia bajas, entre el 15 y el 20 %, y velocidades de corte relativamente altas, alrededor de los 10 mm/s. A pesar de esto, los acabados no son del todo buenos, ya que se presentan bordes de corte quemados, con machas de tonos anaranjados en las zonas cercanas al surco de corte. Además, los bordes presentan ciertas irregularidades como pequeñas rebabas y otras imperfecciones, a diferencia de los bordes lisos y suaves obtenidos en el metacrilato.

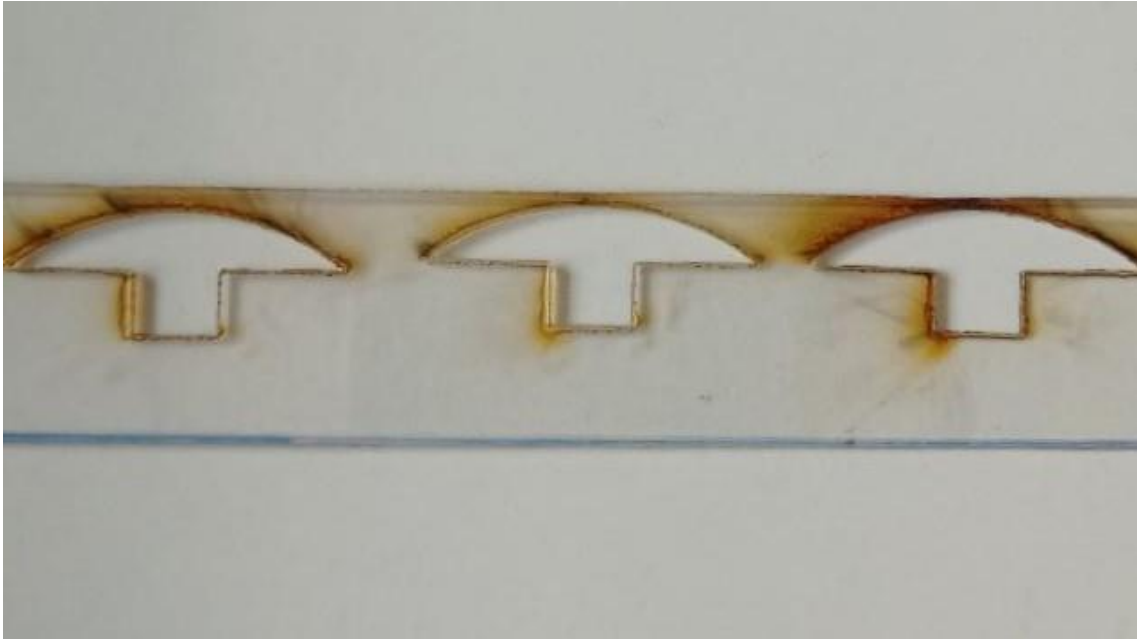


Fig. 77. Bordes quemados en el PC [Imagen propia]

En definitiva, no se recomienda trabajar con policarbonato a no ser que se traten de láminas de muy pequeño espesor y para la realización de piezas en las que el apartado estético no sea muy importante.

5.3.1.4. Maderas y derivados

La madera es una materia prima de origen vegetal que está formada por fibras de celulosa y lignina. Algunas maderas cuentan con aditivos para su fabricación o para la mejora de sus propiedades. Por lo general, la mayoría de materiales derivados de la madera son fáciles de trabajar. También, presentan buenas propiedades aislantes del calor y la electricidad. La mayoría de estos materiales son de baja densidad y son muy combustibles, arden con facilidad. Además, la mayoría de derivados de la madera son materiales reciclables y biodegradables.

El mecanismo de corte que se produce al trabajar con madera en la máquina láser es diferente al que se produce cuando se trabaja con polímeros. Mientras que en los materiales plásticos el corte se produce por la fusión y vaporización del material, en las maderas el corte se produce por la combustión del material a medida que el haz láser se desplaza sobre su superficie. Es por eso, que, al trabajar con este tipo de materiales, en la mayoría de casos se produce una llama pequeña y constante durante el proceso. Para evitar que esta llama pueda ser peligrosa para el equipo y para el usuario, habrá que conectar el sistema antillama siempre que se trabaje con materiales derivados de la madera. Este sistema ayuda a extinguir o controlar las llamas que pueden aparecer durante el proceso.

La máquina láser puede trabajar con una gran variedad de materiales derivados de la madera, en especial si se tratan de materiales de baja y media densidad. A pesar de esto, hay que tener especial cuidado y conocimiento del material con el que se está trabajando. Algunos compuestos derivados de la madera cuentan con una gran cantidad de aditivos, como pegamentos o resinas. Estos aditivos, por lo general, suelen ser

bastante inflamables y provocan la aparición de grandes llamas que pueden ser un peligro para la integridad de los componentes de la máquina láser y para los usuarios.

Para la realización de estos ensayos se han utilizado algunos de los derivados de la madera más empleados en el taller de la escuela para la realización de los diferentes proyectos y trabajos que allí se realizan. Se ha ensayado en profundidad con MDF de diferentes acabados. Además, se han realizado pruebas con otro tipo de madera.

5.3.1.4.1. Tablones de MDF

El MDF es un derivado de la madera, cuyas siglas significan en inglés Medium Density Fibreboard, es decir, se trata de tableros compuestos por fibras de madera de densidad media. Estos tableros de MDF han sido conformados mediante la compactación de fibras de madera. Además, a estas fibras se les añaden una serie de resinas que aportan una mayor resistencia al tablero final.

Este material se utiliza para todo tipo de trabajos y aplicaciones, ya que es uno de los derivados de la madera más versátil. El MDF presenta una muy buena resistencia y puede encontrarse en una gran cantidad de acabados diferentes.

Algunas de las propiedades que hacen que el MDF sea un material interesante para su procesamiento mediante corte láser son:

- Es un material fácil de trabajar, ya que al estar conformado por la compactación de pequeñas fibras se puede cortar con facilidad.
- Presenta un precio reducido en comparación con tableros de otros materiales similares.
- Es un material con acabado uniforme, no presenta vetas ni nudos, esto hace que sea un material ideal para todo tipo de usos.

Estas buenas propiedades, sumadas a que es uno de los materiales derivados de la madera más presentes en los diferentes proyectos de la escuela han hecho que el MDF haya sido el primer material derivado de la madera considerado para ensayar.

Para el procedimiento de los ensayos con este material se ha trabajado de forma análoga a los ensayos con plásticos, añadiendo ciertas diferencias. Al igual que en los casos anteriores, se ha realizado una primera serie de ensayos para determinar los parámetros de corte críticos para este material, usando un diseño de corte sencillo (probeta de pruebas 1). A continuación, se ha realizado una segunda serie de ensayos, con una probeta de geometría más elaborada (probeta de pruebas 2), para medir el acabado y la precisión de los cortes en este material.

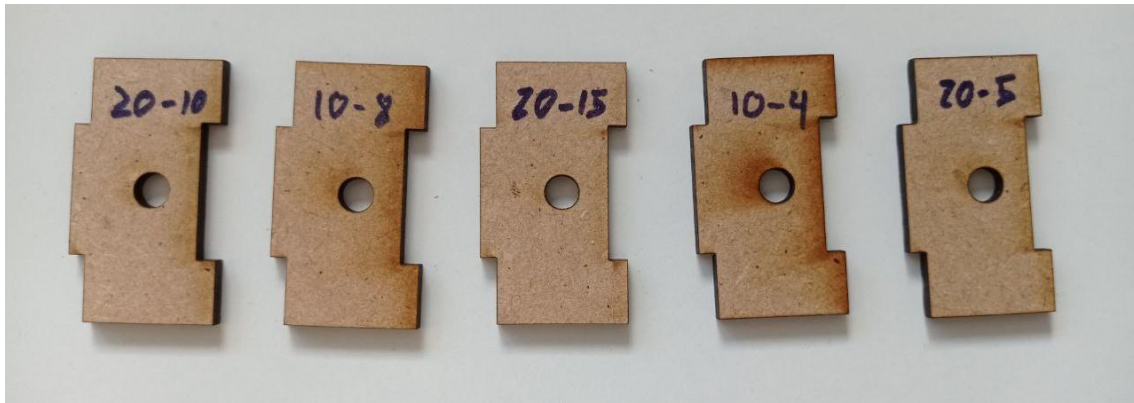


Fig. 78. Probeta de pruebas 2. MDF. Diferentes configuraciones [Imagen propia]

Para la realización de estos ensayos solo se ha contado con un espesor de material, ya que era el único espesor disponible y el más usado en el taller de la escuela. El espesor del material ensayado ha sido de 2,5 mm, un espesor intermedio. En compensación a esto se ha trabajado con MDF en dos acabados superficiales diferentes, para evaluar como el acabado puede afectar en los parámetros de corte láser.

El primer hecho que se ha observado durante los ensayos con el MDF ha sido que, al ser un derivado de la madera con aditivos, siempre se produce llama. Por esto es necesario trabajar siempre con el sistema antillama.

Durante la primera serie de ensayos se ha observado que el MDF presenta una gran facilidad para ser cortado con láser, pudiendo ser cortado con configuraciones de potencia realmente bajas y con velocidades considerablemente más altas si se compara, por ejemplo, con el metacrilato. Obteniéndose los siguientes resultados.

Potencia (%)	Velocidad máxima (mm/s)
10	12
12	14
14	17
16	19
18	20
20	23
30	24
40	26
50	28

Tabla 26. Parámetros críticos de corte para MDF de 2,5 mm

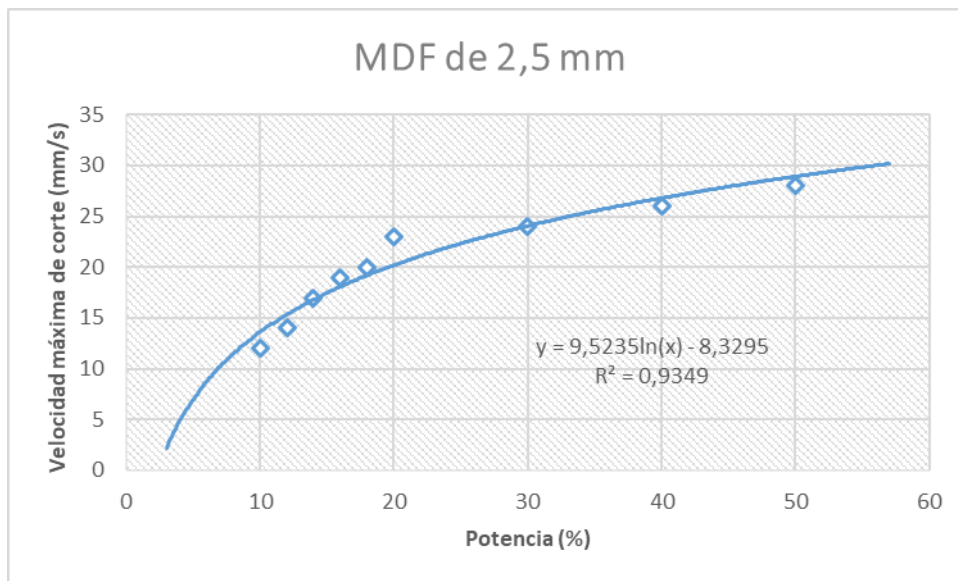


Gráfico 9. Potencia frente a velocidad de corte máxima para MDF de 2,5 mm

Como se puede observar, para configuraciones de potencia bajas se pueden conseguir velocidades de corte bastante altas. Esta velocidad de corte máxima aumenta rápidamente en el inicio de la curva (potencia baja), mientras que este aumento se ralentiza en configuraciones de potencia más altas. Comparando los resultados obtenidos para el MDF con una lámina de metacrilato del mismo espesor, se puede apreciar más claramente como el MDF es un material que se trabaja bastante bien con tecnología láser.

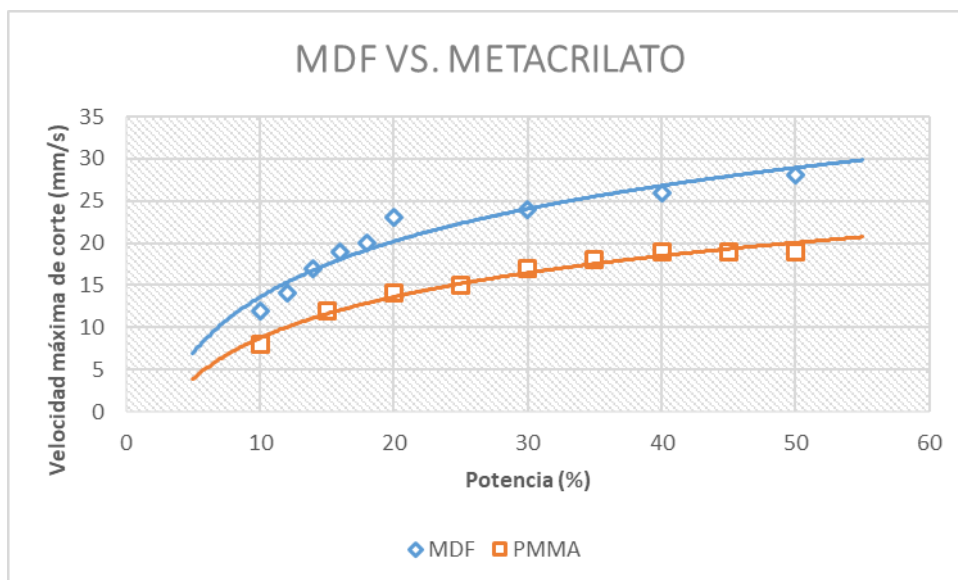


Gráfico 10. Diferencias en los parámetros críticos de corte entre PMMA y MDF

Estos resultados son entendibles atendiendo a la densidad de cada uno de los materiales. Mientras que el MDF presenta una densidad media de 500 kg/m³, el metacrilato duplica esta cifra con una densidad de entre 1000 y 1200 kg/m³.

Obteniéndose que la densidad es una propiedad fundamental del material a tener en cuenta durante el trabajo con la máquina. A mayor densidad de material más difícil será realizar un corte láser completo.

En cuanto a la segunda parte de los ensayos, como se hizo con los materiales anteriores, se ha tratado de encontrar la combinación de parámetros de corte idóneos para este material. Como ocurría en casos anteriores, con el MDF se ha determinado que la mejor combinación de parámetros para el corte es una intermedia, para conseguir así la mejor precisión dimensional. En este caso, para el MDF de 2,5 mm se ha observado que los parámetros de corte ideales estarían entre un 20 y 25 % de potencia y una velocidad de corte de entre 10 y 20 mm/s. Al no disponer de más espesores de este material no se han podido parametrizar más espesores de MDF. A pesar de esto, estos resultados pueden servir como punto de referencia en función de si se va a trabajar con un espesor mayor o menor a 2,5 milímetros.

En cuanto al acabado de los cortes, el MDF presenta unos resultados realmente buenos. Presentando una precisión dimensional muy buena contando con variaciones de apenas centésimas de milímetro. Se ha observado que en geometrías salientes las dimensiones tienden a reducirse, mientras que en geometrías entrantes las dimensiones aumentan ligeramente. Estas variaciones dimensionales pueden considerarse prácticamente despreciables para la mayoría de trabajos. En trabajos donde se necesite una precisión dimensional exquisita puede aplicarse un factor de conversión en el software para subsanar estas ligeras variaciones.

En cuanto al acabado superficial, el MDF presenta bordes suaves y uniformes dotados de un color oscuro, debido a la combustión del material, que resulta agradable. Estos bordes son bastante rectos, no presentando ningún tipo de biselado más allá del característico del corte con láser de CO₂. El uso del sistema antillama hace que no aparezcan quemaduras en las zonas de corte de las caras superior e inferior de la pieza. Por último, como sucedía con los materiales plásticos, si la pieza se coloca sobre unos pequeños separadores se reducen las manchas y quemaduras de la cara superior debidas al contacto con la cama de acero.

