

Universidad Carlos III de Madrid
Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN
DE CARRERA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL
DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE
POLVO EN UN SISTEMA DE
“LASER CLADDING”

Autor: **Javier Pérez de Benito**
Tutor: **Marco Antonio Álvarez Valenzuela**

Madrid, 8 Febrero de 2012



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN
SISTEMA DE "LASER CLADDING"



Contenido

Lista de figuras	5
Lista de tablas	7
1. Introducción	9
1.1. Objetivo del proyecto	9
1.2. Introducción teórica	10
1.2.1. Estado del Arte	10
1.2.2. Láser: definición y funcionamiento	12
1.2.3. Laser cladding	15
1.2.4. Dispensador de material de aporte.....	17
1.2.5. Láser Rofin SCx10	20
1.2.6. Robot “ABB IRB 1400”	22
2. Proceso de diseño	25
2.1. Situación inicial	25
2.2. Proceso de diseño del dispositivo suministrador de polvos	26
2.2.1. Aerógrafo BD-130E.....	28
2.3. Proceso de diseño del soporte del dispensador de polvos	32
2.3.1. Idea inicial.....	32
2.3.2. Prototipos de diseño y selección del material. Posibles alternativas	34
2.3.3. Solución elegida.....	44
3. Especificaciones de diseño	47
3.1. Dispositivo suministrador de polvos	47
3.2. Soporte	48
3.2.1. Brazo del soporte	49
3.2.2. Elemento de sujeción del dispositivo suministrador de polvos	50
4. Montaje	53
4.1. Unión brazo-estructura	53



4.2. Unión brazo-sujeción	54
4.3. Montaje	56
5. Presupuesto.....	61
6. Conclusiones.....	63
7. Trabajos futuros.....	65
8. Referencias	67
ANEXOS	71



Lista de Figuras

Figura 1.1 Vista general del sistema de <i>laser cladding</i>	9
Figura 1.2 Dispositivos con tecnología láser: impresora, ratón, lector de Dvd.	10
Figura 1.3 Primer dispositivo láser inventado por Theodore Maiman [6].	11
Figura 1.4 Proceso de reparación por laser cladding de un alabe de turbina [11].	11
Figura 1.5. Distintos procesos láser en función de la densidad de potencia y tiempo de interacción [16].	14
Figura 1.6 a) Laser alloying b) Laser dispersing c) Laser cladding [17]	15
Figura 1.7 Proceso esquematizado de laser cladding con inyección de polvo con tobera lateral [26].	15
Figura 1.8 Proceso esquematizado de laser cladding con inyección de polvo con tobera coaxial [27][28].	16
Figura 1.9 Distintos cordones de <i>cladding</i> [21].	17
Figura 1.10 [23] a) Alimentación por alambre. b) Inyección por polvo.	18
Figura 1.11 Tobera lateral [23].	19
Figura 1.12 Múltiple tobera lateral [23].	19
Figura 1.13 Tobera coaxial [23][24].	20
Figura 1.14 Láser Rofin SCx10 [22].	20
Figura 1.15 Principio de funcionamiento del SCx10 [22].	21
Figura 1.16 Interior del láser Rofin SCx10 [22].	21
Figura 1.17 Robot ABB IRB 1400 con base para soporte de la pieza.	22
Figura 1.18 Robot ABB IRB 1400 [25].	22
Figura 1.19 Área de trabajo y diagrama de carga del ABB IRB 1400 [25].	23
Figura 2.1 a) Pistola de pintura. b) Aerógrafo.	26
Figura 2.2 Dispersión de pintura en una pistola de pintura.	27
Figura 2.3 Aerógrafo BD-130E.	28
Figura 2.4 a) Despiece del aerógrafo BD-130E [29].	28
Figura 2.5 Funcionamiento de un aerógrafo.	29
Figura 2.6 Dremel montada sobre soporte.	30



Figura 2.7 Representación de la columna hueca formada entre el polvo del depósito.	31
Figura 2.8 Aerógrafo con el depósito aumentado.	31
Figura 2.9 Representación de la situación inicial.	32
Figura 2.10 Imagen de la situación inicial.	33
Figura 2.11 Idea inicial.	33
Figura 2.12 Perfiles de aluminio.	34
Figura 2.13 Perfil en T.	35
Figura 2.14 Perfil en doble T.	35
Figura 2.15 Perfil en U.	35
Figura 2.16 Tubo rectangular.	36
Figura 2.17 Perfil Nikai.	36
Figura 2.18 Configuración de la unión con perfil Nikai.	37
Figura 2.19 Unión brazo-sujeción con carrito.	38
Figura 2.20 Unión brazo-sujeción con ranuras.	39
Figura 2.21 Unión brazo-estructura con ranuras.	39
Figura 2.22 Unión brazo sujeción con múltiples agujeros.	40
Figura 2.23 Unión brazo-estructura con giro.	40
Figura 2.24 Giro del brazo.	41
Figura 2.25 a) Mordaza. b) Pinza.	41
Figura 2.26 Mordaza.	42
Figura 2.27 Diferentes mordazas.	42
Figura 2.28 Mordaza con una rótula.	43
Figura 2.29 Mordaza con dos rótulas.	43
Figura 2.30 Configuración del brazo elegida.	44
Figura 2.31 Unión brazo-estructura perfil doble T.	45
Figura 2.32 Unión brazo-estructura: a) Perfil en T. b) Perfil en U.	46
Figura 2.33 Solución elegida.	46
Figura 3.1 Aerógrafo BD-130E.	47
Figura 3.2 Diseño del dispositivo suministrador de polvo.	48
Figura 3.3 Soporte del dispositivo suministrador de polvo.	48



Figura 3.4 Diseño del brazo del soporte.	49
Figura 3.5 Brazo del soporte.	49
Figura 3.6 Soporte comercial para GPS.	50
Figura 3.7 Componentes del elemento de sujeción.	51
Figura 3.8 Explosionado elemento de sujeción.	51
Figura 4.1 Representación unión brazo-estructura.	53
Figura 4.2 Unión brazo-estructura.	54
Figura 4.3 Posicionamiento de la base de la sujeción.	54
Figura 4.4 Representación unión brazo-sujeción.	55
Figura 4.5 Unión brazo-sujeción.	55
Figura 4.6 Detalle de montaje; unión brazo-estructura, unión brazo-sujeción.	56
Figura 4.7 Representación del montaje (1).	56
Figura 4.8 Representación del montaje (2).	57
Figura 4.9 Vista general del montaje (1).	57
Figura 4.10 Vista general del montaje (2).	58
Figura 4.11 Imagen detallada del montaje (1).	58
Figura 4.12 Imagen detallada del montaje (2).	59
Figura 4.13 Colocación del manómetro. Se puede observar como la presión es ligeramente inferior a 5 bar.	59
Figura 4.14 Vista general del sistema (con manómetro).	60
Figura 4.15 Detalle del montaje del manómetro.	60

Lista de tablas

Tabla 1.1 Especificaciones del láser Rofin SCx10 [22].	21
Tabla 5.1 Presupuesto	61



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN
SISTEMA DE "LASER CLADDING"



1. Introducción

1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el diseño y la construcción del dispositivo suministrador de material de aporte en un sistema de *laser cladding* para materiales cerámicos.

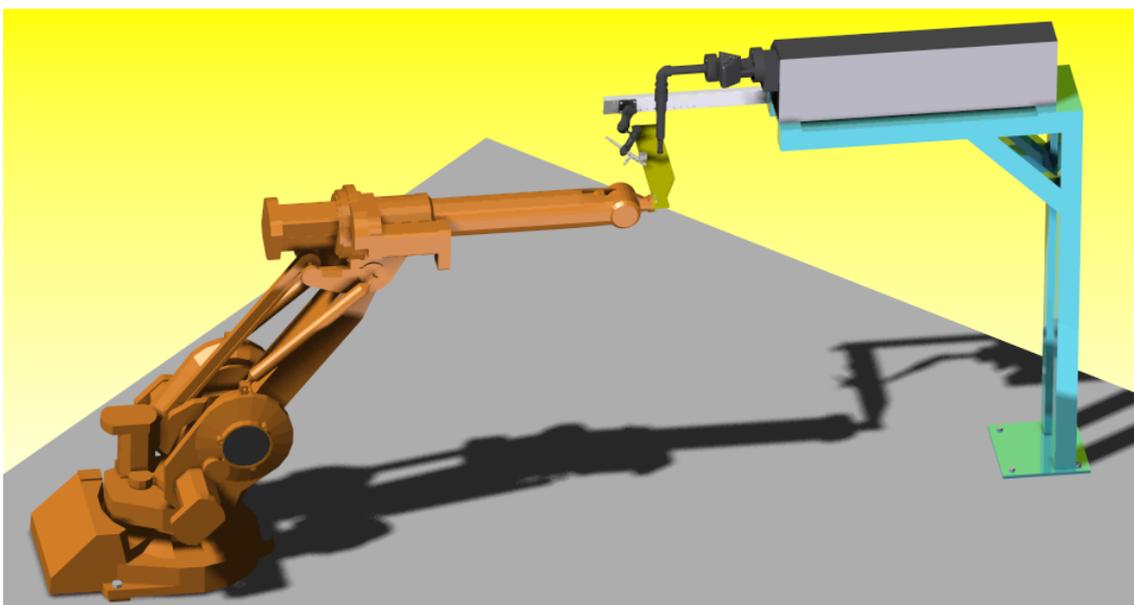


Figura 1.1 Vista general del sistema de *laser cladding*.



1.2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La traducción literaria del concepto de *cladding* es revestimiento, esto es, recubrir una superficie de un determinado material con otro. Más adelante realizaremos una definición en más profundidad dentro del ámbito en que nos encontramos.

Para llevar a cabo este proyecto emplearemos un láser Rofin SCx10 y un robot ABB IRB 1400, ambos disponibles en el laboratorio, y que unidos al dispositivo suministrador de polvo, que diseñaremos y construiremos, constituirán el sistema de *laser cladding*.

1.2.1. Estado del Arte

En la actualidad la tecnología láser se encuentra en una infinidad de elementos en nuestras vidas, desde aquellos tan cotidianos como lectores de Cd o Dvd, impresoras o lectores de códigos de barras, hasta los empleados en medicina (cirugías láser) o aquellos empleados en la industria, que permiten cortar, soldar, realizar tratamientos superficiales o recubrimientos.



Figura 1.2 Dispositivos con tecnología láser: impresora, ratón, lector de Dvd.

En 1917 Albert Einstein predijo la existencia de la emisión estimulada de radiación basándose en la ley de radiación de Max Planc [1], pero no fue hasta 1960 cuando Theodore Maiman realizó la primera emisión láser [2], llevada a cabo mediante un cristal de rubí. Este hecho supone el origen de esta tecnología tan versátil y permitió dar respuesta a muchos problemas científicos de aquella época. Una de las áreas que se vio beneficiada con este invento fue la del procesamiento de materiales, la cual se desarrolló rápidamente en los años setenta con la mejora en los equipos láser y el aumento de la potencia y eficiencia de estos. Particularmente, con el desarrollo de Kumar Patel, en 1964, del láser de CO₂ de alta potencia [3], que propicia que se comenzara a usar la tecnología láser para cortar, soldar y endurecer metales. A finales de los setenta, Daniel S. Gnanamuthu comenzó a estudiar la posibilidad de realizar



tratamientos de endurecimiento superficial con láser [4], pero no fue hasta 1980 que esta tecnología comenzó a adoptarse en la industria, como un método para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste [1][5].



Figura 1.3 Primer dispositivo láser inventado por Theodore Maiman [6].

El constante desarrollo de la tecnología láser de alta potencia se traduce en un aumento de la aplicación industrial de tratamientos superficiales láser. Hoy en día complejos componentes como álabes de turbinas o válvulas de motores son procesados de esta manera [7][8][9].

Mediante los tratamientos de superficie con láser, junto con la utilización de sistemas de control numérico, se pueden realizar variadas aplicaciones, tales como recubrir grandes áreas sometidas a desgaste o corrosión, reparación de elementos dañados o con fallas de fábrica, prototipado rápido o fabricación de matrices [1][10].

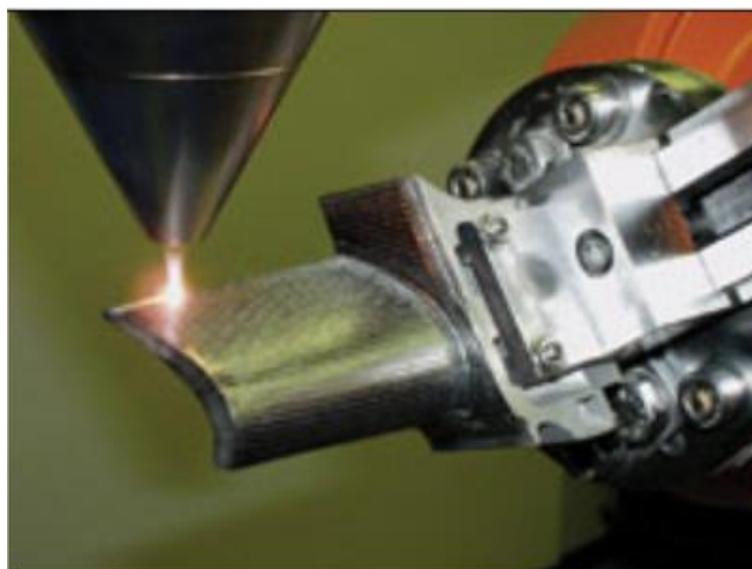


Figura 1.4 Proceso de reparación por laser cladding de un alabe de turbina [11].



Sin embargo, pese a las ventajas que puede aportar a la industria el láser, su uso aun no está del todo generalizado debido al alto coste implicado: equipos láser, equipos de posicionamiento, dispositivos de suministro de material de aporte. Además es necesaria la utilización de control numérico para asegurar la precisión y la repetitividad del proceso [12].

1.2.2. Láser: definición y funcionamiento

El acrónimo LASER proviene del inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa esencialmente un haz de energía electromagnética coherente, convergente y monocromático, con longitudes de onda desde el ultravioleta al infrarrojo. Puede entregar potencias desde pocos vatios (punteros láser) hasta cercanas a 100 kW focalizado en una pequeña área, con un tiempo de interacción de entre 10^{-3} y 10^{-5} segundos en cualquier sustrato y a través de cualquier medio gaseoso. La diferencia del láser con respecto a las otras formas de radiaciones electromagnéticas es principalmente la coherencia temporal y espacial, que le otorga su capacidad para propagarse por una línea recta [1].

El fenómeno físico del láser se basa en la mecánica cuántica. En un átomo o molécula, los electrones al experimentar una transición energética entre dos estados permitidos, absorben o emiten un fotón de energía radiante proporcional a la diferencia de energías entre los dos estados.

En el modelo de láser se distinguen tres procesos elementales:

- *Absorción estimulada*: Un átomo o molécula de baja energía, absorbe un fotón y se produce una transición electrónica, situándose en un estado de mayor energía (menos negativa).
- *Emisión Espontánea*: Un átomo o molécula excitada emite un fotón, produciendo una transición electrónica, reduciendo su energía (más negativa).
- *Emisión Estimulada*: Un átomo o molécula excitada realiza una transición electrónica forzada por un fotón incidente, la transición libera otro fotón idéntico en fase, dirección y estado de polarización, obteniendo dos fotones con igual energía, dirección y frecuencia.

Para poder lograr una emisión láser utilizable, son necesarios tres elementos fundamentales: un medio activo compuesto por átomos y/o moléculas, un sistema óptico amplificador llamado resonador óptico y un proceso de excitación para traspasar energía a las moléculas. La emisión del haz láser, se produce por un efecto en cadena, cuyo origen se remonta a la emisión espontánea de fotones en todas direcciones producto de un cambio del nivel energético de los electrones de las moléculas o átomos



del medio activo. Este salto es originado por la estimulación de dicho medio a través de una fuente externa de energía. Los fotones así generados, viajan por el eje del sistema óptico, reaccionando con otras moléculas y generando un segundo fotón, provocando la amplificación del frente de onda electromagnético a medida que los fotones atraviesan el medio activo desplazándose dentro del resonador óptico.

El resonador óptico es básicamente un tubo con dos espejos en sus extremos. Uno de ellos, con una reflectividad total, refleja los fotones promoviendo la excitación de las moléculas y amplificando la emisión estimulada hasta llegar al extremo del resonador óptico donde se encuentra el segundo espejo, con reflectividad parcial, el cual deja salir parte de los fotones en forma de un haz láser que puede ser guiado mediante ópticas generalmente fabricadas de ZnSe, GaAs o CdTe y espejos fabricados en cobre o revestidos en oro, dada su gran reflectividad [15].

El láser más utilizado en aplicaciones industriales es el de CO₂. Funciona con una mezcla de gases a baja presión la cual se somete a una descarga eléctrica para formar un plasma. Se excita la molécula de N₂ a través de una descarga eléctrica, su energía se traspa al CO₂ en forma de colisiones entre las moléculas, aumentando de nivel energético (absorción estimulada). La molécula en estado excitado emite un fotón al reducir su energía (emisión espontánea). Dicho fotón viaja dentro de la cavidad del resonador y estimula la transición energética en otras moléculas (emisión estimulada), obteniendo fotones con igual energía, dirección y frecuencia viajando dentro del resonador [13][14].

El láser permite procesar una gran variedad de materiales mediante la aplicación de distintas técnicas de procesamiento, que varían según la cantidad de energía aportada al material. Mediante la aplicación del láser es posible trabajar el material en estado sólido, logrando calentamiento para doblar placas o producir un tratamiento térmico, conseguir un cambio de fase en cierta zona del material para realizar recubrimientos o recristalización del material base y finalmente lograr vaporización del material, para procesos de corte o perforado principalmente [16].

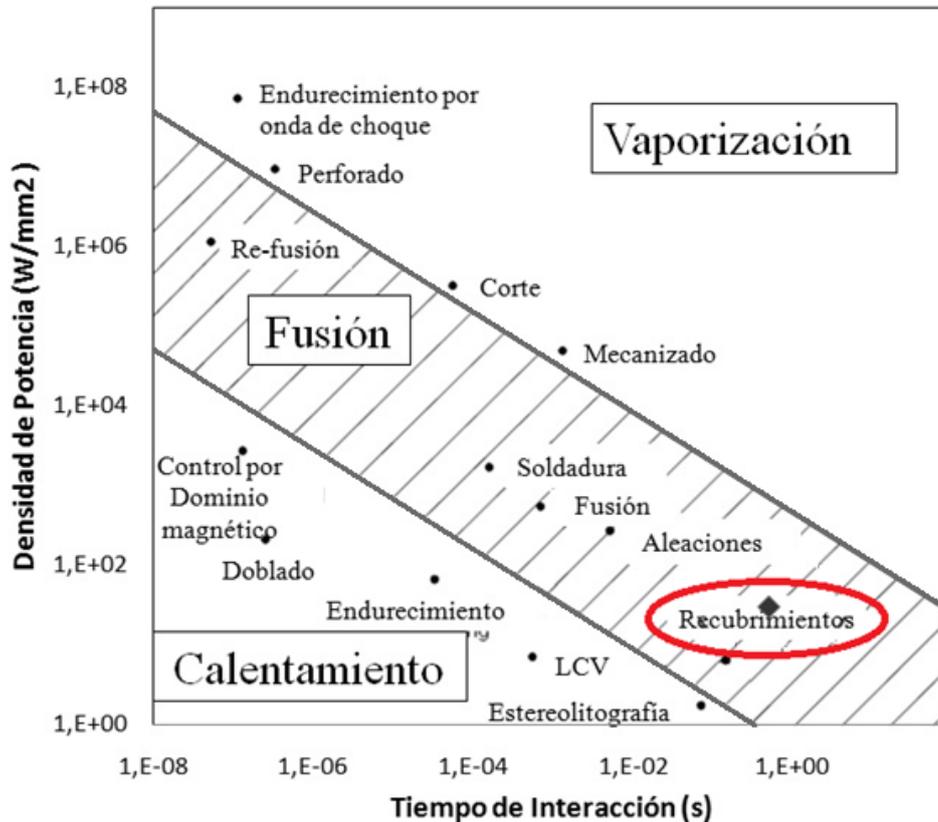


Figura 1.5. Distintos procesos láser en función de la densidad de potencia y tiempo de interacción [16].

1.2.2.1. Recubrimiento láser

Los recubrimientos láser son un tratamiento superficial con adición de material. Se distinguen tres tipos atendiendo a la mezcla resultante entre el material de aporte y el material base. Todos consisten en fundir el material de aporte y una parte del material base, pero se diferencian en los parámetros empleados, cantidad de material de aporte, velocidad relativa de desplazamiento, potencia [17].

- *Laser alloying* (aleación láser): material base y de aporte se mezclan completamente debido a la mayor difusión en estado líquido y el efecto de la convección dentro de la pileta.
- *Laser dispersing* (solución sólida con láser): se logra una solución de partículas sólidas del material de aporte en una matriz de material base fundido.
- *Laser cladding* (plaqueado láser): los dos materiales se funden completamente mediante el haz láser, pero se mezclan y reaccionan químicamente solo en la interfaz formada. En la sección transversal se diferencian tres zonas, material base fundido, mezcla y la capa superficial solo con el material de aporte fundido, que definirá las características superficiales.

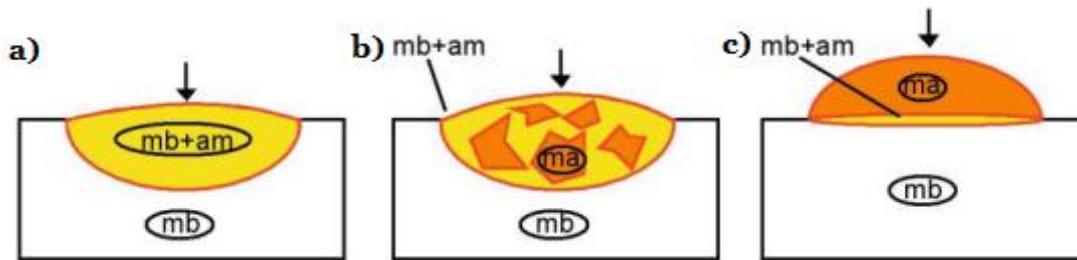


Figura 1.6 a) Laser alloying b) Laser dispersing c) Laser cladding [17]

1.2.3. Laser cladding

El proceso de *laser cladding* consiste en depositar una capa protectora de entre 0.1 y 1.5 mm sobre la superficie deseada utilizando la tecnología láser para fundir total o parcialmente el material de aporte que se desea emplear como recubrimiento, creando un cordón de dicho material sobre la superficie de trabajo. Este material se aporta normalmente mediante alimentación en forma de polvo simultáneamente al proceso de deposición. El movimiento relativo del sustrato y la fuente de haz láser permite obtener un recubrimiento de grandes superficies (mucho mayores que el diámetro del haz del láser), superponiendo parcialmente sucesivos cordones. Mediante esta tecnología se obtienen recubrimientos de materiales muy diversos, como pueden ser materiales cerámicos, cerámico-metal y metálicos [18][19][20].

