

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

Autor: Daniel PAVÓN FUENTES

Fecha: Enero 2007





MEMORIA

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

MEMORIA DESCRIPTIVA

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

ÍNDICE :

1.- TÍTULO DEL PROYECTO.....	4
2.- PETICIONARIO.....	5
3.- OBJETO.....	7
4.- ANTECEDENTES.....	10
4.1.-El Láser.....	10
4.1.1.-Descripción de un Láser.....	10
4.1.2.-Funcionamiento de un Láser.....	13
4.1.3.-Diferentes Tipos de Láseres.....	17
4.1.4.-Los Láseres en la Industria.....	22
4.1.5.-Mecanizado Láser.....	24
4.2.-Materiales a mecanizar.....	30
4.2.1.-Fibra de Carbono.....	30
4.2.2.-Fibra de Vidrio.....	32
4.2.3.-Aluminio y sus Aleaciones.....	33
4.2.4.-Titanio.....	35
5.- JUSTIFICACIÓN.....	36
6.- DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS.....	38
6.1.-Sistema Láser.....	38
6.1.1.-Emisor Láser.....	38
6.1.2.-Cabezal Láser.....	38
6.1.3.-Fibra Óptica.....	40
6.1.4.-Lentes.....	40
6.2.-Sistema recogida de polvo.....	41
6.2.1.-Ciclón.....	41
6.2.2.-Bomba de Vacío.....	42
6.2.3.-Conexiones.....	43
6.3.-Sistema de gas de aporte.....	45
6.3.1.-Depósito de argón.....	45

MEMORIA DESCRIPTIVA

6.3.2.-Conexiones y válvulas.....	45
7.- MATERIAS PRIMAS.....	48
7.1.-Argón.....	48
8.- MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	51
8.1.-Sistema Láser.....	52
8.1.1.-Emisor Láser.....	52
8.1.2.-Fibra Óptica.....	54
8.1.3.-Cabezales Láser.....	55
8.2.-Sistema de recogida de Polvo.....	57
8.2.1.-Bomba de Vacío.....	57
8.2.2.-Ciclón, sistema de tuberías y accesorios.....	58
8.3.-Sistema de Gas de aporte.....	58
8.3.1.-Depósito de Argón.....	58
8.3.2.-Sistema de tuberías y accesorios.....	59
9.- SISTEMA DE CONTROL.....	60
10.- SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE.....	64
10.1.-Normativa referente a Seguridad de Obligado Cumplimiento.....	64
10.2.-Seguridad referente a radiación Láser.....	66
10.2.1.-Introducción.....	66
10.2.2.-Clasificación de los Láseres.....	67
10.2.3.-Normas Básicas de Seguridad.....	70
10.2.4.-Daños producidos por radiación Láser.....	70
10.2.5.-Protecciones Personales.....	73
10.2.6.-Conclusiones.....	75
10.3.-Seguridad referente al sistema de gas de aporte.	75
10.4.-Protección contra la emisión de partículas a la atmósfera.....	76
10.5.-Riesgo eléctrico.....	76
10.6.-Equipos de Protección Personal.....	77

MEMORIA DESCRIPTIVA

10.7.-Medio Ambiente.....	78
11.- VIABILIDAD ECONÓMICA.....	79
11.1.-Costes del Sistema.....	79
11.2.-Justificación Económica.....	82
12.- NORMATIVA.....	84
13.- BIBLIOGRAFÍA.....	85

1.- TÍTULO DEL PROYECTO

Daniel Pavón Fuentes presenta el proyecto “Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)” como Proyecto Fin de Carrera del título de Ingeniero Químico, siendo los tutores del mismo la Dra. M. Pilar Villar Castro y el Dr. Antonio J. García Fuentes.

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

2.- PETICIONARIO

A continuación se adjunta el documento oficial de Propuesta de Proyecto Fin de Carrera, el cual contiene las especificaciones del presente proyecto.

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

3.- OBJETO

El objeto del presente proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema de mecanizado láser con el fin de procesar distintos materiales empleados comúnmente en la industria (materiales compuestos de la familia de los epoxi reforzados con fibras de carbono o de vidrio, el Titanio y distintas aleaciones de Aluminio empleadas actualmente en el sector aeronáutico) incluyendo dicho proyecto el diseño y desarrollo de todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

Por tanto, el objeto del presente proyecto será el de formar un sistema láser que nos proporcione dichas características, para ello se deberá comenzar por una preselección de los emisores láseres que nos producen en los materiales un daño térmico aceptable, para posteriormente comprobar si existe algún caso que nos sea válido para todos nuestros materiales y que además nos proporcione una potencia que sea capaz de mecanizar los espesores actualmente empleados en el sector.

A su vez también se procederá al diseño de un sistema de recogida de polvo producido por el mecanizado, con el fin de reducir el riesgo de lesiones o enfermedades de los operarios que trabajen con el sistema, así como una reducción de las emisiones atmosféricas y una mayor higiene en el trabajo, tanto para los operarios como para los propios elementos industriales presentes en la zona del mecanizado.

Se ha considerado también el diseño de una línea de Argón como gas de aporte a la zona de mecanizado, la idea de esta línea tiene su origen en varias consideraciones :

1. Crear una atmósfera inerte en la zona de mecanizado, con el fin de impedir que se produzca una reacción química en los

MEMORIA DESCRIPTIVA

materiales durante el mecanizado, que puede degradar las propiedades de los mismos.

2. Ayuda a la retirada del material procesado, ya que el flujo gaseoso se dirigiría a la zona del mecanizado, favoreciendo a la retirada de las partículas vaporizadas por nuestro haz láser.
3. Dificultar la saturación en profundidad de nuestro material, en ocasiones se ha de llegar a procesar materiales de hasta 2 cm de espesor, el ancho del corte de mecanizado es bastante pequeño, por lo que dicho flujo gaseoso ayudaría a impedir la saturación en el corte de mecanizado.
4. Refrigeración de la lente, la lente absorbe parte de la potencia del láser, por lo que se deberá tener en cuenta la temperatura estacionaria que puede llegar a alcanzar y que ésta no afecte al funcionamiento del sistema, imponiendo un flujo gaseoso se ayudará a la disipación del calor gracias a un mecanismo de convección forzada.

Finalmente, también será necesario el diseño de los cabezales del sistema láser que sea capaz de proporcionarnos las características ópticas requeridas en cada caso para el correcto mecanizado de los materiales.

Por tanto, podemos subdividir el diseño en tres sistemas, que detallaremos a continuación :

1. Sistema Láser : compuesto por el emisor láser seleccionado, la fibra óptica necesaria para el correcto desplazamiento del cabezal, las lentes requeridas en cada caso, y un cabezal, que estará formado por una parte fija, y otra intercambiable dependiendo del material a mecanizar.

MEMORIA DESCRIPTIVA

2. Sistema de recogida de polvo: a su vez estará formado por un ciclón diseñado para nuestros casos en concreto y una bomba de vacío, todo ello conectado e incluido en el sistema láser a través del sistema de tuberías correspondientes.

3. Sistema de Gas de aporte : formado principalmente por un depósito de Argón y un sistema de tuberías que lo conecten con el cabezal láser de nuestro sistema.

4.- ANTECEDENTES

4.1.- El Láser

4.1.1.- Descripción de un láser ^{[2]-[3]}

El término LÁSER se ha formado con la primera letra de cada palabra de la frase en inglés Light Amplification Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). Cuando se descubrió, se vio inmediatamente que era un instrumento con grandes posibilidades de aplicación.

El láser es simplemente una fuente luminosa con dos propiedades muy especiales e importantes de su luz, que técnicamente reciben los nombres de *coherencia espacial* y *coherencia temporal*.

Una fuente luminosa puntual emite luz cuyos frentes de onda son esféricos y concéntricos con dicho punto. Si colocamos una lente convergente frente a esta fuente luminosa, como se muestra en la figura 1 (a), veremos que la onda se refracta, haciéndose ahora el haz luminoso convergente a un punto después de esta lente.

Sin embargo, las fuentes luminosas reales no emiten una sola onda con frentes de onda esféricos, sino una multitud, cada una de ellas saliendo de un punto diferente sobre la fuente. Al colocar ahora la lente convergente frente a esta fuente de luz, la energía luminosa ya no se concentra en un punto infinitamente pequeño después de la lente. Lo que se obtiene es simplemente una imagen de la fuente luminosa, con la energía distribuida sobre toda su área.

MEMORIA DESCRIPTIVA

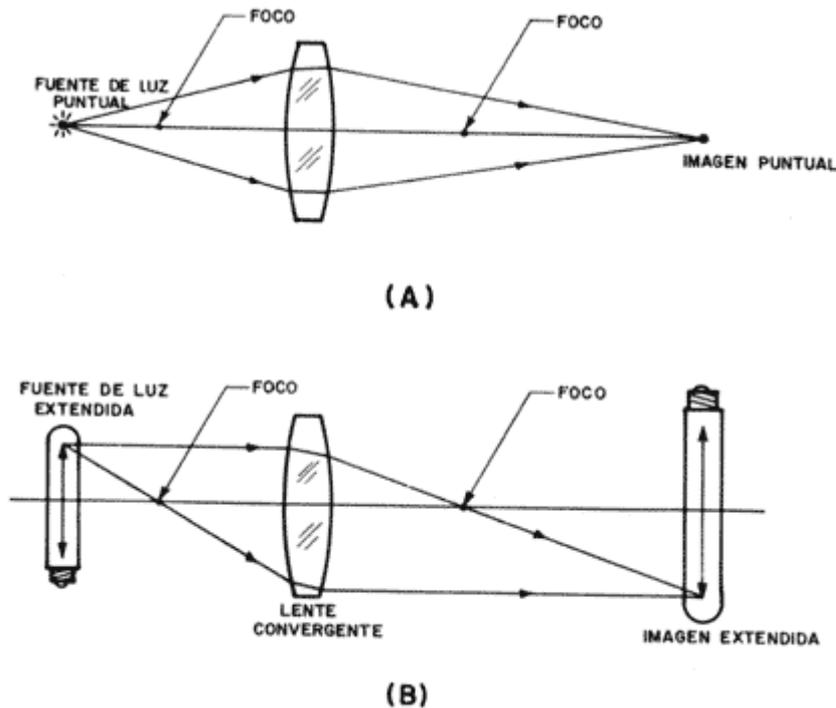


Figura 1. Lente convergente frente a una fuente luminosa a una distancia mayor que su distancia focal. (a) Fuente puntual y (b) fuente extendida.

A su vez, si la lente se coloca frente a la fuente luminosa puntual, de forma que quede sobre el foco de la lente convergente, la luz saldría entonces de la lente en un haz de rayos paralelos. Como las fuentes luminosas no son infinitamente pequeñas, la luz no saldrá como un haz de rayos paralelos, sino como una multitud de haces en diferentes direcciones, de esta forma se esparce la energía luminosa en la forma de un cono divergente. Así una fuente puntual tiene coherencia espacial perfecta, mientras que la extendida la tiene pobre.

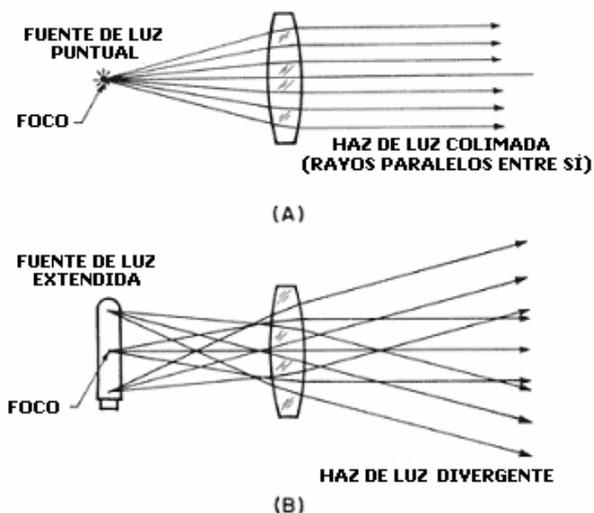


Figura 2. Lente convergente con una fuente luminosa colocada en su foco anterior. (a) Fuente puntual y (b) fuente extendida.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Son muchísimas las situaciones en las que es necesario tener una gran coherencia espacial: por ejemplo, para tener un frente de onda único en interferometría, para concentrar la energía luminosa en un punto muy pequeño a fin de obtener una densidad de energía muy alta, o para enviar el haz luminoso a gran distancia. Se puede obtener una fuente luminosa de gran coherencia espacial, sin embargo, generalmente se reduce considerablemente la intensidad luminosa. En el caso de la luz de un láser tiene una coherencia espacial casi perfecta, sin ningún sacrificio de su intensidad.

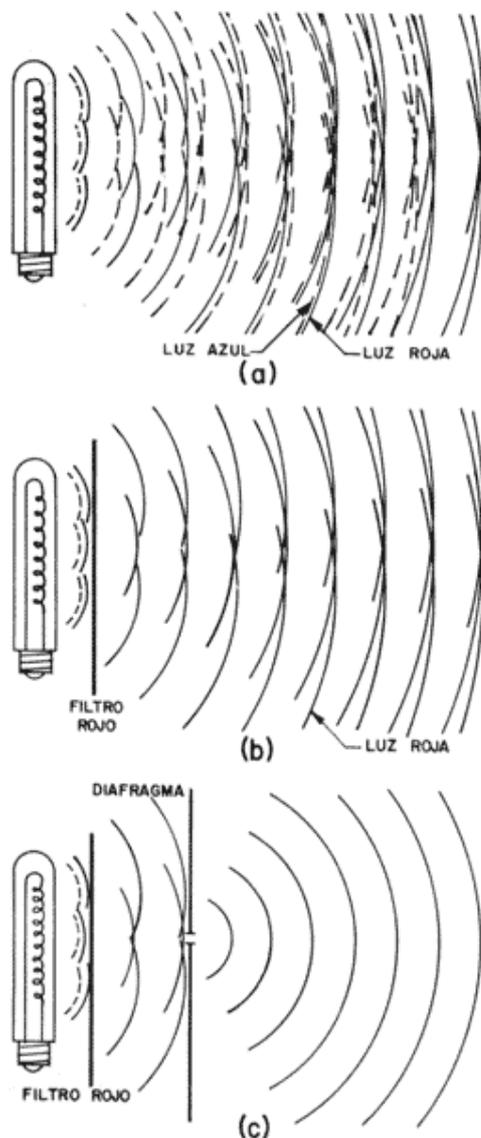


Figura 3. Simulación de una fuente de luz con coherencia tanto espacial como temporal, por medio de una pequeña perforación, y un filtro de color con banda de transmisión muy angosta. (a) Fuente luminosa, (b) fuente luminosa con filtro de color y (c) fuente luminosa con filtro de color y diafragma.

MEMORIA DESCRIPTIVA

La segunda propiedad del láser tiene que ver con la cantidad de colores que emite la fuente luminosa simultáneamente, es decir, con el grado de monocromaticidad. Una fuente de luz bastante monocromática se puede obtener mediante varios procedimientos basados en los fenómenos de la dispersión de la luz en un prisma, en el de la difracción en una rejilla de difracción o en el de la interferencia en los filtros de interferencia.

Desafortunadamente todos estos métodos se basan en la eliminación de los colores indeseados, pero de ninguna manera refuerzan el deseado. Por lo tanto, el haz de luz se hace sumamente débil. Mientras más monocromático sea un haz luminoso, se dice que tiene más coherencia temporal. En cambio, la luz de un láser tiene coherencia temporal casi perfecta, es decir, tiene una alta monocromaticidad.

4.1.2- Funcionamiento de un Láser^{[2]-[4]-[18]}

A fin de comprender el fenómeno de emisión estimulada, comencemos por recordar que la luz es emitida y absorbida por los átomos mediante los mecanismos llamados de emisión y de absorción, respectivamente. Si el electrón de un átomo está en una órbita interior, puede pasar a una exterior solamente si absorbe energía del medio que lo rodea, generalmente en la forma de un fotón luminoso. Este es el proceso de absorción que se representa mediante los diagramas de la figura 4(a). Si el electrón se encuentra en una órbita exterior, puede caer a una órbita interior si pierde energía, lo cual puede también suceder mediante la emisión de un fotón. Este proceso de emisión se muestra en los diagramas de la figura 4(b). En ambos procesos la frecuencia ν de la onda absorbida o emitida está determinada por la magnitud E de la energía emitida o absorbida, según la relación obtenida por Planck :

$$E = h\nu$$

MEMORIA DESCRIPTIVA

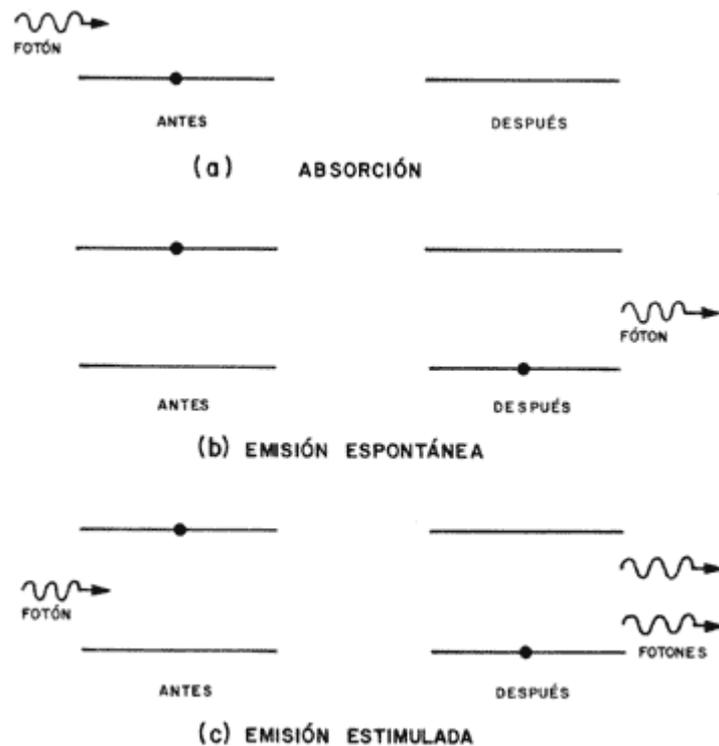


Figura 4. Esquemas que representan los procesos atómicos de (a) emisión espontánea, (b) absorción y (c) emisión estimulada.

La energía que necesita un electrón para subir al estado superior no necesariamente se manifiesta bajo la forma de fotón luminoso. También puede absorber la energía que se le comunique mediante otros mecanismos, como por ejemplo, mediante una colisión con otro átomo. Si estamos subiendo constantemente los átomos de un cuerpo al estado superior mediante un mecanismo cualquiera, éstos caerán espontáneamente al estado inferior emitiendo luz.

A este proceso se le conoce con el nombre de "bombeo óptico". La emisión de luz es entonces un proceso en el que todos los átomos del cuerpo participan, pero en forma independiente y totalmente desincronizada, como se muestra en la figura siguiente :

MEMORIA DESCRIPTIVA

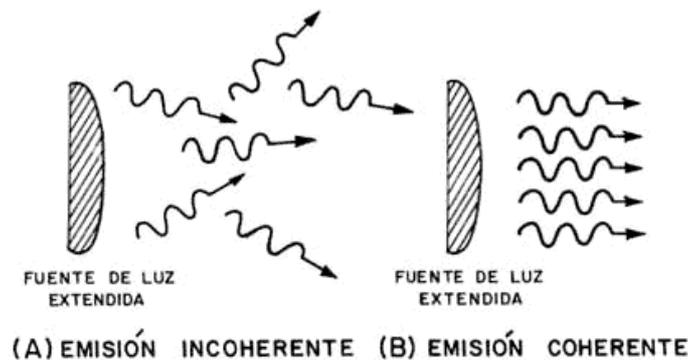


Figura 5. Emisión incoherente de fotones de una fuente de luz extendida.

Existe una segunda forma de emisión de luz por un átomo, llamada emisión estimulada, que se representa mediante el diagrama de la figura 4(c). Si un electrón está en el estado superior y recibe un fotón de la misma frecuencia del que emitiría si bajara al nivel inferior, desestabilizará a este átomo, induciéndolo a emitir inmediatamente. Después de esta emisión estimulada existirán dos fotones en lugar de uno, el que estimuló y el estimulado. Naturalmente, para que la emisión estimulada tenga lugar se requiere que el electrón permanezca en el estado superior un tiempo suficientemente largo para darle oportunidad al fotón estimulador a que llegue al átomo. Por esta razón, el proceso de emisión estimulada es más fácil si el nivel superior tiene una vida media relativamente larga.

Como los átomos tienden constantemente a caer al estado o nivel inferior, la mayoría de ellos en un momento dado estarán ahí. Lo que logra el bombeo óptico es que la mayoría de los átomos estén constantemente en el nivel superior. Este proceso se denomina inversión de población, y es absolutamente indispensable para que se produzca la emisión láser. Consideremos un material en la figura 6, sujeto a bombeo óptico a fin de que sus átomos regresen constantemente al nivel superior. Supongamos también que la vida media de este estado superior es lo suficientemente larga como para permitir la emisión estimulada. Finalmente, hagamos incidir en este

MEMORIA DESCRIPTIVA

material un fotón de la frecuencia adecuada para provocar la emisión estimulada. Es fácil ver que se provocará una reacción en cadena, por lo que a la salida se tendrán no uno, sino una multitud de fotones. Dicho de otro modo, se habrá amplificado la luz mediante el mecanismo de emisión estimulada.

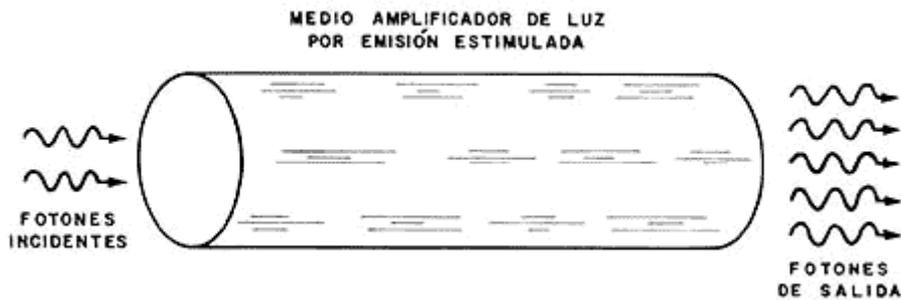


Figura 6. Amplificación de luz por medio de emisión estimulada.

A fin de que éste sea un proceso continuo, podemos colocar un espejo semitransparente a la salida, para regresar parte de los fotones que salen, y así seguir provocando la emisión estimulada. A la entrada se coloca otro espejo, totalmente reflector. Este dispositivo se muestra en la figura 7. Como podemos comprobar ahora no podríamos introducir al láser el primer fotón disparador de la emisión estimulada, esto no es necesario, ya que tarde o temprano se producirá un fotón por emisión espontánea.

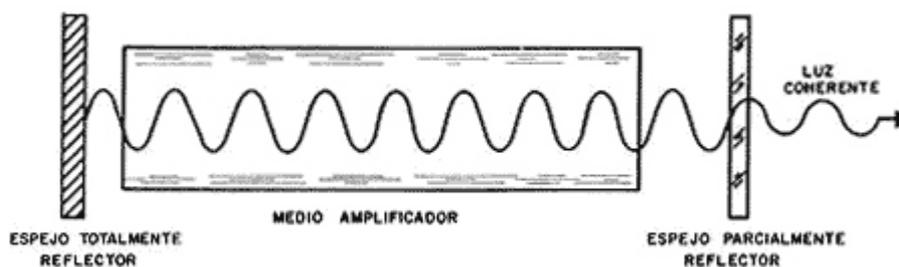


Figura 7. Uso de espejos retroalimentadores de la luz para hacer un láser.

4.1.3-Diferentes Tipos de Láseres ^{[10]-[18]}

Los principales tipos de láseres que existen se pueden clasificar en continuos o pulsados, de baja potencia o de alta potencia, según el color de la luz que emiten, o según el material del que están hechos. A continuación se mencionarán brevemente algunos de los principales láseres, clasificándolos según el estado del material que se usa como medio amplificador:

a) *Láseres de gas*. Estos son sin duda los láseres más comunes. El siguiente cuadro muestra algunos de estos láseres, con sus principales características.

CUADRO 1. Algunos láseres de gas

<i>Sistema</i>	<i>Elemento activo</i>	<i>Región espectral o color</i>	<i>Forma de operación</i>	<i>Potencias típicas</i>
He-Ne	neón	rojo 632.8 nm verde infrarrojo	continua	10 mW- 1 W
He-Cd	cadmio	violeta, UV	continua	10 mW
He-Se	selenio	verde	continua	10 mW
Ar ⁺	argón	verde, azul	continua o pulsada	1-50 W
Kr ⁺	kriptón	rojo	continua o pulsada	1-50 W
Co ₂ -N ₂ -He	dióxido de carbono	Infrarrojo 10.6 μm	continua o pulsada	100 W o más

MEMORIA DESCRIPTIVA

El láser de gas, este láser consta de un tubo de vidrio que tiene en su interior una mezcla de los gases helio-neón, helio-cadmio, helio-selenio o helio-CO₂-N₂; como se muestra en la figura 8. Los átomos que producen la emisión láser son los del neón. El propósito de emplear el helio es producir colisiones entre los átomos de helio y los del gas emisor, para que la energía del choque sea absorbida por los átomos del de éste último, produciendo así el bombeo óptico. A fin de provocar estas colisiones se establece una corriente eléctrica dentro del gas, por medio de dos electrodos.

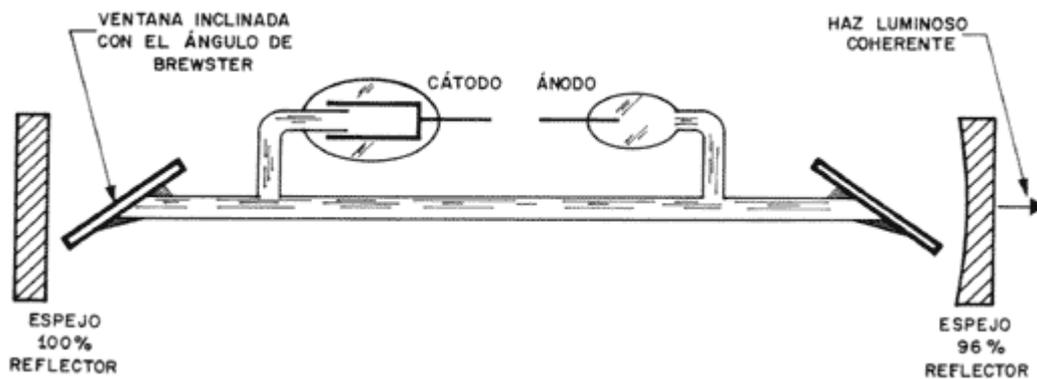


Figura 8. Esquema del láser de gas.

El láser de dióxido de carbono funciona con niveles de energía moleculares en lugar de atómicos. La potencia infrarroja que emite en 10.6 μm es tan alta que puede cortar muy fácilmente una gran variedad de materiales. Por ello, sus aplicaciones industriales son muy grandes

Una segunda categoría de láseres de gas son los de gas ionizado, por ejemplo, los de argón y kriptón ionizados. Estos láseres requieren de una intensidad de corriente muy grande, del orden de amperios, para poder ionizar el gas y producir la inversión de población. La corriente tan alta impone muchas restricciones de tipo práctico que no tienen los otros láseres. Por ejemplo, es necesario el enfriamiento por agua, y el tubo debe tener una construcción muy complicada y especializada. Además, la vida de estos láseres es corta,

MEMORIA DESCRIPTIVA

comparada con la de los otros láseres de gas. A cambio de estas desventajas, la potencia es bastante mayor.

b) *Láseres sólidos*. Se entiende por láser sólido aquel en el que el medio activo es sólido. Esto incluye a los semiconductores, llamados también de estado sólido. El cuadro 2 muestra algunos de los principales láseres sólidos.

CUADRO 2. Algunos láseres sólidos

<i>Sistema</i>	<i>Elemento activo</i>	<i>Región espectral</i>	<i>Forma de operación</i>	<i>Potencias típicas</i>
rubí	romo	Rojo, 694.3 nm	pulsada	---
Nd ³⁺ YAG	neodimio	Infrarrojo, 1.06 μm	continua o pulsada	1-100 W
Nd-vidrio	neodimio	Infrarrojo	pulsada	---
Ga-As	arsenuro de Galio	Infrarrojo, 0.84 μm	continua o pulsada	1-50 W
Semiconductor	silicio	Infrarrojo, 0.6-0.9 μm	continua o pulsada	0.5-25 W

El láser de rubí, se compone de una barra de rubí rodeada de una lámpara de xenón en forma de hélice. Los extremos de la barra de rubí son recubiertos con películas reflectoras, para que actúen como espejos. El bombeo óptico de los átomos de cromo del rubí se efectúa mediante una descarga

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

luminosa muy intensa proporcionada por la lámpara de xenón, como se muestra en la figura 9.A. El láser entonces emitía una descarga muy rápida e intensa de luz roja. Este tipo de láser no es continuo sino pulsado o intermitente.

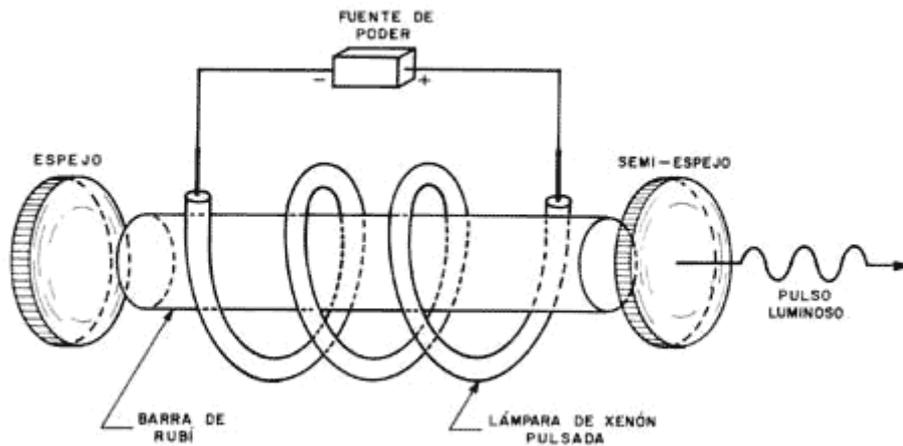


Figura 9.A Esquema del láser de rubí.

El láser de Nd-YAG (del inglés: *Neodimium Yttrium Aluminum Garnet*) tiene como elemento activo el neodimio hospedado en una barra de YAG. Al igual que el láser de rubí, se excita con una lámpara de xenón pulsada.

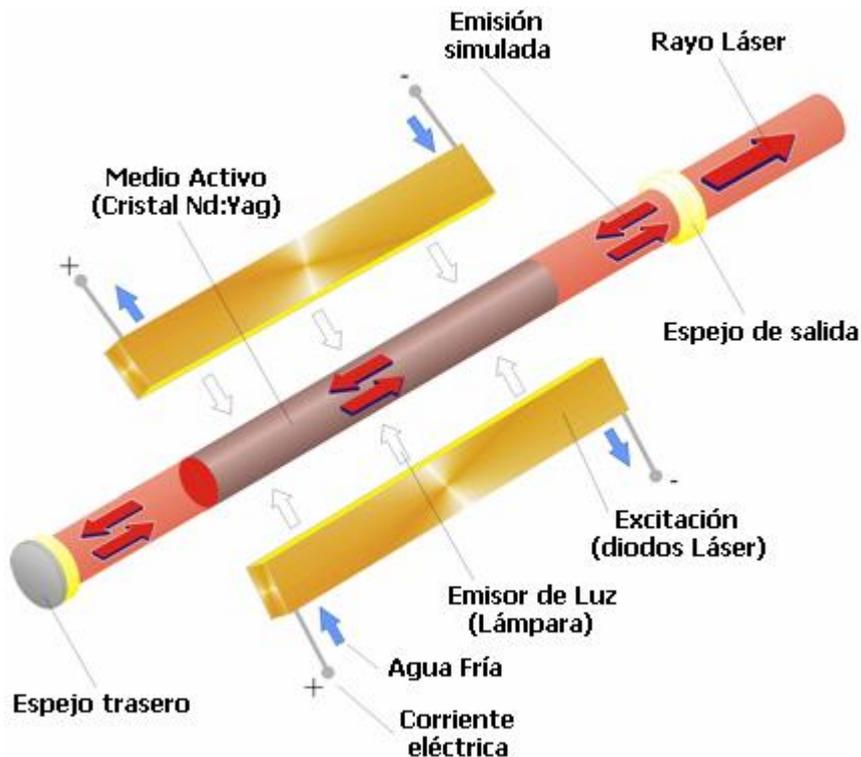


Figura 9.B Esquema del Láser Nd-Yag

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

El haz láser de estos sistemas se transmite a través de fibra óptica, de la forma que se muestra en la siguiente figura :

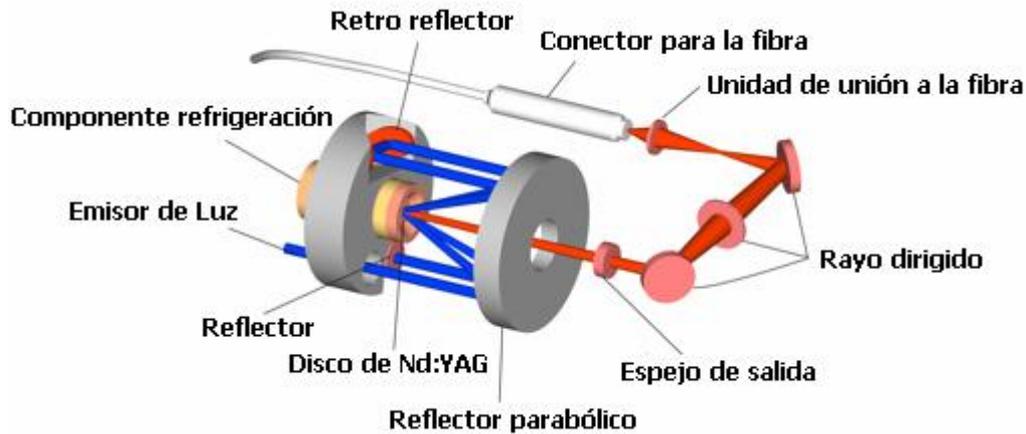


Figura 9.C Esquema de la transmisión del haz Láser en Láseres sólidos

El láser semiconductor; a diferencia de los otros sólidos, se excita con una corriente eléctrica. Este láser puede ser tanto pulsado como continuo; es muy compacto y se puede modular, es decir, transmitir información con él muy fácilmente. El haz luminoso es infrarrojo, con una longitud de onda de 900 nm y tiene forma de abanico al salir del láser, con una divergencia angular de alrededor de ocho grados. Aunque su coherencia no es muy alta, es el dispositivo ideal para comunicaciones por fibras ópticas. Éste es el láser que se usa en los reproductores de sonido a base de discos digitales compactos, y en las lecturas de discos ópticos para computadora.

c) *Láseres Líquidos*. Como su nombre lo indica, en estos láseres el medio activo es líquido y generalmente es un colorante, como la rodamina 6G, disuelta en un líquido.

La gran ventaja de estos láseres es que se pueden sintonizar a cualquier color deseado, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, según el colorante que se use. En cambio, tienen la gran desventaja de que su excitación tiene que hacerse con el haz coherente de otro láser, como el de argón.

4.1.4- Los Láseres en la Industria ^{[2]-[18]}

El hecho de que los láseres de alta potencia, enfocados sobre un punto, puedan perforar o cortar un material sobre el que se enfoquen, los hace sumamente útiles en la industria para una gran diversidad de funciones. Para la mayoría de las aplicaciones industriales se usan solamente cuatro láseres, que son el de dióxido de carbono, el de rubí, el de neodimio en YAG y el de neodimio en vidrio. El de dióxido de carbono y el de neodimio en YAG pueden operar tanto en forma continua como pulsada, mientras que el de rubí y el de neodimio en vidrio sólo pueden operar en forma pulsada. Las principales operaciones básicas que puede efectuar un láser en la industria se pueden clasificar como sigue:

a) *Perforación de agujeros.* La capacidad del láser (debida a su gran coherencia espacial) de poder concentrar la energía en un punto muy pequeño, nos permite perforar materiales. Esta perforación puede ser extremadamente pequeña y en materiales tan duros como el diamante. La potencia necesaria para hacer una perforación depende, como es lógico, del material. Los materiales blandos se pueden perforar con láseres de relativamente baja potencia, como el de dióxido de carbono. Los materiales duros, en cambio, pueden requerir una mayor potencia del haz. En muchos procesos industriales se perfora con láser, y se obtienen perforados más perfectos y rápidos que con medios mecánicos. Una desventaja de los agujeros hechos con láser es su forma generalmente cónica.

b) *Corte de materiales.* Si el haz enfocado del láser se mueve con respecto al material, en lugar de producir solamente un agujero, hace un corte. Tanto en el caso de los agujeros como en el de los cortes es necesario que la energía luminosa no sea reflejada, sino absorbida por el material. Los materiales ideales para ser cortados con láser son las telas, plásticos, algunos

MEMORIA DESCRIPTIVA

materiales sintéticos, ciertos metales, fibras, pieles y otros similares. La madera no es un material adecuado, debido a que sus orillas se carbonizan.

c) *Marcas y grabados.* Si se controla la potencia del láser y la velocidad relativa del punto donde se enfoca la luz sobre el material, se pueden grabar materiales en su superficie sin cortarlos. Los fabricantes de circuitos integrados usan láseres para grabar sobre las obleas de silicio con las que se fabrican estos dispositivos.

d) *Soldaduras.* Si la potencia del láser se selecciona de tal manera que el material no se volatilice, sino que sólo se funde, no se producirá ningún corte, sino tan sólo una fusión local. De esta manera se pueden soldar piezas metálicas. En el caso de las soldaduras de microcircuitos, este método aumenta la velocidad y confiabilidad de la unión soldada en varios órdenes de magnitud. Una ventaja de los alambres que tienen barniz aislante es que se limpian y sueldan en una sola operación.

Además de la aplicación de los láseres en la industria, hoy día también se emplean en gran medida en sectores como el de la medicina (para distintas cirugías y cicatrizaciones), en instrumentos de medida (en astronomía, en topografía o en Control de Calidad), en telecomunicaciones debido a que la gran monocromaticidad y la direccionalidad del haz láser le confieren unas importantes propiedades para la comunicación; y en investigación científica, en donde el láser es una herramienta muy útil, usada cada vez con mayor frecuencia.

4.1.5- Mecanizado Láser^[1]

Cualquier tipo de procesado láser de un material está relacionado con la absorción de la energía proporcionada por un haz láser sobre la pieza de trabajo, energía que una vez absorbida es transferida en forma de calor al resto del material. Resultan, por lo tanto, de vital importancia las propiedades de absorción óptica y de transmisión de calor del material, ya que son, junto a los parámetros de operación del láser, las que van a regir el proceso de mecanizado láser. Las propiedades del material son homogéneas y constantes para el caso de materiales con una única fase, como son los metales y otros materiales tradicionalmente usados en aplicaciones estructurales, pero en materiales compuestos como la fibra de carbono o de vidrio, en los que la dirección de las fibras puede variar en función de la posición, son heterogéneas, siendo éste un problema añadido para la caracterización del proceso, tal y como se considera en el capítulo 1 de la Memoria de Cálculo. Tras la absorción de la energía láser, ésta es transferida al material en forma de calor, influyendo la conductividad térmica y calor específico del material en este proceso.

El proceso de corte y/o perforado, requiere producir fusión y vaporización del material. Una vez que la superficie alcanza la temperatura de fusión, se propaga en el interior del material la interfase líquida; si se continúa el aporte de radiación al material, el material inicia la vaporización y se comienza a crear un agujero. En algunos casos, dependiendo de la naturaleza de la radiación puede producirse la formación de un plasma, que se desarrolla en la dirección del eje del haz láser.

Los equipos láser adecuados para el perforado tradicional son los que presentan capacidad para producir la fusión y vaporización del material que lo recibe, retirándose sin presentar interacción alguna con el haz láser y apareciendo la vaporización de forma continua en la superficie de la que se

MEMORIA DESCRIPTIVA

retira el material mientras que el haz láser incide en el fondo del agujero que se realiza. En estos procesos, antes de que ocurra la vaporización, debe aparecer material fundido, pero debido a la alta velocidad con la que ocurre la vaporización, no hay tiempo para fundir un exceso de material, por lo que el proceso dominante es la vaporización y el efecto del material fundido resulta prácticamente insignificante. Tras alcanzar la superficie la temperatura de vaporización, el láser continúa aportando energía, que es la que suministra para superar el calor latente de vaporización del material, retirándose el mismo en forma de vapor, obteniéndose como resultado el mecanizado del material por parte del haz láser.

La aparición de plasma en el proceso se da cuando se utilizan equipos láser con una potencia de pico elevada, en contra de que pudiera pensarse que una mayor potencia incrementaría el material retirado. Elevadas potencias provocan la vaporización de una pequeña cantidad de material de la superficie y calientan esta fracción vaporizada a una temperatura más elevada. Entonces el material se ioniza ligeramente y absorbe ahora parte de la radiación incidente, lo que calienta más, si cabe, el vapor generado, produciéndose de nuevo un aumento de la temperatura iniciándose un proceso retroalimentado. Aparecen, por tanto, nuevos procesos físicos de mayor importancia a medida que aumenta el flujo de potencia irradiada sobre el material.

De forma somera, el proceso que tiene lugar es el siguiente: en el inicio del pulso, el material comienza a vaporizarse, siendo calentado e ionizado por el láser, formando un plasma caliente, absorbente e ionizado que absorbe prácticamente la totalidad de la radiación láser incidente sobre el mismo. En este punto, la superficie queda cubierta por el plasma, por lo que a la misma no llega radiación incidente y la vaporización se detiene. En momentos posteriores del pulso, el plasma se expande y es transparente a la radiación láser, por lo

MEMORIA DESCRIPTIVA

que esta radiación puede alcanzar de nuevo la superficie del material vaporizando una porción del mismo.

Si se aumenta la densidad de potencia sobre el material a valores extremos, aparecen nuevos fenómenos físicos dominados por los efectos inducidos por el plasma que se hacen de especial importancia en el proceso. Así, la superficie sólida desaparece con rapidez y se genera el plasma, apareciendo efectos físicos de oscilaciones colectivas en la carga de las partículas presentes en el plasma.

Este tipo de efectos presenta utilidad en aplicaciones de fusión termonuclear asistida, pero no son de importancia en aplicaciones industriales de mecanizado de materiales.

En la figura 10 se muestra el proceso dominante de los descritos anteriormente según el nivel de flujo de potencia y de la longitud de onda.

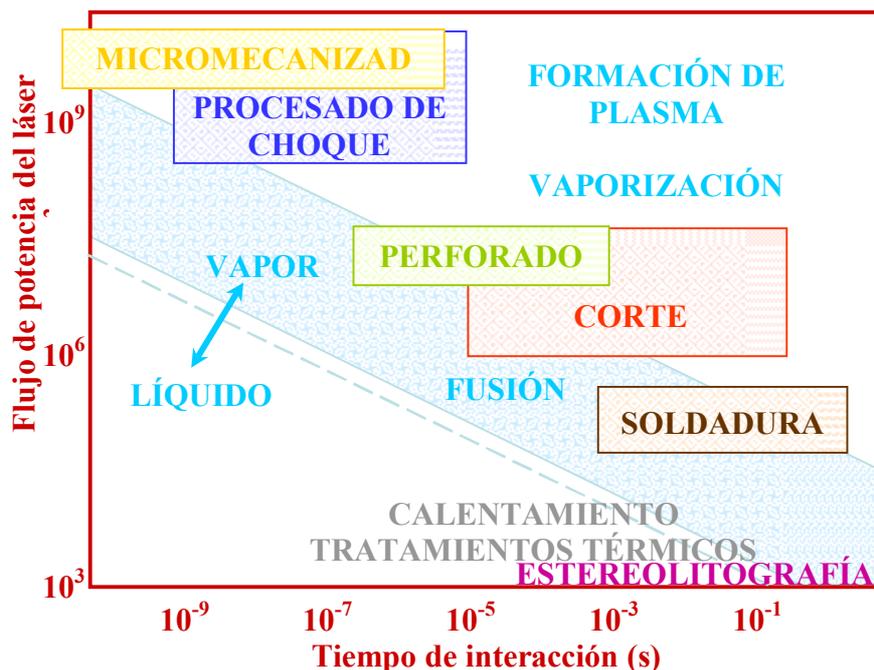


Figura 10. Resumen de las posibilidades del mecanizado láser en función del tiempo de interacción y la densidad de potencia(no se tiene en cuenta el material mecanizado)

MEMORIA DESCRIPTIVA

En la figura se diferencian varias regiones de interacción material-láser y sus posibilidades de aplicación, regiones que no son exactas, sino que sufrirán pequeñas modificaciones en función del material tratado y tipo de láser:

- En la región denominada "calentamiento" la superficie se calienta por debajo de la temperatura de fusión del material, lo que puede ser aprovechado para tratamientos térmicos.
- En la región de "fusión", en cambio, se obtienen profundidades variables de material fundido. De este modo, a la izquierda de esta zona la penetración del frente fundido es menor, debido a un menor tiempo de interacción material-láser, por lo que se funde una pequeña capa de material y el efecto de calentamiento se disipa rápidamente por el material.
- En la zona de la derecha, en el extremo derecho de la zona marcada como "soldadura", la dispersión térmica es excesivamente elevada, por lo que se pierde el efecto de calentamiento localizado y no es posible realizar soldaduras.
- En la zona superior a la zona de fundido comienza la vaporización y la retirada de material es importante. En esta zona se encuentran las regiones de "corte" y "perforado", apareciendo la formación de plasma que absorbe la energía suministrada por el láser.

En la mayoría de las aplicaciones de procesado láser que se muestran en el gráfico, el factor determinante es el efecto térmico de la energía radiante proporcionada por el láser. De forma gráfica, las diferencias entre el proceso de

MEMORIA DESCRIPTIVA

corte, donde predomina el efecto de transmisión de calor, y el de plasma, es el que mostramos a continuación :



Figura 11. Efectos de corte o perforado mediante láser sobre el material. (Transmisión de Calor)

Observamos con claridad los diferentes efectos inducidos sobre el material en función del tipo de láser y del proceso realizado. En el primero de los casos, los daños introducidos en el material pueden ser excesivos, pero los espesores mecanizados son más elevados.

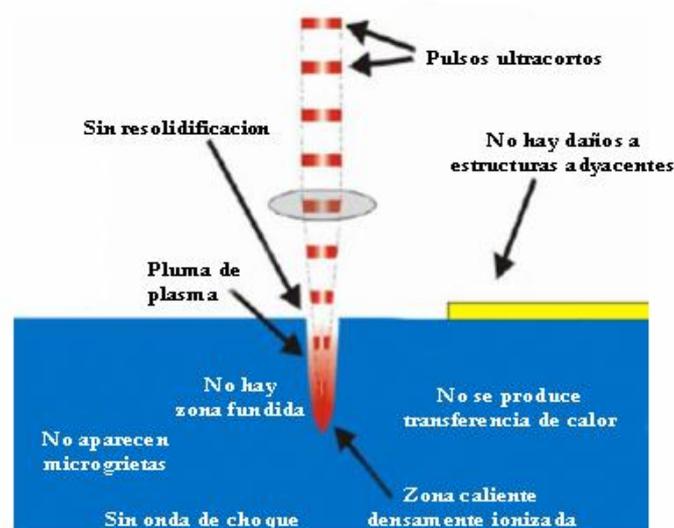


Figura 12. Efectos de micromecanizado sobre el material.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Por último, nos queda la retirada del material, siendo éste uno de los factores determinante en la calidad final que se obtiene del mecanizado láser cuando se provoca la fusión y vaporización del material, ya que en el caso de generación de plasma, es el propio plasma el que realiza esta función. Para la fusión y vaporización, pueden diferenciarse dos casos: el perforado y el corte del material

En el caso del perforado, no todo el material que se retira lo hace en forma de vaporizado. Cuando se inicia la producción de un agujero, el vapor aumenta su presión y provoca un flujo de materia hacia la apertura del cráter. Este flujo puede arrastrar material fundido que se redeposita en la superficie próxima a esta apertura. Así, una limitación reside en la recondensación de material en las proximidades del cráter inicial, resultante en un reborde en esta zona. Esto se debe a que material vaporizado y retirado puede recondensar debido al enfriamiento que sufre en el momento de ser retirado de la zona caliente del proceso. Estos rebordes pueden ser retirados *a posteriori*, pero implica la introducción de un nuevo paso en el proceso, representando un grave problema en aplicaciones en las que resulta necesario obtener como resultado un agujero de bordes limpios en la zona superficial de los mismos

Para el corte láser, el objetivo es vaporizar el material tan rápidamente como sea posible, para conseguir así una extensión reducida de la zona afectada por el calor y una mínima distorsión del material, para lo que se usa en la mayoría de las aplicaciones un flujo de gas coaxial con el láser que juega un importante papel, ya que suministra una fuerza mecánica determinante para la retirada del material de la zona de corte y refrigera esta zona mediante convección forzada. Este gas de aporte puede ser reactivo (como el oxígeno) o inerte con respecto al material mecanizado.

4.2.-Materiales a mecanizar

Los materiales a procesar por nuestro sistema láser se corresponden a materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio), debido al elevado factor de consumo y mecanizado existente en las industrias del entorno de la Bahía de Cádiz.

A continuación veremos brevemente las características principales de cada uno de ellos.

4.2.1.-Fibra de Carbono ^{[5]-[9]}

Se denomina fibra de carbono a un material compuesto no metálico de tipo polimérico. Está compuesto por una matriz (parte del material llamada fase dispersante que da forma a la pieza, también llamada resina, en el caso que nos lleva, epoxi) que contiene un refuerzo (o fase dispersa) a base de fibras, en este caso de carbono.

Es un material muy caro, de propiedades mecánicas elevadas y ligero. Es un caso de metonimia, en el cual se le da al todo el nombre de una parte, en este caso el nombre de las fibras que lo refuerzan.

Al tratarse de un material compuesto en la mayoría de los casos ,aproximadamente un 75%, se utilizan polímeros termoestables. El polímero es habitualmente resina epoxi, de tipo termoestable aunque otros polímeros, como el poliéster o el viniléster también se usan como base para la fibra de carbono aunque están cayendo en desuso.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Las propiedades principales de este material compuesto son:

- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.
- Buenas propiedades ignífugas.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados en fibra de carbono se deben a varios factores:

- El refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura, entre 1100° y 2500°C, en atmósfera de hidrógeno durante semanas o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra.
- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave.

Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, dónde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. También se está haciendo cada vez más común en otros artículos de consumo.

NOTA: Los valores de las propiedades de las fibras de vidrio a mecanizar se muestran en el capítulo 1 de la Memoria de Cálculos, en el apartado específico de la Fibra de Carbono.

MEMORIA DESCRIPTIVA

4.2.2.-Fibra de Vidrio ^{[6]-[9]}

La Fibra de vidrio en sí, es vidrio en forma de filamentos. Los filamentos pueden ser hechos con diversos tipos de vidrio, designados con las letras A, E, C, AR y S. Los más comúnmente utilizados para refuerzo de productos son los tipos E (eléctrico), AR (Alcali Resistente) y C (con resistencia química)

El proceso mediante el cual se producen los filamentos de vidrio es el siguiente, en un reactor son incorporados todas las materias primas finamente divididas en forma de polvo, donde son fundidas. El vidrio fundido fluye a través de canales que tienen gran cantidad de pequeños hoyos. El vidrio fundido sale desde estos hoyos como un filamento continuo. Estos filamentos continuos pasan sobre un aplicador que les impregna con un cubrimiento químico (ó apresto) el cual le dará características especiales para su procesamiento posterior. Este apresto aumenta la habilidad del vidrio para adherirse a otros materiales y es muy importante para determinar la calidad del material. Los filamentos así tratados son curados en estufas para terminar su procesamiento.

Propiedades de las distintas fibras de vidrio:

Propiedad	E	C	S	R
Gravedad específica	2,56	2,45	2,49	2,58
Resistencia a tracción de la fibra GN/m ²	3,6	-----	4,5	4,4
Punto ablandamiento °C	850	690	-----	990
Conductividad térmica W/m °C	1,04			
Índice de Refracción	1,545	1,549		
Módulo de Young de elasticidad GN/m ²	75,9	-----	86,2	84,8

MEMORIA DESCRIPTIVA

Mientras que la fibra de vidrio, entendiéndose como el conjunto matriz-fibra, es la resultante de mezclar la malla de vidrio con una resina epoxi, la cual inicialmente es líquida para luego solidificar y mantener la forma final o aquella adquirida del molde. Para que la resina solidifique en un periodo de tiempo determinado, se acelera la reacción química mediante el uso de un catalizador o acelerador (Peróxido de Metil-Etil-Cetona). Sin embargo, el catalizador es altamente tóxico, volátil y reactivo por lo cual es necesario extremar las medidas de seguridad durante su uso.

Las características de la fibra de vidrio son:

- Excelente aislante térmico
- Inerte a muchas sustancias incluyendo los ácidos
- Gran maleabilidad
- Altamente resistente a la tracción

Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales. Las características del material permiten que la Fibra de Vidrio sea moldeable con mínimos recursos

4.2.3.-Aluminio y sus aleaciones ^{[7]-[9]-[11]}

El aluminio es un metal ligero , blando pero resistente, de color blanco brillante. Su densidad es aproximadamente un tercio de la del acero o el cobre. Es muy maleable y dúctil y es apto para el mecanizado y la fundición. Debido a su elevado calor de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación proporcionándole resistencia a la corrosión y durabilidad.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Su ligereza, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y bajo punto fusión le convierten en un material idóneo para multitud de aplicaciones, especialmente en aeronáutica, de ahí que se haya seleccionado como material a mecanizar, en la industria aeronáutica se usan principalmente tres aleaciones de Aluminio : 2024-O , 2024-T3 y 7075-O , cuyas composiciones son :

2024-O

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	90.7-94.7	Mg	1.2 - 1.8	Si	Max 0.5
Cr	Max 0.1	Mn	0.3 - 0.9	Ti	Max 0.15
Cu	3.8 - 4.9	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

2024-T3

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	90.7 - 94.7	Mg	1.2 - 1.8	Si	Max 0.5
Cr	Max 0.1	Mn	0.3 - 0.9	Ti	Max 0.15
Cu	3.8 - 4.9	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

7075-O

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	87.1 - 91.4	Mg	2.1 - 2.9	Si	Max 0.4
Cr	0.18 - 0.28	Mn	Max 0.3	Ti	Max 0.2
Cu	1.2 - 2	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	5.1 - 6.1
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

4.2.4.-Titanio ^{[8]-[9]-[11]}

El titanio sólo es soluble en ácido fluorhídrico y en ácidos en caliente como el sulfúrico; en ácido nítrico no es soluble ni en caliente. El metal es extremadamente frágil en frío, pero es muy maleable y dúctil al rojo vivo moderado. Tiene un punto de fusión de 1.660 °C, un punto de ebullición de 3.287 °C y una densidad relativa de 4,5.

El titanio arde con oxígeno a 610 °C formando dióxido de titanio, y con nitrógeno a 800 °C formando nitruro de titanio (TiN), de aquí que no podamos emplear nitrógeno para la creación de nuestra atmósfera inerte, ya que la superficie del Titanio, mayor temperatura de 800 °C reaccionaria con nuestro gas de aporte, de aquí la selección del Argón como gas inerte a aportar.

Debido a su resistencia y su peso ligero, el titanio se usa en aleaciones metálicas y como sustituto del aluminio. Se utiliza en los aviones para fabricar las puertas de incendios, la capa exterior, los componentes del tren de aterrizaje, el entubado hidráulico y las protecciones del motor. Los álabes del compresor, los discos y los revestimientos de los motores a reacción también están hechos de titanio. El titanio se usa ampliamente en misiles y cápsulas espaciales.

La relativa inercia del titanio le hace eficaz como sustituto de los huesos y cartílagos en cirugía, así como para las tuberías y tanques que se utilizan en la elaboración de los alimentos. Se usa en los intercambiadores de calor de las plantas de desalinización debido a su capacidad para soportar la corrosión del agua salada. En metalurgia, las aleaciones de titanio se usan como desoxidantes y desnitrógenantes para eliminar el oxígeno y el nitrógeno de los metales fundidos.

5.-JUSTIFICACIÓN

El mecanizado de los materiales que son objeto de estudio en el presente proyecto (resinas epoxi reforzadas con fibra de carbono o de vidrio, y los metales aluminio y Titanio) en la industria actual, y mas concretamente, en el sector aeronáutico y naval presente en la zona de la Bahía de Cádiz, requiere de un procesado lento y costoso, debido principalmente a que las zonas dañadas durante el procesado han de ser mínimas, del orden de 200 μm para la fibra de carbono y de 500 μm para el resto de materiales.

A su vez se debe tener en cuenta el hecho de la incompatibilidad de las herramientas tanto para distintos materiales como para distintos espesores de un mismo material, desde unos pocos milímetros hasta un par de centímetros; requiriendo, por tanto, cada material unos útiles de mecanizado muy específicos para cada situación en concreto. A lo que hay que añadir el gran desgaste que sufren dichas herramientas en el proceso de mecanizado de los materiales, debido al gran comportamiento mecánico de los mismos.

Considerándose estos factores, un mecanizado láser que produzca unas zonas dañadas menores que las requeridas, y con un sistema capaz de adaptarse a distintas situaciones de una forma dinámica y eficaz es una opción de un gran atractivo; ya que, además de ser una operación de proceso dinámica, capaz de adaptarse a distintos materiales y espesores de una forma sencilla y que requiere un tiempo mínimo, presenta otras ventajas, como son la durabilidad de la herramienta de mecanizado, ya que no se produce desgaste de las mismas al mecanizarse el material de una forma que no perturba la funcionalidad del sistema (no se produce contacto directo entre las partes mecánicas del sistema láser con el material a procesar).

MEMORIA DESCRIPTIVA

Además, presenta la gran ventaja de que las piezas mecanizadas no requieren un proceso posterior de adecuación para ser usadas, ya que el mecanizado láser al contrario de lo ocurrido con el mecanizado por contacto, nos ofrece como resultado unas superficies procesadas de gran homogeneidad.

La velocidad de operación del sistema láser es superior a la de mecanizado a través de herramientas por contacto, lo que conlleva un importante ahorro de tiempo, con las consecuentes ventajas tanto económicas como competitivas que ello representa.

Finalmente, en una industria cada vez más restrictiva con la calidad de sus elementos, en donde se persigue la minimización de los daños en el material, presenta la gran ventaja de que un sistema láser de estas características de versatilidad, puede obtener resultados aún mejores que los actuales, realizándose una serie de modificaciones sobre el sistema de partida, que no requerirían un elevado coste de inversión.

6.-DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS

6.1.- Sistema Láser

6.1.1.-Emisor Láser ^[10]

Las especificaciones técnicas del emisor láser seleccionado que nos proporciona los requisitos exigidos en el procesado de nuestros materiales, son:

	Emisor Nd:YAG
Excitación	Diodos Láser
Potencia de Salida (@collimator)	1200 W
Producto parámetro del Rayo	≤ 8 mm*mrad
Potencia de consumo	10 KW
Número de Discos	1
Diámetro de Fibra [NA=0.12]	150 μ m
Punto Focal	150 μ m
Tiempo de vida media	>10000 horas
Eficiencia Global del equipo	20%
Transmisión en fibra óptica	>100 m
Porcentaje de absorción	0.12 %/m

6.1.2.-Cabezal Láser ^{[9]-[14]}

El cabezal Láser diseñado en el presente proyecto presenta una gran versatilidad para adaptarse al mecanizado de distintos materiales, así estará compuesto por una estructura común para cualquier procesado a realizar, y otra que será adaptable según las características requeridas en la operación.

A su vez, una vez realizado el montaje entre las partes, presentará una estructura homogénea y compacta lo que facilitará tanto su manejo como su mantenimiento. Debido a la presencia de rosca como método de ensamble entre la partes se ha seleccionado un material inoxidable que no se degrade fácilmente con el tiempo y presente una alta resistencia al desgaste por el uso.