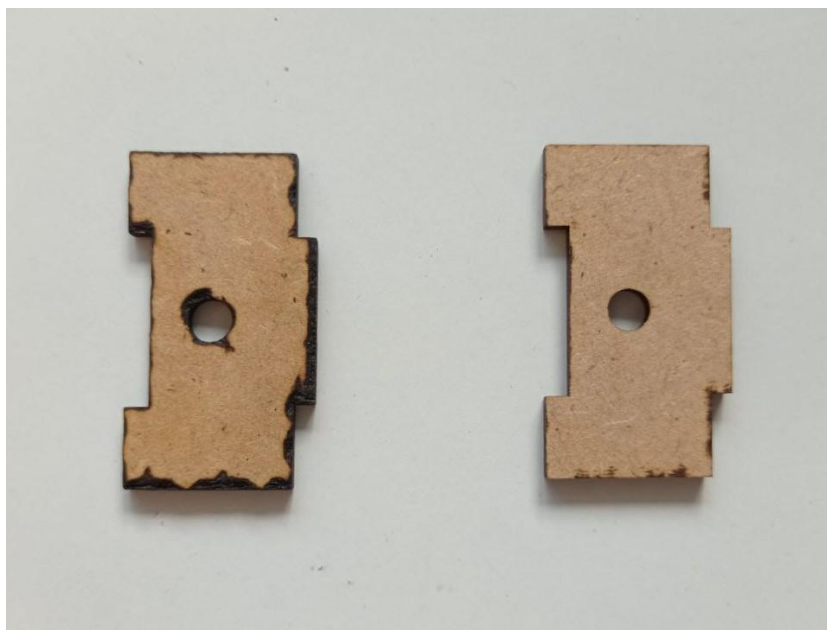


Fig. 79. Diferencias de acabado al usar separadores [Imagen propia]

En última instancia, se ha realizado un estudio para ver cómo afecta el acabado de la superficie del material al corte láser. Para ello, se ha contado con dos tablones de MDF de diferente color superficial, el primero del color característico de este material y el segundo con un acabado en negro mate. De esta manera se ha podido comprobar cómo afecta en nivel de absorción o reflexión lumínica de la superficie del material.

En este caso, se ha observado que el MDF de color negro ha resultado ligeramente más fácil de cortar que el MDF sin acabado superficial. Los resultados no han presentado una gran variación, ya que el MDF sin acabado ya es de un color que absorbe bien la luz. A pesar de esto, es de esperar que, si se trabaja con dos tablones de diferentes acabados, por ejemplo, uno de color blanco y otro de color negro, sea más difícil cortar el tablón cuyo acabado releje más la luz, siendo necesario establecer unos parámetros de corte un poco más conservadores.

En definitiva, se ha probado que el MDF es un material ideal para el procesado con láser. Siendo un material sencillo de trabajar y que presenta muy buenos resultados.

5.3.1.4.2. Otras maderas

El ensayo y estudio de otros materiales o compuestos derivados de la madera ha estado ligado a su disponibilidad en el taller de la escuela. La mayoría de los materiales disponibles en el taller han sido tablones de aglomerado y contrachapado.

El formato en el que se encontraban estos materiales en un formato de tablón de gran espesor, casi en totalidad en espesores cercanos a los 10 mm. Esto ha servido para corroborar que la máquina láser no es capaz de cortar estos espesores en una sola pasada. Es por eso, que no se recomienda intentar realizar cortes de una sola pasada en estos materiales o similares, necesitándose varias pasadas.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que normalmente la mayoría de estos materiales presentan en su composición gran cantidad de aditivos, como resinas y pegamentos. Como ya se ha comentado la presencia de estos aditivos sumada a la gran combustión de la madera hacen que se produzcan llamas durante el corte. Durante las pruebas con el aglomerado y el contrachapado se han producido llamas continuas de gran tamaño. En mucho de los casos las llamas alcanzaban tal magnitud que el sistema antillama era incapaz de apagar o controlar las llamas. Es por esto, que si en el futuro se desea trabajar con este tipo de materiales se recomienda aumentar la potencia del sistema antillama para evitar accidentes y preservar el equipo láser. Además, se apreciado también que el equipo láser presentaba especial dificultad para cortar tablones de material multicapa.

Es por todos estos motivos, que se recomienda ampliar la potencia del equipo láser o adquirir un equipo láser mayor si se desea trabajar asiduamente con este tipo de maderas.

5.3.1.5. Materiales metálicos

Este tipo de máquina láser no está pensada para el corte de materiales metálicos debido a su potencia reducida. A pesar de ello, se han realizado algunas pequeñas pruebas con láminas finas láminas de latón. La realización de estas pruebas se produjo por la necesidad de construir una pequeña pieza para la reparación del reloj comparador de otro equipo del taller de la escuela.

Para la realización de estas pruebas, se usó una lámina de latón muy fina, de apenas unas décimas de milímetro. La lámina fue previamente tratada superficialmente. Para preparar el material para el corte se limpió exhaustivamente su superficie y se le aplicó una capa superficial de pintura negra mate con el fin de reducir la reflexión de la luz del material e intentar así aumentar la eficacia del haz láser.



Fig. 80. Intentos de corte fallidos en latón [Imagen propia]

A pesar de esto y tras probar con varias combinaciones de parámetros de corte, estableciendo potencias bastante altas y velocidades bajas, no se consiguió realizar el corte. Se ha demostrado que el láser solo es capaz de penetrar ligeramente en estos materiales. Es por eso que este equipo solo está recomendado para realizar marcados o grabados de poca profundidad en materiales metálicos.

5.3.2. Ensayos de grabado

Esta máquina láser no solo puede utilizarse para el corte, sino que también es capaz de realizar diferentes tipos de grabados. Como ya se ha explicado, la máquina es capaz de realizar tanto grabados rasterizados como grabados vectoriales. En realidad, debido a las características de potencia de la máquina se podría afirmar que se trata de una máquina más pensada para realizar grabados que para realizar corte, aunque ya se visto que es capaz de cortar varios materiales de forma solvente.

Para los ensayos de grabado se han empleado los mismos materiales que se han usado durante los ensayos de corte. Se ha concluido que la máquina es capaz de grabar prácticamente cualquier material con facilidad, presentándose menos

inconvenientes que en el caso de los cortes. No necesitándose configuraciones de potencia altas para conseguir buenos resultados.



Fig. 81. Ejemplo de grabado en PMMA [Imagen propia]

En cuanto a los materiales plásticos, al igual que sucedía en los ensayos de corte, la mejor opción es el metacrilato. Sobre este material se pueden realizar grabados de gran calidad. Al tratarse de un material uniforme, se obtienen grabados nítidos y con gran cantidad de detalles. En otros materiales, como el poliestireno y el policarbonato, se obtienen grabados de una calidad inferior, aunque aceptables si se realizan a baja potencia.

Para las maderas y sus derivados se ha determinado que esta máquina es capaz de realizar grabados de calidad prácticamente en todos los materiales de este tipo, obteniéndose resultados especialmente buenos en el MDF. Es necesario también atender a las cuestiones de seguridad mencionadas en el apartado anterior cuando se trabaja con estos materiales y trabajar usando el sistema antillama. En el caso de las maderas se puede tratar la superficie si no se desea obtener un grabado en los tonos oscuros característicos de la madera quemada.

Por último, para los materiales metálicos es necesario realizar un tratamiento de la superficie antes de trabajar. Se ha de tratar de reducir la reflexión del material al máximo para que el grabado sea efectivo. Aun así, en este tipo de materiales solo se conseguirá realizar un marcado de la superficie de poca profundidad.

Existen dos formas de controlar la profundidad del grabado. La primera, y más evidente, es variando la configuración de potencia en la máquina. Es importante no grabar con potencias muy altas en materiales delgados ya que el haz láser podría atravesar por completo el material (a excepción de materiales metálicos). Además, realizar grabados a potencia alta reduce la calidad en detalles pequeños.

La segunda forma de controlar la profundidad del grabado se puede llevar a cabo durante la etapa de diseño. Como se ha visto el software K40Whisperer trabaja

mediante un código de colores, en el que el color negro es el color indicado para grabados. Además de esto, el software también puede reconocer una escala de grises, de forma que cuanto más oscuro sea un diseño más profundo será el grabado. Esto permite grabar diseños en 3D, es decir representar los diferentes colores de un diseño en función de la profundidad de grabado. Esto resulta especialmente útil para el grabado de fotografías.



Fig. 82. Ejemplo de grabado en 3D en MDF [Imagen propia]

A continuación, se puede observar como la intensidad del gris en la escala afecta a la profundidad de grabado.

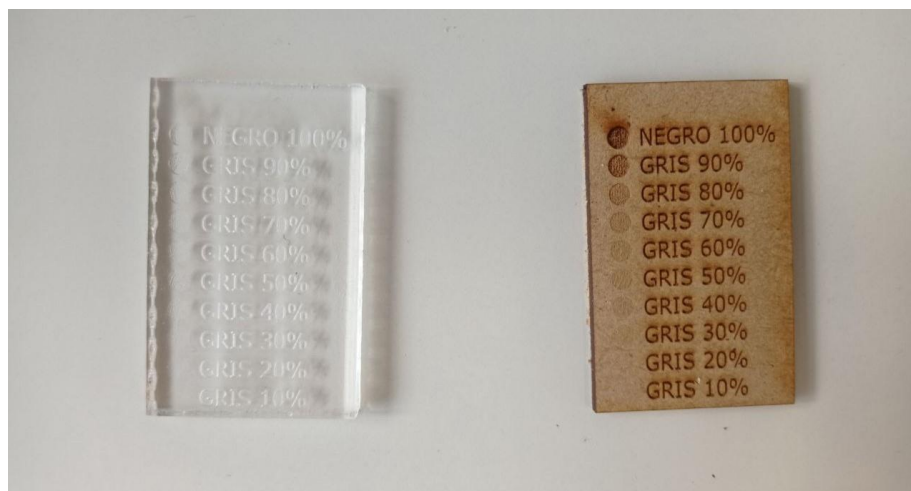


Fig. 83. Diferencias de grabado en escala de grises [Imagen propia]

En cuanto a los parámetros de trabajo, la máquina permite realizar grabados rasterizados a velocidades bastante altas. Para estos grabados, se recomienda establecer una velocidad de 100 mm/s (velocidad por defecto en el software). Los grabados vectoriales, se realizan a velocidades similares a las de corte, aunque al no necesitar atravesar por completo el material estas pueden ser ligeramente superiores. Para grabados vectoriales se recomienda establecer una velocidad de entre 10 y 20 mm/s.

5.4. Resumen de los resultados obtenidos

En definitiva, esta máquina láser ha demostrado ser un instrumento versátil. Que permite realizar cortes en láminas de un grosor considerable de algunos de los materiales habituales en los procesos de fabricación de la escuela. Se ha demostrado que los materiales con los que mejor trabaja este equipo son el metacrilato y el MDF, realizándose cortes y grabados en estos materiales de forma rápida y eficaz.



Fig. 84. Diferencias de acabado en los diferentes materiales. (PC, PS, PMMA, MDF, MDF) [Imagen propia]

A continuación, se incluye una tabla con el resumen de parámetros de trabajo para algunos de los materiales más comunes.

PARÁMETROS DE TRABAJO MÁQUINA LÁSER OMTECH DE 40W				
PARÁMETROS DE CORTE				
Material	Espesor (mm)	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad de corte (mm/s)
PMMA	2	1	15-20	6-8
	3	1	20-25	7-9
	4	1	25-30	8-10
	5	1	30-35	9-11
	10	2-3	40-60	4-8
PS	2	1	20-25	6-10
	3	1	25-35	5-6
	4	1	30-40	4-5
PC	<1	1	15-20	10-12
MDF	2-3	1	20-25	10-20
PARÁMETROS DE GRABADO				
Material	Profundidad de grabado	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad grabado (mm/s)
Plásticos y maderas	Baja	1	5-10	100
	Media	1	10-20	100
	Alta	1	>20	100
Metales	Baja	1	40-50	100
PÁRAMETROS DE GRABADO VECTORIAL				
Material	Profundidad de grabado	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad grabado (mm/s)
Plásticos y maderas	Baja	1	5-10	10-15
	Media	1	10-20	10-15
	Alta	1	>20	10-15
Metales	Baja	1	40-50	10-12

Tabla 27. Parámetros de corte para diferentes materiales y espesores

6. INTRODUCCIÓN A LA DOCENCIA Y UTILIDAD EN LA ESCUELA

La tecnología láser en el ámbito docente cobra gran importancia a medida que las diferentes tecnologías y procesos industriales se desarrollan, convirtiéndose en una herramienta imprescindible de conocer y saber utilizar para el desarrollo vocacional y profesional.

Los diferentes cambios y avances tecnológicos que se producen de manera constante hacen que las universidades y centros educativos intenten ir a la par de estos avances para su desarrollo y crecimiento. Con la tecnología láser ocurre lo mismo. Cada vez son más los centros educativos e instituciones que se adentran en esta tecnología a la vez que esta tecnología crece en el ámbito industrial. La tecnología láser es una de las técnicas de fabricación más de moda en la actualidad. Esto convierte a esta tecnología en un campo de interés para los alumnos de Ingeniería Mecánica.

La tecnología láser y más en concreto el trabajo con esta máquina láser puede ayudar a aumentar las capacidades y conocimientos de los alumnos en varios aspectos. En el ámbito de la fabricación, ya que esta máquina abre la puerta a introducirse en áreas de la fabricación que no son tan comúnmente estudiadas en la actualidad. Además, el uso de esta tecnología también puede complementar a los alumnos en el ámbito del diseño, ya que el uso de esta tecnología requiere de conocimientos de diferentes softwares de diseño habituales en ingeniería.

Como ya se ha dicho, la tecnología láser está cada vez más presente en la mayoría de empresas del sector de industrial. Por este motivo, recibir una formación tanto teórica como práctica de este tipo de tecnología puede ayudar a los alumnos en su inmersión en el mundo laboral, dotándolos de conocimientos avanzados en el ámbito de la fabricación.

Es por eso, que el estudio de esta tecnología puede encajar a la perfección en asignaturas relacionadas con procesos de fabricación, como puede ser Ingeniería de Fabricación, Tecnología de Fabricación, Ingeniería del Mecanizado o Tecnologías Aplicadas a la fabricación. La inclusión del estudio de esta tecnología a cualquier de estas asignaturas puede ayudar a ampliar los conocimientos y aumentar la versatilidad de los alumnos de cara a una futura búsqueda de empleo. También la inclusión de la realización prácticas con esta máquina a los programas de estas asignaturas puede ayudar a acercar al alumno a algunas de los ambientes de trabajo que puede encontrarse en el futuro. La inclusión de esta tecnología y el trabajo directo con esta máquina puede ayudar a recuperar el interés del alumnado por las clases prácticas y presenciales, en tiempo donde estas han perdido protagonismo por culpa de la pasada pandemia. Además, el trabajo con la máquina láser no solo puede ser útil para estas asignaturas mencionas, sino que puede servir como complemento de otras asignaturas tales como asignaturas relacionadas con el diseño como Técnicas de ingeniería grafica aplicadas a ingeniería mecánica o a asignaturas relacionadas con el ámbito de los materiales como Tecnología de materiales.

Del mismo modo, esta máquina no solo puede resultar de interés en términos de docencia, sino que puede ser beneficiosa para el desarrollo de la escuela en general. Con esta máquina se dota al taller de fabricación de la escuela con una tecnología potente y novedosa que puede resultar de gran utilidad en la realización de los diferentes

trabajos y proyectos de investigación que le llevan a cabo en la escuela. Además, el trabajo con esta máquina puede servir como introducción para la escuela en la tecnología láser. De esta forma puede servir para que los diferentes usuarios habituales de la máquina estén mejor formados y más preparados si en el futuro se desea dotar a la escuela con un equipo láser de mayores prestaciones.

En definitiva, la inclusión de esta máquina láser resulta beneficiosa tanto para el alumnado como para el personal de la escuela en general.

7. CONCLUSIONES

La tecnología láser es una tecnología en auge presente en cada vez más presente en todas las ramas del sector industrial. Es por esto que la incorporación de esta máquina resulta positiva para el crecimiento de la escuela y para los conocimientos y desarrollo de los alumnos.

El equipo ha demostrado que es capaz de cortar con solvencia algunos de los materiales más usados en la escuela, como son el metacrilato y el MDF. Con el metacrilato se consiguen cortes de gran calidad, con bordes lisos y con una precisión dimensional muy alta. Esto, hace que el metacrilato sea el material plástico ideal para ser trabajado con este equipo láser, por encima de materiales con características similares, como el poliestireno o el policarbonato. En cuanto a los materiales derivados de la madera, ha sido con el MDF con el que se han conseguido mejores resultados. Por estos motivos, tanto el metacrilato como el MDF, han de ser considerados como los materiales ideales para ser utilizados en futuras sesiones de prácticas con los alumnos. Además, tanto el equipo como el software tienen una curva de aprendizaje rápida, lo que resulta ideal para introducir esta tecnología en clases prácticas que permitan a los alumnos aumentar sus conocimientos sobre un área que hasta ahora no se había estudiado con demasiada profundidad.

Se ha comprobado que con la máquina de corte-grabado láser se puede trabajar cómodamente con láminas de hasta 10 mm de espesor de los materiales previamente mencionados. Además, con este equipo se pueden cortar piezas con geometrías complejas y de pequeño tamaño, lo que resulta una gran ventaja sobre otros equipos o procesos de corte más tradicionales ya presentes en la escuela. Hay que mencionar también, que este equipo permite realizar cortes de una forma más rápida y eficiente que utilizando los métodos de corte tradicionales. Esto permite, acelerar los procesos de producción, en especial en el caso de que se desee realizar una producción en serie de piezas.