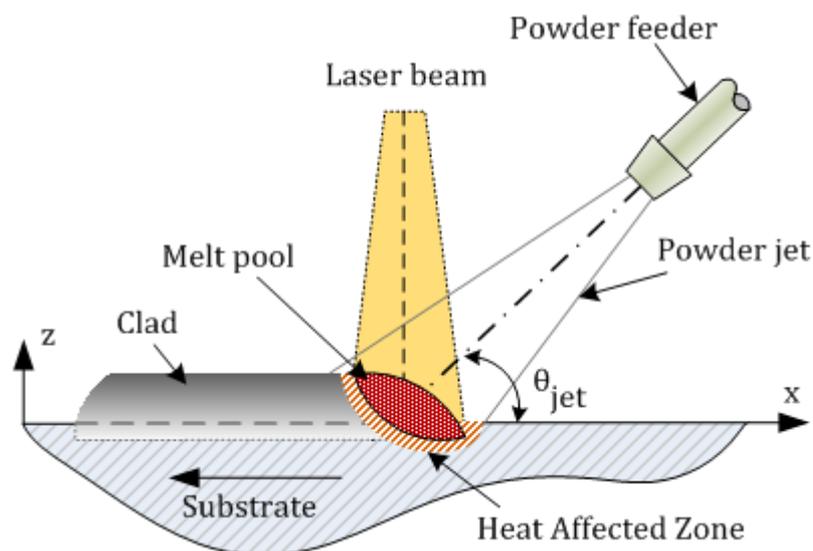


Figura 1.7 Proceso esquematizado de laser cladding con inyección de polvo con tobera lateral [26].

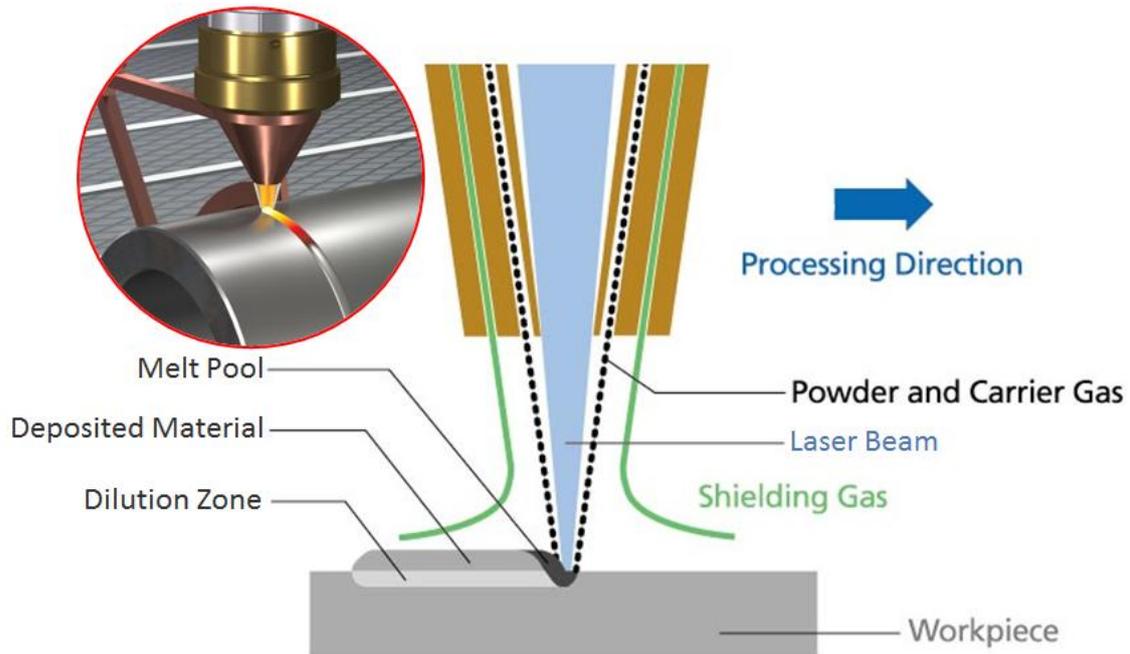


Figura 1.8 Proceso esquematizado de laser cladding con inyección de polvo con tobera coaxial [27][28].

La principal ventaja del proceso es la baja afectación térmica del sustrato a recubrir, así como la minimización de las tensiones residuales introducidas durante el proceso de recubrimiento, lo que permite recubrir un amplio espectro de sustratos difícilmente procesables mediante otras tecnologías. Además, el proceso puede ser fácilmente robotizado de manera que se puede garantizar una gran calidad del recubrimiento obtenido.

Desafortunadamente el *laser cladding* es un proceso difícil de controlar debido a las interacciones entre el haz láser, las partículas de polvo y la zona fundida. De hecho, aunque la mayoría de la energía del láser alcanza la superficie de trabajo, una fracción es captada por las partículas de polvo, calentándolas. Además solo las partículas de polvo que impacten con la zona de fusión quedaran adheridas, mientras que el resto tan solo rebotaran contra la superficie y se perderán. Otro complejo fenómeno es la variación de energía absorbida por la superficie de trabajo (esto es, ratio entre la energía disponible en la superficie de trabajo y la energía que dicha superficie de trabajo absorbe) según el tamaño de la zona de fusión. Finalmente hay que comentar que a causa de la compleja geometría del recubrimiento debajo del haz láser, es difícil predecir la energía proporcionada por dicho láser que minimiza la profundidad de la zona de fusión del elemento que se desea recubrir (ya sea la propia pieza o un cordón de un *cladding* anterior) pero que aun proporciona la suficiente como para fundir el polvo aportado.

En la siguiente imagen (Figura 1.9) podemos observar los diferentes cordones de *cladding* que se producen en una pasada, así como la superposición de dos pasadas consecutivas.



Figura 1.9 Distintos cordones de cladding [21].

Los parámetros del proceso son numerosos. Cabe destacar entre ellos las propiedades del haz del láser y la velocidad relativa de este respecto a la superficie de trabajo, la distancia entre dos cordones sucesivos, el tipo de inyector de polvo y su geometría y las propias condiciones de inyección. Todos estos parámetros están, por supuesto, altamente relacionados. Por ejemplo, cambiar el diámetro del haz del láser implica un cambio en la distancia de separación de dos cordones sucesivos. De la misma manera es posible obtener la misma altura de recubrimiento a diferentes velocidades de desplazamiento, aumentando la cantidad del polvo aportado. Por lo tanto podemos observar que alcanzar un estado óptimo es sumamente complicado.

1.2.4. Dispensador de material de aporte

Existen diferentes soluciones a la hora de suministrar el material de aporte, atendiendo a la forma física en la que se encuentre este y a la propia manera de aportarlo. De este modo se distingue entre alimentación por alambre, polvo predepositado e inyección de polvo.

En el caso de *alimentación por alambre* se aplica el material en forma de alambre mediante una guía lateral, que dirige el alambre hacia la zona de interacción en la cual es fundido por el haz láser.

La alimentación mediante *polvo predepositado* se realiza en dos fases, una primera en la que se deposita sobre la superficie deseada el material de aporte, polvo disuelto en algún tipo de líquido, formando una especie de barro. A continuación en una segunda fase el material es fundido por el láser.

Por último, en el caso de *inyección de polvo*, el material que se aporta es polvo y se suministra, al mismo tiempo que es fundido por el láser, mediante una o varias toberas laterales o coaxiales.

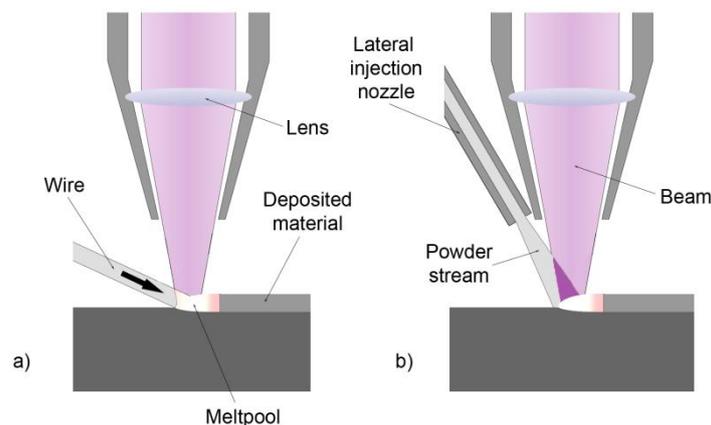


Figura 1.10 [23] a) Alimentación por alambre. b) Inyección por polvo.

1.2.4.1. Dispositivo suministrador de polvo por inyección

Comparando el uso de polvos en lugar de alambre como modo de alimentación encontramos una serie de ventajas. El polvo está compuesto de infinidad de partículas independientes que permiten una mayor reflexión de energía entre ellas, lo que propicia que la absorción de energía por parte del material de aporte sea mayor que en el caso de usar alimentación por alambre, lo cual hace más efectivos este tipo de recubrimientos. El uso de polvos aporta flexibilidad al proceso, ya que permite variaciones de concentraciones y cantidad en tiempo real, logrando un recubrimiento variable en dimensión y/o composición. A todo esto hay que sumar que actualmente existe mayor variedad de elementos de aporte en polvo que en alambre [17].

Para llevar a cabo un aporte de material mediante inyección de polvos es imprescindible contar con un dispositivo dispensador de polvo que proporcione la cantidad de polvo deseada en cada momento, manteniendo un flujo constante y continuo, con gran precisión y en el rango superficial requerido. Otro problema que se le plantea a este tipo de dispositivos es el desgaste que se produce de sus componentes a causa de la fricción con las partículas de polvo, lo que conlleva una necesidad constante de mantenimiento del mismo.

Debido a la gran variedad de polvos empleados, con propiedades muy diferentes, no es posible la utilización de un único dispositivo suministrador, sino que existen muchos tipos, clasificados de manera general según su principio de operación. Encontramos los basados en la gravedad, cuyo funcionamiento es similar a un reloj de arena. Los sistemas mecánicos, que emplean diferentes mecanismos para realizar esta función, por ejemplo, el suministrador de polvo por tornillo. Los basados en principios de los fluidos, que básicamente consisten en disolver el polvo en un fluido; este método reduce el desgaste y la manutención. Y los sistemas con alimentador por vibración, que consiste en una tolva con una serie de placas delgadas inclinadas un cierto ángulo sobre



las que se desplaza el polvo a medida que varía la frecuencia y amplitud de la vibración del dispositivo.

Pero todos ellos poseen una serie de elementos comunes: una tolva, donde almacenar el polvo; una tobera que direcciona el material de aporte; y un flujo de gas que arrastre al polvo.

La tobera es el componente encargado de dirigir el flujo de polvo que sale del dispensador, a la zona de interacción entre los materiales y el haz láser. Existen dos posibilidades, la *tobera lateral*, adecuada para el procesamiento unidireccional, y la *tobera coaxial* que permite realizar procesos omnidireccionales. En el caso de las toberas laterales es posible emplear varias de ellas desde diferentes posiciones, lo que permitirá asemejar esta configuración al caso de tener una tobera coaxial.

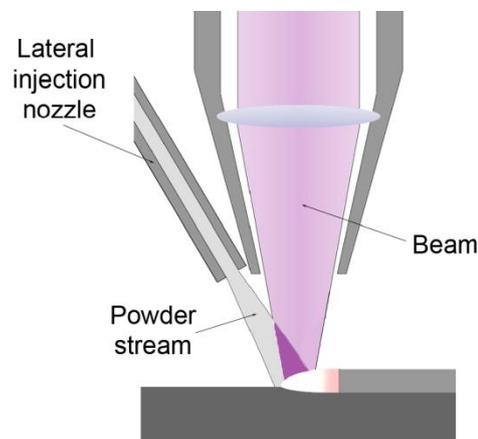


Figura 1.11 Tobera lateral [23].

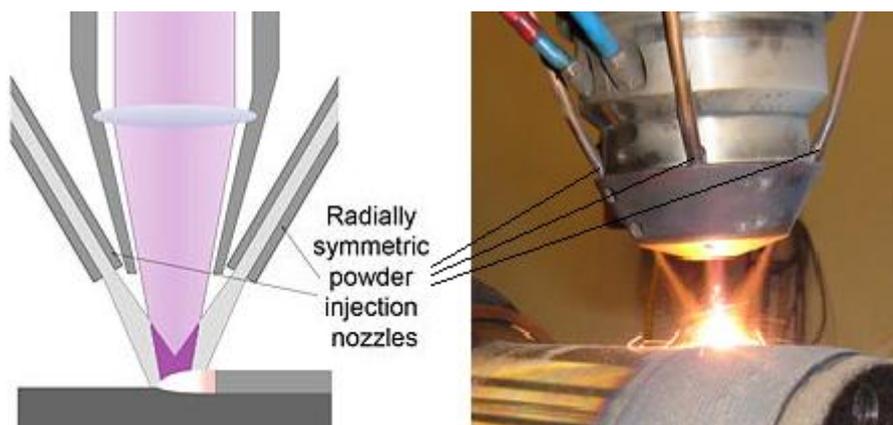


Figura 1.12 Múltiple tobera lateral [23].

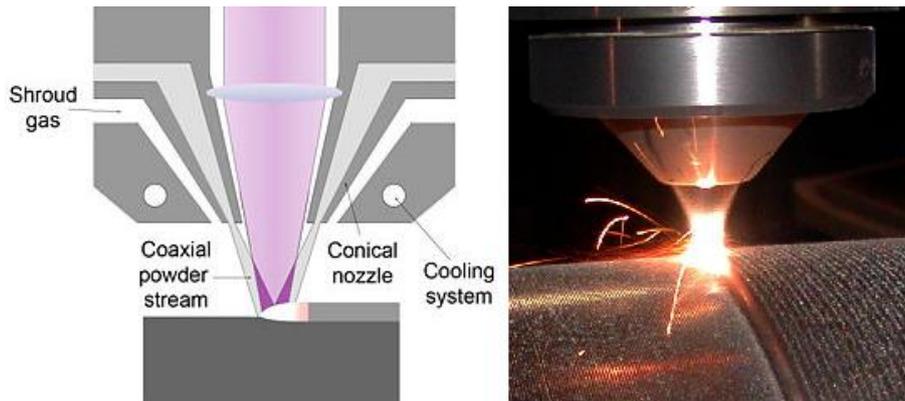


Figura 1.13 Tobera coaxial [23][24].

1.2.5. Láser Rofin SCx10

El láser *Rofin SCx10* es un láser de CO₂ sellado diseñado para marcado, corte, taladrado, soldadura o tratamientos térmicos en una gran variedad de materiales; de muy fácil integración dentro de los sistemas de procesamiento industrial [22].

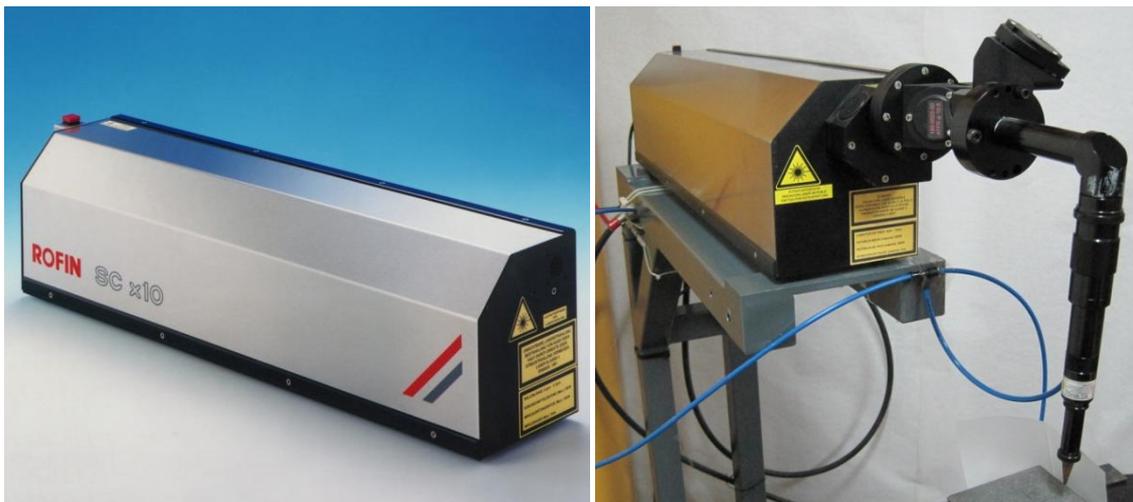


Figura 1.14 Láser Rofin SCx10 [22].

El SCx10 es un láser *slab* de CO₂ sin recirculación de gas, lo que implica una gran ventaja ya que significa que el gas no necesita ser renovado. El secreto de esta tecnología son los dos electrodos refrigerados por agua (*slabs*) que mediante alta frecuencia estimulan al gas. El resonador óptico está formado por dos espejos, delantero y trasero, y los dos electrodos. El calor generado por el gas es disipado por los electrodos refrigerados por agua, por lo que se elimina la necesidad del uso de extractores o turbinas. Se puede afirmar, aunque no sea del todo cierto, que este dispositivo láser no necesita ningún tipo mantenimiento, al no ser necesaria la renovación del gas unido a la eliminación de turbinas y extractores, los cuales son susceptibles de deterioro a causa de su uso.

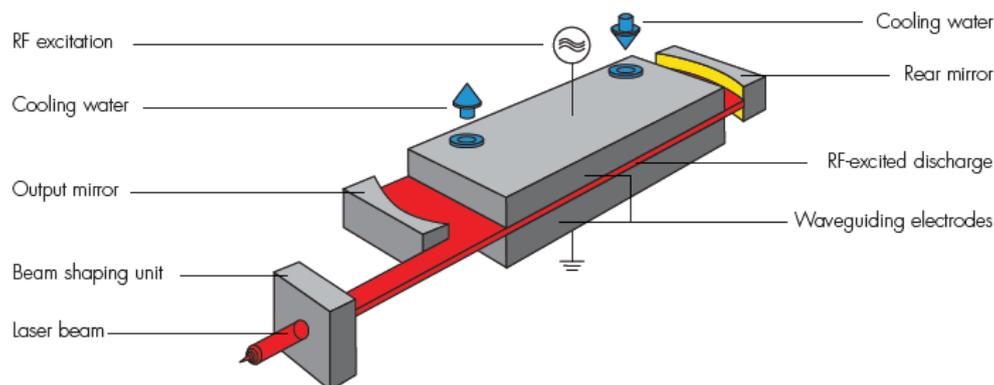


Figura 1.15 Principio de funcionamiento del SCx10 [22].

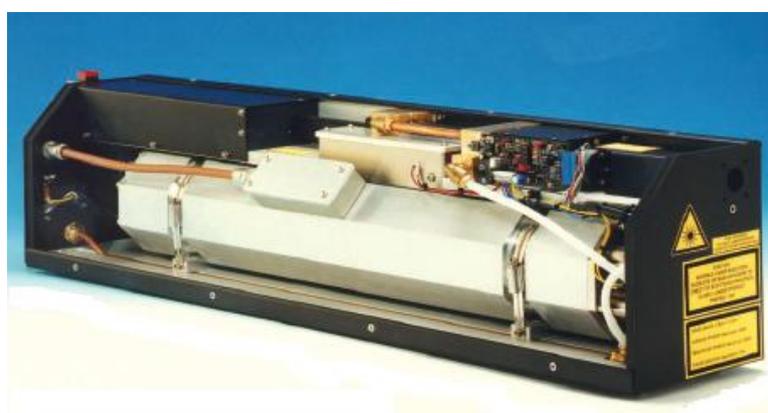


Figura 1.16 Interior del láser Rofin SCx10 [22].

Este dispositivo produce un haz láser circular de alta calidad que proporciona mayores velocidades de corte, aumenta la precisión y minimiza la zona afectada térmicamente. Sus costes de utilización son mínimos y en modo *stand-by* el consumo energético es muy bajo.

Especificaciones SCx10	
Láser	CO ₂ de sellado único, Slab
Rango de potencia	5-100W
Estabilidad	± 7%
Potencia de pico	100-240W (opción de potencia de pico disponible)
Factor de calidad del haz	K > 0.8
Polarización	Lineal, perpendicular a la base
Frecuencia	0-100kHz
Energía por impulso	Por encima de 100mJ
Voltaje	200-240V ± 10%; 50/60Hz; monofásico o bifásico
Opción trifásica	190-240V y 360-440V trifásico 50/60Hz
Diagnósticos	Interface de señal de salida

Tabla 1.1 Especificaciones del láser Rofin SCx10 [22].

Ver Anexo B. Láser Rofin SCx10.



1.2.6. Robot “ABB IRB 1400”

El movimiento relativo entre el láser y la pieza a trabajar se lleva a cabo mediante la utilización de un *robot ABB IRB 1400*. Será el encargado de transmitir el movimiento a la pieza, que se encontrará sujeta sobre una base anclada al extremo del brazo robótico.

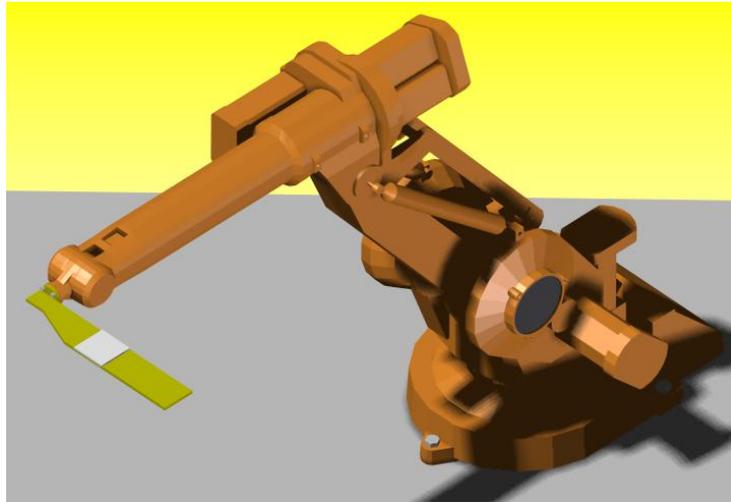


Figura 1.17 Robot ABB IRB 1400 con base para soporte de la pieza.