Por tanto, nuestro cabezal, estará totalmente fabricado en acero inoxidable ASTM A 351 gr. CF8M, presentando todos los componentes del

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

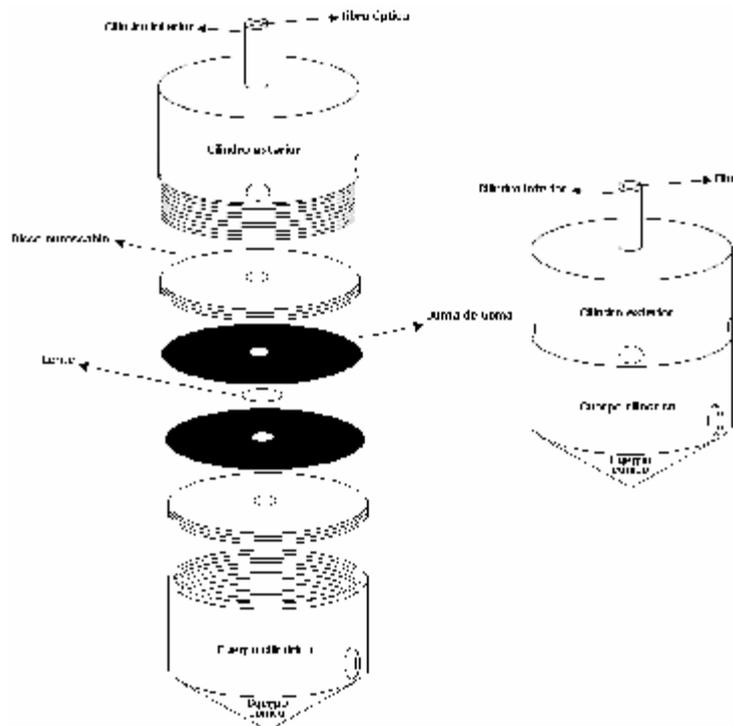
MEMORIA DESCRIPTIVA

cabezal un espesor de 3 mm, incluyéndose en el mismo los cabezales superior e inferiores, los discos enroscables y el resto de componentes. A excepción de los discos de teflón, que serán, evidentemente, de dicho material. Las propiedades principales de dicho acero son :

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
C	Max 0.08	Mn	Max 1.5	P	Max 0.04
Cr	18 - 21	Mo	2 - 3	S	Max 0.04

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	Min 485 MPa	Min 70300 psi
Resistencia a la Tensión	Min 205 MPa	Min 29700 psi
Elongación y Rotura	Min 30 %	Min 30 %

Como acabamos de indicar, la unión entre la parte fija y las intercambiables se realiza a través de una unión roscada, siendo estas uniones roscadas de tipo fino y presentando un paso de 1.25mm, tal y como se muestra en la figura adjunta (Ver el capítulo 4 de la Memoria de Cálculos para más detalle) :



6.1.3.-Fibra óptica ^[10]

La fibra óptica seleccionada para la transmisión del haz láser del emisor al cabezal, será la determinada por el propio fabricante del emisor, en nuestro caso de 150 μm de diámetro y presentará una longitud de 100 m, ya que como vimos en el primer de éste apartado, el fabricante indica la posibilidad de transmitir el haz a través de la fibra óptica una distancia superior a 100 m.

El porcentaje de absorción que presenta la fibra óptica con respecto a la potencia del láser es del 0.12% por metro lineal, que será tenido en cuenta en nuestros cálculos de cara al cálculo de la potencia efectiva de nuestro sistema láser.

Finalmente indicar que la fibra óptica seleccionada , presentará una capa de protección con el fin de proteger el filamento óptico de los desplazamientos que presentará el cabezal, por lo que su diámetro exterior será de 5 mm.

6.1.4.- Lentes ^[17]

La lentes requeridas por nuestro sistema láser serán dos, una plana para evitar la dispersión del haz láser en los casos de mecanizar los materiales fibra de vidrio, aluminio y titanio; y otra de carácter convergente, con la finalidad de focalizar el haz láser de forma que alcancemos las condiciones de formación de plasma para el procesado de la fibra de carbono.

La lente plana, existen infinidad de modelos en el mercado, seleccionaremos aquella que sea capaz de resistir nuestras condiciones de operación, es decir 3.5 bar de presión y una temperatura de trabajo de superior a 580 °C, presentando un porcentaje de absorción del haz láser (1064 nm) igual o menor al 0.1%.

MEMORIA DESCRIPTIVA

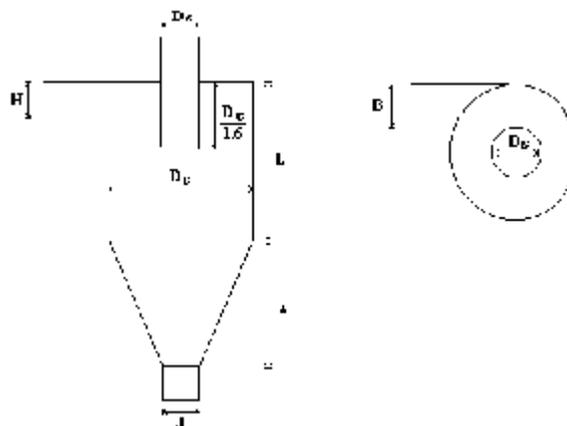
La lente de carácter convergente, será una lente esférica o Axicon, que nos proporcionará una focalización en un punto muy localizado (necesario para alcanzar el estado de plasma) , al igual que en el caso anterior esta lente soporta presiones superiores a 3.5 bar y una temperatura de operación del orden de 580 °C sin perder sus propiedades mecánicas u ópticas. La distancia de focalización será de 50 mm. Como apunte, debemos resaltar que este tipo de lentes se realiza comúnmente por encargos, por lo que no existe inconveniente en encontrar una que se ajuste a nuestro sistema.

6.2.-Sistema recogida de polvo

6.2.1.-Ciclón ^{[9]-[14]}

Los equipos de recolección de polvo usados con mayor frecuencia en la industria son los ciclones y los filtros. Aunque éstos últimos, presentan el inconveniente de que se colmatan y de que operan en discontinuo, a lo que hay que añadir el alto coste que presentan los existentes actualmente para partículas de tamaño tan pequeño; por lo que seleccionaremos un ciclón como sistema de recogida, ya que además de operar en continuo, el mantenimiento que requieren es menor, así como su coste.

El ciclón se realizará en un acero A285 grado C, con 7.3 mm de espesor en todos sus componentes, y con unas dimensiones de : (Ver capítulo 2 de la M. de Cálculos)



Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

$$L = 2 \cdot D_C = 0.1376 \text{ m} \quad Z = 2 \cdot D_C = 0.1376 \text{ m} \quad D_S = 0.5 \cdot D_C = 0.0344 \text{ m}$$

$$J = 0.25 \cdot D_C = 0.0172 \text{ m} \quad B = 0.0172 \text{ m} \quad H = 0.5 \cdot D_C = 0.0344 \text{ m}$$

Presentando el acero A285C Grado 60, las siguientes características:

Componente Peso %

C	Max 0.28
Fe	Min 98.75
Mn	Max 0.9
P	Max 0.035
S	Max 0.035

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	385-515 MPa	55100-74700 psi
Resistencia a la Tensión	126 MPa	18300 psi
Elongación y Rotura	27 %	27 %

6.2.2.- Bomba de Vacío ^[12]

Emplearemos una bomba de vacío rotativa de paletas sin aceite, al ser ésta una sencilla construcción con un eje y propulsión directa, conduce a un principio de funcionamiento robusto y duradero con el mínimo coste de mantenimiento y servicio. En cuanto a sus datos técnicos, los pasamos a indicar a continuación:

- Caudal nominal de la bomba : 10 m³/h a 50 Hz
12 m³/h a 60 Hz
- Presión de vacío : 150 mbar (15000 Pa)
- Potencia nominal de la bomba : 0.37 Kw (50 Hz) – 0.45 (60 Hz)
- Velocidad de rotación : 1420 rpm (50 Hz) – 1700 rpm (60 Hz)
- Peso : 16 Kg
- Nivel Acústico : 60 dB (50 Hz) – 62 dB (60 Hz)
- Voltaje motor: 220 V (50Hz)
- Conexión de Aspiración : G 1/2 "

MEMORIA DESCRIPTIVA

6.2.3- Conexiones ^{[11]-[13]-[19]}

Las conexiones del sistema de recogida de polvo las dividiremos en dos tramos :

1.- Tramo bomba de vacío-ciclón, que estará compuesto por una tubería de PVC trenzada, cuyas características principales serán :

- Diámetro interno : 0.035 m
- Espesor : 3 mm
- Longitud : 4 m

Y cuyas propiedades mecánicas serán :

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Dureza, Rockwell R	107 - 110	107 - 110
Dureza, Shore D	85 - 88	85 - 88
Resistencia a la Tensión, Máxima	76 - 107 MPa	11000 - 15500 psi
Elongación y Rotura	2 - 3 %	2 - 3 %

Para las conexiones con el ciclón será necesario un codo de radio largo de idénticas características dimensionales, mientras que para la conexión con la bomba de vacío, será necesario un maguito reductor, de 21x35 mm; todos ellos con las mismas propiedades mecánicas indicadas en este mismo apartado.

Así mismo las conexiones se realizarán a través de bridas, siendo estas bridas del tipo NW debiendo coincidir los diámetros nominales de la brida con el de la tubería a unir, y siguiéndose en todo su desarrollo la norma ASA B.16.5.

En el punto anterior a la salida del ciclón estará situado un sensor de presión de las siguientes características :

MEMORIA DESCRIPTIVA

Especificaciones	
Tipo de Medida	Presión de Vacío
Rango de presión	0 -15 psi
Presión Máxima	45.0 psi
Voltaje	3.0 Vdc min., 5.0 Vdc typ., 16.0 Vdc max.
Compensación	Si
Calibración de Salida	Si
Terminación	PCB
Sensibilidad típica	0.267 V/psi
Span Escala Completa	4.0 Vdc typ.
Null Offset	0.25 Vdc typ.
Linealidad, Histéresis Error	± 0.5 % Span

2.- Tramo entrada del ciclón : se realizará a través de una tubería de elastómero reforzado, cuyas características principales serán :

- Diámetro interno : 0.035 m
- Espesor : 3 mm
- Longitud : 10 m

Siendo sus propiedades mecánicas :

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Dureza Rockwell M	29	29
Resistencia a la Tensión, Máxima	206 MPa	29800 psi
Resistencia a la Tensión	100 MPa	14450 psi
Elongación y Rotura	200-300 %	200-300 %
Resistencia a Flexión	124 MPa	18000 psi
Resistencia a Compresión	140 MPa	20300 psi

MEMORIA DESCRIPTIVA

En cuanto a accesorios necesarios, se ha de indicar que no se requieren, ya que al tratarse de un material elástico, la conexión con el ciclón se realizará introduciendo la boquilla del mismo en nuestro conducto, siendo luego asegurado a través de una unión bridada simple.

6.3.-Sistema de gas de aporte

6.3.1.-Depósito de argón ^[16]

El depósito de Argón vendrá dado por un bloque de 12 botellas, con el fin de asegurarnos el suministro de gas de aporte durante el mayor tiempo de operación posible, utilizando un depósito comercial fácilmente disponible en cualquier suministrador de gases industriales. Dicho bloque de botellas presentará las siguientes características :

Bloques de botellas 12 x 50

Volumen botellas litros	Medidas Alto x Ancho x Largo mm	Peso total aprox. llenos kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido m ³ Gas
600	1.260 x 800 x 1.800	1.206	200	126

Conexión: Válvula de la botella: macho W 21,7 x 1/14" MIE-AP 7
Bloques: macho M 30 x 2

Como vemos la conexión del bloque de botellas viene dado por una conducción de 2 " de diámetro externo, y un diámetro interno de métrica 30.

6.3.2.-Conexiones y válvulas ^{[14]-[15]-[19]}

Dividiremos el sistema de tuberías en tres tramos diferentes:

1.- Tramo bloque de botellas-manorreductor : formado por una tubería de 30 de número de diámetro, un diámetro exterior de 42.2 mm y un espesor

MEMORIA DESCRIPTIVA

de 6.35, de 2 m de longitud realizada en acero A-515 grado 60. Siendo las características de este acero:

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
C	0.18 - 0.23	Mn	0.7 - 0.9	P	Max 0.035
Cr	0.4 - 0.6	Mo	0.15 - 0.25	S	Max 0.04
Fe	96.9 - 98.02	Ni	0.4 - 0.7	Si	0.15 - 0.35

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	427 MPa	62000 psi
Resistencia a la Tensión	138 MPa	20000 psi
Elongación y Rotura	12 %	12 %

A su vez presentará una válvula automática de cierre con la finalidad de bloquear el sistema cuando lo requiera el proceso. Escogeremos una de cierre todo/nada en donde su diseño las hace especialmente aptas para producir un cierre total y, por sus características, deben estar en posición completamente abierta o cerrada, no siendo aconsejable su funcionamiento en posiciones intermedias. La válvula seleccionada es modelo H22, serie 20 de cuerpo de acero inoxidable de una presión máxima de 220 bar, un tiempo de respuesta comprendido entre 4 y 16 milisegundos.

2.- Tramo manorreductor-conexión con elastómero: con una conducción normalizada de diámetro exterior de 17.1 mm y un espesor de 1.65 mm. Quedando un diámetro interior de 13.8 mm (0.55 "). También realizada en acero A-515 grado 60 y presentando una longitud de 4 m. En el que se habrá incorporado un sensor de presión modelo TP1 de AEP de cuerpo y membrana de acero inoxidable resistente a corrosión y con las siguientes características :

- Linealidad: $\pm 0,20$ %.
- Rango: 75 bar.
- Señales de salida: 4.20 mA, 0.10 V, 0.5 V.
- Alimentación: 24 Vdc, otros valores disponible.

MEMORIA DESCRIPTIVA

- Protección: hasta IP65, para su utilización en ambientes industriales severos.

3.- Elastómero reforzado : compuesta por tubo flexible de material sintético PU reforzado con tejido, que soporta hasta una presión de -0.95 a 10 bar con diámetro externo de 17.3 mm y el interno de 13.4 mm.

Las uniones entre los diferentes tramos de tuberías se realizarán a través de bridas, siendo estas bridas del tipo NW debiendo coincidir los diámetros nominales de la brida con el de la tubería a unir, y siguiéndose en todo su desarrollo la norma ASA B.16.5. Excepto en las uniones del manorreductor con las tuberías, en donde los fabricantes ofrecen un amplia gama de conectores para casi todas las tuberías normalizadas (como son las de nuestro caso) que proveen de nuestro sistema de unas conexiones estables y seguras, adecuadas a la válvula manorreductora seleccionada. En nuestro caso se trata de un manorreductor con caudalímetro, destinado a presiones de entrada de 200 bares, de 3.5 bar de salida y conexión según MIE-APQ 7, con accesorios para adaptarlo a nuestro sistema de conducciones en concreto.

7.- MATERIAS PRIMAS

7.1.-Argón ^[15]

Debido a la necesidad de crear una atmósfera inerte en la zona de mecanizado del material, será necesario el aporte de Argón como materia prima. La creación de dicha atmósfera es necesaria, debido a que los materiales en la zona procesada, al ésta ser tan puntual y tratarse con una potencia láser necesaria para producir la evaporación del mismo, alcanzan temperaturas sumamente altas, mayores de 2000°C, y por tanto se darían reacciones de oxidación y secundarias con los gases atmosféricos, que degradarían las propiedades de nuestros materiales.

Se ha optado por el Argón, debido a que a tan altas temperaturas el nitrógeno gaseoso es reactivo, quedando por tanto invalidado para nuestro proceso, siendo entonces necesario un gas noble de extremadamente baja o nula reactividad.

Finalmente, entre este último grupo se seleccionó el Argón, debido a que además del hecho de extrema importancia de ser el de coste más reducido, presenta otra serie de ventajas, tales como, que no se ha conseguido hacerlo reaccionar químicamente con otros elementos, tan sólo a temperaturas por debajo de los 0°C, forma un hidrato, cuya unión es debida a débiles fuerzas de Van der Waals y no a un verdadero enlace químico, pero sin ser, evidentemente, éste nuestro caso al trabajar nuestro sistema en condiciones totalmente contrarias.

Siendo por tanto la reactividad del Argón nula, como podemos comprobar poniendo como ejemplo algunas sustancias en la tabla adjunta :

MEMORIA DESCRIPTIVA

Con aire:	No reacciona
Con H ₂ O:	No reacciona
Con HCl 6M:	No reacciona
Con HNO ₃ 15M:	No reacciona
Con NaOH 6M:	No reacciona

En cuanto al Argón, podemos decir que es el más abundante de los gases nobles, siendo argón el 0,93% de la atmósfera. Debido a esto, y su naturaleza inerte, se obtiene por destilación fraccionada del aire líquido. El argón es un gas monoatómico, incoloro e inodoro. Siendo sus principales características :

Masa Atómica	39,95 uma
Punto de Fusión	83,96 K
Punto de Ebullición	87,3 K
Densidad	1656 kg/m ³
Conductividad Térmica	0,02 J/m s °C
Conductividad Eléctrica	0,0 (mOhm.cm) ⁻¹
Calor Específico	522,50 J/kg °K
Calor de Fusión	1,2 kJ/mol
Calor de Vaporización	6,5 kJ/mol
Calor de Atomización	0,0 kJ/mol de átomos
Estados de Oxidación	0
1ª Energía de Ionización	1520,5 kJ/mol
2ª Energía de Ionización	2665,8 kJ/mol
3ª Energía de Ionización	3930,8 kJ/mol
Afinidad Electrónica	0 kJ/mol
Radio Atómico	0,88 Å
Radio Covalente	0,98 Å
Volumen Atómico	28,5 cm ³ /mol
Polarizabilidad	1,6 Å ³

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

Seleccionándose para el aporte del Argón un bloque de botellas de las siguientes características :

Bloques de botellas 12 x 50

Volumen botellas litros	Medidas Alto x Ancho x Largo mm	Peso total aprox. llenos kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido m ³ Gas
600	1.260 x 800 x 1.800	1.206	200	126

Conexión: Válvula de la botella: macho W 21,7 x 1/14" MIE-AP 7
Bloques: macho M 30 x 2

Y con una composición de :

Denominación:	Argón 4.5
Pureza:	≥99,995%
Impurezas, ppm/v:	O₂ ≤10 N₂ ≤30 H₂O ≤ 8

8.-MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA

Con el mantenimiento del sistema se pretende preservar y aumentar la vida útil de los equipos de la instalación y a realizar las reparaciones necesarias para su correcto funcionamiento.

Las actividades rutinarias de mantenimiento consistirán en prestar atención a la lubricación, engrases, reposición de niveles, comprobaciones de presiones de operación, comprobación del funcionamiento de las válvulas, bombas, emisor láser, inspecciones de ruido, vibraciones anómalas, etc...

En general se comprobará el buen funcionamiento de todos los elementos que constituyen la instalación. Las actividades planificadas de servicio y reparación se llevarán a cabo con antelación, con el objeto de eliminar toda posible improvisación y disfunciones mediante un programa anual de mantenimiento basado en los históricos y en los costes reales de mantenimiento de cada máquina o instalación productiva.

A continuación, detallaremos el mantenimiento y la forma de operación necesarios en nuestro sistema global, para ello nos referiremos por separado al mantenimiento de cada una de las partes del sistema, dividiéndolo en los tres subsistemas comentados en el punto 3 de la presente Memoria Descriptiva:

- ❑ Sistema láser
- ❑ Sistema de recogida de polvo
- ❑ Sistema de gas de aporte.

8.1.-Sistema Láser

8.1.1.-Emisor Láser

La conservación del sistema láser limpio asegura la más alta calidad de mecanizado. La frecuencia de la limpieza dependerá enteramente del tipo de material que se procese, del desempeño del extractor de aire, del ambiente de trabajo y cuánto se haya usado la máquina en un período de tiempo.

Debemos partir de la premisa de que siempre es necesario apagar el sistema láser y desconectarlo de la corriente antes de hacer cualquier limpieza.

Los materiales de limpieza a emplear serán :

- Solución de jabón consistente en 2 cl de jabón líquido en un litro de agua en una botella con rociador.
- Toallas de papel
- Paño de algodón
- Alcohol desnaturalizado (No se debe usar en superficies pintadas ó plásticos)

Este tipo de emisor tiene una estructura compacta, por tanto no requieren un mantenimiento específico al quedar sus componentes internos bien resguardados dentro de su carcasa exterior (exceptuando el sistema de refrigeración como veremos a continuación), por lo que se actuará como si de un equipo normal se tratase; es decir, evitando tanto el deterioro de su carcasa exterior, como las condiciones que puedan afectar a su funcionalidad, siguiendo las indicaciones indicadas por el fabricante. Por lo que, en principio, tan sólo será necesario un buen mantenimiento en cuanto a limpieza (polvo y oxidación, principalmente) , golpes y con una localización adecuada para el mismo.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Tan sólo será necesario el buen mantenimiento de los filtros de los ventiladores del emisor, que requieren limpiezas periódicas. Como se usa el aire del medio ambiente como refrigerante, el aire debe ser filtrado antes de entrar en el sistema láser, de otra forma se puede acumular polvo y suciedad dentro del sistema de refrigeración y dañarlo. Debido a que los contaminantes reducen la habilidad de enfriado del sistema y esto puede provocar que el tubo se recaliente. Un tubo recalentado pierde potencia durante el procesado y eventualmente deja de funcionar completamente. El tubo láser contiene un mecanismo de seguridad que desactiva el rayo antes de que se dañe. Para quitar los filtros, será necesario desconectar y desenchufar el sistema láser; una vez realizado procederemos a remover los filtros, para lo cual simplemente habrá que retirar el material esponjoso de los mismos y lavarlo con una solución de agua y jabón, posteriormente se procede a su secado, finalmente tan sólo nos queda reponer el filtro en su posición original.

Ya que los requisitos de mantenimiento del sistema láser dependen del tipo de material que se usa, la cantidad de material que se remueve, las horas de operación y la calidad del sistema de recogidas de polvos, el programa de mantenimiento específico lo debe determinar el usuario. Como punto de partida, recomendamos el siguiente programa:

- Cuando sea necesario :Carcasa del emisor.
- Cada mes :Filtros de los ventiladores

Si el sistema permanece relativamente limpio a lo largo del tiempo, se puede extender los intervalos de limpieza. La manutención y limpieza del sistema no debe tomar más de cinco (5) minutos cada día. La operación consistirá en una vez verificado el correcto estado de nuestro sistema, y en caso contrario una vez adecuado, conectar el emisor para que comience su operación.

8.1.2.-Fibra Óptica

Como indicamos en la descripción técnica de los equipos la fibra óptica será la encargada de transmitir el haz láser entre el emisor y el cabezal de nuestro sistema, debido a la movilidad que ha de presentar el cabezal a la hora de mecanizar nuestros materiales será necesario una protección adecuada con el fin de evitar la rotura o degradación de nuestro sistema de transmisión, por lo que se considera oportuno la incorporación a la misma de una capa protectora, por lo que el mantenimiento de la misma será mínimo, simplemente la comprobación del buen estado y continuidad de la misma.

8.1.3.-Cabezales Láser

Tal y como se señala tanto en el capítulo de descripción técnica de los equipos de la presente Memoria Descriptiva, como en el capítulo de diseño de los cabezales de la Memoria de Cálculo, los cabezales estarán realizados en acero inoxidable ASTM A 351 gr. CF8M , con el fin de evitar el deterioro por corrosión del componente del sistema láser. Para el correcto mantenimiento de los cabezales, debemos recordar dos aspectos fundamentales:

1. Se trata de una unión roscada, por lo que se deberá mantener limpias y lubricadas de forma adecuada las zonas enroscables del cabezal.
2. Agrupa componentes ópticos (lentes) por lo que la limpieza de las mismas deberá ser lo más adecuada posible.

Por tanto dividiremos el mantenimiento en estos dos aspectos fundamentalmente, uno mecánico y otro óptico.

En cuanto al mantenimiento mecánico, tanto los cabezales como los discos enroscables entre los cuales se sitúa la lente, deberán estar lo

MEMORIA DESCRIPTIVA

suficientemente lubricados como para el correcto enrosque de las partes; en caso de observarse degradación de alguna de las partes, bien por golpes o corrosión, administrar el tratamiento adecuado para solucionarlo.

En lo referente a los ópticos al menos una vez al día debe hacerse una inspección visual de la lente de enfoque. Es importante que no se limpie un óptico que se encuentre limpio, ya que una limpieza excesiva puede dañarlos. Nunca se deben tocar las lentes directamente con las manos descubiertas, ya que, los ácidos de la misma pueden destruir los revestimientos de los ópticos, causando un daño importante a la lente.

Hay dos formas de limpiar la lente, con un cotonete húmedo o una toalla de lente húmeda.

Para limpiar la lente con un cotonete, es necesario humedecer el cotonete con agua destilada, para posteriormente, deslizarlo suavemente a través de la lente una sola vez. No se debe arrastrar el cotonete o deslizarlo de atrás hacia adelante ya que se puede rayar el óptico. Si la lente no queda limpia, puede repetirse el procedimiento con un cotonete nuevo. Como nota, debemos indicar que no debemos preocuparnos de las pequeñas fibras que salen del algodón y se quedan sobre la lente; ya que se vaporizaran tan pronto como el láser las toque, mientras que se puede causar daño a la lente tratando de retirarlas de la misma.

El otro método es usar un papel limpia lente, para ello se pone una gota de agua destilada en el papel, se toma de un borde y se desliza, si no queda limpio en la primera pasada, se repite el procedimiento con un papel nuevo. No se debe volver a usar el mismo papel otra vez. La limpieza debe realizarse sin presionar la superficie de la lente ya que la puede rayar.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Finalmente, nos queda detallar la forma de operación con el cabezal, siguiéndose siempre el mismo protocolo.

1.- Localizar el cabezal superior y comprobar que está libre, es decir que no se encuentra enroscado a una parte inferior, en caso negativo desmontarlo y recoger las partes de la zona desmontable; comprobar el buen estado del cabezal superior.

2.- Tomar el cabezal inferior y sus distintos componentes (dos discos enroscables, dos juntas de goma y una lente).

3.- Comprobar si el cabezal inferior está ya montado, en caso afirmativo comprobar que su montaje es correcto. En caso de no estar montado o que estuviese incorrecto proceder al montaje de la zona inferior:

- a. Enroscar el primer disco en el interior del cabezal y hasta fin de la rosca.
- b. Situar sobre el primer disco enroscable una junta de goma.
- c. Situar cuidadosamente la lente en el centro de la junta de goma. (comprobándose que se encuentra limpia, en caso contrario limpiarla siguiendo el proceso indicado en este mismo apartado)
- d. Superponer el segundo disco de goma.
- e. Enroscar el segundo disco enroscable, hasta que el apriete sea suficiente como para el correcto soporte de la lente.

4.-Enroscar el cabezal inferior en el superior y hasta final de rosca.

8.2.-Sistema de recogida de polvo

Al igual que en el capítulo anterior procederemos al estudio del mantenimiento y operación del sistema de recogida de polvo atendiendo a sus componentes :

8.2.1.-Bomba de Vacío

Las bombas de vacío rotatorias de paleta son bombas usadas para bombear de manera limpia, gases secos, no-reactivos. Estas bombas son refrigeradas por aire. La confiabilidad es media-alta debido a los cambios periódicos de paleta/filtro requeridos para mantener el máximo vacío a lo largo del tiempo, estos recambios se realizarán siguiendo las indicaciones establecidas por el fabricante del equipo.

Para el correcto mantenimiento de la bomba será necesario la comprobación rutinaria de los elementos de giro que se desplazan libremente, de que no se produzcan ruidos anormales, del eje de impulsión, del estado de los cojinetes de acoplamiento (reemplazamiento en caso de desgaste), ajuste y empaquetado de las prensa-estopas en caso de detectar fugas, comprobación de temperaturas y de las vibraciones de los motores, comprobación del ajuste de la bomba, el motor y de la estanqueidad.

Así mismo, también se realizará un seguimiento de la vida de la bomba a través de un registro de los problemas y de las observaciones realizadas: horas de funcionamiento, medidas de la intensidad eléctrica, medida de los indicadores de presión, etc...

Una vez comprobado el estado de la bomba (y el resto de los componentes que componen el sistema) , se procederá a su puesta en marcha.

8.2.2.-Ciclón, sistema de tuberías y accesorios

En cuanto al mantenimiento de estos elementos, se debe indicar que no son necesarias las aplicaciones de ningún protocolo exhaustivo como ocurre con otros elementos del sistema global, tan sólo será preciso la comprobación del buen estado mecánico de los componentes, sin que éstos presenten abolladuras o algún tipo de corrosión, así como una verificación de una correcta conexión entre las distintas partes del sistema.

8.3.-Sistema de Gas de aporte

8.3.1.-Depósito de Argón

El depósito de Argón, como ya se indicó en el capítulo de descripción técnica de los equipos y en el capítulo del cálculo del sistema de Gas de aporte de la Memoria de Cálculos, estará formado por un bloque de doce botellas.

Las botellas se sustituirán al finalizar su carga por otras recargadas por el fabricante, por lo que su mantenimiento se basará en el correcto estado externo de las botellas, sin que presenten corrosión o abolladuras, así como un seguimiento de que no presenten fugas o cualquier otra eventualidad posible, quedando a cargo de la empresa suministradora la sustitución de la misma en caso preciso.

Tanto al bloque de botellas, como a sus conexiones, se le realizará un seguimiento de forma que no presenten ningún defecto, por lo que se comprobará visualmente el buen estado del mismo, y se adecuará un espacio que reúna las condiciones requeridas para su buen mantenimiento, así mismo también se realizará un seguimiento para comprobar que no existen fugas, malas conexiones, etc...

8.3.2.-Sistema de tuberías y accesorios

En este caso que no es necesario la aplicación de ningún protocolo exhaustivo, pero sí será preciso la comprobación del buen estado mecánico de los componentes, sin que éstos puedan presentar el menor indicio de abolladuras o algún tipo de corrosión, ya que se trata de una línea de elevada presión, por lo que se deberán extremar precauciones en cuanto a este aspecto, también será necesaria la verificación de una correcta conexión entre las distintas partes del sistema. En cuanto a las válvulas se ha de comprobar su correcto funcionamiento, así como que presenten un estado óptimo.

9.-SISTEMAS DE CONTROL

Los Sistemas de Control persiguen la consecución de un funcionamiento seguro y correcto de nuestro sistema, se basan en la instalación de dispositivos que permiten mantener las variables de interés dentro de un rango de valores determinado.

De esta forma para controlar una variable tendremos una serie de sensores, la información se procesa y se generan una serie de actuaciones.

Nuestro sistema de control estará formado por los siguientes lazos de control : de presión de salida del gas de aporte y de presión en la línea de vacío.

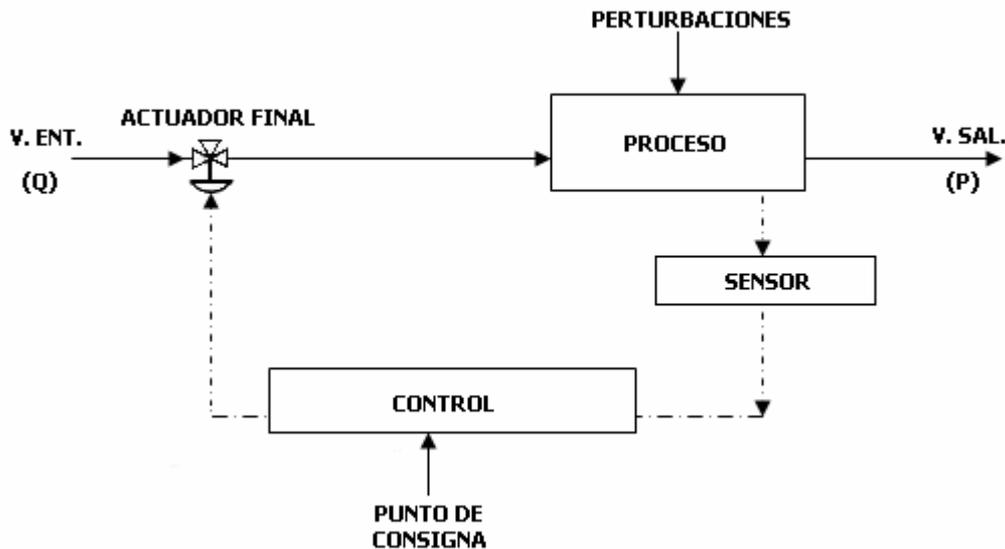
1.- Lazo de control de presión de salida del gas de aporte

El sistema de gas de aporte está diseñado en diferentes tramos, en el primero de ellos, la presión del gas en el interior de la tubería es de 200 bar, la máxima que puede dar el bloque de botellas; sin embargo posteriormente el fluido pasa por un manorreductor y su presión desciende hasta los 3.5 bar, por que se ha diseñado los tramos siguientes para dicha presión.

Se ha de tener en cuenta, por tanto, que un mal funcionamiento del manorreductor podría conllevar a un sobrepresión en el sistema, con el consecuente fallo mecánico que podría desencadenar. Por tanto, debemos asegurarnos de que no se sobrepasa nuestra presión de diseño, siendo necesario un control de la presión a la salida del manorreductor para la comprobación de que la presión en nuestro sistema, de forma que ésta no sobrepase los límites para los que fue proyectada la instalación .

MEMORIA DESCRIPTIVA

Este control vendrá dado por el siguiente Lazo de Control Cerrado :



El sistema de lazo cerrado viene dado por; el actuador, el proceso, el sensor de presión y el controlador.

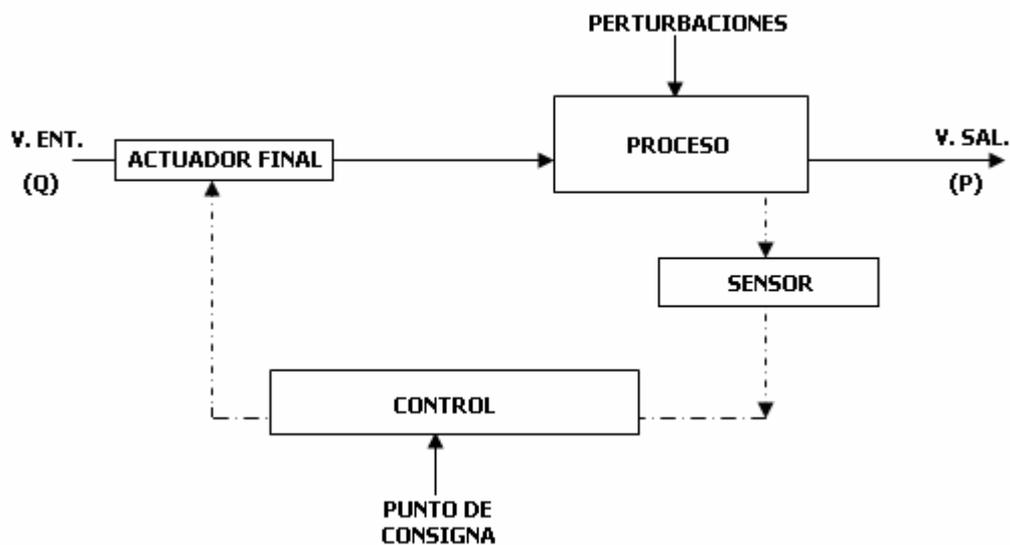
Se necesita un sensor de presión que transmita la señal al controlador, este sensor estará situado justo a la salida del manorreductor, siendo el controlador el encargado de examinar la señal recibida en función al punto de consigna y de enviarla al actuador. Si el valor obtenido es superior o inferior al punto de consigna, se interrumpirá el flujo de gas a través de una válvula de cierre automático situada a la salida del bloque de tuberías (entre el bloque de tuberías y el manorreductor), asegurándonos así la estanqueidad de nuestro sistema.

Si el valor obtenido es mayor al punto de consigna y no interviniese el actuador, existe un peligro de sobrepresión en el sistema que podría provocar deformación o grietas en las conducciones. Si el valor obtenido es menor al punto de consigna y no interviniese el actuador, no se ayuda ni a la refrigeración de la lente ni a la retirada del material mecanizado. Siempre que

MEMORIA DESCRIPTIVA

se produzca una acción de corte del actuador, éste emitirá una alarma sonora y visual que indique la detención del sistema de gas de aporte.

2.- Lazo de control de presión en la línea de vacío : el esquema del lazo de control es idéntico al del caso anterior, sólo que esta vez varía el actuador final :



La señal eléctrica pone en funcionamiento la bomba de vacío y comienza el proceso de generación de vacío; por tanto, la energía eléctrica transmitida a la bomba origina un proceso de vacío y como consecuencia genera un caudal de absorción de fluido, que a su vez originará una presión en las conducciones del sistema, por tanto se necesita un sensor de presión, el cual transmite la señal al controlador.

El controlador es el encargado de examinar la señal recibida en función al punto de consigna y de enviarla al actuador. Si el valor obtenido es superior o inferior al punto de consigna se interrumpirá la corriente eléctrica y como consecuencia se parará el proceso inmediatamente.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Si el valor obtenido es mayor al punto de consigna y no interviniese el actuador, el peligro de sobrepresión en las conducciones carece de importancia, puesto que éstas están sometidas a vacío (presión interna inferior a la atmosférica) por lo que no existiría riesgo de daños en las conducciones en forma de grieta o rotura de las mismas, ya que el máximo valor alcanzable en nuestro sistema sería la atmosférica.

Sin embargo, el impacto de dicho efecto en el sistema de recogida de polvo sí sería de gran importancia, ya que el rendimiento del sistema descendería de forma análoga al incremento de la presión y la recogida de polvo no sería tan efectiva como se ha proyectado, pudiendo causar graves incidentes en el proceso, tales como la producción de gran cantidad de partículas altamente peligrosas para la salud, por lo que a dicha parada en el actuador irá asociada una señal acústica y luminosa que indique que el proceso de mecanizado también ha de finalizar inmediatamente.

Si el valor obtenido es menor al punto de consigna y no interviniese el actuador, no habría connotaciones de importancia en el sistema de conducciones y ciclón, o en la recogida de polvo en sí, pero se podría estar forzando la bomba de vacío, por lo que una vez detenido el sistema se pasaría a su comprobación. Al ser éste caso de menor importancia que a una presión mayor se impondría un rango de corte con un margen mayor. Sin embargo, al igual que en casos anteriores una vez que se produzca la acción del actuador se producirá la señal de alarma correspondiente.

10.-SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

10.1.-Normativa referente a Seguridad de Obligado Cumplimiento

Será de obligado cumplimiento el marco legal vigente de la seguridad en el trabajo, estando éste definido por:

1.-Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, es una Orden Ministerial del Ministerio de Trabajo, con fecha 9 de Marzo de 1971. Pretende regular en un texto unitario las condiciones de Seguridad e Higiene que debían reunir los lugares de trabajo, está parcialmente derogada por la ley 31/1995 (Ley de Prevención de Riesgos Laborales)

2.-La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y las modificaciones realizadas en la Ley 53/2003. La ley 31/1995 tiene como objetivo la consecución de la seguridad y la salud laboral en los trabajos mediante una serie de acciones encauzadas a la prevención de riesgos, dicha Ley se ve modificada por la Ley 53/2003 en donde se completan o sustituyen por completo ocho artículos, destinados a una mejor consecución de los objetivos marcados por dicha Ley.

3.- Estatuto de los Trabajadores, fue una de las primeras consecuencias de la obligación constitucional de velar por la Seguridad e Higiene Industrial.

4.-Ley General de la Seguridad Social : la ley General de la Seguridad Social de 20 de Junio de 1994 contiene partes importantes que atañen a la Seguridad e Higiene. Específicamente sus artículos 115,116,117,123,196 y 197.

MEMORIA DESCRIPTIVA

5.-Legislación Internacional, específicamente de la Comunidad Europea, cuyo tratado ya recoge objetivos de Seguridad e Higiene, a través de Directivas-Marco.

6.- Reglamento de Aparatos a Presión, el vigente reglamento aprobado por Real Decreto 1244/1979, modificado por Reales Decretos: RD 507/1982, RD 1504/1990 y RD 769/1999; regula que el depósito estará diseñado de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos de reconocida solvencia.

Al encontrarnos en este último caso, las instalaciones se diseñarán empleando el código ASME Sección VIII Div.1, de reconocido prestigio internacional. (Ver capítulos 2, 3 y 4 de la Memoria de Cálculos). Este mismo Reglamento de Aparatos a Presión, determina que antes de la puesta en servicio de los elementos sometidos a presión, se realizará una prueba hidráulica en donde se someterán a 1.5 veces su presión máxima de diseño.

7.- Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias aprobado por el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril; junto con el Reglamento de Instalaciones contra incendios en la Industria aprobado por R.D. 2267/2004 no contemplan nuestro sistema láser como una instalación de riesgo, por lo que la instalación no requerirá ningún sistema específico de seguridad aparte de los recogidos en los puntos anteriores. En concreto, refiriéndonos a instalaciones contra incendios, la instalación previa a la instalación de nuestro sistema no habrá de ser modificada, a menos que no se ajustase al marco legal vigente, independientemente de nuestro sistema láser.

10.2.-Seguridad referente a radiación Láser ^{[2]-[20]}

10.2.1.- Introducción

El Instituto Americano Nacional de Estándares (ANSI) divide todos los láseres en cuatro grupos, de acuerdo con el riesgo que entraña su utilización. Estas clasificaciones de peligrosidad del láser, se utilizan para hacer constar el grado inherente de peligrosidad de un sistema láser, y la extensión de los controles de seguridad requeridos. Este rango va desde los láseres de clase I (que son inherentemente seguros para la visión directa del haz bajo muchas condiciones) hasta los láseres de clase IV (los cuales requieren las normas de seguridad más estrictas). Esta división se basa en la máxima radiación emitida por el láser que puede causar daño. Para esto, se han definido dos parámetros:

- La apertura a través de la cuál se recibe la radiación.
- La distancia a la fuente láser a la que se realizan las mediciones.

A su vez, se define el término MPE, como los Máximos niveles Permisibles de Exposición (MPE) que son la máxima cantidad de radiación a la que la gente puede estar expuesta de forma segura. Los MPE se expresan en J/cm^2 o W/cm^2 , dependiendo de los parámetros del láser :

- Longitud de onda.
- Duración de la exposición.
- Frecuencia de Repetición del Pulso.
- La naturaleza de la exposición (especular, reflexión difusa).

Otros parámetros importantes relacionados con el uso seguro de láseres son:

- Distancia Peligrosa Nominal Ocular (DPNO) para cada tipo de láser.
- Densidad Óptica (DO) requerida para la protección ocular.

10.2.2.- Clasificación de los Láseres

La principal división es en 4 clases :

- Clase I - Incluye todos los láseres que, bajo condiciones de trabajo normal, no emiten radiación que pueda causar daño. En la práctica, estos láseres son llamados " Láseres Seguros para los Ojos ", y estos no pueden causar ningún daño a nadie que esté expuesto directamente al haz láser un periodo de 8 horas ($3 \cdot 10^4$ s), sin importar de qué longitud de onda se trate.
- Clase II - Incluye todos los láseres visibles de baja potencia (espectro de longitud de onda de $0.4-0.7 \mu\text{m}$), que disparan el reflejo de protección del iris.

El tiempo de este reflejo es de 0.25 segundos, de modo que los láseres de la clase II pueden emitir potencias que exceden la apropiada para la clase I de Nivel Límite de Emisión Accesible (AEL), pero la cantidad total de energía que entra al ojo puede limitarse por medio del reflejo del ojo. El AEL de la clase I para 0.25 segundos de exposición es de 1 mW. Por lo tanto, la máxima potencia de un láser visible continuo de la clase II es de 1 miliwatio .

Cualquier láser a otra longitud de onda (invisible) que pueda emitir mayor nivel de radiación que el permitido para la clase I, se clasifica como de la clase III.

- Clase IIIa - Incluye todos los láseres visibles (espectro de longitud de onda de $0.4-0.7 \mu\text{m}$), que emiten radiación a un nivel que no perjudica a una persona que tenga un reflejo normal del iris. Los láseres de la clase

MEMORIA DESCRIPTIVA

IIIa son láseres de potencia media, con una salida de 1 a 5 veces la de la clase I AEL basada en una apropiada duración de la exposición. Si se utilizan instrumentos ópticos (como prismáticos o un telescopio) para ver la radiación, puede producirse un daño en el ojo. Para el láser de Helio-Neon y los láseres de Diodo en el visible, la máxima potencia permitida es de 5 miliwatios .

- Clase IIIb - Incluye a todos los láseres no clasificados como clase I o clase II, que pueden emitir en cualquier longitud de onda que pueda causar daño al ojo de un observador sin instrumentos ópticos.

La máxima potencia para los láseres de la clase IIIb es de 0.5 Watios. Los láseres de la clase IIIb no son capaces de producir más de 125 mJ en 0.25 segundos.

- Clase IV - Incluye a todos los láseres no clasificados en las clases I, II y III.

Son considerados como láseres de alta potencia. La radiación de estos láseres puede causar :

- Daños al ojo incluso por reflectancia difusa.
- Daños a la piel.
- Fuego.

Cualquier láser con una potencia de salida mayor de 0.5 Watios pertenece a la clase IV.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Resumiéndose lo expuesto en la siguiente Tabla:

	Láser	Daño	Riesgo	Medida de control
Clase I	Sistemas láser que no pueden emitir radiación en exceso 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 IIIa	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 IIIb	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 ó reflexión difusa, en los ojos y la piel.	Ocular Cutáneo	Peligro agudo en contacto con el haz ó con su radiación difusa	Controles de ingeniería Gafas de protección Controles administrativos Señales de peligro

10.2.3.-Normas Básicas de Seguridad

A continuación, nombramos algunas normas básicas de seguridad para trabajar con láseres :

- Formar a los operarios sobre la seguridad en el uso de láseres.
- Evitar, en la medida de lo posible, que se pueda mirar directamente al haz láser.
- Evitar objetos reflectantes en el camino del haz, para evitar la desviación del haz a direcciones no deseadas.
- Utilizar indicaciones claras para que se tenga un mayor conocimiento de la operación de un láser.
- Evitar abrir la caja del láser mientras éste está conectado a la electricidad.

10.2.4.-Daños producidos por radiación Láser

La interacción de la radiación láser con los tejidos biológicos puede expresarse de distintas maneras, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos del haz láser :

1. La Radiación Láser es Radiación Electromagnética , y no ha de confundirse con la radiación ionizante radiactiva. Sólo la radiación electromagnética de longitud de onda muy corta, como los rayos x o los rayos γ tiene efectos ionizantes.
2. La radiación electromagnética puede interactuar con un tejido biológico por medio de tres procesos : Reflexión, transmisión y absorción.

MEMORIA DESCRIPTIVA

La magnitud relativa de cada proceso depende de las propiedades de la radiación láser y el tejido biológico. La reflexión y la transmisión no tienen efectos apreciables sobre los tejidos biológicos, y el principal proceso que causa daño al tejido biológico es la absorción.

La radiación láser absorbida en un tejido biológico puede causar diferentes tipos de efectos :

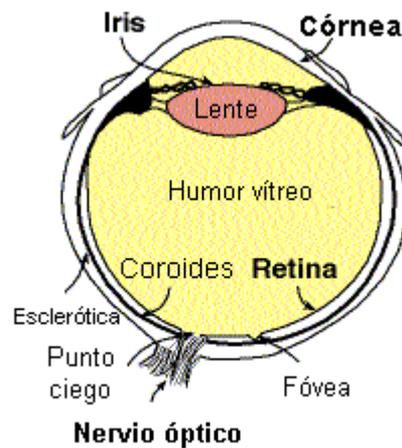
- Efectos Térmicos : la radiación láser provoca la vibración de las moléculas del tejido biológico, y se genera calor dentro del tejido. El daño al tejido va desde la desnaturalización de la albúmina hasta la combustión (evaporación) del tejido.
- Efectos Termoacústicos : se producen especialmente cuando la radiación láser viene en forma de pulsos muy cortos de alta potencia (menos de 1 milisegundo). Este proceso está basado en la instantánea alta densidad de potencia, que provoca temperaturas locales muy altas. Como resultado, el líquido dentro del tejido se evapora como gas. Debido al incremento de volumen del gas comparado con el líquido, la membrana de la célula explota.
- Efectos Fotoquímicos : se producen cuando la longitud de onda de la radiación láser es capaz de excitar a las moléculas orgánicas para que reaccionen entre ellas.

En los últimos años, se han descubierto algunas evidencias de cambios irreversibles en tejidos biológicos después de una exposición prolongada a bajos niveles de radiación láser a longitudes de onda que se consideraba que no tenían ningún efecto .

MEMORIA DESCRIPTIVA

La mayor parte de los daños producidos por los Láseres se localizan en el sistema óptico del ser humano, el ojo humano está especialmente adaptado para recibir la luz, ya que éste es transparente al espectro visible , y al espectro Infrarrojo Cercano (NIR).

La estructura del ojo humano sirve como un mecanismo de enfoque que enfoca la luz que pasa a través del iris, a la retina.



La potencia de enfoque se mide por la relación entre el diámetro del iris y el diámetro del punto sobre la retina. El tamaño del iris se mide en milímetros, y el tamaño del punto sobre la retina es del orden de una micra (10^{-6} m). Debido a que el diámetro del haz es unos tres órdenes de magnitud menor, el área superficial se reduce unos 6 órdenes de magnitud.

Por lo tanto, la densidad de potencia de la radiación sobre la retina puede incrementarse en un factor de un millón (10^6). Se quema un pequeño punto sobre la retina cada vez que el láser golpea el ojo.

La mayoría de las veces el daño es muy pequeño, pero se acumula a largos periodos. Por ello, los operarios que utilicen el láseres largos periodos de

MEMORIA DESCRIPTIVA

tiempo requerirán un examen médico una vez al año. Siendo los daños más comunes a los ojos :

UV-A (315-380 nm)	Niveles altos o exposiciones prolongadas pueden causar cataratas
UV-B (280-315 nm)	Cataratas, quemaduras cutáneas
UV-C (100-280 nm)	Daño de la córnea y el cristalino. Pérdida de visión
Luz azul (400-480 nm)	Daño de la retina, pérdida de visión
IR-A (700-1400 nm)	Daño de la retina
IR-B (1400-3000 nm)	Daño de la córnea y el cristalino
IR-C (3000nm-1 mm)	Quemaduras, pérdida de visión

*Destacado en azul el caso que nos conlleva , láser Nd:Yag (1064 nm)

10.2.5.- Protecciones Personales

Dentro de las protecciones personales, las más importantes, por lo comentado en el punto anterior, son los protectores oculares contra radiación láser, que deben ser utilizados por toda persona que permanezca en zonas donde se emplee un equipo láser. Los protectores han de ser adaptados al sistema de láser en uso. La no utilización de gafas de protección o la selección de unas gafas de protección inapropiadas para la aplicación específica puede causar una lesión ocular.

La Norma Europea EN 207 se aplica a filtros y protectores de ojos utilizados contra la radiación láser en la banda espectral comprendida entre los 180 nm y 1 mm. Los filtros según esta norma permiten una atenuación de esta radiación de acuerdo con los valores especificados para los láseres de clase III y IV. La Norma EN 208 se refiere a gafas de protección para los trabajos de ajuste de los láseres y los sistemas láser, en los que la radiación peligrosa producida en la banda espectral visible está comprendida entre los 400 nm y 700 nm. Los filtros, según esta norma, permiten una atenuación de esta radiación hasta los valores especificados para los láseres de clase II.

MEMORIA DESCRIPTIVA

Los protectores oculares contra sistemas láser deben aportar el grado de protección apropiado en la longitud específica de onda, con el fin de optimizar la protección y transmitancia de luz necesaria para que el usuario pueda realizar su trabajo de manera segura y eficaz. La acción filtrante es la capacidad de un filtro óptico para atenuar la radiación óptica en un intervalo determinado de longitudes de onda.

Existen diversas condiciones de ensayo según el tipo de láser sea continuo ó pulsado. Todos los filtros de protección láser deben ensayarse según la condición de ensayo para láser continuo. Si debe garantizarse una protección complementaria contra láseres pulsantes, los filtros y gafas de protección láser deberán ensayarse según las condiciones de ensayo de pulsado.

En la tabla se indica el factor espectral máximo de transmisión para las diferentes grados de protección. Estos valores no deberán ser sobrepasados por los filtros y protectores de los ojos ante una radiación láser de las longitudes de onda para las que garantizan protección. El factor de transmisión espectral de un filtro (para la longitud de onda) es la razón entre el flujo energético transmitido y el flujo incidente. (EN 207) .

Grado de protección	Factor espectral máximo de transmisión para las longitudes de onda láser (m)
L1	10^{-1}
L2	10^{-2}
L3	10^{-3}
L4	10^{-4}
L5	10^{-5}
L6	10^{-6}
L7	10^{-7}
L8	10^{-8}
L9	10^{-9}
L10	10^{-10}

MEMORIA DESCRIPTIVA

Una vez determinado el filtro apropiado es importante asegurar que las gafas a elegir estén certificadas por la CE, asegurando así una mínima garantía de calidad. (R.D. 1407/1992).

10.2.6.-Conclusiones

Estando nuestro láser ubicado en la Clase IV, y debido a sus características ($\lambda=1.06 \mu\text{m}$) será necesario unas gafas con un grado de protección L7.

10.3.-Seguridad referente al sistema de gas de aporte

El peligro primordial del sistema de aporte de Argón referente a la salud asociado con escapes de este gas es asfixia por desplazamiento de oxígeno. Según el grado de concentración de Oxígeno que va quedando en el medio por desplazamiento de éste por nitrógeno, se generan diversos síntomas a la exposición:

- 12-16% Oxígeno: Respiración y grados del pulso aumentan, coordinación muscular es ligeramente alterada.
- 10-14% Oxígeno: Desajuste emocional, fatiga anormal, respiración perturbada.
- 6-10% Oxígeno: Nausea y vómito, colapso o pérdida de conocimiento.
- Por debajo 6%: Colapso de la respiración es posible y muerte.

Por lo que el lugar de trabajo ha de tener las condiciones de aireamiento y ventilación necesarias, para evitar en la medida de lo posible, que en caso de fuga se produzcan las consecuencias indicadas. Así mismo, la zona dispondrá de un medidor electrónico de oxígeno, que permita al operario hacer un seguimiento de las condiciones del lugar de trabajo, este dispositivo a su vez, dispondrá de una alarma con el fin de avisar si se alcanza un nivel de riesgo.

10.4.-Protección contra la emisión de partículas a la atmósfera

Durante el mecanizado de nuestro material se produce la vaporización del mismo, lo que da lugar a la liberación de partículas a la atmósfera que pueden tener graves consecuencias para la salud, el aire contaminado de polvo puede causar el asma o la bronquitis u otro problema respiratorio como tener problemas y dificultad al respirar. Cualquier polvo puede causar irritación a los ojos. Algunos polvos pueden causar reacciones alergias de piel. Las partículas y polvo ejercen su acción dependiendo de su naturaleza y tamaño. Aquella de tamaño mayor de 5 micras, se retiene en el tramo superior y son generalmente irritantes.

Con el fin de evitar estos hechos, se diseña un sistema de recogida de polvo (Ver capítulo segundo de la Memoria de Cálculos), sin embargo, puede darse el caso de un fallo o parada del mismo, o una continua exposición durante el mecanizado por parte de los operarios, por lo que será necesario proveer a los operarios de unas mascarillas apropiadas (con un tamiz inferior a las 15 μm que es el mínimo valor de las partículas generadas en el proceso), para que de esta forma tengan una total protección contra la inhalación de polvo.

10.5.-Riesgo Eléctrico

Generalmente los dispositivos láser trabajan a elevadas tensiones. Por ello, toda operación con estos dispositivos deben tener en cuenta la exposición del personal a un riesgo importante.

Se aplicará los siguientes criterios:

- Al manipular el equipo, o efectuar tareas de mantenimiento/ reparación/ modificación, se procederá a efectuar el corte de la

MEMORIA DESCRIPTIVA

fuente de tensión, mediante empleo de interruptores, claramente visibles.

- Se procederá al bloqueo de los dispositivos de corte que impidan el suministro eléctrico que alimenta el sistema láser. Es deseable que estos dispositivos de corte se mantengan bloqueados previendo las distintas circunstancias posibles. El bloqueo de los dispositivos de corte se efectúa mediante: bloqueo mecánico, bloqueo eléctrico. Se complementarán estas señales mediante señalizaciones adecuadas.
- A continuación se comprobará la ausencia de tensión mediante dispositivos detectores adecuados.
- Se deberá delimitar la zona de trabajo, mediante la colocación de la señalización de seguridad pertinente mediante pictogramas, además se delimitará un perímetro de seguridad tal que: su señalización se realizará con elementos de franjas amarillas y negras o rojas y blancas.

A su vez será de obligado cumplimiento todas las disposiciones aplicables según legislación vigente, especialmente el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, así como las Instrucciones Técnicas Complementarias aplicables a nuestro sistema.

10.6.-Equipos de Protección Personal

Tras los apartados estudiados en este mismo capítulo, podemos definir los EPIs imprescindibles para este tipo de tareas son:

- A. Calzado de seguridad frente a riesgos mecánicos.
- B. Cascos de protección, con idéntica finalidad que el anterior.
- C. Guantes de protección, para evitar lesiones en el manejo de los componentes del sistema o de los materiales a mecanizar.

MEMORIA DESCRIPTIVA

- D. Gafas de categoría L7.
- E. Mascarilla respiratoria, de un tamiz de separación de 15 μm como máximo. (ya que éste es el mínimo tamaño de nuestras partículas generadas)

10.5.- Medio Ambiente

El proceso tan sólo emite al medio ambiente Argón gaseoso, y un porcentaje mínimo de partículas que se escapen del sistema de recogida de polvo. Según la hoja de seguridad del Argón, la dispersión del gas al medio no provoca ninguna inestabilidad ambiental, ya que el Argón está naturalmente en la atmósfera. Tampoco se anticipa ningún efecto adverso en la fauna o en la flora, ni efecto químico sobre la vida acuática. Tan sólo causa efectos adversos, por desplazamiento del Oxígeno, factor que ya se ha considerado en la seguridad de la actividad industrial pero que carece de validez respecto al medio ambiente.

Por tanto, según el decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la ley 38\1972, del 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico, se recoge las líneas generales para prevenir, vigilar y corregir las situaciones de contaminación atmosférica. En el anexo III del capítulo 2 de dicho decreto, se nombra la relación de los principales contaminantes de la atmósfera. La legislación no recoge al Argón gaseoso, al igual que Ley 7-1994 de Protección Ambiental de Andalucía, quedando, por tanto, descartada su participación en la contaminación atmosférica.

Los polvos recogidos por nuestro ciclón serán recogidos de la forma establecida por Ley para este tipo de sustancias peligrosas para la salud, igualmente si se comprueba que su calidad son buenas, puede buscarse una salida comercial para los mismos.

11.-VIABILIDAD ECONÓMICA

A continuación realizaremos el estudio económico que determine la viabilidad del sistema de mecanizado láser, para lo cual determinaremos los costes generados por la implantación , operación y mantenimiento de dicho sistema.

11.1.-Costes del Sistema

1.-Capital de inversión

Estos costes de inversión incluyen los gastos generados por la adquisición de los distintos componentes que conforman nuestro sistema, a su vez formados en distintos subsistemas, siendo el importe de los mismos : (Ver Estado de Mediciones y Presupuesto del presente Proyecto):

INVERSIÓN INICIAL:

SUBSISTEMA	INVERSIÓN REQUERIDA
Coste de Adquisición	69925.95
Coste de Instalación y puesta a punto	13550
Costes Varios	33109.95
TOTAL	116585.9

2.- Costes de Operación

El propio uso del sistema, así como su mantenimiento conllevará unos costes que tendrán que ser valorados a la hora de realizar el estudio de viabilidad económica del sistema, estando estos costes de explotación del

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DESCRIPTIVA

sistema formados por los costes de materia prima necesaria, de mantenimiento, de electricidad y de mano de obra.

2.1.- Costes de electricidad: nuestro sistema está compuesto por elementos que requieren un consumo eléctrico importante, principalmente este consumo vendrá determinado por el emisor láser y la potencia de la bomba generadora de Vacío.

Así la potencia consumible será de :

$$P = P_{emisor} + P_{Bomba} = 10 + 0.4 = 10.4 \text{ KW}$$

Al que le añadiremos un 10% de margen de seguridad y con el fin de incluir el consumo de otros elementos del sistema de consumo muy inferior a los anteriores.

$$P = 1.1 \cdot 10.4 = 11.44 \approx 11.5 \text{ KW}$$

Considerando un periodo de operación del sistema de 9 horas diarias, tenemos que a un precio de electricidad estándar , horario normal donde la compañía ni recarga ni descuenta, de 2.27 €/KWh.

$$\text{Horas de operación al año} = 9 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 275 \frac{\text{días laborables}}{\text{año}} = 2475 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

$$\text{Coste de Potencia de Consumo} = 11.5 \text{ KW} \cdot 2.27 \frac{\text{€}}{\text{KWh}} \cdot 2475 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 64610 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

2.2.-Costes de Gas de aporte: al igual que en el caso anterior, calcularemos el consumo del mismo a lo largo del año.

MEMORIA DESCRIPTIVA

El manorreductor nos proporciona un caudal de $0.05 \text{ Nm}^3 / \text{h}$, si operamos al día 10 horas tal y como se indicó en el apartado anterior, tenemos que :

$$\text{Consumo de Argón} = 0.05 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot 10 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 365 = 182.5 \text{ Nm}^3 / \text{año}$$

$$\text{Coste de Argón} = 182.5 \frac{\text{Nm}^3}{\text{año}} \cdot 9.25 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \approx 1670 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

2.3.- Costes de mantenimiento : los costes de mantenimiento para este tipo de quipos suelen estar como máximo entorno a 1% de los costes directos al año, por lo que este valor se corresponderá a 1165.9 €/año.