El equipo se ha mostrado limitado a la hora de realizar cortes sobre láminas de materiales metálicos o sobre láminas de cualquier materiales con gran espesor. En el futuro, si se desea seguir apostando por esta tecnología y se requiere trabajar con este tipo de materiales, sería recomendable adquirir un equipo de corte-grabado láser de mayor potencia.

Con respecto a la realización de grabados, la máquina ha mostrado una gran solvencia. Se ha conseguido realizar grabados con una gran calidad y definición en prácticamente todos los materiales ensayados. Además, se ha conseguido realizar grabados de baja profundidad en materiales metálicos previamente tratados.

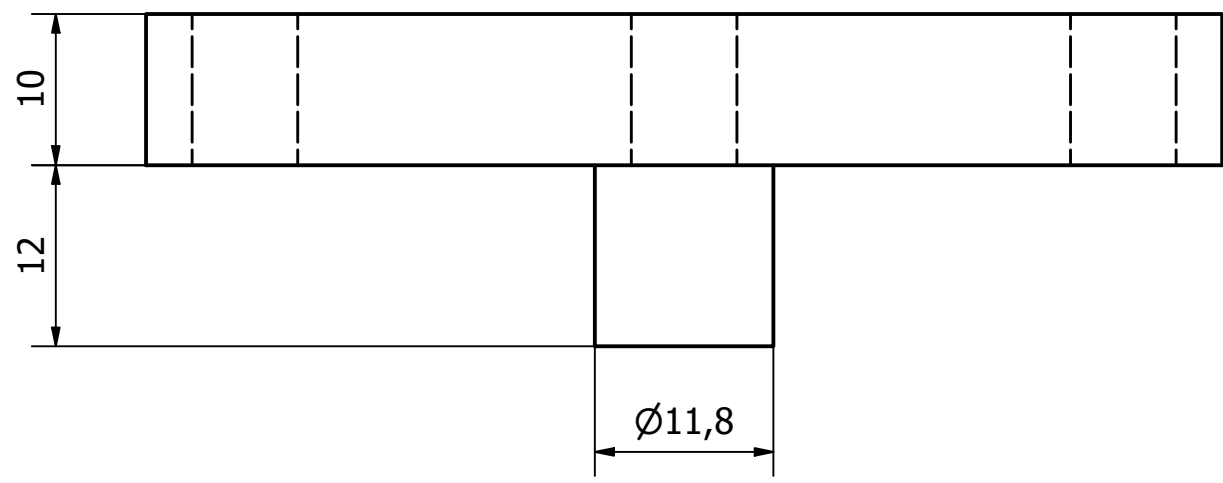
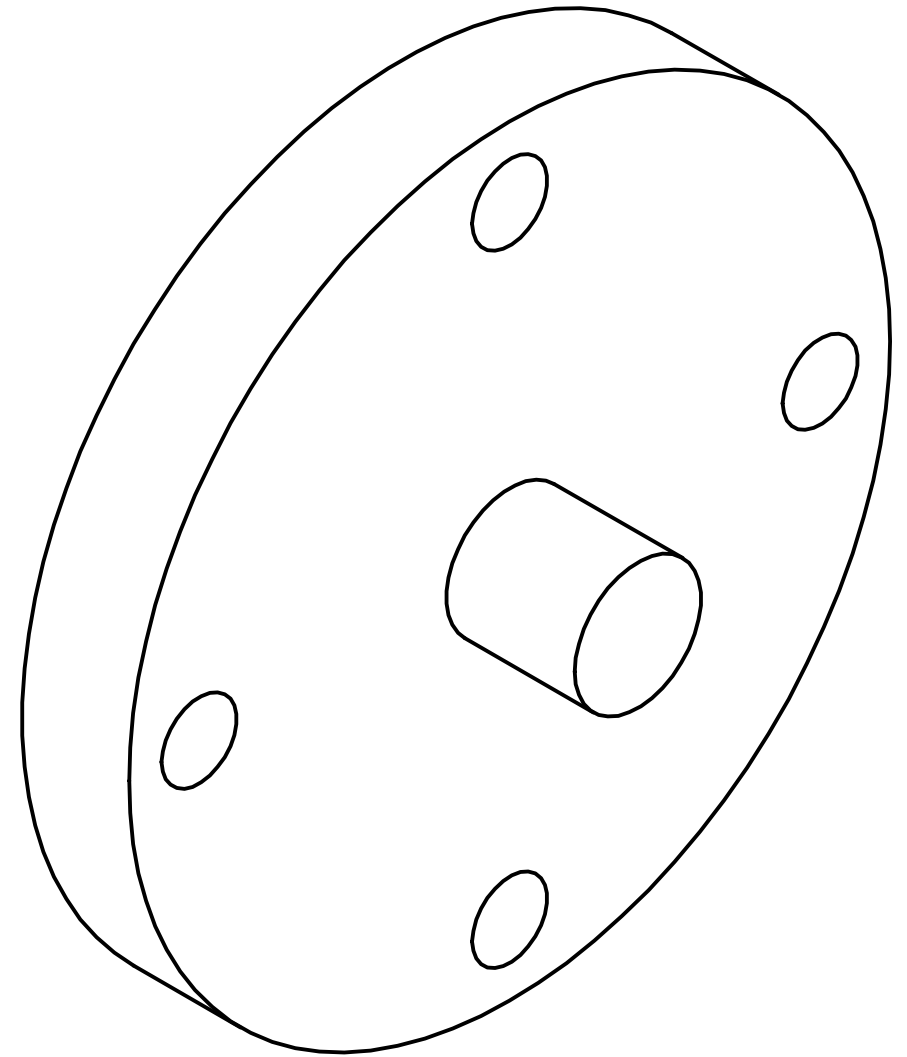
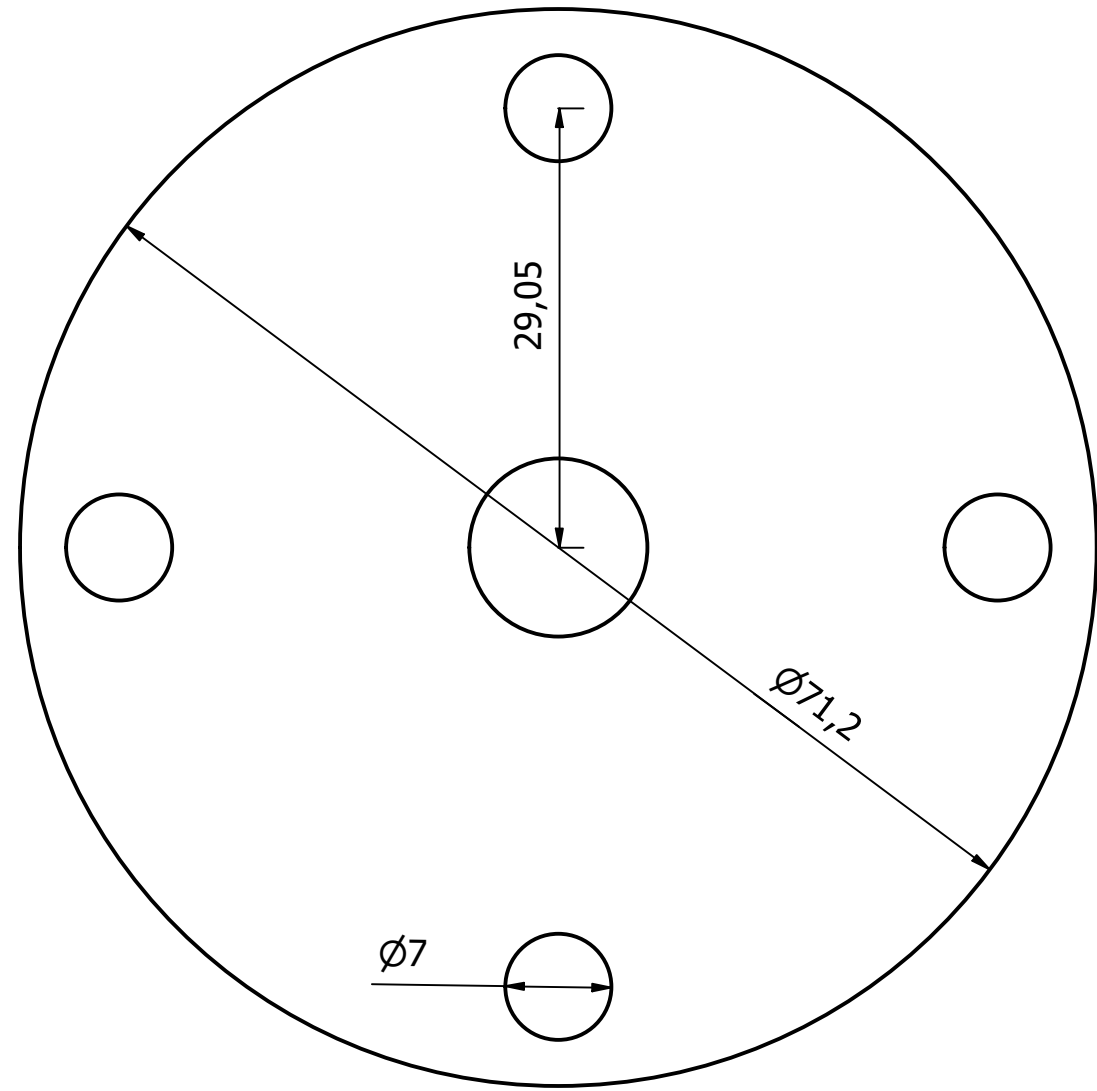
En definitiva, el equipo láser analizado ha demostrado ser una herramienta versátil que puede resultar de utilidad en múltiples proyectos que se llevan a cabo en la escuela, a pesar de sus carencias. Aunque se trata de un equipo de baja potencia y de bajo precio ha demostrado que puede utilizarse para procesar gran variedad de materiales de una forma rápida, obteniendo buenos resultados. Esta máquina láser puede servir como primera toma de contacto con la tecnología láser para la escuela. Permitiendo, en el futuro, ampliar el equipo láser o adquirir herramientas de procesamiento láser de mayores características.

8. ANEXOS

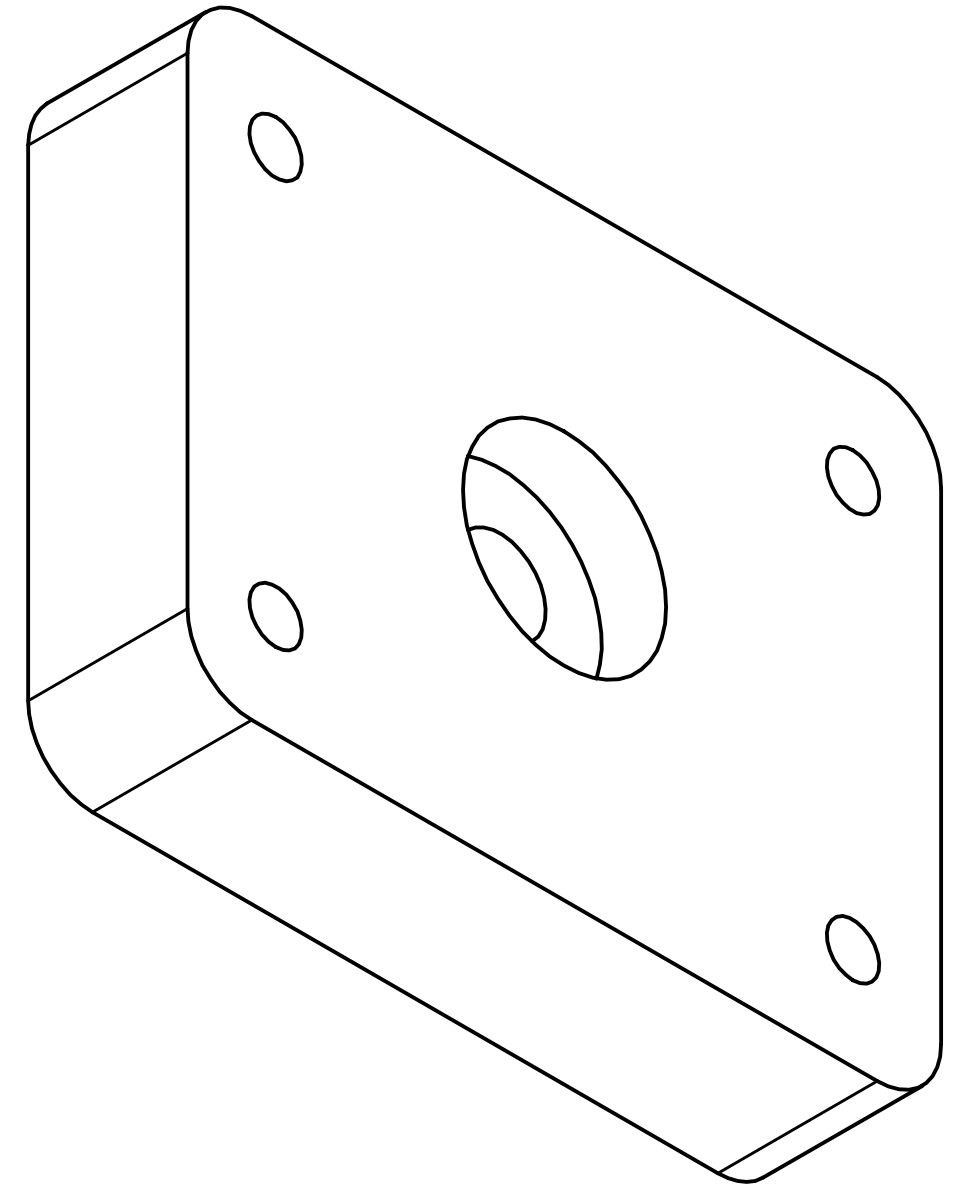
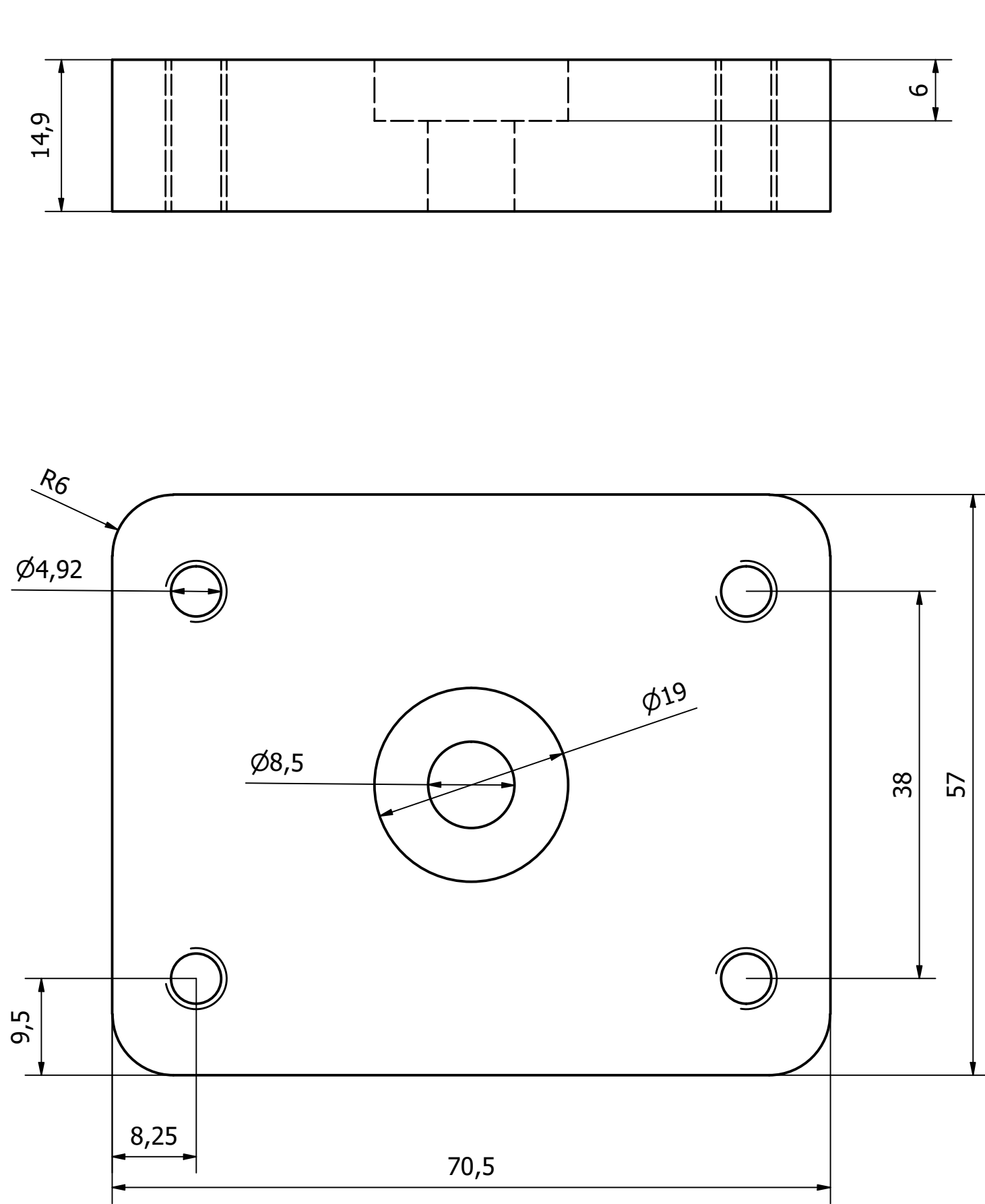
En este apartado se incluyen tanto el anexo de planos, con los planos de las piezas diseñadas con AutoDesk Inventor para la implementación de las diferentes mejoras, así como el anexo de ensayos, el cual contienen las diferentes tablas y gráficos obtenidos durante los ensayos.