El IRB 1400 es un robot industrial de seis ejes diseñado específicamente para trabajos de fabricación con automatización flexible. Su estructura está especialmente adaptada para un uso flexible, dispone de cables de alimentación integrados y de agujeros roscados en el brazo superior, lo que facilita el montaje rápido y óptimo del equipo de proceso.

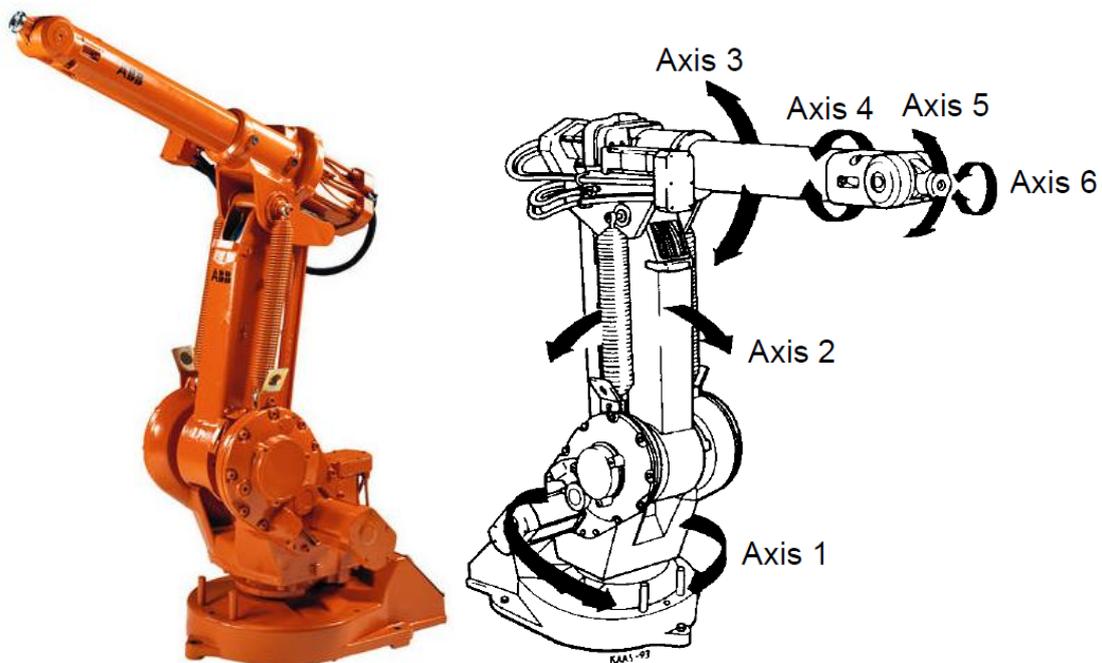


Figura 1.18 Robot ABB IRB 1400 [25].



Es económico, fiable, de diseño rígido y robusto, lo que significa un nivel bajo de ruido, intervalos de mantenimientos muy bajos y una larga vida útil. Es un robot potente, su área de trabajo llega hasta los 1.44 m y su capacidad de manipulación es de 5 Kg más una carga extra de 18 Kg sobre el brazo superior para el equipamiento del proceso. Es muy preciso y cuenta con una extraordinaria repetibilidad de la posición ($\pm 0.06\text{mm}$). Es rápido y consigue unos tiempos de ciclo reducidos. Esta precisión y rapidez son debidas a su robusto diseño y a que está equipado con el sistema operativo llamado BaseWare OS.

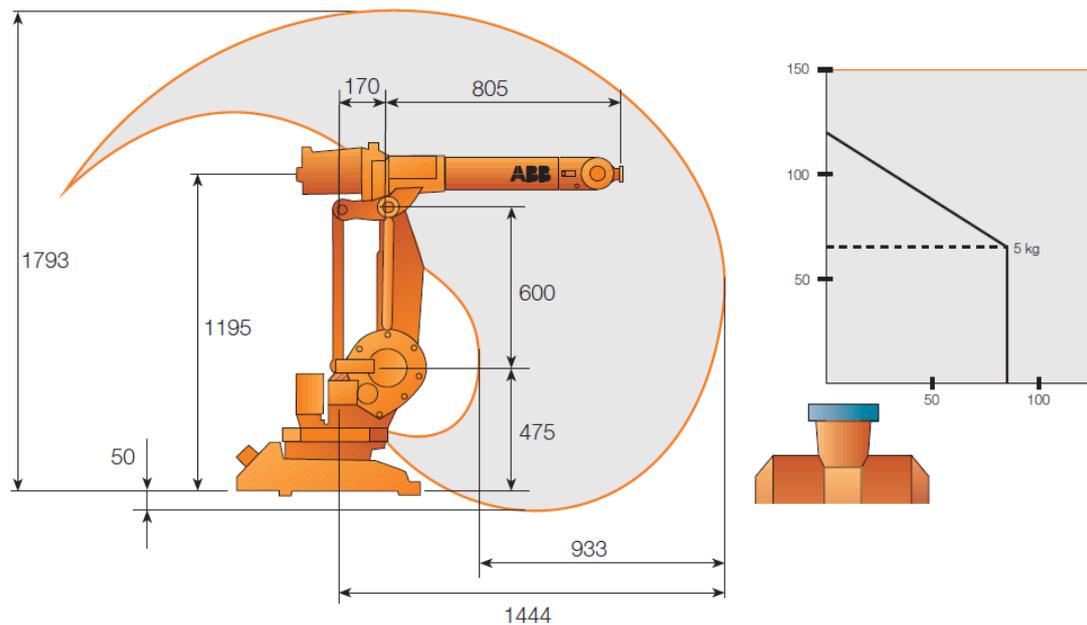


Figura 1.19 Área de trabajo y diagrama de carga del ABB IRB 1400 [25].

El BaseWare OS controla todos los aspectos del robot, como control de movimiento o desarrollo y ejecución de programas de aplicación. Proporciona todas las características necesarias para la programación del robot y sus operaciones fundamentales. Utiliza un lenguaje RAPID de alto nivel basado en una combinación de simplicidad, flexibilidad y poderío. Se han introducido numerosas funciones avanzadas de recuperación para afrontar los posibles errores que pudieran surgir, facilitando la adaptación y recuperación del sistema ante ellos. Su control del movimiento, TrueMove & QuickMove, es la llave para las prestaciones del movimiento de los robots en términos de precisión, velocidad, tiempo de ciclo, programabilidad y sincronización con dispositivos externos. Además, para funcionalidades adicionales, puede ser equipado con software opcional para soporte de aplicaciones y avanzadas funciones, como sistemas multipregunta.





2. Proceso de diseño

Vamos a llevar a cabo el diseño del dispositivo suministrador de polvo, atendiendo a la función que debe cumplir. Valoraremos diferentes alternativas de diseño, así como los materiales por los que estará constituido. Todo este proceso de diseño se realiza empleando el programa de diseño Solid Edge ST.

2.1. SITUACIÓN INICIAL

Como ya hemos dicho nuestra misión es diseñar y construir un dispositivo suministrador de polvo para un sistema de *laser cladding*. Nos decantamos por emplear un *dispositivo suministrador de polvo por inyección con tobera lateral*. Debemos diseñar el propio dispositivo suministrador de polvo así como un sistema de soporte para este, que aporte una maniobrabilidad adecuada al dispositivo para poder suministrar el polvo en el lugar requerido. Como material de aporte utilizaremos *polvo cerámico*.

El encargado de transmitir el movimiento a la pieza de trabajo será el robot ABB IRB 1400. Por lo tanto nuestro dispositivo suministrador tendrá que permanecer solidario al láser empleado (láser Rofin SCx10).

De esta manera nuestro proceso de diseño se centrará en dos competencias básicas:

- Diseño del dispositivo suministrador de polvo.
- Diseño del soporte del dispensador de polvo.



2.2. PROCESO DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO

La idea inicial es utilizar algún tipo de dispositivo de inyección de líquido disponible, como dispositivos dispensadores de pintura, esto es, pistolas de pintura y aerógrafos; adaptándolo de tal manera que sea capaz de trabajar con polvo. De forma que sea capaz de proporcionar un flujo constante y de caudal deseado en la región de trabajo.

Se consideran diferentes opciones en cuanto a diámetro de la boquilla, capacidad de los depósitos, presión máxima de trabajo. Así como diferentes fabricantes, que ofrecían pequeñas diferencias sobre el mismo producto, básicamente se ceñidas al precio, ya que las características de este tipo de dispositivos son bastante estándar.

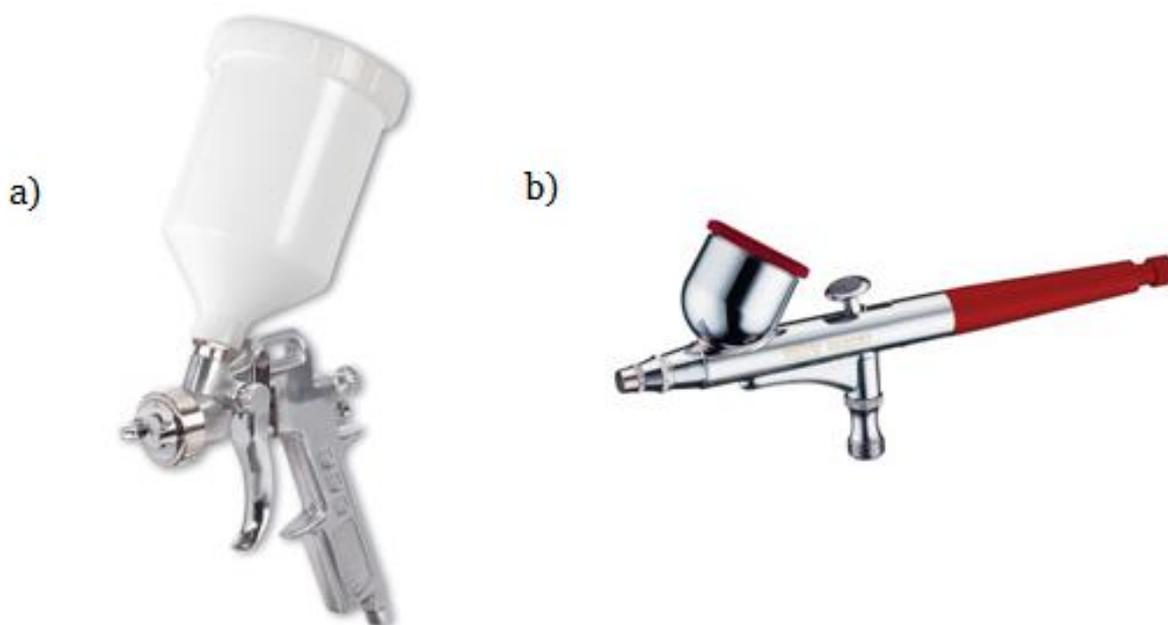


Figura 2.1 a) Pistola de pintura. b) Aerógrafo.

Las pistolas de pintura fueron descartadas, ya que se tratan de dispositivos demasiado robustos para la función que deseamos que realicen. Son, en gran medida, un pulverizador, lo que causaría que se produjera una excesiva dispersión de los polvos, como podemos observar en la siguiente imagen (**Figura 2.2**)



Figura 2.2 Dispersión de pintura en una pistola de pintura.

Por lo tanto nos decantamos por emplear un aerógrafo. Siendo conscientes de los problemas que implica el uso de este dispositivo con polvo en vez de pintura.

Un aerógrafo es un dispositivo neumático que genera un fino rocío de pintura, tinte o revestimiento protector de diámetros variados y que sirve para recubrir superficies generalmente pequeñas con fines artísticos o industriales.

En el mercado encontramos aerógrafos de acción simple y de doble acción, la diferencia entre ambos radica en que en el segundo es posible regular el flujo de pintura saliente, si bien a nosotros esta característica no nos influye demasiado. Otra diferencia existente es la colocación del depósito, nos interesará un depósito de gravedad para facilitar la salida del polvo. Así mismo serán convenientes el máximo diámetro de boquilla y la máxima presión de trabajo posibles.

La mayoría de aerógrafos soportan presiones de hasta 50 psi (≈ 3.45 bar). Por lo tanto descartaremos todos aquellos con presiones máximas inferiores a dicha cantidad. En cuanto al diámetro de la boquilla sí que existen mayores variaciones, oscilando entre 0.2 y 0.8 mm. Aunque a causa de emplear polvos, dichos diámetros aun se antojan demasiado pequeños. Lo que, de confirmarse, nos obligará a realizar algún tipo de modificación en la boquilla.

Así pues, la elección que llevamos a cabo, es la de utilizar un aerógrafo común de doble acción con depósito de gravedad. El modelo elegido es el aerógrafo de *Artesanía Latina BD-130E*. Se trata de un aerógrafo de doble acción con una capacidad de depósito de 7 cc, diámetro de boquilla de 0.3 mm y presión máxima de 50 psi.

Ver **Anexo C. Aerógrafo BD-130E**.



Figura 2.3 Aerógrafo BD-130E.

2.2.1. Aerógrafo BD-130E

2.2.1.1. Componentes y funcionamiento

Los *componentes* de un aerógrafo BD-130E se muestran en la siguiente imagen (Figura 2.4).



Figura 2.4 a) Despiece del aerógrafo BD-130E [29].

Mención especial para la aguja, que atraviesa el aerógrafo de parte a parte y es la encargada de regular el flujo de pintura en cada momento. Así como el gatillo, que se



deberá presionar para permitir el paso de aire a presión, lo que iniciará el proceso. Dicho gatillo es a su vez el encargado de regular la posición de la aguja, y por tanto del flujo de pintura.

El *funcionamiento* de un aerógrafo es sencillo, al permitir el paso de aire mediante el gatillo, este impulsa a la pintura, que ha llegado por efecto de la gravedad desde el depósito hasta una zona muy próxima a la boquilla de salida.

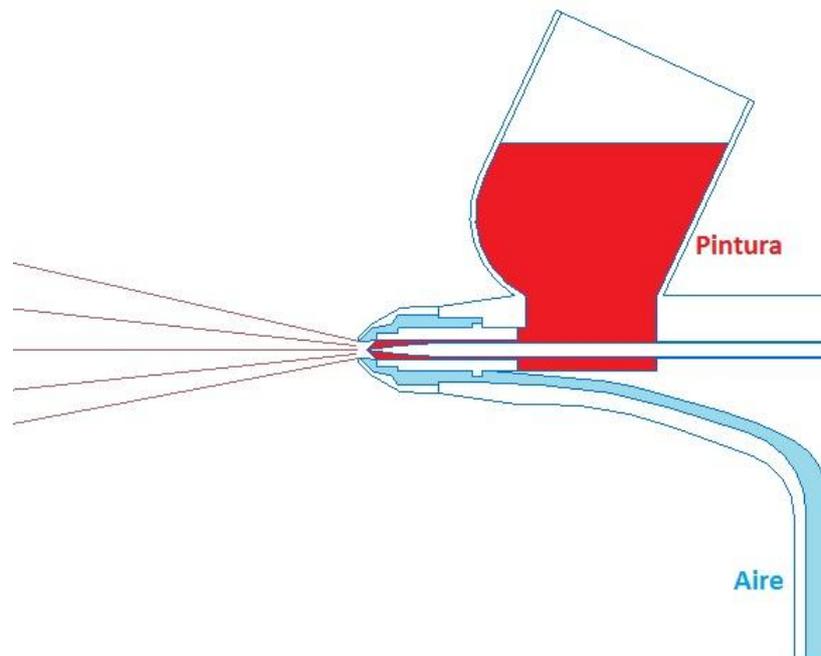


Figura 2.5 Funcionamiento de un aerógrafo.

2.2.1.2. Análisis inicial del aerógrafo BD-130E

Inicialmente realizamos un ensayo del comportamiento del aerógrafo trabajando con polvo. Comprobamos que el aerógrafo, en condiciones normales de uso, no es capaz de funcionar con polvo. El problema que se produce es que el polvo no se aproxima, por el efecto de la gravedad, lo suficiente a la boquilla de salida, y la fuerza de succión que ejerce el aire sobre este tampoco es la suficiente.

Deberemos realizar algún tipo de modificación en el aerógrafo de manera que sea capaz de trabajar correctamente con polvo.

La presión de la toma de aire de que disponemos en el laboratorio es aproximadamente de 5 bar (≈ 72.52 psi), una presión considerablemente mayor que la presión máxima de trabajo del aerógrafo (50 psi). Sin embargo esto no supone un problema en nuestro caso, ya que nosotros no utilizaremos el aerógrafo para la función que fue concebido, y debido a los problemas que conlleva el uso del aerógrafo con polvo, el hecho de disponer de mayor presión nos favorece.



2.2.1.3. Modificación del aerógrafo BD-130E

D) En primer lugar, sencillamente eliminamos la boquilla del aerógrafo y volvemos a realizar una prueba. Continúa siendo absolutamente ineficaz.

II) A continuación decidimos realizar una prueba sin boquilla y sin aguja, de manera que el flujo de polvo solo se vea condicionado por el diámetro del conducto de salida. En esta ocasión observamos que comienza a funcionar, estableciéndose un flujo discontinuo y existiendo aun problemas para cargar el polvo. Se produce una mejora notable respecto a su funcionamiento con aguja. El diámetro de dicho conducto de salida es de 1 mm.

III) Hemos solucionado parcialmente el problema y ahora decidimos aumentar el diámetro del conducto de salida para tratar de mejorar la continuidad del flujo. Para ello, realizaremos un taladro de mayor diámetro sobre el conducto, empleando la DREMEL. Dicha herramienta va montada sobre un soporte guiado que nos permitirá trabajar con bastante precisión (Ver **Figura 2.6**). Mientras que sujetamos el aerógrafo mediante una mordaza.



Figura 2.6 Dremel montada sobre soporte.

Llevamos a cabo un aumento de diámetro del conducto hasta 2 mm y comprobamos que su funcionamiento continúa mejorando notablemente. Sin embargo aun existe algún problema de flujo discontinuo.

Este diámetro del conducto de 2mm el máximo que podemos alcanzar.



IV) En la prueba realizada después de las modificaciones anteriores, observamos que en un principio el flujo es continuo, pero se mantiene así tan solo unos segundos. Apreciamos que este cambio en la continuidad del flujo se produce cuando la cantidad de polvo disponible en el depósito alcanza un nivel crítico, momento en el que se forma una especie de columna hueca entre el polvo, como se puede observar en la siguiente figura representativa (Figura 2.7).

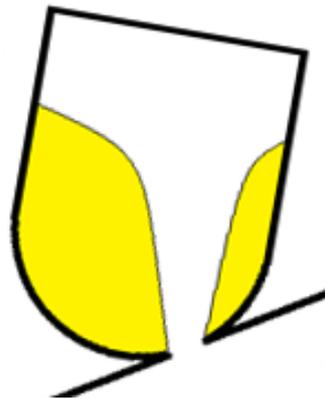


Figura 2.7 Representación de la columna hueca formada entre el polvo del depósito.

Para solucionar este problema, aumentamos el tamaño del depósito añadiéndole un cono de plástico, ver Figura 2.8. De esta manera nos aseguramos de que el tiempo transcurrido hasta alcanzar el nivel crítico en el depósito sea mucho mayor, permitiendo al dispositivo proporcionar un flujo de polvo continuo durante más tiempo.

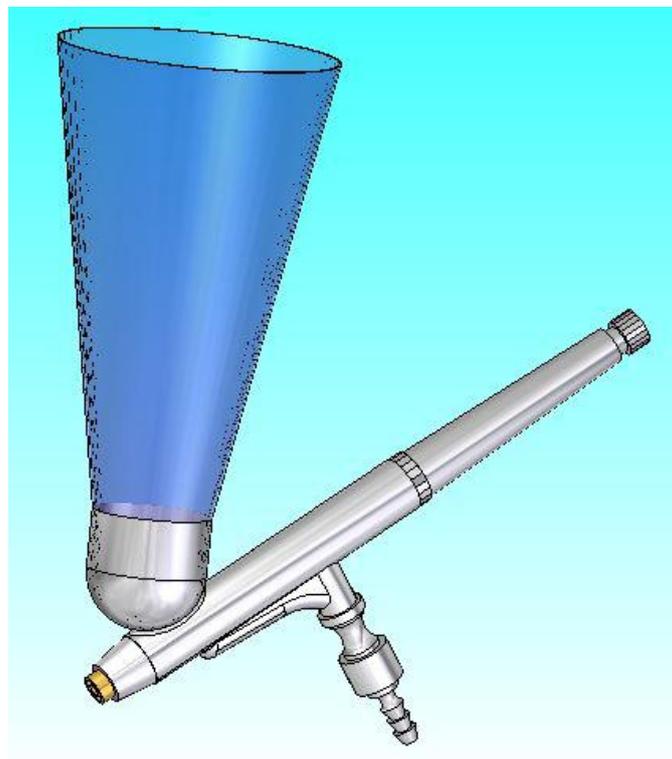


Figura 2.8 Aerógrafo con el depósito aumentado.



2.3. PROCESO DE DISEÑO DEL SOPORTE DEL DISPENSADOR DE POLVO

Vamos a diseñar un soporte que sujete el dispositivo de suministro de polvo, proporcionando la estabilidad suficiente a este como para que desempeñe su función con precisión, sin que esta se vea afectada por causas derivadas del soporte. A su vez, debe proporcionar libertad de movimientos al aerógrafo, que le permita variar su posicionamiento de tal manera que pueda afrontar con garantías los diferentes trabajos para los que será requerido.

2.3.1. Idea inicial

Partimos de la situación inicial representada a continuación (**Figura 2.9**).