2.4.-Costes de mano de Obra : los costes de mano de Obra se reducen considerablemente frente al procesado mecánico de los materiales, ya que el personal necesario es del orden del doble del necesario en nuestro sistema láser. Así en nuestro caso, tan sólo serán necesarios dos operarios, que se encarguen del la colocación del material a mecanizar, encendido, mantenimiento en primer nivel, etc... y un operario cualificado situado en la sala de control de nuestro sistema. Por lo que considerando un salario medio anual de 30000 €, los costes anuales referentes a este apartado ascienden a 90000 €/año.

COSTE TOTAL

COSTES PARCIALES	INVERSIÓN REQUERIDA
<i>Inversión Inicial (€)</i>	116585.9
<i>Costes de Operación (€/año)</i>	157445.8
Costes Eléctricos	64609.9
Costes de Gas de Aporte	1670
Coste de Mantenimiento	1165.9
Coste de Mano de Obra	90000

11.2.-Justificación Económica

El mecanizado de los materiales objetos del presente proyecto, actualmente, se lleva a cabo en la industria haciendo uso de herramientas mecánicas, tales como fresas y brocas, usándose a través de elementos mecánicos diseñados para estas operaciones. Tal y como se ha desarrollado a lo largo de la Memoria Descriptiva, se persigue la sustitución de este proceso por uno de mecanizado láser.

Esta nueva instalación, lleva inherente una serie de costes asociados tanto a su implantación como a su mantenimiento, sin embargo las ventajas que supone son de gran relevancia tanto a nivel industrial (producción, velocidad, calidad, etc...) como a nivel económico, siendo estas ventajas las que detallamos a continuación :

- Los materiales procesados por láser no requieren tratamientos posteriores de adecuación de la zona procesada, esto se debe a que el mecanizado láser es un proceso que no daña estructuralmente la zona mecanizada en forma de rebabas, deslaminación del material, etc... al contrario de lo ocurrido con los procesos mecánicos, en donde los tratamientos secundarios son obligatorios, con los costes asociados de tiempo y herramientas que ello conlleva.
- El mecanizado láser del material a su vez nos proporciona una gran calidad de procesado para todos nuestros materiales a tratar, con unas zonas dañadas mínimas, pudiéndose operar si fuese necesario con unas zonas dañadas térmicamente muy por debajo de los límites impuestos actualmente en la industria.
- Los costes de reposición de herramientas no son aplicables a nuestro sistema, por lo que no es necesario la sustitución

MEMORIA DESCRIPTIVA

periódica de partes del sistema, como ocurre con el procesado mecánico. Siendo este coste a tener en cuenta debido al alto coste de las citadas herramientas del orden de 600 € la unidad.

- Gran versatilidad y dinamismo del sistema, pues para procesar cualquier material estudiado en el presente proyecto tan sólo es necesario un simple cambio del cabezal (presentando incluso tres materiales un cabezal común, con el ahorro de tiempo que también nos conlleva), al contrario del sistema actual en donde se requiere una parada para el cambio de herramientas según el material a procesar y sus características (espesor, tolerancias, etc...)
- En el mecanizado de materiales cada un determinado tiempo se da la rotura de alguna herramienta mecánica durante el procesado del material, causándose en estos casos un daño sobre el material que en muchos casos no es posible solucionar, con el sistema láser estos acontecimientos no tienen lugar.
- Se produce un ahorro en cuanto a la cantidad de personal destinado a procesar un material, puesto que en el mismo tiempo para obtener idénticos resultados, la cantidad de operarios en nuestro sistema es menor, tan sólo dos operarios de producción y uno de control, mientras que en el caso mecánico es necesario los dos de producción, uno de control, uno o varios de acabado de la zona mecanizada, así como al menos otro encargado del mantenimiento y cambio de las herramientas empleadas, debido a su frecuente cambio y desgaste.

12.-NORMATIVA

La normativa de obligado cumplimiento aplicada en la elaboración del presente proyecto es la siguiente :

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, es una Orden Ministerial del Ministerio de Trabajo, con fecha 9 de Marzo de 1971.
- La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y las modificaciones realizadas en la Ley 53/2003.
- Reglamento de Aparatos a Presión, el vigente reglamento aprobado por Real Decreto 1244/1979, modificado por Reales Decretos: RD 507/1982, RD 1504/1990 y RD 769/1999
- Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias aprobado por el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril
- Ley 38\1972, del 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico según el decreto 833/1975, de 6 de febrero
- Real Decreto 773/1997 sobre utilización de equipos de protección individual
- Reglamento de Instalaciones contra Incendios en Industrias aprobado por Real Decreto 2267-2004
- Ley 7-1994 de Protección Ambiental de Andalucía
- Ley de Industria 21-1992
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por el Real Decreto 842/2002

Así mismo también se han empleado códigos o normas de Diseño de libre, pero recomendable aplicación, tales como : ASME Sección VIII Div.1 (Aparatos a presión) , ASA B.16.5 (Uniones Bridadas), NTP 261 y CEI 820 (Seguridad en los equipos láser)

13.- BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía empleada en la redacción de la presente Memoria Descriptiva es :

- [1] Antonio J. García Fuentes, Tesis doctoral (2006) : Desarrollo y optimización del proceso de mecanizado láser de CFRP
- [2] The Laser Adventure, Rami Arieli
- [3] The laser guidebook, Jeff Hecht. McGraw-Hill
- [4] Laser handbook, por F. T. Arecchi y E. O. Schulz-Dubois, Ed. American Elsevier Pub. Co
- [5] I+D+E-241 , "Caracterización físico-química de materiales de Fibra de Carbono" norma interna de la empresa Airbus S.L
- [6] I+D+E-125 , "Caracterización físico-química de materiales de Fibra de vidrio y aramida" norma interna de la empresa Airbus S.L.
- [7] I+D+E-140, "Inspección del tratamiento térmico en aleaciones de Aluminio mediante conductividad eléctrica y dureza", norma interna de Airbus S.L.
- [8] I+D+E-222, "Inspección del tratamiento térmico en Titanio y sus aleaciones", norma interna de Airbus S.L.
- [9] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 20/07/2006)
- [10] www.rofin.es, Rofin Baasel España S.L. perteneciente al grupo Rofin. (consulta realizada a fecha de 14/08/2006)
- [11] Handbook of Chemistry & Physics, 87th Edition, 2006-2007
- [12] Catálogo y ficha técnica de Becker S.A. 2006

MEMORIA DESCRIPTIVA

- [13] Catálogo Durapipe PVC Pipes and Fittings, Imperial and metric System. 2005.
- [14] Código ASME Sección VIII Div 1. July 1, 2004 Edition.
- [15] Catálogo productos 2005 Abello Linde S.A. , Gases Técnicos.
- [16] Catálogo materiales 2005 Abello Linde S.A. , Gases Técnicos
- [17] Catálogo lentes esféricas Panasonic. 2004
- [18] Biblioteca Digital Omega, del Instituto Latinoamericano de la Educación <http://omega.ilce.edu.mx:3000>.
- [19] Catálogo Festo S.L. 2005
- [20] www.lasingonline.com, consulta realizada en 15/08/06

MEMORIA DE CÁLCULO

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

ÍNDICE :

1.- SISTEMA LÁSER.....	3
1.1.- Cálculo de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) según la potencia del láser.....	3
<i>1.1.1.- Fibra de Carbono.....</i>	3
1.1.1.1.-Introducción.....	3
1.1.1.2.-Modelización del material.....	4
1.1.1.3.-Validación del Modelo.....	11
1.1.1.4.-Aplicación del modelo para determinación de condiciones óptimas de mecanizado.....	16
1.1.1.5.-Conclusiones.....	18
1.1.1.6.-Bibliografía.....	20
<i>1.1.2.- Fibra de Vidrio.....</i>	21
1.1.2.1.-Introducción.....	21
1.1.2.2.-Modelización del material.....	22
1.1.2.3.-Bibliografía.....	27
<i>1.1.3.- Aleaciones de Aluminio.....</i>	28
1.1.3.1.-Introducción.....	28
1.1.3.2.-Modelización del material.....	30
1.1.3.3.-Bibliografía.....	35
<i>1.1.4.- Titanio.....</i>	36
1.1.4.1.-Introducción.....	36
1.1.4.2.- Modelización del material.....	37
1.1.4.3.-Bibliografía.....	39
1.2.- Región de trabajo durante el mecanizado.....	40
<i>1.2.1.- Desarrollo del estudio de la región de trabajo en el mecanizado.....</i>	40

MEMORIA DE CÁLCULO

1.2.2.-Bibliografía.....	46
1.3.- Conclusiones sobre el emisor Láser seleccionado.....	47
1.3.1.- Cálculo del espesor capaz de procesar el sistema láser....	47
1.3.2.- Sistema de enfoque del haz Láser.....	54
1.3.3.-Bibliografía.....	57
2.- DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOGIDA DE POLVO : CICLÓN.....	58
2.1.- Estudio de la sedimentación de las partículas del material mecanizado.....	59
2.2.- Cálculo de la velocidad de sedimentación.....	60
2.3.- Diseño del ciclón.....	65
2.3.1.- Introducción.....	65
2.3.2.- Dimensionamiento del ciclón.....	66
2.3.3.- Cálculo de la presión en el sistema de vacío.....	71
2.3.4.- Diseño estructural del ciclón como recipiente a presión...	82
2.4.- Bibliografía.....	92
3.- DISEÑO DEL SISTEMA DE APORTE DE AR.....	93
3.1.- Cálculo de la presión en nuestro sistema.....	93
3.2.- Diseño mecánico del sistema de tuberías.....	101
3.3.- Bibliografía.....	107
4.- DISEÑO DE LOS CABEZALES DEL SISTEMA	108
4.1.- Cálculo de la potencia efectiva del emisor láser.....	108
4.2.- Diseño de los cabezales láser.....	110
4.3.- Cálculo de la refrigeración de la lente.....	122
4.4.- Velocidad de salida del gas de aporte del cabezal.....	123
4.5.- Bibliografía.....	124

1.- SISTEMA LÁSER

1.1.- CÁLCULO DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC) SEGÚN LA POTENCIA DEL LÁSER

1.1.1.- Fibra de Carbono

1.1.1.1.-Introducción

Con anterioridad al diseño del sistema láser, se debe seleccionar el emisor láser que nos dé las condiciones de corte que nos aseguran el mejor mecanizado de nuestro material, por lo que se debe estudiar en qué condiciones de mecanizado la zona afectada por el calor del material sean mínimas, ya que en esta zona se degrada en general de forma importante las propiedades mecánicas, por lo que se persigue su minimización.

A continuación se procede a la modelización del fenómeno de transmisión de calor durante el mecanizado láser de fibra de carbono. Como ya desarrollamos en la memoria descriptiva, dependiendo de las características de nuestro láser y de las condiciones de operación en las que trabaje, el proceso estará gobernado por unos fenómenos u otros, como pueden ser: formación de plasma, transmisión de calor, etc... Lo que se pretende a continuación es comprobar si el modelo desarrollado es válido, para lo cual se cotejará con datos reales medidos en distintas experiencias recogidas de bibliografía. Una vez verificado el modelo, en aquellos casos que las condiciones de operación nos indique que trabajamos en la región donde predomine la transmisión de calor se estudia la magnitud de la zona afectada por el calor, para evaluar si se puede asumir dicho daño o no en el mecanizado de nuestro material.

Finalmente, esta parte del proyecto pretende comprobar si existe alguna condición para la región controlada por la transmisión de calor, en la que

MEMORIA DE CÁLCULO

nuestro modelo prediga daños en el material debido al calor que si sean aceptables en nuestro proceso para considerar trabajar en esa zona que nos produce resultado adecuado de daño en el material.

1.1.1.2.- Modelización del material

A la hora de realizar la modelización del comportamiento del material fibra de carbono respecto a la transmisión de calor existen dos casos límites, definidos por la orientación de las fibras de carbono respecto al mecanizado láser, siendo éstos casos aquellos en donde las fibras se orientan perpendiculares o paralelas al haz láser; tal y como pueden observarse en las figuras siguientes :

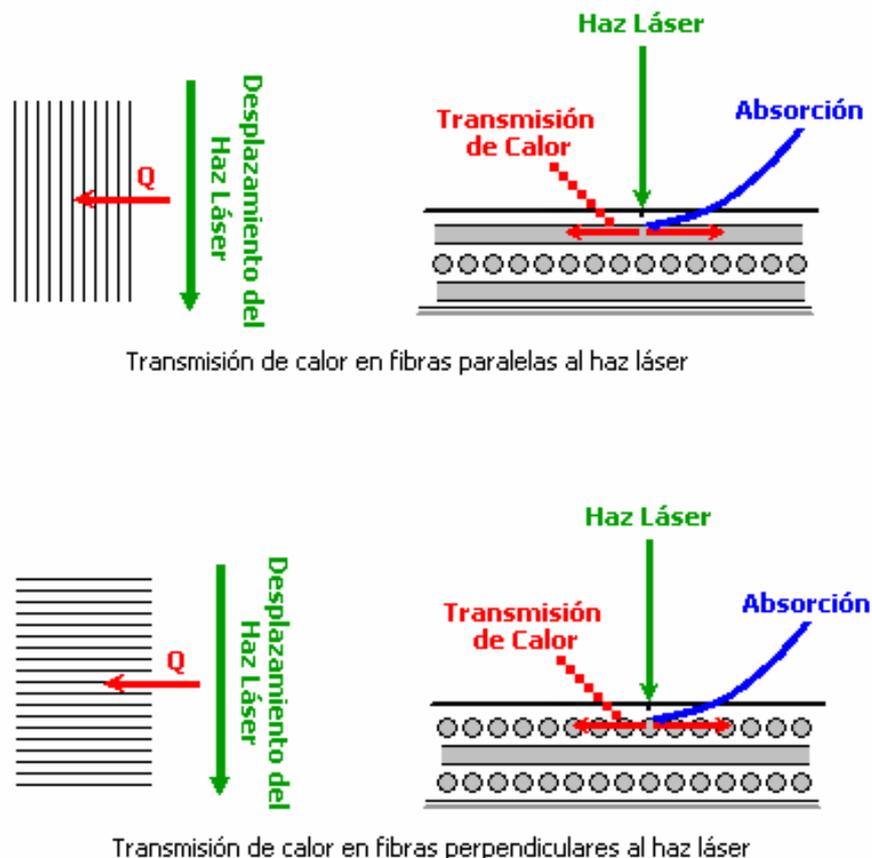


Figura 1.1 – Esquema de Transmisión de calor dependiendo de la orientación de las fibras

MEMORIA DE CÁLCULO

En el corte con láser, como ya se indicó con anterioridad, uno de los parámetros claves es la Zona Afectada por el Calor (comúnmente denominada ZAC), para su determinación teórica en el presente proyecto, que nos determinará el tipo de láser a usar en cuanto a potencia y velocidad de corte, se partirá de la expresión de la conducción de calor para un sólido anisótropo semiinfinito ^[1], siendo su expresión:

$$k_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_3 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Teniéndose en cuenta una serie de consideraciones se pueden realizar distintas simplificaciones en la expresión anterior, tales consideraciones son :

- En el proceso de modelización y resolución no se considera transmisión de calor en profundidad en el material, ya que la resina epoxi existente entre las capas de fibras se volatiliza en los primeros pasos del proceso de corte debido a las altas temperaturas necesarias para fundir y evaporar la fibra que carbono, dejando el espacio que previamente ocupaba y, por lo tanto, la transmisión de calor por conducción no existirá al no existir medio material sólido entre las capas. A lo que hay que añadir el hecho de que de esta forma además consideramos que el flujo de calor se disipa únicamente por el eje y, aumentando así la zona afectada térmicamente y ampliando el margen de seguridad de nuestro modelo, al aplicar dicho factor de seguridad.
- El movimiento del haz láser se producirá en una sola dirección, eje x, con una velocidad de desplazamiento constante.
- Al existir una atmósfera inerte en las proximidades de la zona de corte (debido a la aportación de gas inerte, ver capítulo 3 de la presente Memoria de Cálculos) no se producirán reacciones químicas (principalmente de oxidación) que deban ser tenidas en cuenta durante el proceso de mecanizado del material.

MEMORIA DE CÁLCULO

- La transmisión de calor por radiación y convección no se tendrán en cuenta debido a su escasa relación en la formación de la zona afectada por el calor.
- El material evaporado no interfiere con el haz láser, además se considerará que la múltiple reflexión de la radiación láser con el surco creado es despreciable.
- Las propiedades del material (conductividad térmica, calor específico y densidad) se considerarán independientes de la temperatura. Los valores de las propiedades térmicas a pesar de poder obtenerse a través de la fracción volumétrica de fibra y resina presente en el material a mecanizar, se considerarán únicamente los relativos a las de la fibra de carbono, pues como ya se indicó con anterioridad la resina epoxi se volatiliza en los primeros pasos del mecanizado por lo que su influencia en el modelado será mínima.

Por lo que considerando tales premisas, podemos obtener la ecuación que define el perfil de temperaturas tridimensional, considerándose distintas disposiciones de fibra y diferentes conductividades térmicas.

Aplicando las siguientes condiciones de contorno:

$$T = T_0$$

$$x = \pm\infty$$

$$y = \pm\infty$$

$$z = \pm\infty$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Obtenemos :

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot P \cdot Q}{4\pi \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}}} \cdot \exp \left[\frac{-V \cdot \rho \cdot c \cdot \left(\sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}} - \frac{x}{\sqrt{k_1}} \right)}{2\sqrt{k_1}} \right]$$

Correspondiéndose los términos de la ecuación a :

- k_i ($i=1,2,3$): se corresponden con el valor de la conductividad térmica del material en cada dirección (recordar que la fibra de carbono se trata de un sólido anisótropo).
- x,y,z : son las coordenadas del material respecto del punto de origen (la posición del láser).
- P : potencia del haz del láser.
- Q : ganancia del haz del láser.
- V : velocidad de mecanizado del láser.
- c : capacidad calorífica del material (en este caso fibra de carbono).
- ρ : densidad del material a mecanizar.
- η : factor de absorción de la fibra de carbono a la longitud de onda del mecanizado con el haz láser.

Así mismo, se realizarán a continuación una serie de simplificaciones que se tendrán en cuenta a la hora de continuar con el modelizado, tales consideraciones son:

- Como se indicó previamente en las consideraciones iniciales del modelado , no se considerará la transmisión de calor a lo largo del eje z

MEMORIA DE CÁLCULO

- El valor del componente x será el de 0, debido a que se trata de la coordenada de desplazamiento del láser sobre la superficie del material.
- Los valores de k_1 y k_2 se corresponden a la conductividad térmica del material en función de la dirección, por tanto se considerarán según la disposición de las fibras respecto al corte, así en el caso de fibra paralela al haz láser se tomará como valor $k_1=25.1$ W/mK; mientras que en el caso de fibras perpendiculares será de $k_2=0.6$ W/mK.
- Tanto los parámetros de operación del láser como las propiedades características del material se considerarán constantes durante el mecanizado, siendo éstos: velocidad, potencia y ganancia para el láser; y capacidad calorífica y densidad para el material.

Por lo que aplicando las consideraciones anteriores :

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot P \cdot Q}{4\pi \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}}} \cdot \exp \left[\frac{-V \cdot \rho \cdot c \cdot \left(\sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}} - \frac{x}{\sqrt{k_1}} \right)}{2\sqrt{k_1}} \right]$$

Eliminando los términos que se anulan y agrupando aquellos constantes de la forma :

$$M = \frac{P \cdot Q}{4\pi} \qquad J = \left(\frac{V \cdot \rho \cdot c}{2} \right)$$

MEMORIA DE CÁLCULO

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}}} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot \left(\sqrt{\frac{k_2^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}} - \frac{z}{\sqrt{k_1}} \right)}{\sqrt{k_1}} \right]$$

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{y^2}{k_2}}} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot \left(\sqrt{\frac{y^2}{k_2}} \right)}{\sqrt{k_1}} \right]$$

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\frac{y}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \right]$$

Por lo que a partir de los valores de las propiedades térmicas de la fibra de carbono ^[2] y de las condiciones de operación impuestas en nuestro sistema láser, detalladas a continuación, podremos calcular los valores de los términos constantes que aparecen en la expresión anterior.

Material	Densidad $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	Calor Específico $c(\text{J}/(\text{kg} \text{ K}))$	Conductividad $k (\text{W}/(\text{m} \text{ K}))$	Difusividad $\chi (\text{m}^2 \text{ s})$
Carbón	1750	710	50	$4.024 \cdot 10^{-5}$
Epoxi	1370	1884	0.3	$1.162 \cdot 10^{-7}$
Cortando en paralelo con el eje de la fibra				
			$k_1=25$	$\chi_1 = 1.296 \cdot 10^{-5}$
			$k_2=0.6$	$\chi_2 = 3.099 \cdot 10^{-7}$
			$k_3=0.6$	$\chi_3 = 3.099 \cdot 10^{-7}$
Cortando en perpendicular al eje de la fibra				
Carbón/epoxi	1530	1290	$k_1=0.6$	$\chi_1 = 3.099 \cdot 10^{-7}$
			$k_2=25$	$\chi_2 = 1.296 \cdot 10^{-5}$
			$k_3=0.6$	$\chi_3 = 3.099 \cdot 10^{-7}$

MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, se detallan las distintas condiciones en las que se realizaron las diferentes experiencias que nos servirán de base para comprobar la validez del modelo planteado ^[3] para ello recurriremos a tres series distintas de cortes, destacar que las serie B y C sólo se diferencian en el gas de aporte con el que se realizó el corte, por lo que dado que dicho factor no se tiene en cuenta en el modelado, obtendremos los mismos valores teóricos para ambas, pudiéndose estudiar entonces si existe una alta influencia de gas de aporte utilizado durante en corte

Serie	Potencia (W)	Velocidad (m/min)	Frecuencia (Hz)	Ganancia (%)	Gas Aporte	P _{gas} (bar)	Diámetro del haz (mm)
A1	600	0.1	33	1	Argón	4	0.045
A2	600	0.25	33	1	Argón	4	0.045
A3	600	0.4	33	1	Argón	4	0.045
A4	600	0.4	33	1	Aire comp.	8	0.045
A5	600	0.5	33	1	Aire comp.	8	0.045
B1	2200	0.5	10	40	Nitrógeno	15	0.240
B2	2200	0.5	10	75	Nitrógeno	15	0.240
B3	3300	0.75	10	75	Nitrógeno	15	0.240
B4	3300	0.5	10	75	Nitrógeno	15	0.240
B5	3300	0.5	100	75	Nitrógeno	15	0.240
C1	2200	0.5	10	40	N ₂ (Gas+Liq.)	5	0.240
C2	2200	0.5	10	75	N ₂ (Gas+Liq.)	5	0.240
C3	3300	0.75	10	75	N ₂ (Gas+Liq.)	5	0.240
C4	3300	0.5	10/100	75	N ₂ (Gas+Liq.)	5	0.240
C5	3300	0.5	100	75	N ₂ (Gas+Liq.)	5	0.240

Recordemos que siendo la expresiones que define estos términos constantes de cada corte las siguientes :

$$M = \frac{P \cdot Q}{4\pi} \qquad J = \left(\frac{V \cdot \rho \cdot c}{2} \right)$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Por lo que una vez determinadas las condiciones en las que se realiza cada corte , procedemos al determinar dichos valores de cada una de las experiencias realizadas, para su uso posterior en las ecuaciones propuestas con anterioridad.

Serie	Potencia (W)	Velocidad (m/min)	Frecuencia (Hz)	Ganancia (%)	J (W/m ² K)	M (W)
A1	600	0.1	33	100	1644.75	47.75
A2	600	0.25	33	100	4111.88	47.75
A3	600	0.4	33	100	6579.00	47.75
A4	600	0.4	33	100	6579.00	47.75
A5	600	0.5	33	100	8223.75	47.75
B1	2200	0.5	10	40	8223.75	70.03
B2	2200	0.5	10	75	8223.75	131.30
B3	3300	0.75	10	75	12335.63	196.95
B4	3300	0.5	10	75	8223.75	196.95
B5	3300	0.5	100	75	8223.75	196.95

*¹ Considerándose los valores de densidad y de calor específico los valores medios indicados con anterioridad en la Tabla 2.1 , es decir $c = 1290 \text{ J/(kg K)}$ y $\rho = 1530 \text{ kg/m}^3$.

*² Los valores de la Serie C se omiten por ser idénticos a los de la serie B como se indicó con anterioridad.

1.1.1.3.- Validación del Modelo

A continuación se validará el modelo desarrollado a partir de valores reales de zona afectadas por el calor obtenidas en distintas experiencias realizadas obtenidas de bibliografía^[3] . Para ello se procederá a calcular la zona afectada por el calor predicha por el modelo y se cotejará frente a las medidas

MEMORIA DE CÁLCULO

reales de las distintas experiencias realizadas en laboratorio correspondientes a las series ya indicadas.

Con este fin procederemos a reordenar la expresión de nuestro modelo de forma que nos permita la resolución de la ecuación y la determinación de la zona afectada térmicamente en nuestro material durante el mecanizado láser del material. Quedando por tanto nuestra expresión final de la forma:

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\frac{y}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp\left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right]$$

$$y = \frac{\eta \cdot M}{\frac{T - T_0}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp\left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right]$$

Una vez obtenida la expresión final y calculados los valores de los parámetros constantes de la ecuación del modelo en cada caso, definiremos las restantes condiciones de operación utilizadas en los cortes reales.

Así, debemos establecer la temperatura ambiente y la temperatura a partir de la cual el material sufre daños térmicos. La temperatura ambiente la definiremos en 25°C; mientras la temperatura límite de daño térmico en nuestro caso será la de vaporización de la resina, ya que a partir de dicha temperatura, se produce pérdida de material en nuestro sólido produciéndose así un daño térmico, se considera que a unas temperaturas menores a la misma los daños producidos en el material son de carácter muy reducido; y por tanto la temperatura a usar en los cálculos será la temperatura de vaporización de la resina la cual se ajusta a unos 330 °C. [4]

MEMORIA DE CÁLCULO

Una vez definidos todos los parámetros que intervienen en la ecuación del modelo ,los valores de las conductividades térmicas se detallan en la tabla 2.1, mientras que el factor de absorción se estima en 0.3 ^[3] .

Se procede al cálculo de la zona afectada por el calor durante el corte para ello partimos de la expresión detallada con anterioridad:

$$y = \frac{\eta \cdot M}{\frac{T - T_0}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp\left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right]$$

Como puede observarse en esta ecuación , aparecen dos términos y , cada uno en un miembro de la expresión, y uno de ellos formando parte de una función exponencial, por lo que su resolución no se obtiene de una forma directa, así que se podría recurrir a darles valores a la y exponencial hasta que coincida con el la y calculada. En este caso los métodos iterativos no proceden para su aplicación, debido a que dada la estructura de la expresión y a los valores de los términos constantes que intervienen en ella, se produce una divergencia de los cálculos, en vez de la convergencia que sería necesaria para su aplicación.

Por lo que recurriremos al programa Matlab V7.0 pudiendo calcular así los valores teóricos correspondientes a los distintos cortes tanto en el caso de fibras paralelas como en el de perpendiculares (donde lo único que varía es la asignación de las conductividades térmicas del material) . Obtenemos los resultados indicados en la tabla adjunta :

Corte	TEORICAS		REALES	
	PARALELA	PERPENDICULAR	PARALELA	PERPENDICULAR
	y (mm)	y (mm)	y (mm)	y (mm)
A1	3.142	6.007	0.064	0.117
A2	1.788	3.043	0.071	0.121
A3	1.303	2.116	0.060	0.129
A4	1.303	2.116	0.053	0.122
A5	1.116	1.775	0.057	0.114

MEMORIA DE CÁLCULO

Como puede observarse a simple vista, los resultados predichos por el modelo no se parecen en gran medida a las medidas reales realizadas en distintas experiencias, por lo que se deduce, que el modelo aplicado en donde se consideraba únicamente la transmisión de calor no es aplicable en estos casos, pudiéndose concluir que en la situaciones enunciadas para los cortes de la tabla anterior se está trabajando en la zona de formación de plasma, de ahí la reducida zona afectada por el calor y las altas discrepancias entre valores teóricos y reales, por lo que la aplicación de modelo en cortes de estas características queda invalidada.

Corte	TEORICAS	
	PARALELA	PERPENDICULAR
	y (mm)	y (mm)
B1	1.245	1.919
B2	1.464	2.160
B3	1.731	1.651
B4	1.610	2.317
B5	1.610	2.317
C1	1.245	1.919
C2	1.464	2.160
C3	1.731	1.651
C4	1.610	2.317
C5	1.610	2.317

Sin embargo, en las dos series de cortes siguientes (tanto la B como la C) , puede observarse como los valores teóricos calculados por el modelo son en gran medida parecidos a los observados en las distintas experiencias realizadas como puede observarse en la figura 2.1, por lo que de aquí se deduce que el principal factor a tener en cuenta durante el mecanizado del material es el de transmisión de calor, concluyéndose que a dichas condiciones se trabaja en la zona donde predomina el efecto de transmisión de calor.

MEMORIA DE CÁLCULO

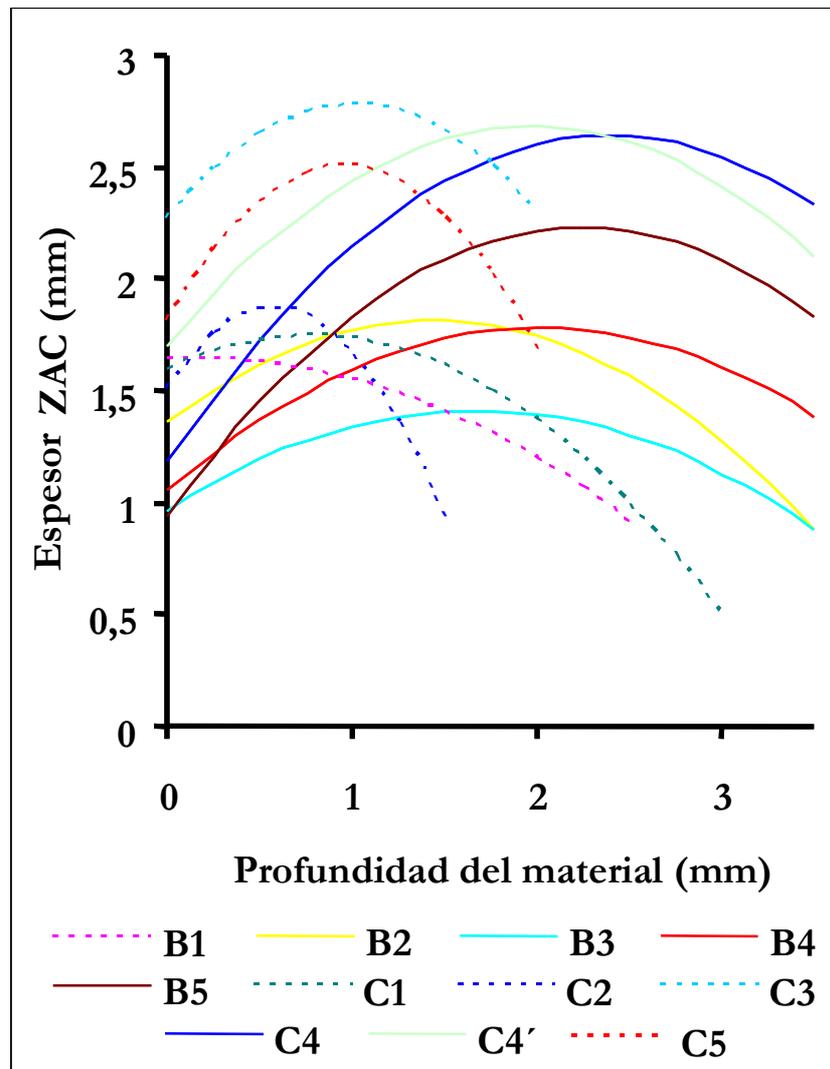


Figura 2.1 – Extensión del ZAC medidos en las diferentes experiencias realizadas

Como conclusión puede observarse que los resultados teóricos se corresponden a los experimentados en el laboratorio para las series B y C, por lo que trabajando en las condiciones indicadas encontramos que el modelo es válido para predecir la zona afectada por el calor en cada caso. Así ya tenemos definido las características del láser a diseñar y en las condiciones en la que podemos trabajar con el mismo cuando el efecto predominante sea la transmisión de calor; en el caso de que el mecanismo predominante sea la formación de plasma puede observarse la que la región afectada térmicamente es mínima. Por lo que, según la gráfica 3.1, dependiendo de las condiciones que imponamos a nuestro láser podremos trabajar en una región u otra,

MEMORIA DE CÁLCULO

dependiendo de las características de nuestro láser y de las propiedades de nuestro material a mecanizar.

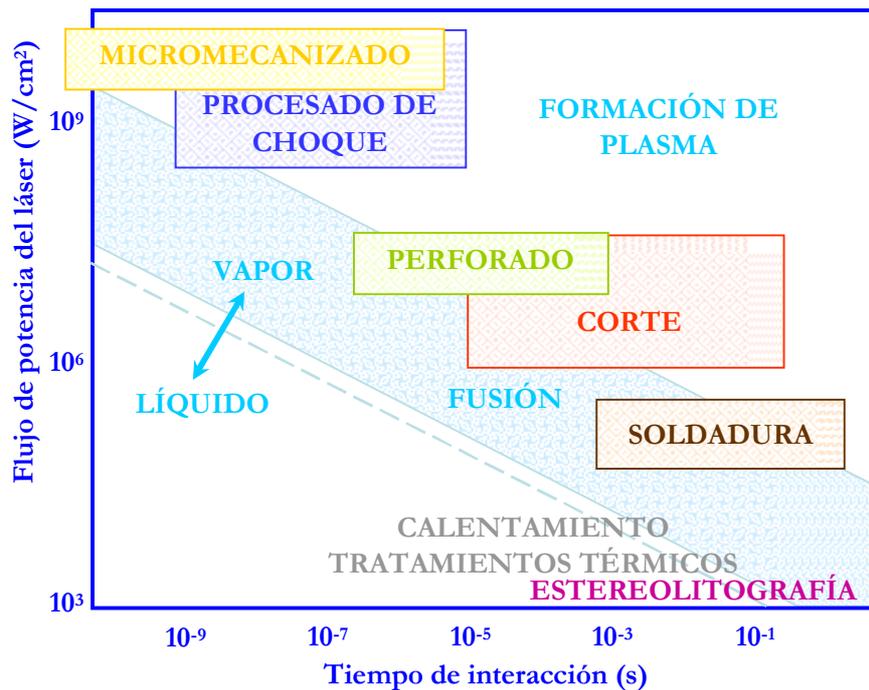


Figura 1.3 – Zonas de los distintos mecanismos que existen durante el mecanizado láser en función del tiempo de interacción y la potencia del láser

1.1.1.4.- Aplicación del modelo para determinación de condiciones óptimas de mecanizado

Una vez validado el modelo para las experiencias en las que se trabaja en condiciones predominantes de transferencia de calor (series B y C), procedemos a comprobar en qué condiciones dicho modelo nos predice un daño aceptable en nuestro proceso, que se sitúa entono a 0.2 mm de zona afectada por el calor. Para ello volvemos a recurrir a la expresión :

$$y = \frac{\eta \cdot M}{\frac{T - T_0}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp\left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right]$$

MEMORIA DE CÁLCULO

En donde, impondremos el valor de la γ , y dejando fijas todas las variables excepto una, procederemos a su cálculo, siendo estas variables: T_0 , M f(P) y J f(V). Los cálculos se realizarán para el corte en perpendicular respecto a las fibras, debido a que su ZAC es por lo general mayor que en el caso de orientación paralela, y el objetivo perseguido es la reducción por debajo del 0.2 mm marcados como máximo en todos los casos^[5], por lo que escogemos los más desfavorables.

Así, para las condiciones de nuestro sistema láser en concreto, con el cual se ha realizado las experiencias anteriores, se determina:

Serie	ZAC (mm)	T_0 (°C)	J (W/m ² K)	M (W)	P (W)	V(m/min)
B1	0.2	≤ -273	1644.75	47.75	2200	0.5
B2	0.2	≤ -273	4111.88	47.75	2200	0.5
B3	0.2	≤ -273	6579.00	47.75	3300	0.5
B4	0.2	≤ -273	6579.00	47.75	3300	0.5
B5	0.2	≤ -273	8223.75	47.75	3300	0.5
B1	0.2	25	115288.12	47.75	2200	7
B2	0.2	25	115288.12	47.75	2200	7
B3	0.2	25	115288.12	47.75	3300	7
B4	0.2	25	115288.12	47.75	3300	7
B5	0.2	25	115288.12	47.75	3300	7
B1	0.2	25	1644.75	0.135	1.696	0.5
B2	0.2	25	4111.88	0.153	1.927	0.5
B3	0.2	25	6579.00	0.174	2.189	0.5
B4	0.2	25	6579.00	0.174	2.189	0.5
B5	0.2	25	8223.75	0.190	2.383	0.5

*Se realiza sólo con la serie B, debido a que la serie C es idéntica, variando sólo el gas de aporte, característica que no se tiene en cuenta en nuestro modelo.

MEMORIA DE CÁLCULO

Como puede observarse en los resultados mostrados en la tabla anterior, no existen soluciones reales factibles para los casos estudiados en donde trabajando en la zona donde predomina la transferencia de calor se produzcan zonas afectadas térmicamente dentro de nuestros límites; ya que como puede observarse para disminuir la zona afectada por el calor se necesitarían temperaturas iniciales sin sentido físico (menores al cero absoluto), velocidades de corte muy superiores a las existente hoy día a nivel industrial, o unas potencias de láser ínfimas que para mecanizar una pieza requerirían un haz de focalización inexistente a escala industrial para producir el flujo de potencia necesario para producir el corte del material.

Así mismo resaltar que se han realizado cálculos para otras condiciones de corte e incluso combinación de parámetros, para estimar si existe algún caso en donde nos interesase trabajar, produciéndose una ZAC aceptable en unas condiciones que sean alcanzables a escala industrial, no habiéndose encontrado tal circunstancia.

1.1.1.5.- Conclusiones

Tras todo lo comentado con anterioridad, debemos concluir que tras un estudio detallado de la región donde el sistema de transmisión de calor es el predominante en el mecanizado, se han alcanzado valores de ZAC inaceptables en nuestro material, por lo que dicha región de trabajo no será en la que realicemos el mecanizado, ya que los valores de daño térmico alcanzan valores de hasta varios milímetros, muy superior a los límites marcados como objetivo.

Como pudo observarse en los resultados mostrados con anterioridad, en la serie de cortes A, en donde predominaba la formación de plasma, los daños causados por el corte son de varios órdenes de magnitud inferiores a los alcanzados en la región de transmisión de calor y a los predichos por el modelo;

MEMORIA DE CÁLCULO

estando estos valores de ZAC dentro de los límites impuestos de daño en nuestro material, por lo que determinamos, que la zona en la que debemos trabajar preferentemente es la de formación de plasma, por lo que deberemos escoger un emisor láser que nos proporcione las características necesarias para operar en dicha región de interés.

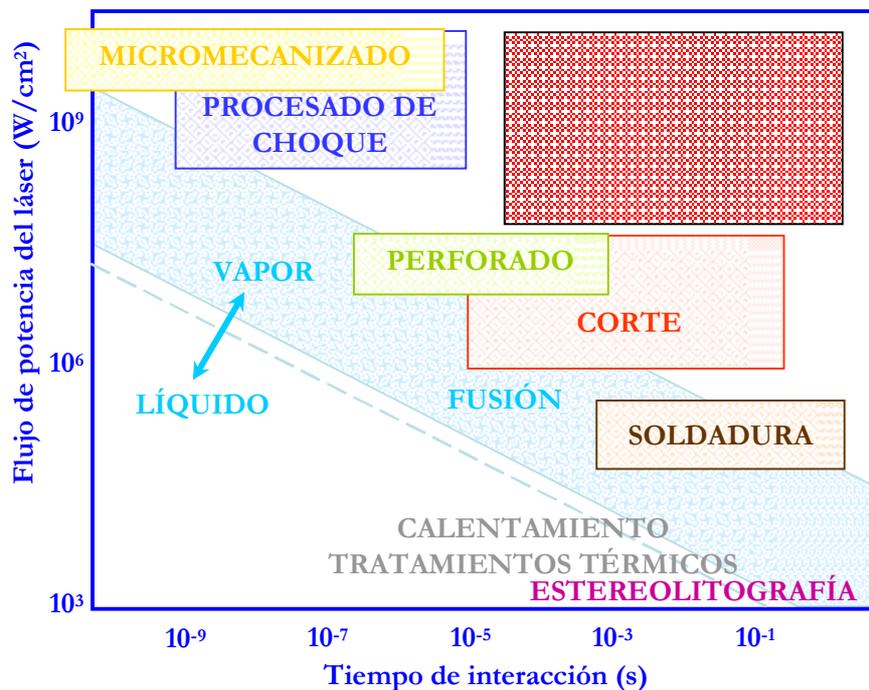


Figura 1.4 – Zonas de los distintos mecanismos que existen durante el mecanizado láser, marcado en rojo la región de formación de plasma (zona de interés)

1.1.1.6.-Bibliografía

- [1] W.S. Lau, W. B. Lee, *Ann. CIRP*, (1990) 39, 179
- [2] C.T. Pan, H. Hocheng. *Journal of Materials Processing Technology* 62 (1996) 54, 60
- [3] Antonio J. García Fuentes, Tesis doctoral (2006) : Desarrollo y optimización del proceso de mecanizado láser de CFRP
- [4] B.L. Jie, J. Lin, "Practical thermal analysis, Textile" Taiwan (1990)
- [5] I+D+E-241 , "Caracterización físico-química de materiales de Fibra de Carbono" norma interna de la empresa Airbus S.L.

1.1.2.- Fibra de vidrio

1.1.2.1.- Introducción

Como indicamos en la introducción del apartado anterior, se procederá a estudiar en qué condiciones el mecanizado nos proporciona unos valores aceptables de zona afectada por el calor para cada material objeto de estudio.

Para empezar se debe resaltar el hecho, de que como ya se indicó en la memoria descriptiva del presente proyecto, las exigencias en cuanto a mecanizado de la fibra de vidrio son mucho menores que en la del material del capítulo anterior; ya que en el caso de la fibra de carbono se estudia su empleo en el sector aeronáutico con las altas precisiones requeridas en el mismo y es usada en elementos que requieren gran precisión y fiabilidad, mientras que la fibra de vidrio es utilizada en un ámbito industrial en el que se requiere unas tolerancias mayores en el mismo sector; o en otros como puede ser el sector naval.

Así mismo es necesario resaltar el hecho de que no existen actualmente pruebas contrastadas de mecanizado de fibra de vidrio en la región donde el mecanismo predominante sea la formación de plasma que arrojen unos resultados de daños térmicos factibles en la industria actual, a lo que hay que añadir el hecho de la inexistencia de un modelo matemático validado que nos permita calcular la zona afectada térmicamente en la región de mecanizado por plasma; por lo que a continuación se realizará el estudio de si es posible el mecanizado de la fibra de vidrio en la región de transferencia de calor a partir del modelo validado en el apartado anterior.

Para el cálculo de la zona afectada térmicamente en el material, deberemos definir antes una serie de características sobre el mismo, que serán utilizadas en los cálculos referentes al modelo.

MEMORIA DE CÁLCULO

Las propiedades a tener en cuenta en el modelado para las distintas fibras de vidrio más comunes en la industria se diferencian mínimamente, del orden del error inherente al propio modelo, por lo que se asume que el cálculo que se procede a continuación es válido para todas ellas; ya que dichas propiedades son fundamentalmente la densidad, la conductividad térmica y la capacidad calorífica del material, permaneciendo éstas propiedades casi constantes en los distintos tipos^[1].

<i>Material</i>	<i>Densidad</i> $\rho(\text{kg/m}^3)$	<i>Calor</i> <i>Específico</i> $c(\text{J}/(\text{kg k}))$	<i>Conductividad</i> $k (\text{W}/(\text{m K}))$
Fibra de vidrio	2504	787	0.34
Epoxi	1200	1000	0.3
	Cortando en paralelo con el eje de la fibra		$k_1=0.34$
			$k_2=0.31$
			$k_3=0.31$
	Cortando en perpendicular al eje de la fibra		$k_1=0.31$
Fibra de vidrio/epoxi	1900	900	$k_2=0.34$
			$k_3=0.31$

1.1.2.2.- Modelización del material

A la hora de realizar la modelización del comportamiento del material fibra de vidrio respecto a la transmisión de calor existen dos casos límites, definidos por la orientación de las fibras de vidrio respecto al mecanizado láser, siendo éstos casos la disposición perpendicular y paralela de las fibras respecto al haz láser, que anteriormente ya han sido descritos y detallados en el apartado del cálculo de la potencia del láser para el mecanizado de fibra de carbono.

MEMORIA DE CÁLCULO

Recordemos que aplicaremos el modelo obtenido a partir de la ecuación del calor de conducción para un sólido anisótropo semiinfinito^[2], en donde haciendo idénticas consideraciones que para la Fibra de Carbono se llegará a la expresión final del modelado :

$$k_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_3 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot P \cdot Q}{4\pi \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}}} \cdot \exp \left[\frac{-V \cdot \rho \cdot c \cdot \left(\sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}} - \frac{x}{\sqrt{k_1}} \right)}{2\sqrt{k_1}} \right]$$

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\frac{y}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \right]$$

A continuación, se detallan distintas condiciones para las que se han realizado los cálculos de zona afectada térmicamente, indicar que dichas condiciones se han seleccionado por ser, en principio, las condiciones más comunes de trabajo en el mecanizado láser^[2]. Realizando idénticas consideraciones para las propiedades del láser, siendo las potencias y el resto de parámetros aquí señalados los más comunes en cuanto a láseres empleados en mecanizados^[3]. Empezamos calculando aquellos parámetros de valor constantes para cada caso en el modelado, los parámetros M y J:

$$M = \frac{P \cdot Q}{4\pi} \qquad J = \left(\frac{V \cdot \rho \cdot c}{2} \right)$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Serie	Potencia (W)	Velocidad (m/min)	Ganancia (%)	J (W/m ² K)	M (W)
A1	600	0.1	50	1425.00	23.87
A2	600	0.3	50	4275.00	23.87
A3	600	0.6	50	8550.00	23.87
A4	1200	0.1	50	1425.00	47.75
A5	1200	0.3	50	4275.00	47.75
A6	1200	0.6	50	8550.00	47.75
A7	1800	0.1	50	1425.00	71.62
A8	1800	0.3	50	4275.00	71.62
A9	1800	0.6	50	8550.00	71.62
A10	2400	0.1	50	1425.00	95.49
A11	2400	0.3	50	4275.00	95.49
A12	2400	0.6	50	8550.00	95.49
A13	3000	0.1	50	1425.00	119.37
A14	3000	0.3	50	4275.00	119.37
A15	3000	0.6	50	8550.00	119.37

**1 Considerándose los valores de densidad y de calor específico los valores medios indicados con anterioridad en la Tabla 2.1 , es decir $c = 900 \text{ J}/(\text{kg k})$ y $\rho = 1900 \text{ kg}/\text{m}^3$.*

Por lo que una vez determinadas las condiciones del corte y las propiedades del láser se han determinado los parámetros característicos (los factores M y J), los cuales serán aplicados en el modelo en sus dos casos extremos (fibras paralelas o perpendiculares al corte) para la determinación de la zona afectada por el calor.

A continuación presentamos los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de la región afectada térmicamente para los casos propuestos en la tabla superior, para posteriormente pasar al análisis de los resultados

MEMORIA DE CÁLCULO

obtenidos, destacar que se desglosaremos la tabla según las geometrías extremas de las fibras durante el mecanizado del material

Caso	FIBRAS PARALELAS (mm)	FIBRAS PERPENDICULARES (mm)
A1	0.894	0.860
A2	0.364	0.350
A3	0.204	0.195
A4	1.010	0.979
A5	0.408	0.390
A6	0.226	0.216
A7	1.090	1.050
A8	0.434	0.415
A9	0.239	0.228
A10	1.140	1.100
A11	0.452	0.432
A12	0.248	0.237
A13	1.190	1.140
A14	0.466	0.446
A15	0.255	0.250

Como ya se comentó en la memoria descriptiva del presente documento, los requisitos en cuanto a zona afectada térmicamente varían significativamente de un material a otro, debido a las distintas aplicaciones para los que suelen usarse; así como por ejemplo para la fibra de carbono debido a su aplicación aeronáutica la extensión de la ZAC debe ser menor a 200 micras; para otros materiales, como por ejemplo el que ahora nos lleva, la fibra de vidrio, cuyas aplicaciones industriales no exigen de una magnitud de daño tan reducida es común tomar un valor de 500 micras en la región dañada^[4].

Tal y como se destaca en la tabla anterior, podemos comprobar los distintos casos en los que no se cumple la tolerancia impuesta por los requisitos industriales para nuestro material a mecanizar; podemos contrastar que al aumentar la potencia del láser nos acercamos más al límite impuesto de daño,

MEMORIA DE CÁLCULO

y observamos cómo al aumentar la velocidad de mecanizado disminuye la región dañada térmicamente.

Por tanto, debemos reseñar que para nuestro proceso de mecanizado de fibra de vidrio y en las condiciones impuestas en el presente capítulo son válidos todos aquellos láseres con una potencia menor de 3000 W y una velocidad igual o mayor de 0.3 m/min. Sin embargo, no se procederá aún a la elección de la fuente láser en sí, ya que en capítulos siguientes se procederá al cálculo de la fuente necesaria para el mecanizado de titanio y aluminio, y será una vez concluido estos cálculos cuando se seleccione, en caso de ser posible, una fuente láser que satisfaga todos los requerimientos de los materiales a mecanizar que configuran el objeto y la finalidad del presente proyecto.

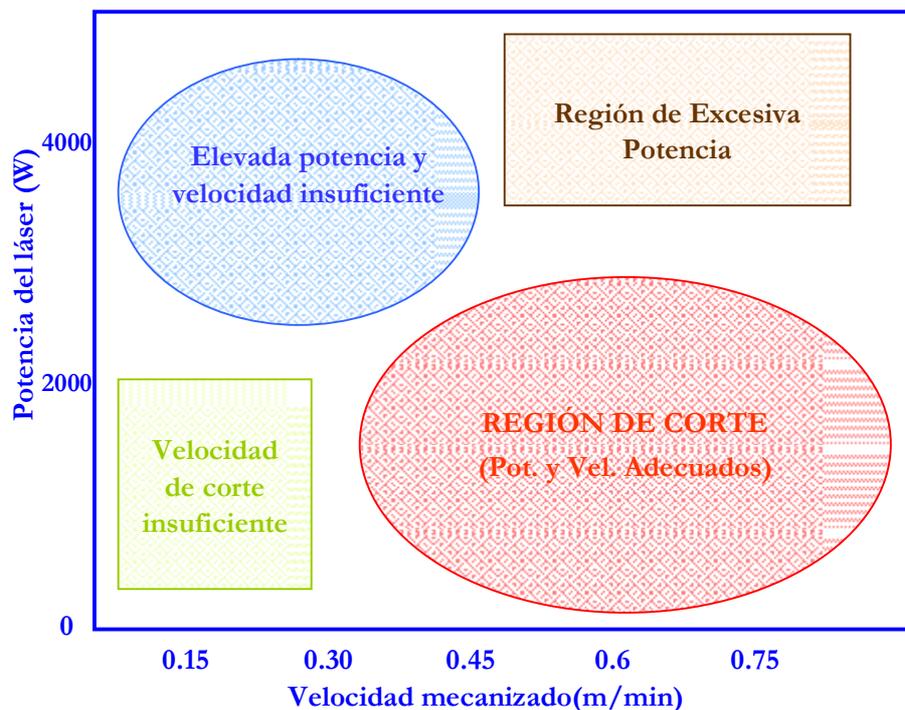


Figura 2.1 – Distintas combinaciones posibles de Potencias y Velocidades de láseres.

1.1.2.3.-Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 23/09/2006)
- [2] Antonio J. García Fuentes, Tesis doctoral (2006) : Desarrollo y optimización del proceso de mecanizado láser de CFRP
- [3] www.rofin.es, Rofin Baasel España S.L. perteneciente al grupo Rofin. (consulta realizada a fecha de 30/09/2006)
- [4] I+D+E-125 , "Caracterización físico-química de materiales de Fibra de vidrio y aramida" norma interna de la empresa Airbus S.L.

1.1.3.-Aleaciones de Aluminio

1.1.3.1.- Introducción

Una vez realizados los cálculos de potencia necesaria del emisor láser para los materiales compuestos, fibra de carbono y fibra de vidrio; pasaremos a realizar los cálculos correspondientes en cuanto a materiales metálicos aeronáuticos se refiere, comenzando con las aleaciones de aluminio aeronáutico.

Recordemos, como ya indicamos en el capítulo de introducción a los materiales a procesar de la memoria descriptiva del presente documento, que se ha seleccionado el aluminio como material metálico a mecanizar debido a que ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, su uso excede al del cualquier otro exceptuando el acero, y es un material de gran relevancia en multitud de actividades económicas, especialmente la aeronáutica; siendo éste un sector de interés del presente proyecto. Así mismo, también es necesario conocer el valor actualmente aceptado en la industria para este tipo de aleaciones de la zona afectada térmicamente, dicho margen de daño se sitúa en las 500 μm de extensión dañada^[5], por lo que éste será el valor que marcaremos como límite para la aceptación o no de los resultados calculados.

Las principales aleaciones de aluminio empleadas en aeronáutica se corresponden con 2024-O , 2024-T3 y 7075-O. Siendo sus composiciones las siguientes :

2024-O

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	90.7-94.7	Mg	1.2 - 1.8	Si	Max 0.5
Cr	Max 0.1	Mn	0.3 - 0.9	Ti	Max 0.15
Cu	3.8 - 4.9	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DE CÁLCULO

2024-T3

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	90.7 - 94.7	Mg	1.2 - 1.8	Si	Max 0.5
Cr	Max 0.1	Mn	0.3 - 0.9	Ti	Max 0.15
Cu	3.8 - 4.9	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

7075-O

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
Al	87.1 - 91.4	Mg	2.1 - 2.9	Si	Max 0.4
Cr	0.18 - 0.28	Mn	Max 0.3	Ti	Max 0.2
Cu	1.2 - 2	Otros, ind.	Max 0.05	Zn	5.1 - 6.1
Fe	Max 0.5	Otros, total	Max 0.15		

A continuación recogeremos las propiedades que nos son necesarias conocer para el posterior cálculo de la zona afectada por el calor, en este punto es necesario que indiquemos que se han seleccionado las tres aleaciones de aluminio que usan actualmente de forma mayoritaria en la industria aeronáutica^[1] :

<i>Material</i>	<i>Densidad ρ(kg/m³)</i>	<i>Calor Específico c(J/(kg K))</i>	<i>Conductividad k (W/(m K))</i>
Aluminio 2024-O	2780	875	193
Aluminio 2024-T3	2780	875	121
Aluminio 7075-O	2810	880	163

* Nota :Tomándose en todos los casos una absorptividad de 0.15, la Tº de fusión de los aluminios es de 638°C

MEMORIA DE CÁLCULO

1.1.3.2.- Modelización del material

En el caso de los metales debemos indicar, que al contrario que en los casos calculados anteriormente, se tratan de sólidos isotrópicos (de idénticas características a los largo de las tres direcciones del espacio y en todo su volumen), por lo que el modelo aplicado debe ser modificado para ajustarlo a esta nueva característica de nuestro material a procesar. De forma que partimos de la expresión inicial del modelo (detallada en el capítulo uno de la presente memoria de cálculo)^[2] :

$$k_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_3 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot P \cdot Q}{4\pi \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}}} \cdot \exp \left[\frac{-V \cdot \rho \cdot c \cdot \left(\sqrt{\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} + \frac{z^2}{k_3}} - \frac{x}{\sqrt{k_1}} \right)}{2\sqrt{k_1}} \right]$$

Tras realizar idénticas consideraciones y operaciones realizadas en el mencionado capítulo, llegamos a la expresión :

$$T - T_0 = \frac{\eta \cdot M}{\frac{y}{\sqrt{k_2}} \cdot \sqrt{(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3)}} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot y}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \right]$$

Expresión a la que hay que adaptar para un material isotrópico, para ello basta con recordar que para un sólido de nuestras características, el comportamiento de la conductividad térmica a lo largo de cualquier dirección será el mismo, por lo que $k_{i(i=1,2,3)} = k$, quedando por tanto nuestra expresión final del modelo de la siguiente forma:

$$y = \frac{\eta \cdot M}{(T - T_0) \cdot k} \cdot \exp \left[\frac{-J \cdot y}{k} \right]$$

Una vez obtenida la expresión final del modelo, podemos pasar a calcular la zona del material afectada térmicamente por el mecanizado láser para cada

MEMORIA DE CÁLCULO

uno de los casos. Para ello, operaremos de forma análoga a los materiales anteriores , empezaremos fijando las condiciones en las que se realizará el mecanizado del material, debemos destacar aquí que se escogerán las mismas (o las más próximas posibles) condiciones que en los capítulos anteriores, con la finalidad, de que al finalizar el apartado de la selección del láser se haya estudiado la posibilidad de escoger un emisor láser que satisfaga todas las situaciones planteadas para los distintos materiales.

Así el conjunto de cálculos a realizar se referirá a las siguientes condiciones que presentamos en la tabla que aparece a continuación, a las que ya hemos calculado los parámetros constantes (M y J) a través de sus ecuaciones características para cada tipo de aluminio de igual forma que para materiales anteriores :

$$M = \frac{P \cdot Q}{4\pi} \qquad J = \left(\frac{V \cdot \rho \cdot c}{2} \right)$$

Serie	Potencia (W)	Velocidad (m/min)	Ganancia (%)	M (W)	J (W/m ² K)
A1	600	0.1	50	23.87	2060.67
A2	600	0.3	50	23.87	6182.00
A3	600	0.6	50	23.87	12364.00
A4	1200	0.1	50	47.75	2060.67
A5	1200	0.3	50	47.75	6182.00
A6	1200	0.6	50	47.75	12364.00
A7	1800	0.1	50	71.62	2060.67
A8	1800	0.3	50	71.62	6182.00
A9	1800	0.6	50	71.62	12364.00
A10	2400	0.1	50	95.49	2060.67
A11	2400	0.3	50	95.49	6182.00
A12	2400	0.6	50	95.49	12364.00
A13	3000	0.1	50	119.37	2060.67
A14	3000	0.3	50	119.37	6182.00
A15	3000	0.6	50	119.37	12364.00

MEMORIA DE CÁLCULO

En este punto es necesario detallar que en la expresión final de nuestro modelo no se ha considerado la temperatura de fusión de la aleación como aquella temperatura hasta la cual se produce el daño térmico, sino que se ha determinado como tal aquella temperatura a partir de la cual se producen cambios microscópicos en nuestra aleación, ya que dichos cambios microscópicos afectan a las propiedades mecánicas del material, por lo que deberán tenerse en cuenta a la hora de cuantificar la extensión del daño térmico producido durante el mecanizado; así en las series aleadas de Aluminios 2024-O y 2024-T3 donde el aleante de mayor importancia es el Cobre debemos acudir al siguiente diagrama de Fase^[3] :

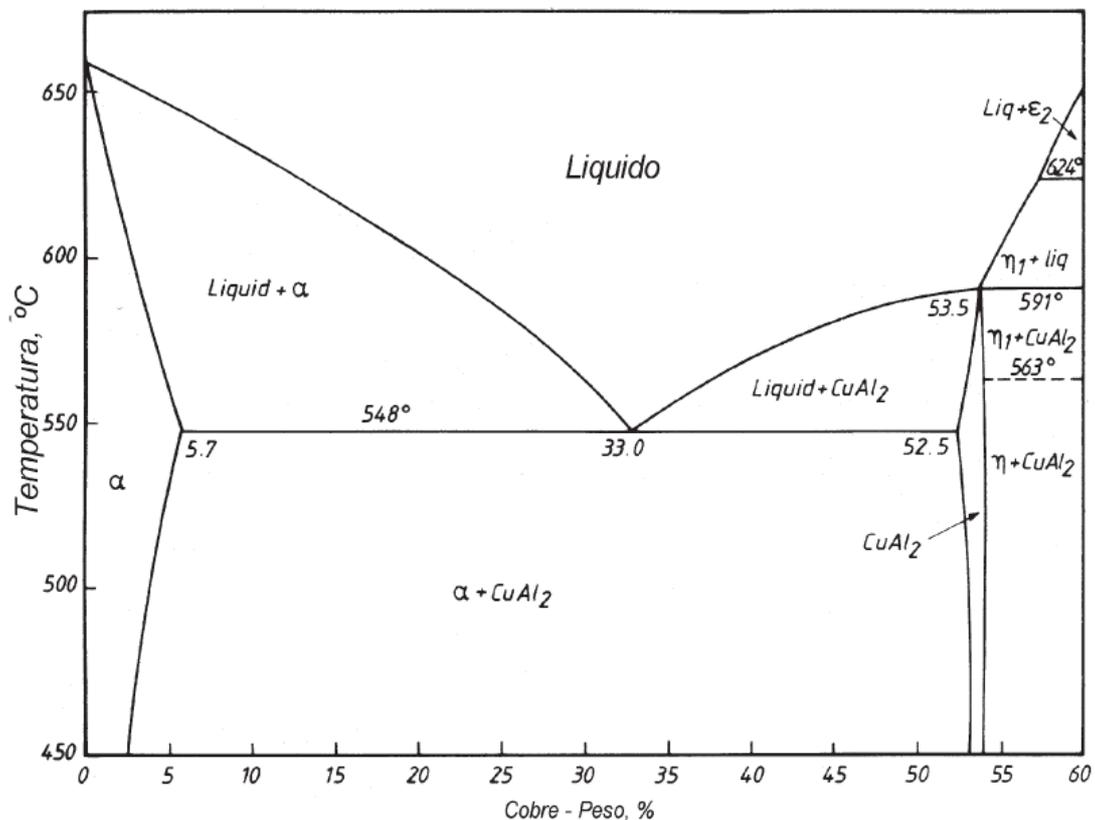


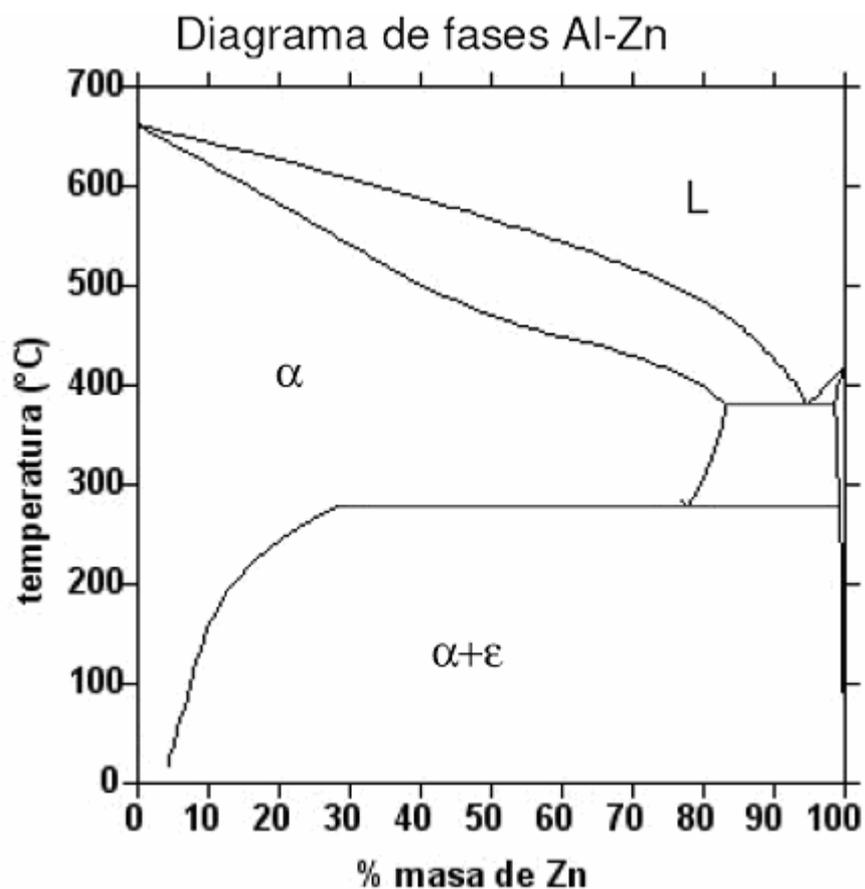
Fig. 7.1 Diagrama de equilibrio de fases binario aluminio-cobre

En donde podemos comprobar que para nuestro rango de % en peso de cobre (3.8-4.9 % para ambas aleaciones) la temperatura límite de trabajo para evitar la formación de fases diferentes a las iniciales es de 480 °C, valor que

MEMORIA DE CÁLCULO

será el utilizado en nuestros cálculos de zona afectada por el calor para las aleaciones de la serie 2000.

Para la aleación 7075-O, haremos uso a su vez del diagrama de fase Al-Zn, por ser el Zn el aleante mayoritario con un rango de porcentaje en peso del 5.1-6.1 % ^[4].



En el diagrama superior podemos comprobar que al contrario de lo que ocurría en el caso anterior para la aleación 7075-O no existen cambios microscópicos al elevar la temperatura para nuestro % en Cinc, por lo que podemos usar en los cálculos la temperatura de fusión del Aluminio.

MEMORIA DE CÁLCULO

Por tanto, tras estas consideraciones pasamos a la resolución de la ecuación de nuestro modelo para cada caso, resultando :

Caso	Aluminio 2024-O (mm)	Aluminio 2024-T3 (mm)	Aluminio 7075-O (mm)
A1	0.041	0.065	0.036
A2	0.041	0.065	0.036
A3	0.041	0.065	0.036
A4	0.082	0.130	0.071
A5	0.082	0.129	0.071
A6	0.081	0.128	0.070
A7	0.122	0.195	0.107
A8	0.122	0.193	0.106
A9	0.121	0.192	0.106
A10	0.163	0.259	0.143
A11	0.162	0.257	0.142
A12	0.161	0.254	0.141
A13	0.204	0.324	0.179
A14	0.203	0.320	0.178
A15	0.201	0.316	0.177

En donde, debemos destacar la mínima relevancia de la velocidad de corte en el caso de los metales, debido a su alta constante de conductividad térmica, lo que proporciona al material una importante velocidad de transferencia de calor, al contrario de lo que ocurría con los materiales poliméricos estudiados hasta ahora.

Como conclusión, resaltamos el hecho de que las zonas afectadas térmicamente son mínimas, muy inferiores al límites de daño marcado con anterioridad de 500 μm ; por debajo incluso del límite impuesto a la fibra de carbono de 0.2 mm (ver apartado 1 del presente capítulo de cálculo).

Por lo que en principio, son aceptables todos aquellos láseres con una potencia igual o menor a 3000 W; existiendo la posibilidad de que en caso de que fuese necesario por alguna circunstancia, aumentar la potencia del emisor láser, obteniéndose también resultados válidos, al ser la región dañada térmicamente inferior al límite exigido.

1.1.3.3.-Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 5/10/2006)
- [2] W.S. Lau, W. B. Lee, *Ann. CIRP*, (1990) 39, 179
- [3] Metalografía de las aleaciones de aluminio y magnesio, Edicions UPC, 2005
- [4] Materiales Metálicos (MR6460), Centro Universitario de FEI.
- [5] I+D+E-140, "Inspección del tratamiento térmico en aleaciones de Aluminio mediante conductividad eléctrica y dureza", norma interna de Airbus S.L.

MEMORIA DE CÁLCULO

1.1.4.-Titanio

1.1.4.1.- Introducción

El titanio es un metal que presenta una estructura hexagonal compacta, es duro, refractario y buen conductor de la electricidad y el calor. Presenta una alta resistencia a la corrosión y cuando está puro, se tiene un metal ligero, fuerte, brillante y blanco metálico de una relativa baja densidad. Posee muy buenas propiedades mecánicas y además tiene la ventaja, frente a otros metales de propiedades mecánicas similares, de que es relativamente ligero. Debido a su fuerza, baja densidad y el que puede soportar temperaturas relativamente altas el Titanio y sus aleaciones se emplean en aviones y misiles. También se encuentra en distintos productos de consumo como: palos de golf, bicicletas, etc...por lo que al igual que en el caso del Aluminio, se ha seleccionado por su amplio uso en aplicaciones aeronáuticas, siendo esta aplicación principal objeto del proyecto, como se indicó ya con anterioridad.

Por tanto, en el presente capítulo se procede al cálculo de la zona afectada por el calor durante el mecanizado del Titanio, debemos indicar que dicha operación es totalmente análoga al desarrollo de los cálculos efectuados para las aleaciones de Aluminio, debido a su idéntico comportamiento con respecto al modelo, simplemente variando los valores de las propiedades empleadas en el modelado las cuales son inherentes a cada material. Siendo dichas propiedades^[1] :

<i>Material</i>	<i>Densidad $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$</i>	<i>Calor Específico $c(\text{J}/(\text{kg K}))$</i>	<i>Conductividad $k (\text{W}/(\text{m K}))$</i>	<i>Absortividad</i>	<i>Tª Fusión (°C)</i>
Titanio	4500	528	22	0.3	1650°C

*Al tratarse de metal Titanio puro, no se producen cambios microestructurales, por lo que se considerarán daños estructurales en el mismo a partir de su Tª de fusión, sin embargo como margen de seguridad para los cálculos posteriores, consideraremos que se produce daño térmico a partir de que se alcanzan los 1500°C en el material.

MEMORIA DE CÁLCULO

1.1.4.2.- Modelización del material

El desarrollo del modelado del Titanio, como hemos indicado en el apartado anterior, es idéntico al del caso del Aluminio, por tanto pararemos a indicar directamente la expresión obtenida para nuestro material isotrópico:

$$y = \frac{\eta \cdot M}{(T - T_0) \cdot k} \cdot \exp\left[\frac{-J \cdot y}{k}\right]$$

A continuación, podremos realizar los cálculos y obtener las zonas afectadas térmicamente en nuestro material. Recordar que se escogen las condiciones planteadas en los anteriores casos estudiados; para así al finalizar, estudiar la posibilidad de escoger un mismo emisor láser que mecanice correctamente los diferentes materiales propuestos. De igual forma calculamos los valores de los parámetros constantes M y J, de forma análoga a los materiales anteriores :

$$M = \frac{P \cdot Q}{4\pi} \qquad J = \left(\frac{V \cdot \rho \cdot c}{2}\right)$$

Serie	Potencia (W)	Velocidad (m/min)	Ganancia (%)	M (W)	J (W/m ² K)
A1	600	0.1	50	23.87	1980.00
A2	600	0.3	50	23.87	5940.00
A3	600	0.6	50	23.87	11880.00
A4	1200	0.1	50	47.75	1980.00
A5	1200	0.3	50	47.75	5940.00
A6	1200	0.6	50	47.75	11880.00
A7	1800	0.1	50	71.62	1980.00
A8	1800	0.3	50	71.62	5940.00
A9	1800	0.6	50	71.62	11880.00
A10	2400	0.1	50	95.49	1980.00
A11	2400	0.3	50	95.49	5940.00
A12	2400	0.6	50	95.49	11880.00
A13	3000	0.1	50	119.37	1980.00
A14	3000	0.3	50	119.37	5940.00
A15	3000	0.6	50	119.37	11880.00

MEMORIA DE CÁLCULO

Utilizando las expresiones anteriores de igual forma que se usaron con anterioridad , obtenemos:

Caso	Aluminio 2024-O (mm)
A1	0.000215
A2	0.000208
A3	0.000198
A4	0.000424
A5	0.000396
A6	0.000362
A7	0.000625
A8	0.000547
A9	0.000497
A10	0.000819
A11	0.000628
A12	0.000796
A13	0.001000
A14	0.000872
A15	0.000740

Podemos observar como en este caso la zona afectada térmicamente es mayor que en caso del Aluminio (debido a la diferencia en cuanto a conductividad térmica de los materiales, principalmente) , produciéndose en algunos casos daños inaceptables en el material, marcado el límite en $500\mu\text{m}^{[3]}$. Concluimos señalando que se han resaltado aquellos casos en donde el daño se considera aceptable, por lo que la potencia máxima del láser a usar se estima en 1800 W (a una velocidad superior a 0.6m/min, o de menores potencias pudiéndose usar a su vez a una menor velocidad.

1.1.4.3.-Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 5/10/2006)
- [2] W.S. Lau, W. B. Lee, *Ann. CIRP*, (1990) 39, 179
- I+D+E-222, Inspección del tratamiento térmico en Titanio y sus aleaciones, norma interna de Airbus S.L.

1.2.- Región de trabajo durante el mecanizado

1.2.1.- Desarrollo del estudio de la región de trabajo en el mecanizado

Como ya hemos indicado en el apartado 1.1.1.2 de la presente Memoria de Cálculo, Modelización del material, la aplicación del modelo empleado para la determinación de la zona afectada por el calor sólo es válida en regímenes donde predomina la transferencia de calor frente a otros fenómenos como puede ser la formación de plasma.

En el cálculo del ZAC en la fibra de carbono, comprobamos que en una de las ocasiones los resultados predichos por el modelo diferían en gran magnitud de los obtenidos en experiencias reales, de ahí la obligatoriedad de demostrar que se está aplicando el modelo en los rangos en los que es aplicable. Para lo cual haremos uso de nuevo de la siguiente gráfica^[1] :

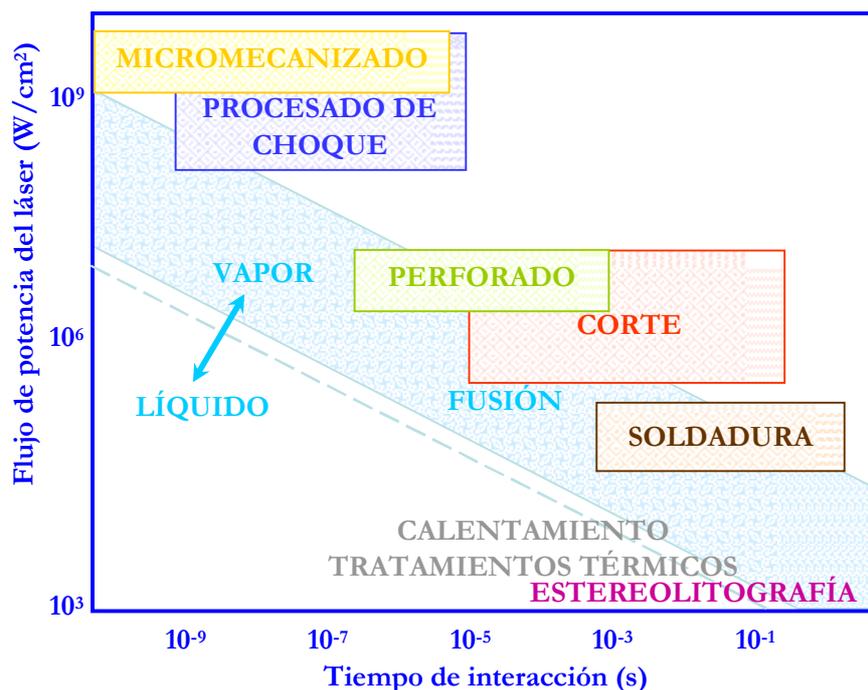


Figura 1.1 – Zonas de los distintos mecanismos que existen durante el mecanizado láser en función del tiempo de interacción y la potencia del láser

MEMORIA DE CÁLCULO

Como hemos indicado con anterioridad, dependiendo de la zona en que se trabaje, el modelo será aplicable o no. Para determinar qué mecanismo es el predominante en nuestro proceso, debemos haber definido tanto el tiempo de interacción, dependiente de la frecuencia y de la ganancia de nuestro láser, y por tanto ya puede ser calculado; como el flujo de potencia, que a su vez se obtiene a partir de la potencia del láser seleccionado y el spot o diámetro del haz láser.

Como podemos comprobar, ya tenemos todos los parámetros de las variables definidos o al menos acotados (en el caso de la potencia de emisor láser válido para todos los materiales), exceptuando el del spot del láser; siendo éste por tanto la variable que determinaremos a continuación y que nos sitúe en la zona requerida para cada caso.

Sin embargo, en el caso de la fibra de carbono, a la hora de realizar la validación del modelo teníamos definido a su vez esta variable, por lo que primeramente realizaremos la comprobación del supuesto que se realizó entonces, que los valores incoherentes con los obtenidos en la realidad se debían a que estábamos fuera de la zona de aplicación del modelo, es decir de transferencia de calor, mientras que los que sí eran coincidentes se obtuvieron al trabajar en dicha zona. Para ello, determinaremos el tiempo de interacción y el flujo de potencia en cada caso :

Serie de cortes A :

$$\text{Tiempo de interacción} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} \cdot \text{Ganancia} = \frac{1}{33 \text{ Hz}} \cdot 1 = 0.0303 = 3.03 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{600 \text{ W}}{\pi \cdot r^2} = \frac{600 \text{ W}}{\pi \cdot (2.25 \cdot 10^{-3})^2} = 3.7 \cdot 10^7 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DE CÁLCULO

Serie de cortes B :

$$\text{Tiempo de interacción} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} \cdot \text{Ganancia} = \frac{1}{10 \text{ Hz}} \cdot 0.75 = 7.5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{2200 \text{ W}}{\pi \cdot r^2} = \frac{2200 \text{ W}}{\pi \cdot (1.2 \cdot 10^{-2})^2} = 4.8 \cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

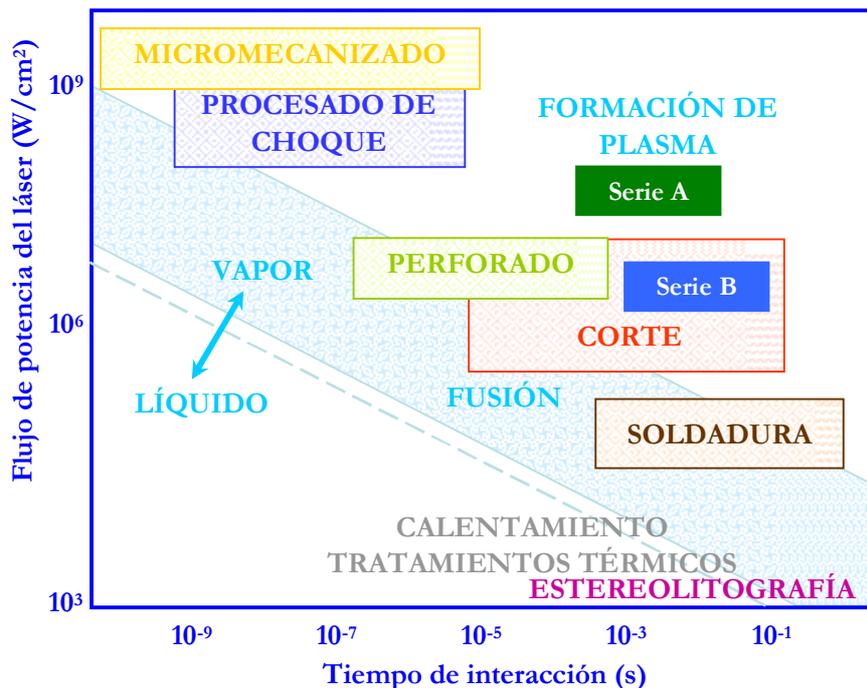


Figura 1.2 – Zonas de mecanizado de las series A y B de la Fibra de Carbono.

Como podemos observar en la Figura 1.2, la serie A se encuentra fuera de los límites de aplicación del modelo, de ahí la incoherencia entre resultados reales y los predichos en los cálculos; así mismo podemos constatar que para la serie B, en donde los resultados obtenidos por nuestro modelo se ajustaban en gran medida a los reales, se encuentran en la zona de transferencia de calor, que es el rango de aplicación de nuestro modelado, siendo por tanto éste válido para tales circunstancias.

MEMORIA DE CÁLCULO

Así mismo, para el resto de casos, como comentamos anteriormente, podemos acudir a dicha figura con el fin de delimitar los valores del spot láser que nos den un flujo de potencia que nos permita trabajar en una zona u otra.

Comprobando los resultados obtenidos en los cálculos de zona afectada por el calor, vemos que existe la posibilidad de seleccionar a priori un emisor láser que sea válido (en cuanto a zona afectada térmicamente) para todos los materiales a procesar y que nos permita un rango de velocidades de mecanizado aceptable en nuestros materiales, siendo el límite superior de la potencia aceptable de 1200 W; por tanto, seleccionaremos un láser que sea capaz de proporcionarnos 1000 W de potencia efectiva, ya que a priori puede cumplir todas las condiciones enunciadas anteriormente. La frecuencia del láser es de 33 Hz, lo que unido a la ganancia asignada de 0.5, calculamos el punto de operación en el eje de coordenadas X^[2] :

$$\text{Tiempo de interacción} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} \cdot \text{Ganancia} = \frac{1}{33 \text{ Hz}} \cdot 0.50 = 1.51 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

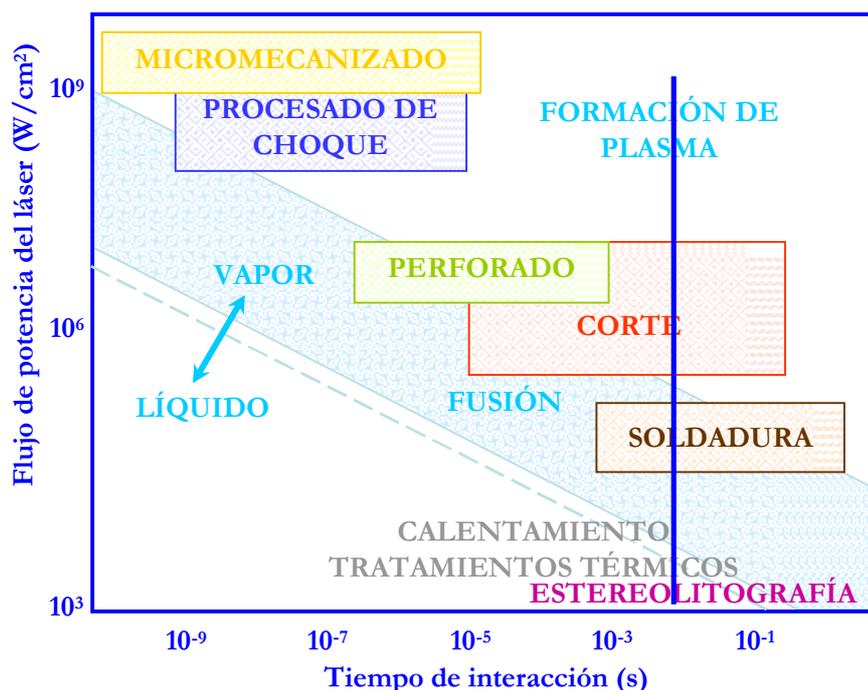


Figura 1.3 – Punto de operación del láser seleccionado en el eje X (tiempo de interacción)

MEMORIA DE CÁLCULO

Como vemos en la figura 1.3, dicho láser nos proporciona un valor del tiempo de interacción válido sea cual sea el régimen (transmisión de calor o formación de plasma) en el que debemos trabajar, así pues fijando el valor del eje y que nos interese, podremos estar en un régimen u otro. Como ya hemos definido la potencia de nuestro láser, el parámetro que determine en que región trabajamos será el haz del láser, por lo que calcularemos los intervalos de haz láser válidos para cada material .

Fibra de Carbono : en este caso marcaremos como límites de la región aquellos que delimitan la zona de formación de plasma , es decir un flujo de potencia del láser de 10^9 y 10^7 (Ver gráficas anteriores)

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{1000 W}{\pi \cdot r^2} = 10^9 \rightarrow r_{\min} = 0.000564 \text{ cm} = 5.64 \mu\text{m}$$

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{1000 W}{\pi \cdot r^2} = 10^7 \rightarrow r_{\max} = 0.005641 \text{ cm} = 56.41 \mu\text{m}$$

Fibra de Vidrio : los límites de la región son aquellos que acotan la zona de transferencia de calor , es decir un flujo de potencia del láser de 10^7 y 10^6 (Ver gráficas anteriores)

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{1000 W}{\pi \cdot r^2} = 10^7 \rightarrow r_{\min} = 0.005641 \text{ cm} = 56.41 \mu\text{m}$$

$$\text{Flujo de potencia del láser} = \frac{\text{Potencia del láser}}{\text{Área de focalización}} = \frac{1000 W}{\pi \cdot r^2} = 10^6 \rightarrow r_{\max} = 0.017841 \text{ cm} = 178.41 \mu\text{m}$$

Obteniéndose el mismo rango de la Fibra de Vidrio para las aleaciones de Aluminio y Titanio, ya que en estos casos nos interesa trabajar en transferencia de calor. Quedando por tanto finalmente los rangos tal y como se muestran a continuación :

	F.C.	F.V.	Al	Ti
r_{\min} (μm)	5.64	56.41	56.41	56.41
r_{\max} (μm)	56.41	178.41	178.41	178.41

MEMORIA DE CÁLCULO

Por tanto concluiremos, escogiendo la focalización del haz sobre cada material para el posterior diseño del cabezal; siendo los seleccionados de 30 μm de diámetro para la fibra de carbono, debido a la dificultad de disminuir la focalización de forma satisfactoria para que se realice el mecanizado y además con el fin de dejar un margen de seguridad para trabajar en nuestra región de interés. Mientras que en el resto de los casos (fibra de vidrio, Aluminio y Titanio) se ha seleccionado un haz de 150 μm de diámetro en común, ya que los láseres comerciales^[2] presentan dicho diámetro de fibra óptica, por lo que será innecesario por tanto la focalización en nuestro material a través de una lente convergente, simplemente requeriremos una lente que impida la disipación del haz láser manteniendo el paralelismo de los rayos del haz.

1.2.2.-Bibliografía

- [1] Antonio J. García Fuentes, Tesis doctoral (2006) : Desarrollo y optimización del proceso de mecanizado láser de CFRP
- [2] www.rofin.es, Rofin Baasel España S.L. perteneciente al grupo Rofin. (consulta realizada a fecha de 30/09/2006)

1.3.- Conclusiones sobre el emisor Láser seleccionado

1.3.1.- Cálculo del espesor capaz de procesar el sistema láser

En el apartado anterior se definieron las características y propiedades que debe reunir nuestro láser; sin embargo, antes de su selección final, queda una última comprobación de intensa importancia. Para un correcto mecanizado de nuestro material, debemos asegurarnos de que la potencia seleccionada de nuestro emisor sea tal, que nos asegure que dará lugar a la vaporización del material a retirar en nuestro proceso. Es decir, una vez seleccionado a primera instancia nuestro emisor láser, es necesario estimar a partir de la potencia nominal de dicho láser, la potencia real absorbida por nuestro material; y comprobar cual es la capacidad de mecanizado (en cuanto a espesor) de nuestro emisor láser para cada material.

Por tanto, se hace necesario realizar una serie de cálculos con el fin de estimar dichos valores, para ello recurrimos a un balance de energía en el que la potencia absorbida por el material será igual a la potencia nominal del láser menos la potencia disipada por radiación, destacar la eliminación de otros términos de la ecuación (tales como disipación en la atmósfera del haz láser, pérdidas por convección, etc...) en dicho balance energético debido a su mínima influencia en los cálculos, ya que éstos últimos son de varios órdenes de magnitud inferiores a los valores que corresponden a los términos enunciados con anterioridad.

Además, en el caso de la fibra de carbono que requiere una focalización de nuestro haz láser (de 30 μm) con el fin de alcanzar durante el mecanizado el régimen de plasma, será necesario llevar a cabo un estudio sobre el espesor que es capaz de mecanizar nuestro sistema láser sin desenfocarse, lo que daría lugar a un mecanizado incorrecto de nuestro material.

MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, expondremos una tabla donde recogemos los distintos valores de las propiedades de los materiales a procesar que necesitaremos en los cálculos posteriores^{[1] [2]} :

Propiedades	Fibra de Carbono	Fibra de Vidrio	Aluminio	Titanio
Tª Vaporización (K)	4300	3223	2792	3560
Densidad (Kg/m³)	1530	1900	2780	4500
Calor latente de vaporización (J/Kg)	$5.96 \cdot 10^7$	$5.50 \cdot 10^6$	$10.08 \cdot 10^7$	$8.90 \cdot 10^6$

*Se han seleccionado los valores del Aluminio metal debido a la igualdad de las respectivas propiedades o bien al no existir datos específicos de las aleaciones.

A continuación, procedemos al cálculo de dicha potencia para cada material a mecanizar.

Fibra de Carbono :

$$P_{láser} = P_{abs} + P_{rad} \longrightarrow P_{abs} = P_{láser} - P_{rad}$$

$$P_{efectiva\ emisor\ láser} = 1000\ W$$

La potencia efectiva del emisor láser, hace referencia a la potencia real que debe suministrar nuestro emisor tras tener en cuenta las pérdidas generadas en la transmisión del haz por la fibra óptica (Ver el capítulo del presente proyecto correspondiente al cálculo de cabezal). La potencia de radiación se calcula a partir de la expresión de Stefan-Boltzmann, que establece que toda materia que se encuentra a una temperatura finita emite una radiación térmica. Esta radiación se origina a partir de la energía térmica de la materia, limitada por la superficie; la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m^2) se denomina la potencia emisiva superficial. Siendo su expresión matemática :

$$P''_{rad} = \sigma \cdot T^4$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Correspondiéndose la T, con la temperatura del cuerpo en grados Kelvin, siendo en nuestro caso las temperaturas de vaporización de nuestro material a procesar, en este caso en concreto la del Aluminio (2792 K). Y σ es una constante denominada la constante de Stefan-Boltzmann, cuyo valor es :

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$P''_{rad} = \sigma \cdot T^4 = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 4300^4 = 1.94 \cdot 10^7 \frac{W}{m^2}$$

Simplemente nos queda poner las variables en las mismas unidades, es decir en W, para lo cual lo único que debemos hacer es considerar el área emisora de radiación en la expresión de la potencia radiada. Esta área emisora de radiación, se corresponde con la superficie mecanizada del material, por tanto dependerá a su vez de la velocidad del mecanizado, de ahí que estudiemos las velocidades desarrolladas durante el proceso, y tomemos como referencia la unidad de tiempo (s), para los cálculos , quedando la expresión :

$$E_{láser} = E_{abs} + E_{rad} \longrightarrow E_{abs} = E_{láser} - E_{rad}$$

$$E_{láser} = 1000 J$$

$$E_{láser-lente} = 1000 \cdot 0.99 = 990 J$$

Indicar que el término $E_{láser-lente}$, hace referencia al sistema de focalización de nuestro láser ya que éste requerirá una lente ; bien convergente si perseguimos que el haz converja en un punto, bien plana si perseguimos evitar la divergencia del rayo; y por tanto hay que tener en cuenta la energía disipada por dicha lente. Según los fabricantes el porcentaje de absorción de las lentes láser es del 0.1% de la potencia recibida, nosotros tomaremos el valor de un 1%, con el fin de aportar un margen de seguridad a nuestros cálculos .

1.- Velocidad de 0.1 m/min (0.00167 m/s)

$$\text{Área mecanizada} = \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right) \cdot \text{Diámetro del Haz} (m) = 1.67 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5 \cdot 10^{-4} = 2.5 \cdot 10^{-7} m/s$$

$$E_{rad} = P''_{rad} \left(\frac{W}{m^2} \right) \cdot \text{Área mecanizada} \left(\frac{m^2}{s} \right) = 1.94 \cdot 10^7 \cdot 2.5 \cdot 10^{-7} = 4.85 J$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Quedando por tanto :

$$E_{abs} = E_{láser} - E_{rad} = 990 - 4.85 = 985.15 J$$

Y al haber tomado de referencia la unidad de tiempo, nos queda :

$$P_{abs} = 985.15 W$$

Siendo esta la energía real efectiva que absorbe nuestro material en la unidad de tiempo, ahora sólo nos cabe calcular el volumen de material que es capaz de vaporizar, y al tener definidas la anchura y longitud del mecanizado, obtener por tanto el espesor capaz de ser procesado por nuestro sistema láser.

Para ello, sabemos que el volumen del material a procesar en la unidad de tiempo, por la densidad y el calor latente de vaporización nos da como resultado la potencia necesaria para realizar el proceso, de la forma :

$$P_{mec} = V_{mat} \cdot \rho \cdot \lambda$$

Correspondiéndose :

$$V = \text{Espesor (m)} \cdot \text{Diámetro del Haz (m)} \cdot \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del material} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\lambda = \text{Calor latente de vaporización} \left(\frac{J}{Kg} \right)$$

En este apartado debemos explicar que estamos usando la T^a de vaporización y el calor latente del tipo de fibra en sí, por tanto no podemos usar la densidad del material, ya que ésta se corresponde a la densidad conjunta de resina y fibras. Recordemos, que tal como se explicitó en el apartado de la zona afectada por el calor de la fibra de carbono, la resina epoxi existente entre las capas de fibras se volatiliza en los primeros pasos del proceso de corte debido a las altas temperaturas necesarias para fundir y evaporar la fibra de carbono; siendo esta energía de vaporización de la resina, totalmente despreciable frente a la magnitud necesaria para procesar la fibra de carbono. Por tanto a la hora

MEMORIA DE CÁLCULO

de realizar los cálculos operaremos con la densidad relativa del material referente a la fibra en sí (% en peso de fibra · densidad del material), según su porcentaje en fibras; valor al cual le añadiremos un 10% de seguridad, recogiendo por tanto con total seguridad las pérdidas de calor generadas en la vaporización de la resina.

Por tanto, aplicando la expresión enunciada con anterioridad, podemos calcular el espesor que el sistema es capaz de mecanizar :

$$E = \frac{P_{mec}}{Vel \cdot Diámetro Haz \cdot \rho \cdot \lambda} = \frac{985.15}{(1.67 \cdot 10^{-3}) \cdot (1.5 \cdot 10^{-4}) \cdot 710 \cdot 5.96 \cdot 10^7} = 0.09294 \text{ m}$$

Por lo que podemos observar que para las condiciones dadas, somos capaces de procesar un material de hasta 9.389 cm de espesor, muy superior al límite marcado de los 2 cm. Sin embargo, aún nos queda comprobar las capacidades de mecanizado a velocidades mayores, en donde se opera de igual manera pero variando dicho término; así mismo el método de cálculo es análogo para el resto de materiales, así que pasaremos directamente a exponer los resultados obtenidos en la tabla siguiente :

		Espesor mecanizable (m)			
		Aluminio	Titanio	Fibra de Carbono	Fibra de Vidrio
Material	Velocidad				
	0.1 m/min	0.13211	0.09864	0.09294	0.08289
	0.3 m/min	0.04229	0.03198	0.02990	0.02682
	0.6 m/min	0.02108	0.01538	0.01422	0.01283

MEMORIA DE CÁLCULO

Como podemos observar para velocidades iguales o menores de 0.3m/min, los resultados obtenidos para todos los materiales son satisfactorios; incluso en el caso del aluminio existe la posibilidad de procesar el material a velocidades de hasta 0.6 m/min .Se han remarcado en rojo, aquellas situaciones que no cumplen con las especificaciones marcadas en nuestros objetivos, en este caso ser capaces de mecanizar un material de hasta 2 cm de espesor.

Ahora nos queda comprobar si las condiciones válidas expuestas en la tabla superior, son compatibles con las exigidas en cuanto al cálculo de zona afectada térmicamente, a modo recordatorio expondremos :

1.- Fibra de Carbono : como se concluyó al finalizar el capítulo de su zona afectada por el calor, no puede ser mecanizada en la región cuyo mecanismo predominante es la transferencia de calor, ya que los resultados obtenidos son totalmente insatisfactorios; por tanto, a raíz de los resultados obtenidos experimentalmente en el mecanizado únicamente puede procesarse éste si trabajamos en la zona de formación de plasma, por lo que en principio la potencia del láser es indiferente siempre que sea éste capaz de alcanzar el mecanizado en la región de plasma de la fibra de carbono.

2.- Fibra de Vidrio : los resultados obtenidos en su mecanizado son aceptables para potencias de láser de hasta 3000 W, así como una velocidad de corte de mayor o igual de 0.3 m/min. Ya que a velocidades menores, se obtienen valores de ZAC que no pueden ser asumidos en nuestro mecanizado para dicho material.

3.- Aleaciones de Aluminio : se obtienen resultados adecuados para láseres de potencia inferiores a los 2400 W, sin que la velocidad de corte sea de una elevada influencia.

MEMORIA DE CÁLCULO

4.- Titanio : son válidos láseres de una potencia de 1800 W a velocidades de unos 0.6 m/min o bien potencias iguales o menores de 1200 W a velocidades iguales o mayores de 0.1 m/min.

Como podemos comprobar se cumplen todos los requisitos, tal y como detallamos en la tabla adjunta :

Validez de	Potencia del emisor Láser de 1000 W			
Potencia ZAC	Aluminio	Titanio	Fibra de Carbono*	Fibra de Vidrio
0.1 m/min				
0.3 m/min				
0.6 m/min				

* Para la F.C. es válida cualquier potencia de láser, siempre y cuando sea capaz de mecanizar al material en la región de formación de plasma

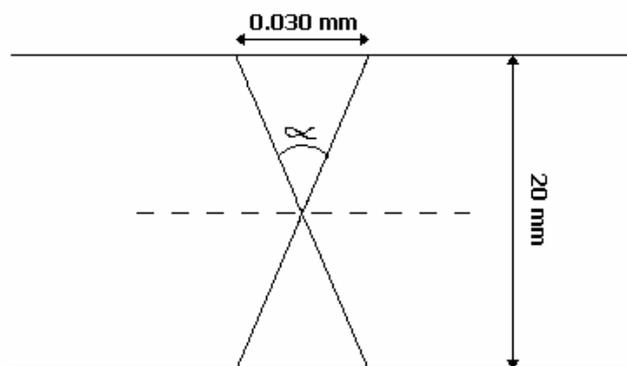
Vemos en el diagrama anterior, las zonas azules y blancas son las que nos aportan resultados favorables; es decir, son las condiciones a las que podemos trabajar y que cumplen todos los requisitos, aquellas condiciones que presentan un fondo rojizo, representan las condiciones que o bien por especificaciones de ZAC o bien por una potencia insuficiente para el espesor que se persigue mecanizar, no cumplen con nuestros objetivos marcados. Esta tabla sirve para comprobar que para cada material hay al menos unas condiciones alcanzables con nuestro sistema láser (esencialmente de velocidad de procesamiento y potencia del emisor) que cumplen con todas las especificaciones perseguidas.

1.3.2.-Sistema de enfoque del haz Láser

Sin embargo antes de elegir definitivamente este emisor láser, nos queda una última comprobación, respecto al mecanizado de la fibra de carbono, tratándose esta comprobación de asegurarnos que somos capaces de mantener focalizado el haz láser a lo largo del espesor a procesar con un sistema de enfoque que nos proporcione un régimen de trabajo en la región de formación de plasma.

Para ello el sistema de enfoque irá situado en el cabezal del láser y estará formado, como elemento principal, por una lente de enfoque comprendida entre los 11.28 μm y 112.8 μm y a priori en su momento seleccionamos una de 30 μm . (Ver cálculos de potencia del láser del presente capítulo).

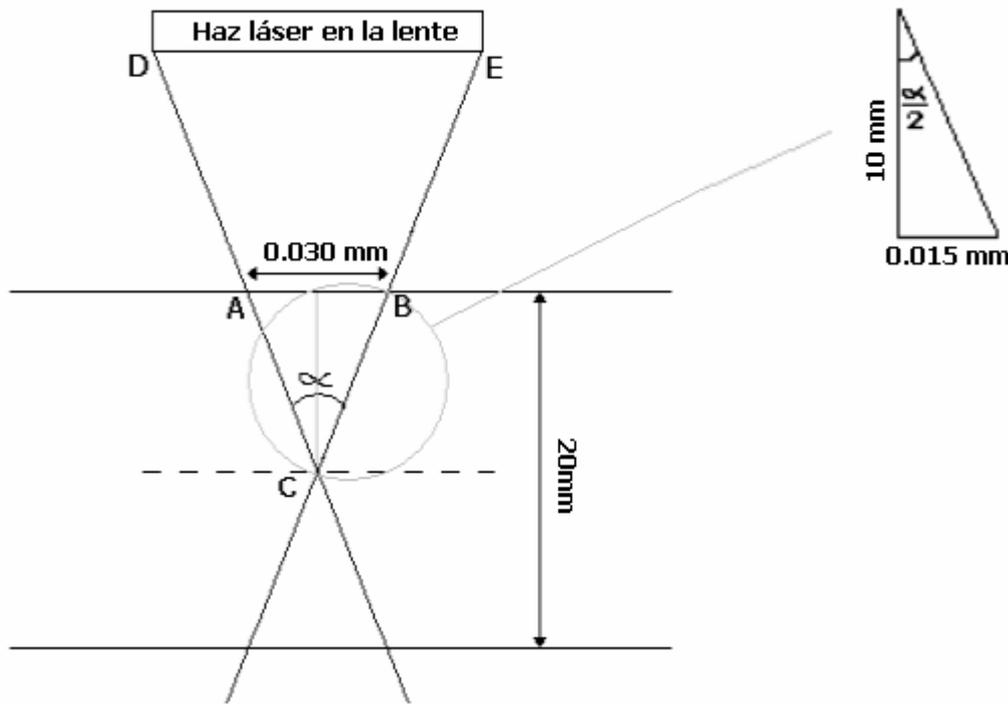
Por tanto, para que se produzca un adecuado mecanizado, debe cumplirse que la lente focalice sobre la superficie del material el diámetro seleccionado del rango anterior, y dicho haz láser converja como mínimo en la mitad del espesor del material, tal y como se muestra en el siguiente esquema :



Ya que de esta manera nos aseguramos, de que se dan las condiciones de flujo energético que nos asegure el mecanizado en la región de formación de plasma.

MEMORIA DE CÁLCULO

Por lo que deberemos determinar, la distancia focal a la que debemos situar nuestra lente, cálculo que podemos resolver de forma muy simple a través de relaciones y teoremas trigonométricos, tomando como base el esquema que presentamos a continuación:



De donde obtenemos el valor del ángulo y por tanto el de la hipotenusa, de forma :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{0.030}{10} \longrightarrow \left(\frac{\alpha}{2}\right) = \arctan\left(3 \cdot 10^{-3}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{0.003}{hip} \longrightarrow hip = 10 \text{ mm}$$

Resultado, en principio predecible, al observar el bajo valor de la base del triángulo sobre la altura.

Por tanto sólo nos resta calcular la distancia focal, entre el material y la lente, a través del teorema fundamental de semejanza de triángulos, de la forma :

$$\frac{CD}{CA} = \frac{DE}{AB} \longrightarrow CD = \frac{(DE \cdot CA)}{AB} = \frac{0.150 \cdot 10}{0.030} = 50 \text{ mm}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Hay, por tanto, que seleccionar una lente con una distancia focal de 50 mm (5 cm), que estará situada a 40 mm sobre el material de fibra de carbono, con el fin de que el punto de focalización esté justo en el punto medio del espesor, asegurándonos así el mecanizado total del grosor de la fibra de carbono.

Como anotación final, recordar que como se indicó en el apartado anterior del presente capítulo; el resto de materiales, aparte de la fibra de carbono, no requiere una focalización a través de lentes convergentes, sólo será necesario una lente que mantenga el paralelismo de los rayos que componen el haz láser, existiendo numerosas lentes que presentan estas características en el mercado actual, simplemente habrá que asegurarse de que mantenga al rayo sin divergencias en la distancia necesaria, definiéndose esta distancia al menos como la existente entre la lente y el punto medio del espesor de la pieza a mecanizar. En principio esta distancia será idéntica a la distancia focal de la lente de Fibra de Carbono, ya que inicialmente se persigue que ambas lentes sean intercambiables para un mismo cabezal.

1.3.3.-Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 05/10/2006)
- [2] Handbook of Chemistry & Physics, 87th Edition, 2006-2007

2.-DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOGIDA DEL POLVO : CICLÓN

El sistema de recogida de polvos entraña una gran importancia en cuanto se refiere al diseño del sistema láser y sus complementos debido a la relación de dichos residuos generados con factores de alta importancia en el mundo industrial; como pueden ser, la salud laboral de los trabajadores, el mantenimiento de la maquinaria, o incluso la contaminación atmosférica. Siendo todos ellos cada vez de mayor influencia en el desarrollo industrial. A continuación detallamos los aspectos más importantes a la hora de estimar la importancia de dicho sistema de recogida :

1.- Evitar riesgos y peligro para la salud de los trabajadores, ya que la inhalación de polvos es altamente perjudicial para la salud.

2.- Mantenimiento de la maquinaria, ya que el depósito continuado de partículas de polvo sobre una máquina puede llegar a inhabilitarla, siendo además un factor crítico en nuestro caso debido a que podría generar importantes pérdidas de energía útil por parte de nuestro láser.

3.- Contaminación atmosférica, no debemos olvidar que la legislación cada vez es más restrictiva en cuanto a contaminación se refiere, por lo que si hay que mecanizar grandes volúmenes de material será un factor que debe ser estudiado.

4.-Mejora de la calidad de los productos, ya que aunque el depósito continuo de partículas de polvo sobre el material no tiene por qué influir en las propiedades de éste, sí puede generar pérdidas de calidad al generar un impacto visual negativo; o en caso de tener que pintarlo, requerir un proceso de limpieza, perdiendo por tanto competitividad del producto.

2.1.- Estudio de la sedimentación de las partículas del material mecanizado

En el presente capítulo, se persigue determinar las condiciones de operación necesarias para una adecuada recogida de los polvos generados durante el mecanizado de cualquiera de nuestros materiales; para ello estudiaremos el proceso de sedimentación de nuestras partículas. Posteriormente pasaremos al diseño de un sistema de recogida, formado por un ciclón, cuyas dimensiones y diseño resulten adecuados para la recogida de nuestro material vaporizado.

Debemos de tener en cuenta, que al mecanizar distintos materiales, deberemos llegar a una situación de compromiso que nos dé como resultado la opción óptima de recogida de polvos, ya que como hemos indicado a lo largo del presente proyecto el sistema láser mecanizará : fibra de carbono, fibra de vidrio, titanio y aluminio; generándose, por tanto, partículas de todos estos materiales.

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del fluido en el que se encuentran, es una operación unitaria física, en donde a medida que tiene lugar el proceso, las partículas se van uniendo unas a otras cambiando su tamaño y su geometría, denominándose en este caso sedimentación por floculación. En nuestros cálculos consideraremos una geometría esférica para las partículas y que además se produce una sedimentación ideal, en donde las partículas no interaccionan entre sí, manteniendo por tanto su individualidad. Resultando tales aproximaciones razonables, al mecanizar una baja cantidad de material, del orden de miligramos/s, que da lugar a una densidad mínima de material vaporizado

MEMORIA DE CÁLCULO

Antes de empezar a realizar los primeros cálculos, deberemos estudiar qué régimen de sedimentación siguen nuestras partículas, siendo el tamaño de las mismas un factor fundamental en este aspecto. De hecho si las partículas son muy pequeñas, iguales o menores a $0.1 \mu\text{m}$, predomina el movimiento Browniano en donde las partículas se mueven desordenadamente en direcciones no predecibles, contrarrestando la fuerza externa dificultando la sedimentación. Para partículas entre $0.1 - 1 \mu\text{m}$ al ser mayores que las anteriores presentan un menor movimiento browniano pudiéndose unir con otras y formar así partículas acumulativas. Finalmente, las partículas mayores de $1 \mu\text{m}$ no presentan movimiento browniano, experimentando un proceso de sedimentación común.

Por tanto lo primero que debemos hacer es comprobar el tamaño de las partículas que generan nuestros materiales a procesar :

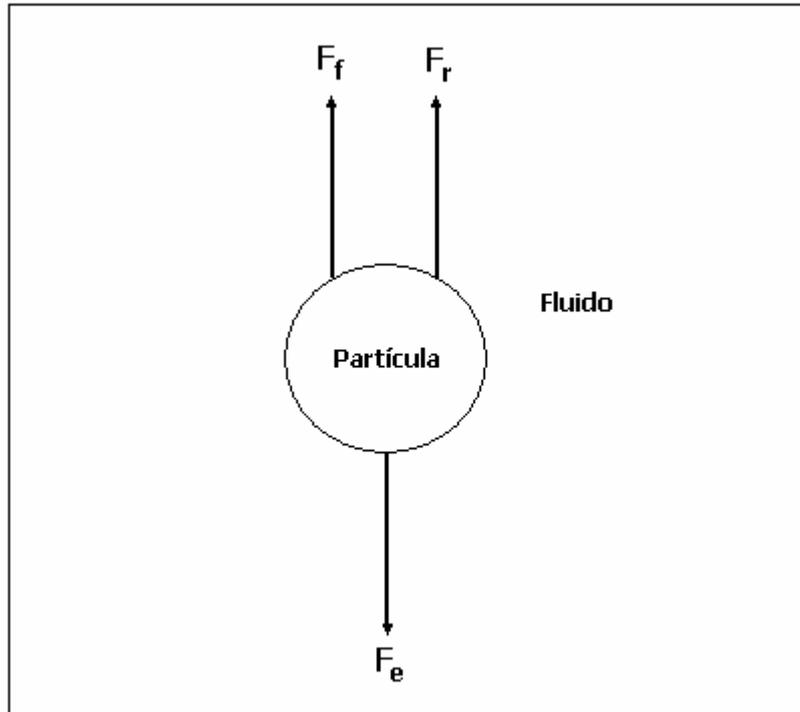
	Fibra de Carbono	Fibra de Vidrio	Titanio	Aluminio
Tamaño (μm)	50	45	45	15

*Se han tomado los valores mínimos de polvo de materia de cada elemento, con el fin de realizar el cálculo sobre las condiciones mas desfavorables posibles.

2.2.- Cálculo de la velocidad de sedimentación

A continuación realizaremos el cálculo correspondiente a la velocidad de sedimentación. Para que una partícula se mueva en el seno de un fluido se deben dar dos condiciones : sus densidades deben ser distintas, y sobre la partícula debe actuar una fuerza externa (fuerza centrífuga o gravedad). Actuando sobre la partícula tres fuerzas al mismo tiempo, tal y como vemos en el esquema siguiente :

MEMORIA DE CÁLCULO



En donde F_f se corresponde a la fuerza de flotación de la partícula, F_r a la fuerza de rozamiento y F_e en nuestro caso se trata de la fuerza de gravedad. Siendo la expresión matemática de cada uno :

$$F_f = m_f \cdot a_e = \rho \cdot V_p \cdot a_e = \rho \cdot \frac{m}{\rho_p} \cdot a_e$$

$$F_e = F_g = m \cdot a_e$$

$$F_r = \frac{C_D \cdot \rho \cdot v_p^2 \cdot A_p}{2}$$

Siendo

- $a_e = g$, aceleración de la gravedad (m/s^2)
- m = masa de la partícula (kg)
- ρ = densidad del fluido (kg/m^3)
- ρ_p = densidad de la partícula (kg/m^3)

MEMORIA DE CÁLCULO

- C_D = parámetro que se obtiene a partir del flujo de fluidos de nuestro sistema (Reynolds)
- v = Velocidad de sedimentación de la partícula (m/s)
- A_p = Área proyectada por la partícula en un plano perpendicular a su trayectoria.

Obteniéndose una fuerza resultante cuya expresión es :

$$F_R = F_g - (F_f + F_r)$$

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot g - m \frac{\rho}{\rho_p} \cdot g - \frac{C_D \cdot \rho \cdot v_p^2 \cdot A_p}{2}$$

La velocidad aumenta conforme la partícula va cayendo, hasta un máximo en donde :

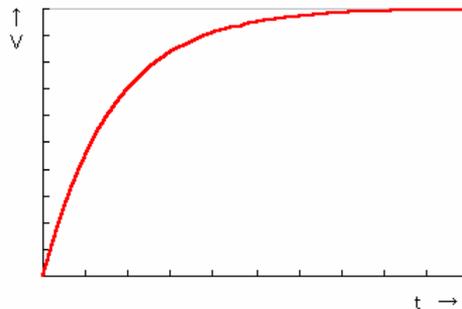
$$\frac{C_D \cdot \rho \cdot v_p^2 \cdot A_p}{2} = m \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right)$$

Lo que a su vez implica que :

$$\frac{dv}{dt} = 0 \longrightarrow \text{velocidad} = \text{cte.} \longrightarrow \text{aceleración} = 0$$

Siendo esta velocidad, la velocidad límites de sedimentación, que denominaremos v_t .Siguiendo un proceso de características idénticas al representado en el siguiente gráfico:

MEMORIA DE CÁLCULO



Por lo que reorganizando la ecuación anterior obtenemos :

$$v_t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot (\rho_p - \rho)}{C_D \cdot \rho_p \cdot \rho \cdot A_p}}$$

Siendo nuestro caso el correspondiente al cálculo de partículas esféricas, por lo que teniendo en cuenta las siguientes expresiones :

$$m = \rho_p \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_p}{2}\right)^3$$

$$A_p = \pi \left(\frac{D_p}{2}\right)^2$$

Obtenemos la expresión final para calcular la velocidad límite de sedimentación de nuestra partícula :

$$v_t = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{D_p \cdot g \cdot \rho_p - \rho}{C_D \cdot \rho}}$$

Sin embargo, si no conocemos el Re (función de la velocidad de la partícula), no podemos calcular el factor C_D , en estos casos se recurre al número de Galileo, así para el caso del Aluminio, tenemos que :

Aluminio:

$$Ga = K^3 = \frac{D_p^3 \cdot g \cdot \rho \cdot (\rho_p - \rho)}{\mu^2} = \frac{(1.5 \cdot 10^{-5})^3 \cdot 9.81 \cdot 1.2 \cdot (2780 - 1.2)}{(1.8 \cdot 10^{-5})^2} = 0.341$$

$$K = 0.70$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Siendo μ la viscosidad del aire de valor $1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Kg / m} \cdot \text{s}$, ρ la densidad del fluido de 1.2 kg/m^3 , ρ_p la densidad de la partícula de aluminio de 2780 Kg/m^3 . [1] y [2]

Una vez definido el parámetro K, podemos aplicar el siguiente criterio :

- Si $K < 3.3$, aplicaremos la Ley de Stokes para calcular v_t .
- Si $3.3 < K < 43.5$, se aplica la Ley intermedia.
- Si $43.5 < K < 2364$, la Ley de Newton.
- Si $K > 2364$ debemos resolver C_D a través de métodos de tanteo.

Ya que nuestra K obtenida es menor de 3.3, aplicaremos la Ley de Stokes :

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}_p} = \frac{24 \cdot \mu}{D_p \cdot v_t \cdot \rho}$$

Por lo que sustituyendo dicha expresión en nuestra ecuación de partida para el cálculo de la velocidad de sedimentación límite, obtenemos :

$$v_t^2 = \frac{4}{3} \cdot g \cdot \frac{\rho_p - \rho}{\rho} \cdot \frac{D_p}{24 \cdot \mu} \cdot \rho \cdot v_t \cdot D_p \longrightarrow v_t = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{(\rho_p - \rho) \cdot D_p^2}{\mu}$$

$$v_t = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{(2780 - 1.2) \cdot (1.5 \cdot 10^{-5})^2}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 0.0189 \text{ m/s}$$

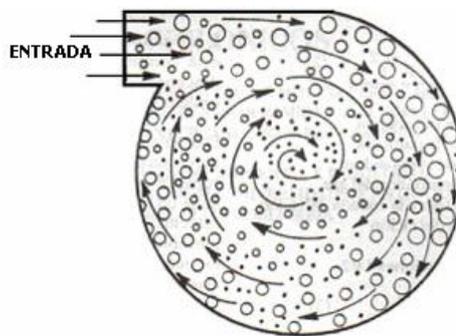
Operando de igual forma, para el resto de los materiales, tenemos que :

Partícula	Diámetro (μm)	Densidad (Kg/m^3)	Galileo	K	Velocidad (m/s)
Aluminio	15	2780	0.341	0.70	0.0189
Titanio	45	4500	14.89	2.46	0.2758
F. Carbono	40	1530	6.95	1.91	0.1157
F. Vidrio	45	1900	6.29	1.85	0.1164

2.3.- Diseño del ciclón

2.3.1.- Introducción

El equipo de recolección de polvo que se usa con mayor frecuencia es el ciclón. Los ciclones remueven la materia particulada de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga; es decir, siendo esencialmente una cámara de sedimentación en la cual la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga. La siguiente figura muestra el movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.



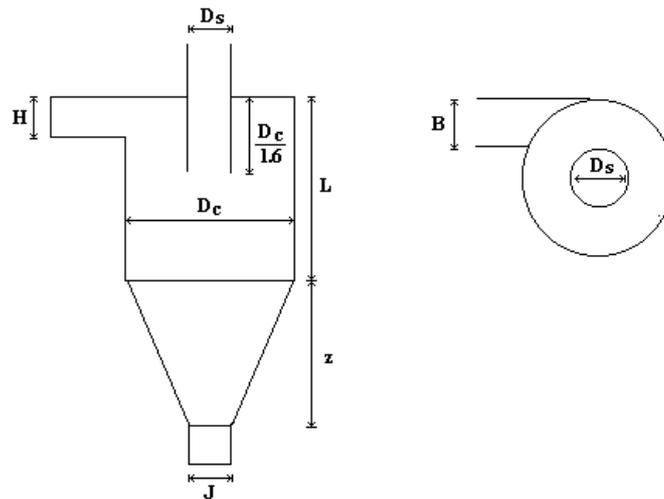
Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1000 °C) y presiones de operación.

En un ciclón, el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un conducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior.

MEMORIA DE CÁLCULO

2.3.2.- Dimensionamiento del ciclón

Comenzaremos presentando un esquema del dispositivo, así como la nomenclatura de sus distintas cotas :

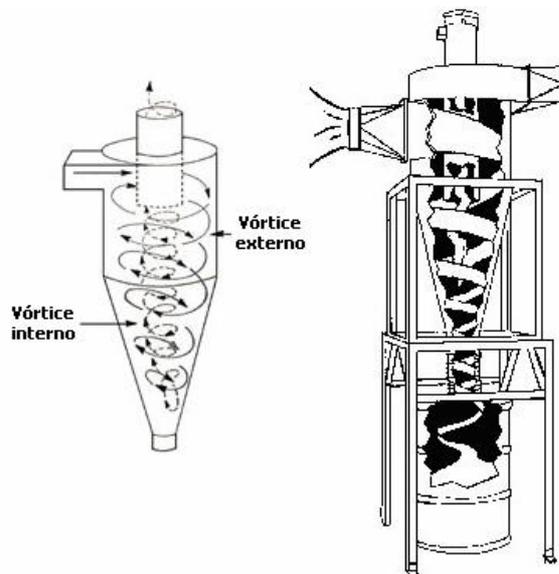


Siendo las relaciones geométricas :

$$L = 2 \cdot D_c \quad Z = 2 \cdot D_c \quad D_s = 0.5 \cdot D_c$$

$$J = 0.25 \cdot D_c \quad B = 0.25 \cdot D_c \quad H = 0.5 \cdot D_c$$

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. Tal y como mostramos en la figura siguiente :



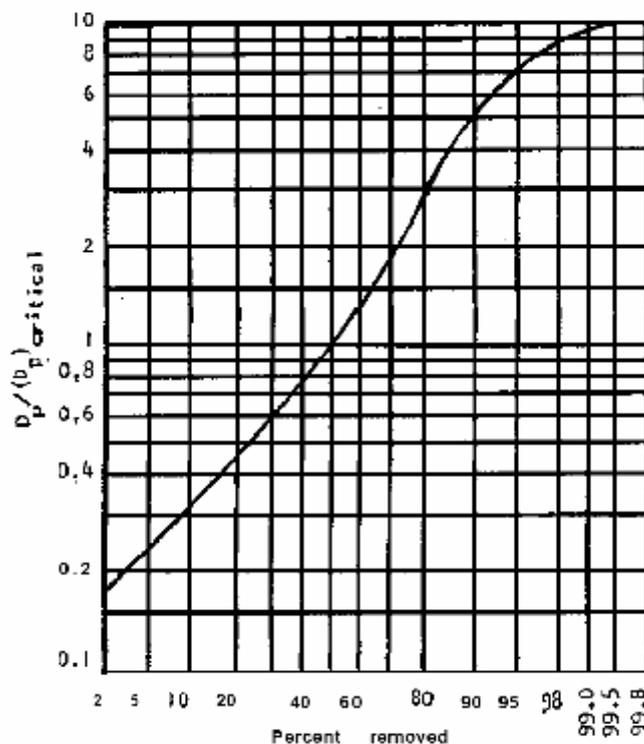
MEMORIA DE CÁLCULO

Así, al entrar el gas en el ciclón sufre una distribución en su velocidad, aumentando la componente tangencial de velocidad al disminuir el radio de la espiral. Expresado matemáticamente de la forma

$$V = \frac{b}{r^n} \qquad a_c = \omega^2 \cdot r = \frac{b}{r^{n-1}}$$

Siendo a_c la aceleración radial; y b y n factores, (n entre 0.5-1) dependiente del rozamiento de las paredes del ciclón. El valor 1 se corresponder al caso ideal (sin rozamiento); aunque en la práctica el valor de n está comprendido entre 0.5-0.7, en función principalmente del radio del ciclón.

Para dimensionar el ciclón, lo primero es determinar el rendimiento que deseamos para nuestro sistema y obtener así el valor del diámetro de partícula crítica (D_p de una determinada ρ de las cuales el ciclón retiene el 50% en masa), para los cálculos debemos emplear aquellas partículas con una menor velocidad de sedimentación, que serán las que mayor dificultad para depositarse presenten, por lo que usaremos los valores del Aluminio. Para ello recurriremos a la siguiente gráfica^[3] :



MEMORIA DE CÁLCULO

Nos marcaremos una eficacia del 93%, lo que implica que :

$$\frac{D_p}{D_{pc}} = 10 \longrightarrow D_{pc} = \frac{D_p}{6} = \frac{15}{6} = 2.5 \mu m$$

Por lo que ya podemos recurrir a la expresión empírica de Rossin, Rammler e Intelman para el diámetro mínimo de partícula (D_p) que será completamente separable del fluido, para la aplicación de dicha expresión se presupone que: para cada tipo de ciclón, el gas da un definido número de vueltas en la espiral descendente del interior del mismo; éste número de vueltas puede considerarse como una medida aproximada de la eficacia de un tipo dado de ciclón, estando este valor de N comprendido entre 4-6; y las partículas, en nuestro caso esféricas, alcanzan la velocidad terminal apenas entran al ciclón.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whigby	Zero
Diámetro del ciclón	D_o/D_c	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/D_c	0.5	0.5	0.583	0.5
Altura de entrada	b/D_c	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	s/D_c	0.625	0.5	0.583	0.75
Diámetro de salida	D_o/D_c	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/D_c	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/D_c	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/D_c	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/D_c	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	O	452.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NM	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	5.5	6.0	3.9	6.0

Siendo su expresión matemática :

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot B}{\pi \cdot N_t \cdot V \cdot (\rho_p - \rho)}}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Siendo

- B = Longitud del conducto de entrada al ciclón .
- N = Número de vueltas dadas por el gas en el interior del ciclón.
(Debido a la geometría empleada en el cálculo del ciclón, según la tabla ^[3] anterior, se debe tomar N = 5.5)
- v = velocidad de entrada del gas al ciclón basada en el área definida por los término B·H.
- μ = viscosidad del gas.
- ρ = Densidad del gas.
- ρ_p = Densidad del sólido.

Dicha ecuación se resuelve por métodos de prueba-error, los autores recomiendan empezar usando valores de velocidades de entorno a 15 m/s para el término de velocidad. Por lo que, siguiendo las recomendaciones de los autores, tomaremos ese valor; despejando B, y sustituyendo los datos (unidades en sistema internacional), obtenemos :

$$V=15 \text{ m/s}$$

$$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_t \cdot v \cdot (\rho_p - \rho) \cdot D_{pc}^2}{9 \cdot \mu} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 5.5 \cdot v \cdot (2780 - 1.2) \cdot (2.5 \cdot 10^{-6})^2}{9 \cdot 1.8 \cdot 10^{-5}} = 0.00364 \cdot v = 0.0546 \text{ m}$$

$$B = 0.25 \cdot D_C \longrightarrow D_C = \frac{0.0546}{0.25} = 0.2184 \text{ m}$$

$$\begin{array}{lll} L = 2 \cdot D_C = 0.4368 \text{ m} & Z = 2 \cdot D_C = 0.4368 \text{ m} & D_S = 0.5 \cdot D_C = 0.1092 \text{ m} \\ J = 0.25 \cdot D_C = 0.0546 \text{ m} & B = 0.0546 \text{ m} & H = 0.5 \cdot D_C = 0.1092 \text{ m} \end{array}$$

Hemos de seleccionar una bomba de vacío que proporcione una absorción del fluido del medio en la entrada del ciclón, las bombas más frecuentemente usadas en este tipo de aplicación presentan un rango de caudal comprendido entre 2-12 m³ /h. Nosotros seleccionaremos una de 10 m³ /h

MEMORIA DE CÁLCULO

$(2.78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})$, muy superior a los $0.05 \text{ Nm}^3/\text{h}$ empleados en el sistema de gas de aporte (ver capítulo 3 de la presente Memoria de Cálculo) de aquí que empleemos en nuestros cálculos valores de propiedades referentes a aire atmosférico, ya que, por tanto, además de que las propiedades de los fluidos son muy parecidas, la proporción de aire atmosférico absorbido por nuestro ciclón será mucho mayor respecto al gas de aporte. A continuación, como ya indicamos, debemos comprobar si el resultado obtenido es válido, al ser este un método de prueba-error, la comprobación a realizar es:

$$Q_{\text{fluido}} = \text{Área} \cdot v \longrightarrow Q = (H \cdot B) \cdot v \longrightarrow H = \frac{Q}{v \cdot B}$$

Teniendo este nuevo valor del parámetro H que coincidir con el anterior calculado.

$$H = \frac{Q}{v \cdot B} = \frac{2.36 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 0.055} = 2.86 \cdot 10^{-3} \text{ m} \neq 0.109 \text{ m}$$

Como podemos observar el valor calculado ahora no coincide con el anterior, por lo que repetiremos los cálculos anteriores para nuestro nuevo valor de velocidad, hasta que el calculado final sea igual que el supuesto. Operando de igual forma hasta llegar a cumplir la condición, y obteniendo por tanto, las dimensiones de nuestro ciclón:

$$V = 4.7 \text{ m/s}$$

$$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_t \cdot v \cdot (\rho_p - \rho) \cdot D_{pc}^2}{9 \cdot \mu} = 0.00364 \cdot 4.7 = 0.0172 \text{ m}$$

$$B = 0.25 \cdot D_C \longrightarrow D_C = \frac{0.0172}{0.25} = 0.0688 \text{ m}$$

$$\begin{array}{lll} L = 2 \cdot D_C = 0.1376 \text{ m} & Z = 2 \cdot D_C = 0.1376 \text{ m} & D_S = 0.5 \cdot D_C = 0.0344 \text{ m} \\ J = 0.25 \cdot D_C = 0.0172 \text{ m} & B = 0.0172 \text{ m} & H = 0.5 \cdot D_C = 0.0344 \text{ m} \end{array}$$

Obteniéndose en la comprobación:

$$H = \frac{Q}{v \cdot B} = \frac{2.78 \cdot 10^{-3}}{4.45 \cdot 0.0172} = 0.0344 \text{ m} \approx 0.03460 \text{ m}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

2.3.3.- Cálculo de la presión en el sistema de vacío

Una vez que tenemos definida la geometría del ciclón, así como la capacidad que debe reunir la bomba de vacío para generar las condiciones requeridas por nuestro sistema, es el momento de la selección final del tipo de bomba, para posteriormente proceder al cálculo de la presión que ha de existir en la boquilla del ciclón.

Hemos seleccionado una bomba de vacío rotativa de paletas sin aceite, cuyo funcionamiento se basa en que, montado excéntricamente en un cilindro en las ranuras del rotor, hay paletas sueltas. Gracias a la fuerza centrífuga, éstas se presionan contra la pared del cilindro y dividen la cámara de compresión en varias cámaras. El aire fluye a las cámaras a través del canal de entrada. En dirección al canal de salida de aire disminuye el volumen de la cámara, el aire encerrado se comprime y se expulsa. Esta sencilla construcción con un eje y propulsión directa, conduce a un principio de funcionamiento robusto y duradero con el mínimo coste de mantenimiento y servicio.

Todo el equipo trabaja totalmente sin aceite. Las cámaras de trabajo se cierran a través de paletas rotativas de un material especialmente tolerante con el medio ambiente, de eficiente estanqueidad, larga duración y de alta resistencia contra la erosión. Finalmente, la cubierta de todo el aparato permite el funcionamiento al nivel acústico más bajo.

En cuanto a sus datos técnicos^[5], los pasamos a indicar a continuación:

- Caudal nominal de la bomba : 10 m³/h a 50 Hz
12 m³/h a 60 Hz
- Presión de vacío : 150 mbar (15000 Pa)
- Potencia nominal de la bomba : 0.37 Kw (50 Hz) – 0.45 (60 Hz)
- Tubería de Aspiración : G ½ " (21 mm)^[14]

MEMORIA DE CÁLCULO

A su vez, también conocemos datos a la salida del ciclón de la presión de vacío que proporciona nuestra bomba (150 mbar=15000 Pa =0.148 atm), diámetro del tubo de salida (0.0344m).

Sin embargo, nuestro sistema ha de incorporar un mínimo sistema de tuberías, compuesto por una conducción flexible a la entrada del ciclón, con el fin de tener una mayor accesibilidad a todos los puntos que puedan ser de interés, de forma que se realice la aspiración del fluido no en una zona fija; y otra tubería de corta longitud, con el fin de conectar el ciclón con nuestra bomba de vacío. Por lo que también deberemos calcular la pérdida de carga que generan dichas conducciones en nuestro sistema, para ello caracterizaremos nuestras tuberías: la de la entrada estará compuesta por un material elastómero reforzado ; y la tubería de salida, se corresponderá con una conducción rígida de PCV reforzada con trenzado. A continuación, calcularemos la densidad de nuestro fluido para posteriores cálculos:

$$\rho' = \frac{m_{\text{fluido}} + m_{\text{partículas}}}{V_{\text{fluido}}} = \frac{m_{\text{fluido}}}{V_{\text{fluido}}} + \frac{m_{\text{partículas}}}{V_{\text{fluido}}}$$

En este punto debemos indicar que para el cálculo de $\rho'_{\text{partículas}}$, consideraremos que todo el material vaporizado en un segundo en nuestro mecanizado será absorbido en su totalidad por nuestro caudal de absorción en el ciclón.

También añadiremos que en este caso, en vez de utilizar el Aluminio, usaremos el material que nos genere un mayor valor de ρ y por tanto una mayor pérdida de carga, siendo este material el Titanio, al ser el más pesado de los materiales a procesar.

MEMORIA DE CÁLCULO

Para ello recordemos la selección realizada en el apartado 3 del capítulo X del presente proyecto, en donde se seleccionó la potencia del emisor láser, así como la máxima velocidad del corte que se puede usar en el mecanizado. En el caso del Titanio obtuvimos que :

$$V_{\text{mecanizado}} = \text{Velocidad (m/s)} \cdot \text{Ancho (m)} \cdot \text{Espesor (m)} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 0.02 = 1.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$m_{\text{mecanizado}} = V_{\text{mecanizado}} (\text{m}^3 / \text{s}) \cdot \rho_{\text{material}} (\text{Kg} / \text{m}^3) = 1.5 \cdot 10^{-8} \cdot 4500 = 6.75 \cdot 10^{-8} \text{ Kg} / \text{s}$$

Siendo nuestro caudal de absorción de $Q = 2.78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$, calculamos la masa de aire que absorbe nuestro ciclón del recinto, a presión atmosférica.

$$m_{\text{fluido}} = V_{\text{absorción}} (\text{m}^3 / \text{s}) \cdot \rho_{\text{fluido}} (\text{Kg} / \text{m}^3) = 2.78 \cdot 10^{-3} \cdot 1.2 = 3.33 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} / \text{s}$$

Sin embargo, en el cálculo de la densidad del fluido en nuestro sistema no podemos emplear este caudal al ser éste en condiciones normales, al trabajar en las condiciones de vacío que genera nuestra bomba de 0.148 atm (consideraremos que se mantiene aproximadamente constante dicha presión a lo largo de todo nuestro sistema) y considerando tanto una temperatura constante, como un comportamiento ideal del fluido, tenemos para la unidad de tiempo que :

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{P_1 \cdot V_1} = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{n \cdot R \cdot T_1} \longrightarrow \frac{P_0}{P_1} = \frac{V_1}{V_0} \longrightarrow V_1 = \frac{V_0 \cdot P_0}{P_1} = \frac{2.78 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{0.148} = 0.0188 \text{ m}^3$$

$$Q = 0.0188 \text{ m}^3 / \text{s}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Resultando la densidad del fluido en el interior del sistema a vacío de :

$$\rho' = \frac{m_{\text{fluido}} (\text{Kg} / \text{s}) + m_{\text{partículas}} (\text{Kg} / \text{s})}{Q_{\text{fluido int ciclón}} (\text{m}^3 / \text{s})} = \frac{3.33 \cdot 10^{-3} + 6.75 \cdot 10^{-8}}{0.0188} = 0.177 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

La densidad de los gases y de los vapores varía considerablemente con la presión. Por tanto, la disminución de presión en una tubería debida a las pérdidas de carga hará que la densidad y, por conservación de la masa, la velocidad del gas, cambien de manera significativa. Esto hace que, aparentemente, no se pueda utilizar la fórmula convencional de pérdidas de carga para flujos con gases o vapores. Afortunadamente, la experimentación ha demostrado que sí se puede usar esta fórmula cuando la temperatura de operación es constante y si la diferencia de presión en el tramo que se está calculando no es muy elevada:

1. Si la diferencia de presión es inferior al 10% de la inicial, entonces se pueden calcular las pérdidas de carga como si fuera un líquido usando la presión P_1 .
2. Si la diferencia de presión es mayor de un 10% pero menor de un 40%, se puede hacer lo mismo usando la presión media.
3. En el resto de los casos, es necesario utilizar una fórmula empírica. Existen diversas aproximaciones. Se recomienda utilizar expresión específica para pérdida de carga para fluidos compresibles.

Por tanto, aplicaremos Bernoulli :

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + z_0 + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} - H = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Correspondiéndose :

ρ : densidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

P_0 : presión en el punto de entrada de la tubería (salida del ciclón).

P_1 : presión a la salida de la tubería (entrada a bomba de vacío)

Z_0 : altura del punto de entrada a la tubería.

MEMORIA DE CÁLCULO

Z_1 : altura del punto de salida de la tubería.

v_0 : velocidad del fluido en el punto inicial.

v_1 : velocidad del fluido en el punto final.

H : factor de pérdida de carga.

TRAMO BOMBA-TUBERÍA DE SALIDA

En este punto indicaremos, que para realizar la conexión entre la tubería de salida del ciclón con nuestra tubería en particular usaremos un codo de radio largo, siendo la altura de éste la diferencia que existirá entre el punto inicial y final de nuestro sistema, por lo que al ser tan baja su magnitud la despreciaremos frente al resto de los términos; y se requiere un manguito de conexión para la unión de la tubería a la bomba. A su vez, la sección de la tubería es constante a lo largo de todo el recorrido por lo que consideraremos que $v_0=v_1$; quedándonos por tanto :

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_1}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g)$$

De donde a su vez , sabemos que el término H se corresponde con :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Correspondiéndose :

L : longitud de la tubería (situaremos nuestra bomba a una distancia de 4 m del ciclón)

D : Diámetro de la tubería (seleccionamos una conducción de PVC de 0.035 m ^[6] , el diámetro más próximo al obtenido en nuestros cálculos de dimensionamiento del ciclón)

v : velocidad de nuestro fluido en el interior de la tubería.

f : factor de fricción.

MEMORIA DE CÁLCULO

La velocidad del fluido en el interior de nuestro conducto , vendrá determinada por el caudal empleado en el proceso, que como ya se indicó es de $0.0188 \text{ m}^3/\text{s}$.

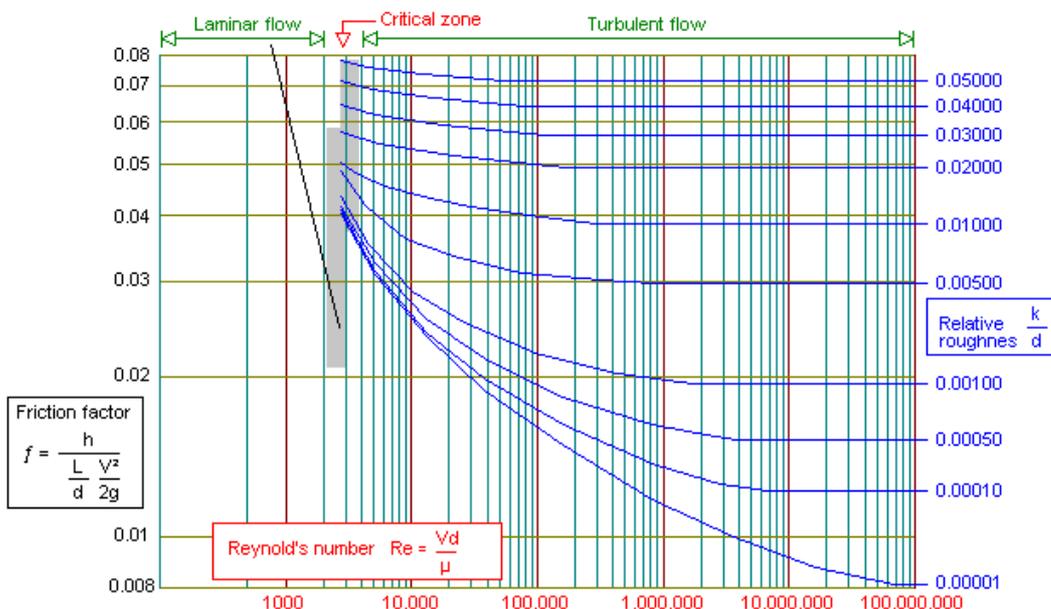
$$Q (\text{m}^3 / \text{s}) = v (\text{m} / \text{s}) \cdot A_{\text{sección}} (\text{m}^2) \longrightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{0.0188}{\pi \cdot \left(\frac{0.035}{2}\right)^2} = 19.54 \text{ m} / \text{s}$$

Para el cálculo del factor f , debemos obtener antes el valor del Reynolds en nuestra conducción, para ello usaremos los valores del fluido que circula por nuestra conducción (detallados anteriormente y en S.I.) :

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{19.54 \cdot 0.177 \cdot 0.035}{1.8 \cdot 10^{-5}} \approx 6800$$

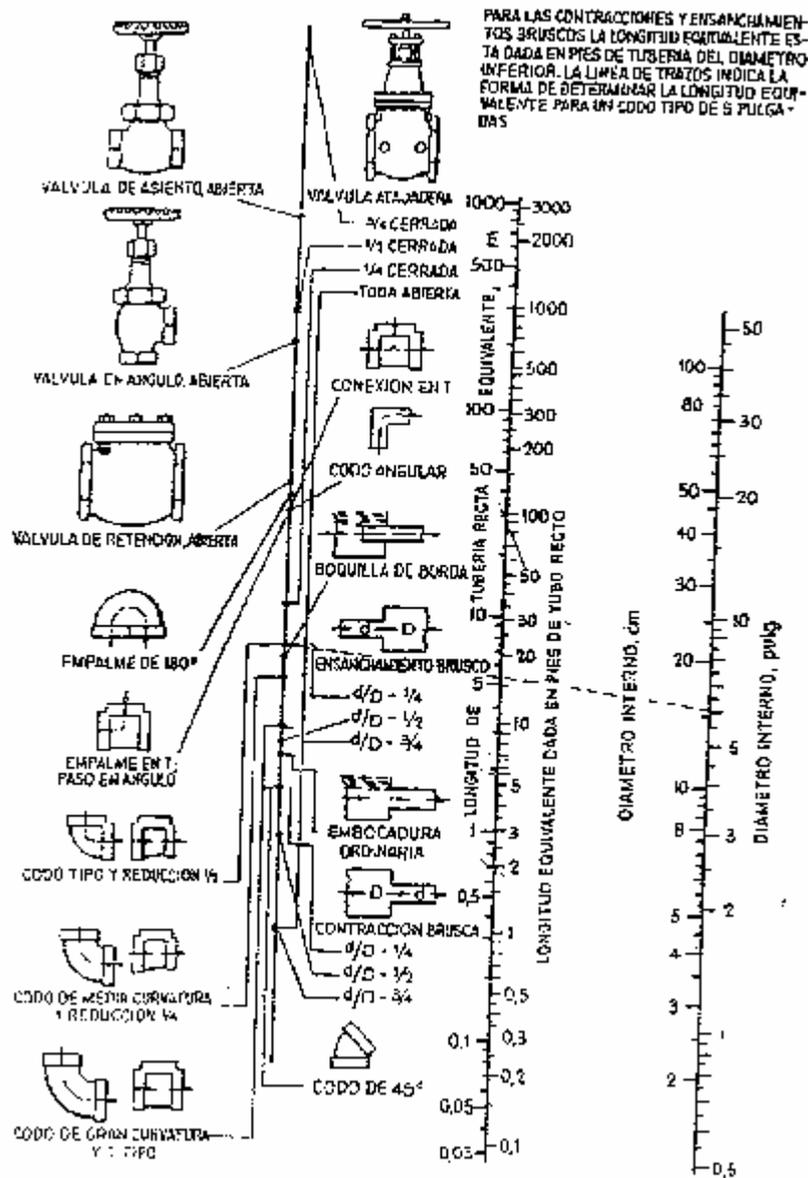
Tan sólo nos falta el valor de la rugosidad relativa del PVC (ϵ/D), sin embargo, al ser el valor de su rugosidad absoluta mínima y al estar nuestro fluido en régimen laminar (las diferencias del factor f a este valor de Re son mínimas) se considerará como un tubo liso.

Por lo que calcularemos el factor f , acudiendo a la gráfica de Moody:



MEMORIA DE CÁLCULO

Obteniéndose que $f=0.03$. A continuación emplearemos la siguiente gráfica con el fin de calcular la longitud equivalente de tubería que proporciona las mismas pérdidas de carga producidas por los accesorios (un codo y una embocadura ordinaria, para conectar nuestra tubería con la bomba):



Obteniéndose unos valores de longitud equivalente para cada elemento de 0.8 y 0.4 m respectivamente. Por lo que podemos calcular ya, las pérdidas de de carga totales en nuestra tubería :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.03 \cdot \frac{(5 + 0.8 + 0.4)}{0.035} \cdot \frac{19.54^2}{2 \cdot 9.8} = 103.5 \text{ m}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Aplicando nuestra expresión inicial:

$$\Delta P (Pa) = h \cdot \rho \cdot g = 103.5 \cdot 0.177 \cdot 9.8 = 179.57 Pa$$

$$P_{ent. ciclón} = P_{bomba} + \Delta P = 15000 + 179.57 = 15179.57 Pa$$

PÉRDIDA EN EL CICLÓN

A continuación calcularemos la caída de presión en el ciclón, para ello es necesario conocer que dicha pérdida de presión en el ciclón es, también, una pérdida de carga; la cual se expresa en forma más conveniente en términos de la presión cinética en las cercanías del área de entrada del ciclón. Estas pérdidas están asociadas principalmente a la contracción/expansión en la entrada, fricción en el conducto de entrada y en las paredes, y otras pérdidas como cinéticas en el ciclón, en la entrada del tubo de salida, y de presión estática entre la entrada y la salida.

En nuestros cálculos nos basaremos en la expresión de Shepherd, Lapple y Ter Linden quienes consideran que las pérdidas por energía cinética son las más importantes dentro de un ciclón, siendo las únicas que deben ser consideradas. Siendo dicha expresión^[7] :

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho' \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (mm H_2O)$$

Siendo :

ρ' = densidad conjunta que presenta el sistema fluido-partículas en el punto de entrada del ciclón (Kg/m³)

ξ = constante cuyo valor es función de la geometría de los conductos de entrada y salida del sistema

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

MEMORIA DE CÁLCULO

v = velocidad del fluido en la entrada del ciclón (m/s)

Lo primero que haremos será determinar el valor del parámetro ξ . Para ello recurriremos a la expresión aportada por los autores de la expresión principal de dicho cálculo :

$$\xi = 21.16 \cdot \left(\frac{A_0}{A_1} \right)^{1.21}$$

Correspondiéndose A_0 al área de entrada y A_1 al área de salida del ciclón, que pueden ser determinadas a partir de las ecuaciones :

$$A_0 = B \cdot H = 0.0172 \cdot 0.034 = 5.92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_1 = \pi \cdot \left(\frac{D_s}{2} \right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{0.0344}{2} \right)^2 = 9.29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Resultando por tanto el valor de ξ :

$$\xi = 21.16 \cdot \left(\frac{A_0}{A_1} \right)^{1.21} = 21.16 \cdot \left(\frac{5.92 \cdot 10^{-4}}{9.29 \cdot 10^{-4}} \right)^{1.21} = 12.266$$

Por lo que tenemos ya, todos los valores necesarios en nuestros cálculos, acudiendo a la expresión inicial de la pérdida de presión en nuestro ciclón, obtenemos :

$$\Delta P = 12.266 \cdot \frac{1.2 \cdot 4.7^2}{2 \cdot 9.81} = 16.57 \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

$$\Delta P \text{ (Pa)} = h \text{ (m H}_2\text{O)} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (Kg / m}^3\text{)} \cdot g \text{ (m / s}^2\text{)} = 16.57 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 9.8 = 162.4 \text{ Pa}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Calculándose, por tanto, la presión a la entrada del ciclón la suma de la presión de vacío, existente a la salida del mismo, más las pérdidas de carga generadas en el sistema :

$$P_{ent. ciclón} = P_{salida ciclón} + \Delta P = 15179.57 + 162.4 = 15341.97 Pa$$

TRAMO TUBERÍA DE ENTRADA CICLÓN

Para la longitud de la tubería de entrada debemos tener en cuenta la distancia entre donde se sitúe el ciclón y el punto de mecanizado de nuestro material. En principio, y con el fin de tener un margen de seguridad, seleccionaremos 10m de tubería, ya que el ciclón en sí estaría situado en un punto cercano a nuestro punto de trabajo, y la tubería sólo persigue la correcta focalización de la aspiración sobre la región de interés.

En cuanto a accesorios necesarios, se ha de indicar que no se requieren, ya que al tratarse de un material elástico, la conexión con el ciclón se realizará introduciendo la boquilla del mismo en nuestro conducto, siendo luego asegurado a través de alguna unión bridada simple; los parámetros de la entrada del ciclón son 1.72 y 3.44 cm, es decir un perímetro de 10.32 cm. Si el material fuese totalmente deformable:

$$P = \pi \cdot D \longrightarrow D = \frac{P}{\pi} = \frac{10.32}{\pi} = 3.28 cm$$

Aplicando un margen de seguridad, ya que el material no será totalmente elástico y para tener en cuenta los efectos del espesor, escogeremos un tubo de 3.5 cm de diámetro interior, que nos asegure un buen acople entre ambas partes.

MEMORIA DE CÁLCULO

Realizando idénticas consideraciones que para el tramo Tubería de salida-ciclón, tenemos que :

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + z_0 + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} - H = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$
$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_1}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g)$$

De donde a su vez , sabemos que el término H se corresponde con :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Al tratarse del mismo fluido, y presentar nuestra conducción la misma sección, tendremos la misma velocidad y el mismo régimen de movimiento. Por lo que :

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.0188}{\pi \cdot \left(\frac{0.035}{2}\right)^2} = 19.54 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{19.54 \cdot 0.177 \cdot 0.035}{1.8 \cdot 10^{-5}} \approx 6800$$

De igual manera al tratarse de un tubo de elastómero se considera éste como liso, obteniéndose por tanto el mismo valor de $f = 0.03$. Por lo que podemos hallar finalmente la pérdida de carga en dicho tramo:

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.03 \cdot \frac{10}{0.035} \cdot \frac{19.54^2}{2 \cdot 9.8} = 166.97 \text{ m}$$

$$\Delta P (Pa) = h \cdot \rho \cdot g = 166.97 \cdot 0.177 \cdot 9.8 = 289.63 \text{ Pa}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Siendo, por tanto, la presión a la entrada del conducto de absorción la suma de la presión de vacío generada a la entrada del ciclón más las pérdidas de carga generadas en el sistema :

$$P_{ent. ciclón} = P_{salida ciclón} + \Delta P = 15341.97 + 289.63 = 15631.6 Pa$$

Como se indicó en el principio del apartado, para el cálculo de la pérdida de presión recurrimos a la expresión de Bernoulli para fluidos incompresibles, tras realizar las siguientes consideraciones : estamos trabajando en régimen isotérmico y la densidad del fluido a lo largo de nuestro sistema apenas varía, ya que a pesar de que se producen pérdidas de carga, estas son mínimas. Podemos comprobar como ambas consideraciones se cumplen, ya que no existe ningún fenómeno a lo largo de nuestro sistema que modifique sensiblemente nuestra temperatura; y como podemos observar la variación de la presión a lo largo de nuestro sistema es mínima, siendo el valor de dicha variación tal y como vemos a continuación :

$$\% \text{ variación} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \cdot 100 = \frac{15631.6 - 15000}{15000} \cdot 100 = 4.2 \%$$

2.3.4.- Diseño estructural del ciclón como recipiente a presión

Para el diseño estructural del ciclón, aplicaremos el código ASME Sección VIII Div.1^[8], referida a los recipientes a presión. En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de ASME para los recipientes a presión.

La división 1 del presente código sólo es aplicable a los siguientes casos:

- La presión deberá ser menor a 3000 psi.
- Calentadores tubulares sujetos a fuego.

MEMORIA DE CÁLCULO

- Sistemas de tuberías.
- Componentes de tuberías.
- Recipientes para menos de 454.3 litros (120 galones) de capacidad de agua, que utilizan aire como elemento generador de presión.
- Tanques que suministran agua caliente bajo las siguientes características: suministro de calor no mayor de 58,600 W (200,000 Btu/h) temperatura del agua de 99°C (210°F) y capacidad de 454.3 litros (120 galones)
- Recipientes sujetos a presión interna o externa menor de 1.0055 Kg./cm² (15 psi)
- Recipientes que no excedan de 15.2 cm (6 pulg) de diámetro.

Como vemos, nuestro ciclón, no sobrepasa ninguna de las limitaciones detalladas, por lo que dicha división podrá ser aplicada a nuestro elemento.

Existen muchos procesos químicos o alimentarios que se realizan en condiciones de presión inferior a la atmosférica, siendo entonces recipientes sometidos a presión externa, tal y como es el caso que nos lleva. Los recipientes donde se realizan estos procesos están trabajando a vacío, total o parcial, de forma que el máximo valor de la presión exterior a la que se encuentran sometidos es, por razones obvias, de una atmósfera (1,033 Kg/cm²).

La presión externa, actuando sobre un recipiente cilíndrico, induce en la pared del mismo esfuerzos de compresión circunferenciales y longitudinales, siendo la magnitud de los primeros el doble de la de los segundos. Es necesario estudiar los esfuerzos circunferenciales de compresión por el fenómeno de inestabilidad elástica que producen en el recipiente haciendo que la estructura se abolle o aplaste.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tenemos así un sistema inestable, en el que cualquier deficiencia en la geometría cilíndrica produce, bajo presión exterior, esfuerzos de flexión que a su vez aumentan el defecto hasta llegar al aplastamiento del cilindro. Debido a este fenómeno, cuando se diseña un recipiente para presión externa, no será suficiente el conocimiento del esfuerzo admisible del material, como en el caso de presión interna. Se debe utilizar otro criterio, que es, con las características particulares del aparato (material, espesor y geometría), calcular la máxima presión externa que puede aguantar.

Es frecuente que un mismo recipiente esté sometido a presión interna y, en ocasiones, a presión externa, normalmente por operación incorrecta. Tanto estos recipientes como en todos en general, se debe realizar el diseño, primero, a presión interna o se dimensiona con los espesores mínimos, y luego se comprueba si estos espesores son correctos para resistir la presión externa de diseño o proyecto (Pa); a continuación, se aplica el método de comprobación de recipientes sometidos a presión externa según el código ASME VIII Div. 1.

Diseño a Presión interna

Acudimos a la siguiente tabla recogida en el código ASME VII Div. 1

Fórmulas generales para recipientes

Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, P		Esfuerzo, S	
		Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior
Casco							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_x = \frac{PR_o}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE + .4P}$	$\frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R_i - .4t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_o}{t}$	$\frac{PR_i}{SE - .6P}$	$\frac{PR_o}{SE + .4P}$	$\frac{SEt}{R_i + .6t}$	$\frac{SEt}{R_o - .4t}$	$\frac{P(R_i + .6t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{Et}$
Cabezales							
Semiesférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-32(d)]*	$\sigma_x = \sigma_\theta = \frac{PR_m}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PR_o}{2SE + .8P}$	$\frac{2SEt}{R_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{R_o - .8t}$	$\frac{P(R_i + .2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - .8t)}{2Et}$
Elipsoidal [Sección 1-4(c)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD_i K}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o K}{2SE + 2P(K - .1)}$	$\frac{2SEt}{KD_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{KD_o - 2t(K - .1)}$	Véase PROCEDIMIENTO 2	
2:1 SE [Sección UG-32(d)]*	"	$\frac{PD_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o}{2SE + 1.8P}$	$\frac{2SEt}{D_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{D_o - 1.8t}$	"	
100% - 8% Tonosférica [Sección UG-32(e)]*	"	$\frac{.886PL_i}{SE - .1P}$	$\frac{.886PL_o}{SE + .8P}$	$\frac{SEt}{.885L_i + .1t}$	$\frac{SEt}{.885L_o - .8t}$	"	
Tonosférica $L_i \geq 1.6.66$ [Sección 1-4(d)]*	"	$\frac{PL_i M}{2SE - .2P}$	$\frac{PL_o M}{2SE + P(M - .2)}$	$\frac{2SEt}{LM + 2t}$	$\frac{2SEt}{L_o M - t(M - .2)}$	"	
Cono							
Longitudinal	$\sigma_x = \frac{PR_o}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{4 \cos \alpha(SE + .4P)}$	$\frac{PD_o}{4 \cos \alpha(SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_i - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(a); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_o}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{2 \cos \alpha(SE - .6P)}$	$\frac{PD_o}{2 \cos \alpha(SE + .4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_i + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VIII, división 1, edición de 1983, American Society of Mechanical Engineers.

MEMORIA DE CÁLCULO

De donde escogemos la expresión que hace referencia al cálculo del espesor de la pared para el radio interior (el calculado en el dimensionamiento del ciclón) y del esfuerzo circunferencial, que como hemos indicado es el de mayor magnitud y por tanto será el que nos dé mayor espesor.

$$t = \frac{P \cdot R_0}{SE - 0.6 \cdot P}$$

Siendo :

P: la presión interna a la que está sometida nuestro ciclón (psi)

R₀ : radio interno de nuestro ciclón

SE : Tensión admisible de nuestro material a la T^a de diseño

T^a de diseño = T ambiente + 20 °C = 25 + 20 = 45 °C

La presión interna a la que está sometido nuestro ciclón es igual a la presión de vacío que nos proporciona la bomba (15000 Pa = 2.18 psi). R₀ es igual a la mitad del diámetro de nuestro ciclón (D_c) cuyo valor era de 0.0688 m, por tanto R₀ = 0.0344 m. Tan solo nos falta la selección del material, escogeremos un acero A285 grado C, muy común en el ámbito industrial, cuyo valor de S es de 18300^[11] psi y tomaremos un factor de eficacia de soldadura (E) del 0.85^[12]. Obteniendo por tanto :

$$t = \frac{P \cdot R_0}{SE - 0.6 \cdot P} = \frac{2.18 \cdot 0.0344}{18300 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 2.18} = 4.82 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Como podemos observar el valor obtenido del espesor por presión interna para nuestro cuerpo cilíndrico del ciclón es ínfimo, lo cual es lógico, ya que nuestro ciclón está sometido a presión externa, obteniéndose resultados de idéntica magnitud para el cabezal y el fondo cónico del mismo; sin embargo, si seguimos operando tal y como marca el código ASME Sección VIII Div. 1, debemos aplicar el criterio de espesor mínimo de pared, según el cual

MEMORIA DE CÁLCULO

escogeremos el mayor de los siguientes valores , indicar previamente que para el material seleccionado se le debe añadir un sobreespesor de corrosión de 2.3 mm, obteniéndose los siguientes resultados :

$$t_{\min} = 2.5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = 2.5 + 2.3 = 4.8 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \frac{D_o}{1000} + 2.54 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = \frac{68.8}{1000} + 2.54 + 2.3 = 4.91 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} \text{ (para aceros al carbono)} = 5 + 2.3 = 7.3 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 3 \text{ (mm)} \text{ (para aceros inoxidable y mat. sin corrosión)} \longrightarrow \text{NO ES APLICABLE}$$

Por tanto nuestro espesor de pared será de 7.3 mm, que cumple sobradamente con los requerimientos de la presión interna, falta comprobar si lo hace con la presión externa, y en caso afirmativo, ya tendremos definido en su totalidad el diseño de nuestro ciclón.

Diseño a Presión externa

Dividiremos nuestro ciclón, en tres grandes secciones que habrá que comprobar : la carcasa cilíndrica, el cabezal que será en nuestro caso plano, y el fondo cónico de nuestra estructura.

1.- Carcasa cilíndrica : Antes de iniciar el cálculo de la presión externa, vamos a definir los parámetros que utilizamos en las fórmulas de cálculo:

A = Factor función de las dimensiones del recipiente.

B = Factor determinado por las figuras del ASME VIII Div. 1.

D_e = Diámetro exterior, en m.

E = Módulo de elasticidad del material a la T^a de diseño, en psi.

L = Longitud total, en m, de la carcasa cilíndrica.

P = Presión externa de diseño o proyecto, en psi.

P_a = Valor calculado de la presión externa máxima de trabajo, en psi.

t = espesor de la envolvente, en m.

c = sobreespesor o margen de corrosión, en m.

MEMORIA DE CÁLCULO

La máxima presión de trabajo admisible, P_a , que soporta una carcasa cilíndrica de relación $(D_e/t) \geq 10$ se calcula siguiendo el siguiente procedimiento, por lo que antes realizaremos la comprobación de que se cumple dicha relación :

$$\frac{D_e}{t} = \frac{0.0688 + (0.0073 \cdot 2)}{0.0073} = 11.42 \geq 10 \longrightarrow \text{Método de cálculo aplicable}$$

A) Se determinan los valores de las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{L}{D_e} = \frac{0.1376}{0.0688} = 2 \qquad \frac{D_e}{t} = \frac{0.0834}{0.0073} = 11.42$$

A continuación acudiendo a la siguiente gráfica^[9], obtenemos A:

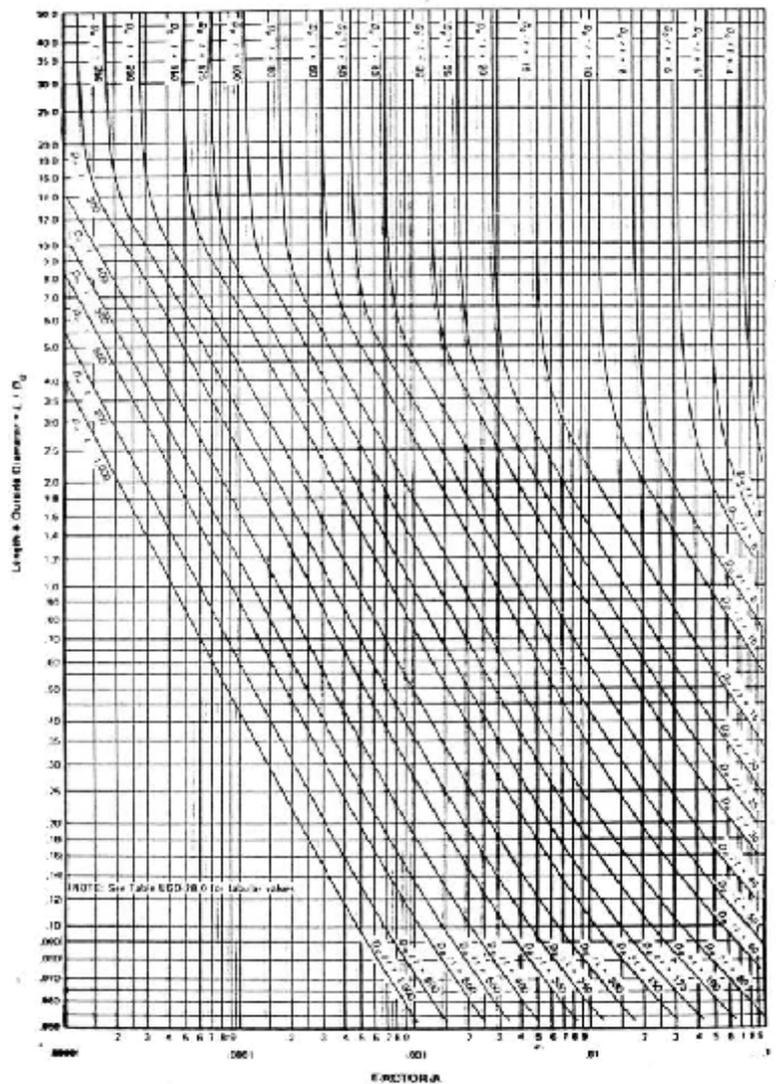
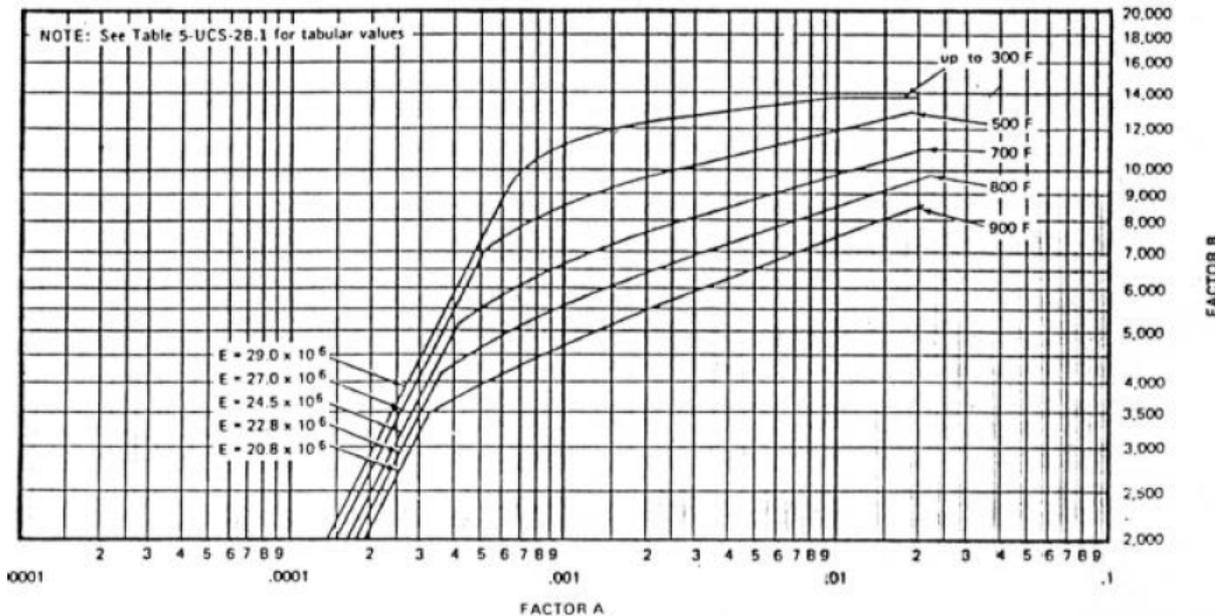


Fig. S-UGO-2B.0 Graphic Chart for Cylindrical Vessels Under Internal or Compressive Loading (For all Materials)

MEMORIA DE CÁLCULO

Resultado ser de A= 0.02. Acudiendo a continuación a la siguiente gráfica^[10] calculamos el factor B (recordar que nuestra T° de diseño es de 45 °C, menor de 300°F) :



Obteniéndose un valor del factor B de 14000. Así podemos obtener nuestra presión máxima de trabajo a partir de la expresión :

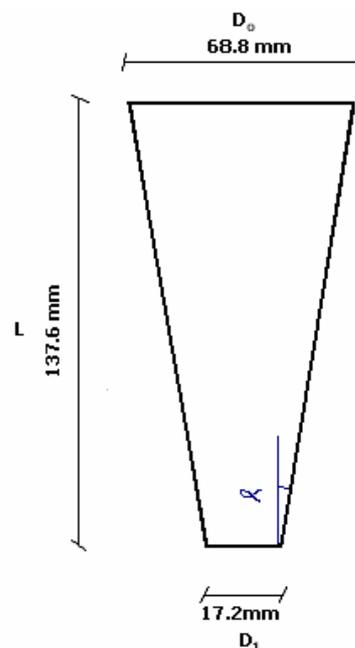
$$P_{\text{máx}} = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_e}{t}\right)} = \frac{4 \cdot 14000}{3 \cdot \left(\frac{0.0834}{0.0073}\right)} = 1633.89 \text{ psi}$$

Una vez calculada la máxima presión externa admisible se compara con la de proyecto; si $P_a > P$, el espesor es correcto, y en caso contrario se deberá proceder a un aumento del valor del mismo o instalar unos anillos rigidizadores colocados circunferencialmente alrededor del recipiente y a una distancia tal que su efecto se solape entre ellos. En nuestro caso, la presión de proyecto externa es la atmosférica (14.7 psi), comprobándose que la presión capaz de soportar nuestra carcasa cilíndrica es muy superior, siendo por tanto un espesor adecuado para esta sección de nuestro ciclón.

MEMORIA DE CÁLCULO

2.- Cabezal plano del ciclón : al ser plano en la práctica se toma el mismo espesor que la carcasa cilíndrica más un % de seguridad que depende del proceso en el que estemos trabajando, como hemos comprobado en el cálculo anterior, el espesor adoptado por nuestro ciclón nos aporta, ya de por sí, una resistencia a la presión de varios órdenes de magnitud mayor a la que se aplica a nuestro sistema, la atmosférica, por lo que tomaremos para el cabezal plano el espesor calculado para la sección cilíndrica, con la total certeza de la resistencia del mismo en nuestras condiciones de operación.

3.- Fondo cónico del ciclón, a continuación presentamos el esquema de la sección cónica :



Obteniéndose el valor de α a través de una trigonometría simple, cuyo valor resultante es, $\alpha = 10.6^\circ$.

A continuación, determinaremos los distintos parámetros que nos serán necesarios a la hora de realizar los cálculos :

$$t_e (\text{espesor efectivo de la sección cónica}) = t \cdot \cos \alpha = 7.3 \cdot \cos 10.6^\circ = 7.17 \text{ mm}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

$$L_e(\text{longitud equivalente de la sección cónica}) = \frac{L}{2} \cdot \left(1 + \frac{D_1}{D_0}\right) = \frac{137.6}{2} \cdot \left(1 + \frac{31.8}{83.4}\right) = 95.03 \text{ mm}$$

Ya que los D'_x se corresponden a los diámetro externos de la sección cónica, por lo que hay que añadirles el espesor de la paredes, inicialmente establecido en 7.3 mm

A su vez requeriremos distintas relaciones entre las dimensiones de nuestro cono, siendo éstas :

$$\frac{D_0}{t_e} = \frac{83.4}{7.17} = 11.63 \xrightarrow{\text{Teniendo además que cumplir el criterio}} \geq 10 \longrightarrow \text{Se cumple, algoritmo de cálculo válido}$$
$$\frac{L_e}{D_0} = \frac{86}{68.8} = 1.25$$

A continuación se opera de igual forma, que para el caso de la carcasa cilíndrica, determinaremos A y B, y aplicaremos finalmente la expresión de P_a , que deberá ser mayor que nuestra P de trabajo (la presión atmosférica).

Acudiendo a las gráficas, ya mostradas con anterioridad, obtenemos los factores : A = 0.025. B = 14000

Resultando nuestra presión máxima admisible :

$$P_{\text{máx}} = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t_e}\right)} = \frac{4 \cdot 14000}{3 \cdot \left(\frac{0.0834}{0.00717}\right)} = 1605.04 \text{ psi}$$

Que como también podemos verificar es muy superior al valor de la P_{atm} , comprobándose, por tanto, que el espesor de 7.3 mm del ciclón cumple con toda las condiciones de diseño necesarias; y por tanto, quedando completamente diseñado y dimensionado el ciclón de nuestro sistema.

MEMORIA DE CÁLCULO

4.-Conexiones : como punto final, determinaremos el espesor que deben tener nuestras conexiones, siendo esta la tubería de 4 metros de PVC entre el ciclón y la bomba de vacío; y la existente a la entrada del ciclón de 10 m de longitud de elastómero reforzado.

Para ello, aplicamos el criterio del espesor mínimo, siendo éste el mayor de los valores. El resultado obtenido será válido para los dos tramos de tuberías al presentar éstas la misma sección , (indicar que en estos casos al ser materiales plásticos no se le añade espesor de corrosión) :

$$t_{\min} = 2.5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = 2.5 + 0 = 2.5 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = \frac{D_o}{1000} + 2.54 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = \frac{35}{1000} + 2.54 + 0 = 2.57 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} \text{ (para aceros al carbono)} \longrightarrow \text{NO ES APLICABLE}$$

$$t_{\min} = 3 \text{ (mm)} \text{ (para aceros inoxidables y mat. sin corrosión)} = \underline{3 \text{ mm}}$$

En este caso, no se usa un acero al carbono, sino compuestos poliméricos, PVC reforzado con trenzado y elastómero reforzado, cuyos valores de S se encuentran entorno a unos 14000 psi^[1], muy cercanos al valor que toma nuestro acero seleccionado al aplicarle el factor de soldabilidad (SE=18300·0.85=15555 psi). Como se ha demostrado en cálculos anteriores, el espesor requerido, tanto por la presión interna como por la presión externa, son de varios órdenes de magnitud inferior al espesor impuesto por el criterio de espesor mínimo para nuestras condiciones de trabajo; por lo que esa pequeña disminución del valor de S de nuestros materiales, no afecta en absoluto a la aceptabilidad del criterio del espesor mínimo, en este caso de 3mm.

Concluyéndose así el diseño y dimensionamiento total del sistema del ciclón y sus accesorios.

MEMORIA DE CÁLCULO

2.4.- Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 5/10/2006)
- [2] Handbook of Chemistry & Physics, 87th Edition, 2006-2007
- [3] Chemical Process Equipment (S. M.Walas) 1990
- [4] Curso de Diseño de Ciclones, Carlos Alberto Echeverri. 2006.
- [5] Catálogo y ficha técnica de Becker S.A. 2006
- [6] Catálogo Durapipe PVC Pipes and Fittings, Imperial and metric System. 2005.
- [7] Exploratory Experimental and Theoretical Studies of Cyclone Gasification of Wood Powder. Doctoral Thesis , Christian Fredriksson. Department of Mechanical Engineering, Lulea University of Technology. Sweden, August, 1999
- [8] Código ASME Sección VIII Div 1. July 1, 2004 Edition.
 - [9] Fig. 5-UGO-28.0
 - [10] Fig. 5-UCS-28.1
- [11] Tabla de materiales ASTM
- [12] Tabla de determinación de factor de calidad de soldadura. Ver el apartado de diseño mecánico del sistema de tuberías, en el capítulo tercero de la presente memoria de cálculo)
- [13] Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos . www.unizar.es/dctmf/. Consultada a 7/10/2006
- [14] Whitworth Rohrgewinde DIN ISO 228 BSP (British Standard Pipe)

3.-DISEÑO DEL SISTEMA DE APORTE DE Ar

3.1.- Cálculo de la presión en nuestro sistema

El argón es un gas noble incoloro e inodoro, formando parte del aire atmosférico en un 0,93% vol. No es inflamable ni tóxico.

Fórmula química: Ar

Masa molar: 39,95 g/mol

Punto triple: Temperatura: 83,8 K (- 189,4 °C)

Presión: 687 mbar

Calor latente de fusión: 29,3 kJ/kg

Punto de ebullición a 1013 mbar: Temperatura: 87,3 K (- 185,9 °C)

Calor latente de ebullición: 160,8 kJ/kg

Punto crítico: Temperatura: 150,8 K (- 122,5 °C)

Presión: 49 bar

Densidad: 0,538 kg/litro

Estado gaseoso a 1 bar y 15 °C: Densidad relativa al aire: 1,38

Viscosidad dinámica : 0.0225 cP

Sus principales aplicaciones son, principalmente, como gas de protección en técnicas de soldadura, en el recocido de metales, en la elaboración de componentes electrónicos y como gas de barrido en la desgasificación de metales en fusión.

MEMORIA DE CÁLCULO

Formas de suministro del Argón :

- Argón Gas
- Argón Alta Pureza
- Mezclas gaseosas con base Argón
- Argón Líquido

Debido en gran medida a estas características enunciadas, en nuestro sistema láser será necesario un sistema de aporte de Ar por varios motivos :

1. Con el fin de evitar reacciones de oxidación del material durante el procesado del mismo, las cuales debido a su fuerte carácter exotérmico podrían aumentar la zona afectada por el calor al desprenderse una importante energía calorífica.
2. Ayudar a la retirada del material mecanizado, ya que se van a procesar materiales de hasta 2 cm de espesor con unos pequeños spots láser, por lo que ayudaremos a evitar la colmatación de la zona de mecanizado en el material.
3. A su vez, dicho caudal de Ar se empleará en la refrigeración de la lente, de forma que su temperatura no alcance valores que pudiesen influir negativamente en la funcionalidad de nuestro sistema.

Debido a estas razones se proyectará un sistema de aporte de Ar compuesto por un depósito de Ar y un sistema de válvulas, accesorios y tuberías, que nos proporcionen la disposición adecuada de nuestro sistema. Para empezar a realizar nuestros cálculos comenzaremos con la selección del depósito de Argón, que lo podemos encontrar de forma comercial con las siguientes características ^[3] :

Denominación:	Argón 4.5	Pureza:	≥99,995%
Impurezas, ppm/v:	O ₂	≤10	
	N ₂	≤30	
	H ₂ O	≤ 8	

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DE CÁLCULO

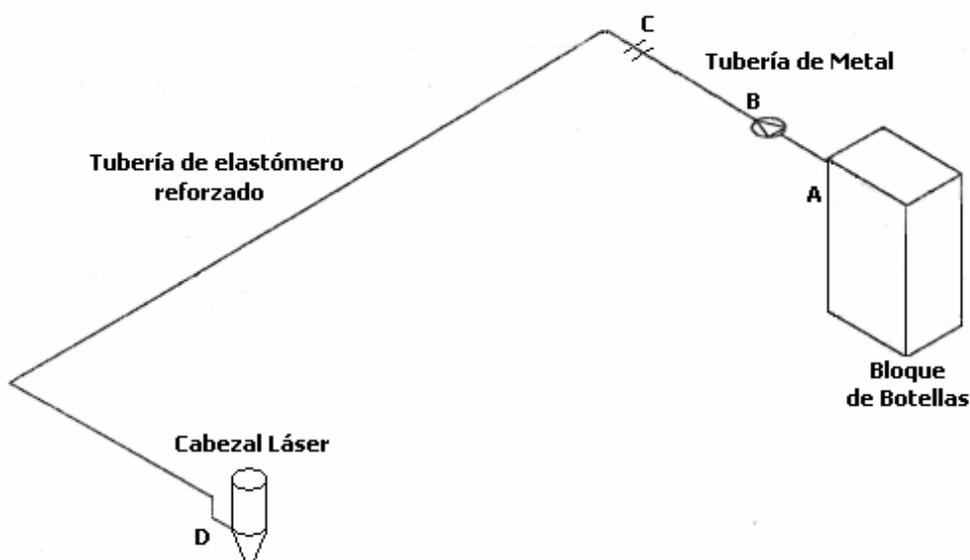
Bloques de botellas 12 x 50

Volumen botellas litros	Medidas Alto x Ancho x Largo mm	Peso total aprox. llenos kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido m ³ Gas
600	1.260 x 800 x 1.800	1.206	200	126

Por lo que es necesario, realizar la selección del tipo de suministro, con el fin de definir las características de los accesorios necesarios en nuestro sistema de aporte de Ar .

Conexión: Válvula de la botella: macho W 21,7 x 1/14" MIE-AP 7
 Bloques: macho M 30 x 2

Con el fin de asegurar un suministro adecuado a nuestras necesidades, escogeremos en primera instancia, aquella que es capaz de aportarnos una mayor cantidad de tiempo de operación, si al finalizar el presente capítulo de cálculos, se obtiene que el depósito está sobredimensionado en extremo, se escogerá el suministro de botella, repitiéndose de nuevo el procedimiento de diseño del sistema de tuberías y accesorios. Por lo que la conexión de nuestro depósito de Argón viene dado por una conexión macho M 30x2" , es decir un diámetro interior de un taladro métrico de 30 mm, y el diámetro externo de 2" (50.8 mm). El esquema de nuestra instalación será el siguiente :



MEMORIA DE CÁLCULO

Hemos seleccionado una segunda parte del sistema de tuberías de material elastómero reforzado debido a la movilidad del cabezal láser, lo que exige una cierta capacidad de movimiento y flexibilidad de nuestra instalación. A continuación, calcularemos la presión en los distintos puntos de nuestro sistema con el fin de, posteriormente, dimensionar nuestras tuberías de forma apropiada.

Indicar que el tramo A-B se diseñará para una presión de 200 bar, no se calcula la pérdida de presión debido a que la magnitud de la misma nunca impedirá que en nuestro manorreductor^[4] del punto B consigamos la presión de salida que nosotros deseamos para nuestro sistema , 3.5 bar; indicaremos que la longitud de dicho tramo será de 1.5 m

Al igual que en el caso del cálculo de pérdidas de presión en el ciclón, recurriremos a la expresión de Bernouilli, al suponer que las pérdidas generadas en nuestro sistema son de tal magnitud que la variación de presión a lo largo del mismo es mínima.

TRAMO B-C

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + z_0 + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} - H = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Correspondiéndose :

ρ : densidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

P_0 : presión en el punto de entrada de la tubería (salida de la válvula).

P_1 : presión en el punto de salida de la tubería (cambio de tipo de tubería).

Z_0 : altura del punto de entrada a la tubería.

Z_1 : altura del punto de salida de la tubería.

MEMORIA DE CÁLCULO

v_0 : velocidad del fluido en el punto inicial.

v_1 : velocidad del fluido en el punto final.

H : factor de pérdida de carga.

Tenemos que indicar que la sección de nuestra tubería es constante, de forma que la velocidad a lo largo de nuestra conducción también lo es (al considerarse que la variación de presión es mínima); así mismo, la diferencia de alturas del punto B al C es nula, por lo que dicho término también se anulará, obteniéndose por tanto :

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_C}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g)$$

En donde :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Correspondiéndose :

L: Longitud de la tubería que estará definida en 4 m.

D: Diámetro de la tubería; en este punto debemos seleccionar un diámetro interior normalizado, con el fin del posterior cálculo de recipiente a presión. En principio seleccionaremos un diámetro de 1/2 " (1.27 cm)

v : Velocidad de nuestro fluido en el interior de la tubería.

f : Factor de fricción.

Calculamos la velocidad del fluido en nuestra conducción, para ello sabemos que a 3.5 bar (3.45 atm), el caudal que nos aporta la válvula^[4] es de 0.05 Nm³/h (1.3·10⁻⁵ m³/s); por lo que primeramente calcularemos el caudal,

MEMORIA DE CÁLCULO

considerando tanto una temperatura constante como un comportamiento ideal del fluido, tenemos para la unidad de tiempo que :

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{P_1 \cdot V_1} = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{n \cdot R \cdot T_1} \longrightarrow \frac{P_0}{P_1} = \frac{V_1}{V_0} \longrightarrow V_1 = \frac{V_0 \cdot P_0}{P_1} = \frac{1.3 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{3.45} = 4.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$Q = 4.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q (\text{m}^3 / \text{s}) = v (\text{m} / \text{s}) \cdot A_{\text{sección}} (\text{m}^2) \longrightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{4.02 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot \left(\frac{0.0127}{2}\right)^2} = 0.035 \text{ m} / \text{s}$$

Una vez obtenida la velocidad de nuestro fluido en la tubería, para el cálculo del factor f calcularemos antes el valor del Reynolds en nuestra conducción, para ello :

$$P_0 \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0 \longrightarrow P_0 \cdot V_0 = \frac{m}{P_M} \cdot R \cdot T_0$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P_0 \cdot P_M}{R \cdot T_0} = \frac{3.45 \cdot 40}{0.082 \cdot 298} = 5.7 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 5.7 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{0.035 \cdot 5.7 \cdot 0.0127}{2.25 \cdot 10^{-6}} \approx 1200$$

Tan solo nos queda determinar la rugosidad relativa de nuestra tubería de acero comercial , siendo ε 0.00015 para nuestro material, y teniendo que ir nuestro diámetro en pulgadas ^[5] :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00015}{0.5} = 0.0003$$

Acudiendo al gráfico de Moody, podemos obtener ya nuestro factor de f, adoptando éste un valor de 0.06

MEMORIA DE CÁLCULO

Podemos obtener ya nuestro factor de pérdida de carga :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.0 \cdot \frac{4}{0.0127} \cdot \frac{1.9^2}{2 \cdot 9.81} = 4.34 \text{ m}$$

Generándose en nuestro tramo una pérdida de carga :

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_C}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g) = 4.34 \cdot 5.7 \cdot 9.81 = 121.4 \text{ Pa} = 24.26 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

TRAMO C-D

Realizaremos idénticas consideraciones que para el tramo anterior, es decir, no habrá variaciones ni de altura ni de velocidad en nuestra conducción (sección constante), quedando por tanto nuestra expresión de pérdida de carga:

$$\frac{P_C}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_D}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g)$$

En donde :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Al mantenerse la sección de nuestra conducción y la presión respecto al tramo anterior (ya que la pérdida en la sección anterior es despreciable), obtenemos la misma velocidad de fluido, por lo que obtenemos el mismo valor para el Reynolds y por tanto el mismo valor del factor de fricción. Por tanto calculamos nuestro factor de pérdida de carga :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

A su vez le asignaremos un valor a L de 100 m, ya que el cabezal láser ha de ser capaz de desplazarse para mecanizar nuestro material, por tanto nuestra unión flexible debe tener una longitud suficiente que nos permita dicha operación. Además el término L debe incluir la pérdida de carga que se genera en la unión entre la tubería metálica y la de elastómero, considerándose que en dicha unión se producirá primero un estrechamiento brusco, y que posteriormente da paso a un ensanchamiento también brusco, dando como resultados unas longitudes de 0.2 y 0.5 m respectivamente; para ello también hemos usado la gráfica de longitudes equivalentes, empleada en el cálculo del ciclón. obteniéndose :

$$H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.06 \cdot \frac{100 + 0.2 + 0.5}{0.0127} \cdot \frac{1.9^2}{2 \cdot 9.81} = 87.52 \text{ m}$$

Obteniéndose por tanto una pérdida de carga :

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} - H = \frac{P_C}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta P = H \cdot (\rho \cdot g) = 87.52 \cdot 5.7 \cdot 9.81 = 4896.85 \text{ Pa} = 0.05 \text{ bar}$$

Como se indicó en el principio de los cálculos de pérdida de presión, se recurrió a la expresión de Bernoulli para fluidos incompresibles, tras considerar que trabajamos en régimen isotérmico y que la densidad del fluido a lo largo de nuestro sistema apenas varía, ya que apenas se producen pérdidas de carga. Pudiéndose comprobar a continuación que la variación de la presión a lo largo de nuestro sistema es mínima, siendo por tanto válido nuestro planteamiento inicial :

$$\% \text{ variación} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \cdot 100 = \frac{3.5 - (3.5 - 24.26 \cdot 10^{-3} + 0.05)}{3.5} \cdot 100 = 2.1 \%$$

3.2.- Diseño mecánico del sistema de tuberías

Una vez conocida la presión existente en los distintos tramos de tuberías pasaremos al cálculo mecánico de los elementos que componen dicha línea de aprovisionamiento de Argón gaseoso. Indicar que para dicho cálculo aplicaremos la metodología desarrollada por el código ASME ^[6].

TRAMO A-B

Comenzaremos con el tramo de tubería existente entre el bloque de botellas y el manorreductor, sabemos que en este tramo la presión de trabajo será de 200 bar (la proporcionada por las propias botellas que componen el bloque de suministro). A su vez sabemos que el diámetro exterior es de 2".

Lo primero que haremos será calcular la presión y la temperatura de diseño, aunque este último parámetro es de escasa importancia, ya que sólo interviene para la selección de algunos factores a usar y nuestra temperatura a pesar de añadirle un margen de seguridad siempre será inferior a los 450 °C , valor a partir del cual sí empezaría a ser de notable influencia en nuestros cálculos.

$$T_{Diseño} = 20^{\circ}C + T_{Operación} = 20 + 25 = 45^{\circ}C = 113^{\circ}F$$

$$P_{Diseño} = 1.1 \cdot P_{Operación} = 1.1 \cdot 200 = 220 \text{ bar} = 3190.85 \text{ psi}$$

A continuación acudiendo al código ASME , obtenemos la siguiente expresión para tuberías :

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (SE + PY)}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Siendo :

P : presión en psi (3190.85 psi)

D_0 : Diámetro exterior en pulgadas

S : Tensión admisible de nuestro material a la T^a de diseño. Acero A-515 grado 60^[7] → 20000 psi

Y : Coeficiente Y

E : Factor de soldabilidad.

Obteniéndose los dos últimos a partir de las siguientes tablas recogidas en el código ASME:

TABLE 304.1.1
VALUES OF COEFFICIENT Y

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482					≥ 621
	(900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	(1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DE CÁLCULO

TABLE 302.3.4
LONGITUDINAL WELD JOINT QUALITY FACTOR, E_j

No.	Type of Joint	Type of Seam	Examination	Factor, E_j
1	Furnace butt weld, continuous weld 	Straight	As required by listed specification	0.60 [Note (1)]
2	Electric resistance weld 	Straight or spiral	As required by listed specification	0.85 [Note (1)]
3	Electric fusion weld			
	(a) Single butt weld (with or without filler metal) 	Straight or spiral	As required by listed specification or this Code Additionally spot radiographed per para. 341.5.1 Additionally 100% radiographed per para. 344.5.1 and Table 341.3.2	0.80 0.90 1.00
	(b) Double butt weld (with or without filler metal) 	Straight or spiral [except as provided in 4(a) below]	As required by listed specification or this Code Additionally spot radiographed per para. 341.5.1 Additionally 100% radiographed per para. 344.5.1 and Table 341.3.2	0.85 0.90 1.00
4	Per specific specification			
	(a) API 5L Submerged arc weld (SAW) Gas metal arc weld (GMAW) Combined GMAW, SAW 	Straight with one or two seams Spiral	As required by specification	0.95

NOTE:

(1) It is not permitted to increase the joint quality factor by additional examination for joint 1 or 2.

Obteniéndose, por tanto, un valor de 0.4 para el coeficiente Y; a su vez las tuberías comúnmente vienen fabricadas a través de soldadura eléctrica, por lo que consideraremos que para el factor E el valor será 0.85

MEMORIA DE CÁLCULO

Por tanto, una vez definido todos los parámetros , obtenemos nuestro valor de espesor :

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (SE + PY)} = \frac{3190.85 \cdot 2}{2 \cdot (20000 \cdot 0.85 + 3190.85 \cdot 0.4)} = 0.175''$$

$$t = 0.175'' = 4.45 \text{ mm}$$

Valor al que se debe añadir el factor de seguridad correspondiente a corrosión, siguiendo las indicaciones del ASME tomaremos el valor de 1.5 mm.

$$t_m = 4.45 + 1.5 = 5.95 \text{ mm} \quad (0.279'')$$

Finalmente hay que tener en cuenta la tolerancia en el espesor de la fabricación, regulada para estos materiales de aproximadamente un $\pm 5\%$. De la forma :

$$t_f = \frac{t_m}{1 - \frac{M}{100}} = \frac{0.234}{1 - \frac{5}{100}} = 0.246'' \quad (6.29 \text{ mm})$$

Resultando ser, por tanto, la tubería seleccionada de 30 de número de diámetro, un diámetro exterior de 42.2 mm y un espesor de 6.35 al ser ésta la que más se ajusta a nuestras características.

Número del diámetro	Diámetro exterior (mm)	Cédula o designación								
		5S	10S	Std	40	XS	80	120	160	XXH
3	10.3	0.089	1.24	1.73	1.73	2.41	2.41			
6	13.7	1.24	1.65	2.24	2.24	3.02	3.02			
10	17.1	1.65	1.65	2.31	2.31	3.20	3.20			
15	21.3	1.65	2.11	2.77	2.77	3.73	3.73		4.87	7.47
20	26.7	1.65	2.11	2.87	2.87	3.91	3.91		5.56	7.82
25	33.4	1.65	2.77	3.38	3.38	4.55	4.55		6.35	6.35
30	42.2	1.65	2.77	3.56	3.56	4.85	4.85		6.35	9.70
40	48.3	1.65	2.77	3.68	3.68	5.08	5.08		7.14	10.15
50	60.3	1.65	2.77	3.91	3.91	5.54	5.54		8.74	11.07
65	73.0	2.11	3.05	5.16	5.16	7.01	7.01		9.53	14.02
80	88.9	2.11	3.05	5.49	5.49	7.62	7.62		11.13	15.24
90	101.6	2.11	3.05	5.74	5.74	8.08	8.08			16.15
100	114.3	2.11	3.05	6.02	6.02	8.56	8.56	11.13	13.49	17.12
125	141.3	2.77	3.40	6.55	6.55	9.53	9.53	12.70	15.88	19.05
150	168.3	2.77	3.40	7.11	7.11	10.97	10.97	14.27	18.26	21.95
200	219.1	2.77	3.76	8.18	8.18	12.70	12.70	18.26	23.10	22.23
250	273.0	3.04	3.96	9.27	9.27	12.70	15.09	21.44	28.58	25.40
300	323.8	3.96	3.96	9.53	10.31	12.70	17.48	25.40	33.23	25.40
350	355.6	3.96	6.35	9.53	11.13	12.70	19.05	25.40	35.71	
400	406.4	3.96	6.35	9.53	12.70	12.70	21.44	30.96	40.49	
450	457	3.96	6.35	9.53	14.27	12.70	23.83	34.93	45.24	
500	508	4.78	6.35	9.53	15.09	12.70	26.19	38.10	50.01	
600	601	5.54	6.35	9.53	17.48	12.70	30.96	46.02	59.54	
>600				9.53		12.70				

MEMORIA DE CÁLCULO

TRAMO BC

En este tramo, sabemos que la presión de trabajo es de 3.5 bar y el diámetro interno de nuestra tubería es de 1/2", a su vez la temperatura de diseño se considera igual que la del tramo anterior:

$$T_{Diseño} = 20^{\circ}C + T_{Operación} = 20 + 25 = 45^{\circ}C = 113^{\circ}F$$

$$P_{Diseño} = 1.1 \cdot P_{Operación} = 1.1 \cdot 3.5 = 3.85 \text{ bar} = 55.9 \text{ psi}$$

A continuación acudiendo al código ASME , obtenemos la siguiente expresión :

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot (SE + PY)}$$

Siendo en nuestro caso también una acero A515 grado 60 con un S de 20000 psi, y seleccionándose los diferentes factores a partir de las tablas anteriores. Sin embargo, en este punto debemos reseñar que tenemos el diámetro interno de nuestra conducción, 1/2" (12.7 mm), por lo que a priori, escogeremos una tubería de 10 de número de diámetro (diámetro exterior de 17.1 mm , 0.675") , y posteriormente realizaremos la comprobación de si es válido en nuestro caso . Por tanto :

$$t = \frac{55.9 \cdot 0.675}{2 \cdot (20000 \cdot 0.85 + 55.9 \cdot 0.4)} = 0.0011''$$

$$t = 0.0011'' = 0.028 \text{ mm}$$

Operando de igual forma que en el tramo anterior :

$$t_m = 0.028 + 1.5 = 1.528 \text{ mm} \quad (0.06'')$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Aplicándole la tolerancia en el espesor de la fabricación, regulada para estos materiales de aproximadamente un $\pm 5\%$. De la forma :

$$t_f = \frac{t_m}{1 - \frac{M}{100}} = \frac{0.06}{1 - \frac{5}{100}} = 0.063'' (1.60 \text{ mm})$$

Acudimos, al igual que la vez anterior, a la tabla de conducciones de acero normalizadas y seleccionamos la que más se ajusta a nuestro requisitos,; resultando, por tanto, una tubería normalizada de diámetro exterior de 17.1 mm y un espesor de 1.65 mm. Quedando un diámetro interior de 13.8 mm (0.55 ") en vez de 1/2 " ; al ser la variación tan pequeña, ésta no afecta a las pérdidas de carga calculadas con anterioridad.

TRAMO CD

En el tramo CD la presión es 3 bar, y está unido a una tubería de metal de 17.1 mm de diámetro externo y de 13.8 mm de diámetro interno. Al contrario de lo que ocurre con las tuberías metálicas, las dimensiones de las conducciones plásticas no se encuentran tabuladas, existiendo en el mercado un sin fin de posibilidades comerciales; eligiéndose para este caso, aquella conducción con unas dimensiones lo mas parecida posible a la tubería de metal y que sea capaz de soportar presiones mayores de 3 bar, que es nuestra presión de operación. Como puede ser el caso concreto del tubo flexible de material sintético PU^[8] reforzado con tejido, que soporta hasta una presión de -0.95 a 10 bar con diámetro externo de 17.3 mm y el interno de 13.4 mm.

MEMORIA DE CÁLCULO

3.3.- Bibliografía

- [1] www.Matweb.com, The Online Materials Database (consulta realizada a fecha de 20/10/2006)
- [2] Handbook of Chemistry & Physics, 87th Edition, 2006-2007
- [3] Catálogo productos 2005 Abello Linde S.A. , Gases Técnicos.
- [4] Catálogo materiales 2005 Abello Linde S.A. , Gases Técnicos
- [5] Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías , División CRANE. Editorial McGraw-Hill .
- [6] ASME B31.3 Sec.304
- [7] Tabla de materiales ASTM
- [8] Catálogo Festo S.A. 2005

4.-DISEÑO DE LOS CABEZALES DEL SISTEMA LÁSER

4.1.- Cálculo de la potencia efectiva del emisor láser

Nuestro cabezal láser ha de presentar una cierta capacidad de movilidad, con el fin de poder desplazarse sobre el material que ha de mecanizar, para ello existen varias posibilidades :

- Que la fibra óptica existente entre el emisor y el cabezal, sea tal que nos permita un movimiento apropiado de nuestro sistema de mecanizado.
- La posibilidad de desplazamiento del emisor láser con el emisor, lo que conlleva una reducción de la fibra óptica a emplear.

Sin embargo, el emisor láser es un dispositivo muy sensible, por lo que no es aconsejable que su posición y sus condiciones ambientales sean variables en el tiempo; por lo que escogeremos la segunda opción, el emisor estará situado fijo en una posición, y se desplazará únicamente el cabezal de nuestro láser que estará unido al emisor a través de fibra óptica.

Debido a la posibilidad de mecanizado de elementales de gran variabilidad, y para asegurarnos que la capacidad de movimiento nunca limite la operabilidad de nuestro sistema láser, escogeremos una longitud de fibra óptica de 100 m , asegurándonos así, la total posibilidad de mecanizado en muy distintas circunstancias.

Recordemos el emisor seleccionado, de estado sólido y de potencia nominal de 1200 W, en donde la fibra óptica es la encargada de transmitir el haz

MEMORIA DE CÁLCULO

láser. Dicha fibra óptica presenta un índice de absorción del haz del 0.12 % ^[1] de la potencia láser por metro lineal.

Por lo que en un metro la pérdida sería de:

$$Pérdida Potencia = 1200 \cdot \frac{0.12}{100} = 1.44 W$$

$$P_{efectiva 1m F.Opt} = 1200 - 1.44 = 1198.56 W$$

Y habría que repetir el cálculo hasta los 100 m, tomando ahora como inicial la potencia de 1198.56 W; sin embargo se comprueba que si operamos de la forma :

$$Porcentaje total de pérdidas = \frac{0.12}{100} \cdot 100 = 0.12 = 12 \%$$

$$P_{efectiva F.Opt} = 1200 - (1 - 0.12) = 1056 W$$

El resultado obtenido conlleva un error aceptable, además le añadiremos un 5% como margen de seguridad que puede venir de otras pérdidas, tales como la unión entre el emisor y la fibra óptica , radios de curvatura en la línea, etc... quedando por tanto nuestra potencia de láser efectiva en 1000 W, que es el valor que empleamos en los cálculos de potencia láser del emisor en el apartado tercero de la presente memoria de cálculo para comprobar que nos mecaniza el espesor deseado en cada material.

4.2.- Diseño de los cabezales láser

Recordemos que, dependiendo del material a procesar, trabajaremos en una zona de mecanizado u otra (en régimen de transferencia de calor o de formación de plasma) para operar en una u otra zona debemos variar el spot láser, es decir modificamos el flujo de potencia por unidad de área, para lo cual requeriremos dos lentes:

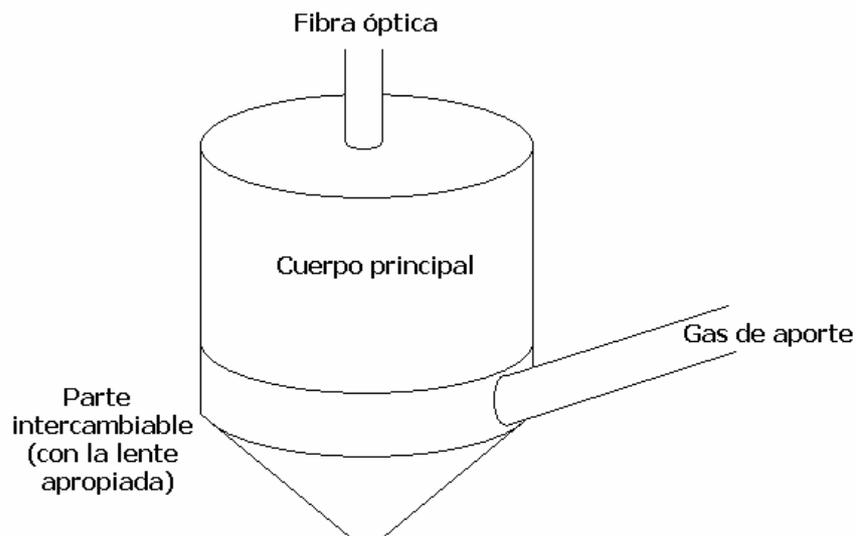
- Una lente plana que nos mantenga la continuidad del haz láser, recordemos que el spot que obtenemos a partir de la fibra óptica del emisor láser es de 150 micras, por lo que es válido para mecanizar para los materiales aluminio, titanio y fibra de vidrio (región de transferencia de calor); por lo que únicamente será para evitar la dispersión del haz para lo que necesitemos dicha lente.
- Una lente de focalización para la fibra de carbono que nos proporcione un spot láser de 30 micras, recordemos que ya se calcularon sus características, en el apartado tercero de la presente memoria de cálculo, nuestra lente tendrá una distancia focal de 50 mm, y estará situada a 40 mm sobre nuestro material.

Por lo que es necesario el diseño de un sistema de cabezales que nos proporcione los requerimientos exigidos por nuestro sistema para su correcta operación.

A nivel aclaratorio, se presentarán distintos esquemas a lo largo del presente capítulo, indicar que son orientativos, y que para una mayor exactitud o de cara a realizar alguna consulta se recomienda acudir a los planos de este sistema de cabezales incluidos en el apartado planos del presente proyecto.

MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, detallaremos de forma esquemática en qué consiste el sistema de cabezales propuesto para nuestro sistema láser :



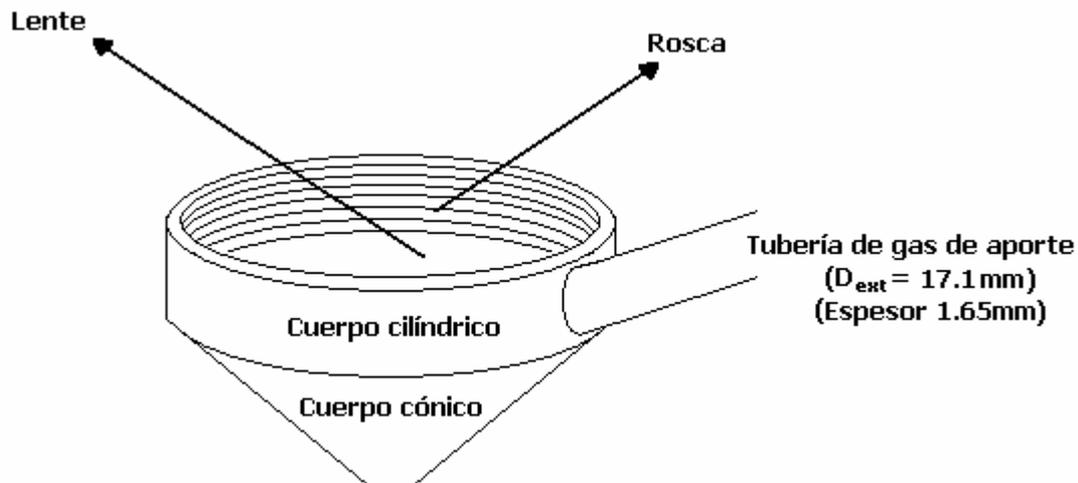
Debido a la alta frecuencia de movimiento de nuestro cabezal, hemos seleccionado una fibra óptica de cuyo diámetro exterior se corresponde a 5 mm, debido a al espesor de protección seleccionado con el fin de proteger nuestro filamento óptico de 150 μm .

Como podemos observar en el esquema anterior, nuestra estructura está compuesta por un cuerpo principal, común a todos los cabezales, en donde por su interior va la fibra óptica, y estando su sección inferior con una rosca interior, de forma que se pueda enroscar el cabezal adecuado a usar en un determinado momento.

Sin embargo, aún no procederemos a dimensionar dicha pieza de nuestro cabezal, ya que esta parte de la estructura ha de coincidir con la parte inferior de la misma, estando ésta última sometida a la presión interna del gas de aporte, por lo que a continuación diseñaremos la parte inferior, ya que será la que nos determine la estructura general de nuestro cabezal.

MEMORIA DE CÁLCULO

De la estructura inferior sabemos que estará sometida a una presión como máximo de 3.5 bar (debido a su conexión con el sistema de gas de aporte, ver el capítulo tercero de la presente Memoria de Cálculo) , y que está constituida por un cuerpo cilíndrico, en donde estará insertada la lente; y a su vez tendrá incorporada una conexión para el gas de aporte realizada con una conducción metálica, escogemos exactamente la misma que la calculada en el tramo BC del sistema de gas de aporte, puesto que las condiciones a cumplir son idénticas. Y también estará formada por un cuerpo cónico que ayudará a focalizar el flujo de gas de aporte sobre al material. De esta forma sabemos que :



Como ya sabemos, la luz láser necesita ser enfocada a través de una lente para concentrar su intensidad. Para ello se pueden utilizar dos tipos de lentes, "asféricas" o Axicon, o lentes esféricas. El proceso de fabricación de las lentes asféricas presenta un elevado coste, por lo que se comercializan de forma escasa y puntual. Sin embargo este tipo de lentes al contrario que las esféricas que enfocan un punto muy localizado, permiten enfocar la luz a lo largo de un determinado segmento del haz luminoso. En nuestro caso para la fibra de carbono, debido a la alta focalización requerida seleccionaremos una lente asférica; al comercializarse de forma puntual, es común realizar el pedido "por encargo", solicitando las características de nuestra lente en especial. De cara a los cálculos se ha comprobado que existe un modelo comercial válido

MEMORIA DE CÁLCULO

para nuestro láser, que presenta un diámetro muy reducido de entorno a 5 – 6 mm y que es capaz de soportar una presión de 3.5 bar. En el caso de lentes planas, no existe problema alguno, ya que son numerosas las existentes en el mercado, y al igual que en el caso anterior existe la opción de solicitar al fabricante la requerida por nuestro sistema.

En cuanto al diseño del cuerpo inferior de nuestro cabezal, el cuerpo exterior del mismo estará formado por una única pieza, con una sección cilíndrica y otra cónica, aquí recordaremos que la distancia entre la lente y la superficie del material debe ser de 40 mm.

A continuación detallaremos cada parte del cuerpo inferior, recordamos que dicho cuerpo será idéntico para los dos cabezales a diseñar, con la única diferencia de que la lente varía de uno a otro caso.

1. La parte cilíndrica, tendrá una altura de 50 mm, de su parte superior hasta unos 30 mm* presentará una rosca hembra en su interior. En los 20 mm inferiores no se presentará rosca, tan sólo existirá la conexión para el gas de aporte, siendo esta conexión un orificio de diámetro 13.8 mm, al que se le incorporará por soldadura una tubería normalizada de acero A515 grado 60 de 17.1 mm de diámetro exterior y con un espesor de 1.65 mm.
2. Seleccionaremos un disco enroscable (cuyo espesor mínimo determinaremos en el cálculo mecánico del cabezal como recipiente a presión) con un orificio de 4 mm en su centro geométrico y será enroscado hasta el final de la rosca que presenta la parte cilíndrica del cuerpo inferior, sobre él situaremos una junta de goma con un orificio de

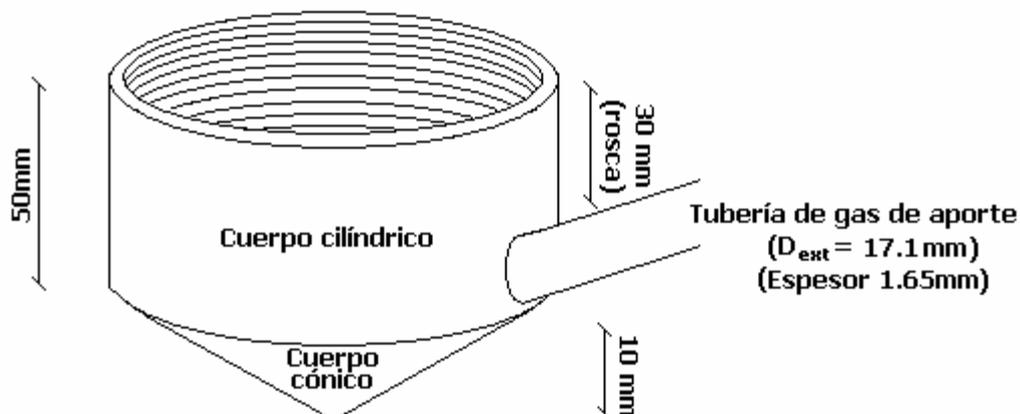
*Será una vez determinado el espesor que debe presentar las tapas de nuestro recipiente a presión cuando definamos exactamente la longitud de roscado de nuestras partes, de forma que ésta nos proporcione el posicionamiento correcto de nuestra lente a una distancia del material de 4 mm.

MEMORIA DE CÁLCULO

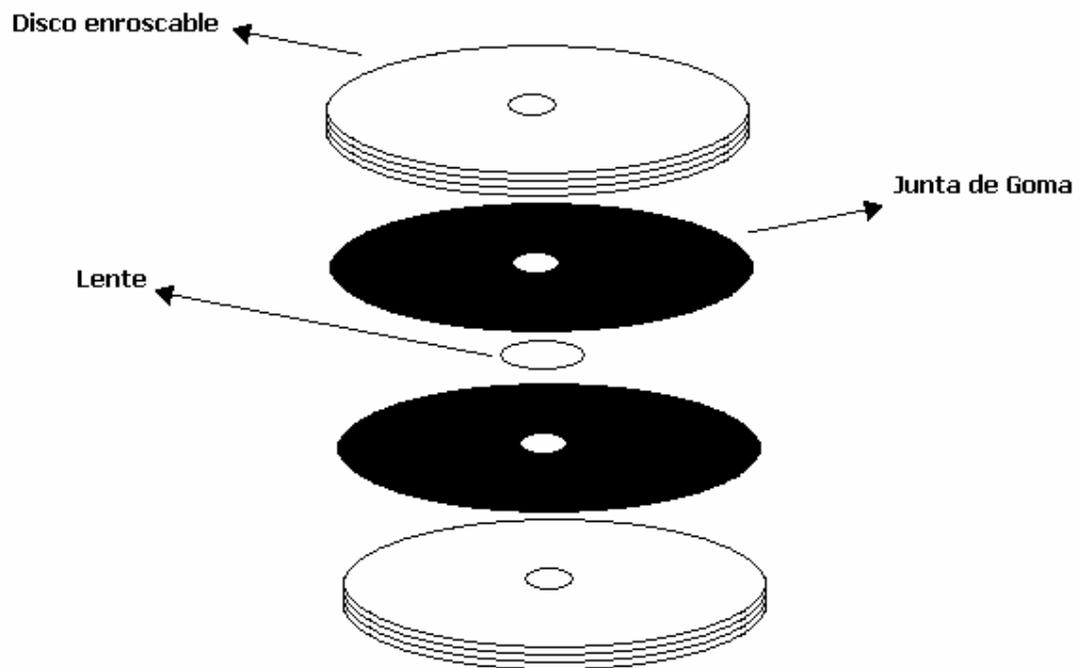
idénticas características con el fin de que sirva tanto como asentamiento de la lente, como de proporcionarnos estanqueidad de un segmento a otro del cabezal; sobre dicho disco de goma depositaremos la lente seleccionada en cada caso; posteriormente se coloca otra junta de goma sobre el conjunto anterior; procediendo a continuación a enroscar otro disco de idénticas características del primero hasta ajustar la lente y el conjunto de discos , junta y lente de una forma fija. Posteriormente se pasaría a enroscar el conjunto del cuerpo cilíndrico inferior al cuerpo común en donde se haya conectada la fibra óptica suministradora del haz láser.

3. La parte cónica del cuerpo inferior, tan sólo persigue la óptima focalización del gas de aporte sobre el punto de mecanizado, por lo que no ha de presentar ninguna característica especial, salvo la de resistir la presión interna estimada en 3.5 bar, debido a que la distancia existente entre lente y material debe ser de 40 mm, a esta sección se le dará una altura de tan sólo 10 mm; presentando en su base un orificio de 200 μm de diámetro.

De forma esquemática :



MEMORIA DE CÁLCULO



Una vez que tenemos definido de forma esquemática nuestro cabezal, pasaremos a realizar su dimensionamiento mecánico, tan solo nos falta definir el diámetro interior que ha de presentar nuestra sección cilíndrica, con el fin de llegado el momento facilitar el cambio de algún componente del cabezal (lente, junta de goma, etc..) escogeremos un diámetro de 10 cm (3.94"), de forma que el montaje y el desmonte del mismo pueda realizarse de forma manual sin precisar algún tipo de herramienta específica.

Por tanto ya podemos realizar diseño mecánico del cabezal en sí, de forma que al finalizar los cálculos hayamos determinado el espesor de las paredes y de los discos superiores, determinando así de forma definitiva la longitud de rosca que ha de presentar nuestras partes enroscables.

Al igual que en el caso del ciclón, para el cálculo del espesor mínimo de la parte inferior del cabezal sometido a 3.5 bar aplicaremos el código ASME Sección VIII Div.1^[2], referida a los recipientes a presión. Sólo que en este caso

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

MEMORIA DE CÁLCULO

nuestro recipiente tan sólo se haya sometido a presión interna y, por tanto, no habrá que realizar la comprobación a presión externa.

Por tanto seleccionaremos la expresión a usar de la tabla :

Fórmulas generales para recipientes

Parte	Fórmula del esfuerzo	Espesor, t		Presión, P		Esfuerzo, S	
		Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior	Diámetro interior	Diámetro exterior
Casco							
Longitudinal [Sección UG-27(c)(2)]*	$\sigma_x = \frac{PR_0}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE + .4P}$	$\frac{PR_o}{2SE + 1.4P}$	$\frac{2SEt}{R_i - .4t}$	$\frac{2SEt}{R_o - 1.4t}$	$\frac{P(R_i - .4t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - 1.4t)}{2Et}$
Circunferencial [Sección UG-27(c)(1); Sección 1-1 (a)(1)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_0}{t}$	$\frac{PR_i}{SE - .6P}$	$\frac{PR_o}{SE + .4P}$	$\frac{SEt}{R_i + .6t}$	$\frac{SEt}{R_o - .4t}$	$\frac{P(R_i + .6t)}{Et}$	$\frac{P(R_o - .4t)}{Et}$
Cabezales							
Semiesférico [Sección 1-1(a)(2); Sección UG-27(d)]*	$\sigma_x = \sigma_\theta = \frac{PR_0}{2t}$	$\frac{PR_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PR_o}{2SE + .6P}$	$\frac{2SEt}{R_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{R_o - .8t}$	$\frac{P(R_i + .2t)}{2Et}$	$\frac{P(R_o - .6t)}{2Et}$
Elipsoidal [Sección 1-4(e)]*	Véase PROCEDIMIENTO 2	$\frac{PD_i K}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o K}{2SE + 2P(K - .1)}$	$\frac{2SEt}{K D_i + .2t}$	$\frac{2SEt}{K D_o - 2t(K - .1)}$	Véase PROCEDIMIENTO 2	
2:1 SE [Sección UG-32d]*	"	$\frac{PD_i}{2SE - .2P}$	$\frac{PD_o}{2SE + 1.8P}$	$\frac{2SEt}{D_i + 2t}$	$\frac{2SEt}{D_o - 1.8t}$	"	
100% - 5% Torisférica [Sección UG-32(e)]*	"	$\frac{.885PL_i}{SE - .1P}$	$\frac{.885PL_o}{SE + .8P}$	$\frac{SEt}{.885L_i + .1t}$	$\frac{SEt}{.885L_o - .8t}$	"	
Torisférica $L_i < 16.6t$ [Sección 1-4(d)]*	"	$\frac{PL_i M}{2SE - .2P}$	$\frac{PL_o M}{2SE + P(M - .2)}$	$\frac{2SEt}{LM + .2t}$	$\frac{2SEt}{L_o M - t(M - .2)}$	"	
Cono							
Longitudinal	$\sigma_x = \frac{PR_0}{2t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{4 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{PD_o}{4 \cos \alpha (SE + 1.4P)}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_i - .8t \cos \alpha}$	$\frac{4SEt \cos \alpha}{D_o - 2.8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i - .8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - 2.8t \cos \alpha)}{4Et \cos \alpha}$
Circunferencial [Sección 1-4(a); Sección UG-32(g)]*	$\sigma_\theta = \frac{PR_0}{t \cos \alpha}$	$\frac{PD_i}{2 \cos \alpha (SE - .6P)}$	$\frac{PD_o}{2 \cos \alpha (SE + .4P)}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_i + 1.2t \cos \alpha}$	$\frac{2SEt \cos \alpha}{D_o - .8t \cos \alpha}$	$\frac{P(D_i + 1.2t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$	$\frac{P(D_o - .8t \cos \alpha)}{2Et \cos \alpha}$

* ASME Boiler and Pressure Vessel Code, sección VII, división 1, edición de 1963, American Society of Mechanical Engineers.

Siendo la expresión a aplicar :

$$t = \frac{P \cdot R_0}{SE - 0.6 \cdot P}$$

El material a emplear en este caso es un acero inoxidable ASTM A 351 gr. CF8M, que presenta una S de 24000 psi, tal como vimos en el cálculo del sistema de aporte de Argón el factor E viene dado según la soldadura realizada, siendo nuestro valor a emplear de 0.85. El radio se corresponde al interior en pulgadas (1.97") (La presión vendrá expresada en psi, pero se corresponde a la presión de diseño (un 10% a la de operación) :

$$P_{diseño} = P_{operación} \cdot 1.1 = 3.85 \text{ bar} = 55.9 \text{ psi}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Sustituyendo, obtenemos que :

$$t = \frac{P \cdot R_0}{SE - 0.6 \cdot P} = \frac{55.9 \cdot 1.97}{24000 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 55.9} = 0.0044'' = 0.14 \text{ mm}$$

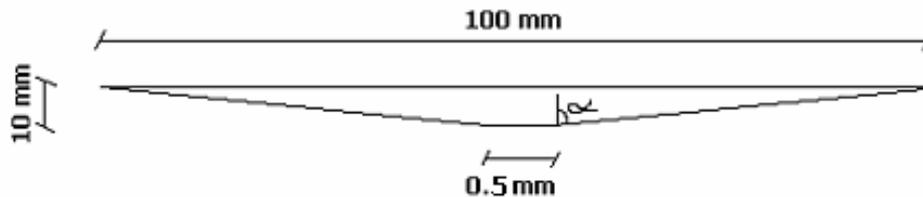
Siendo éste el valor obtenido del espesor por presión interna para nuestro cuerpo cilíndrico; sin embargo, tal y como marca el código ASME Seccion VIII Div. 1, debemos aplicar el criterio de espesor mínimo de pared, según el cual escogeremos el mayor de los siguientes valores, indicar previamente que para el material seleccionado se le debe añadir un sobreespesor de corrosión comprendido entre 1.5-3 mm, nosotros seleccionaremos 2 mm al no ser nuestro ambiente especialmente corrosivo, obteniéndose los siguientes resultados :

$$\left. \begin{aligned} t_{\min} &= 2.5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = 2.5 + 2 = 4.5 \text{ mm} \\ t_{\min} &= \frac{D_o}{1000} + 2.54 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} = \frac{50}{1000} + 2.54 + 2 = 4.59 \text{ mm} \\ t_{\min} &= 5 + t_{\text{corrosión}} \text{ (mm)} \text{ (para aceros al carbono)} = 5 + 2 = 7 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \text{ NO ES APLICABLE}$$
$$t_{\min} = 3 \text{ (mm)} \text{ (para aceros inoxidables y mat. sin corrosión)}$$

Resultando un espesor de 3mm para nuestra carcasa cilíndrica. A su vez, el cabezal de dicho recipiente, que se corresponde con nuestro disco enroscable, presentará el mismo espesor; ya que en la práctica, para este tipo de tapas (tapas planas) se le añade un % al espesor calculado según la expresión inicial, pero como el criterio mínimo da como resultado un sobreespesor de tal magnitud respecto al calculado, se tomará tal cual.

MEMORIA DE CÁLCULO

Falta el diseño mecánico de la sección cónica, para ello operaremos de igual forma que en el cálculo del ciclón para su fondo cónico, las dimensiones de dicha sección de forma esquemática son :



De donde podemos obtener el valor de $\alpha = 78.7^\circ$.

Por lo que podemos aplicar ya la expresión indicada por ASME para estos casos:

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (SE - 0.6 \cdot P)} = \frac{55.9 \cdot 1.97}{2 \cdot \cos 78.7 \cdot (24000 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 55.9)} = 0.0137'' = 0.35 \text{ mm}$$

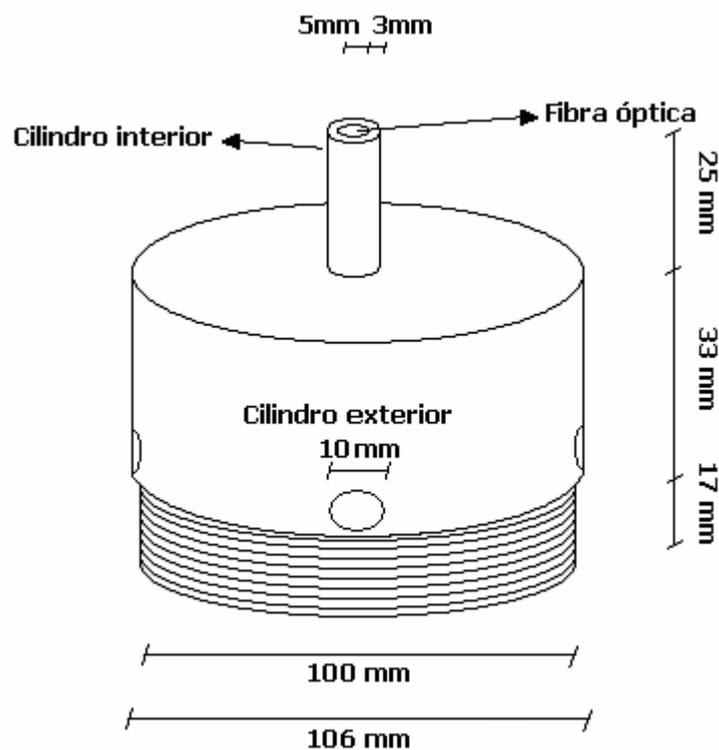
Tal y como era predecible, el espesor requerido por nuestro sistema es mucho menor que el impuesto por el criterio mínimo de 3 mm, por lo que será este último el valor que asignemos.

Por tanto una vez obtenido los espesores, de los distintos componentes de nuestro cabezal pasaremos a diseñarlos definitivamente :

1. Cilindro superior del cabezal, realizado en acero inoxidable ASTM A 351 gr. CF8M, con un espesor de 3 mm, para que así, el ajuste del conjunto cabezal superior – inferior sea lo mas perfecto posible.
 - a. Cilindro interior, situado en el eje del mayor, y con un diámetro interno de 5 mm por el que pasará la fibra óptica (evitando así que ésta vibre con el movimiento del cabezal) que permanecerá unido gracias a abrazaderas en su parte superior.

MEMORIA DE CÁLCULO

- b. Cilindro externo, que presentará dos secciones distintas: una con una rosca de 17 mm de extensión, ya que la rosca interior de los cabezales intercambiables es de 25 mm, restándole a esta rosca la ocupada por los discos y las juntas nos queda en 17 mm de rosca libre, de ahí su elección (así evitaremos un apriete excesivo de las partes al impedirlo el saliente del cabezal superior); y una segunda parte lisa de 106 mm de exterior, para el acople perfecto entre el cabezal superior e inferior, presentado a su vez cuatro orificios de 10 mm de diámetro para evitar así el sobrecalentamiento del aire en el interior distribuidos de forma equidistante. (Ver esquema adjunto).



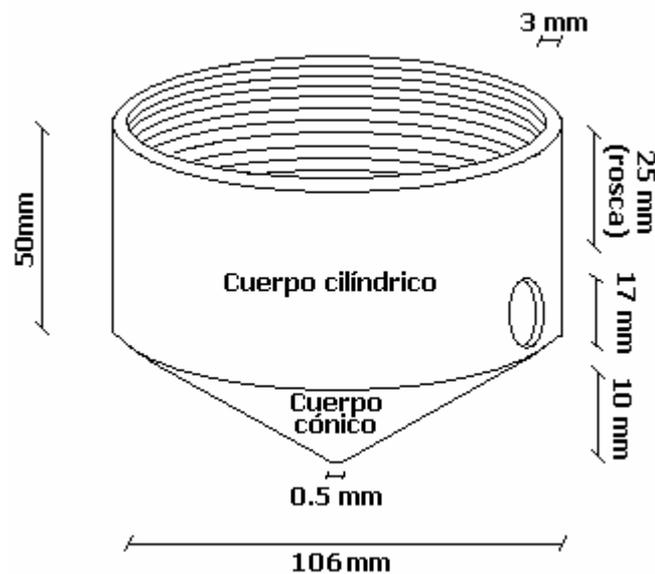
2. Cabezal inferior, se realizarán dos idénticos, donde lo único que variarán será en la lente que alberguen en su seno; a su vez lo dividiremos en:

- a. Cilindro superior: realizado en acero inoxidable ASTM A 351 gr. CF8M de 3 mm de espesor, que presenta una rosca hembra de

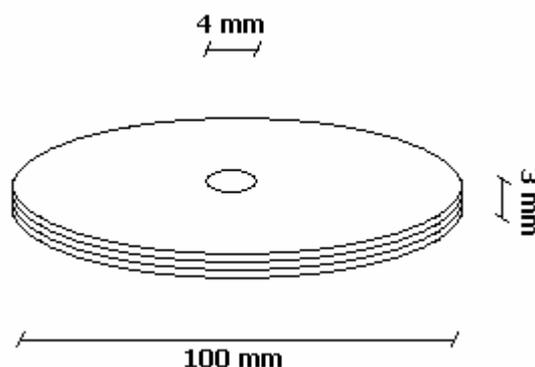
MEMORIA DE CÁLCULO

2.5 mm de longitud; y un orificio en su zona lisa de 17 mm de diámetro en el que se conectara el gas de aporte.

- b. Fondo cónico : presenta las mismas características que las partes anteriores, idéntico material y espesor. Destacar la presencia de una abertura en la base del cono de 500 μm de diámetro para el paso del haz láser y la salida del gas de aporte.



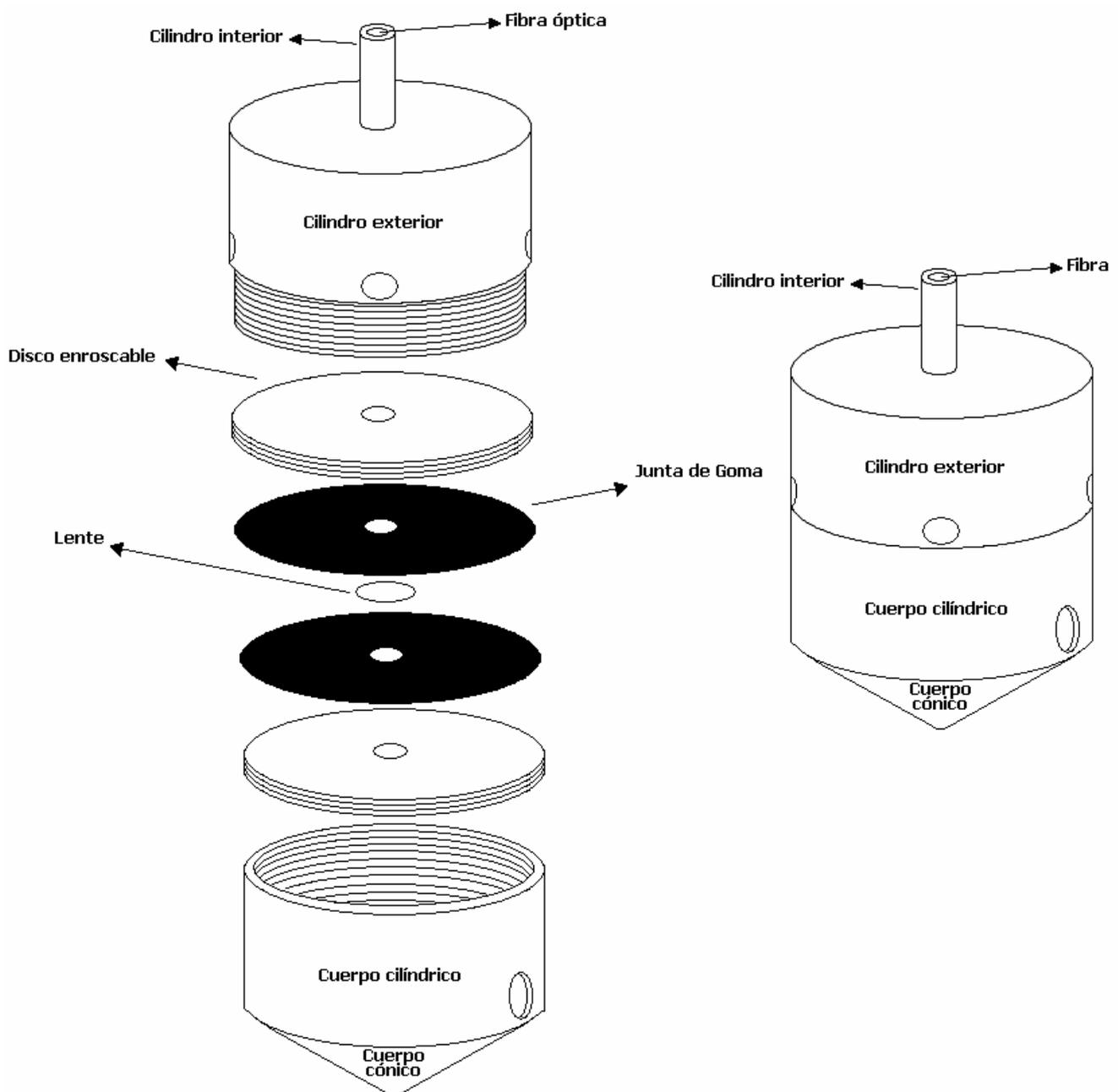
- c. Discos enroscables : tendrán 10 mm de diámetro, serán también de 3 mm de espesor, y de idéntico material que el resto de la estructura, en sus bordes presentarán una rosca macho. En su parte central presentarán un orificio de 4 mm de diámetro para el paso del haz láser.



NOTA : en caso de duda en algún esquema ver el plano correspondiente en el apartado planos del presente proyecto.

MEMORIA DE CÁLCULO

La rosca de nuestro cabezal será fina, con un paso de 1.25 mm, debemos tener en cuenta que la longitud efectiva de roscado es el sumatorio de los discos enroscables más la del cabezal superior (21 mm), dando como resultado un longitud de rosca superior a la mínima recomendada para nuestras condiciones de trabajo ($0.5'' = 12.7 \text{ mm}$)^{[4][5]}. Quedando por tanto el ensamblaje final de nuestro cabezal de la siguiente forma :



4.3.- Cálculo de la refrigeración de la lente

Como se indicó en el apartado de cálculo de la potencia láser, el coeficiente de absorción de la lente es de un 0.1%, siendo por tanto el flujo de potencia que absorbe de 1W; a su vez supondremos que todo el medio sólido que rodea a la lente es aislante (recordemos que se trata de una junta de goma, siendo por tanto dicha consideración apropiada).

A continuación, calcularemos la temperatura que alcanza nuestra lente en estado estacionario, siendo esta temperatura aquella en la que el calor cedido sea igual al absorbido por la lente (1W). En dichos cálculos a su vez hemos de tener en cuenta tanto el calor disipado por convección como por radiación, y que ambos mecanismos ocurren a través de las dos caras de la lente, expresado de forma matemática :

$$Q_{dis} = H_c \cdot 2 \cdot A \cdot (T - T_{fluido}) + \sigma \cdot T^4 \cdot 2 \cdot A$$

Siendo los términos, A el área de la lente donde se produce el mecanismo de calor (se ha tomado la abertura existente en los discos enroscables y el las juntas de goma) y Hc el coeficiente de convección, se ha considerado convección natural, aunque en una de las caras sería forzada (sistema de aporte de Ar) , por lo que la temperatura de equilibrio sería aún menor que la calculada.

$$1 = 15 \cdot \pi \cdot 2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (T - 298.15) + 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \cdot \pi \cdot 2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2$$

$$T \approx 850 \text{ K} = 577 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura máxima de trabajo para este tipo de lentes sin perder propiedades mecánicas y ópticas se encuentra entorno a los 750 °C, por lo que comprobamos que no existe riesgo de sobrecalentamiento de la lente; únicamente habrá que seleccionar una junta de goma que resista la temperatura máxima alcanzable en nuestro sistema.

4.4.-Velocidad de salida del gas de aporte del cabezal

El caudal del gas de aporte es de $4.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (Ver capítulo 3 de la presente Memoria de Cálculo) en nuestras condiciones de operación, por lo que podemos determinar la velocidad que presentará dicho gas a la salida de nuestro cabezal, sabiendo que el orificio de salida presentará un diámetro de $500 \text{ }\mu\text{m}$, de la forma :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4.02 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^{-4}}{2}\right)^2} = 20.5 \text{ m/s}$$

Como podemos comprobar es una velocidad realmente alta, que nos asegura el arrastre, por parte de dicho gas, de la materia vaporizada durante el proceso , ayudándola a retirarla y evitando así que se produzca el colapso del material en la zona mecanizada.

4.5.- Bibliografía

- [1] www.rofin.es, Rofin Baasel España S.L. perteneciente al grupo Rofin. (consulta realizada a fecha de 30/09/2006)
- [2] Código ASME Sección VIII Div 1. July 1, 2004 Edition.
- [3] Catálogo lentes esféricas Panasonic. 2004.
- [4] Unions cargolades. Josep Fenollosa i Coral, Departament d'Enginyeria mecànica ETSEIB-UPC
- [5] SHIGLEY J, Mitchell L. Manual de Diseño Mecánico, McGraw-Hill. 1989

PLIEGO DE CONDICIONES

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

ÍNDICE :

<u>PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....</u>	6
1.-DISPOSICIONES GENERALES.....	7
1.1-Objeto del Pliego.....	7
1.2.-Cuerpo Normativo.....	7
1.3.-Documentos que definen el proyecto.....	8
1.4.-Compatibilidad y relación entre dichos documentos.....	8
2.-PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS.....	9
2.1.-Adjudicación y Contrato.....	9
2.1.1.-Salida a Concurso.....	9
2.1.2.-Retirada de la documentación del concurso.....	9
2.1.3.-Condiciones legales que ha de reunir el contratista para poder ofertar.....	10
2.1.4.-Formalización de las ofertas.....	11
2.1.5.- Irregularidades en las presentaciones de las ofertas..	13
2.1.6.-Garantía de mantenimiento de la oferta.....	13
2.1.7.-Validez de las ofertas.....	15
2.1.8.-Aclaraciones a los licitadores y su alcance.....	15
2.1.9.-Documentación provisional y definitiva.....	16
2.1.10.-Adjudicación del concurso y devolución de documentación.....	16

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.11.-Contrato.....	18
2.1.12.-Documentación del contrato y su formalización.....	19
2.1.13.-Incomparecencia del contratista.....	19
2.1.14.-Gastos e impuestos derivados del contrato.....	20
2.1.15.-Fianzas definitiva y fondo de garantía.....	20
2.1.16.- Cesión del contrato.....	21
2.1.17.-Asociación de contratistas.....	22
2.1.18.-Subcontratistas.....	23
2.1.19.-Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas.....	24
2.1.20.-Domicilios y representantes.....	25
2.2.-Obligaciones del contratista.....	26
2.2.1.-Condiciones técnicas.....	26
2.2.2.-Obligaciones contables.....	26
2.2.3.-Técnico encargado de los trabajos por parte del contratista.....	26
2.2.4.-Marcha de los trabajos.....	27
2.2.5.-Personal.....	27
2.2.6.-Sustitución del personal.....	27
2.2.7.-Precauciones a adoptar durante la construcción.....	28
2.2.8.-Responsabilidad del contratista.....	29
2.2.9.-Desperfectos en propiedades colindantes.....	30
2.2.10.-Seguros y coberturas.....	30

PLIEGO DE CONDICIONES

2.2.11.-Obligaciones no especificadas.....	32
2.2.12.-Documentos que puede reclamar el contratista.....	32
2.3.-Facultades de la dirección Técnica.....	33
2.3.1.-Dirección de la Instalación.....	33
2.3.2.-Interpretación de los documentos de proyecto.....	34
2.3.3.-Aceptación de materiales.....	35
2.3.4.-Mala ejecución.....	35
2.3.5.-Reformas en el proyecto.....	35
2.4.-Disposiciones Varias.....	36
2.4.1.-Inicio de la Instalación.....	36
2.4.2.-Libro de Ordenes, Asistencia e Incidencias.....	36
2.4.3.-Modificaciones en las unidades de Obra.....	37
2.4.4.-Controles de la Instalación : Pruebas y ensayos.....	37
2.4.5.-Correspondencia oficial.....	37
2.4.6.-Accesos a la instalación.....	38
2.4.7.-Gastos de instalación.....	38
3.-PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS.....	39
3.1.-Medición y Abono de los trabajos.....	39
3.1.1.- Condiciones Generales de Valoración.....	39
3.1.2.- Valoración unidades no expresadas en este Pliego....	42
3.1.3.- Equivocaciones en el presupuesto.....	42
3.2.-Valoraciones.....	42

PLIEGO DE CONDICIONES

3.2.1.-Valoraciones.....	42
3.2.2.-Valoración de los trabajos no incluidos ó incompletos.	43
3.2.3.-Precios Contradictorios.....	44
3.2.4.-Rotaciones Valoradas.....	44
3.2.5.-Trabajos que se abonarán al contratista.....	44
3.2.6.-Abono de las Partidas Alzadas.....	46
4.-PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES.....	47
4.1.-Recepción de la instalación.....	47
4.1.1-Recepción de la instalación.....	47
4.1.2.-Plazo de Garantía.....	47
4.1.3.-Pruebas para la recepción.....	48
4.2.-Cargos al Contratista.....	49
4.2.1.-Planos de las instalaciones.....	49
4.2.2.-Autorizaciones y Licencias.....	49
4.2.3.-Conservación durante el Plazo de Garantía.....	49
4.3.-Disposiciones Varias.....	50
4.3.1.-Normas de Aplicación.....	50
4.3.2.-Suspensión de los trabajos.....	50
4.3.3.-Prórroga de los trabajos.....	51
4.3.4.-Rescisión del contrato.....	51
4.3.5.-Personal de instalación.....	52

<u>PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS</u>	53
1.-DISPOSICIONES GENERALES DE OBLIGADO	
CUMPLIMIENTO	54
2-CONDICIONES GENERALES	57
2.1.-Calidad de los Materiales.....	57
2.2.-Pruebas y Ensayos de Materiales.....	59
2.3.-Materiales no consignados en el proyecto.....	60
2.4.-Condiciones Generales de Ejecución.....	60
2.5.-Tareas a realizar sobre Componentes del Sistema.....	60
2.6.-Realización de las Tareas.....	63
2.7.-Plazos de Ejecución.....	63
3.-CONTROL DE CALIDAD	64
4.-MATERIALES Y UNIDADES DE OBRA NO	
ESPECIFICADAS	65
5.-CUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS	65
6.-PLAN DE INSTALACIÓN Y RELACIÓN DE MAQUINARIA .	66
6.1.-Materiales en Depósito.....	66
6.2.-Maquinaria y Medios Auxiliares.....	66
7.-MANUALES DE MANTENIMIENTO Y PLANOS	
"AS-BUILT"	67

PLIEGO DE CONDICIONES

GENERALES

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

1.- DISPOSICIONES GENERALES

1.1.- Objeto del Pliego

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por objeto la ordenación con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos recogidos en el presente proyecto : "Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)".

El Contratista Adjudicatario se compromete a aceptar íntegramente la totalidad de las indicaciones y cláusulas recogidas en el presente Pliego de Condiciones Generales, exceptuándose aquellas que sean puntualmente anuladas o reformadas de forma expresa en el Pliego de Condiciones Técnicas.

1.2.- Cuerpo Normativo

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de los trabajos objeto del presente proyecto será el formado por toda la LEGISLACIÓN DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO que le sea de aplicación en la fecha de la forma del Contrato de adjudicación de la instalación. Si entre la normativa de aplicación existiesen discrepancias, se aplicarán las más restrictivas, salvo que por parte de la Dirección Facultativa se manifieste por escrito lo contrario en el Libro de Órdenes.

Si entre la normativa de aplicación existiese contradicción será la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el Libro de Órdenes.

PLIEGO DE CONDICIONES

Será responsabilidad del Contratista, cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si ésta no está firmada en el Libro de Órdenes por la Dirección Facultativa y por tanto estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que debe tomar la Dirección Facultativa para corregir la situación creada.

1.3.- Documentos que definen el proyecto

El presente pliego, conjuntamente con los otros documentos, Memoria, Planos y Estado de Mediciones y Presupuesto, forman el proyecto que servirá de base para la ejecución de los trabajos. Los planos constituyen los documentos que definen la instalación en forma geométrica y cuantitativa.

1.4.- Compatibilidad y relación entre dichos documentos

Lo mencionado en los Pliegos de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y los Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en estos últimos.

Las omisiones en Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de instalación que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o la intención expuestos en los Planos y Pliego de Condiciones, o que, por uso y costumbre, deben ser realizados, no sólo no eximen al contratista de la obligación de ejecutar esos detalles del trabajo omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones sin que suponga variación en el presupuesto de la unidad o el capítulo.

2.- PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

2.1.-Adjudicación y Contrato

2.1.1.-Salida a Concurso

La licitación de la instalación será realizada a través de un Concurso Restringido, en donde el promotor convocará a las Empresas Contratistas que considere oportunas.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección que indique el Promotor.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la Documentación Técnica enviada.

2.1.2.- Retirada de Documentación del Concurso

Los Contratistas, a través de sus representantes o por ellos mismos, tendrán derecho a la retirada de dicha documentación de las oficinas del Promotor cuando ésta no les hubiese sido enviada previamente.

El Promotor se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación un depósito, que será reintegrado en su totalidad a los Contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de los trabajos, previa devolución de dicha documentación.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.3.- Condiciones legales que ha de reunir el contratista para poder ofertar

2.1.3.1.- Capacidad para concurrir

Han de ser personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de capacidad jurídica y de obrar. No obstante, serán de aplicación a las Empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el Gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de esta instalación.

2.1.3.2.- Documentación justificativa para la admisión previa

2.1.3.2.1.- Documento oficial o testimonio notarial del mismo que acredite la personalidad del solicitante.

2.1.3.2.2.- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.

2.1.3.2.3.- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el apartado 2.6 del Pliego de Condiciones Generales

2.1.3.2.4.- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente en el pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o de Licencia Fiscal, (o compromiso, en su caso, de su matriculación en éste, si resultase adjudicatario de los trabajos).

2.1.3.2.5.- Documento oficial acreditativo de hallarse al corriente del pago de las cuotas de la Seguridad Social y, concretamente, el de cobertura de riesgo de accidentes de trabajo.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.4.-Formalización de las ofertas

Las Empresas que oferten en el Concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

2.1.4.1.- Cuadro de Precios nº1, consignando en letras y cifras los precios unitarios asignados a cada tarea cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deberán incluir el porcentaje de Gastos Generales, de Beneficio Industrial y el IVA que serán facturados de forma independiente. En caso de la existencia de discrepancias entre los precios unitarios de los Cuadros de Precios Números 1 y 2, prevalecerá lo marcado según el primero de ellos. En caso de no coincidir las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la expresada en letra.

2.1.4.2.- Cuadro de Precios nº2, en el que se especificará el desglose de la forma siguiente:

2.1.4.2.1.- Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por peso y kilómetro.

2.1.4.2.2.- Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.

2.1.4.2.3.- Mano de obra por categorías, expresando el número de horas invertido por categoría y precio de la hora.

2.1.4.2.4.- Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.

2.1.4.2.5.- Porcentajes de Gastos Generales, Beneficios Industrial e IVA

2.1.4.2.6.- Varios y resto de tareas que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.

2.1.4.3.- Presupuesto de ejecución Material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del Proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el Presupuesto y los del Cuadro de Precios nº1, obligarán los de este último.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.4.4.- Relación del personal técnico adscrito a la ejecución y organigrama general del mismo durante el desarrollo de las tareas

2.1.4.5.- Presupuesto Total, obtenido al incrementar el Presupuesto de ejecución Material en sus dos apartados con el porcentaje referente de IVA.

2.1.4.6.- Relación de maquinaria adscrita a los trabajos, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general; asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la instalación en caso de resultar adjudicatario. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por el Promotor. Deberá incluirse asimismo un plan de permanencia de toda la maquinaria en trabajo.

2.1.4.7.- Baremo de horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios horarios incluirán el % de Gastos Generales y Beneficio Industrial y el I.V.A. que facturarán independientemente.

2.1.4.8.- Plan de instalación detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo las distintos trabajos a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.

2.1.4.9.- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán venir firmadas por el representante legal o apoderado del ofertante; quien, a petición del Promotor, deberá probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

2.1.4.10.- Además de la documentación reseñada anteriormente y que el Contratista deberá presentar con carácter obligatorio, el Promotor podrá exigir en cada caso, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de tareas ejecutadas, balances de la sociedad, etc.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.5.- Irregularidades en las presentaciones de las ofertas

Se dejará la constancia oportuna en caso de que durante el acto de apertura de las ofertas, se observara la no inclusión en los mismos, o el no cumplimiento en forma integral de cualquiera de los requisitos establecidos. Los licitadores que hayan podido incurrir en tal situación, deberán cumplimentar la entrega de la documentación omitida u observada (siempre que dicha irregularidad no constituya una causa taxativa de rechazo de la oferta), dentro de los tres (3) días naturales siguientes a la clausura del acto. El incumplimiento de este requisito en el plazo establecido, será causa de desestimación de la oferta que incurra en tal situación, no teniéndosela en cuenta a los efectos de la adjudicación.

2.1.6.-Garantía de mantenimiento de la oferta

Cada licitador presentará una Garantía, con el fin de afianzar el mantenimiento de la oferta; para que sea válida la garantía tendrá vigencia y validez durante 60 días. La garantía será constituida a favor del Promotor, en cualquiera de las siguientes formas:

2.1.6.1.- Dinero en efectivo, mediante un depósito en euros en la cuenta que oportunamente indique el Promotor, o mediante la entrega de un certificado de depósito a plazo fijo a sesenta (60) días renovables automáticamente, extendido a nombre del Promotor. Los intereses sobre la garantía constituida, en este caso, formarán parte de la misma.

2.1.6.2.- Fianza bancaria de entidad autorizada por el Banco Central de España, pagadera incondicionalmente al primer requerimiento del Promotor, mediante el correspondiente documento afianzando al licitador, emitido en carácter de fiador liso y llano y principal pagador con renuncia a los beneficios de división y exclusión y a toda interpelación previa al deudor principal.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.6.3.- Póliza de seguro, extendida por entidad aseguradora de reconocida solvencia.

En el caso de las formas previstas en dos últimos puntos, el texto de la fianza o del seguro debe indicar la identificación del presente concurso, el beneficiario del seguro (Promotor) y el plazo de duración, el que en ningún caso será inferior al período de sesenta (60) días.

Sin perjuicio de lo anterior, la fianza y/o el seguro se deberán cumplimentar en las condiciones especificadas, incorporando a tal fin en el texto de la póliza, la formula expresada en el citado dispositivo normativo. Las garantías de mantenimiento de oferta deberán ser otorgadas a entera satisfacción del Promotor, que deberá prestar conformidad con el texto, con los documentos que las instrumenten y con las instituciones y personas que las otorguen.

El Promotor queda facultado para solicitar la sustitución o modificación de la garantía, inclusive para rechazar al fiador o asegurador presentado en el caso de que éstas no hayan sido presentadas o constituidas a satisfacción (siempre que no se trate de deficiencias insalvables y que constituyan causal de rechazo de la oferta). En caso de producirse tal supuesto, y a simple requerimiento del Promotor, el licitador deberá presentar una nueva garantía, dentro del término de cuarenta y ocho (48) horas.

La garantía de mantenimiento de oferta del licitador que no resulte adjudicatario, será devuelta a partir de los siete (7) días posteriores a la notificación de aprobación del contrato, previa presentación de una solicitud por escrito en tal sentido por parte del interesado.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.7.-Validez de las ofertas

Ninguna oferta que sea presentada fuera del plazo señalado en la carta de invitación, o anuncio respectivo, o que no conste de todos los documentos que se señalan en el apartado de Presentación de las Ofertas será válida

Es de obligado cumplimiento la validez de las ofertas durante un periodo mínimo de 60 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo que en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

2.1.8.-Aclaraciones a los licitadores y su alcance

La totalidad de las aclaraciones emitidas en el presente apartado, pasarán a formar parte integrante del pliego. No se admitirán reclamos o acciones de índole alguna fundadas en falta de información.

Antes de transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del Concurso, los Contratistas participantes podrán solicitar por escrito al Promotor las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los Planos, Pliegos de Condiciones o en otros documentos de Concurso, o si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

El Promotor estudiará las peticiones de aclaración e información recibidas y las contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores. Si la importancia de la consulta así lo aconsejara, el Promotor podrá prorrogar el plazo de presentación de ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.9.-Documentación provisional y definitiva

El Promotor, podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, dicha documentación no será válida para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter informativo y servirán para formar ideas de los elementos que componen los trabajos, así como para obtener las mediciones aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta. Este carácter de documentación de información se hará constar expresamente y en ningún caso estos documentos podrán utilizarse para la ejecución de ninguna parte de las tareas.

La documentación definitiva será entregada al Contratista con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

2.1.10.-Adjudicación del concurso y devolución de documentación

El Promotor tiene la facultad de adjudicar el Concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o incluso también tiene el derecho de declarar desierto el concurso, en caso de que ninguna de las propuestas se ajuste a los objetivos marcados. En este último caso, el Promotor puede suspender definitivamente la licitación de la instalación o puede llegar a abrir un nuevo concurso, introduciendo las modificaciones que estime oportunas.

Una vez concluido el plazo indicado en el artículo 9 desde la fecha límite de presentación de oferta, sin que el Promotor haya comunicado la resolución del concurso, los licitadores que lo deseen pueden proceder a retirar sus ofertas, así como las fianzas depositadas como garantía de las mismas.

PLIEGO DE CONDICIONES

La elección del adjudicatario de la instalación por parte del Promotor es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas ofertantes. El Promotor comunicará al ofertante seleccionado la adjudicación de los trabajos mediante una carta de intención.

En el plazo máximo de 21 días naturales a partir de la fecha de esta carta, el Contratista a simple requerimiento del Promotor se prestará a formalizar en contrato definitivo. En tanto no se firme éste y se constituya la fianza definitiva, el Promotor, retendrá la fianza provisional depositada por el Contratista.

En cuanto a la documentación entregada por el Promotor a los concursantes (Planos, Pliegos de Condiciones y demás documentación) deberá ser devuelta tras resolverse la adjudicación del concurso, excepto por lo que respecta al ofertante seleccionado, que deberá conservarla sin poder reclamar aún la garantía abonada por dicha documentación.

El plazo para devolver la documentación será de 15 días naturales, a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas de donde fue retirada.

El Promotor devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 15 días naturales, a partir de haberse producido la petición de los concursantes no adjudicatarios de dicha documentación. En caso de no haberse producido dicha petición en un plazo de 45 días naturales tras resolverse el concurso, el promotor estará libre de devolver dicha documentación a los ofertantes, aunque estará obligado a tratarla como una documentación de carácter confidencial.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.11.-Contrato

Según dispuesto en el apartado anterior, el Contratista seleccionado, dentro de los veintiún (21) días siguientes a la comunicación de la adjudicación y a requerimiento del Promotor, depositará la fianza definitiva y formalizará el Contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

El Contrato, inicialmente tendrá carácter de documento confidencial, pudiendo ser posteriormente considerado público, a instancias de una de las partes, y siempre y cuando la otra no sea contraria a dicho acto. En este caso los gastos que ello origine serán a cuenta de la parte que inste a dicho acto, en caso de que sean ambas partes a la vez, serán repartidos los gastos que se originen a partes iguales.

Una vez firmado el Contrato y depositada la fianza definitiva, el Promotor procederá, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

Cuando por causas imputables al Contratista, no se pudiera formalizar el Contrato en el plazo previsto, el Promotor podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

A efectos de los plazos de ejecución de las tareas, se considerará como fecha de comienzo de las mismas la de la orden de comienzo de los trabajos. Esta orden se comunicará al Contratista en un plazo no superior a 60 días a partir de la fecha de la firma del Contrato.

El Contrato, será firmado por parte del Contratista, ó por su representante legal o fiscal, quien deberá poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder notarial.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.12.-Documentación del contrato y su formalización

Una vez resuelta la adjudicación y habiendo sido debidamente informado, el Contratista Adjudicatario deberá comparecer ante el promotor dentro de los cinco (5) días naturales, para suscribir el pertinente contrato, sin opción a prórroga. El contrato estará formado como mínimo por los siguientes documentos :

- ❑ El contrato firmado por las partes.
- ❑ El pliego de condiciones.
- ❑ Las aclaraciones emitidas por el Promotor durante la fase del Concurso.
- ❑ La resolución de adjudicación.
- ❑ La oferta adjudicada.

El contrato será aprobado mediante resolución del Promotor, adquiriendo plena validez y eficacia jurídica a partir de su notificación fehaciente al Contratista Adjudicatario, sin perjuicio de la fecha de comienzo efectivo de las prestaciones.

2.1.13.-Incomparecencia del contratista

Si el Contratista Adjudicatario no compareciera a suscribir el contrato, o no aportara la fianza definitiva del mismo, o no cumpliera con las demás obligaciones exigidas dentro del plazo establecido, se dejará sin efecto la adjudicación, notificándose por escrito a todos los licitadores, y se ejecutará automáticamente la garantía de mantenimiento de oferta. El promotor podrá emitir una nueva resolución de adjudicación, haciendo recaer la misma en la oferta que hubiese quedado en segundo lugar en orden de mérito. Si el Promotor desistiera de suscribir el contrato, tal situación no creará derecho alguno a favor del Contratista Adjudicatario.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.14.-Gastos e impuestos derivados del contrato

Los gastos de cualquier orden, incluyéndose en éstos los impuestos, que por disposición de la ley ó reglamentación vigente se deriven del contrato a la fecha de su suscripción, serán por cuenta del Contratista con excepción del IVA, que será abonado por parte del promotor.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

2.1.15.-Fianzas definitiva y fondo de garantía

A tenor de lo dispuesto en el apartado 2.1.11, a la firma del contrato, el Contratista deberá constituir la fianza definitiva, siendo ésta igual al 5% del Presupuesto Total de Adjudicación.

En cualquier caso, el Promotor se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, siempre y cuando haya sido indicado en las bases del concurso. La fianza se constituirá en efectivo o por Aval Bancario realizable a satisfacción del Promotor. En el caso de que el Aval Bancario sea prestado por varios Bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con el Promotor y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión. El modelo de Aval Bancario será facilitado por el Promotor debiendo ajustarse obligatoriamente el Contratista a dicho modelo. La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de los trabajos y será devuelta una vez finalizada. Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de los equipos y componentes, que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la fecha de la recepción provisional.

PLIEGO DE CONDICIONES

Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio del Promotor en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al Contratista.

Independientemente de esta fianza, el Promotor retendrá el 5% de las certificaciones semanales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía. Este fondo de garantía responderá de los defectos de ejecución o de la mala calidad de los materiales, suministrados por el Contratista, pudiendo el Promotor realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el Contratista no ejecutase por su cuenta y cargo dicha reparación.

Este fondo de garantía se devolverá, una vez deducidos los importes a que pudiese dar lugar el párrafo anterior, a la recepción final de la instalación.

2.1.16.- Cesión del contrato

No se admitirá la cesión total o parcial del contrato, ni la asociación por decisión unilateral del Contratista Adjudicatario con terceros, con posterioridad a la firma del contrato, bajo pena de rescindir el contrato, según corresponda, y en todos los casos con las consecuencias legales que ello implique.

Solamente podrá admitirse la cesión total del contrato, cuando concurren, a exclusivo criterio del Promotor, causas que lo justifiquen; debiendo en tales casos aprobarlo el mismo mediante resolución. Si el Promotor autorizase la cesión total del contrato, lo que en tal caso sería hasta completar el plazo contractual, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

2.1.16.1.- El cesionario deberá acreditar todos y cada uno de los requisitos exigidos al cedente, conforme a las disposiciones de la documentación contractual original.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.16.2.- Se suscribirá un convenio entre el Promotor y el cesionario, con el acuerdo del cedente, por el cual se transfieren todos los derechos y obligaciones emergentes del contrato, manteniendo plena validez todos los documentos del contrato original, incluidos el pliego y todas las modificaciones y condiciones eventualmente acordadas entre las partes con posterioridad a aquél.

2.1.16.3.- El cesionario deberá cumplimentar la presentación de todos los requisitos establecidos para los licitadores en el momento del llamado a concurso.

2.1.16.4.- El cesionario deberá constituir las garantías en idénticas condiciones y con iguales características a la garantía de cumplimiento del contrato, según lo especificado en el apartado 2.1.15.

2.1.16.5.- Subsistirá la responsabilidad solidaria del cedente por todas las obligaciones inherentes al contrato.

2.1.16.6.- El cedente, previo a la cesión, deberá abonar al Promotor un derecho que se denomina "Derecho de Cesión", el que será equivalente al cincuenta por ciento (50%) del valor de la fianza definitiva.

A fin de asegurar la homogeneidad, coherencia, correlación y unidad conceptual de las tareas a ejecutar por el contratista, no se admitirá, bajo ningún concepto, la cesión parcial del contrato.

2.1.17.-Asociación de contratistas

Si el proyecto se adjudicase en común a un grupo o asociación de contratistas, la responsabilidad será siempre conjunta y solidaria, en relación al compromiso contraído como grupo o asociación. Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante el Promotor. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante

PLIEGO DE CONDICIONES

el Promotor en nombre del grupo o asociación. La designación de representante, para que se considere válida, deberá ser aceptada y aprobada por el Promotor por escrito, pudiéndose posteriormente y a petición del la asociación de contratistas, sustituir al representante de dicha asociación en todos sus ámbitos siempre y cuando el promotor acceda a ello de forma explícita y por escrito.

2.1.18.-Subcontratistas

En caso de que el Contratista desee a su vez subcontratar parte de la instalación que le ha sido adjudicada, deberá proponer a la Dirección de la Instalación el nombre o razón social de la subcontrata para que el Ingeniero Director o persona en quién delegue, acepte o rechace al subcontratista propuesto, basándose en criterios técnicos y de idoneidad profesional para la realización de los trabajos subcontratados. En ningún caso podrá intervenir en los trabajos ninguna empresa distinta de la adjudicataria, sin el previo permiso por escrito de la Dirección de la Instalación. Deberá haber, en todo caso, un representante o delegado de cada una de las empresas subcontratistas, caso de haberlas, durante toda la ejecución de los trabajos.

Si bien la cadena de mando normal será de Dirección Facultativa a Contratista principal, y de éste a los subcontratistas, caso de haberlos, la Dirección Facultativa podrá dar órdenes directas a la empresa o empresas subcontratadas, en caso de haberlas, durante toda su intervención en los trabajos, a través de sus delegados o representantes, sin que ello suponga un perjuicio a que se puedan desarrollar las órdenes .

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.19.-Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas

El Contratista está obligado a suministrar, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, de la que el Promotor juzgue necesario tener conocimiento. Entre otras razones por la posible incidencia de los trabajos confiados al Contratista, sobre los de otros Contratistas y suministradores.

El Contratista debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que estos sean designados por el Promotor, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de los trabajos, y la seguridad de los trabajadores. Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

El Promotor deberá estar permanentemente informado de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para en el caso de presentarse dificultades o desavenencias, tomar la resolución que proceda, o designar el árbitro al que habrán que someterse las distintas partes del conflicto, siendo la decisión del árbitro designado por el Promotor obligatoria para los interesados. En ningún caso el Promotor deberá encontrarse durante los trabajos en presencia de una situación de hecho que tuviese lugar por falta de información por parte del Contratista.

Cuando varios contratistas trabajen en la ejecución de las tareas, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudiera derivarse de su propia actuación.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.1.20.-Domicilios y representantes

El Contratista está obligado, antes iniciar la ejecución de las tareas objeto del contrato, a facilitar un domicilio al Promotor. Seguidamente a la notificación del contrato, el Promotor comunicará al Contratista su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como el nombre de su representante, en caso de existir éste último.

A su vez, antes de iniciarse los trabajos objeto del contrato, el Contratista designará su propio representante en la ejecución de las tareas y se lo comunicará por escrito al Promotor especificando sus poderes, que deberán ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación del Promotor. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Contratista la ausencia de su representante.

El Contratista está obligado a presentar antes de la iniciación de los trabajos, a la representación del Promotor, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de las tareas contratadas y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

La designación del representante del Contratista, así como la del personal facultativo, responsable de la ejecución de las tareas contratadas, requiere la conformidad y aprobación del Promotor, quien, por motivo fundado, podrá exigir al Contratista la destitución de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

2.2.- Obligaciones del contratista

2.2.1.-Condiciones técnicas.

Las presentes condiciones técnicas serán de obligada observación por el contratista a quien se adjudique la instalación, el cual deberá hacer constar que las conoce y que se compromete a ejecutar la misma con estricta sujeción a las mismas en la propuesta que formule y que sirva de base a la adjudicación.

2.2.2.-Obligaciones contables

El Contratista deberá llevar y conservar los libros y documentos relativos al contrato y mantenerlos a disposición del Promotor durante toda la vigencia del mismo y hasta los seis (6) meses posteriores a su vencimiento y el de las eventuales prórrogas acordadas.

2.2.3.-Técnico encargado de los Trabajos por parte del contratista

El contratista vendrá obligado a tener al frente de los trabajos, un Técnico cuya designación deberá comunicar a la Dirección de la Instalación, antes del comienzo del replanteo general. Tanto el contratista como el Técnico titulado serán responsables de los accidentes, perjuicios o infracciones que puedan ocurrir, por la mala ejecución de los trabajos o el incumplimiento de las disposiciones del Ingeniero Director de la misma.

En cumplimiento del deber de prevención de riesgos laborales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad (Servicio de Prevención) o concertará dicho Servicio con una entidad especializada ajena a la empresa (Art. 30 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, 31/1995 de 8 de noviembre). En empresas de menos de 6 trabajadores podrá asumir las funciones de prevención el propio empresario.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.2.4.-Marcha de los trabajos

Para la ejecución del programa de desarrollo de los trabajos, el contratista deberá tener siempre en la instalación un número de obreros proporcionado a la extensión de los trabajos y clases de éstos que estén ejecutándose.

2.2.5.-Personal

Todos los trabajos han de ejecutarse por personas especialmente preparadas. Cada oficio ordenará su trabajo armónicamente con los demás procurando siempre facilitar la marcha de los mismos, en ventaja de la buena ejecución y rapidez de la construcción, ajustándose a la planificación económica prevista en el proyecto.

El contratista permanecerá en la instalación durante la jornada de trabajo, pudiendo estar representado por un encargado apto, autorizado por escrito, para recibir instrucciones verbales y firmar recibos y planos o comunicaciones que se le dirijan.

2.2.6.-Sustitución del personal

2.2.6.1.-A solicitud del Promotor:

El Promotor podrá exigir con causa fundada, la sustitución o separación de cualquiera de las personas que integren el equipo. En tales casos, todos los gastos emergentes serán por cuenta del Contratista.

En los casos que, en virtud de lo anterior, corresponda la sustitución de personal, el contratista deberá cumplimentar los requisitos pertinentes, para alcanzar dicho objetivo.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.2.6.2.- A solicitud del contratista:

La sustitución de cualquier persona que integra el equipo profesional sólo podrá ocurrir cuando se produzcan causas debidamente fundadas. La propuesta de sustitución se efectuará por nota dirigida al Promotor, la cual contendrá:

- Curriculum vitae actualizado del nuevo profesional propuesto.
- Actividades específicas a desarrollar.
- Compromiso de participación debidamente firmado por el profesional propuesto
- Cuando corresponda, la pertinente habilitación expedida por el Colegio Profesional correspondiente.
- Efecto que produce la sustitución sobre la ejecución de las tareas.
- Constancia de aceptación del profesional reemplazado de su sustitución.

La incorporación del profesional propuesto a los equipos de trabajo, sólo podrá hacerse efectiva una vez que el Promotor haya otorgado la aprobación correspondiente. La ocurrencia de las situaciones contempladas en el presente artículo, no podrán dar lugar, bajo ningún concepto, a la disminución del ritmo del cumplimiento de las obligaciones, ni dejar en ningún momento áreas específicas sin cubrir.

2.2.7.-Precauciones a adoptar durante la construcción

Las precauciones a adoptar durante la construcción serán las previstas en la reglamentación sobre seguridad y salud en el trabajo y prevención de riesgos laborales.

PLIEGO DE CONDICIONES

El contratista se sujetará a las leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como a los que se dicten durante la ejecución de los trabajos.

El Contratista deberá adoptar las máximas precauciones y medidas de seguridad en el acopio de materiales y en la ejecución y conservación de las instalaciones, para proteger a los obreros, público, vehículos, animales y propiedades ajenas de posibles daños y perjuicios, corriendo con la responsabilidad que de las mismas se derive.

Asimismo, estará obligado al cumplimiento de todo aquello que la Dirección de la instalación le dicte para garantizar esa seguridad. Bien entendido que en ningún caso dicho cumplimiento eximirá al Contratista de responsabilidades.

El contratista está obligado a adoptar cuantas medidas fueran necesarias en orden a la más perfecta organización y plena eficacia de la debida prevención de los riesgos que puedan afectar a la vida, integridad y salud de los trabajadores al servicio de la Empresa, sin esperar a indicaciones concretas de la Dirección Facultativa.

2.2.8.-Responsabilidad del contratista

En la ejecución de los trabajos que se hayan contratado, el contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiera costarle, ni por las erradas maniobras que cometiese durante la construcción, siendo de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del Ingeniero.

Asimismo será responsable ante los Tribunales de los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran, ateniéndose en todo a las disposiciones y leyes comunes sobre la materia.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.2.9.-Desperfectos en propiedades colindantes

Si el contratista causase algún desperfecto en propiedades colindantes tendrá que restaurarlas por su cuenta dejándolas en el estado en que las encontró al comienzo de los trabajos. El contratista adoptará cuantas medidas encuentre necesarias para evitar la caída de operarios, desprendimiento de herramientas y materiales que puedan herir o matar a alguna persona.

2.2.10.-Seguros y coberturas

El Contratista será responsable de cualquier accidente que ocurra al personal profesional, técnico, obrero o administrativo, que realice o inspeccione trabajos para aquél, en el lugar o en tránsito, correspondiéndole en consecuencia, las obligaciones que establecen las leyes nacionales y europeas.

A los efectos precedentemente indicados, el Contratista deberá mantener en vigencia y cancelar a su cargo todos los seguros especificados a lo largo del presente pliego de condiciones.

Se considerará falta grave del Contratista tener sin cobertura cualquiera de los riesgos indicados, por lo que en caso de incumplimiento, el Promotor podrá proceder a la contratación de los seguros con cargo al contratista, independientemente de la aplicación de las sanciones que pudieran corresponder.

El Promotor deberá aprobar las pólizas y la entidad aseguradora ofrecida, previo a que aquéllas entren en vigencia, para lo cual el Contratista deberá someterlas a su consideración, previo a suscribir los contratos de seguros respectivos.

PLIEGO DE CONDICIONES

Todas las pólizas deben contener cláusulas de ajuste automático de las sumas aseguradas. También deberán contener una cláusula por la cual la entidad aseguradora asume el compromiso de no reducir ni alterar las condiciones de cobertura sin consentimiento previo y fehaciente del promotor.

Cuando corresponda, dichas pólizas deberán ser endosadas a favor del promotor.

Los seguros que el Contratista deberá tomar a su cargo cubrirán los siguientes riesgos:

2.2.10.1.- Responsabilidad del contratista como empleador.

2.2.10.1.1.- Muerte e incapacidad permanente, total o parcial, de todo el personal afectado a los fines del contrato, en un todo de acuerdo a las obligaciones emergentes de la normativa legal vigente.

2.2.10.1.2.- La indemnización prevista en de la Ley de Contrato de Trabajo.

2.2.10.2.- Seguro contra terceros afectados por el contratista durante los trabajos.

Además, el contratista queda obligado a realizar un seguro de incendios, y así asegurar los trabajos en Compañía de reconocida solvencia inscrita en el Registro de Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros. En caso de no asegurar los trabajos se entiende que es el contratista el asegurador.

PLIEGO DE CONDICIONES

La póliza habrá de extenderse con la condición especial de que si bien el contratista la suscribe con dicho carácter es requisito indispensable que, en caso de siniestros una vez justificada su cuantía, el importe íntegro de la indemnización lo cobre la entidad propietaria, para ir pagando el trabajo que se reconstruya a medida que ésta se vaya realizando, previas las certificaciones facultativas, como los demás trabajos de la construcción.

2.2.11.-Obligaciones no especificadas

Es obligación del contratista ejecutar cuanto sea necesario para la terminación completa y buena construcción y aspecto de los trabajos, aunque algún detalle complementario no se halle expresamente determinado en estas condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero-Director.

Las dudas que pudieran ocurrir en las condiciones y demás documentos del contrato se resolverán por el Ingeniero-Director así como la inteligencia e interpretación de los planos, detalles y descripciones debiendo someterse el contratista a lo que dicho facultativo decida.

2.2.12.-Documentos que puede reclamar el contratista.

El contratista conforme a lo dispuesto en el Pliego de Condiciones, podrá sacar a sus expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitadas por el Ingeniero-Director, el cual autorizará con su firma las copias, si el contratista las desea.

2.3.-Facultades de la dirección Técnica

2.3.1.-Dirección de la Instalación

El promotor nombrará en su representación a un Técnico competente que estará encargado directamente de la Dirección, control y vigilancia de los trabajos de este Proyecto. Las funciones del Director, en orden a la dirección, control y vigilancia de la instalación que fundamentalmente afectan a sus relaciones con el Contratista, son las siguientes:

- Exigir al Contratista, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de los trabajos con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de trabajos.
- Definir aquellas condiciones técnicas que este Pliego de Condiciones deja a su decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del Contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en la instalación que impidan el normal cumplimiento del Contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso; para lo cual el Contratista deberá poner a su disposición el personal y material de la instalación.
- Acreditar al Contratista los trabajos realizados, conforme a lo dispuesto en los documentos del Contrato.

PLIEGO DE CONDICIONES

- Participar en las recepciones provisional o definitiva y redactar la liquidación de los trabajos, conforme a las normas legales establecidas.
- El Contratista estará obligado a prestar su colaboración al Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

2.3.2.- Interpretación de los documentos de proyecto

El contratista queda obligado a que todas las dudas que surjan en la interpretación de los documentos del Proyecto o posteriormente durante la ejecución de los trabajos serán resueltas por la Dirección Facultativa de acuerdo con el "Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura", Pliego de Condiciones que queda en su articulado incorporado al presente de Condiciones Técnicas.

Las especificaciones no descritas en el presente Pliego con relación al Proyecto deben considerarse como datos en cuenta en la formulación del Presupuesto por parte de la Empresa que realice la instalación así como el grado de calidad de las mismas.

En las circunstancias en que se vertieran conceptos en los documentos escritos que no fueran reflejados en los Planos del Proyecto, el criterio a seguir lo decidirá la Dirección Facultativa de la instalación, recíprocamente cuando en los documentos gráficos aparecieran conceptos que no se ven reflejados en los documentos escritos, la especificación de los mismos, será decidida por la Dirección Facultativa de la instalación.

La Contrata deberá consultar previamente cuantas dudas estime oportunas para una correcta interpretación de la calidad constructiva y de características del Proyecto.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.3.3.- Aceptación de materiales

Los materiales serán reconocidos antes de su puesta en obra por la Dirección Facultativa, sin cuya aprobación no podrán emplearse en la instalación; para ello la contrata proporcionará al menos dos muestras para su examen por parte de la Dirección Facultativa, ésta se reserva el derecho de desechar aquellos que no reúnan las condiciones que a su juicio, no considere aptas. Los materiales desechados serán retirados de la instalación en el plazo más breve. Las muestras de los materiales una vez que hayan sido aceptados, serán guardados juntamente con los certificados de los análisis para su posterior comparación y contraste.

2.3.4.- Mala ejecución

Si a juicio de la Dirección Facultativa hubiera alguna parte de la instalación mal ejecutada, el contratista tendrá la obligación de deshacerla y volverla a realizar cuantas veces sea necesario, hasta que quede a satisfacción de dicha Dirección, no otorgando estos aumentos de trabajo derecho a percibir ninguna indemnización de ningún género, aunque las condiciones de mala ejecución de la instalación se hubiesen notado después de la recepción provisional, sin que ello pueda repercutir en los plazos parciales o en el total de ejecución de la instalación.

2.3.5.- Reformas en el proyecto

Si durante el curso de los trabajos el Ingeniero-Director estimase conveniente introducir modificaciones en el proyecto, el contratista estará obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de trabajos nuevamente proyectados no aumentasen en una sexta parte las de igual índole, consignadas en el Presupuesto de Contrata, abonándosele la parte que resulte con arreglo a los precios del Proyecto.

2.4.-Disposiciones Varias

2.4.1.- Inicio de la Instalación

Como actividad previa a cualquier otra de inicio de los trabajos, se procederá por la Dirección Facultativa a la comprobación del área a ubicar la instalación en presencia del Contratista. De esta operación se extenderá acta por duplicado que deberán firmar la Dirección Facultativa y la Contrata.

2.4.2.-Libro de Ordenes, Asistencia e Incidencias

Con objeto de que en todo momento se pueda tener un conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de los trabajos, se llevará, mientras dure la misma, el Libro de Ordenes, Asistencia e Incidencias, en el que se reflejarán las visitas facultativas realizadas por la Dirección de la instalación, incidencias surgidas y en general, todos aquellos datos que sirvan para determinar con exactitud si por la contrata se han cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del proyecto.

El ingeniero-Director de la instalación, y los demás facultativos colaboradores en la dirección de las mismas, irán dejando constancia, mediante las oportunas referencias, de sus visitas e inspecciones y las incidencias que surjan en el transcurso de ellas y obliguen a cualquier modificación en el proyecto o la ejecución de la instalación, las cuales serán de obligado cumplimiento.

Las anotaciones en el Libro de Ordenes, Asistencias e Incidencias, darán fe a efectos de determinar las posibles causas de resolución e incidencias del contrato. Sin embargo, cuando el contratista no estuviese conforme, podrá alegar en su descargo todas aquellas razones que abonen su postura, aportando las pruebas que estime pertinentes. Efectuar una orden a través del

PLIEGO DE CONDICIONES

correspondiente asiento en este Libro, no será obstáculo para que cuando la Dirección Facultativa lo juzgue conveniente, se efectúe la misma también por oficio. Dicha orden se reflejará también en el Libro de Ordenes.

2.4.3.- Modificaciones en las unidades de Obra

Cualquier modificación en las unidades de obra que suponga la realización de distinto número de aquellas, más o menos de las figuradas en el estado de mediciones del presupuesto, deberá ser conocida y aprobada previamente a su ejecución por el Director Facultativo, haciéndose constar en el Libro de Trabajos, tanto la autorización citada como la comprobación posterior de su ejecución.

En caso de no obtener esta autorización, el contratista no podrá pretender, en ningún caso, el abono de las unidades de obra que se hubiesen ejecutado de más respecto a las figuradas en el proyecto.

2.4.4.-Controles de la instalación: Pruebas y ensayos

Se ordenará cuando se estime oportuno, realizar las pruebas y ensayos, análisis y extracción de muestras de la instalación realizada para comprobar que tanto los materiales como las unidades de obra están en perfectas condiciones y cumplen lo establecido en este Pliego. El abono de todas las pruebas y ensayos será de cuenta del contratista.

2.4.5.- Correspondencia oficial

El contratista tendrá derecho a que se le acuse recibo, si lo pide, de las comunicaciones y reclamaciones que dirija al Ingeniero-Director y a su vez está

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

PLIEGO DE CONDICIONES

obligado a devolver a dicho Ingeniero, ya en originales, ya en copias, todas las ordenes y avisos que de él reciba poniendo al pie el "enterado" y su firma.

2.4.6.-Accesos a la instalación

Se facilitarán los accesos a todas las partes de la instalación, de tal manera que todas las personas que accedan a los diversos sitios de la misma tengan la seguridad necesaria para la revisión de los diferentes trabajos.

2.4.7.-Gastos de instalación

Serán por cuenta del promotor, salvo que se indique en contrato, los gastos referentes a licencia de obras, honorarios de Proyecto y Dirección Facultativa, así como todos los originados para dotar a la instalación de acometidas de agua, electricidad, etc..

3.-PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

3.1.-Medición y Abono de los Trabajos

3.1.1.- Condiciones Generales de Valoración

Solamente serán abonadas los trabajos que, ejecutados con arreglo a las condiciones que señala este Pliego, figuran en los documentos del proyecto o que hayan sido ordenadas por el Director de las Instalación.

Las partes que hayan de quedar ocultas, se reseñarán por duplicado en un croquis, firmado por el Director y el Contratista. En él figuran cuantos datos sirvan de base para la medición, como dimensiones, peso, armaduras, etc., y todos aquellos otros que se consideren oportunos. En caso de no cumplirse los anteriores requisitos, serán de cuenta del Contratista los gastos necesarios para descubrir los elementos y comprobar sus dimensiones y buena construcción.

En los precios de cada unidad de trabajo se consideran incluidos los trabajos, medios auxiliares, energía, maquinaria, materiales y mano de obra necesarios para dejar la unidad completamente terminada, todos los gastos generales directos e indirectos como transportes, comunicaciones, carga y descarga. pruebas y ensayos, desgaste de materiales auxiliares, costes indirectos, instalaciones, impuestos, derechos, etc. El Contratista no tendrá derecho a indemnización alguna por estos conceptos.

Las unidades estarán completamente terminadas, con recibo, accesorios, etc. aunque alguno de estos elementos no figuren determinados en los cuadros de precios o estado de mediciones.

PLIEGO DE CONDICIONES

Se considerarán incluidos en los precios aquellos trabajos preparatorios que sean necesarios, tales como, nivelaciones, cerramientos, etc., siempre que no estén medidos o valorados en el presupuesto.

No admitiendo la índole especial de algunos trabajos, su abono por mediciones parciales, el Ingeniero Director incluirá estas partidas completas, cuando lo estime oportuno, en las certificaciones periódicas.

Serán de cuenta del Contratista los siguientes gastos y costes que se entienden tiene el Contratista incluido en los precios que oferte:

- A) Los gastos y costes del material o equipo a suministrar.
- B) Los gastos y costes ocasionados por los ensayos de materiales que exija el Ingeniero Director.
- C) Los gastos y costes de construcción, recepción y retirada de toda clase de construcciones e instalaciones auxiliares.
- D) Los gastos y costes de alquiler o adquisición de terrenos para depósito de maquinaria y materiales.
- E) Los gastos y costes de seguros y de protección de la instalación y de los acopios contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes.
- F) Los gastos y costes de limpieza y evacuación de desperdicios y basuras. Así como los de establecimiento de vertederos, su acondicionamiento, conservación, mantenimiento, vigilancia y terminación final.
- G) Los gastos y costes de suministro, colocación, funcionamiento y conservación de todos aquellos recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de la instalación.

PLIEGO DE CONDICIONES

- H) Los gastos y costes de remoción de las instalaciones, herramientas, materiales y limpieza de la instalación a su terminación.
- I) Los gastos y costes de montaje, conservación y retirada de instalaciones para suministro de agua y energía eléctrica necesaria para los trabajos.
- J) Los gastos y costes de demolición de las instalaciones, limpieza y retirada de productos.
- K) Gastos y costes de terminación y retoque finales de la instalación.
- L) Los gastos y costes de instrumentación, recogida de datos e informe de cualquier tipo de pruebas o ensayos.
- M) Los gastos y costes de reposición de instalaciones, elementos, etc. dañados o alterados por necesidades de los trabajos o sus instalaciones, o por el uso excesivo de aquellas derivadas de los trabajos.
- N) Los gastos y costes correspondientes a la inspección de la instalación.
- O) Los gastos y costes de replanteo y liquidaciones de los trabajos.
- P) Los gastos de vigilancia a pie de la instalación.
- Q) Las tasas que por todos los conceptos se tenga establecida en relación a los trabajos.
- R) Los gastos y costes que se deriven a origen del contrato, tanto previos como posteriores al mismo.
- S) Los gastos y costes en que haya de incurrirse para la obtención de licencias y permisos, etc. necesarios para la ejecución de todos los trabajos.
- T) Los gastos de transporte del personal de la Dirección a la instalación.

PLIEGO DE CONDICIONES

3.1.2.- Valoración unidades no expresadas en este Pliego

La valoración de los trabajos no expresados en este Pliego se verificará aplicando a cada una de ellas la medida que le sea más apropiada y en forma de condiciones que estime justas el Ingeniero, multiplicando el resultado final por el precio correspondiente.

3.1.3.- Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el contratista ha hecho un detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por lo tanto, al no haber hecho ninguna observación sobre errores posibles o equivocaciones del mismo, no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte que si la instalación ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna, si por el contrario el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

3.2.-Valoraciones

3.2.1.-Valoraciones

Las valoraciones de las unidades de trabajo que figuran en el presente proyecto, se efectuarán multiplicando el número de éstas por el precio unitario asignado a las mismas en el presupuesto. En el precio unitario aludido en el párrafo anterior se consideran incluidos los gastos del transporte de materiales, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto, así como todo tipo de impuestos fiscales que graven los materiales por el Estado, Provincia o Municipio, durante la ejecución de los trabajos, y toda clase de cargas sociales. También serán de cuenta del contratista los honorarios, las

PLIEGO DE CONDICIONES

tasas y demás gravámenes que se originan con ocasión de las inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones con que esté dotado el inmueble.

El contratista no tendrá derecho por ello a pedir indemnización alguna por las causas enumeradas. En el precio de cada unidad de obra van comprendidos los de todos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la instalación terminada y en disposición de recibiese.

3.2.2.-Valoración de los trabajos no incluidos ó incompletos

Los trabajos no incluidos se abonarán con arreglo a precios consignados en el Presupuesto, sin que pueda pretenderse cada valoración de la instalación fraccionada en otra forma que la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

Los trabajos concluidos, se abonarán, previas las mediciones necesarias, a los precios consignados en el cuadro de precios número uno (1). Cuando a consecuencia de rescisión o por otra causa, fuese necesario valorar trabajos incompletos, se aplicarán los precios del cuadro número dos (2), sin que pueda presentarse la valoración de cada unidad de trabajo en otra forma que la establecida en dicho cuadro. En ninguno de estos casos tendrá derecho el Contratista a reclamación alguna, fundada en la insuficiencia de los precios de los cuadros o en omisión del coste de cualquiera de los elementos que constituyen los referidos precios.

El Contratista deberá preparar los materiales que tenga acopiados para que estén en disposición de ser recibidos en el plazo que al efecto, determine la Dirección, siéndole abonado de acuerdo con lo expresado en el cuadro de precios número dos (2).

PLIEGO DE CONDICIONES

3.2.3.-Precios Contradictorios

Si ocurriese algún caso excepcional e imprevisto en el cual fuese necesaria la designación de precios contradictorios entre la propiedad y el contratista, estos precios deberán fijarse con arreglo a los determinados para unidades análogas, después de haber convenido lo mismo el Ingeniero en representación de la Propiedad y el Contratista.

3.2.4.-Rotaciones Valoradas

El Contratista de la instalación formulará mensualmente una relación valorada de los trabajos ejecutados desde la anterior liquidación con sujeción a los precios del presupuesto.

La Dirección Facultativa, que presenciara las operaciones de valoración y medición, tendrá un plazo de diez días para examinarlas. Deberá, dentro de este plazo, dar su conformidad o, en caso contrario, hacer las observaciones que considere convenientes.

Estas relaciones valoradas no tendrán más que carácter provisional a buena cuenta, y no suponen la aprobación de los trabajos que en ellos se comprenden. Se formará multiplicando los resultados de la medición por los precios correspondientes, y descontando si hubiera lugar la cantidad correspondiente al tanto por ciento de baja o mejora producido en la licitación.

3.2.5.-Trabajos que se abonarán al contratista

Se abonarán al contratista la instalación que realmente se ejecute con sujeción al proyecto que sirve de base al contrato, o a las modificaciones del mismo, autorizadas por la superioridad, o a las órdenes que con arreglo a sus

PLIEGO DE CONDICIONES

facultades le haya comunicado por escrito el Director de la instalación, siempre que dicha instalación se halle ajustada a los preceptos del contrato y sin que su importe pueda exceder de la cifra total de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el Proyecto o en el Presupuesto no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna especie, salvo en los casos de rescisión.

Tanto en las certificaciones de la instalación como en la liquidación final, se abonarán los trabajos hechos por el contratista a los precios de ejecución material que figuran el presupuesto para cada unidad de obra o de trabajo.

Si excepcionalmente se hubiera realizado algún trabajo que no se halle reglado exactamente en las condiciones de la contrata pero que, sin embargo, sea admisible a juicio del Director, se dará conocimiento de ello, proponiendo a la vez la rebaja de precios que se estime justa, y si aquella resolviese aceptar la instalación, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

Cuando se juzgue necesario emplear materiales para ejecutar trabajos que no figuren en el proyecto, se evaluará su importe a los precios asignados a otros trabajos o materiales análogos si los hubiera, y cuando no, se discutirá entre el Director de la instalación y el contratista, sometiéndoles a la aprobación superior.

Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento se sujetarán siempre a lo establecido en el contrato general de la instalación. Al resultado de la valoración hecha de este modo, se le aumentará el tanto por ciento adoptado para formar el presupuesto de la contrata, y de la cifra que se obtenga se descontará lo que proporcionalmente corresponda a la rebaja hecha, en el caso de que exista lista.

PLIEGO DE CONDICIONES

Cuando el contratista, con la autorización del Director de la instalación emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que lo estipulado en el proyecto, sustituyéndose la clase de fábrica por otra que tenga asignado mayor precio, ejecutándose con mayores dimensiones o cualquier otra modificación que resulte beneficiosa a juicio de la Propiedad, no tendrá derecho, sin embargo, sino a lo que correspondería si hubiese construido la instalación con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

3.2.6.-Abono de las partidas alzadas

Las cantidades calculadas para instalaciones accesorias, aunque figuren por una partida alzada del presupuesto, no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellos se formen, o en su defecto, por lo que resulte de la medición final.

Para la ejecución material de las partidas alzadas figuradas en el proyecto de instalación, deberá obtenerse la aprobación de la Dirección Facultativa. A tal efecto, antes de proceder a su realización se someterá a su consideración el detalle desglosado del importe de la misma, el cual, si es de conformidad podrá ejecutarse.

4.-PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES

4.1.-Recepción de la Instalación

4.1.1-Recepción de la Instalación

Una vez terminadas la instalación, y hallándose en las condiciones exigidas, se procederá a la recepción de la misma.

Al acto de recepción concurrirán la propiedad, el facultativo encargado de la dirección de la instalación y el contratista, levantándose el acta correspondiente. En caso de que los trabajos no se hallen en estado de ser recibidos se actuará conforme a lo dispuesto en el contrato establecido.

El Plazo de la garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la recepción de la instalación. Al realizarse la recepción de la instalación deberá presentar el contratista las pertinentes autorizaciones de los Organismos oficiales de la provincia para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requieran. No se efectuará esa recepción de la instalación si no se cumple este requisito.

4.1.2.-Plazo de Garantía

Sin perjuicio de las garantías que expresamente se detallan en el contrato, el contratista garantiza en general todas los trabajos que ejecute, así como los materiales empleados en ellas y su buena manipulación.

El plazo de garantía será el establecido en contrato y durante este período el contratista corregirá los defectos observados, eliminará los trabajos rechazados y reparará las averías que por dicha causa se produzcan, todo ello

PLIEGO DE CONDICIONES

por su cuenta y sin derecho a indemnización alguna, ejecutándose en caso de resistencia dichos trabajos por la Administración con cargo a la fianza.

El contratista garantiza a la Propiedad contra toda reclamación de tercera persona, derivada del incumplimiento de sus obligaciones económicas o disposiciones legales relacionadas con la instalación.

Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva de la instalación, la Propiedad tomará acuerdo respecto a las retenciones efectuadas.

Tras la recepción de la instalación el contratista quedará relevado de toda responsabilidad salvo lo referente a los vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del contrato por parte del empresario, de los cuales responderá en el término de 10 años. Transcurrido este plazo quedará totalmente extinguida la responsabilidad.

4.1.3.-Pruebas para la recepción

Con carácter previo a la ejecución de las unidades de trabajo, los materiales habrán de ser reconocidos y aprobados por la Dirección Facultativa. Si se hubiese efectuado su manipulación o colocación sin obtener dicha conformidad deberán ser retirados todos aquellos que la citada dirección rechaza, dentro de un plazo de treinta días.

El contratista presentará oportunamente muestras de cada clase de material a la aprobación de la Dirección Facultativa, las cuales conservarán para efectuar en su día comparación o cotejo con los empleados en los trabajos.

4.2.-Cargos al Contratista

4.2.1.-Planos de las instalaciones

El contratista, de acuerdo con la Dirección Facultativa, entregará en el acto de la recepción de la instalación o anteriormente a la misma, los planos de todas las instalaciones ejecutadas en la instalación, con las modificaciones o estado definitivo en que haya quedado.

4.2.2.-Autorizaciones y Licencias

El contratista se compromete igualmente a entregar las autorizaciones que preceptivamente tienen que expresar las delegaciones Provinciales de Industria, Sanidad, etc., y autoridades locales, para la puesta en servicio de las referidas instalaciones.

Son también de cuenta del contratista todos los arbitrios, licencias municipales, multas, alumbrado, etc., que ocasionen los trabajos desde su inicio hasta su total terminación, salvo que se especifique lo contrario en el contrato entre la Propiedad y el contratista.

4.2.3.-Conservación durante el Plazo de Garantía

El contratista durante el tiempo que media entre la terminación de la instalación y la recepción de la misma, será el conservador de la misma, donde tendrá el personal suficiente para atender a todas las averías y reparaciones que puedan presentarse, aunque el establecimiento fuese ocupado o utilizado por la propiedad antes de la recepción definitiva.

4.3.-Disposiciones Varias

4.3.1.-Normas de Aplicación

Para todo aquello no detallado expresamente en los artículos anteriores, y en especial sobre las condiciones que deberán reunir los materiales que se emplean en los trabajos, así como la ejecución de cada unidad de obra, y las normas para su medición y valoración regirá el Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura.

Se cumplimentarán todas las normas de la Presidencia del Gobierno, Ministerio de Industria, y demás vigentes, y las sucesivas que se publiquen en el transcurso de los trabajos.

4.3.2.-Suspensión de los Trabajos

Cuando la entidad propietaria desee suspender la ejecución de los trabajos tendrá que avisarlo con un mes de anticipación, y el contratista tendrá que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de los trabajos ejecutados y el valor de los materiales acumulados al pie de la instalación, al precio corriente en la localidad; igual se hará en los casos de rescisión justificada.

Si la suspensión de los trabajos fuese motivada por el contratista, el propietario se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al contratista tan sólo los trabajos ejecutados con pérdida de la retención como indemnización de perjuicios irrogados a la entidad propietaria; quedando obligado el contratista a responder de los perjuicios superiores a esta cantidad, salvo que se indique lo contrario en el contrato.

PLIEGO DE CONDICIONES

En caso de muerte o de quiebra del contratista, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo bajo las condiciones estipuladas en la misma. El propietario puede admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este caso tengan aquellos derecho a indemnización alguna.

Tanto en estos casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del contratista, tendrá éste obligación a recogerlos en un plazo de ocho días; de no ser así se entiende que los abandona a favor de la instalación.

4.3.3.-Prórroga de las Trabajos

Si se diese el caso de que por alguna contingencia, el Contratista solicitase una ampliación de plazo para la terminación de los trabajos, éste se determinará de acuerdo con la Dirección Facultativa y siempre y cuando las causas alegadas sean por motivos ajenos al discurrir normal de la instalación.

4.3.4.-Rescisión del contrato

En caso de que hubiese rescisión de contrato, la valoración de los trabajos incompletos se haría aplicando los precios del presupuesto, sin que el contratista tenga derecho alguno a reclamación.

Sí no existiesen precios descompuestos, o en el precio dado no estuviesen claramente especificados, se aplicarán a los materiales los precios corrientes de almacén de la localidad.

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

PLIEGO DE CONDICIONES

4.3.5.-Personal de instalación

Todo el personal que desarrolle cualquier actividad en la instalación, deberá tener su situación aboral de acuerdo con la legislación vigente.

PLIEGO DE CONDICIONES

TÉCNICAS

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química
Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

1.-DISPOSICIONES GENERALES DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO

MEDIO AMBIENTE

- EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. Real Decreto 1302/1986 de 30 de junio.
- RD 9/2000 de 6 de Octubre: Modificación del RD 1302/1986 sobre Evaluación del Impacto Ambiental
- REGLAMENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. Real Decreto 1131/1988
- LEY 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Jefatura del Estado. (B.O.E. 9/05/01).
- LEY 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
- LEY 22 diciembre 1972, núm. 38172 (Jefatura del Estado) Protección contaminación atmosférica
- PLAN NACIONAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.- Corrección de errores de la Resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministro de 1 de Junio de 2001, por el que se aprueba el Plan de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006. Ministerio de Medio Ambiente. (B.O.E. 7/08/01).

PLIEGO DE CONDICIONES

SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

- ❑ REGLAMENTO DE SERVICIOS DE PREVENCIÓN. Real Decreto 39/1.997 del 17 de Enero y Real Decreto 780/98 del 30 de Abril por el que se modifica el anterior.
- ❑ REAL DECRETO 780/1998 de 30 de Abril por el que se modifica el RD 39/97. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. BOE 1/05/98
- ❑ ORDENANZA GENERAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Orden del Ministerio de Trabajo actualizado con fecha 06-04-71 y 02-11-89). SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD EN LOS CENTROS Y LOCALES DE TRABAJO. Real Decreto 1.403/1.986 de 9 de Mayo. (B.O.E. 8-07-86).
- ❑ NORMAS TÉCNICAS REGLAMENTARIAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE TRABAJO.
- ❑ LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES. Ley 31/1995 del 8 de Noviembre (B.O.E. 10/11/95).
- ❑ DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO. Real decreto 485/1997 de 14 de Abril de 1997 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. (B.O.E. 23/04/97)
- ❑ DISPOSICIONES MINÍMIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. Real decreto 486/1997 de 14 de Abril de 1997 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. (B.O.E. 23/04/97)
- ❑ REGLAMENTO DE SEGURIDAD EN MÁQUINAS. Real decreto 1495/1986 de 26 de Mayo de 1986 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. (B.O.E. 21/07/86)
- ❑ MODIFICACIÓN DEL ANTERIOR. Real decreto 830/1991 de 24 de Mayo de 1991 (B.O.E. 23/04/97) y R.D. 590/89 (B.O.E. 31/05/91)
- ❑ PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES FRENTE A RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO DURANTE EL

PLIEGO DE CONDICIONES

TRABAJO. Real decreto 1316/1989 de 27 de Octubre de (B.O.E. 2/11/89, 9/12/89, 26/5/90)

- DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD RELATIVAS A LA UTILIZACION POR LOS TRABAJADORES DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL. Real decreto 773/1997 de 30 de Mayo de 1997 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. (B.O.E. 25/10/97)
- PROTECCIÓN DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LOS AGENTES QUÍMICOS DURANTE EL TRABAJO. Real decreto 374/2.001 de 6 de Abril (B.O.E. 01/05/01)
- DISPOSICIONES MÍNIMAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES FRENTE AL RIESGO ELÉCTRICO. Real decreto 614/2001 de 8 junio del Ministerio de la Presidencia. (B.O.E. 21/06/01)
- APROBACIÓN DEL REGLAMENTO DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES. Real decreto 786/2001 de 6 julio del Ministerio de Ciencia y Tecnología. (B.O.E. 30/07/01)
- REAL DECRETO 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.-CONDICIONES GENERALES

2.1.-Calidad de los Materiales

Todos los materiales a emplear en la presente instalación serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos según reglamentación aplicable. A su vez presentarán un estado óptimo para su incorporación en nuestro sistema, sin que presenten ningún factor que pueda repercutir en su funcionalidad (óxido, grietas, mal acabado, burbujas, falta de homogeneidad, etc...)

Por tanto, las características y requisitos, tanto mecánicos como de composición, que deben cumplir los materiales a emplear en la fabricación ó montaje de los componentes del sistema son, a temperatura ambiente y 1 atm de presión:

2.2.1.- Acero A351 GR. CF8M

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
C	Max 0.08	Mn	Max 1.5	P	Max 0.04
Cr	18 - 21	Mo	2 - 3	S	Max 0.04

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	Min 485 MPa	Min 70300 psi
Resistencia a la Tensión	Min 205 MPa	Min 29700 psi
Elongación y Rotura	Min 30 %	Min 30 %

2.2.2.-Acero A515

Componente	Peso %	Componente	Peso %	Componente	Peso %
C	0.18 - 0.23	Mn	0.7 - 0.9	P	Max 0.035
Cr	0.4 - 0.6	Mo	0.15 - 0.25	S	Max 0.04

PLIEGO DE CONDICIONES

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	427 MPa	62000 psi
Resistencia a la Tensión	138 MPa	20000 psi
Elongación y Rotura	12 %	12 %

2.2.3.- Acero A285C Grado 60

Componente Peso %

C	Max 0.28
Fe	Min 98.75
Mn	Max 0.9
P	Max 0.035
S	Max 0.035

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Resistencia a la Tensión, Máxima	385-515 MPa	55100-74700 psi
Resistencia a la Tensión	126 MPa	18300 psi
Elongación y Rotura	27 %	27 %

2.2.4.- Elastómero Reforzado

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Hardness, Rockwell M	29	29
Resistencia a la Tensión, Máxima	206 MPa	29800 psi
Resistencia a la Tensión	100 MPa	14450 psi
Elongación y Rotura	200-300 %	200-300 %
Resistencia a Flexión	124 MPa	18000 psi
Resistencia a Compresión	140 MPa	20300 psi

2.2.5.-PVC trenzado y reforzado con fibra de Vidrio

Propiedades Mecánicas	Unidades S.I.	Unidades Inglesas
Dureza, Rockwell R	107 - 110	107 - 110
Dureza, Shore D	85 - 88	85 - 88
Resistencia a la Tensión, Máxima	76 - 107 MPa	11000 - 15500 psi
Elongación y Rotura	2 - 3 %	2 - 3 %

PLIEGO DE CONDICIONES

2.2.-Pruebas y Ensayos de Materiales

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de la instalación, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

Así, sobre los materiales recibidos para la fabricación de diferentes componentes del sistema se realizarán ensayos, al menos uno en cada partida recibida para asegurar que se cumplen las especificaciones establecidas. Los ensayos a realizar sobre los materiales son:

- Ensayo de tracción. Se determina el límite elástico y la resistencia a la tracción.
- Ensayo de dureza para la determinación de dureza Rockwell o Brinnell.

Los ensayos se llevarán a cabo según las siguientes normas UNE:

- UNE 7474-1:1992 Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (A la temperatura ambiente)
- UNE-EN ISO 6506-1:2000 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinnell. Parte 1: Método de ensayo. (ISO 6506-1:1999)
- UNE-EN ISO 6508-1:2000 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Rockwell. Parte 1: Método de ensayo (Escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:1999)
- UNE 53324:1979 EX, Plásticos. Película de policloruro de vinilo. Características y métodos de ensayo.

Todos los ensayos se realizarán por quintuplicado, siendo necesario para que el resultado del ensayo sea positivo, que las cinco pruebas realizadas cumplan los requisitos especificados para los materiales.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.3.-Materiales no consignados en el proyecto

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

2.4.-Condiciones Generales de Ejecución

Todos los trabajos, incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de la construcción, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Edificación de la Dirección General de Arquitectura y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa , no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista el bajo contrato, para variar esa esmerada ejecución ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

2.5.-Tareas a realizar sobre Componentes del Sistema

El mecanizado de las piezas se realizará en taller mecánico de precisión. Las operaciones que se incluyen son: torno, soldadura y corte.

A.- Torno : Las operaciones de torneado se realizarán a cabo para el rebaje de ciertas zonas. Los requisitos que debe reunir la herramienta, así como el desarrollo de los trabajos serán conformes a las siguientes normas:

- UNE 15318:1990 Tornos paralelos de uso general. Control de la precisión.
- UNE 15322:1992 Tornos verticales de una o dos columnas, de mesa fija o desplazable. Introducción general y control de la precisión.

PLIEGO DE CONDICIONES

- UNE 15323-1:1992 Tornos horizontales revolver y automáticos monohusillo. Parte 1: Tornos con diámetro de paso de barra menor o igual a 25 mm y diámetro de plato menor o igual a 160 mm. Control de la precisión.
- UNE 15323-2:1992 Tornos horizontales revolver y automáticos monohusillo. Parte 2: Tornos con diámetro de paso de barra mayor de 25 mm. Control de la precisión.

B.- Corte : El corte se realizará, esencialmente, en las zonas en las que se producen los encajes de las conexiones. Estas operaciones y los equipos que las realicen deben ajustarse a las normas siguientes:

- UNE-EN 12584:1999 Imperfecciones en los cortes realizados por oxicorte, corte por láser y corte por plasma. Terminología.
- UNE-EN 28206:1993 Ensayos de recepción para máquinas de oxicorte. Precisión de reproducción. Características de funcionamiento.

C.- Soldadura : Las soldaduras que se realizarán en el conjunto del equipo serán del tipo TIG, debiéndose ajustar en todos sus aspectos al siguiente conjunto de normas:

- UNE 14208:1992 Electrodo de wolframio para el soldeo por arco en atmósfera inerte, con electrodo refractario y para el soldeo y corte con plasma. Simbolización.
- UNE-EN 288-1:1993 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 1: Reglas generales para el soldeo por arco.
- UNE-EN 288-2:1993 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 2: Especificación del procedimiento para el soldeo por arco.

PLIEGO DE CONDICIONES

- UNE-EN 288-3:1993 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 3: Cualificación del procedimiento para el soldeo por arco de aceros.
- UNE-EN 29692:1995 Soldeo por arco con electrodo revestido, soldeo por arco con protección gaseosa y soldeo por gas. Preparación de uniones de acero.

Las inspecciones de las soldaduras se harán conforme a las siguientes normas, según la técnica de inspección que se utilice:

- UNE 14618:2000 Inspectores de soldadura. Cualificación y certificación.
- UNE-EN 12062:1997 Examen no destructivo de soldaduras. Reglas generales para los materiales metálicos.
- UNE 14612:1980 Práctica recomendada para el examen de las uniones soldadas mediante la utilización de líquidos penetrantes.
- UNE-EN 1289:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Ensayo de soldaduras mediante líquidos penetrantes. Niveles de aceptación.
- UNE-EN 12517:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Examen radiográfico de uniones soldadas. Niveles de aceptación.
- UNE-EN 1290:1998 Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen de uniones soldadas mediante partículas magnéticas.
- UNE-EN 1291:1998 Examen no destructivo de uniones soldadas. Ensayo mediante partículas magnéticas de soldaduras. Niveles de aceptación.
- UNE-EN 1435:1998 Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen radiográfico de uniones soldadas.
- UNE-EN 1714:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Examen ultrasónico de uniones soldadas.
- UNE-EN 1712:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Examen ultrasónico de uniones soldadas. Niveles de aceptación.

PLIEGO DE CONDICIONES

2.6.-Realización de las Tareas

Dividiremos las piezas de nuestro sistema en dos grandes grupos :

A.-Piezas y accesorios de Catálogo : piezas que pueden adquirirse directamente de catálogo, éstas deben cumplir los requisitos dimensionales y las características técnicas establecidos en el proyecto.

B.-Piezas y accesorios a mecanizar : Las piezas a mecanizar se trabajarán a partir de los materiales de partida indicados en el presupuesto. Estos materiales deberán cumplir las condiciones establecidas en el presente Pliego de Condiciones Técnicas, y el mecanizado se realizará de acuerdo con las normas expuestas en el apartado 5.2.5 del presente Pliego de Condiciones Técnicas.

2.7.-Plazos de Ejecución

Los plazos a cumplir por el contratista son los siguientes:

- Adquisición de materiales para mecanizado: Plazo máximo de 30 días naturales, desde el momento de inicio de las prestaciones o de la firma del contrato (a especificar por el Promotor en acuerdo con el Contratista).
- Adquisición de elementos de catálogo: Plazo máximo de 30 días naturales a partir del inicio de las prestaciones o firma del contrato (según acuerdo entre Promotor y Contratista).
- Mecanizado de piezas: 15 días naturales contados desde el momento en el que se han adquirido todos los materiales.
- Montaje de los componentes del equipo: 30 días naturales contabilizados desde el momento en el que se tienen mecanizadas todas las piezas y adquiridos todos los elementos de catálogo.

3.-CONTROL DE CALIDAD

Previamente al inicio de los trabajos, el contratista deberá presentar al Ingeniero-Director, para su aprobación, el Plan de Control de Calidad y el de Puntos de Inspección y Control de la instalación, que será de aplicación tanto a los trabajos a realizar como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar, y tendrá validez a lo largo de todo el periodo de duración de la instalación, pudiendo ser modificado a petición del Contratista bajo aprobación del Director de la instalación, o bien a petición del propio Ingeniero-Director siempre y cuando lo considere oportuno para el correcto desarrollo de la empresa.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, éstas se someterán a los controles establecidos por la normativa legal vigente que sea aplicación para cada una de ellas, incluyéndose aquella normativa que sea aprobada durante el desarrollo de los trabajos, así mismo, también se realizarán los controles que por cualquier motivo considerase necesario la Dirección Facultativa, siendo el coste de los mismos por cuenta del contratista.

En los mencionados planes se recogerá de forma clara la identificación de cada unidad de obra o trabajo, el tipo de ensayo a realizar y la normativa de aplicación, la frecuencia de realización de cada tipo de ensayo, y las condiciones de aceptación o rechazo.

Para materiales y equipos definirá los certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en la instalación, la frecuencia de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo.

4.-MATERIALES Y UNIDADES DE OBRA NO ESPECIFICADAS

Los materiales no consignados en este Pliego y que fuera necesario emplear, reunirán las mejores condiciones en cuanto a calidad de los mismos y siempre a juicio del Ingeniero Director.

Para la definición de las características, forma de ejecución y medición y abono de las partidas de trabajos no descritos en el presente Pliego, se remitirán a las descripciones de las mismas realizadas en los restantes documentos de este Proyecto, en caso de omisión o falta de precisión en éstos se remitirá a las disposiciones y especificaciones del Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura, y por supuesto a las instrucciones al efecto del Ingeniero-Director de la instalación.

5.-CUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS

El contratista está obligada al cumplimiento de los plazos parciales fijados definitivamente por la Administración, así como del plazo final para la total terminación de instalación.

Si el retraso fuera producido por motivos no imputables al contratista y éste se ofreciera a cumplir sus compromisos mediante prórroga del tiempo convenido, se concederá por la Administración un plazo que será, por lo menos, igual al tiempo perdido.

El contratista dará comienzo a los trabajos una vez firmada el Acta de Inicio de las mismas.

6.-PLAN DE INSTALACIÓN Y RELACIÓN DE MAQUINARIA

Al inicio de los trabajos, el contratista estará obligado ante el requerimiento de la Dirección Técnica a complementar el Plan de Instalación que hay previsto con la relación de medios humanos y su cualificación profesional, así como con la relación de medios auxiliares y maquinaria que se compromete a mantener durante la ejecución de los trabajos. Asimismo, el contratista deberá aumentar los medios auxiliares y personal técnico, siempre que la Administración compruebe que ello es necesario para el desarrollo de los trabajos en los plazos previstos.

La aceptación del Plan de Instalación y de la relación de medios auxiliares propuestos no implicará exención alguna de responsabilidad para el contratista, en caso de incumplimiento de los plazos parciales o del final.

6.1.-Materiales en Depósito

Los materiales que se entreguen por la Administración al contratista se considerarán en depósito desde el momento de la entrega, siendo el contratista responsable de su custodia y conservación hasta tanto la instalación sea recibida. A tal fin, el contratista responde con la fianza de cumplimiento de los daños, deterioros, pérdidas, extravíos, robos o cualquier otro accidente que puedan sufrir los citados materiales.

6.2.-Maquinaria y Medios Auxiliares

Toda la maquinaria y medios auxiliares empleados por el contratista serán de su exclusiva cuenta, sin que en ningún caso pueda exigirse que la Administración se las abone, ya que su coste presumible y gastos de amortización y conservación han sido tenidos en cuenta en la formación de los distintos precios. No podrá, el contratista, alegando lo costoso de las instalaciones auxiliares, exigir que se le abone cantidad alguna en concepto de anticipo sobre dichos medios.

7.-MANUALES DE MANTENIMIENTO Y PLANOS "AS-BUILT"

Concluidos los trabajos, el contratista está obligado a entregar a la Administración "Manuales de Mantenimiento" de aquellas instalaciones o equipos que hubiese instalado, así como los planos "As-Built" de todas las instalaciones realizadas. Tanto los manuales como los planos se entregarán por triplicado. En los citados manuales de mantenimiento se recogerán, tanto la descripción detallada de los equipos o instalaciones, como lista de repuestos, operaciones de mantenimiento preventivo y operativo y, en general, todo lo necesario para el correcto funcionamiento y conservación de las citadas instalaciones y/o equipos.

PLANOS

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

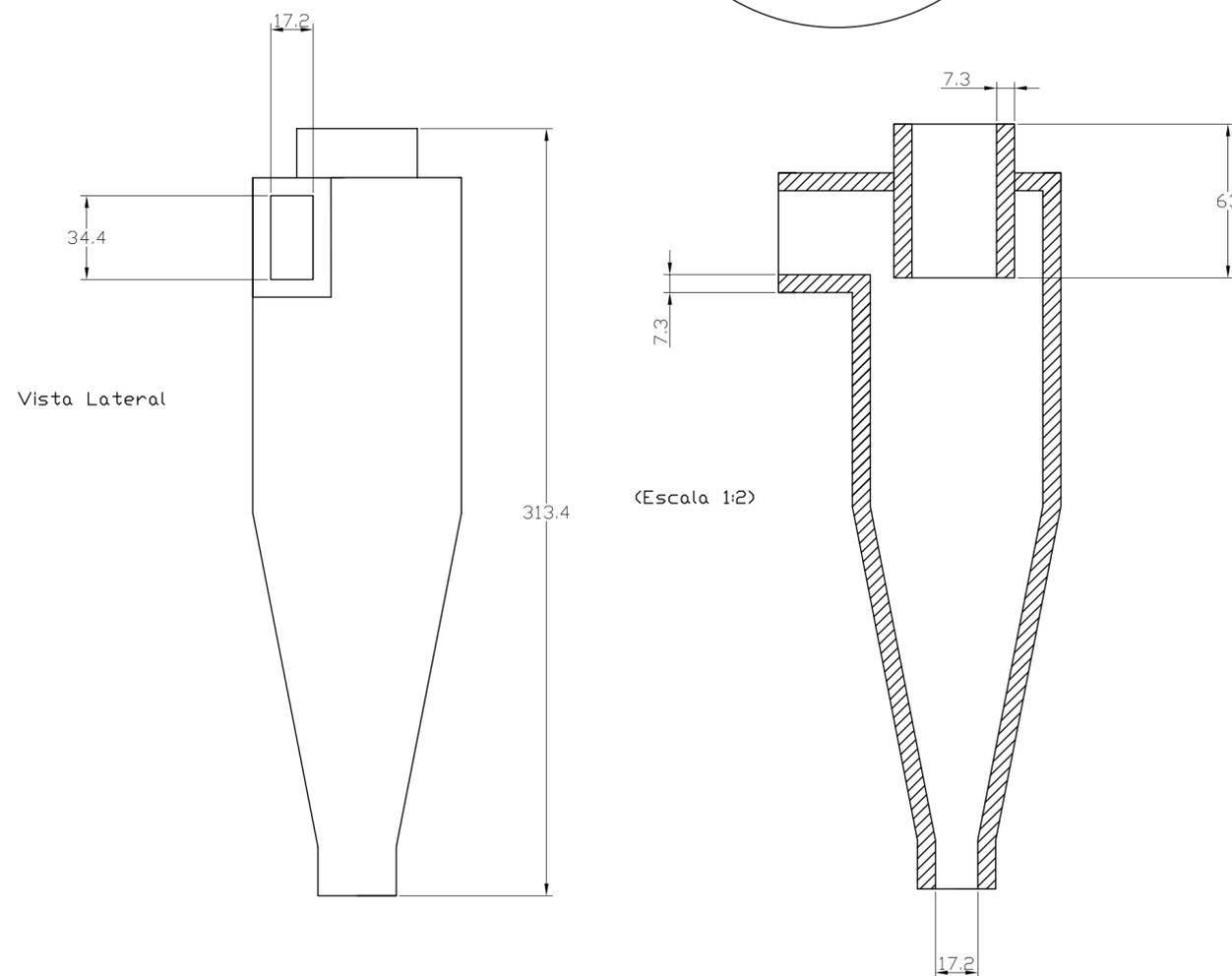
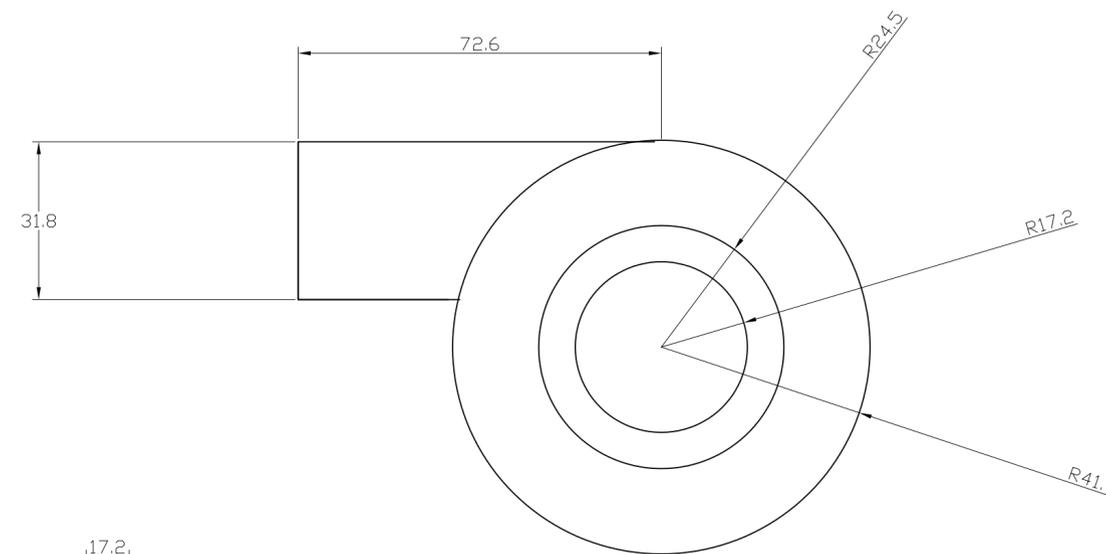
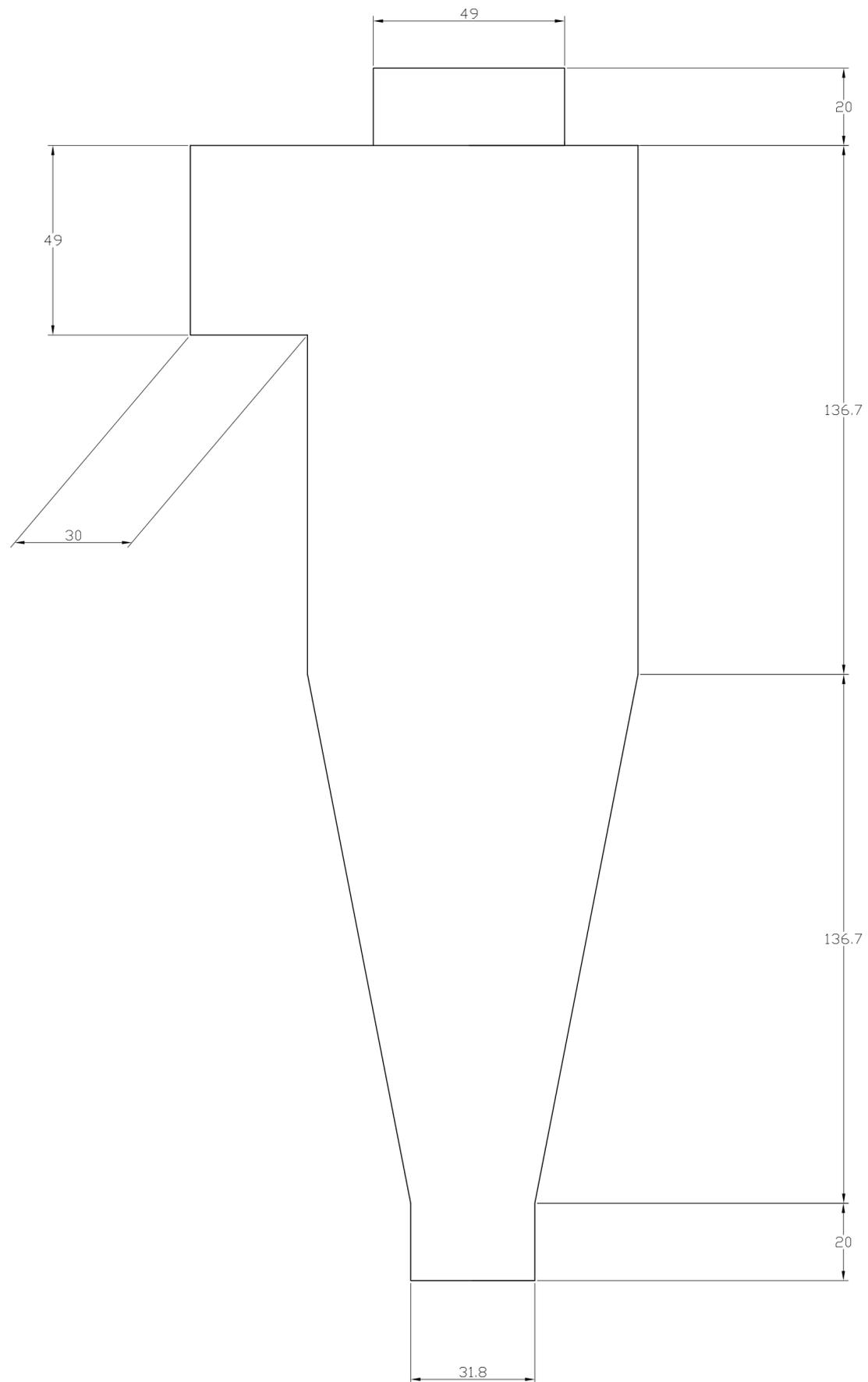
Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

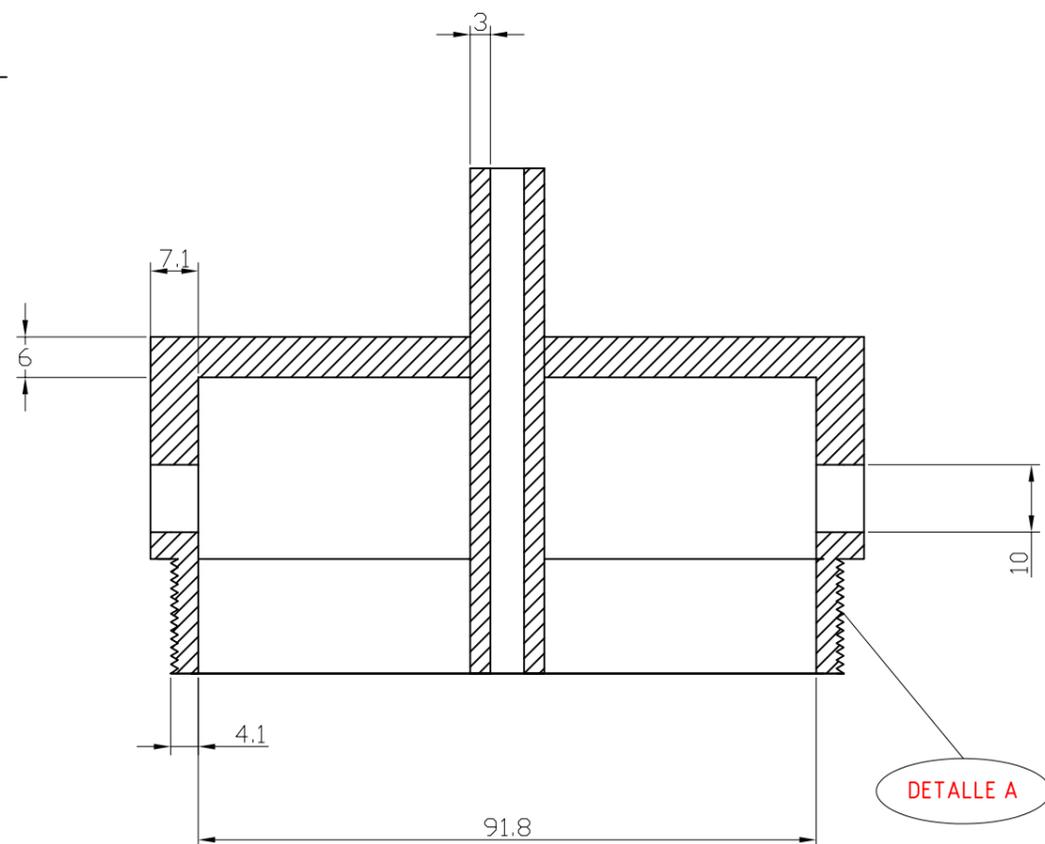
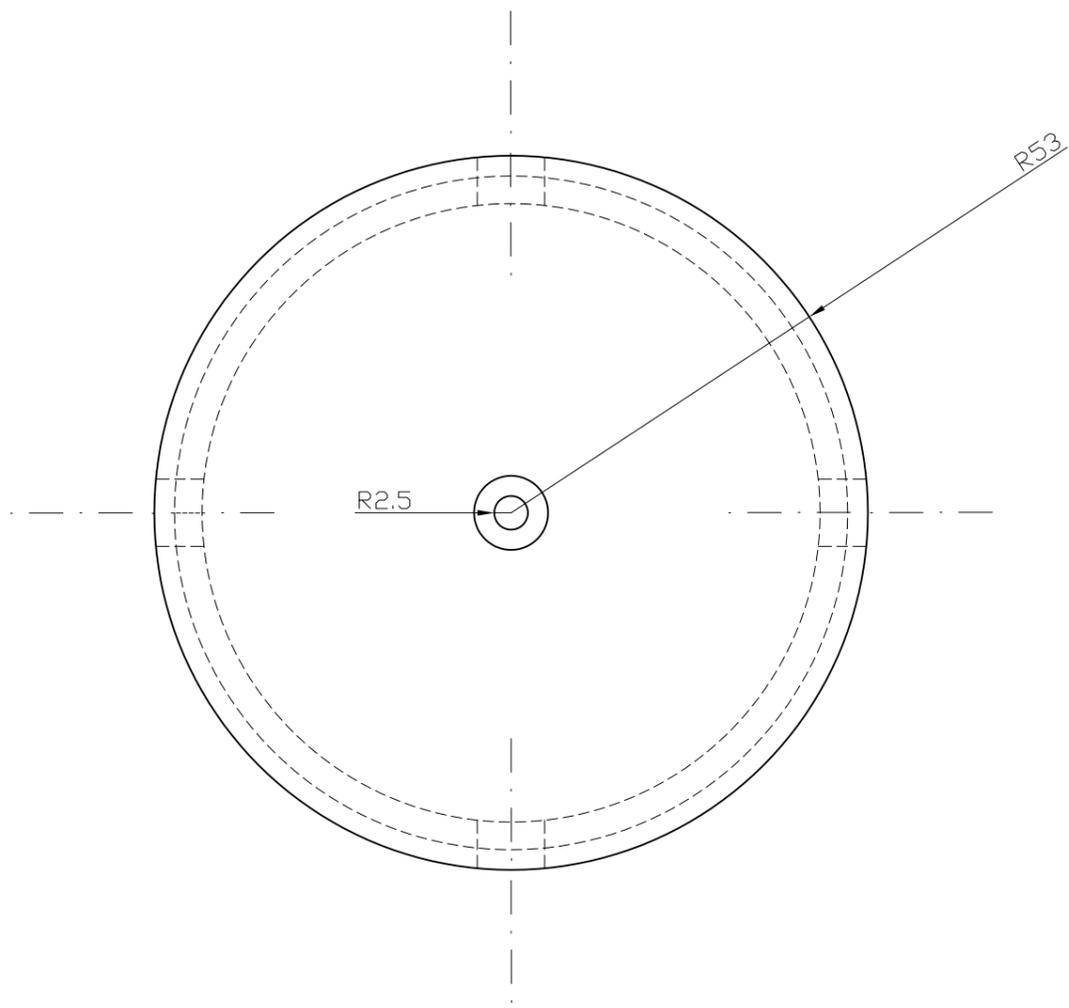
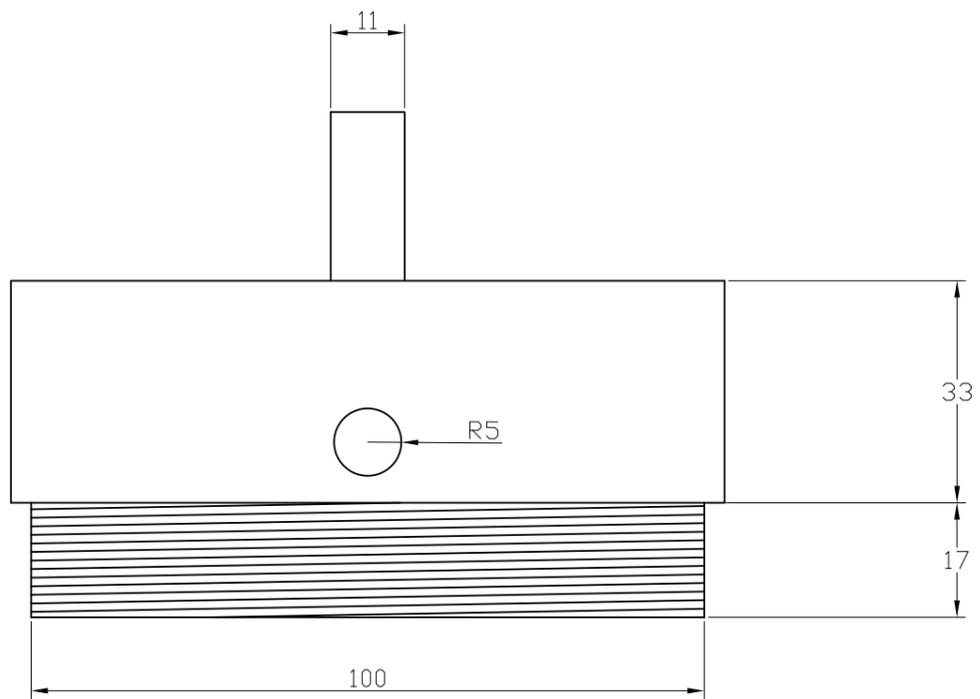
Enero 2007

ÍNDICE :

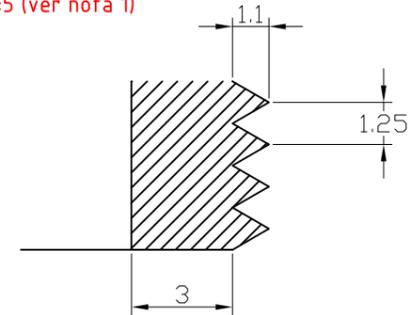
- **PLANO NÚMERO 1 : CICLÓN**
- **PLANO NÚMERO 2 : CABEZAL LÁSER SUPERIOR**
- **PLANO NÚMERO 3 : CABEZAL LÁSER INFERIOR**
- **PLANO NÚMERO 4 : COMPONENTES INTERNOS DEL CABEZAL
LÁSER**
- **PLANO NÚMERO 5 : DIAGRAMA DE MONTAJE DEL CABEZAL
LÁSER**
- **PLANO NÚMERO 6 : DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL
SISTEMA DE GAS DE APORTE**
- **PLANO NÚMERO 7 : DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL
SISTEMA DE RECOGIDA DE PARTÍCULAS**
- **PLANO NÚMERO 8 : DIAGRAMA DEL SISTEMA COMPLETO**



ANOTACIONES			Revisión	 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	Escala 1:1	Dimensiones en mm
1	En Acero A285 Grado C	11/11/06 Daniel Pavón	Fecha		Nombre	<h1>CICLÓN</h1>
2	Fabr. según UNE153-18/22/23	11/11/06 Daniel Pavón	Dibujado	11/11/06 Daniel Pavón		
3	Conexiones Brindadas de tipo NW, según Norma ASA B.165	11/11/06 Daniel Pavón	Revisado	Aprobado		
Nº	Nota	Fecha	Nombre			Sistema de mecanizado láser de materiales
						Nº PLANO
						1



DETALLE A , Escala 1:5 (ver nota 1)



ANOTACIONES			Revisión		Escala 1:1 Dimensiones en mm	
1	Rosca Macho M10	14/11/06	Daniel Pavón	Fecha	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
2	Fabr. según UNE153-18/22/23	14/11/06	Daniel Pavón	Dibujado	Daniel Pavón	
3	En acero ASTM A351gr.CFBM	14/11/06	Daniel Pavón	Revisado		
						CABEZAL LÁSER SUPERIOR
Sistema de mecanizado láser de materiales						
						2

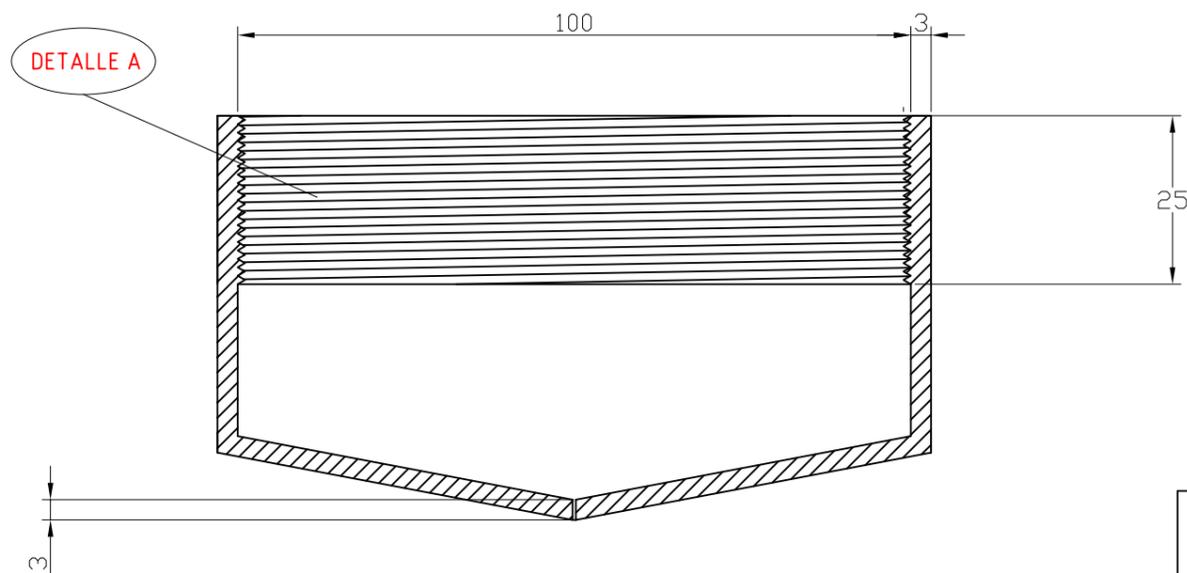
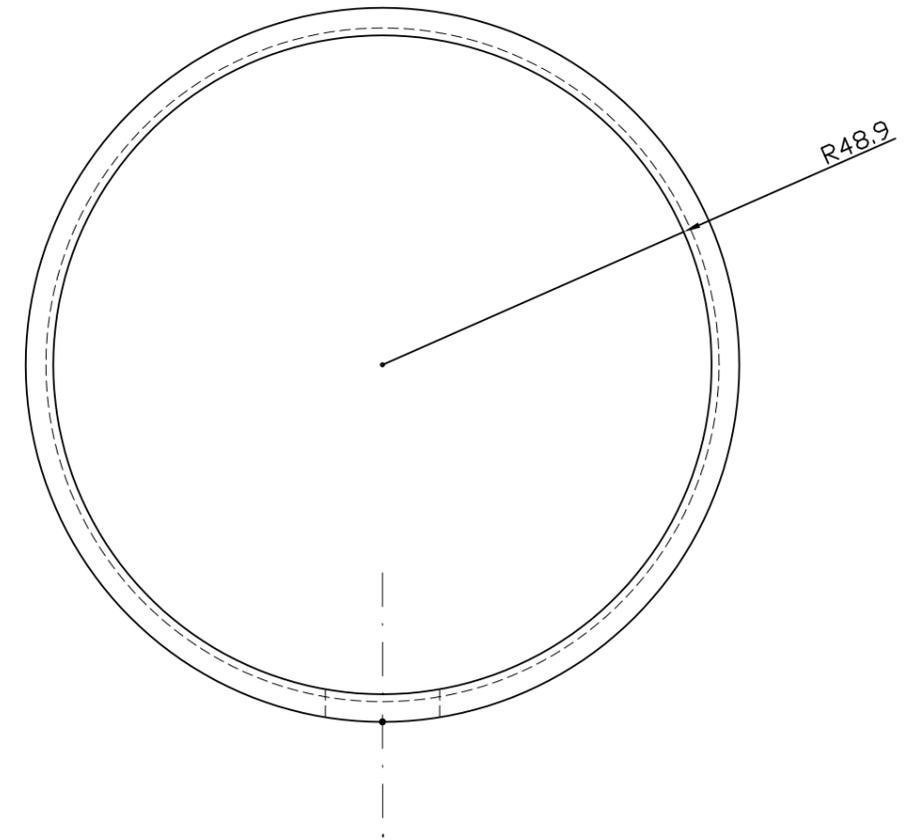
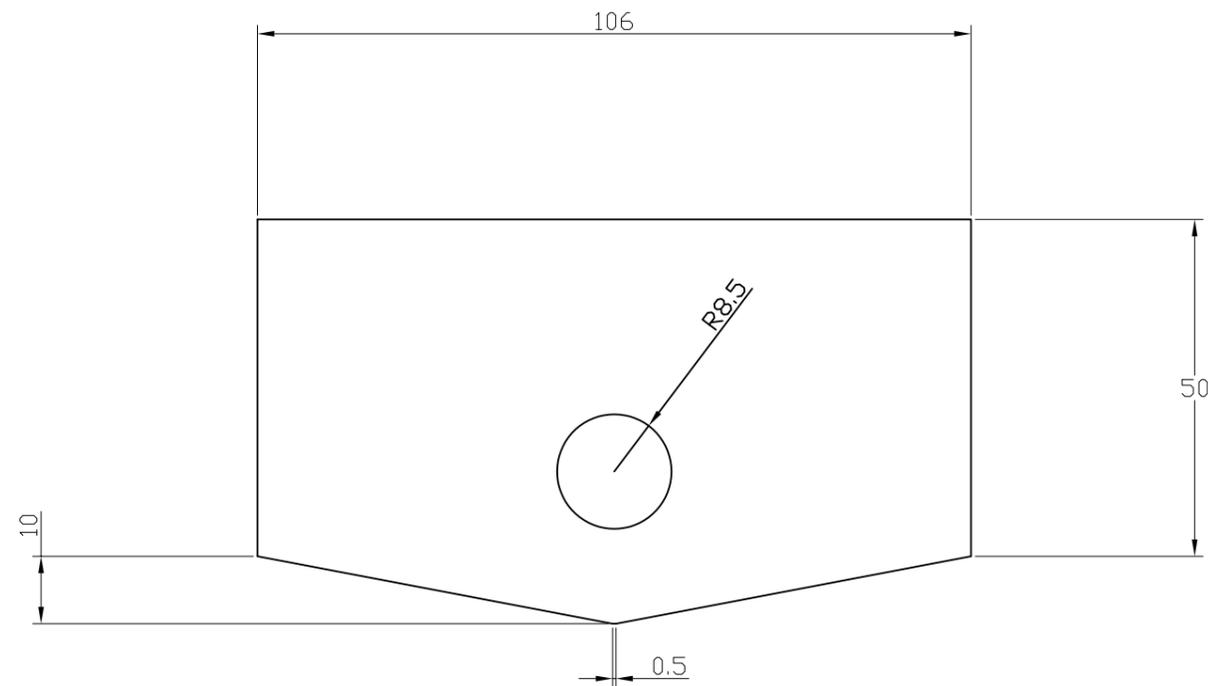


UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

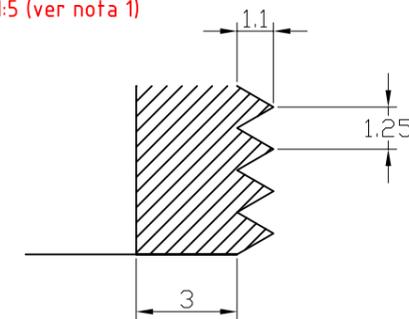
CABEZAL LÁSER SUPERIOR

Sistema de mecanizado láser de materiales

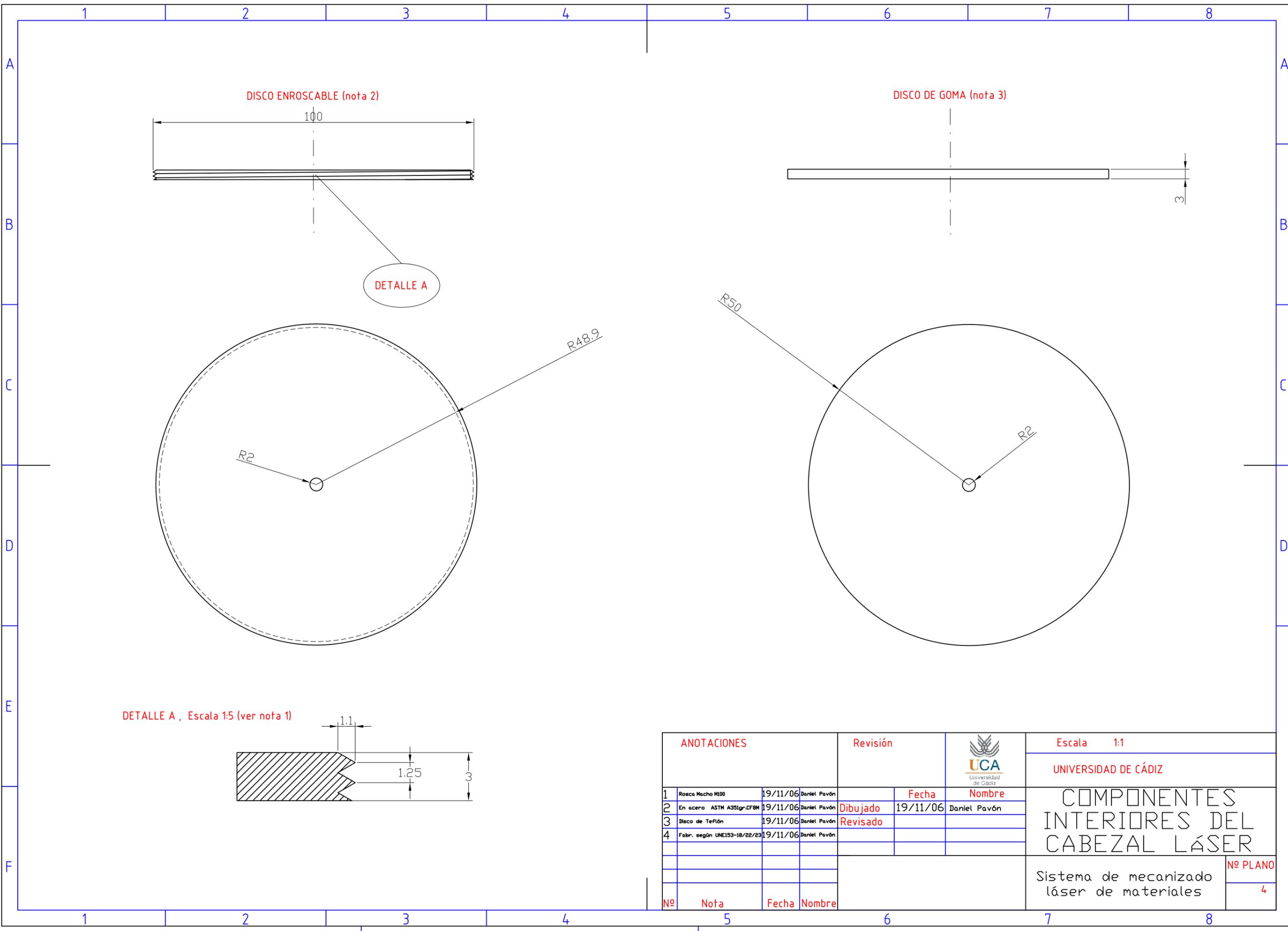
Nº PLANO 2



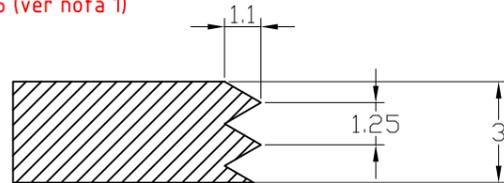
DETALLE A , Escala 1:5 (ver nota 1)



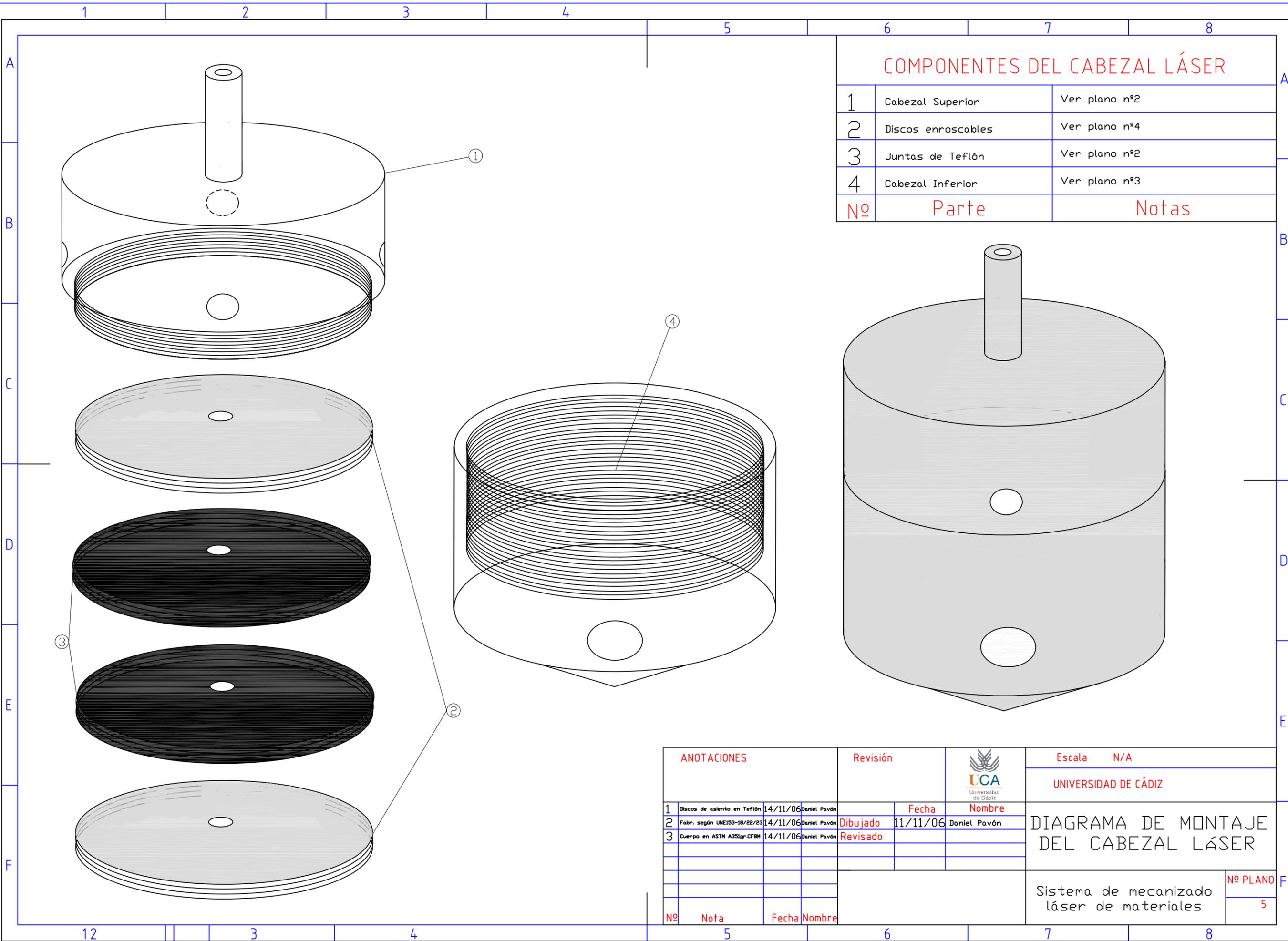
ANOTACIONES				Revisión		 UCA Universidad de Cádiz	Escala 1:1 Dimensiones en mm	
1	Rosca Hembra M10	17/11/06	Daniel Pavón	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	
2	Fabr. según UNE153-18/22/23	17/11/06	Daniel Pavón	Dibujado	17/11/06	CABEZAL LÁSER INFERIOR		
3	En acero ASTM A351gr.CF8M	17/11/06	Daniel Pavón	Revisado		Sistema de mecanizado láser de materiales		
								Nº PLANO
								3
Nº	Nota	Fecha	Nombre					



DETALLE A , Escala 1:5 (ver nota 1)



ANOTACIONES				Revisión		 UCA Universidad de Cádiz	Escala 1:1	
1	Rosca Macho M100	19/11/06	Daniel Pavón				UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	
2	En acero ASTM A351Gr.CF8M	19/11/06	Daniel Pavón	Dibujado	19/11/06	COMPLEMENTOS INTERIORES DEL CABEZAL LÁSER		
3	Disco de Teflón	19/11/06	Daniel Pavón	Revisado				
4	Fabr. según UNE153-18/22/23	19/11/06	Daniel Pavón					
						Sistema de mecanizado láser de materiales		Nº PLANO
								4
Nº	Nota	Fecha	Nombre					



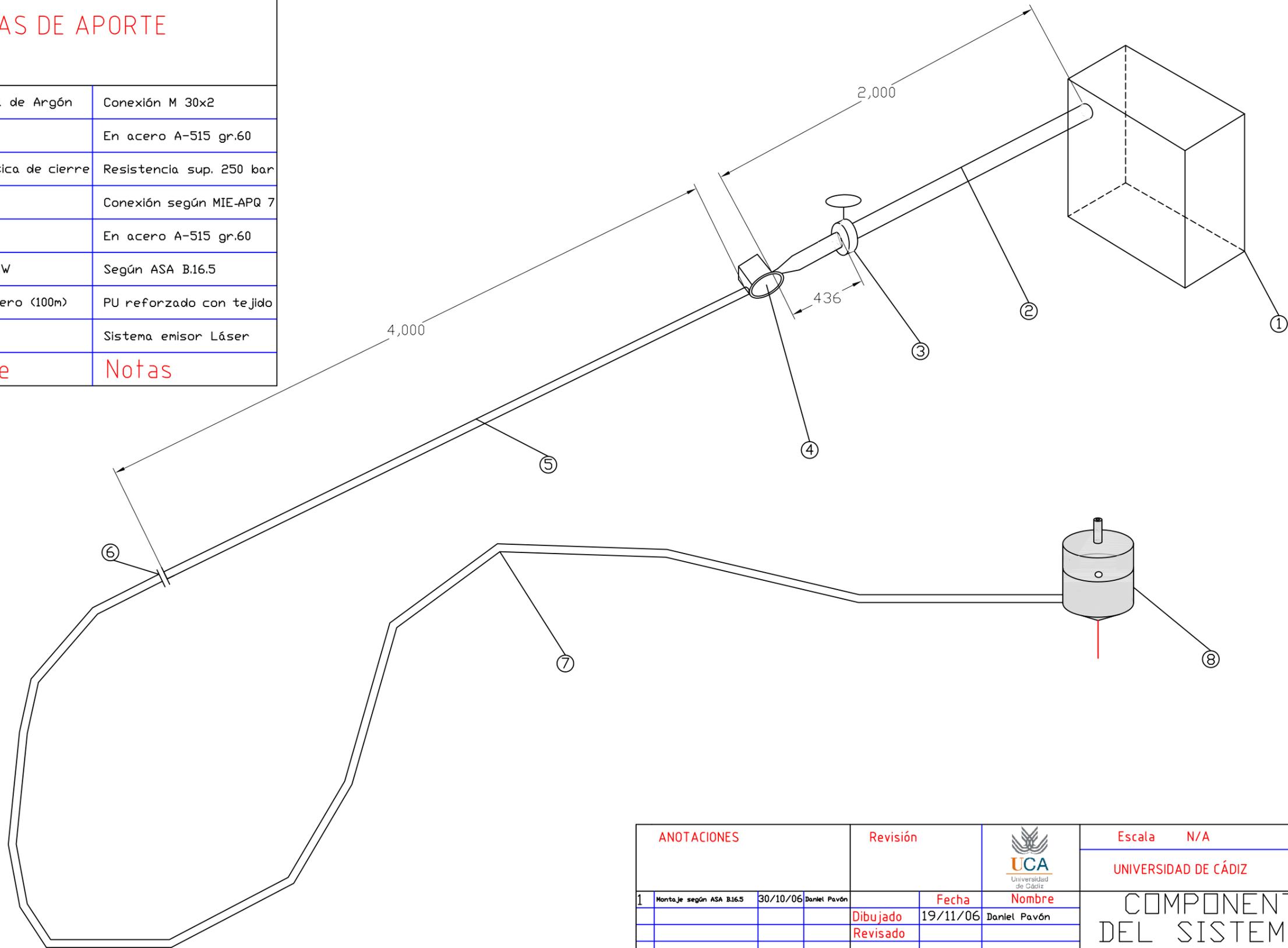
COMPONENTES DEL CABEZAL LÁSER

1	Cabezal Superior	Ver plano nº2
2	Discos enrosables	Ver plano nº4
3	Juntas de Teflón	Ver plano nº2
4	Cabezal Inferior	Ver plano nº3
Nº	Parte	Notas

ANOTACIONES			Revisión		Escala N/A
					UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
1	Discos de asiento en Teflón	14/11/06	Daniel Pavón	Fecha	Nombre
2	Fabr. según UNE153-18/22/23	14/11/06	Daniel Pavón	Dibujado	11/11/06 Daniel Pavón
3	Cuerpo en ASTM A331gr.CFBH	14/11/06	Daniel Pavón	Revisado	
					DIAGRAMA DE MONTAJE DEL CABEZAL LÁSER
					Sistema de mecanizado láser de materiales
					Nº PLANO 5
Nº	Nota	Fecha	Nombre		

COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS DE APORTE

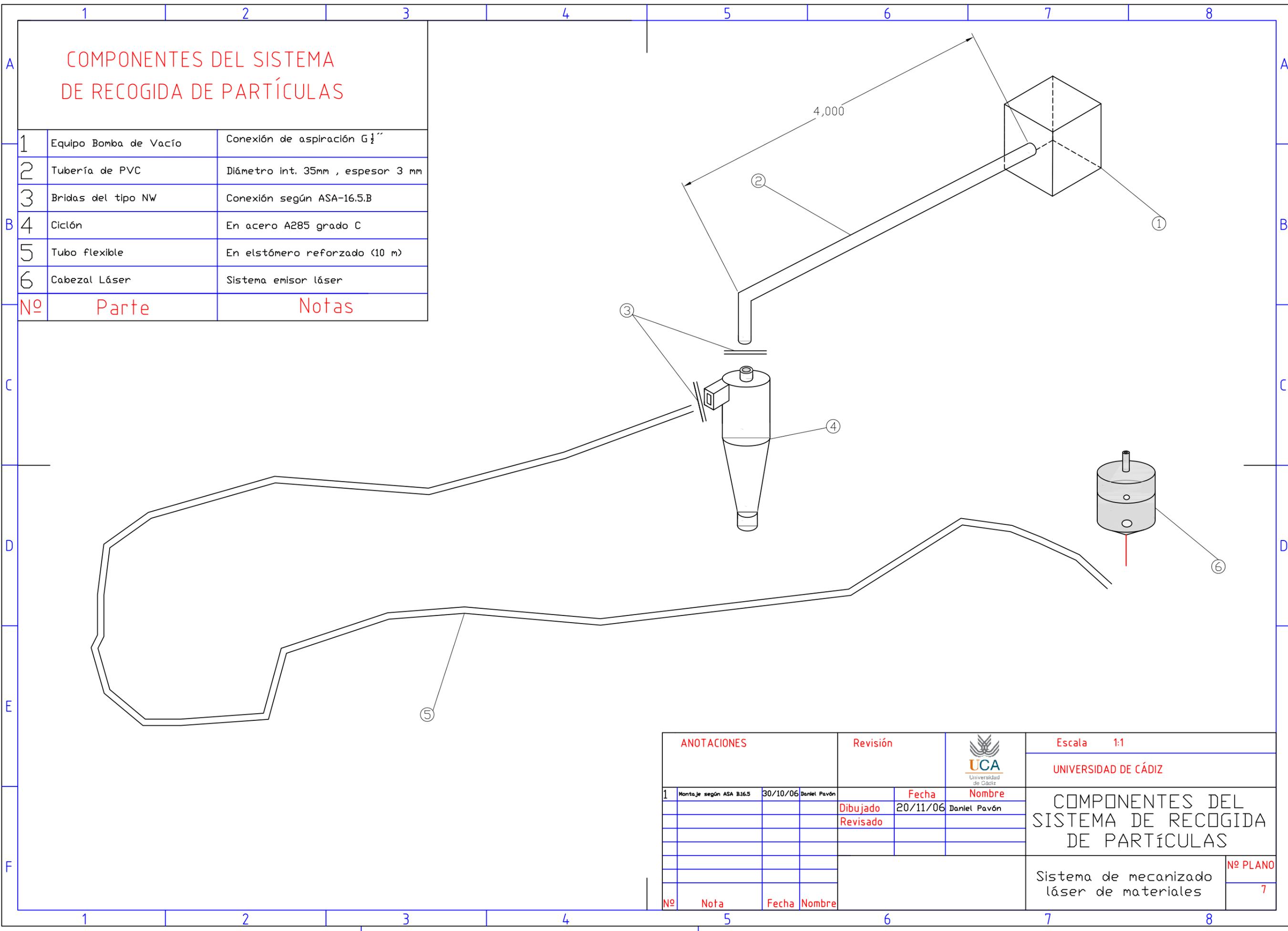
1	Bloque comercial de Argón	Conexión M 30x2
2	Tubería ND 30	En acero A-515 gr.60
3	Válvula automática de cierre	Resistencia sup. 250 bar
4	Manorreductor	Conexión según MIE-APQ 7
5	Tubería ND 10	En acero A-515 gr.60
6	Brida del tipo NW	Según ASA B.16.5
7	Tubo de elastómero (100m)	PU reforzado con tejido
8	Cabezal Láser	Sistema emisor Láser
Nº	Parte	Notas



ANOTACIONES				Revisión	 UCA Universidad de Cádiz	Escala	N/A
						UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS DE APORTE
1	Montaje según ASA B.16.5	30/10/06	Daniel Pavón	Fecha	Nombre	Sistema de mecanizado láser de materiales	
				Dibujado	19/11/06	Daniel Pavón	
				Revisado			
Nº	Nota	Fecha	Nombre				Nº PLANO
							6

COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECOGIDA DE PARTÍCULAS

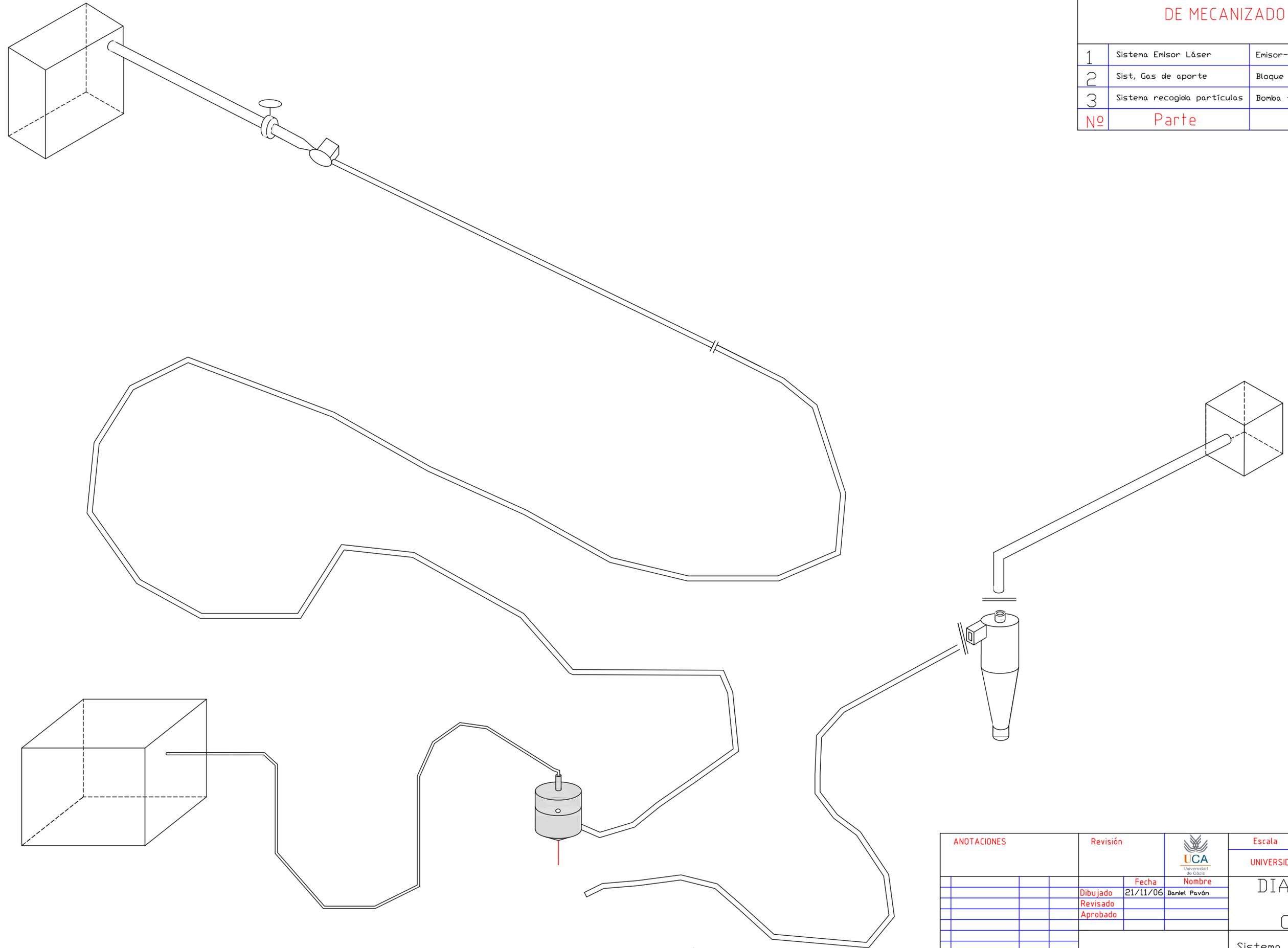
1	Equipo Bomba de Vacío	Conexión de aspiración G 1/2"
2	Tubería de PVC	Diámetro int. 35mm , espesor 3 mm
3	Bridas del tipo NW	Conexión según ASA-16.5.B
4	Ciclón	En acero A285 grado C
5	Tubo flexible	En elastómero reforzado (10 m)
6	Cabezal Láser	Sistema emisor láser
Nº	Parte	Notas



ANOTACIONES				Revisión	 UCA Universidad de Cádiz	Escala 1:1
1 Montaje según ASA B16.5				30/10/06 Daniel Pavón		Fecha
					20/11/06 Daniel Pavón	COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECOGIDA DE PARTÍCULAS
						Sistema de mecanizado láser de materiales
Nº	Nota	Fecha	Nombre			Nº PLANO
						7

COMPONENTES DEL SISTEMA DE MECANIZADO LÁSER

1	Sistema Emisor Láser	Emisor-Fibra óptica-Cabezal
2	Sist. Gas de aporte	Bloque de gas- Conexiones- Cabezal
3	Sistema recogida partículas	Bomba - Conexión- Ciclón- Aspiración
Nº	Parte	Notas



ANOTACIONES		Revisión	 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	Escala N/A	
		Fecha		Nombre	DIAGRAMA DEL SISTEMA COMPLETO
		Dibujado	21/11/06	Daniel Pavón	
		Revisado			
		Aprobado			
Nº	Nota	Fecha	Nombre	Sistema de mecanizado láser de materiales	
				Nº PLANO	
				8	

ESTADO DE MEDICIONES Y

PRESUPUESTO

“Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)”

Departamento :

“Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica”

Tutores del proyecto :

Dra. M. Pilar Villar Castro

Dr. Antonio J. García Fuentes

Daniel Pavón Fuentes

Enero 2007

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

ÍNDICE :

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- ADQUISICIONES.....	3
2.1.-Equipos.....	3
2.2.-Tuberías y accesorios.....	4
3.- MONTAJE INDUSTRIAL.....	7
4.- PRESUPUESTO TOTAL.....	8

1.-INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo del proyecto se realizará el estudio económico del costo que supone la implantación de nuestro sistema proyectado, el cual incluirá aquellos elementos que componen y definen nuestra instalación.

Dicho presupuesto estará conformado por dos grupos principalmente, el primero de ellos de adquisición de los elementales necesarios en nuestro sistema y un segundo apartado en el que incluiremos los gastos derivados del montaje y puesta punto de la propia instalación.

Finalmente, indicar que una vez obtenido este presupuesto básico, se le debe añadir un serie de términos, destinados a completar el estudio económico de la implantación del sistema de mecanizado láser, siendo estos términos los que exponemos a continuación :

- Imprevistos, destinado a solventar los gastos originados por causas independientes del diseño de la instalación.
- I.V.A. , impuesto obligatorio que ha de ser tenido en cuenta, pues los precios estipulados en los cuadros de precios vienen sin aplicárseles el mismo.
- Gastos Generales, incluidos con el fin de cubrir gastos de carácter no específicos, pero que influyen considerablemente en la inversión necesaria, tales como transporte, gestión documental, verificación de elementales, etc...

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

2.-ADQUISICIONES

	Uds.	Precio en EUROS	
		Unitario	Total
<hr/> EQUIPOS <hr/>			
Bombas			
Bomba de Vacío (Presión de vacío 150mbar // Caudal 10 m ³ /h	1	466.95	466.95
			<hr/>
			466.95
 Ópticos Láser			
Lente plana resistente a 3.5 bar	1	220	220
Lente esférica de 50 mm de distancia de focalización y resistente a 3.5 bar	1	750	750
			<hr/>
			970
 Sistema Láser			
Emisor Láser	1	55000	55000
Metros Lineales de Fibra Óptica	100	9.40	940
			<hr/>
			55940
 Ciclón			
Ciclón acero A285C Grado 60	1	575	575
	1	575	575
			<hr/>
			575

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Cabezal acero ASTM A 351 gr. CF8M

Carcasa Cabezal inferior	2	430	860
Disco enroscable	4	35	140
Junta de goma	4	12	48
Cabezal superior	1	225	225
			<hr/>
			1273

Depósito de Argón (incluido conexiones y botellas a plena carga)

Bloque de 12 botellas de Argón	1	7150	7150
			<hr/>
			7150

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Tuberías

Metros lineales de la tubería de número de diámetro 30 de Acero A-515 grado 60	2	29	58
Metros lineales de la tubería de número de diámetro 10 de Acero A-515 grado 60	4	18	72
Metros lineales de tubo flexible de material sintético PU	100	13	1300
Metros lineales de tubería de PVC reforzado con trenzado	4	9	36
Metros lineales de elastómero reforzado	10	6	60
			<hr/>
			1526

Accesorios

Codo largo de tubería de PVC reforzado con trenzado	1	10	10
Reductor 21x35 mm de PVC reforzado con trenzado	1	12	12
			<hr/>
			22

Bridas

Bridas de Número de Diámetro 30	2	10	20
Bridas de Número de Diámetro 10	2	6	12
Bridas de tramo de PVC	2	3	6
Bridas ajuste Elastómero	2	5	10
			<hr/>
			48

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Válvulas

Manorreductor con caudalímetro, (200 a

3.5 bar) y complementos	1	215	215
Electroválvula	1	90	90
			<hr/>
			305

Sensores y Controladores

Sensor de baja Presión	1	180	180
Sensor de alta Presión	1	220	220
Controlador PID (Tarjeta de adquisición de datos de 32 canales)	2	625	1250
			<hr/>
			1650

TOTAL ADQUISICIONES

69925.95

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

3.-MONTAJE INDUSTRIAL

	Uds.	Precio en EUROS	
		Unitario	Total
Montaje de tuberías			
Nº de días de trabajo del equipo competente	5	1000	5000
Soporte de tuberías	--	600	600
Pasarelas y accesos	--	150	150
Prueba hidráulica	2	3000	6000
			<hr/>
			11750
Electricidad			
Conexionado de equipos	--	400	400
Cuadros de control	--	100	100
Conexionado de instrumentación	--	1200	1200
Iluminación	--	100	100
			<hr/>
			1800
TOTAL MONTAJE INDUSTRIAL			<hr/>
			13550

Sistema de mecanizado láser de materiales compuestos (resina epoxi reforzada con fibra de carbono o fibra de vidrio) y metales (aluminio y titanio)

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

<u>4.-PRESUPUESTO TOTAL</u>	EUROS TOTALES
* ADQUISICIONES	69925.95
* MONTAJE INDUSTRIAL	13550
EJECUCIÓN DEL PROYECTO	83475.95
+ 7.5 % DE IMPREVISTOS	
TOTAL	89736.65
+ 16 % I.V.A.	
TOTAL	104094.50
+ 12 % DE GASTOS GENERALES	
TOTAL	116585.9