8.1. Anexo de planos

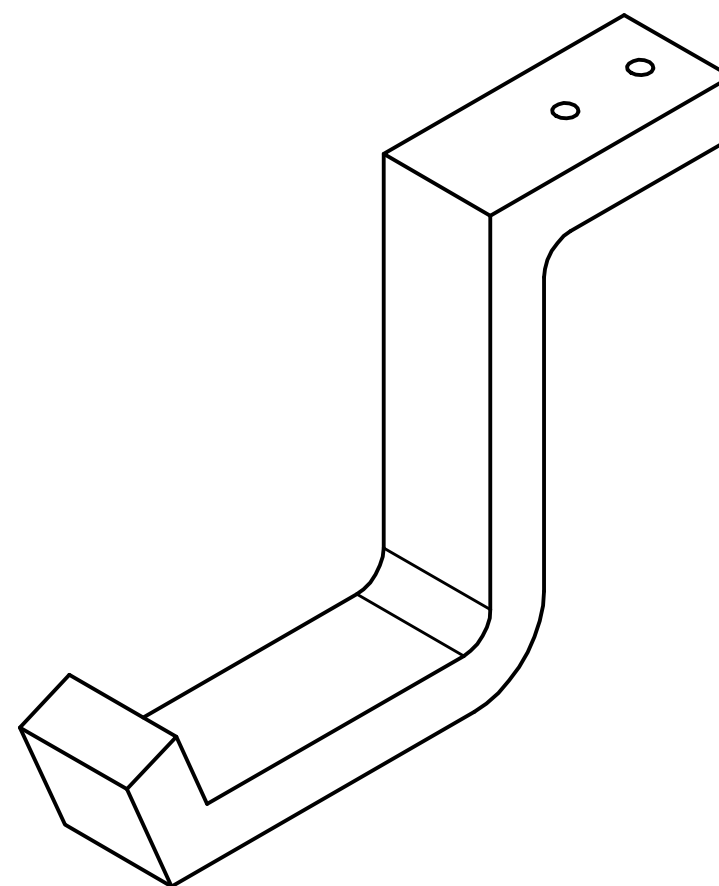
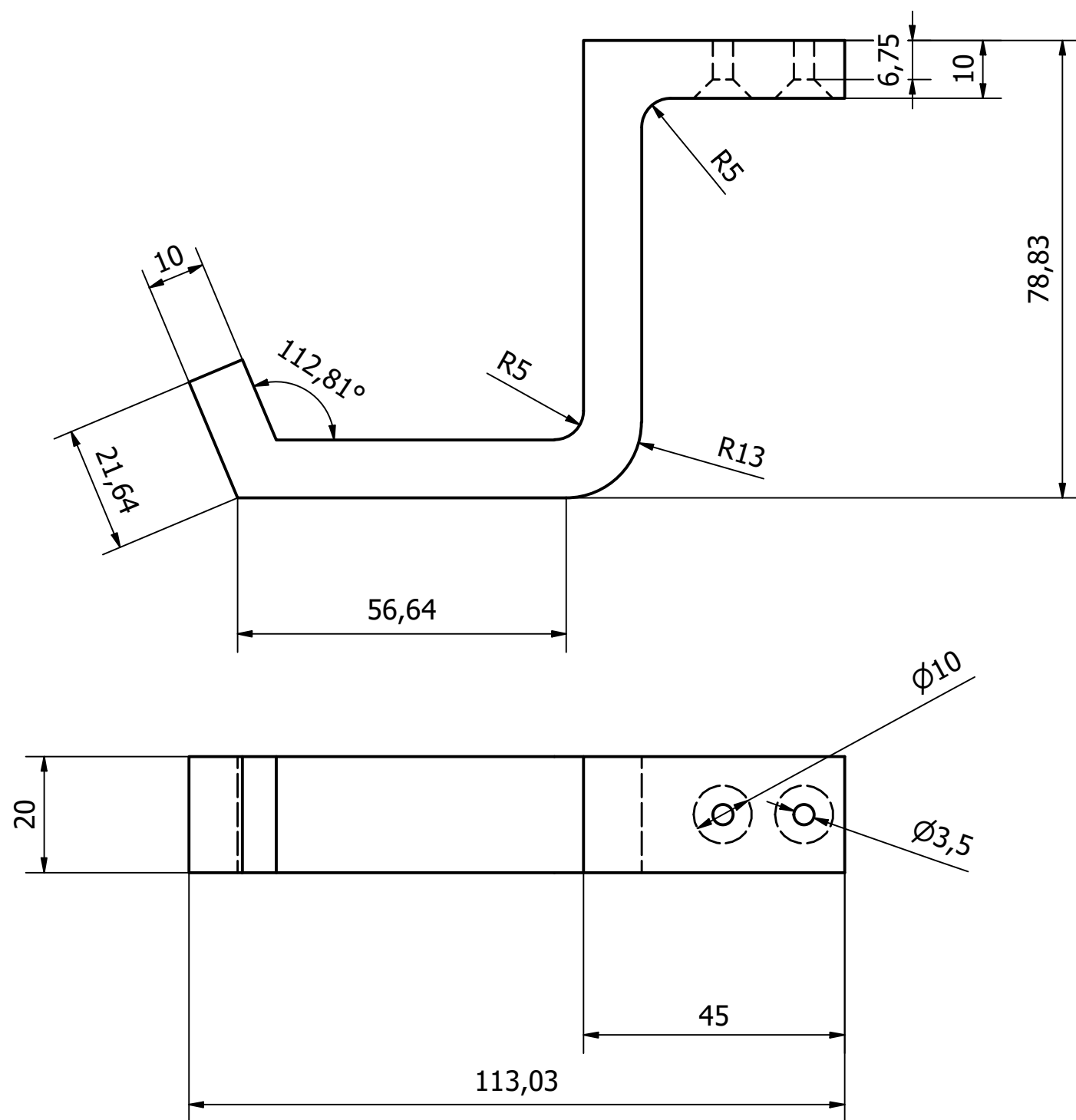
Todos los planos incluidos se han realizado en formato A3.



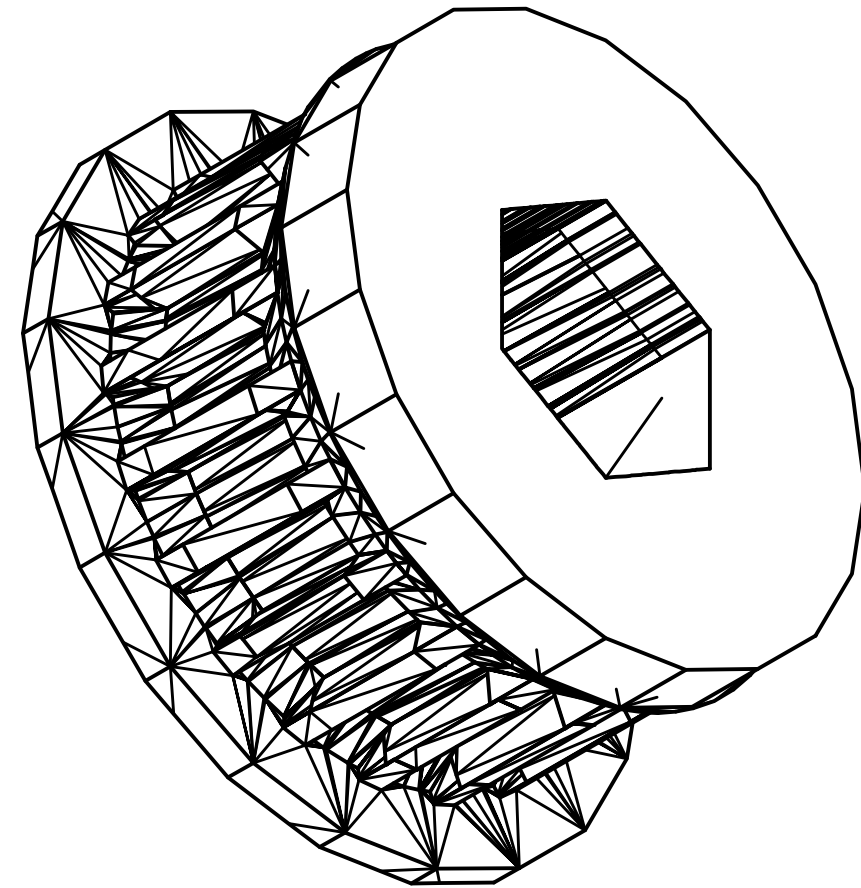
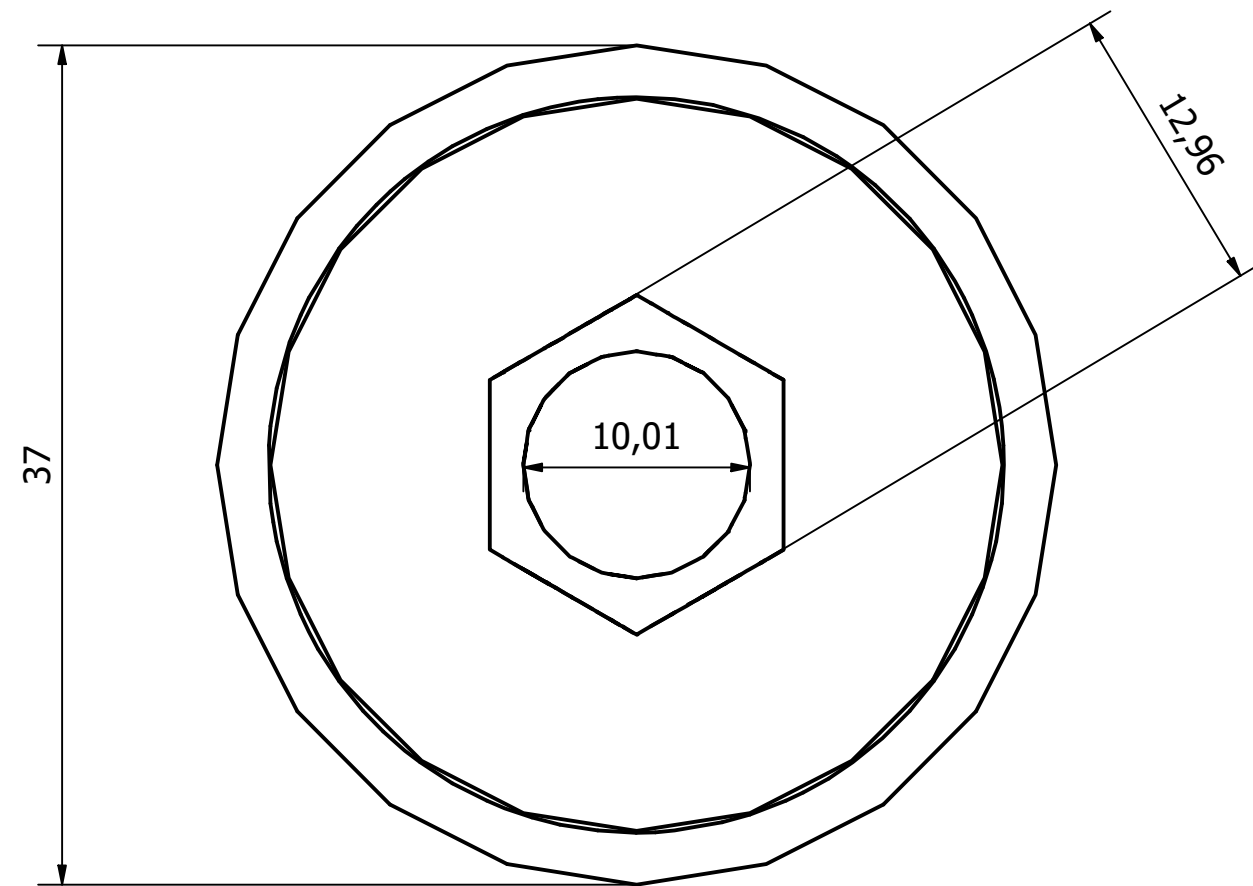
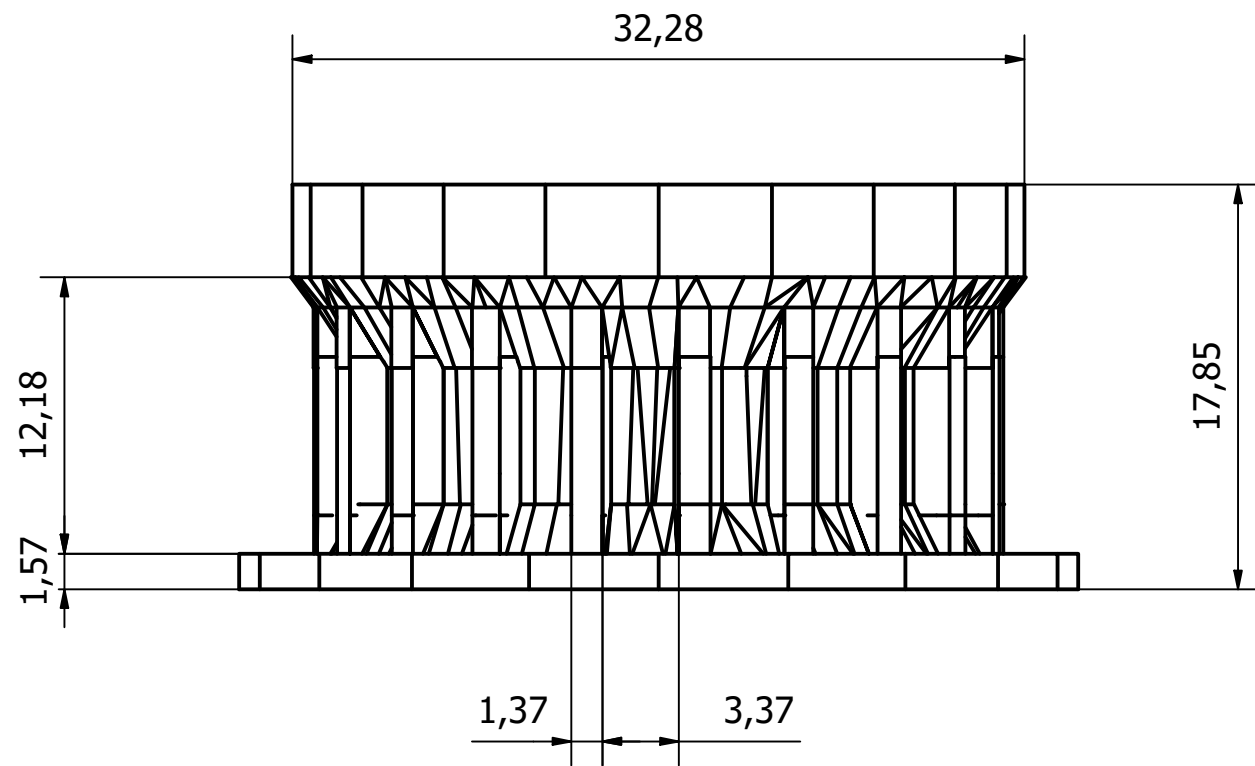
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-gabado mediante láser CO2 Unión pata-tablero para mesa de trabajo			Nº PLANO	1
2:1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