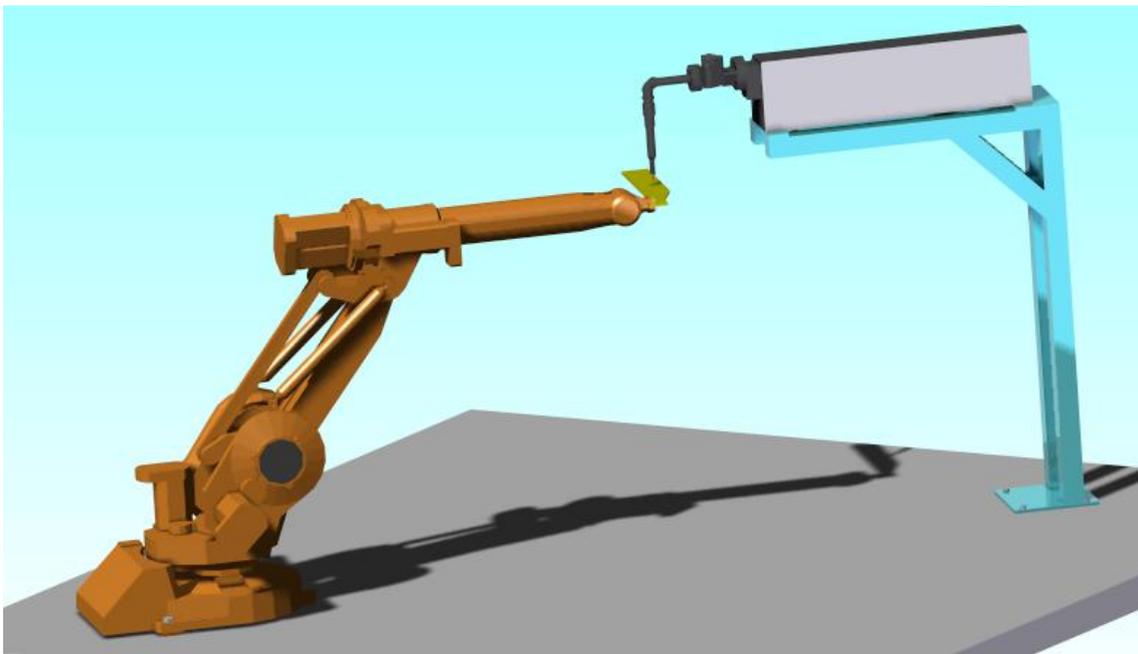


Figura 2.9 Representación de la situación inicial.

El dispositivo de suministro de polvo (aerógrafo) debe permanecer en una posición fija respecto del láser, es decir, solidario al laser. La manera de conseguirlo es fijar el soporte a la estructura sobre la que se encuentra apoyado el láser. Nuestra idea inicial consiste en algún tipo de mecanismo que unido por un extremo a dicha estructura permita la sujeción del aerógrafo en su extremo opuesto, siendo lo suficientemente estable como para poder sostenerlo firmemente.



Figura 2.10 Imagen de la situación inicial.

Realizamos un primer diseño orientativo que cumpla estos requerimientos, de manera que nos sirva de punto de partida (Figura 2.11). Se trata de un soporte muy sencillo que se atornilla a la estructura en uno de sus extremos y en el opuesto se encuentra una mordaza donde podremos fijar el aerógrafo.

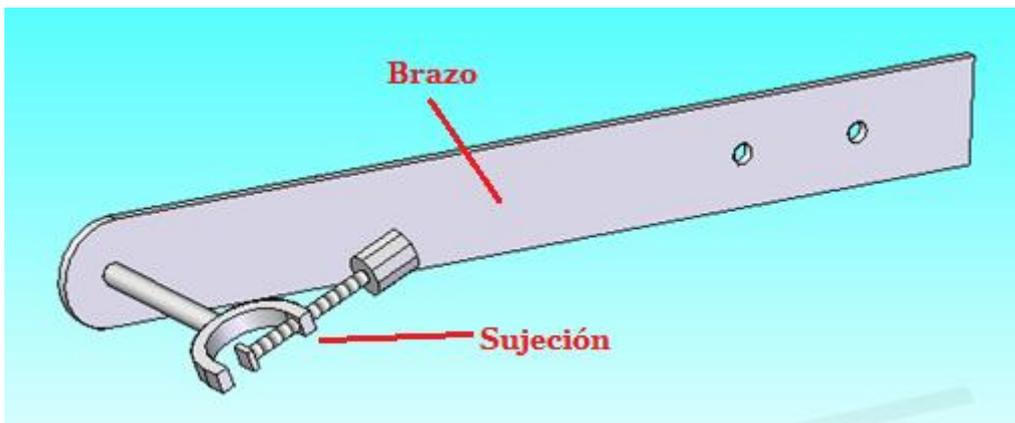


Figura 2.11 Idea inicial.

Está constituido principalmente por dos elementos, un *brazo o perfil metálico* que sirve de nexo entre la estructura soporte del láser y la *sujeción* encargada propiamente de sujetar al aerógrafo. El principal problema que plantea este diseño es la falta de libertad de movimientos por parte del aerógrafo, limitados a una pequeña rotación en la mordaza. Por lo tanto debemos mejorar este aspecto considerablemente. Así mismo deberemos definir con más exactitud cada uno de sus componentes.



2.3.2. Prototipos de diseño y selección del material. Posibles alternativas

En este apartado podemos diferenciar varios subapartados, cada uno de los cuales hará referencia a los distintos elementos que componen el soporte, así como a las distintas necesidades que este debe satisfacer. Por lo tanto estudiaremos el tipo de perfil empleado en el brazo; las diferentes configuraciones de las uniones entre brazo y estructura y entre brazo y sujeción del aerógrafo; y el tipo de sujeción que emplearemos.

2.3.2.1. Tipo de perfil

Para el brazo que servirá de nexo de unión entre la estructura sobre la que se encuentra el láser y la sujeción que sostendrá el aerógrafo emplearemos un perfil metálico, más específicamente un perfil de aluminio, que son fáciles de conseguir, ligeros, resistentes y de bajo coste.

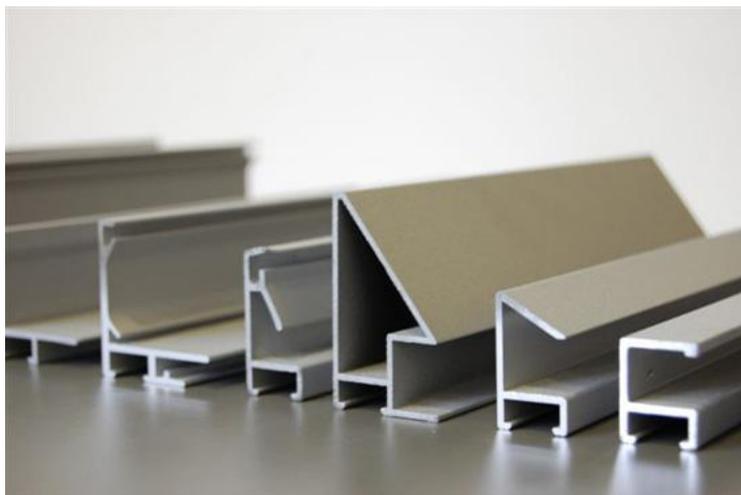


Figura 2.12 Perfiles de aluminio.

Descartamos de primeras una placa plana de aluminio ya que será necesario que cumpla unas garantías mínimas de rigidez. Los perfiles introducen elementos transversales que garantizaran una resistencia al pandeo adecuada, lo cual no lo hará una placa plana.

Tenemos la posibilidad de emplear un perfil de aluminio realizado a medida o a partir de una chapa de aluminio, o de emplear uno normalizado. Existen una infinidad de perfiles de aluminio normalizados y pueden encontrarse en una gran variedad de tamaños, adaptándose perfectamente a nuestros intereses en cualquiera de los casos. A continuación expongo los perfiles que hemos considerado son los más idóneos.



PERFIL EN T

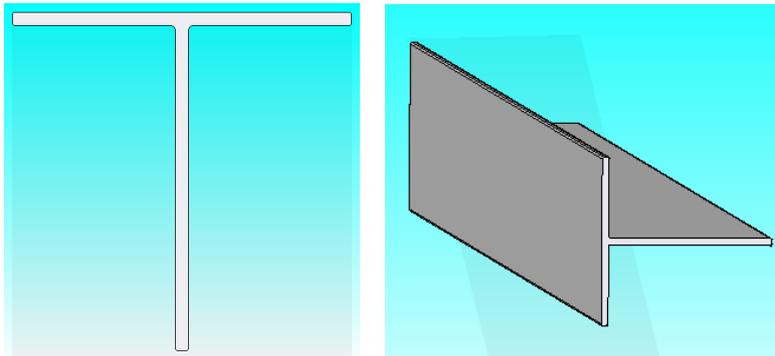


Figura 2.13 Perfil en T.

PERFIL EN DOBLE T

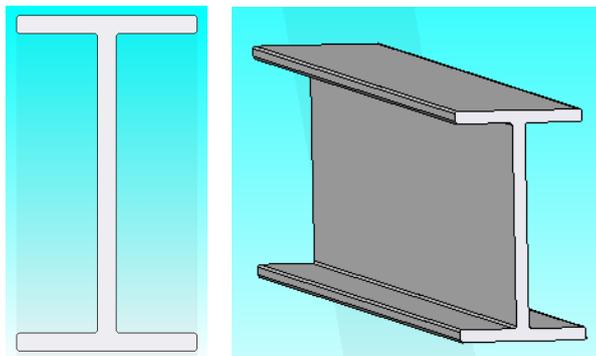


Figura 2.14 Perfil en doble T.

PERFIL EN U

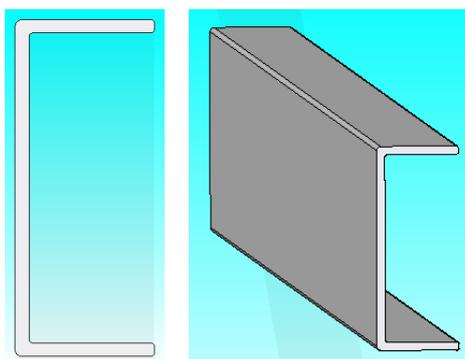


Figura 2.15 Perfil en U.



TUBO RECTANGULAR

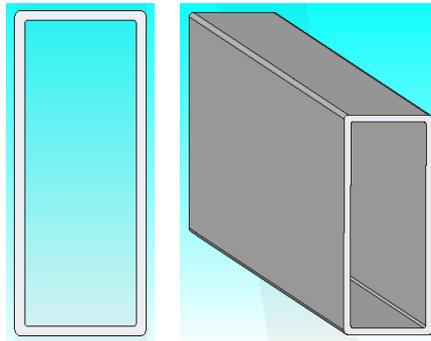


Figura 2.16 Tubo rectangular.

PERFIL NIKAI

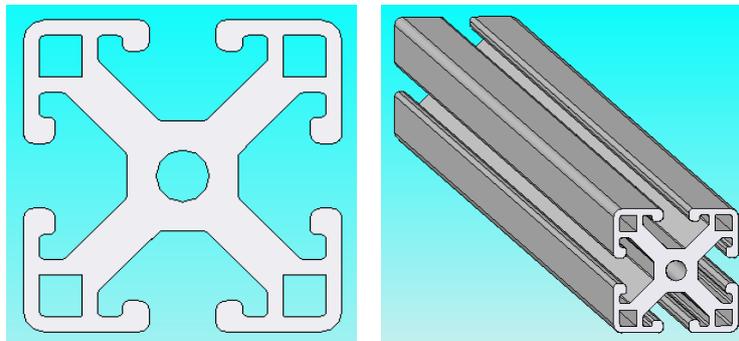


Figura 2.17 Perfil Nikai.

Todos estos perfiles en un principio son válidos, y garantizan unas propiedades de resistencia más que suficientes. Por lo tanto nuestra elección de uno u otro se verá condicionada por el resto de características que elijamos en conjunto, es decir, tipo de uniones con estructura y sujeción y el tipo de sujeción empleada, algo que definiremos a continuación.

Los *cuatro primeros perfiles* (en T, en doble T, en U y el tubo rectangular) tienen una aplicación prácticamente idéntica, funcionando como nexo de unión con unas propiedades en el sentido de resistencia muy adecuadas, sin aportar nada adicional. El único inconveniente que pueden presentar es su baja resistencia a la torsión, pero es de suponer que no nos encontraremos con este tipo de esfuerzos en nuestro caso. Mientras que el *perfil Nikai* a la vez de satisfacer de manera aun más amplia los requerimientos físicos a los que se encontraría sometido, corrigiendo el problema de la torsión en caso de haberla, aporta una propiedad extra, presenta un sistema guiado traslacional a lo largo de su eje. Este hecho, dependiendo del diseño final, puede ser un punto muy beneficioso, por tanto es una característica que se ha de tener en cuenta. Aunque a su vez plantea un inconveniente en cuanto a su coste, hasta un 1000% mayor comparando



con el caso de la realización del perfil a partir de una chapa de aluminio. Si bien sigue sin ser un coste elevado y es perfectamente asumible.

2.3.2.2. Configuración de la unión brazo-estructura y brazo-sujeción

A la hora de establecer la unión entre el brazo y la estructura soporte del láser y la sujeción del aerógrafo hay que tener en cuenta diferentes configuraciones, que nos permitirán un mayor o menor grado de libertad de movimiento, lo cual representa un punto muy importante en el diseño de nuestro soporte. A continuación representamos las diferentes posibilidades de configuración que hemos tenido en cuenta a la hora de establecer dichas uniones.

OPCIÓN I

Suponiendo que empleemos un *perfil Nikai* nuestras opciones se ven reducidas debido a su geometría, siendo la posibilidad que estudiamos, definida a grandes rasgos, la que se puede ver en la siguiente imagen (**Figura 2.18**).

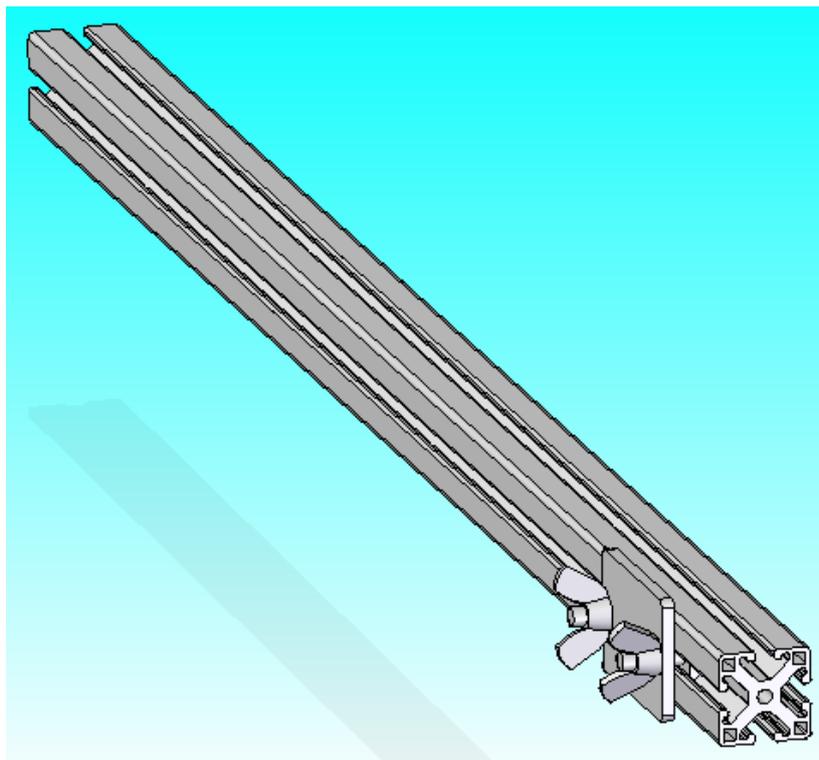


Figura 2.18 Configuración de la unión con perfil Nikai.

Básicamente se trata de una placa, que servirá como base de apoyo a la sujeción del aerógrafo, atornillada sobre una de las guías laterales del perfil. Esto permitirá una translación longitudinal del aerógrafo según el eje del perfil. Emplearemos tuercas mariposa de manera que se pueda realizar el cambio de posición de la manera más cómoda posible. Mientras que el otro extremo será atornillado de manera fija a la estructura soporte del láser, la geometría del perfil no admite otra configuración



factible en esta unión. Como ya hemos comentado, esta solución permite una traslación libre según el eje del perfil, bloqueando el resto de movimientos, por lo que para conseguir una mayor libertad de movimiento tendremos que encomendarnos al elemento de sujeción del aerógrafo.

A partir de ahora estudiamos las soluciones enfocadas al uso de cualquiera de los otros cuatro perfiles considerados, es decir, perfiles *en T*, *doble T*, *en U* y *tubo rectangular*. Ya que consideramos que en el caso de emplear un perfil Nikai no hay más opciones de configuración realmente factibles. Las nuevas opciones que plantearemos son estudiadas a nivel general, es decir, que dependiendo del tipo de perfil que decidamos emplear finalmente, podrán sufrir pequeñas modificaciones a causa de la geometría de este.

OPCIÓN II

Una posibilidad, similar a la opción I pero aplicada a este tipo de perfiles, se basa en el empleo de una placa que sirva de unión brazo-sujeción y que deslice sobre guías, aportando de igual manera que en el caso anterior una libertad de movimiento según el eje longitudinal del perfil.

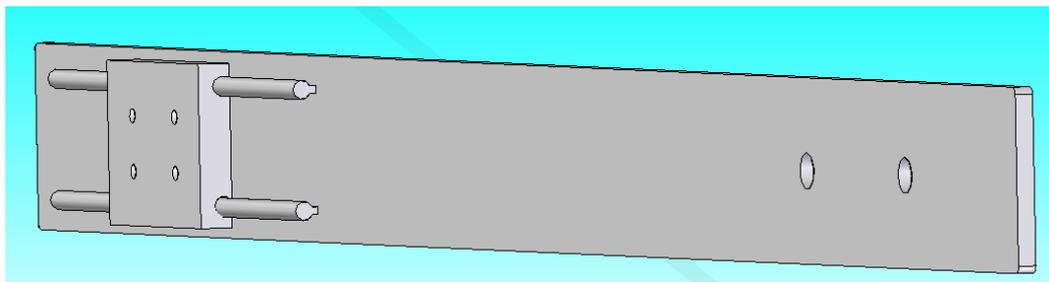


Figura 2.19 Unión brazo-sujeción con carrito.

En este caso la unión brazo-estructura se ha representado como dos uniones atornilladas fijas, sin embargo estos tipos de perfiles podrían admitir otros diseños en dicha unión.

OPCIÓN III

La dificultad que conlleva el uso de un placa guiada a la hora de su fabricación, nos hace pensar en otra solución mucho más sencilla pero que puede ser igualmente eficaz, y es el hecho de sustituir la placa y las guías por dos simples ranuras a las que podremos atornillar la sujeción del aerógrafo, como podemos ver en la **Figura 2.20**, de manera que la posición en la que la atornillemos sea variable a lo largo del eje longitudinal del perfil.

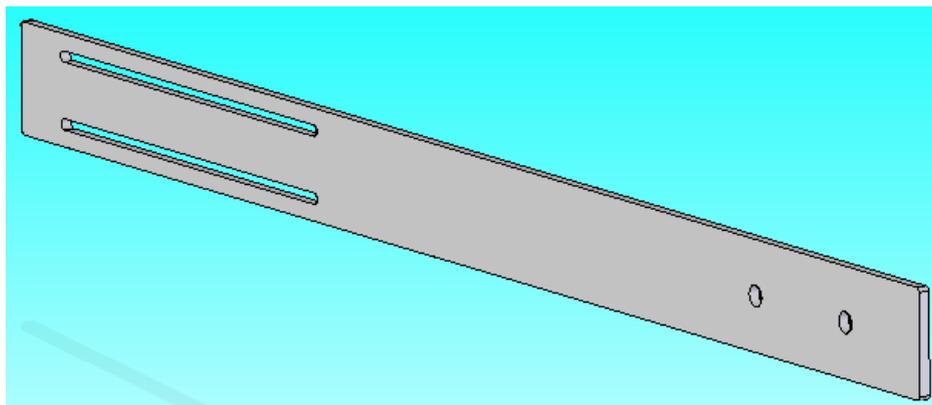


Figura 2.20 Unión brazo-sujeción con ranuras.

Como en el caso anterior hemos representado una unión brazo-estructura biatornillada. Al igual que comentábamos anteriormente y debido al tipo de perfiles para los que estamos realizando estas hipótesis, esta podría ser diferente.

Cabe destacar que inicialmente se planteo la posibilidad de realizar las ranuras en la unión brazo-estructura mientras que la unión brazo-sujeción sería fija, ver **Figura 2.21**. Sin embargo esta configuración se descarto ya que consideramos que esta unión brazo-estructura debía ser mucho más sólida, para aportar una mayor rigidez al brazo y por tanto al soporte en general. Así mismo el hecho de cambiar de posición el soporte sería bastante más incomodo si hubiera que realizar dicho cambio a partir de la unión brazo-estructura.

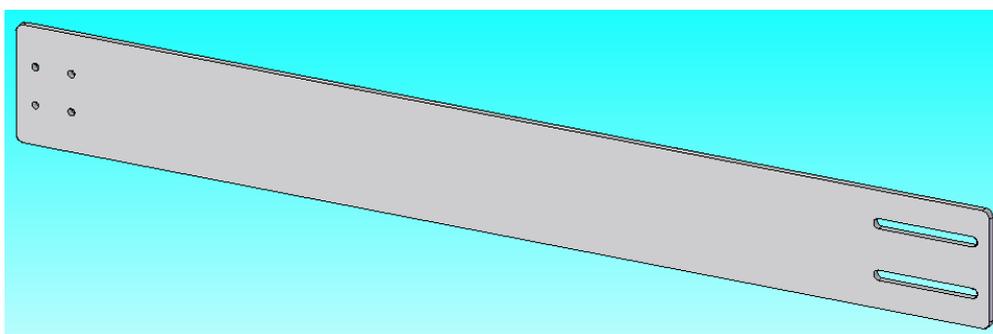


Figura 2.21 Unión brazo-estructura con ranuras.

OPCIÓN IV

Aunque la opción de realizar una unión brazo-sujeción con ranuras era más que aceptable, barajamos la posibilidad de cambiarla por múltiples agujeros (**Figura 2.22**) que permitieran la posibilidad de atornillar el elemento de sujeción del aerógrafo en diferentes posiciones, si bien este número de posiciones sería un número finito, y la libertad de movimiento en la dirección longitudinal del eje del perfil se vería disminuida respecto al uso de ranuras. A pesar de este hecho, la unión brazo-sujeción sería más rígida y dependiendo del elemento de sujeción empleado la libertad de movimiento global prácticamente podría no verse afectada. Así mismo el uso de ranuras puede conllevar una disminución de la resistencia del perfil.