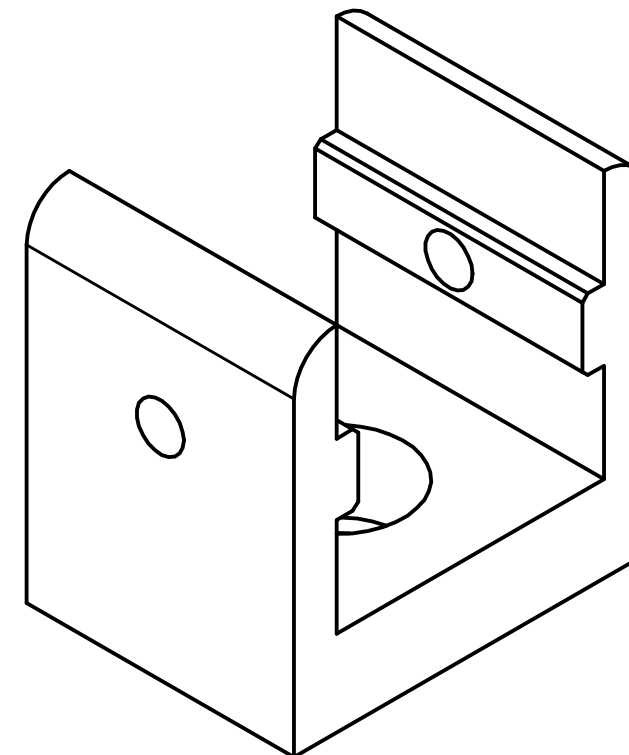
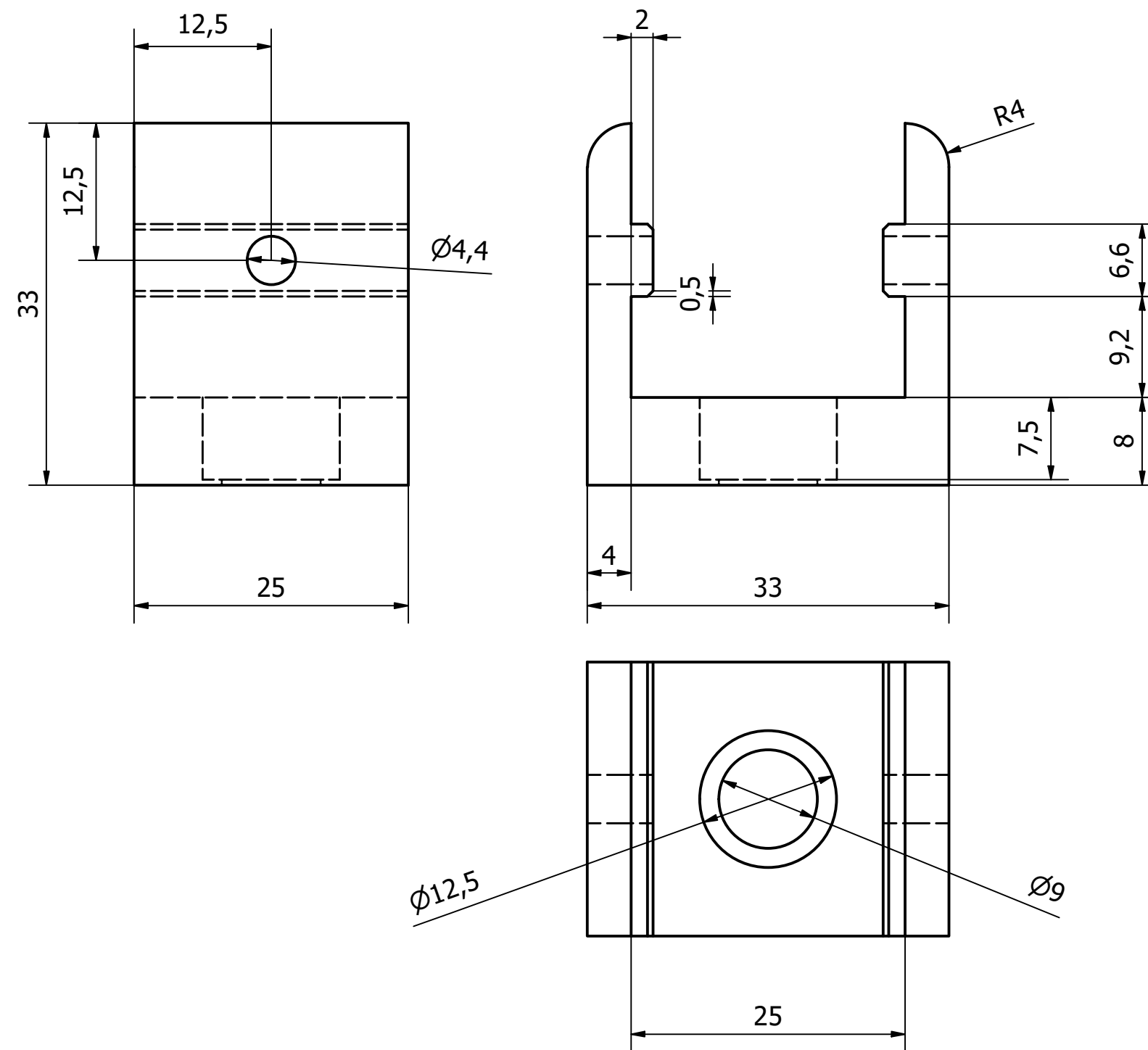
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2 Unión rueda-pata para mesa de trabajo				Nº PLANO 2
2:1					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



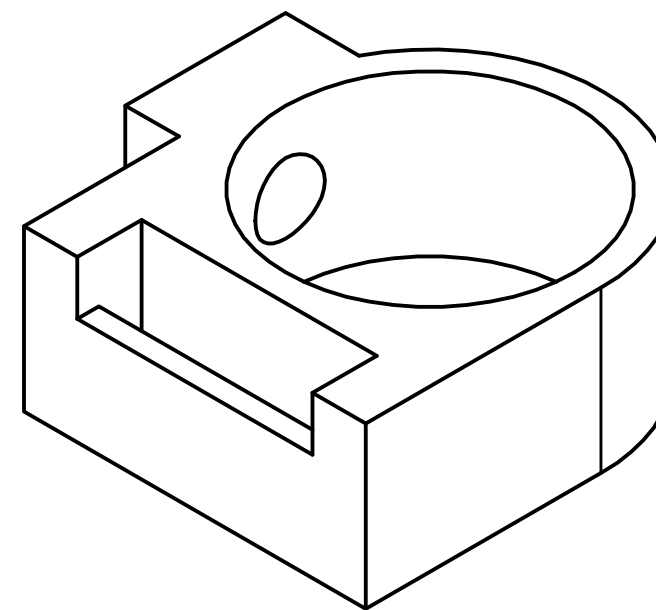
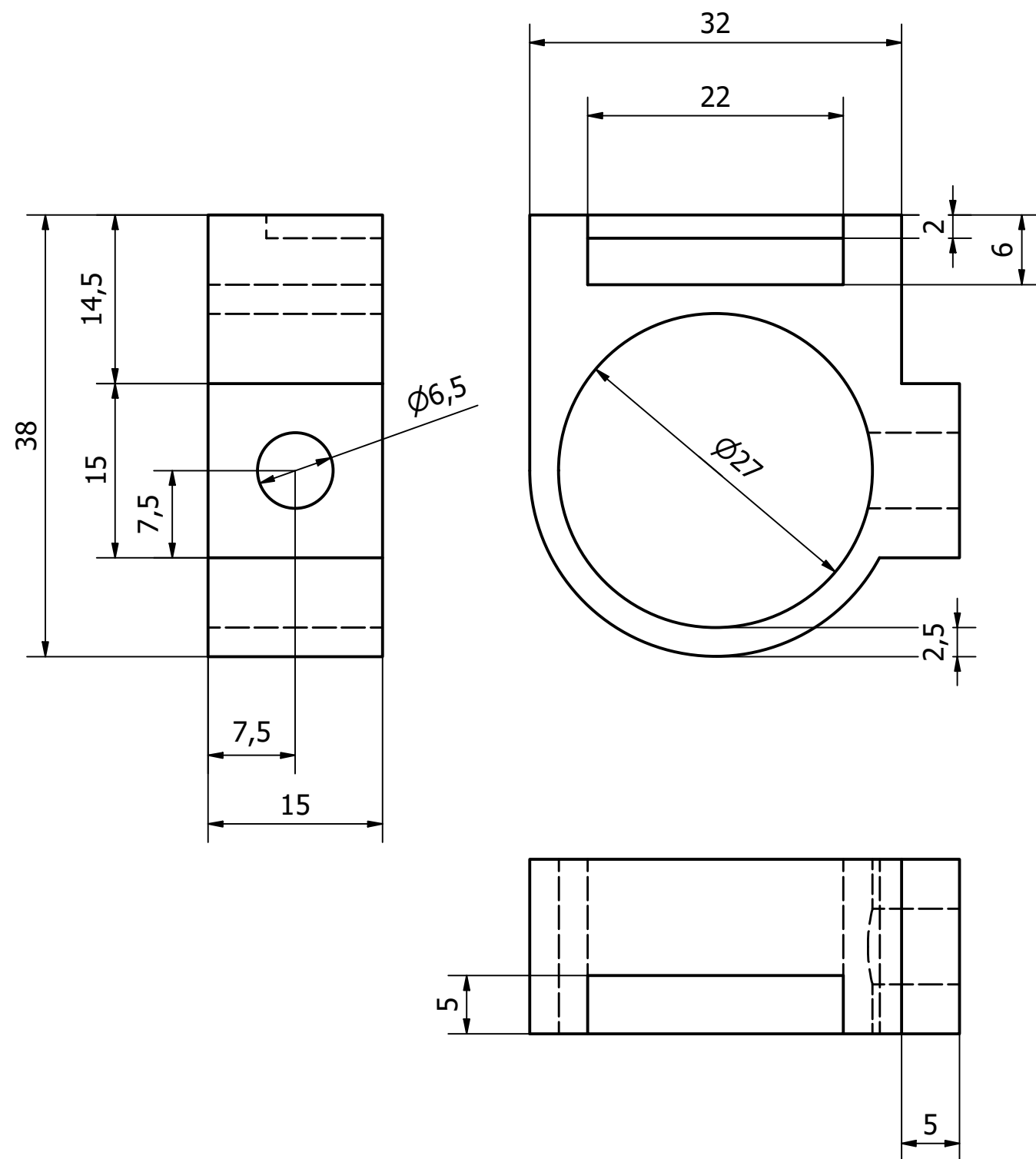
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra		
COMPROBADO				
ESCALA:	Implementación de equipo corte-grabado mediante láser CO2			Nº PLANO
1:1	Gancho supletorio para mesa de trabajo			3
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



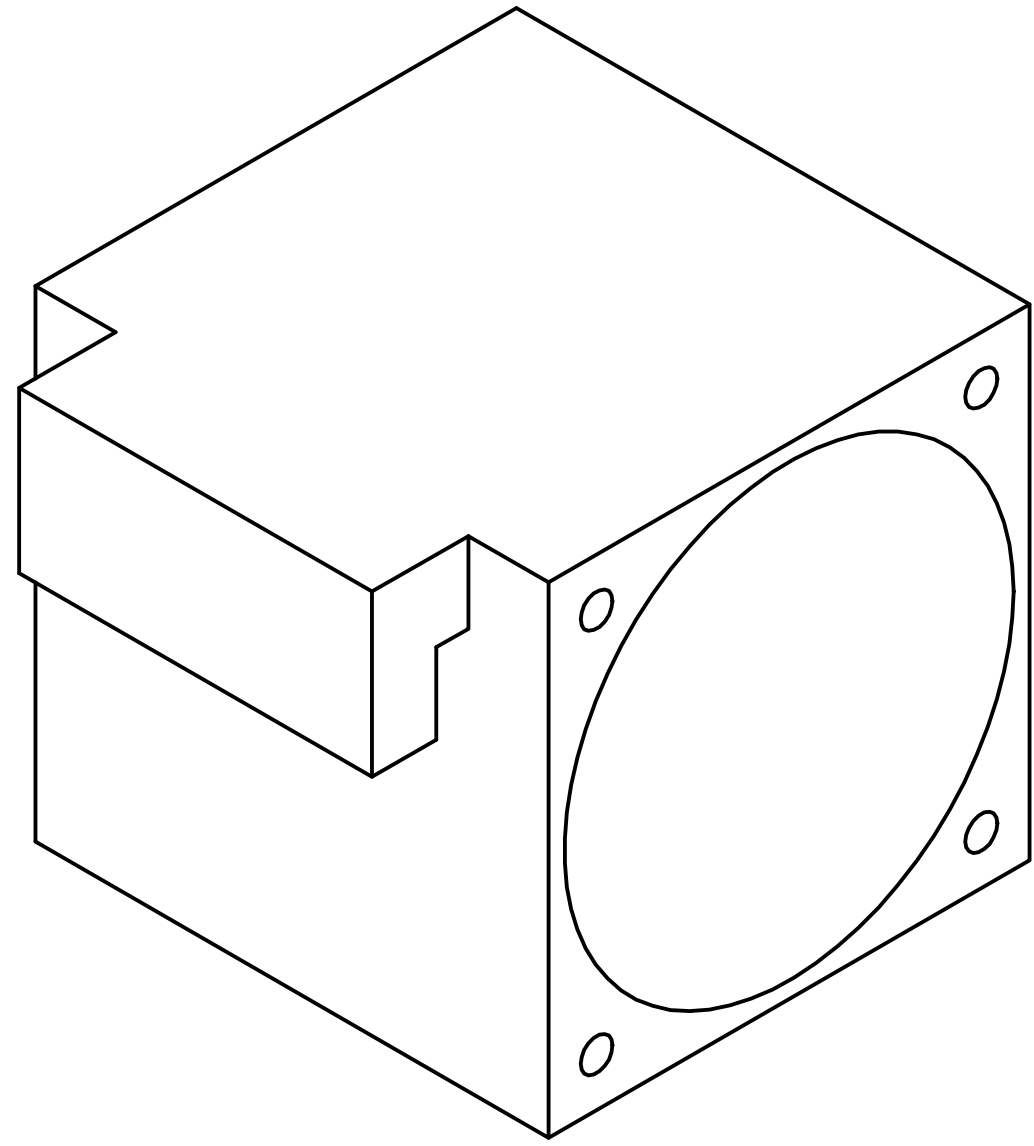
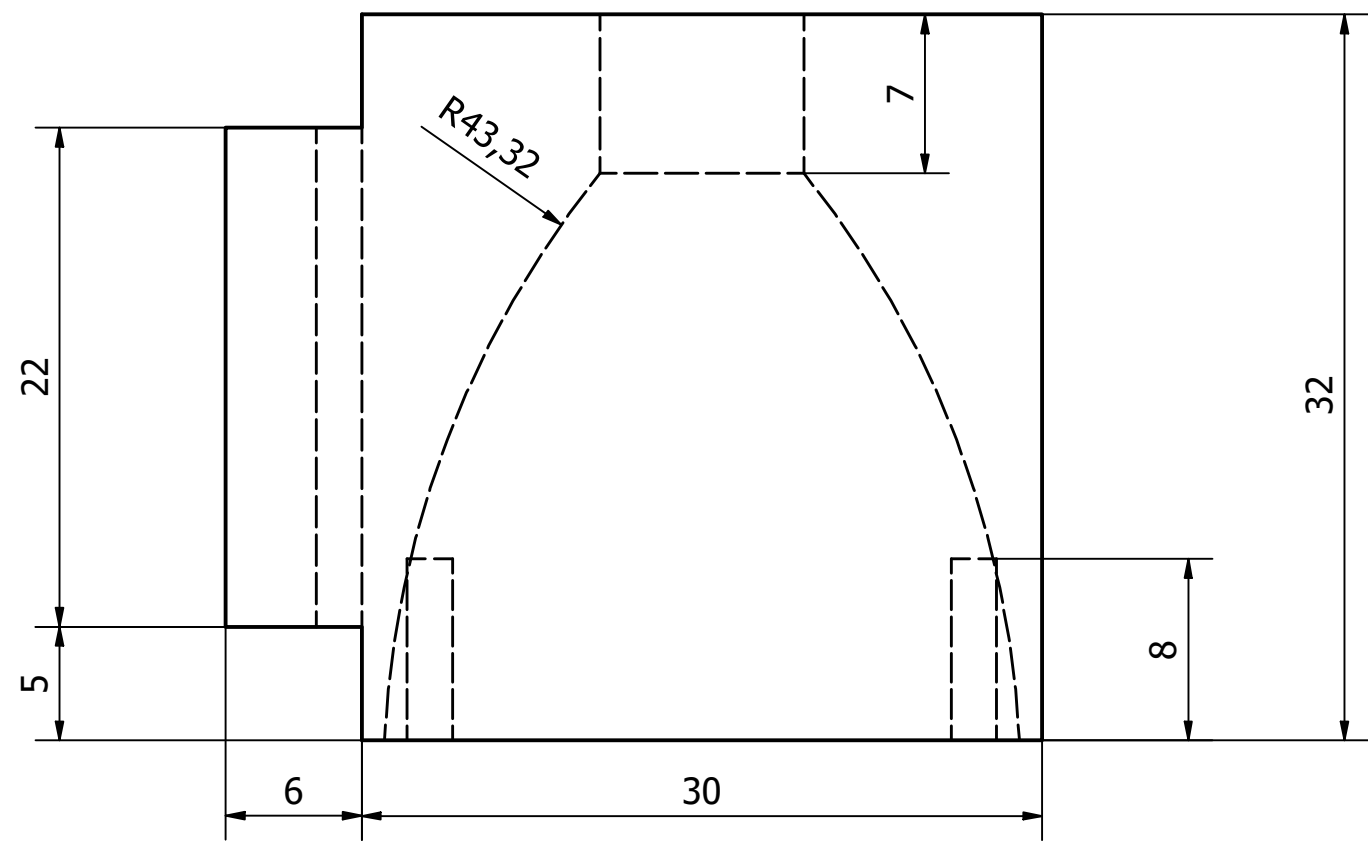
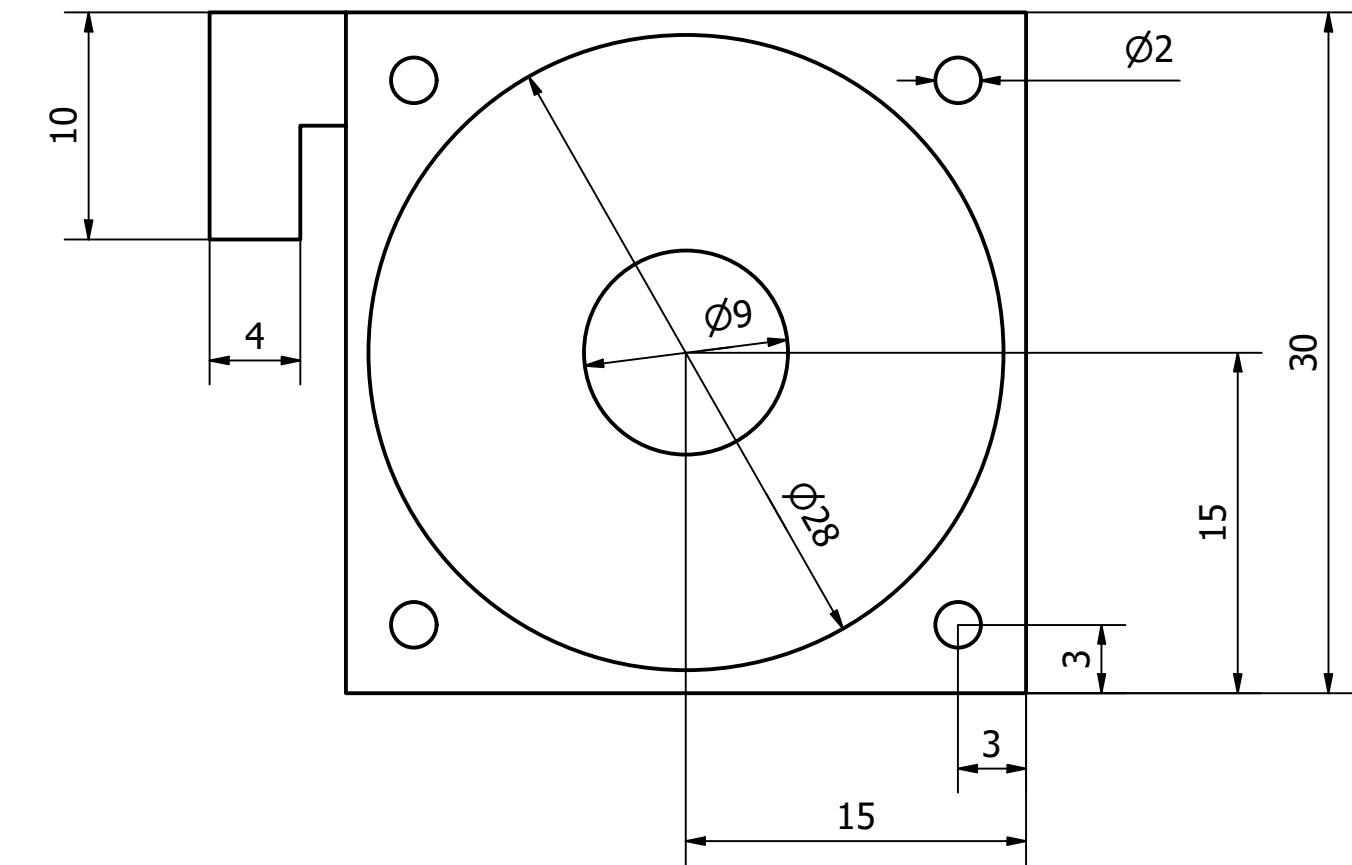
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2				Nº PLANO
3:1	Pieza engranaje para cama elevable				4
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



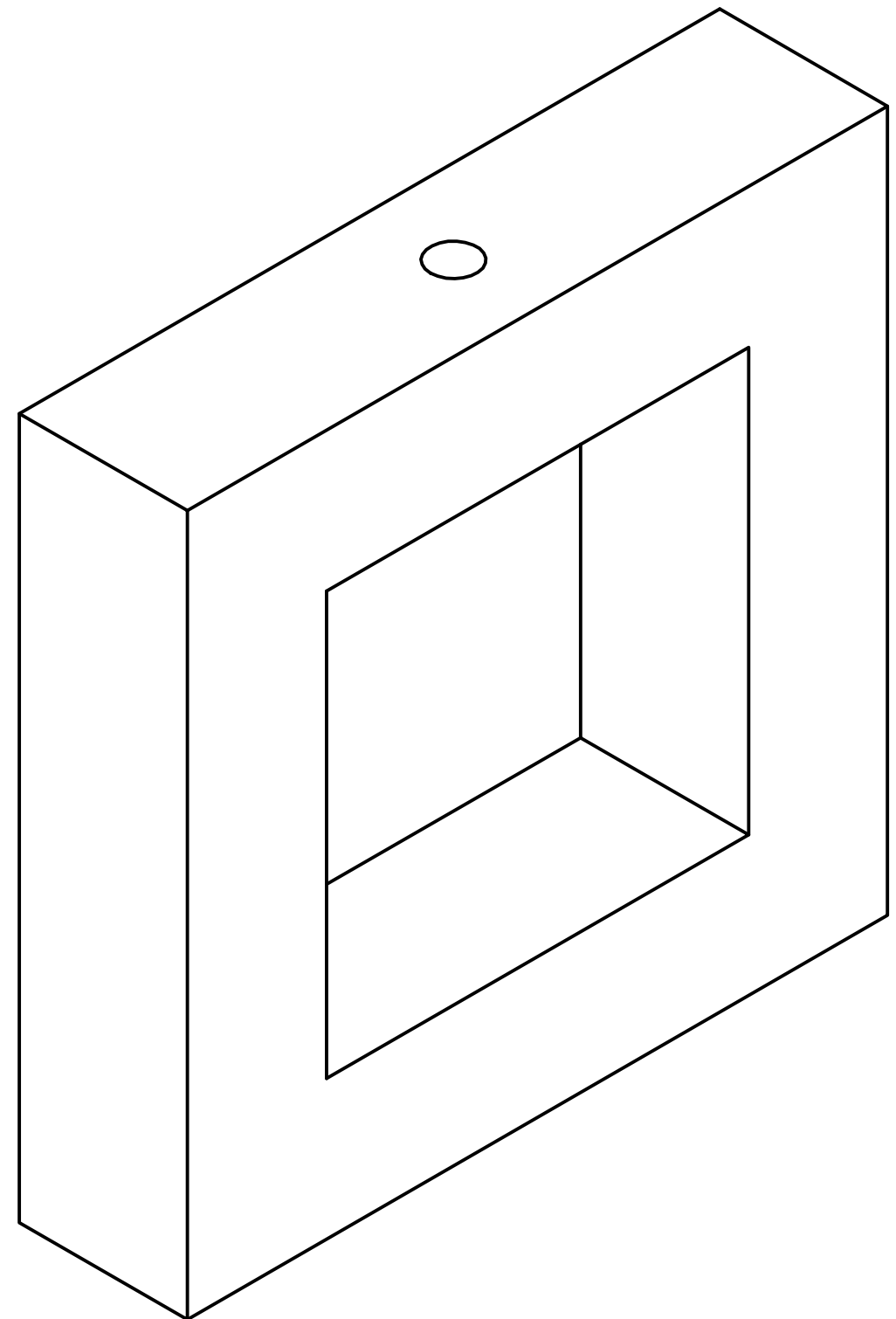
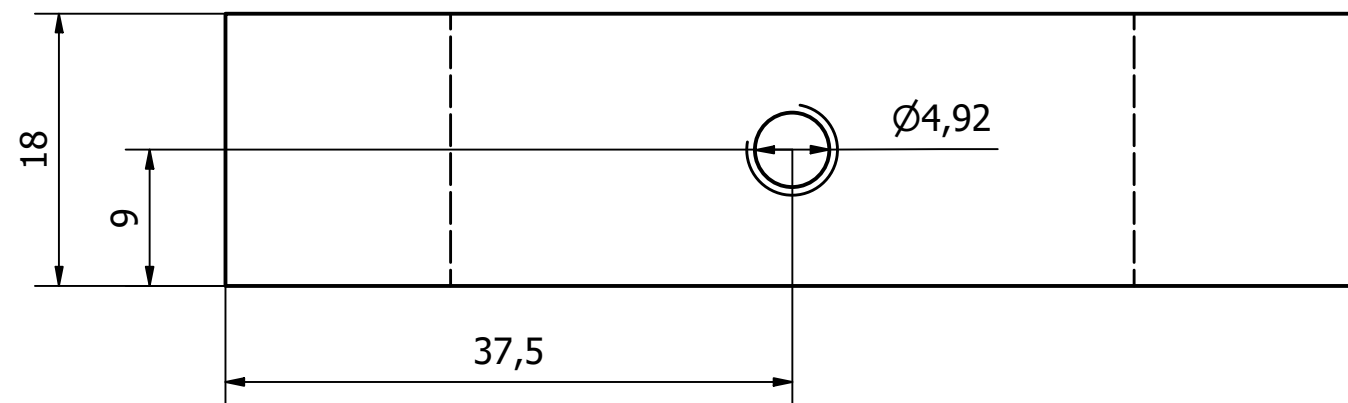
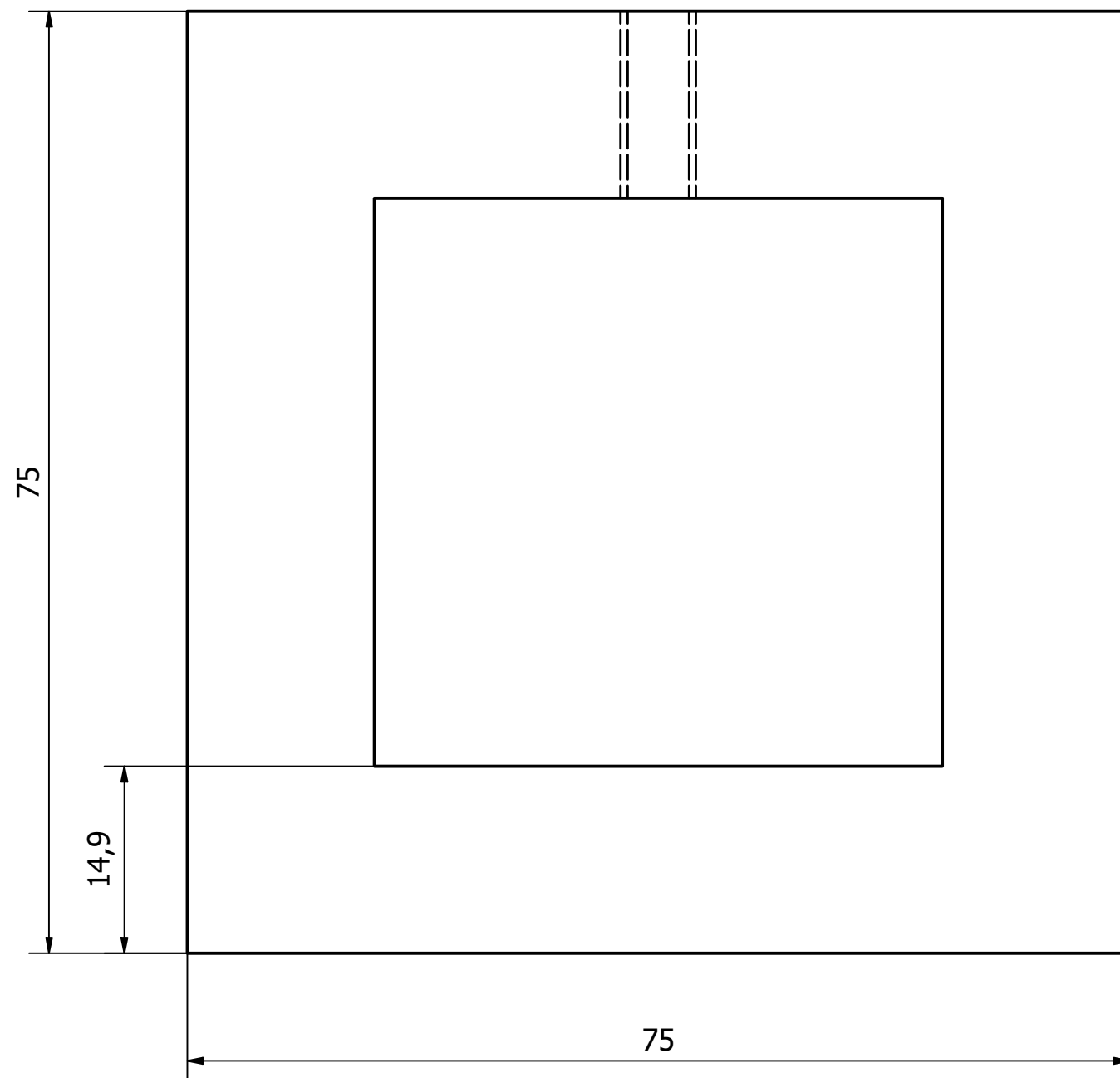
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo corte-grabado mediante láser CO2 Soporte para estructura de cama elevable			Nº PLANO	5
2:1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