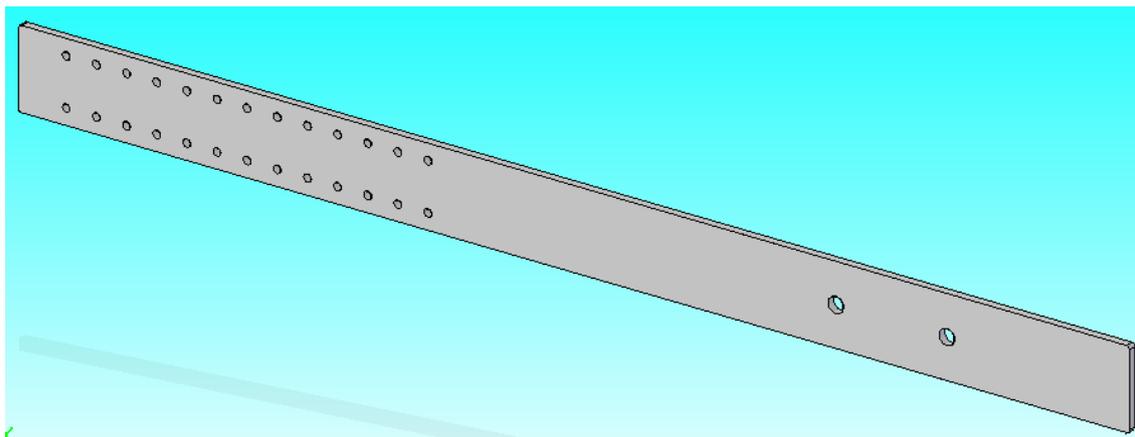


Figura 2.22 Unión brazo sujeción con múltiples agujeros.

OPCIÓN V

Se plantea la posibilidad de proporcionar cierta libertad de rotación al brazo, realizando la unión brazo-estructura mediante un tornillo fijo y una ranura en forma de sector circular, como podemos ver a continuación (Figura 2.23). La rotación se produce alrededor del tornillo que permanece fijo y fijamos la inclinación deseada empleando un segundo tornillo que va introducido en la ranura (Figura 2.24).

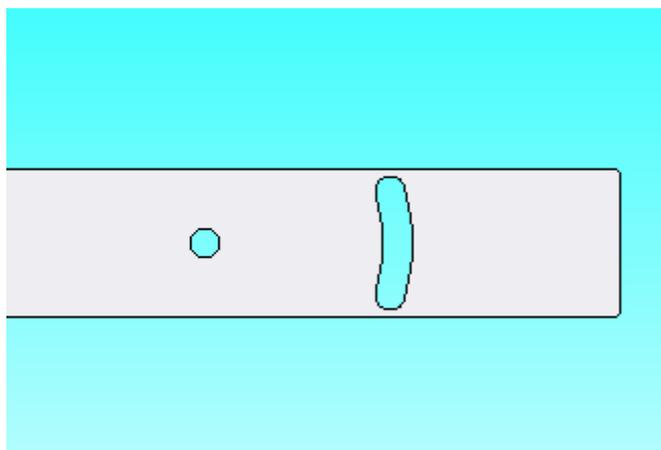


Figura 2.23 Unión brazo-estructura con giro.

Este tipo de unión añade un grado de libertad al soporte, que dependiendo del tipo de sujeción que decidamos emplear puede ser de gran utilidad. Sea como fuere es un aspecto muy positivo y que debemos tener en cuenta a la hora de tomar una decisión.

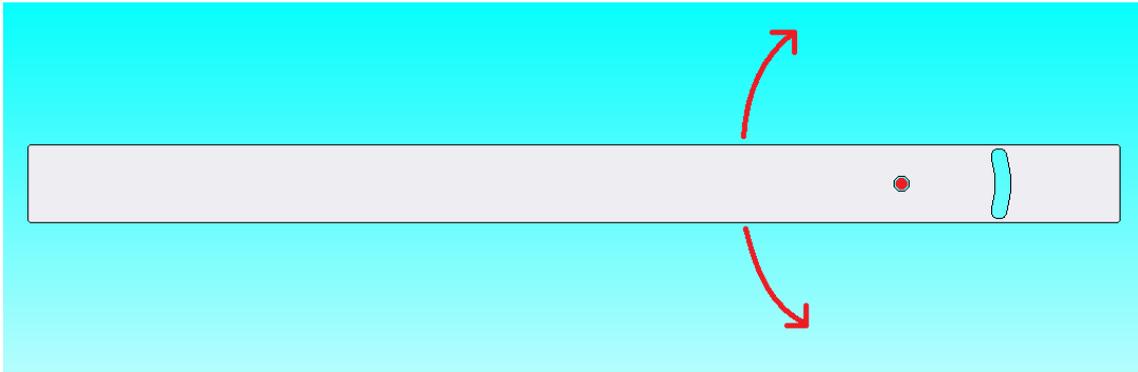


Figura 2.24 Giro del brazo.

2.3.2.3. Sujeción del aerógrafo

El elemento verdaderamente encargado de la sujeción del aerógrafo se situará en uno de los extremos del brazo del soporte y será el encargado de mantener en la posición deseada a dicho dispositivo suministrador de polvo durante el proceso de trabajo en cuestión. Debe sostener firmemente al aerógrafo, pero sin llegar a realizarle daño alguno.

Teniendo esto en cuenta planteamos dos soluciones posibles, el uso de una mordaza o el uso de una pinza.

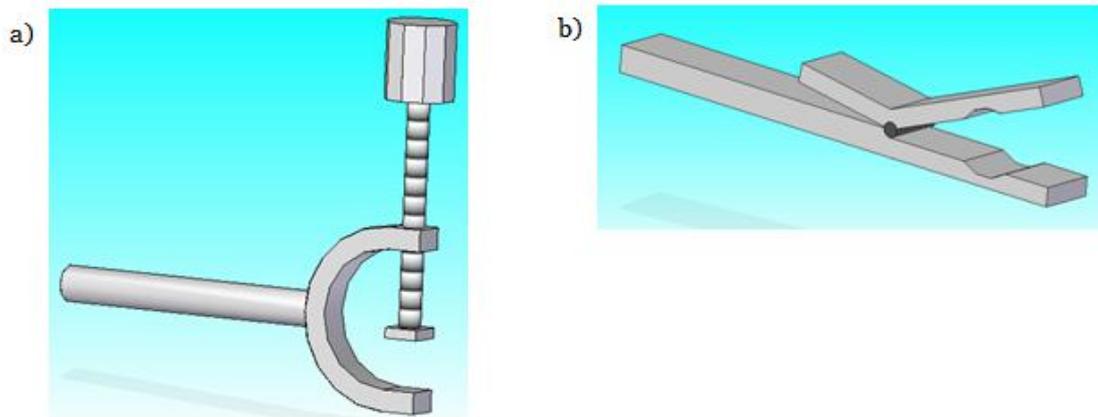


Figura 2.25 a) Mordaza. b) Pinza.

A la hora de fijarlas al brazo la manera de hacerlo sería idéntica, sin embargo la mordaza proporciona una sujeción del aerógrafo de mucha más garantía. Por lo que claramente esta será nuestra elección.

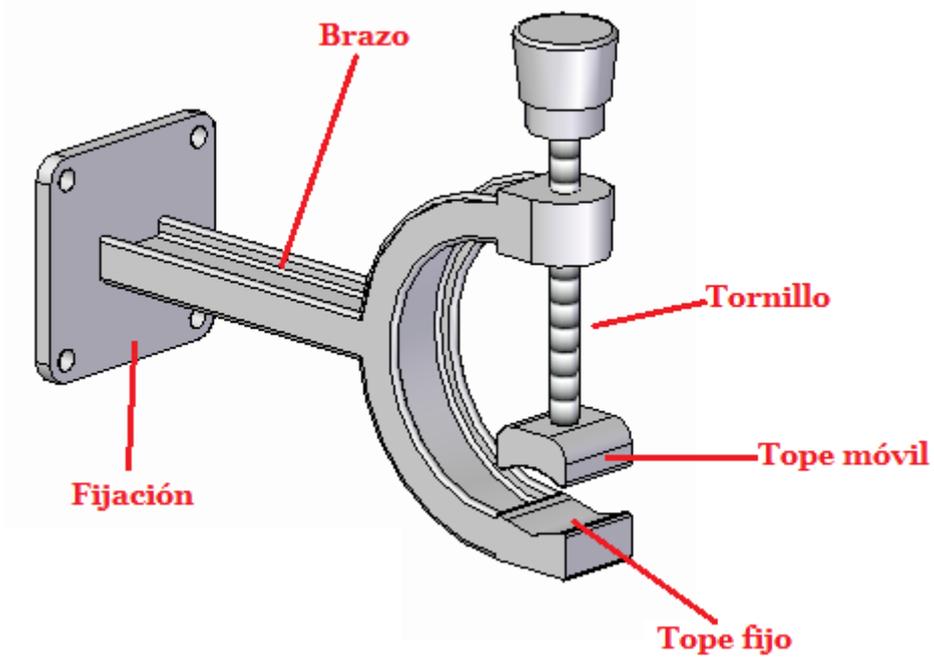


Figura 2.26 Mordaza.

La mordaza se encontrará en el extremo de un pequeño brazo que efectuará la unión de esta con el brazo del soporte. Hay numerosos tipos de mordazas pero básicamente una mordaza es una herramienta que, mediante un mecanismo de husillo (tornillo largo) o de otro tipo, permite ejercer y mantener una fuerza de compresión sobre una pieza para sujetarla por fricción. En el extremo del tornillo se sitúa un tope que se podrá ajustar a la posición deseada, para que entre este tope móvil y otro tope fijo se realice la presión deseada sobre la pieza que se desea sujetar e irá colocada entre ambos.



Figura 2.27 Diferentes mordazas.



Ahora bien, tenemos claro que deseamos emplear una mordaza, pero nos interesaría poder dotarla de cierta libertad de movimiento. La manera más sencilla, precisa y adecuada de conseguir esto es introduciendo una *rótula* en el pequeño brazo del que hemos hablado anteriormente (ver **Figura 2.28**). Al introducir una rótula en la sujeción del aerógrafo hacemos que las posibilidades de posicionamiento de este aumenten notablemente, haciendo que la necesidad de movilidad en el brazo del soporte no sea tan importante y podamos centrarnos en mayor medida en su robustez. De esta manera los objetivos planteados inicialmente que debía cumplir el soporte (adecuada sujeción del aerógrafo y permitir la libertad de movimientos de este), están cerca de verse satisfechos.

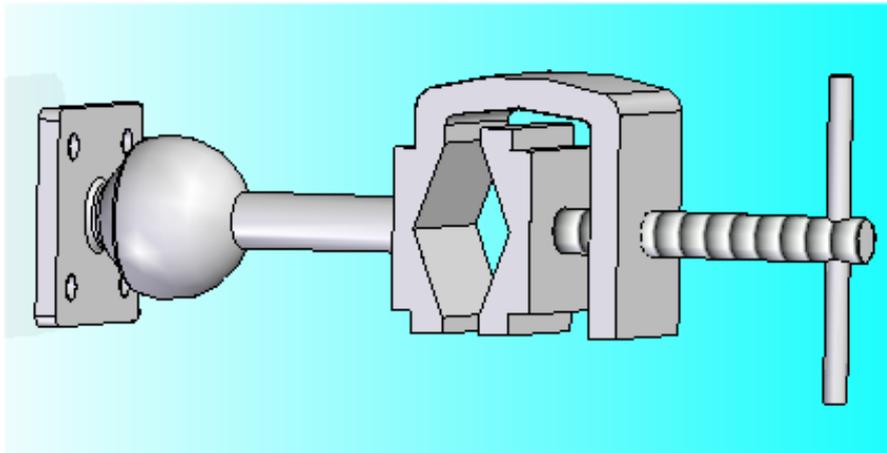


Figura 2.28 Mordaza con una rótula.

Viendo el efecto positivo que tiene introducir una rótula, plantearnos la idea de introducir *dos rótulas* en el brazo de la mordaza. Lo que supondría un claro avance en cuanto a la libertad de movimiento del aerógrafo, ya que sería prácticamente absoluta.

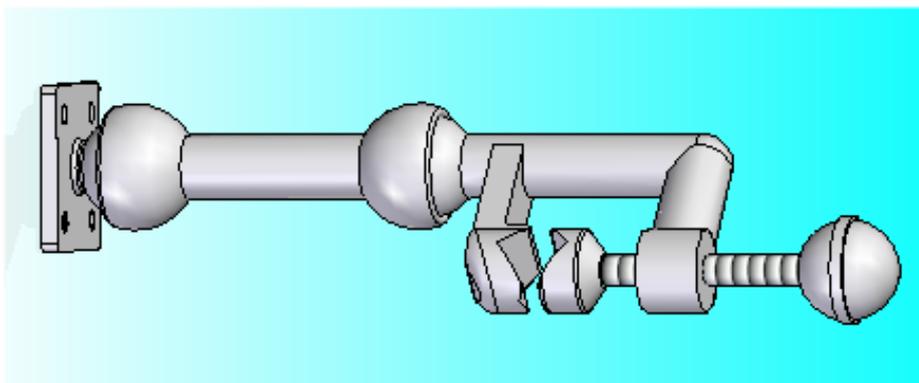


Figura 2.29 Mordaza con dos rótulas.



2.3.3. Solución elegida

A la luz de la información aportada por el apartado anterior (2.3.2. Prototipos de diseño y selección del material. Posibles alternativas) obtenemos diversas conclusiones a la hora de tomar las decisiones necesarias de cara al diseño del soporte del dispositivo suministrador de polvo.

La primera, es que sin ningún tipo de duda elegiremos una *mordaza con dos rótulas*, ya que nos proporcionará una libertad de movimientos del dispensador de polvo excepcional, pudiendo afrontar de esta manera diversos trabajos que requieran colocaciones muy diferentes de este. Al emplear este tipo de mordaza nos quitamos la necesidad de una configuración en la unión brazo-estructura que permita el giro, ya que la variación de altura del aerógrafo la podremos introducir mediante el posicionamiento de la mordaza. Lo que sí que sería recomendable es la posibilidad de un desplazamiento a lo largo del eje longitudinal del brazo, si bien para la mayoría de los casos este desplazamiento será muy pequeño o incluso debido a la movilidad de la propia mordaza será innecesario, es recomendable ya que nos permitirá afrontar con total seguridad cualquier trabajo sea cual sea la geometría de la pieza a trabajar.

Por todo esto, la configuración del brazo que elegimos es la mostrada en la **Figura 2.30**. Donde podemos observar que la unión brazo-estructura se lleva a cabo mediante dos tornillos fijos, lo que aporta gran rigidez a dicha unión. Para resolver el problema del desplazamiento de la mordaza según el eje longitudinal del brazo escogemos la utilización de múltiples agujeros para realizar la unión brazo-sujeción, lo que permitirá situar a la mordaza en varias posiciones preestablecidas. El número de dichas posiciones viene limitado por el número de agujeros disponibles. Se podría pensar que sería más útil el uso de ranuras en vez de agujeros, disponiendo así de un número infinito de posiciones dentro de un determinado rango. Sin embargo, no es necesario, ya que al aportar la propia mordaza tanta libertad de movimiento gracias a sus dos rótulas, es preferible el uso de agujeros, que aportarán mayor rigidez a la unión, pero que a su vez permitirán una translación de la mordaza más que suficiente.

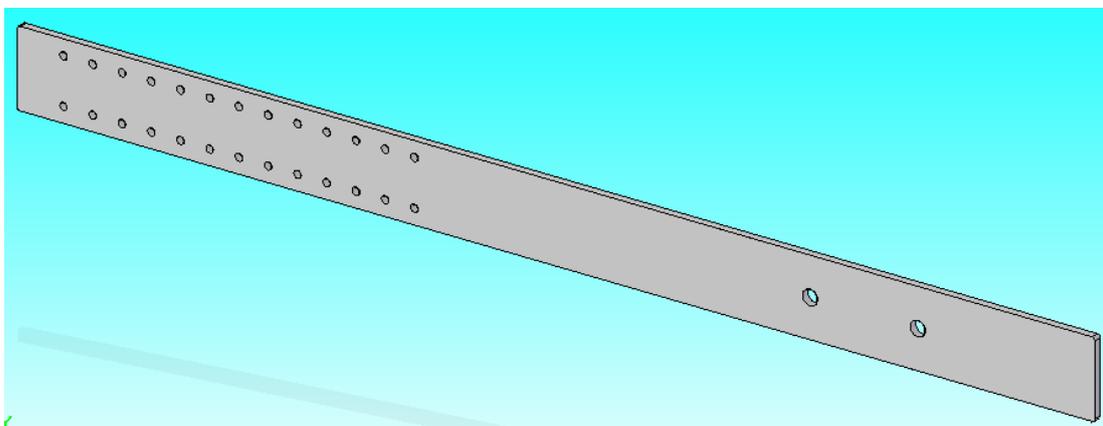


Figura 2.30 Configuración del brazo elegida.



Al haber escogido esta configuración del brazo descartamos el uso del perfil Nikai, sin embargo esta decisión no se produjo a la ligera. Llegamos a la conclusión de que usando esta configuración conseguiríamos de forma muy sencilla y económica el objetivo que nos proponíamos, si bien hay que destacar que la configuración diseñada para el perfil Nikai era totalmente válida.

Ahora solo nos falta escoger el tipo de perfil que emplearemos con esta configuración. En realidad cualquiera de los cuatro (en T, doble T, en U o tubo rectangular) es válido, si bien, descartamos directamente el uso del tubo rectangular, debido a que la unión brazo-sujeción sería poco práctica, siendo mucho más cómodo el uso de cualquiera de los otros perfiles, así como más lógico, pues además supone un ahorro de material. El perfil en doble T también lo descartamos, ya que a la hora de realizar su unión con la estructura soporte del láser plantearía un problema debido a que la superficie de apoyo sobre esta no sería una cara plana (ver **Figura 2.31**) sino el canto de ambas T, y aunque puede alcanzarse una unión de garantías es conveniente el uso de un perfil en U o en T (ver **Figura 2.32**).

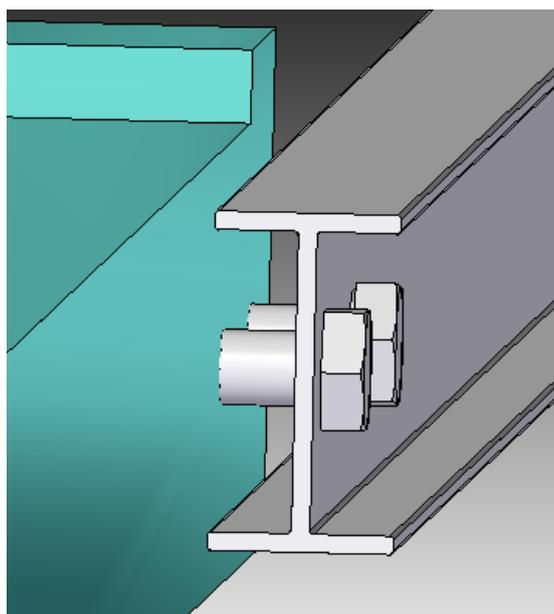


Figura 2.31 Unión brazo-estructura perfil doble T.

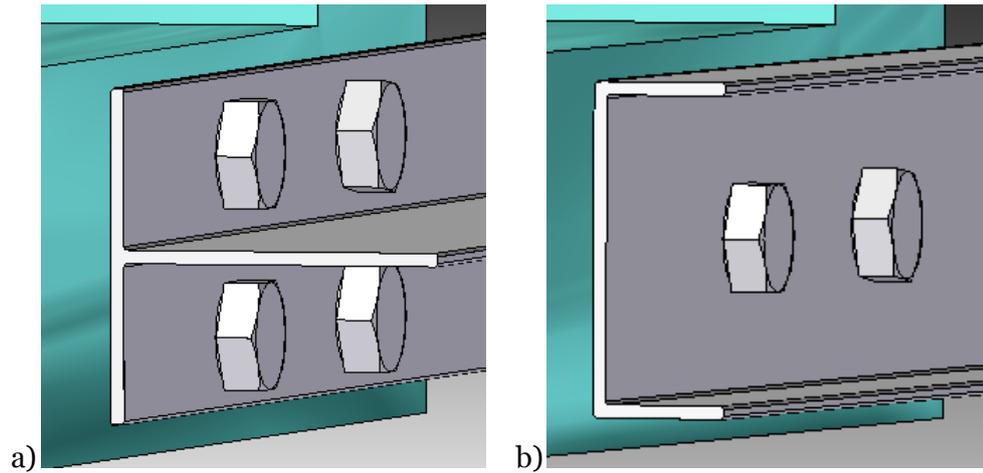


Figura 2.32 Unión brazo-estructura: a) Perfil en T. b) Perfil en U.

A la hora de decantarnos por un perfil en T o en U, aunque pueda parecer algo indiferente a priori, tenemos en cuenta dos hechos fundamentales, el primero es que para una correcta unión brazo-estructura el perfil en T requerirá 4 tornillos, lo que conlleva un mayor gasto, aunque sea mínimo, al necesitar el doble de tornillos, tuercas y arandelas. A su vez requerirá la realización de 4 taladros en la estructura y en el propio perfil. Mientras que si empleamos el perfil en U, tan solo será necesario el uso de 2 tornillos para una correcta unión, con lo que esto conlleva. El otro aspecto a tener en cuenta es que es más fácil conseguir un perfil en U de las medidas que deseemos, ya que puede ser fabricado a partir de una plancha de aluminio del grosor deseado mediante plegado, empleando una prensa. Esto nos permitirá fabricar un brazo de las medidas exactas que deseemos, ya que no tendremos que vernos limitados a los perfiles normalizados. Por lo tanto elegimos un *perfil en U* para realizar el brazo del soporte.

Hemos definido, a grandes rasgos, el diseño del soporte del dispositivo suministrador de polvo, y es el representado en la **Figura 2.33**.