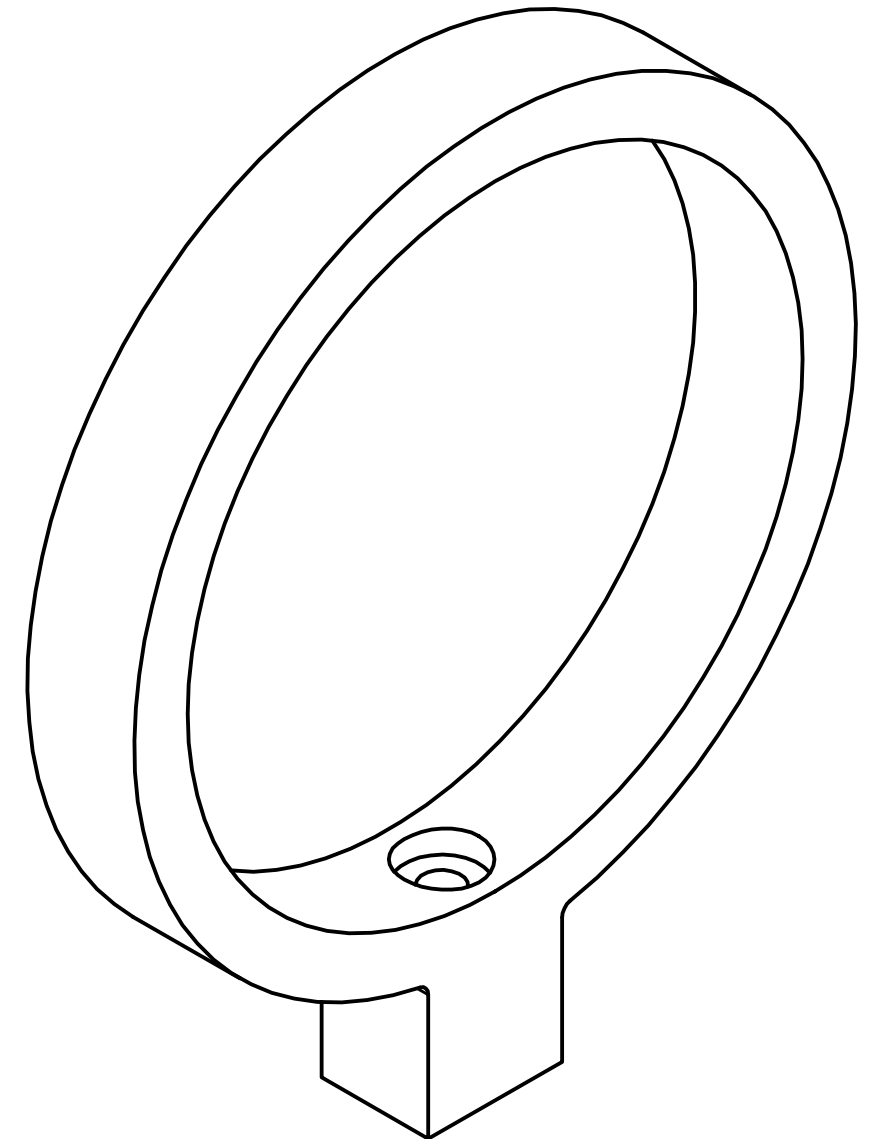
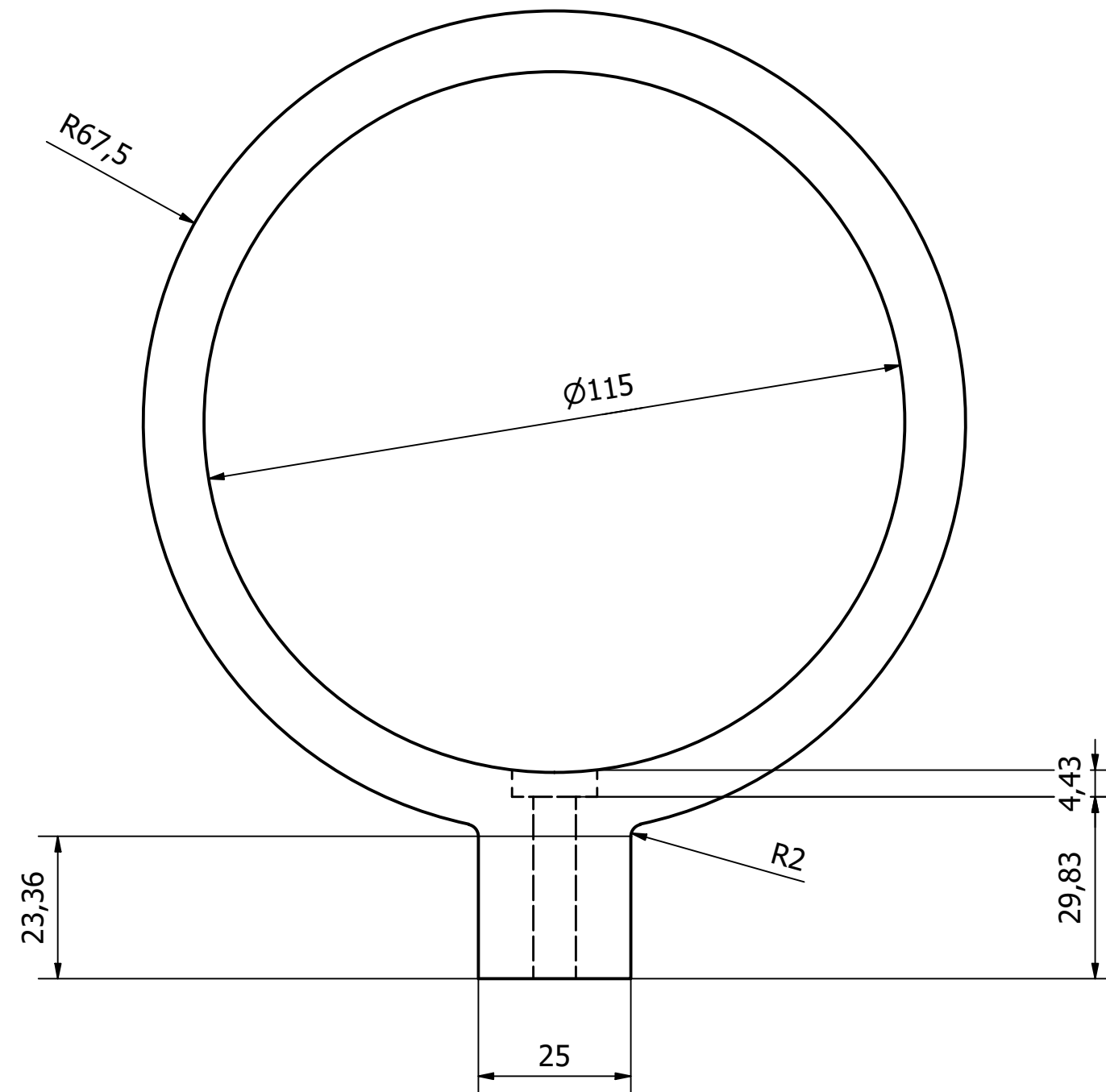
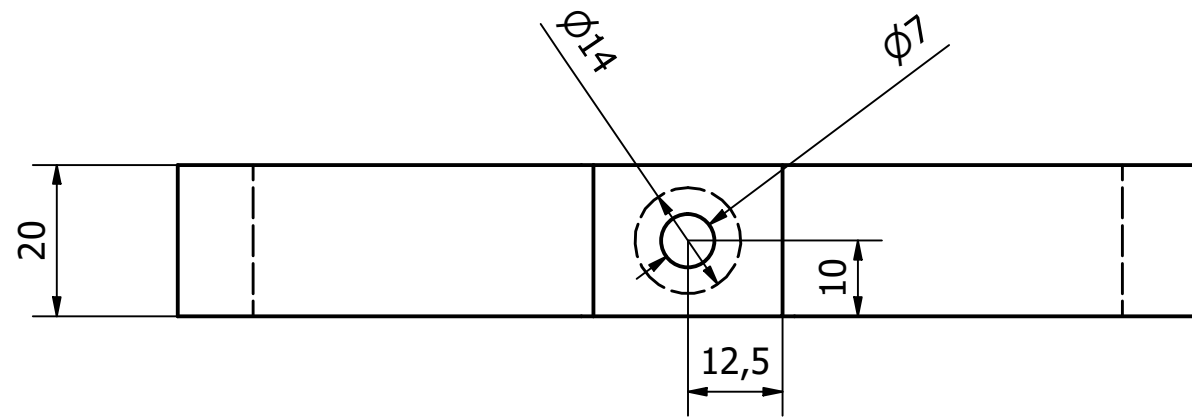
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo corte-grabado mediante láser CO2 Pieza abrazadera para sistema antillama				Nº PLANO 6
2:1					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



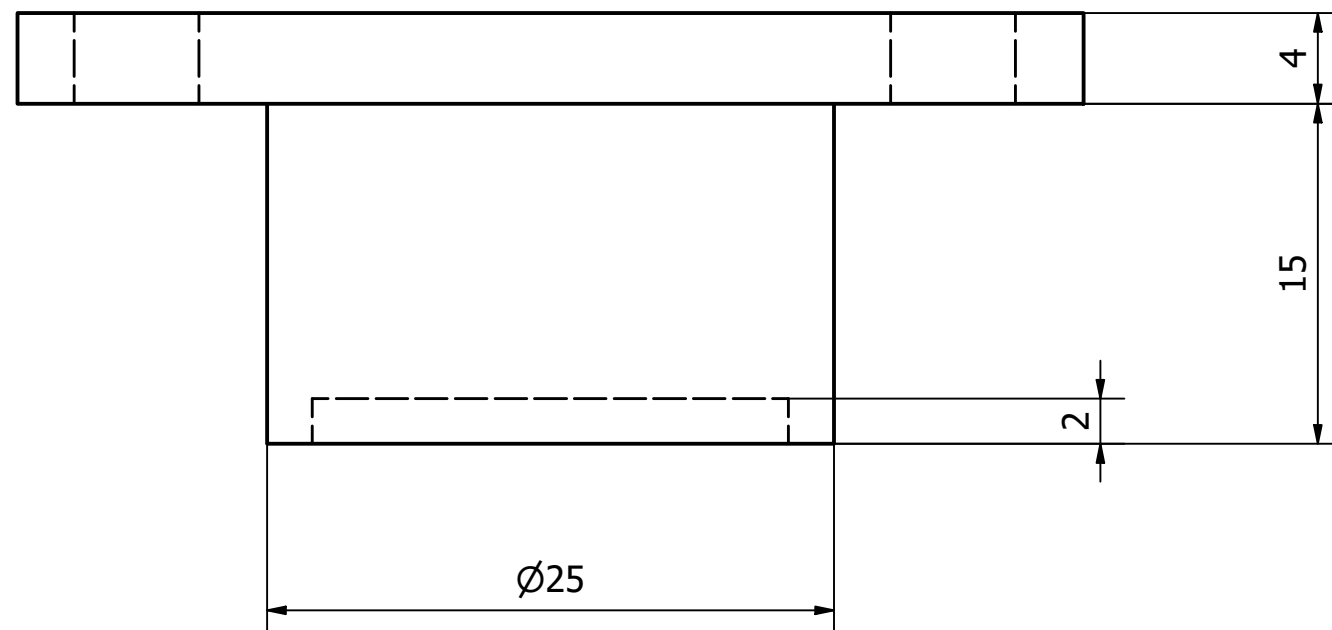
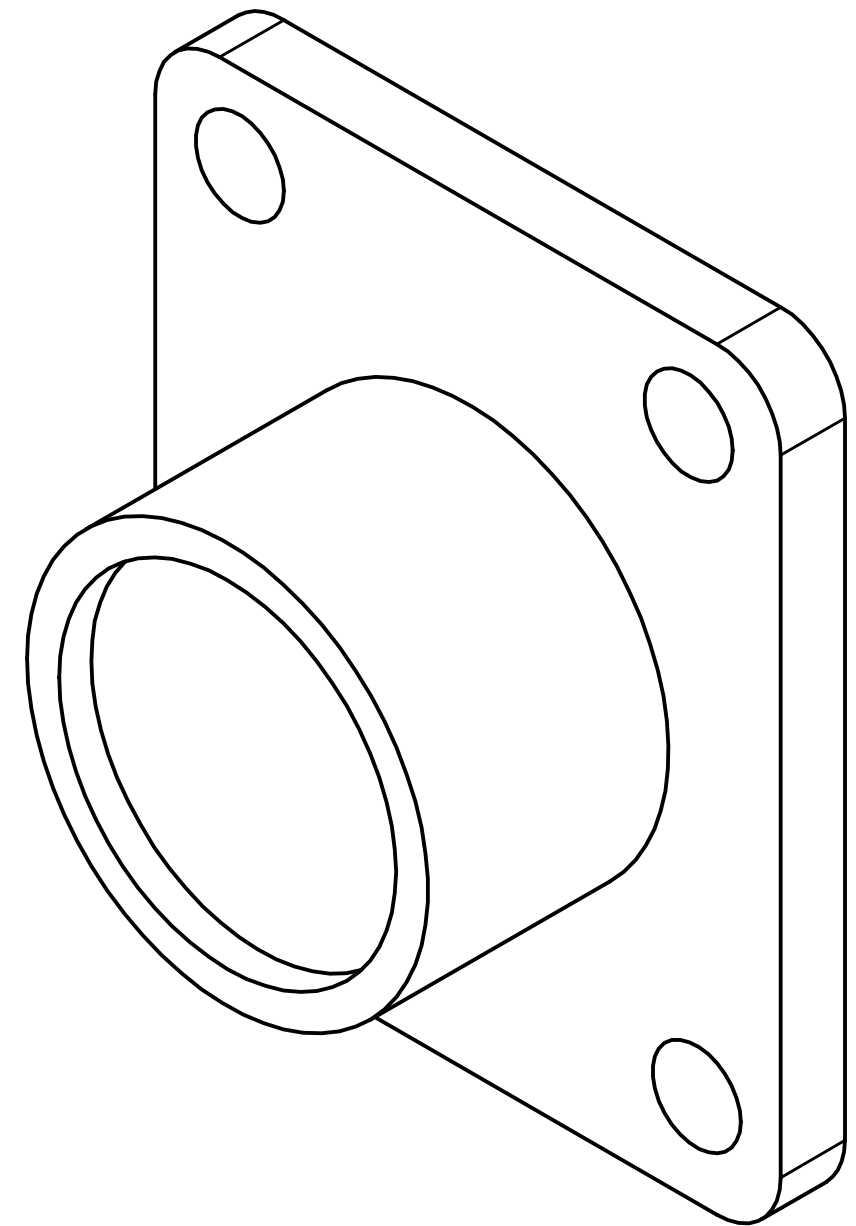
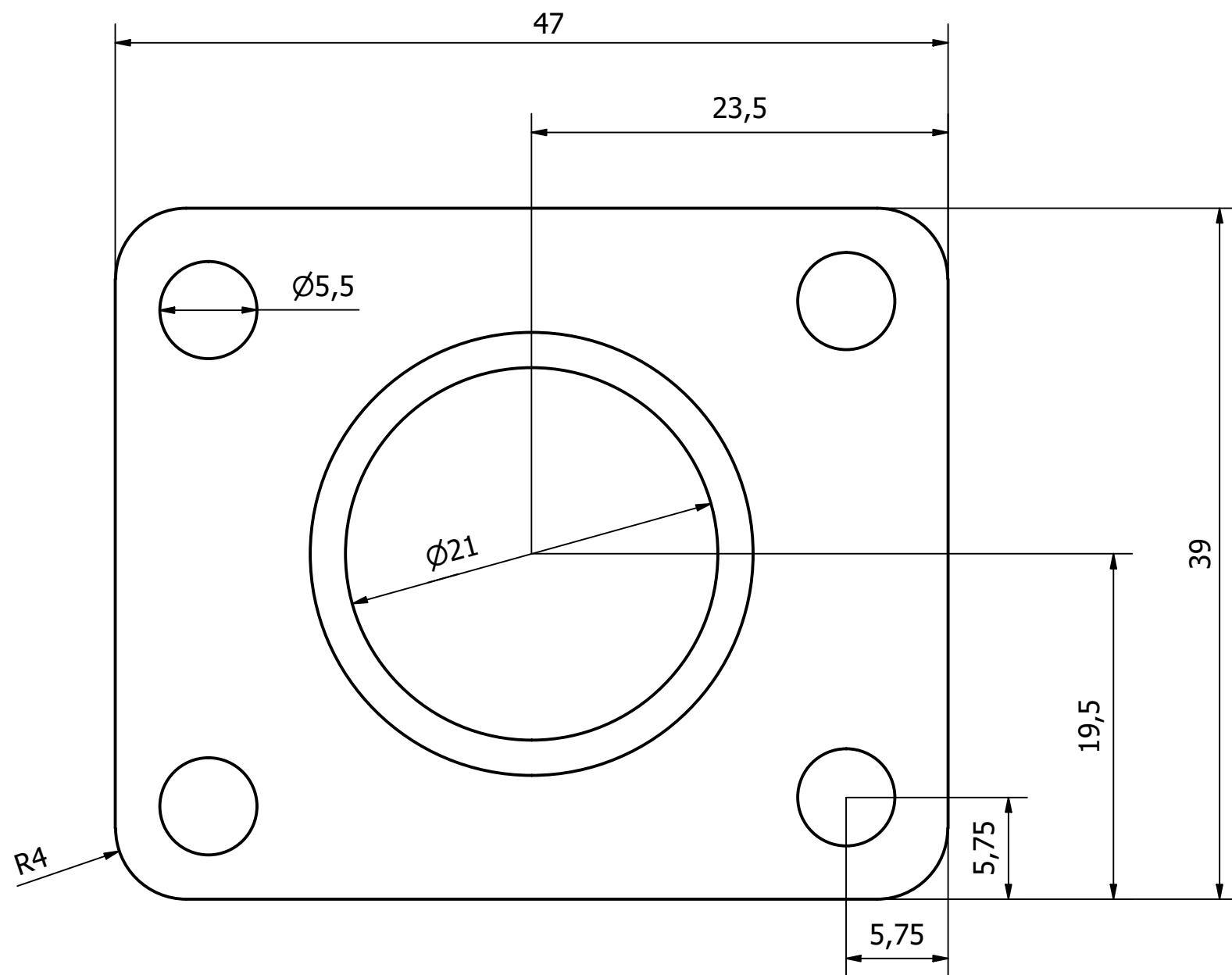
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2			Nº PLANO	7
3:1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2				Nº PLANO 8
2:1	Pieza 1 para sistema de escape de gases				SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo de corte-grabado mediante láser CO2			Nº PLANO	9
1:1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	01/06/23	Miguel Mudarra			
COMPROBADO					
ESCALA:	Implementación de equipo corte-grabado mediante láser CO2			Nº PLANO	10
3:1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

Pata para máquina láser

8.2. Anexo de ensayos

8.2.1. Parámetros de corte críticos para metacrilato de 3 mm

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	8
15	12
20	14
25	15
30	17
35	18
40	19
45	19
50	19

Tabla 20. Parámetros críticos de corte para PMMA de 3 mm

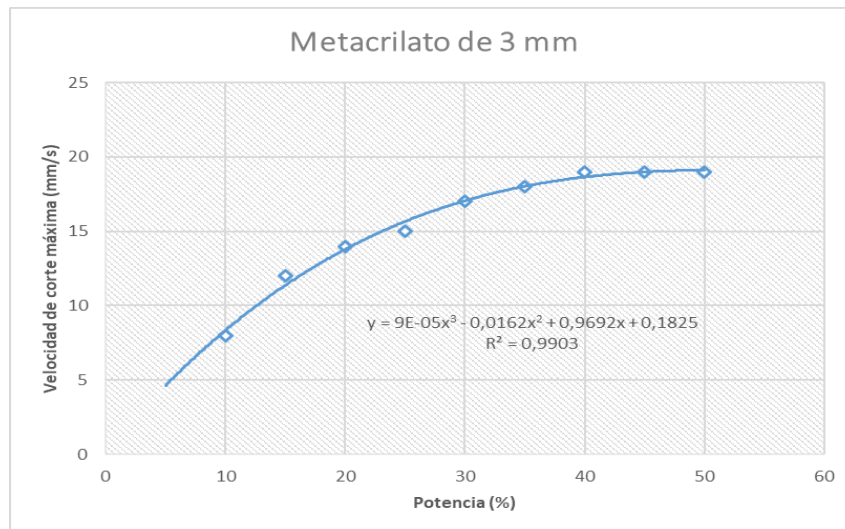


Gráfico 1. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PMMA de 3 mm

8.2.2. Parámetros de corte críticos para metacrilato de 4 mm

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	5
15	8
20	9
25	10
30	11
35	11
40	12
45	12
50	12

Tabla 21. Parámetros críticos de corte para PMMA de 4 mm

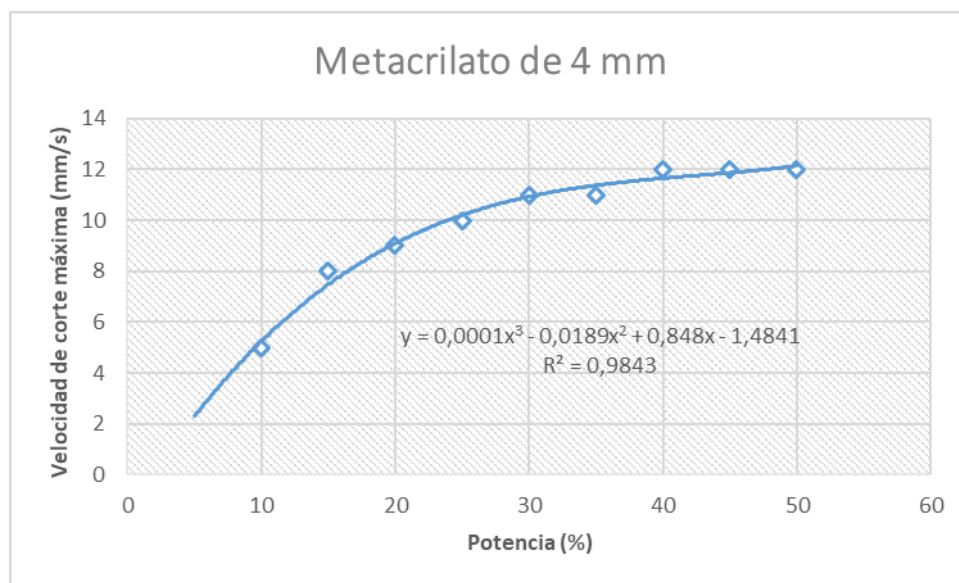


Gráfico 3. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PMMA de 4 mm

8.2.3. Ensayos con metacrilato en diferentes configuraciones

Nº	PARÁMETROS DE CORTE					CORTE	Acabado
	Potencia (%)	V _{corte} (mm/s)	Nº Pasadas	Asistencia Aire	Imanes		
1.1	10	4	1	NO	SI	SI	Desperfectos en bordes, sobrecalentados
1.2	20	8	1	NO	SI	SI	Ligeros defectos en bordes
1.3	30	10	1	NO	SI	SI	
1.4	40	11	1	NO	SI	SI	
1.5	50	11	1	NO	SI	SI	
1.6	10	4	1	SI	SI	SI	Desperfectos en bordes, sobrecalentados
1.7	20	8	1	SI	SI	SI	Ligeros defectos en bordes
1.8	30	10	1	SI	SI	SI	
1.9	40	11	1	SI	SI	SI	
1.10	50	11	1	SI	SI	SI	
1.11	10	4	1	NO	NO	SI	Aparecen manchas o quemaduras en la superficie
1.12	20	8	1	NO	NO	SI	Aparecen manchas o quemaduras en la superficie

1.13	30	10	1	NO	NO	SI	Aparecen manchas o quemaduras en la superficie
1.14	40	11	1	NO	NO	SI	Aparecen manchas o quemaduras en la superficie
1.15	50	11	1	NO	NO	SI	Aparecen manchas o quemaduras en la superficie
1.16	10	8	2	NO	SI	SI	
1.17	20	16	2	NO	SI	SI	
1.18	30	20	2	NO	SI	PARCIAL	No consigue cortar orificio central
1.19	40	22	2	NO	SI	SI	
1.20	50	25	2	NO	SI	SI	

Tabla 28. Resumen de ensayos con PMMA de pequeño espesor en diferentes configuraciones

8.2.4. Ensayos con metacrilato de 10 mm en diferentes configuraciones

P (%)	V (mm/s)	Nº Pasadas	AIRE	IMANES	CORTE
40	6	3	NO	SI	SI
60	5	2	NO	SI	SI
40	7	3	NO	NO	SI
50	5	2	NO	NO	SI
50	8	3	NO	NO	SI
20	5	3	NO	NO	SI
30	6	3	NO	NO	SI
30	6	3	NO	SI	SI
50	5	2	SI	SI	SI

Tabla 29. Resumen de ensayos con PMMA de gran espesor en diferentes configuraciones

8.2.5. Parámetros de corte críticos para poliestireno de 2 mm

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	6
15	11
20	12
25	13
30	14
35	15
40	16

Tabla 23. Parámetros críticos de corte para PS de 2 mm

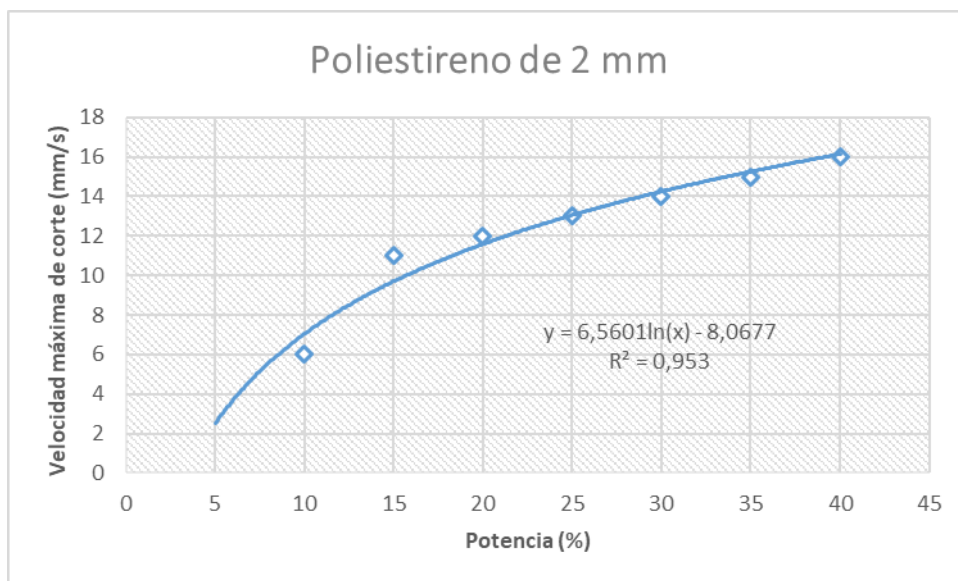


Gráfico 5. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PS de 2 mm

8.2.6. Parámetros de corte críticos para poliestireno de 4 mm

Potencia (%)	Velocidad máx. (mm/s)
10	-
15	-
20	4
25	4
30	5
35	5
40	6
50	6

Tabla 24. Parámetros críticos de corte para PS de 4 mm

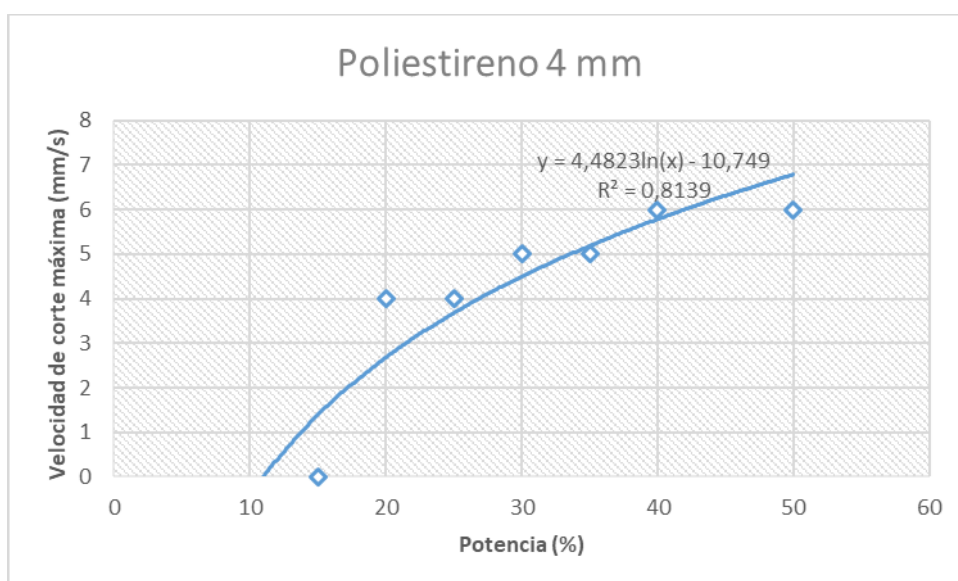


Gráfico 6. Potencia frente a velocidad de corte máxima para PS de 4 mm

8.2.7. Parámetros de corte críticos para MDF de 2,5 mm

Potencia (%)	Velocidad máxima (mm/s)
10	12
12	14
14	17
16	19
18	20
20	23
30	24
40	26
50	28

Tabla 26. Parámetros críticos de corte para MDF de 2,5 mm

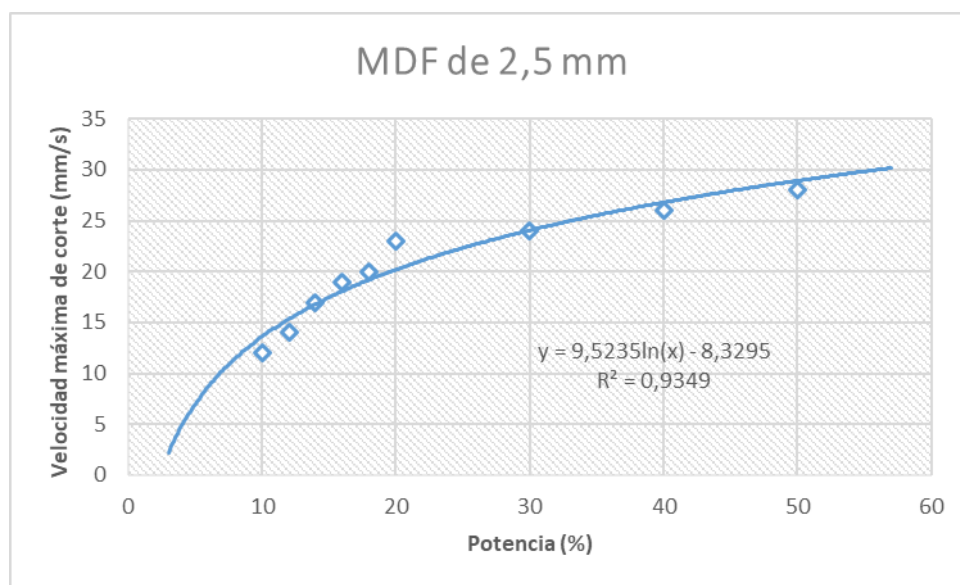


Gráfico 9. Potencia frente a velocidad de corte máxima para MDF de 2,5 mm

8.2.8. Ensayos con MDF en diferentes configuraciones

PARÁMETROS DE CORTE						
Nº Ensayo	Potencia (%)	V _{corte} (mm/s)	Nº Pasadas	Asistencia Aire	Imanes	CORTE
1.1	15	15	1	SI	SI	SI
1.2	12	10	1	SI	SI	SI
1.3	12	10	1	SI	SI	SI
1.4	12	10	1	SI	SI	SI

1.5	12	10	1	SI	SI	SI
1.6	12	10	1	SI	SI	SI
1.7	12	12	1	SI	SI	SI
1.8	12	14	1	SI	SI	SI
1.9	12	13	1	SI	SI	SI
1.10	12	15	1	SI	SI	FORZAD O
1.11	12	16	1	SI	SI	NO
1.12	10	10	1	SI	SI	FORZAD O
1.13	14	20	1	SI	SI	NO
1.14	14	18	1	SI	SI	FORZAD O
1.15	14	16	1	SI	SI	SI
1.16	14	15	1	SI	SI	SI
1.17	16	20	1	SI	SI	FORZAD O
1.18	16	18	1	SI	SI	SI
1.19	18	20	1	SI	SI	FORZAD O
1.20	18	22	1	SI	SI	NO
1.21	20	25	1	SI	SI	NO
1.22	20	22	1	SI	SI	NO
1.23	20	18	1	SI	SI	SI
1.24	10	8	1	SI	SI	SI
1.25	10	8	1	SI	SI	SI
1.26	10	8	1	SI	SI	SI
1.27	10	8	1	SI	SI	SI
1.28	10	8	1	SI	SI	SI
1.29	10	9	1	SI	SI	SI
1.30	10	9	1	SI	SI	SI
1.31	10	9	1	SI	SI	SI
1.32	10	9	1	SI	SI	SI
1.33	10	9	1	SI	SI	SI
1.34	10	10	1	SI	SI	SI
1.35	10	10	1	SI	SI	SI
1.36	10	10	1	SI	SI	SI
1.37	10	10	1	SI	SI	SI
1.38	10	10	1	SI	SI	SI
1.39	10	11	1	SI	SI	NO
1.40	20	5	1	SI	SI	SI
1.41	20	10	1	SI	SI	SI
1.42	20	15	1	SI	SI	SI
1.43	20	20	1	SI	SI	SI

Tabla 30. Resumen de ensayos con MDF en diferentes configuraciones

8.2.9. Tabla resumen con los parámetros de corte para diferentes materiales

PARÁMETROS DE TRABAJO MÁQUINA LÁSER OMTECH DE 40W				
PARÁMETROS DE CORTE				
Material	Espesor (mm)	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad de corte (mm/s)
PMMA	2	1	15-20	6-8
	3	1	20-25	7-9
	4	1	25-30	8-10
	5	1	30-35	9-11
	10	2-3	40-60	4-8
PS	2	1	20-25	6-10
	3	1	25-35	5-6
	4	1	30-40	4-5
PC	<1	1	15-20	10-12
MDF	2-3	1	20-25	10-20
PARÁMETROS DE GRABADO				
Material	Profundidad de grabado	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad grabado (mm/s)
Plásticos y maderas	Baja	1	5-10	100
	Media	1	10-20	100
	Alta	1	>20	100
Metales	Baja	1	40-50	100
PARÁMETROS DE GRABADO VECTORIAL				
Material	Profundidad de grabado	Nº de pasadas	Potencia (%)	Velocidad grabado (mm/s)
Plásticos y maderas	Baja	1	5-10	10-15
	Media	1	10-20	10-15
	Alta	1	>20	10-15
Metales	Baja	1	40-50	10-12

Tabla 27. Parámetros de corte para diferentes materiales y espesores

9. REFERENCIAS

Bibliografía:

1. KALPAKJIAN, S. & SCHMID, S. Manufactura, ingeniería y tecnología. Volumen 1. Tecnología de materiales. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2001
2. CAMPANA, G. & MARTÍNEZ, D. Aplicaciones industriales de la tecnología láser. Buenos Aires: INTI, 2016
3. CUESTA, A. Tecnología láser: Aplicaciones industriales. Barcelona: Marcombo, 2010
4. POWELL, J. CO2 Laser Cutting. Londres: Springer, 1998
5. UNE EN 60825-1 «Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía de seguridad» 1996. Modificada por: UNE EN 60825-1/A1 1: 1997 y con el complemento UNE EN 60825-1/A2: 2002

Páginas web:

6. <https://omtechlaser.es/> (Web oficial de la empresa Omtech)
7. <https://www.scorchworks.com/> (Web oficial de los desarrolladores del software K40Whisperer)
8. <https://www.ulsinc.com/> (Web oficial de Universal Laser Systems)