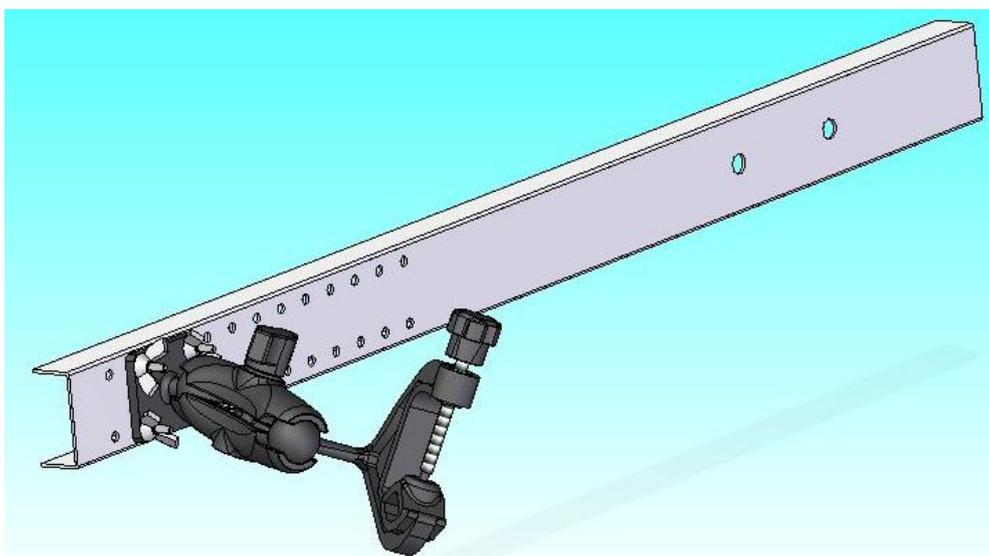


Figura 2.33 Solución elegida.



3. Especificaciones de diseño

3.1. DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO

En el capítulo anterior (2.2. Proceso de diseño del dispositivo suministrador de polvo) ya hemos concretado el diseño del dispositivo dispensador de polvo. Emplearemos un aerógrafo de Artesanía Latina modelo BD-130E, el cual utilizaremos sin aguja y sin boquilla de salida, tras haberle aumentado el diámetro del conducto de salida del polvo hasta 2mm. Ver Anexo A. Planos.

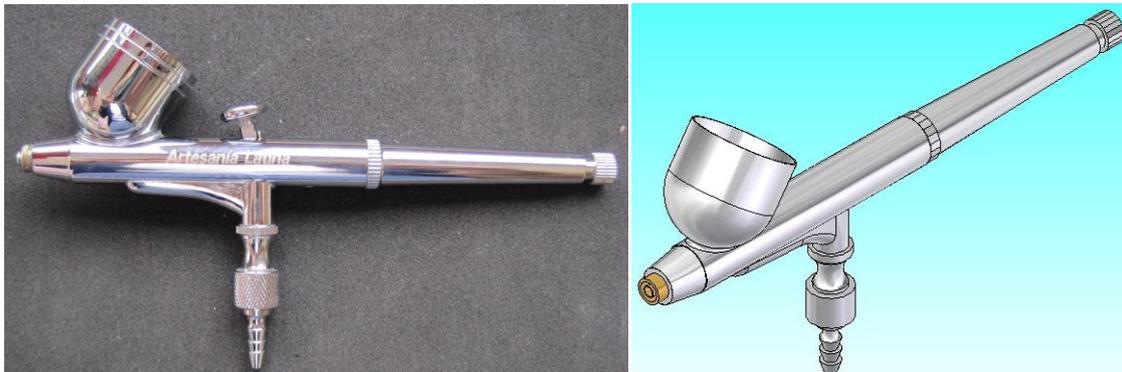


Figura 3.1 Aerógrafo BD-130E.



Así mismo le añadimos al depósito un cono realizado a partir de una lámina de plástico para aumentar su capacidad.

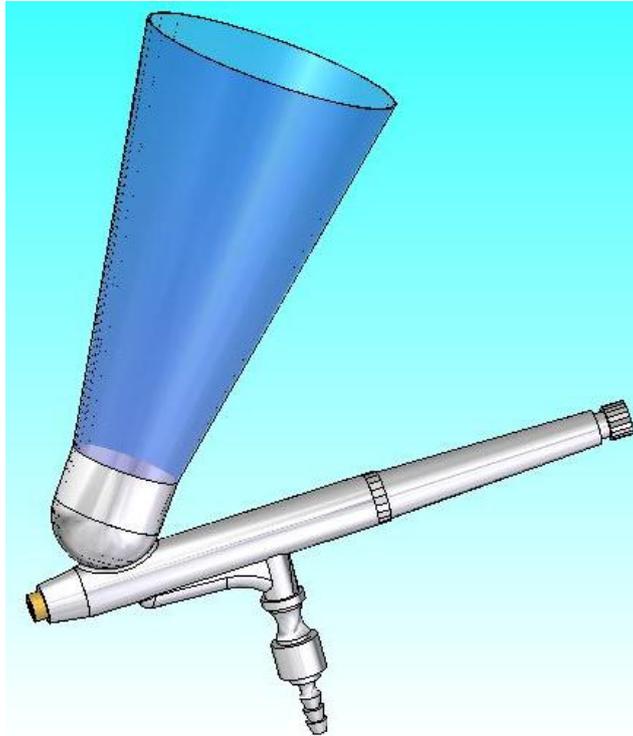


Figura 3.2 Diseño del dispositivo suministrador de polvo.

3.2. SOPORTE

A continuación exponemos las especificaciones del soporte del dispositivo suministrador de polvo, cuyo diseño ha sido definido en líneas generales anteriormente (2.3.3. Solución elegida).

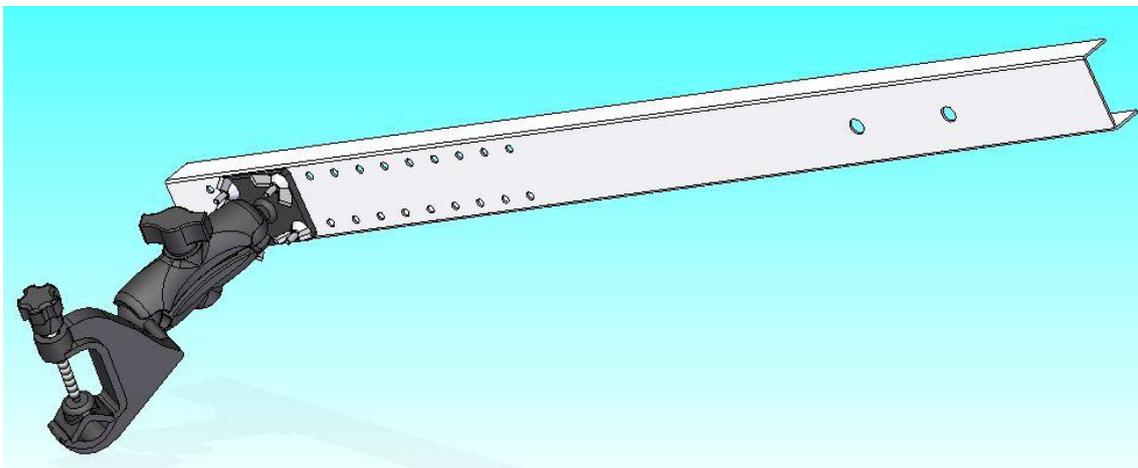


Figura 3.3 Soporte del dispositivo suministrador de polvo.



3.2.1. Brazo del soporte

En primer lugar nos centramos en el brazo del soporte, ya hemos dicho que será un perfil en U de aluminio, que irá unido a la estructura soporte del láser mediante dos tornillos, de 10mm de diámetro. Tendrá 70 cm de longitud y la unión entre el brazo y el elemento de sujeción del aerógrafo se caracteriza por la presencia de múltiples agujeros para poder variar el posicionamiento de dicho elemento de sujeción. Los agujeros tendrán un diámetro de 5mm e irán distribuidos en dos filas paralelas que distan entre sí 30mm. Habrá un total de 13 agujeros por fila, con una separación de 19mm entre dos consecutivos. Este diseño permitirá a la sujeción la posibilidad de colocarse en 11 posiciones diferentes.

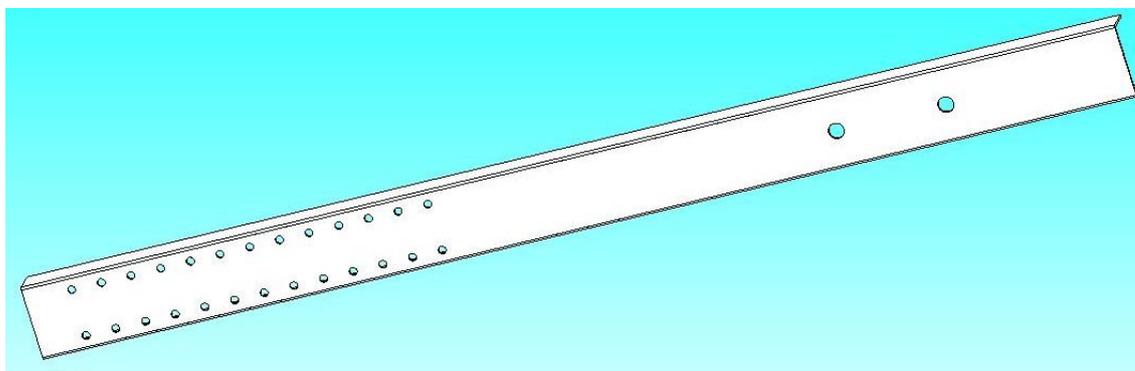


Figura 3.4 Diseño del brazo del soporte.

El brazo estará construido por un *perfil en U realizado a medida*, para permitir la posibilidad de adaptarse perfectamente a nuestras necesidades. Dicho perfil es fabricado mediante plegado a partir de una chapa de aluminio de 700x85mm y de 1,5mm de espesor lacada en blanco. De manera que mediante dos plegados consecutivos obtenemos un perfil en U de medidas interiores: alma 44mm; alas 20mm. Ver **Anexo A. Planos**.

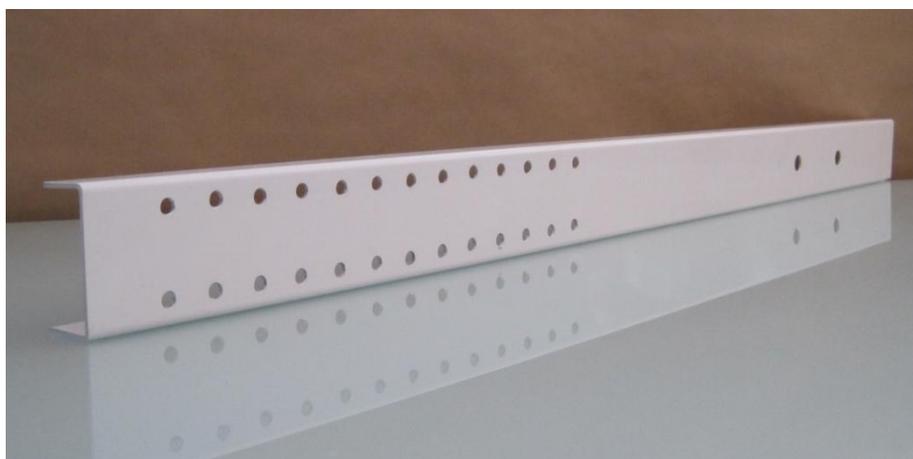


Figura 3.5 Brazo del soporte.



3.2.2. Elemento de sujeción del dispositivo suministrador de polvo

En el apartado **2.3.3. Solución elegida** hemos indicado el tipo de elemento de sujeción que emplearemos. Constará de una mordaza que será la encargada de sostener al aerógrafo y de un brazo formado por dos rótulas que permitirán una gran libertad de movimiento a la mordaza, y por tanto, al aerógrafo. Este brazo a su vez será el encargado de actuar como nexo entre la mordaza y el brazo del soporte.

Para este fin, después de analizar muy diversas opciones, entre ellas la fabricación por nuestra parte del propio elemento, elegimos usar un soporte comercial para GPS como el mostrado a continuación.



Figura 3.6 Soporte comercial para GPS.

El soporte se compone de tres elementos, la base, el brazo y la mordaza (**Figura 3.7**). Las rótulas están localizadas en los puntos de unión entre dichos elementos. El brazo del soporte tiene una longitud de 94mm.



Figura 3.7 Componentes del elemento de sujeción.

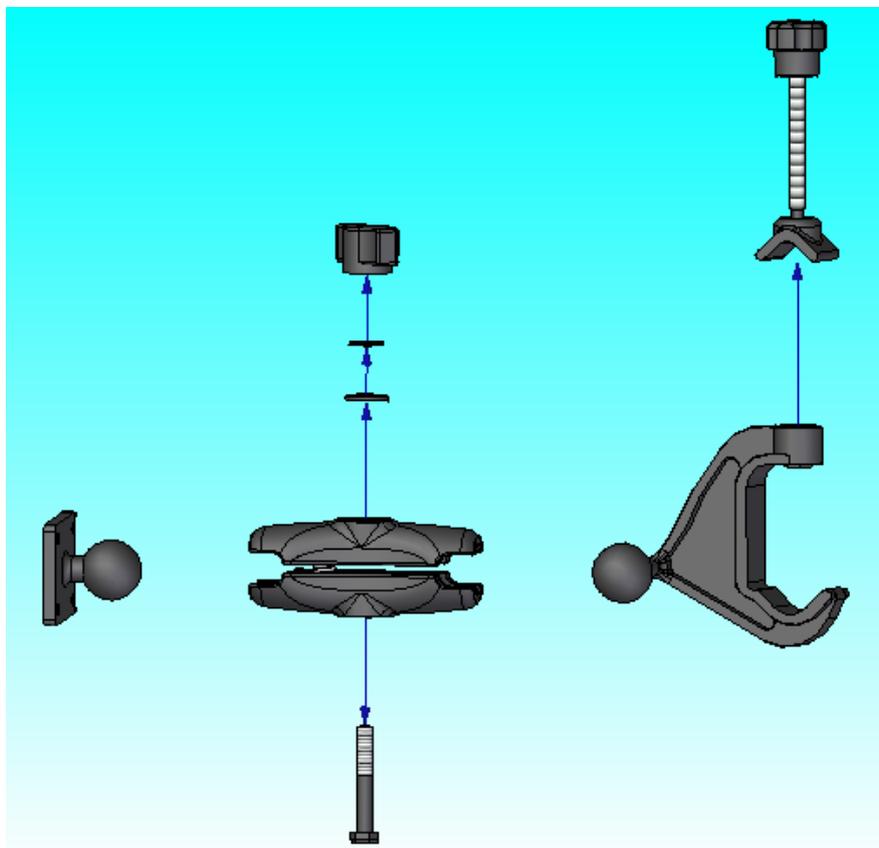


Figura 3.8 Explosionado elemento de sujeción.





4. Montaje

El montaje básicamente atañe a dos cuestiones que ya hemos tratado anteriormente, la unión entre el soporte del dispositivo suministrador de polvo y la estructura soporte del láser (unión brazo-estructura) y la unión entre el brazo del soporte y el elemento de sujeción del dispositivo suministrador de polvo (unión brazo-sujeción).

4.1. UNIÓN BRAZO-ESTRUCTURA

La unión brazo-estructura es una unión atornillada para la que se emplean dos tornillos de 10mm de diámetro, sus correspondientes dos tuercas y cuatro arandelas (dos por tornillo), de la manera que se indica en la **Figura 4.1**.

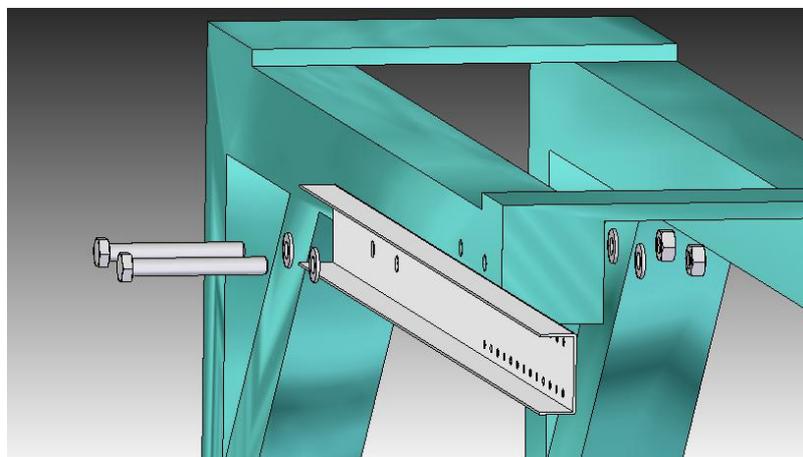


Figura 4.1 Representación unión brazo-estructura.



Para llevar a cabo esta unión es necesario realizar dos taladros en la estructura del láser cuyo diámetro sea ligeramente superior a los 10mm de diámetro de los tornillos. Dichos taladros los realizamos con una broca para metal de 10mm.

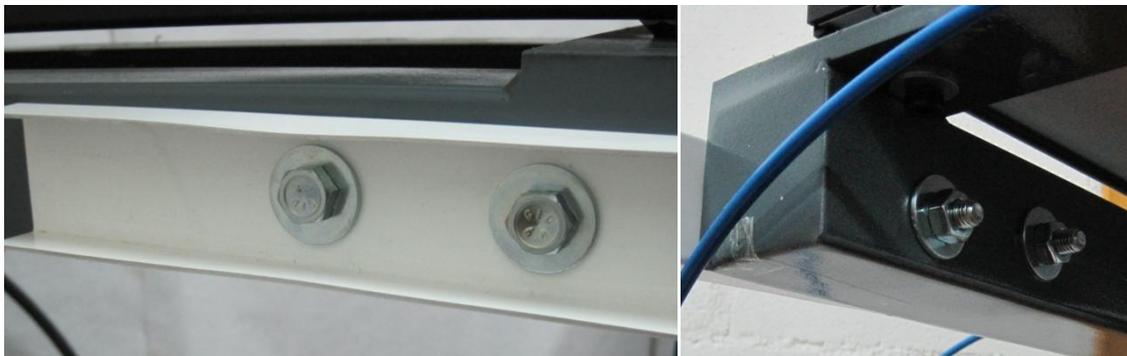


Figura 4.2 Unión brazo-estructura.

4.2. UNIÓN BRAZO-SUJECIÓN

Ya hemos indicado anteriormente (apartados 2.3.3, 3.2.1) que la unión brazo-sujeción es una unión atornillada donde en el brazo existen múltiples agujeros para poder enclavar la base de la sujeción del dispositivo suministrador de polvo en distintas posiciones.

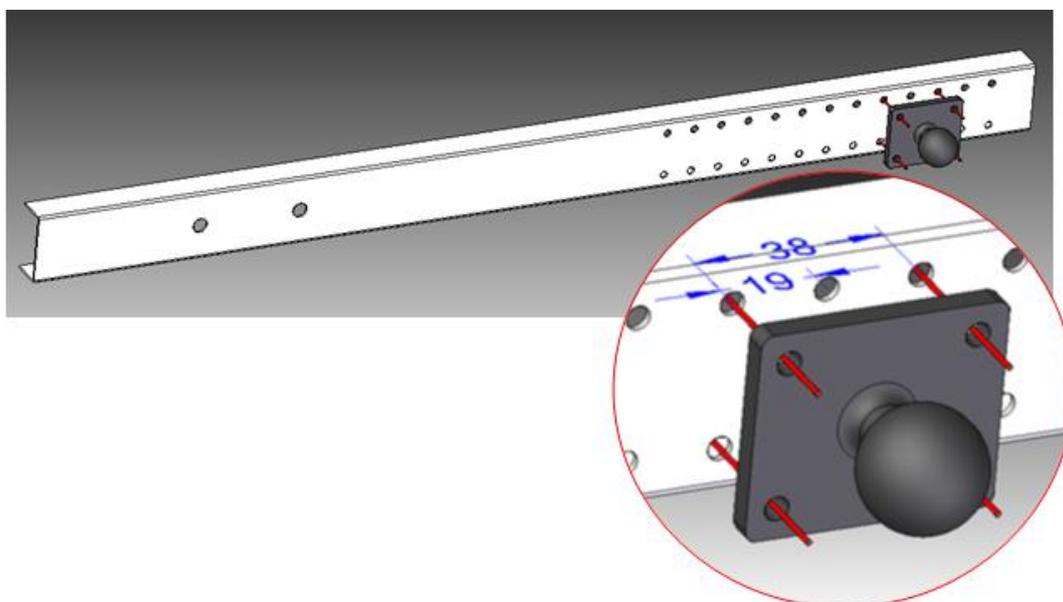


Figura 4.3 Posicionamiento de la base de la sujeción.

Como podemos observar en la Figura 4.3 el enclavamiento de la base de la sujeción sobre el brazo del soporte se realiza utilizando dos agujeros no consecutivos, de manera que se consigue una menor variación entre una posición y la siguiente, lo que permite un posicionamiento de la sujeción del aerógrafo mucho más preciso.



En un principio se pensó en realizar esta unión empleando cuatro tornillos de 4mm de diámetro con sus correspondientes cuatro tuercas y ocho arandelas, para una fijación perfecta. Sin embargo, finalmente se optó por el uso de tuercas mariposa, en lugar de las tuercas convencionales, y eliminamos las arandelas. De esta manera el cambio de posición se realiza rápida y cómodamente, y dado que esta unión no soporta apenas esfuerzo, la solución elegida finalmente es plenamente satisfactoria.

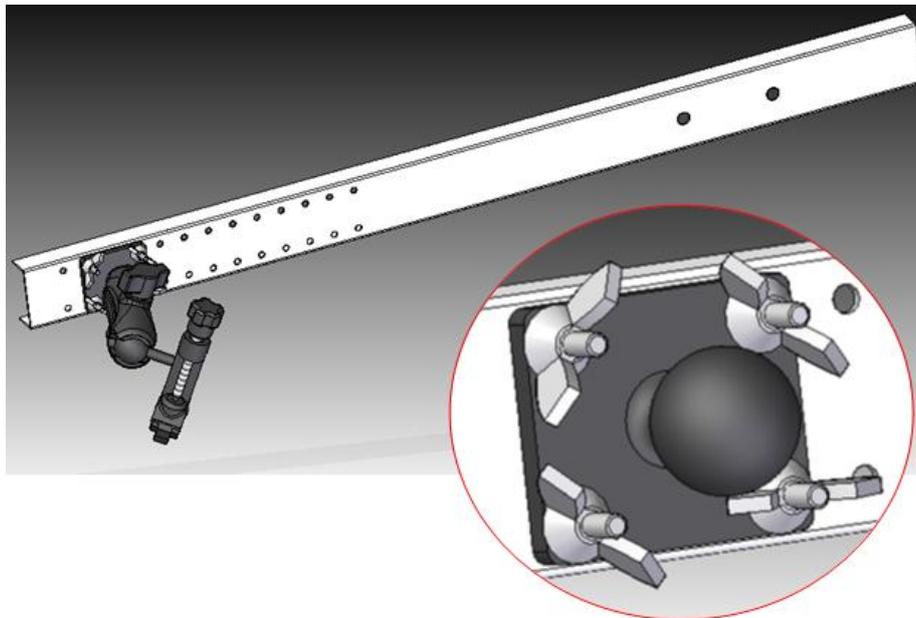


Figura 4.4 Representación unión brazo-sujeción.



Figura 4.5 Unión brazo-sujeción.

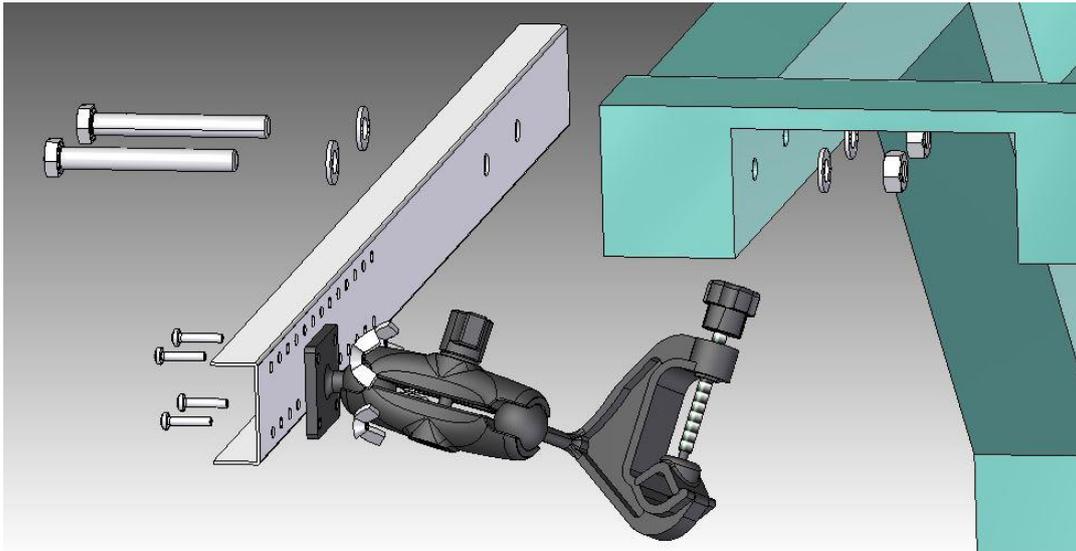


Figura 4.6 Detalle de montaje; unión brazo-estructura, unión brazo-sujeción.

4.3. MONTAJE

El resultado que obtenemos en el montaje es el que podemos observar en las siguientes imágenes (Figura 4.7, Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12).

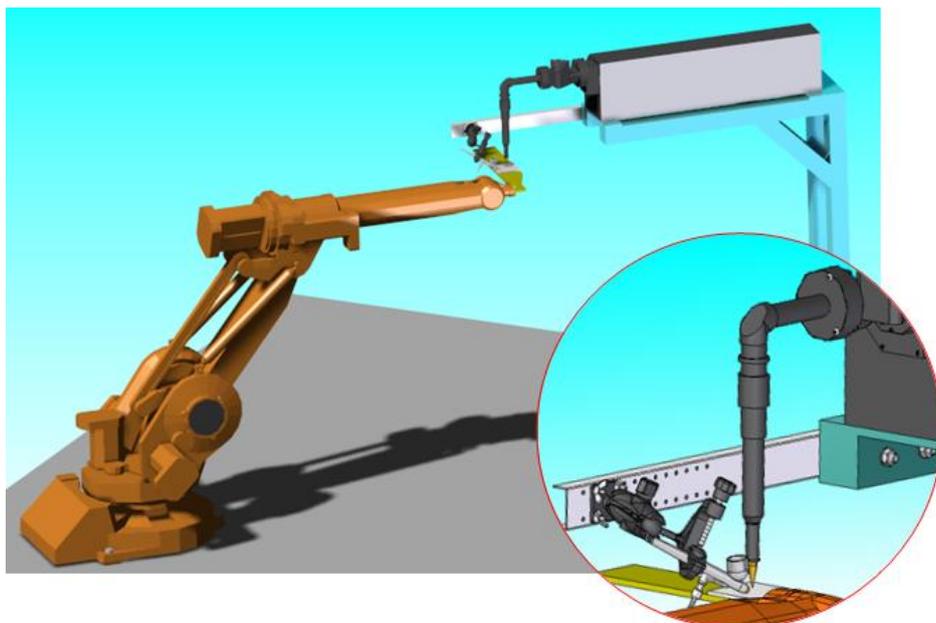


Figura 4.7 Representación del montaje (1).

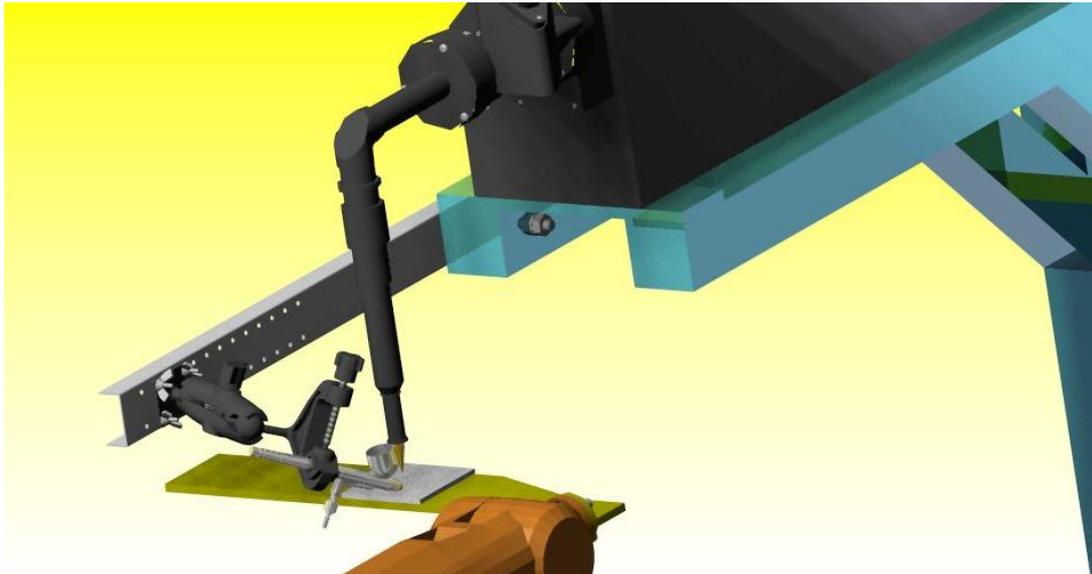


Figura 4.8 Representación del montaje (2).

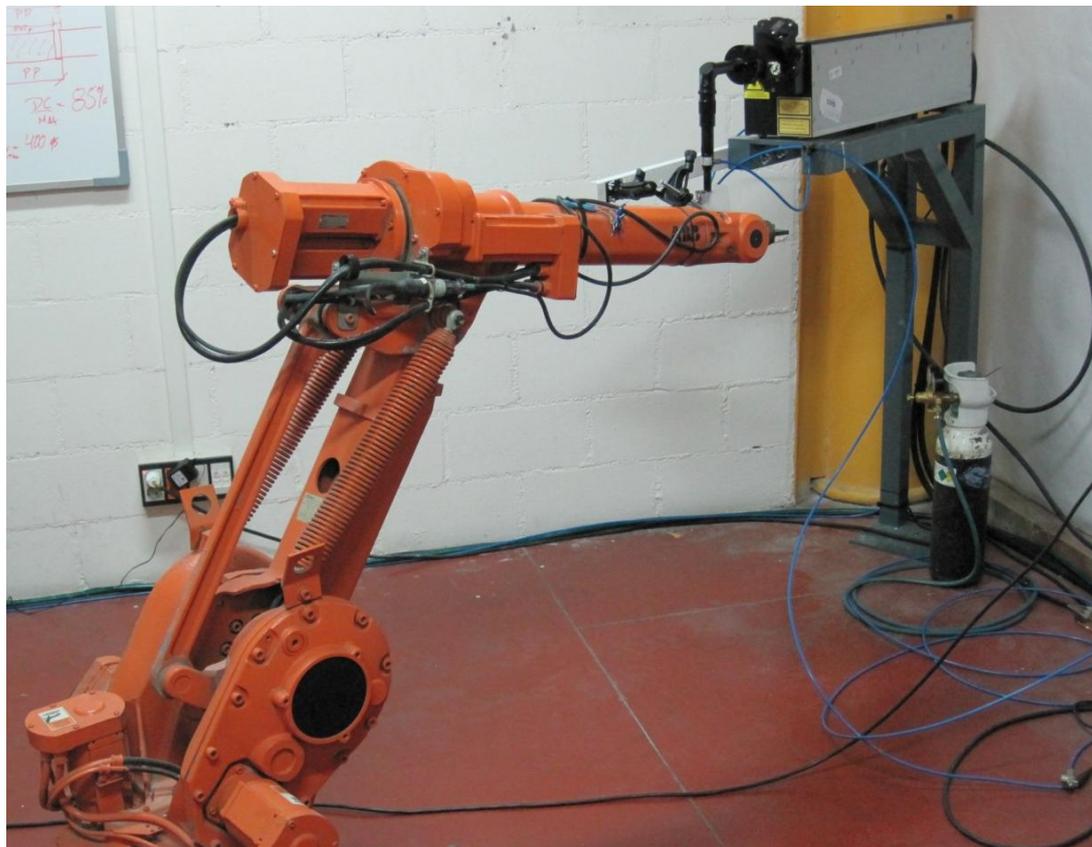


Figura 4.9 Vista general del montaje (1).



Figura 4.10 Vista general del montaje (2).



Figura 4.11 Imagen detallada del montaje (1).



Figura 4.12 Imagen detallada del montaje (2).

Una vez realizado el montaje del dispositivo suministrador de polvo debemos conectar la toma de aire a presión al aerógrafo. Para ello emplearemos un tubo flexible de poliamida de 6mm y colocaremos un manómetro para poder controlar la presión suministrada al sistema.



Figura 4.13 Colocación del manómetro. Se puede observar como la presión es ligeramente inferior a 5 bar.

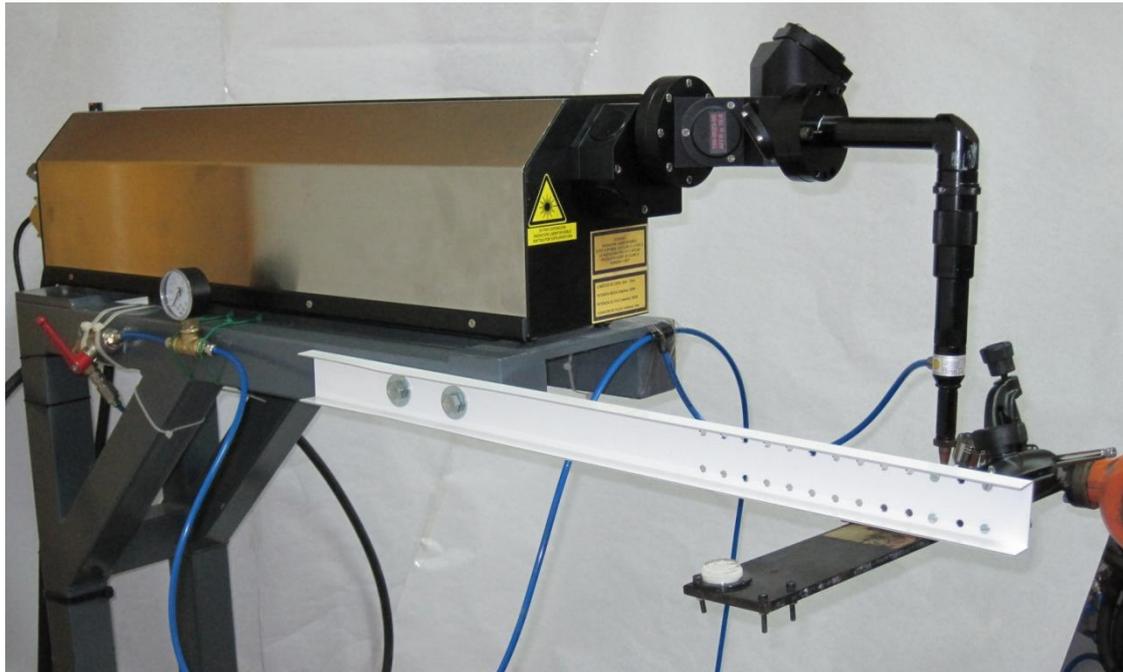


Figura 4.14 Vista general del sistema (con manómetro).

Emplearemos un manómetro convencional de 0-10 bar que montaremos sobre una T de 3/8 empleando reducciones de 3/8 - 1/4 para la colocación del propio manómetro y de las uniones con el tubo de poliamida.



Figura 4.15 Detalle del montaje del manómetro.



5. Presupuesto

El presupuesto de la realización de este proyecto es el especificado a continuación:

	Coste (€)
Aerógrafo	34,95
Brazo del soporte (chapa aluminio 1,5 x 700 x 85 mm)	0.0595 x 22,39 = 1,33
Sistema de sujeción	55,70
Manómetro	2,75
T de 3/8, reducciones y adaptadores	6,80
Tubo de poliamida de 6mm (longitud 2m)	2 x 1,15 = 2,30
Tornillos, arandelas y tuercas	2,25
Total	106,08

Tabla 5.1 Presupuesto

Como podemos observar en la tabla anterior (**Tabla 5.1**), el coste de fabricación de nuestro dispositivo suministrador de polvo es de 106,08€. Si bien este coste sería solo el coste de los materiales utilizados (C_m). A este coste habría que añadirle el coste de la mano de obra (C_{mo}), que en nuestro caso incluiría el coste de la mano de obra de la parte de ingeniería y el coste de operario/operarios del taller. El coste de amortización de las máquinas y equipos empleados (C_a) y el coste de herramientas (C_h), donde también se incluye el coste de los programas informáticos utilizados y sus licencias de utilización.

Por lo tanto el coste total real de la realización de este proyecto sería:

$$C = \sum C_i = C_m + C_{mo} + C_a + C_h$$





6. Conclusiones

El dispositivo suministrador de polvo es un sistema práctico, económico, útil y versátil que de una manera sencilla cumple con los requerimientos solicitados, siendo una alternativa viable a los complejos sistemas de suministro de polvo existentes.

El dispositivo se adapta a las infraestructuras existentes adecuadamente, sin interferir en el funcionamiento del láser o del robot. Aprovecha la estructura soporte del láser como punto de apoyo donde ser fijado.

La viabilidad de construcción del proyecto es máxima, ya que los elementos empleados en su construcción son fáciles de conseguir y su montaje no es excesivamente complicado.

De cara al futuro, este diseño es altamente versátil. El brazo construido permite la colocación de más de un dispositivo de sujeción, lo que implica que podríamos disponer de varios dispensadores de polvo simultáneos sin tener que variar el diseño. Lo que permite adaptarse de manera rápida, cómoda y sencilla a posibles situaciones futuras.

Su funcionamiento es seguro, sin implicar riesgo físico alguno al operario siempre que se tomen las medidas oportunas, esto es, el uso de una mascarilla para evitar una posible inhalación de polvo.





7. Trabajos futuros

Mejorar el dispositivo de suministro de polvo. Consiguiendo una homogeneidad absoluta en el flujo de polvo y tratando de que desperdicie el mínimo material de aporte posible.

Estudiar la posibilidad de introducir en el dispositivo dispensador de polvo la capacidad de controlar el flujo de polvo, pudiendo variar la concentración y cantidad. Permitiendo una mayor flexibilidad y la posibilidad de realizar recubrimientos variables en dimensión y/o composición.

Fabricar un sistema de aislamiento (tipo urna o similar) de la zona de trabajo que permita la recuperación del material de aporte desaprovechado y evite la dispersión de este por la atmosfera.

Construir un dispositivo dispensador de polvo con múltiples toberas o salidas de polvo.





8. Referencias

- [1] W.M. Steen. "Laser material processing". Londres: Springer-Verlag (2003).
- [2] C.H. Townes. "The first laser". University of Chicago (2008).
- [3] C.K.N. Patel. "Continuous-wave laser action on vibrational-rotational transitions of CO₂". Physical review (1964).
- [4] D.S. Gnanamuthu, E.V. Locke. "Surface modification". Avco. Everett Research Laboratory (1977).
- [5] W.M. Steen, K. G. Watkins. "Coating and laser surface treatment". Journal de Physique (1993).
- [6] SPIE; "<http://spie.org>".
- [7] P.J.E. Monson, W.M. Steen. "Surface Engineering" (1990).
- [8] D.E. Belfore. "Ind. Laser Rev." (1992).
- [9] M. Kawasaki, K. Takase, S. Kato, M. Nakagawa, K. Moil. "Developments of engine valve seat directly positioned onto aluminum cylinder head by laser cladding process". International Congress and Exposition, Detroit (1992)
- [10] J. Pou, F. Lusquiños, R. Soto, M. Boutinguiza, F. Quintero, N. Louzán y M. Pérez-Amor. "Aplicaciones del láser al procesamiento de materiales". Dpto. Física Aplicada, E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Vigo.
- [11] Nova Àgora S.L; "<http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/>".



- [12] S. Kapakjian, S.R. Schmid. "Manufacturing, engineering and technology". Pearson Education Canada (2009).
- [13] M. Boutinguiza, J. Pou, F. Lusquiños, F. Quintero, R. Soto, M. Pérez-Amor, K. Watkins, W.M. Steen. "CO2 laser cutting of slate". Optics and Lasers in Engineering 37 (2002).
- [14] M. Dorronsoro. "La tecnología Láser: fundamentos, aplicaciones y tendencias". McGraw-Hill. (1996).
- [15] J. Dutta, I. Manna. "Laser processing of materials". Sadhana, (2003).
- [16] E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. "Laser Cladding". CRC Press (2004).
- [17] M. Schneider. "Laser cladding with powder, efect of some machining parameters on clad properties". University of Twente (1998).
- [18] M. Picasso, C.F. Marsden, J.D. Wagnibre, A. Frenk, M. Rappaz. "A Simple but Realistic Model for Laser Cladding". Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. C.F. (1994).
- [19] R. Vilar. "Laser cladding". J. Laser Appl. (1999).
- [20] R. Franch, J. Fernández, B. Cárcel, V. Crespo, J.M. Guilemany. "Microestructura y Disolución en el Proceso de Láser Cladding de Stellite 6". Talleres mecánicos Comas, Centro de proyección térmica (CPT), Facultad de Química Universidad de Barcelona, Aido.
- [21] Laserline GmbH; "<http://www.laserline-inc.com>".
- [22] Rofin-Baasel España S.L.; "<http://www.rofin.es>".
- [23] Wikipedia; "<http://en.wikipedia.org>".
- [24] Hardchrome Engineering; "<http://www.hardchrome.com.au>".
- [25] The ABB Group; "<http://www.abb.com>".
- [26] University of Waterloo; "http://resonance.uwaterloo.ca/p/research_areas/".
- [27] Laser Institute of America Inc.; "<https://www.lia.org>".
- [28] Hayden Corp.; "<http://www.haydencorp.com>".
- [29] TuningPedia S.L.; "http://www.tuningpedia.org/Introduccion_a_la_aerografia".



- [30] Manual de usuario Robot ABB IRB 1400;
"http://rab.ict.pwr.wroc.pl/irb1400/prod14.pdf".





ANEXOS

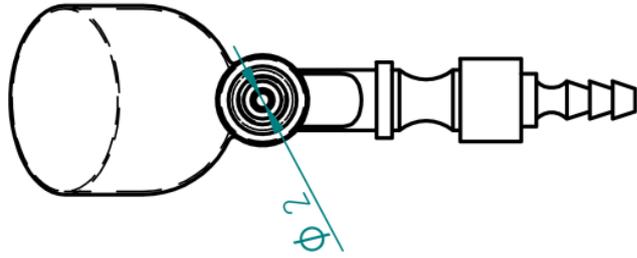
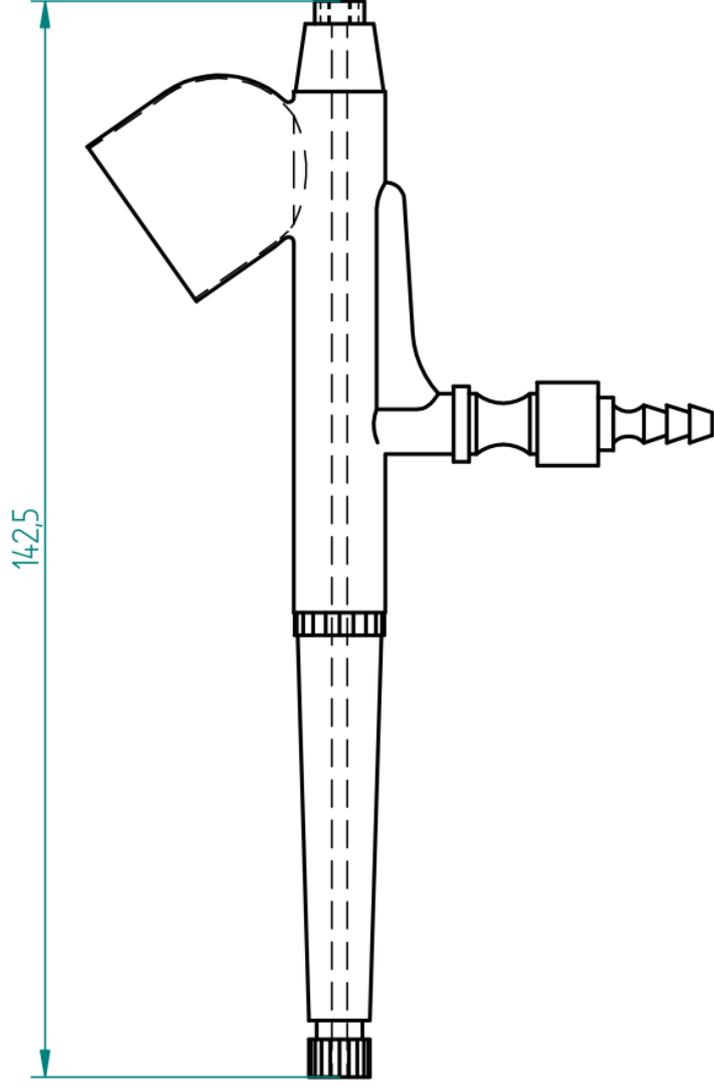




A. Planos



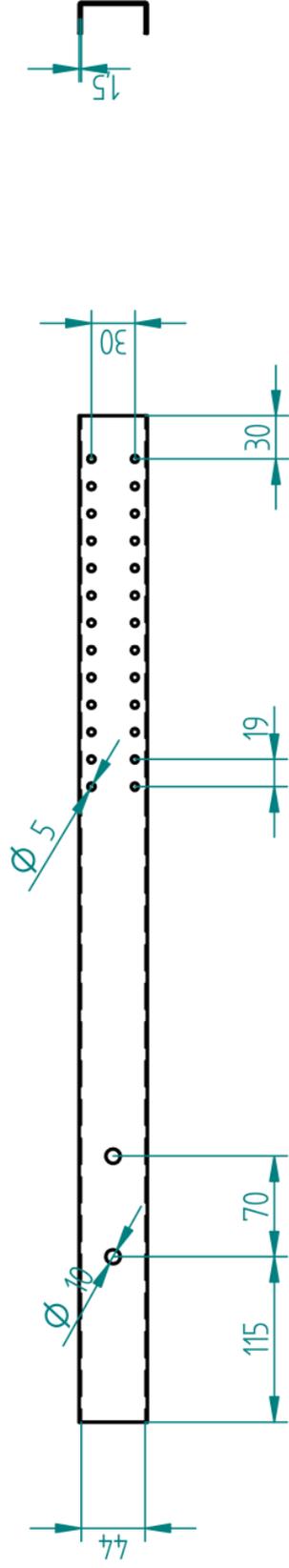
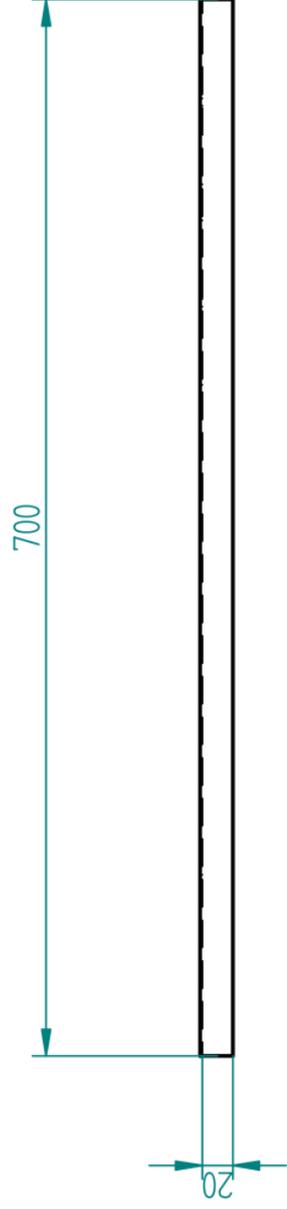
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Dibujado	Nombre	Fecha	Diseño y construcción del dispositivo suministrador de polvo en un sistema de "laser cladding"	
Comprobado	Javier Pérez	8/01/12	Título	
Aprobado 1			Aerógrafo	
Aprobado 2			A4	Plano
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Rev	
			Archivo: Aerografo.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 1 de 1	



Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Dibujado	Nombre	Fecha	Diseño y construcción del dispositivo suministrador de polvo en un sistema de "laser cladding"	
Javier Pérez	Javier Pérez	8/01/12	"laser cladding"	
Comprobado			Título	
Aprobado 1			Brazo soporte	
Aprobado 2			Rev	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
			Archivo: Perfil aluminio.dft	
			Escala	Peso
			Hoja 1 de 1	





B. Láser Rofin SCx10





rofin
LASER MACRO

ROFIN SC x10/20

Sealed CO₂ Slab Laser

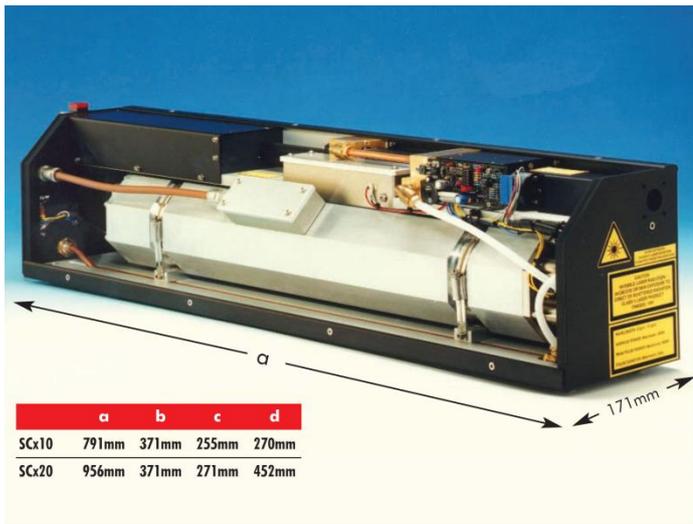


WE
THINK
LASER

THE POWER OF LIGHT



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN SISTEMA DE "LASER CLADDING"



	a	b	c	d
SCx10	791mm	371mm	255mm	270mm
SCx20	956mm	371mm	271mm	452mm



Modular power supply

On-board diagnostics

SC x10/SC x20 sealed CO₂ laser

ROFIN's SC x 10 and SC x 20 sealed CO₂ lasers for the marking, cutting, drilling, welding or heat treating of a wide variety of materials, are simple to integrate into industrial processing systems. Their modular water-cooled DC and RF power supply units provide additional integration versatility. The laser units are of a compact, rugged design as a result of their propriety diffusion cooled RF excited Slab construction. This produces a high quality round, symmetrical beam, which results in faster cutting speeds, improved edge quality and a minimum heat affected zone. The hard sealed construction of the laser tube ensures long gas lifetime, with virtually no maintenance requirement. The elimination of an independent gas supply has the added benefit of removing the contamination source for the cavity optics and output window.

Extras provided as standard:

An integrated electromechanical beam shutter with safety sensors; an output collimating lens for ease of beam delivery integration; on-board diagnostics with an output interfacing capability.

Optional enhancements:

Various gas fill options to reduce peak power and enhance short pulse performance; special product configurations to suit particular applications and OEM integration.

ROFIN is one of the world's leading designers and manufacturers of industrial lasers. The company has more than 14,000 laser units installed world-wide and serves more than 2500 customers in a wide variety of applications and industry sectors.

	Specification SCx10	Specification SCx20
Laser	Single sealed CO ₂ RF excited Slab	Single sealed CO ₂ RF excited Slab
Power range	5 to 100W	5 to 200W
Stability (long term)	± 7%	± 7%
Peak power	100 – 240W (low peak power option available)	200 – 480W
Beam quality factor	K > 0.8	K > 0.8
Polarisation	Linear, perpendicular to base plate	Linear, perpendicular to base plate
Frequency	0 - 100 kHz	0 - 100 kHz
Pulse energy	Up to 100mJ	Up to 190mJ
Voltage	200 – 240V ± 10%; 50/60 Hz; single or bi-phase	200 – 240V ± 10%; 50/60 Hz; single or bi-phase
Three phase option	190 – 240V and 360 – 440V 3 phase 50/60Hz	190 – 240V and 360 – 440V 3 phase 50/60Hz
Diagnostics	Output signal interface	Output signal interface

Distributed by:



Rofin-Sinar UK Ltd.
York Way, Willerby
Kingston upon Hull
HU10 6HD
United Kingdom
T: +44 1482 650088
F: +44 1482 650022
E: sales@rofin-uk.com
W: www.rofin.com

© Rofin-Sinar UK Ltd., September 2006.

Please note that while every effort has been made to ensure that the data given in this document is accurate, due to a policy of continuous improvement, the information, figures, illustrations, tables, specification and schematics contained herein are subject to change without notice.

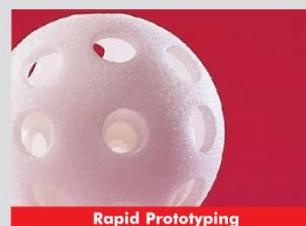
ENG 903-0055-00 Rev B.

WWW.ROFIN.COM

Applications
Marking, cutting, drilling, welding or heat-treating of a wide variety of materials.



Glass scribing



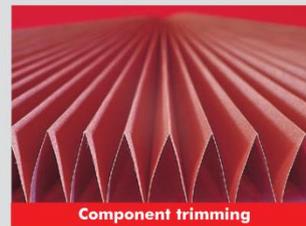
Rapid Prototyping



Micro cutting/marking



Rubber drilling



Component trimming



Fabric cutting and sealing



C. Aerógrafo BD-130E





MODEI AIR BRUSH

Nozzle diameter: 0.3mm

Fluid Cup Capacity : 7cc

■ APPLICATIONS

Commercial arts, illustrations, photo retouching, hobby and crafts

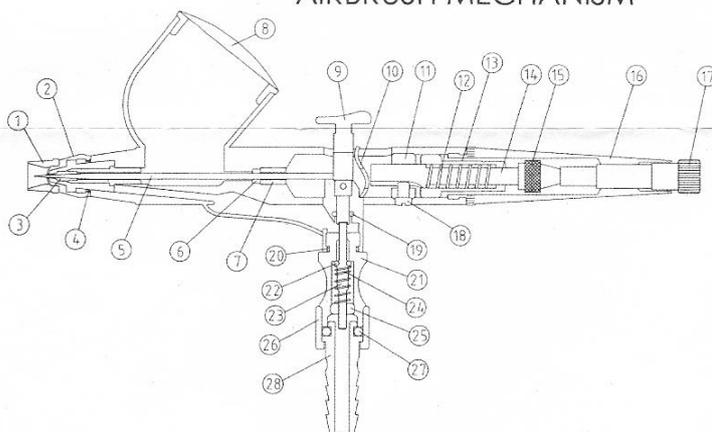
■ HOW TO SPRAY

1. Fill fluid in the cup after thinning appropriately.
2. Hold the airbrush lightly in your hand.
3. By pressing the main lever, a stream of air emerges. Then draw it backward gradually for Color atomization.
4. The spray pattern is in accordance with the distance between a work surface and a air brush.
5. For fine line spray, remove the needle cover and hold the air brush near a work surface.

■ MAINTENANCE

1. Empty the fluid cup and wash with water or solvent by a brush.
2. Refill cup with water or solvent, then block the needle cover with a finger and spray. The air flows backward into nozzle to clean the paints remained the air brush.

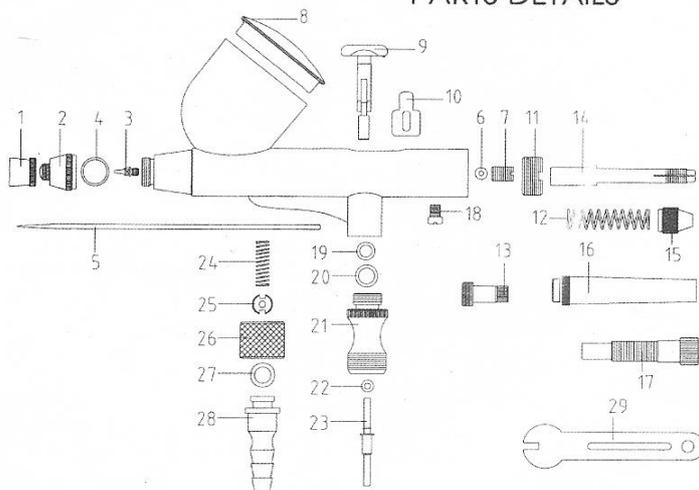
AIRBRUSH MECHANISM



Parts Name

1. Needle Cap
2. Nozzle Cap
3. Nozzle
4. O-Ring for Nozzle Cap
5. Needle
6. O-Ring for Needle Guide
7. Needle Guide
8. Lid for Color Cup
9. Operation Lever
10. Lever Guide
11. Stopper
12. Spring
13. Spring Case
14. Needle Chucking Guide
15. Needle Chucking Net
16. Standard-Handle Adjusting
17. Adjusting Screw
18. Guide Screw
19. Lever Guide O-Ring
20. Valve O-Ring
21. Valve Body
22. Valve Rod O-Ring
23. Valve Rod
24. Valve Spring
25. Valve Screw
26. Hose Connector Nut
27. O-Ring for Hose Connector
28. Hose Connector
29. Nozzle Spanner

PARTS DETAILS

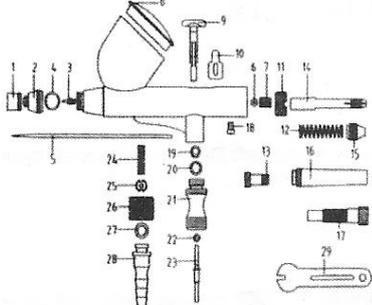




DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN SISTEMA DE "LASER CLADDING"

Despiece del aerógrafo

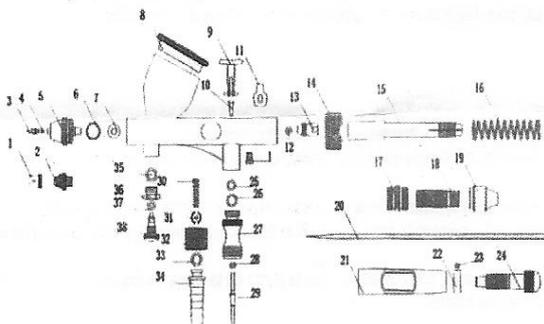
27085



1. BOQUILLA EXTERIOR
2. BOQUILLA INTERIOR
3. OBTURADOR
4. ARANDELA DE LA BOQUILLA INTERIOR
5. AGUJA
6. ARANDELA DE LA AGUJA
7. SOPORTE DE LA AGUJA
8. TAPA CAZOLETA
9. GATILLO
10. PALANCA DEL GATILLO
11. TOPE
12. MUELLE
13. CUERPO DEL MUELLE
14. SOPORTE-GUJA DE LA AGUJA
15. TOPE AGUJA
16. CUERPO (COLA)
17. REGULADOR DE LA AGUJA
18. TORNILLO DE SEGURIDAD
19. ARANDELA DE PALANCA DEL GATILLO
20. ARANDELA DEL PISTÓN

21. CUERPO DEL PISTÓN
22. ARANDELA DEL PISTÓN
23. EJE DE VÁLVULA
24. MUELLE DEL EJE VÁLVULA
25. CIERRE/TOPE DEL MUELLE
26. TUERCA CONECTOR MANGUERA
27. ARANDELA CONECTOR MANGUERA
28. CONECTOR MANGUERA
29. LLAVE DEL OBTURADOR

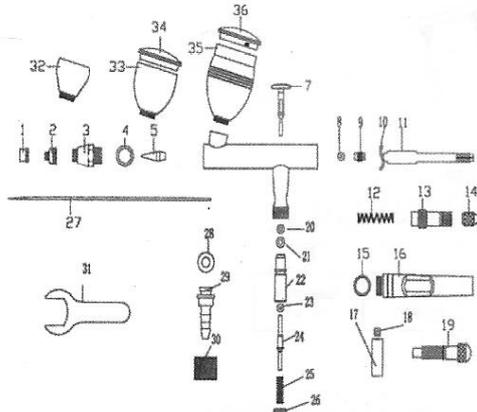
27086



1. BOQUILLA EXTERIOR
2. BOQUILLA INTERIOR
3. OBTURADOR
4. ARANDELA DE LA BOQUILLA INTERIOR
5. BOQUILLA DE AIRE
6. ARANDELA
7. ARANDELA
8. TAPA CAZOLETA
9. GATILLO
10. TAPON
11. PALANCA DEL GATILLO
12. ARANDELA SOPORTE AGUJA
13. SOPORTE DE LA AGUJA
14. TOPE
15. SOPORTE-GUJA DE LA AGUJA
16. MUELLE
17. CONEXIÓN
18. CUERPO DEL MUELLE
19. TOPE AGUJA
20. AGUJA

21. CUERPO COLA
24. REGULADOR DE LA AGUJA
25. ARANDELA DE PALANCA DE GATILLO
26. ARANDELA DEL PISTÓN
27. CUERPO DEL PISTÓN
28. ARANDELA
29. EJE DE LA VALVULA
30. MUELLE DEL EJE VÁLVULA
31. CIERRE/TOPE DEL MUELLE
32. TUERCA CONECTOR MANGUERA
33. ARANDELA CONECTOR MANGUERA
34. CONECTOR MANGUERA
35. ARANDELA
36. TUERCA
37. ARANDELA
38. REGULADOR

27087



1. BOQUILLA EXTERIOR
2. BOQUILLA INTERIOR
3. BOQUILLA
4. ARANDELA DE LA BOQUILLA INTERIOR
5. OBTURADOR
6. CUERPO
7. GATILLO
8. ARANDELA SOPORTE AGUJA
9. SOPORTE DE LA AGUJA
10. PALANCA DEL GATILLO
11. SOPORTE-GUJA DE LA AGUJA
12. MUELLE
13. CUERPO DEL MUELLE
14. TOPE DE LA AGUJA
15. ARANDELA
16. CUERPO (COLA)
19. REGULADOR DE LA AGUJA
20. ARANDELA DE PALANCA DEL GATILLO

21. ARANDELA DEL PISTÓN
22. CUERPO DEL PISTÓN
23. ARANDELA
24. EJE DE LA VALVULA
25. MUELLE DE LA VALVULA
26. TORNILLO DE LA VALVULA
27. AGUJA
28. ARANDELA CONECTOR MANGUERA
29. CONECTOR MANGUERA
30. TUERCA CONECTOR MANGUERA
31. LLAVE
32. CAZOLETA PINTURA (2ml)
33. CAZOLETA PINTURA (5ml)
34. TAPA CAZOLETA (5ml)
35. CAZOLETA PINTURA (13ml)
- TAPA CAZOLETA PINTURA (13ml)



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO SUMINISTRADOR DE POLVO EN UN SISTEMA DE "LASER CLADDING"

Instrucciones AERÓGRAFOS 27085 / 27086 / 27087

● ESPECIFICACIONES

AEROGRAFO	REF. AL	DIAMETRO AGUJA	CAPAC.DEPÓSITO	DOBLE ACCIÓN
BD-130E	27085	0,30 mm	7 cc	SI
BD-180	27086	0,20 mm	9 cc	SI
BD-183	27087	0,50 mm	2 cc & 5 cc & 13 cc	SI

● APLICACIONES

Ilustración comercial, retoque de fotos, tatuaje corporal y de uñas, hobby y arte en general.

● UTILIZACIÓN

1. En pistolas automáticas con palanca de doble acción, el chorro de aire se regula apretando el gatillo hacia abajo y la cantidad de tinta tirando del gatillo hacia atrás. Ambas acciones se pueden controlar independientemente. Por tanto, la aguja es siempre móvil.
2. Con el regulador de la aguja podremos controlar la amplitud de la rociada.
3. El punteado se consigue sacando la boquilla exterior e interior y ajustando la presión del aire.

● PROBLEMAS Y SOLUCIONES

- A. PROBLEMA: la boquilla se obstruye, se parte o se deforma; la aguja no encaja en la boquilla. SOLUCIÓN: comprobar la boquilla con una lupa y/o cambiarla
- B. PROBLEMA: el pigmento sólido se acumula en la aguja o se pega en la punta. SOLUCIÓN: poner una aguja nueva. Probablemente tenga que cambiar también la boquilla, puesto que ésta se estropea al doblarse la aguja.
- C. PROBLEMA: la punta de la boquilla está demasiado cerca de la superficie de trabajo o el gatillo está demasiado tirante. SOLUCIÓN: alejar la punta de la boquilla o apretar el gatillo completamente.

● PRECAUCIONES

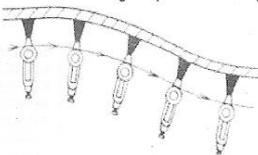
- A. El aerógrafo es un instrumento de precisión. Manéjelo con cuidado, especialmente las partes principales y más delicadas: aguja, boquilla y obturador.
- B. Preste especial atención al dejar de apretar el gatillo mientras está pintando; no lo haga bruscamente porque podría estropear el obturador.
- C. Limpie el aerógrafo completamente después de su uso.

● LIMPIEZA

- A. Desenrosque la parte trasera de la empuñadura y afloje el tornillo que une el gatillo a la aguja. Tire cuidadosamente de la aguja para sacarla.
- B. Limpie cuidadosamente el depósito de tinta con agua o disolvente y un pincel o bastoncillo, manteniendo la boquilla hacia abajo para que el limpiador penetre en el mecanismo de la válvula mientras la aguja está fuera. Pulverice los restos de disolvente que hayan podido quedar, proyectándolos hacia una hoja de papel limpia, hasta que salga completamente limpio.
- C. Introduzca un bastoncillo en el interior de la carcasa para limpiar restos de tinta. Ésta operación debe realizarse después de haber extraído la aguja.
- D. Limpiar también cuidadosamente la boquilla. Si la boquilla es autocentradora, quitar primero la junta anular. Si la boquilla estuviese atascada, sumergirla en disolvente durante unas horas, también sin la junta.
- E. Colocada de nuevo la carcasa, limpiar la aguja con un paño suave y colocarla de nuevo, con cuidado de que la punta de la aguja no tropiece con algo y se tuerza. Si encuentra cualquier resistencia, retire ligeramente la aguja e inténtelo de nuevo.

● OTROS DATOS

- Para obtener los mejores resultados y conservar correctamente su aerógrafo, es fundamental limpiarlo inmediatamente después de su uso
- Para obtener los mejores resultados es importante mantener el aerógrafo paralelo a la superficie que queremos pintar



- Además se recomienda seguir la secuencia siguiente a la hora de pintar:

