

Universidad de **Cádiz**

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

**Facultad:** CIENCIAS

**Titulación:** INGENIERÍA QUÍMICA

**Título:** Sistema de deposición química en fase vapor para crecimiento homoepitaxial de diamante

**Autora:** Desireé GUZMÁN RABANILLO

**Fecha:** Noviembre 2004





**FACULTAD DE CIENCIAS  
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**RESUMEN PROYECTO FIN DE CARRERA  
“SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA  
CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE”**

**Desirée Guzmán Rabanillo**

**Noviembre, 2004**

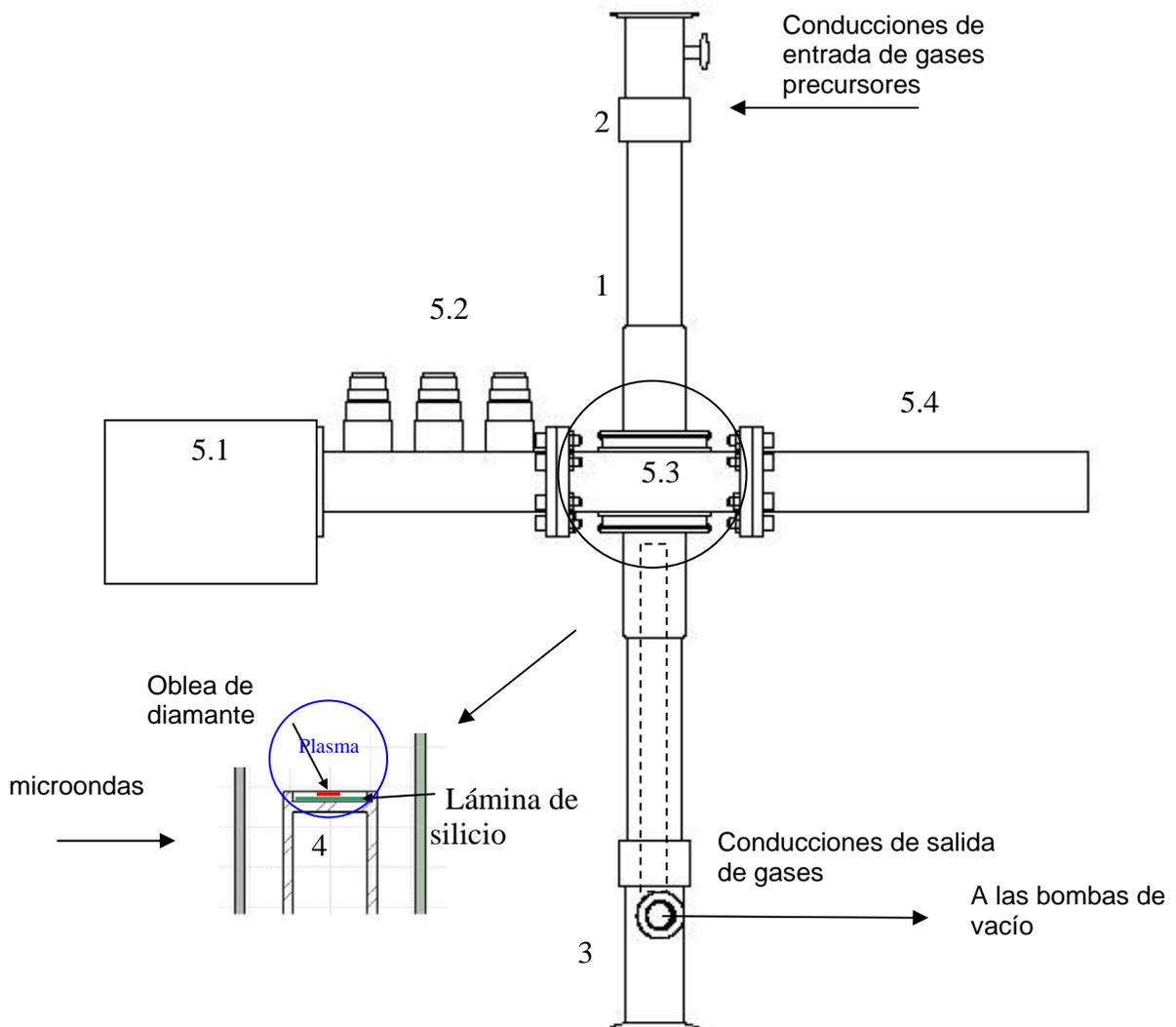
El objeto del proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema de deposición química en fase vapor (CVD) asistido por plasma generado con microondas con el fin de hacer crecer diamante sobre un pequeño sustrato de diamante monocristalino.

Las aplicaciones del diamante obtenido mediante técnica CVD se encuentran, en principio, en el campo de la microelectrónica y están directamente relacionadas con las propiedades que poseen estos diamantes. Es posible obtener diamante no dopado con movilidades de portadores que exceden las del mejor diamante natural, y alcanzan valores de  $4500\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  para los electrones y  $3800\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  para los huecos. Estas y otras propiedades lo convierten en el mejor competidor frente al silicio. Algunas de estas aplicaciones están abriéndose paso en el mercado. Hasta ahora, el principal obstáculo ha sido el alto coste del diamante y por tanto, se optaba por otro material alternativo. Mediante la técnica CVD se pretende que el coste del diamante baje y permita a los ingenieros explotar las extraordinarias propiedades del diamante en un amplio rango de aplicaciones.

En la figura se muestra un esquema del sistema de deposición objeto del presente proyecto.

Los precursores gaseosos previamente mezclados entran en la cámara de reacción (1) por la parte superior y descienden por efecto del sistema de vacío. En el punto de intersección de la cámara de reacción con la guía de onda (2) la energía de las microondas activa la mezcla gaseosa y tiene lugar la formación del plasma (3). El sustrato (4) se posiciona tal que se encuentre sumergido en la bola de plasma formado. Para ello se dispone de un tubo de cuarzo interior (5), cerrado en ambos extremos, el extremo superior sirve de portamuestras (6) para el sustrato y el extremo inferior se fija a la cámara de reacción. Los gases son activados al atravesar el plasma y tienen lugar las reacciones que conducen a la formación de diamante. Los gases sobrantes de

reacción abandonan la cámara por su extremo inferior y fluyen hacia el sistema de bombas de vacío.



Se describe brevemente cada uno de los componentes que forman el sistema:

### 1) Cámara de reacción

Es el elemento principal del sistema; por su interior circulan los gases precursores, se forma el plasma y tienen lugar las reacciones químicas que dan lugar al crecimiento de diamante.

La cámara de reacción es un simple tubo de cuarzo de diámetro externo 47 mm y longitud 750 mm.

La cámara presenta en sus extremos sendos adaptadores de vacío cuarzo-metal que incluyen las conexiones para la entrada y salida de gases.

## 2) *Adaptador superior*

Su función es servir como elemento para la introducción de los gases precursores en la cámara de reacción y unir ésta con su fondo superior, una brida ciega con ventana óptica de cuarzo.

## 3) *Adaptador inferior*

Similar al adaptador superior. Su función es permitir la salida de los gases sobrantes y unir la cámara de reacción con una brida de vacío con sistema de apertura y cierre, que posibilita la apertura y cierre del sistema para la carga y descarga de las obleas.

## 4) *Portamuestras*

El portamuestras es el elemento sobre el que se sitúa la oblea de diamante durante la operación. Es una oblea de silicio de 15 mm de diámetro cubierta por una lámina de diamante policristalino para evitar la contaminación por silicio durante la deposición. Está situada sobre el extremo superior cerrado de un tubo de cuarzo que presenta una hendidura en la cual encaja. Este tubo interior se encuentra cerrado en ambos extremos y tiene un diámetro exterior de 23,5 mm.

## 5) *Subsistema de microondas*

El subsistema de microondas está compuesto por los siguientes elementos:

- Generador de microondas
- Guía de onda rectangular. Se divide en los tramos siguientes
  - Circulador
  - Sintonizador de triple stub
  - Aplicador
  - Terminación

### 5.1. Generador de microondas

Se necesita un magnetrón que genere microondas de frecuencia igual a 2,45 MHz y con una potencia máxima de 1200 vatios. Es requisito indispensable que tenga una brida RW340 para conectar directamente con la guía de onda.

### Guía de onda

La guía de onda conduce las microondas desde el generador hasta la oblea. Como parte de la guía de onda actúan el sintonizador, el aplicador y la terminación.

### 5.2. Sintonizador

Es un elemento capaz de acoplar las impedancias del sistema.

### 5.3. Aplicador

Elemento mediante el cual se aplica la energía de las microondas a la corriente gaseosa para generar el plasma.

### 5.4 Terminación

Es un tramo de guía de onda situado en el extremo opuesto al generador de microondas. Un extremo se encuentra cerrado.

Como se ha podido observar el reactor es básicamente un tubo de cuarzo dispuesto verticalmente. Se introduce por el extremo superior una mezcla de hidrógeno ( $H_2$ ) y metano ( $CH_4$ ) en proporción 99% de hidrógeno. En condiciones de baja presión (66 mbar) y relativa baja temperatura (800°C–900°C) se establece una cadena de reacciones complejas que tienen como resultado la formación, sobre la superficie, de pequeños núcleos cristalinos de diamante. La secuencia de los pasos sería la siguiente:

- **Mezcla** de los gases precursores (1% de  $CH_4$  en  $H_2$ ).
- Los reactivos que se encuentran en fase gaseosa,  $H_2$  y  $CH_4$  se **activan**. El gas absorbe la energía del campo electromagnético de las microondas y se genera plasma. El objetivo es obtener hidrógeno atómico y especies radicales altamente reactivas ( $CH$ ,  $CH_2$ ,  $CH_3$ ) indispensables para que tenga lugar la reacción de crecimiento de

- diamante. En esta etapa también existe un calentamiento del gas alcanzando temperaturas de unos 800 °C.
- Las especies químicas generadas a partir de la activación se **transportan** por difusión hasta la superficie del sustrato mientras tienen lugar complejas reacciones químicas.
  - Una vez en la superficie, el hidrógeno atómico juega un papel crítico. Reacciona con el CH<sub>4</sub> para formar el radical metil, el cual **reacciona** fácilmente con el sustrato y se forman los enlaces C-C en la superficie.

Además de requerir una presión de operación inferior a la presión atmosférica es necesario hacer alto vacío ( $10^{-6}$  mbar) antes de introducir la muestra para garantizar que no existan impurezas que puedan contaminar la oblea. Para conseguir las bajas presiones se utilizan dos bombas de vacío con las prestaciones necesarias para conseguir el nivel de vacío requerido.

La temperatura alcanzada por la oblea, se debe a la existencia del plasma el cual es generado mediante la energía de microondas. La temperatura de la oblea se controla mediante un pirómetro de infrarrojos que se coloca en la parte superior del reactor. A través de una ventana dieléctrica recibe la radiación infrarroja emitida por el sustrato y determina su temperatura. Como el plasma emite en el violeta, no interfiere en la medida de la T. La presión se controla por un conjunto de sensores de presión.

Para determinar con exactitud los flujos másicos de cada uno de los gases se usan controladores de flujo másico. Estos caudales son tales que aseguran flujo laminar en el interior de la cámara de reacción.

## ÍNDICE

### MEMORIA

1. TÍTULO
2. PETICIONARIO
3. ANTECEDENTES
4. REACCIÓN QUÍMICA
6. OBJETO
7. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN
8. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS
9. MATERIAS PRIMAS
10. OPERACIÓN Y RÉGIMEN DE FABRICACIÓN
11. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
12. ESTUDIO ECONÓMICO
13. NORMATIVA
14. BIBLIOGRAFÍA
- 15. ANEXO DE CÁLCULOS**

### PLANOS

- PLANO NÚMERO 00 – SISTEMA COMPLETO
- PLANO NÚMERO 01 – CÁMARA DE REACCIÓN Y PORTAMUESTRAS
- PLANO NÚMERO 02 – ADAPTADOR SUPERIOR
- PLANO NÚMERO 03 – ADAPTADOR INFERIOR
- PLANO NÚMERO 04 – APLICADOR GUÍA DE ONDA
- PLANO NÚMERO 05 – SINTONIZADOR GUÍA DE ONDA
- PLANO NÚMERO 06 – TERMINACIÓN GUÍA DE ONDA
- PLANO NÚMERO 07 – BRIDAS DE VACÍO
- PLANO NÚMERO 08 – BRIDA DE VISUALIZACIÓN
- PLANO NÚMERO 09 – BRIDA DE PUERTA DE ACCESO

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

### **PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES**

1. DISPOSICIONES GENERALES
2. ADJUDICACIÓN
3. EL CONTRATO
4. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA
5. CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES
6. DESARROLLO DE LAS TAREAS, CONDICIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS

### **PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES**

1. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES
2. TAREAS A REALIZAR SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA
3. REALIZACIÓN DE LAS TAREAS

## **PRESUPUESTO**

1. PRECIOS UNITARIOS
2. PARTIDAS
3. COSTE TOTAL

# MEMORIA



1.	TÍTULO .....	5
2.	PETICIONARIO .....	6
3.	ANTECEDENTES .....	8
3.1.	El diamante .....	8
3.2.	Obtención de diamante .....	10
3.3.	Técnicas de crecimiento de diamante. Reseña histórica .....	11
3.4.1 .	Técnicas de alta presión y alta temperatura .....	11
3.4.2.	Técnicas de deposición química en fase vapor .....	12
4.	REACCIÓN QUÍMICA.....	16
5.	OBJETO.....	19
6.	JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN .....	20
6.1	Aplicaciones .....	21
6.2	Justificación económica .....	26
7.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	27
7.1.	Selección de materiales .....	27
7.2.	Descripción técnica de los componentes .....	27
8.	CONDICIONES DE OPERACIÓN .....	36
9.	MATERIAS PRIMAS.....	37
9.1.	Sustratos de diamante .....	37
9.2.	Gases .....	38
10.	OPERACIÓN Y RÉGIMEN DE FABRICACIÓN .....	38
10.1.	Operación del sistema .....	38
10.2.	Mantenimiento y desmontaje.....	39
10.3.	Régimen de fabricación.....	40
10.4.	Ubicación del sistema y formación de los operarios.....	40
11.	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE .....	41
11.1.	Pruebas previas a la puesta en marcha.....	41
11.2.	Seguridad durante la operación del sistema.....	42
11.3.	Seguridad en el manejo de los gases.....	43
11.4.	Medio ambiente.....	44

12.	ESTUDIO ECONÓMICO.....	45
12.1.	Ingresos.....	45
12.2.	Costes.....	45
12.3.	Beneficios y plazo de amortización.....	46
13.	NORMATIVA.....	47
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	48
15.	ANEXO DE CÁLCULOS.....	49
15.1.	Cálculos del sistema de vacío.....	49
15.1.1.	Bomba de vacío primaria .....	49
15.1.2.	Bomba de vacío secundaria.....	56
15.2.	Cálculo de la cámara de reacción.....	61
15.2.1.	Cálculo del espesor.....	61
15.2.2.	Cálculo del diámetro.....	62
15.3.	Cálculo de las conducciones .....	62
15.4.	Cálculo de la guía de ondas .....	63

## 1. TÍTULO

Desirée Guzmán Rabanillo redacta el presente proyecto, titulado “Reactor de deposición química en fase vapor para crecimiento homoepitaxial de diamante”, como Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz, siendo el tutor del mismo el Dr. D. Daniel Araujo Gay.

## 2. PETICIONARIO

El documento de propuesta del Proyecto Fin de Carrera, que contiene las especificaciones del mismo, se encuentra adjunto en la página siguiente.

## PROPUESTA DE PROYECTO FIN DE CARRERA

**DEPARTAMENTO:** Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica

**TÍTULO:**

Sistema de deposición química en fase vapor para el crecimiento homoepitaxial de diamante.

**TUTOR:** Daniel Araújo Gay

**DESCRIPCIÓN:**

El sistema debe permitir el crecimiento homoepitaxial de diamante en sustratos de diamante HPHT Ib {111} a partir de una mezcla gaseosa de hidrógeno molecular ( $H_2$ ) y metano ( $CH_4$ ), como gases precursores, y fosfina ( $PH_3$ ) para el dopado con fósforo. Dicha mezcla se activa con un generador de microondas y se crea una bola de plasma en la cámara de deposición, lo cual posibilita que tengan lugar las reacciones necesarias para la formación de diamante sobre el sustrato.

El sistema incluye el reactor, las líneas de gases, reguladores de flujo másico y sistemas de control y seguridad.

**REQUISITOS:**

- La capa de diamante crecida deberá presentar un espesor desde el orden de nanómetros hasta varias micras.
- El sistema deberá producir 2 obleas por día (dependiendo del espesor requerido).
- La temperatura del sustrato estará comprendida entre  $850^\circ C$  y  $950^\circ C$ .
- La presión total del sistema será 6,7 Kpa.
- El flujo de gases será el siguiente:  
200 sccm de  $H_2$   
0,1 – 0,3 sccm de  $CH_4$   
 $[PH_3]/[C] < 1500$  ppm

**OTRAS ESPECIFICACIONES:**

El sistema debe incluir un sistema de detección de fuga de gases y ajustarse a la normativa vigente.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. El diamante

La palabra diamante proviene del griego *adamas* que significa indestructible. El diamante existe en la naturaleza en forma cristalina y está compuesto únicamente de átomos de carbono (C). El grafito es otro compuesto del carbono el cual es estable a temperatura ambiente y presión atmosférica. A pesar de que el diamante y el grafito están compuestos de átomos de carbono, la diferencia entre los dos materiales es el arreglo de los átomos de carbono en la red, lo que se puede observar en la figura 1.

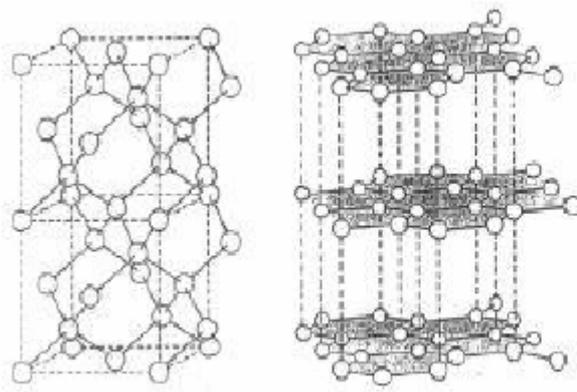


Figura 1. a) Red del diamante b) Red del grafito

Dicho arreglo atómico es responsable de la dureza del diamante y la fragilidad del grafito. El diagrama de fases del carbono, representado en la figura 2, permite identificar las diferencias entre el diamante y el grafito. El diamante se encuentra en estado metaestable, es decir, es cinéticamente estable y termodinámicamente inestable. La nucleación de diamante cristalino en la naturaleza requiere presiones y temperaturas muy altas.

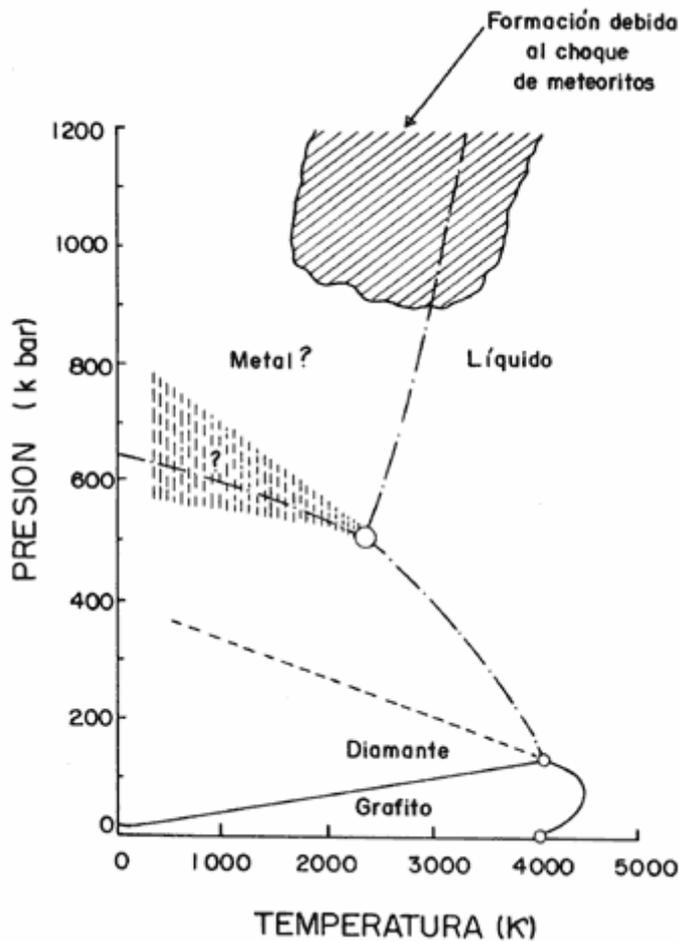


Figura 2. Diagrama de fases del carbono

### 3.2. Propiedades del diamante

El diamante tiene unas propiedades físico-químicas excepcionales que lo hacen muy interesante tanto para aplicaciones científicas como tecnológicas.

- Posee una dureza extrema (90 Gpa), siendo el material más duro conocido.
- Es el más fuerte de los materiales conocidos, con el mayor valor de Módulo de Young ( $1,2 \times 10^{12}$  N/m<sup>2</sup>) y con menor coeficiente de compresibilidad ( $8,3 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/N).
- Tiene el valor más alto de conductividad térmica a temperatura ambiente ( $2 \times 10^3$  W/mK).

- Es muy resistente a altos niveles de calor y radiación. Su coeficiente de expansión térmica es de  $0,8 \times 10^{-6}$  a temperatura ambiente.
- A temperatura ambiente es el material con mayor resistividad conocido, supera los  $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ .
- Es un aislante eléctrico con una banda prohibida de 5.49 eV a 300K, aunque mediante la inclusión de impurezas puede obtenerse diamante semiconductor de transición indirecta tipo-n y tipo-p. Su resistividad puede variarse en el rango de  $10-10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ .
- Movilidad de portadores elevada. Los electrones y huecos son capaces de moverse a altas velocidades en las bandas de conducción y valencia.
- Tensión de ruptura elevada, 106 V/cm.
- Es químicamente inerte, por lo tanto puede usarse en cualquier tipo de atmósfera. Es más resistente a los rayos X,  $\Gamma$ , UV y a partículas nucleares que cualquier otro material y mucho menos sensible al daño por neutrones que el silicio.
- Compatible biológicamente.
- Exhibe baja o “negativa” afinidad electrónica.
- Posee alta transparencia a la radiación desde la ultravioleta hasta la infrarroja.
- Tiene una alta velocidad de fase, lo que permite usarlo como generador de ondas de superficiales y trabajar a altas frecuencias.

### 3.3. Obtención de diamante

Los dispositivos electrónicos de estado sólido han mejorado en calidad en los últimos cuarenta años a una velocidad vertiginosa. El semiconductor más ampliamente usado para estos dispositivos es el silicio y aunque da muy buenos resultados, continuamente se están desarrollando nuevos semiconductores capaces de competir con él. El diamante es el mejor candidato por sus excepcionales propiedades pero hasta los años 90, las aplicaciones potenciales del diamante se han visto limitadas por muchas razones. Lo más importante ha sido el alto coste y la dificultad de encontrar

diamantes naturales, además de ser difícil adaptar los cristales de diamante a formas y tamaños definidos. Otra razón importante es que la mayoría de los diamantes contienen impurezas que perjudican las propiedades de un cristal perfecto. Además, aunque se encuentra en la naturaleza diamante tipo-p (contiene impurezas de boro), la dificultad de encontrar diamante tipo-n reduce en gran medida el rango de aplicación del diamante en microelectrónica. Por todo esto, para el campo de la electrónica no resulta viable la explotación de diamante natural y surgió la necesidad de fabricar diamante.

La posibilidad de conseguir diamante sintético a bajo coste mediante el empleo de técnicas de deposición química en fase vapor (CVD) para el crecimiento de capas de diamante de gran área, ha hecho que la situación cambie radicalmente. Las primeras capas de diamante crecidas sobre sustratos de otros materiales tuvieron muchos defectos, pero el conocimiento sobre el crecimiento de diamante, los defectos y la forma de controlarlos, mejoró enormemente, obteniéndose un progreso continuo en la calidad del diamante obtenido mediante CVD. El objetivo es obtener un diamante con las mismas propiedades que el diamante natural tipo IIa, que es el diamante de mayor calidad que existe.

### **3.4. Técnicas de crecimiento de diamante. Reseña histórica.**

#### **3.4.1. Técnica de alta presión y alta temperatura (HPHT)**

El diamante es la forma alotrópica más densa del carbono, es decir, la forma más estable a altas presiones. Este hecho, junto con el conocimiento de que el diamante se formó a altas temperaturas en la corteza terrestre, hizo que la búsqueda de un método para la síntesis del diamante se centrara en técnicas de alta presión y alta temperatura (HPHT). Este método se publicó por primera vez en 1954 y se atribuye a la General Electric Company, todavía se usa para la producción industrial de diamante. Se trata de una síntesis de altísima presión y temperatura ( 50-100 Kbar y 1800-2300 K), a partir de grafito disuelto

en hierro o níquel, en la que el metal actúa como catalizador. El diamante cristaliza a partir del carbono disuelto al disminuir la temperatura.

La síntesis de diamante por el método HPHT abrió las puertas para las aplicaciones del diamante a escala industrial. La mayor parte de los diamantes que se obtienen mediante HPHT son tipo Ib y contienen nitrógeno y otras inclusiones metálicas que son una fuente de defectos y que limitan, por tanto, el posible uso del diamante en dispositivos sofisticados. Además no pueden obtenerse capas delgadas de diamante ni recubrimiento de piezas, lo que hace que el uso del diamante HPHT se vea restringido a aplicaciones mecánicas como son taladrado, molienda y fresado.

### 3.4.2. Técnicas de deposición química en fase vapor

En estas técnicas, se introduce en el reactor una mezcla de hidrógeno ( $H_2$ ) y algún compuesto gaseoso de carbono (típicamente metano,  $CH_4$ ). La proporción habitual es de un 99% de hidrógeno. En condiciones de baja presión ( $>1$  mbar) y relativa baja temperatura ( $700^\circ C - 900^\circ C$ ) se establece una cadena de reacciones complejas que tienen como resultado la formación, sobre la superficie, de pequeños núcleos cristalinos de diamante. La secuencia de los pasos sería la siguiente:

- **Mezcla** de los gases precursores (típicamente 1-3% de  $CH_4$  en  $H_2$ ).
- Los reactivos que se encuentran en fase gaseosa,  $H_2$  y  $CH_4$  se **activan**. El gas absorbe la energía producida de alguna manera (filamento caliente, microondas, arco eléctrico...). El objetivo es obtener hidrógeno atómico y especies radicales altamente reactivas ( $CH$ ,  $CH_2$ ,  $CH_3$ ). En esta etapa también existe un calentamiento del gas alcanzando temperaturas de unos 1000K.
- Las especies químicas generadas a partir de la activación se **transportan** hasta la superficie del sustrato mientras tienen lugar complejas reacciones químicas. Este transporte puede ser por difusión o convección, dependiendo de la técnica de activación empleada.

- Una vez en la superficie, el hidrógeno atómico juega un papel crítico. Reacciona con el  $\text{CH}_4$  para formar el radical metil, el cual **reacciona** fácilmente con el sustrato y se forman los enlaces C-C en la superficie.

Además el hidrógeno estabiliza la superficie pues se fija a los enlaces libres que quedan de los átomos de carbono de la superficie manteniendo así la hibridación  $\text{sp}^3$  necesaria para la formación de diamante e impidiendo la formación de los enlaces  $\text{sp}^2$  característicos del grafito. El hidrógeno atómico favorece tanto diamante como grafito pero, bajo las condiciones típicas de CVD, como veremos más adelante con mayor detalle, tiene lugar la formación de diamante de forma muy preferente.

Según la técnica de activación que se emplee para activar el gas precursor tenemos diferentes tipos de reactores CVD. Existen, principalmente, tres formas de activar los reactivos:

- Calor.
- Microondas o radiofrecuencias.
- Arco de descarga eléctrica.
- Soplete de oxiacetileno.

Experimentalmente se ha demostrado que, independientemente del método utilizado, el diamante crece únicamente cuando la composición del gas es cercana y ligeramente superior a la línea C-O del diagrama de fases, el cual se ilustra en la figura 2.

#### Método de deposición de vapor químico por filamento caliente

La activación del gas se produce por el calor disipado por la corriente eléctrica que circula a través de filamento metálico de tungsteno, que puede alcanzar temperaturas de 1000-2200 °C. El sustrato en forma de placa de Silicio o Molibdeno se calienta a temperaturas de 700-900 °C y se coloca a unos milímetros de separación del filamento. La cámara de vacío se mantiene a una presión de 20-30 Torr y se alimenta el gas precursor. Una desventaja de

este sistema es la posibilidad de contaminación de las películas debido a impurezas metálicas introducidas por el filamento. Además el filamento puede llegar a carbonizarse reduciendo su vida útil de funcionamiento. A pesar de estas limitaciones se obtienen películas de diamante policristalino de relativamente buena calidad de forma económica y tasas de crecimiento de 1-10  $\mu\text{m/h}$ , dependiendo de las condiciones y parámetros particulares del sistema. Estas películas son adecuadas para el recubrimiento de herramientas de corte y pulido, detectores y dosímetros de radiación ionizante. Debido a la presencia de impurezas no son adecuadas para aplicaciones electrónicas.

#### Método de deposición de vapor químico mediante microondas y radiofrecuencias

La eliminación de contaminantes debido al filamento caliente puede evitarse utilizando microondas o radiofrecuencias para la activación del gas precursor. En ambos casos el funcionamiento es similar. La activación del gas se produce a través del acoplamiento de la energía de la microonda sobre los electrones de los átomos del gas, mediante una descarga eléctrica, transfiriendo dicha energía principalmente en forma de colisiones entre los componentes del gas precursor.

Esto hace que se disocien las moléculas del gas y se formen especies activas para lograr finalmente la formación de partículas de diamante en el sustrato inmerso en el plasma formado. Los reactores CVD asistidos por plasma por microondas, con una potencia de hasta 5 KW utilizando microondas de 2.45 GHz producen películas de diamante a una tasa de crecimiento de  $10\mu\text{m/h}$ , mucho mayor que la obtenida con los reactores de radiofrecuencias. Este método es mucho más limpio al no utilizar filamentos para la activación.

#### Método de deposición química en fase vapor con arco de descarga eléctrica

Consiste en hacer pasar una gran cantidad de gas (L/min en comparación con  $\text{cm}^3/\text{min}$  en otros métodos) por un arco de descarga eléctrica de alta potencia logrando así la activación del gas precursor. Los átomos, radicales y

partículas ionizadas formadas se expanden en una cámara secundaria para finalmente colisionar a altas velocidades con un sustrato determinado. La tasa de crecimiento llega a alcanzar valores de 100-900  $\mu\text{m}/\text{h}$ , tres órdenes de magnitud mayor que en otros métodos. El principal inconveniente de este método es que consume gran cantidad de energía y que la película formada se concentra en un área muy pequeña del orden de 1  $\text{cm}^2$ .

#### Método de deposición química en fase vapor con soplete de oxiacetileno

Es una variante del método con arco eléctrico. Es extremadamente barato y funciona a temperatura ambiente y presión atmosférica, sin la necesidad de equipo de vacío ni costosos sistemas de alimentación de gases precursores. El funcionamiento se basa en el hecho de que al realizar la combustión de una mezcla de oxígeno y acetileno, se genera una zona de alta concentración de especies compuestas de radicales de carbono. Cuando el sustrato se coloca en dicha zona es posible generar partículas de diamante con una rapidez de hasta 200  $\mu\text{m}/\text{h}$ . Sin embargo, problemas relacionados con la estabilidad térmica de los sustratos, así como también con la reducida área de crecimiento, producen problemas de crecimiento de materiales distintos al diamante. A pesar de tales dificultades se han logrado crecer diamantes de aspecto uniforme y de buena calidad adecuados para la detección de radiación ionizante y no ionizante.

#### 4. REACCIÓN QUÍMICA

El mecanismo de reacción para la formación de diamante a partir de metano ( $\text{CH}_4$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) no está lo suficientemente estudiado. Hay varias teorías y para el presente proyecto se considera la de mayor aceptación, que se expone a continuación.

La experimentación demuestra que la formación de diamante en un reactor de deposición química en fase vapor tiene lugar cuando en la fase gaseosa el metano se encuentra en un porcentaje de un 1% aproximadamente en relación con el hidrógeno, es decir cuando los átomos de carbono se encuentran en muy baja proporción. En principio, podría pensarse que este hecho viola los principios de la termodinámica, pero no es así porque la formación de diamante sintético no se puede considerar un proceso físico consistente en el simple crecimiento de un cristal sino un proceso químico consistente en la agregación de macro-moléculas de hidrocarburos policíclicos saturados, tales como adamantane, diamantane, triamantane, etc. Las macromoléculas polimantanes son idénticas a los cristales de diamante que tienen los átomos de carbono de la superficie enlazados con átomos de hidrógeno. Por esta razón este proceso es completamente equivalente al crecimiento de cristales de diamante pero debe ser descrito de forma diferente debido a que las funciones termodinámicas se definen de diferente forma según se apliquen a fases o moléculas.

Las superficies de los cristales de diamante son químicamente inertes bajo condiciones ordinarias, pues los enlaces carbono-hidrógeno son muy fuertes. Los enlaces C-H son más fuertes que los enlaces C-C y por tanto, no podría producirse crecimiento de diamante. Para que tenga lugar crecimiento de diamante es necesario desorber los átomos de hidrógeno de la superficie para que se creen sitios activos en los que puedan unirse átomos de C procedentes de la fase gas. A elevadas temperaturas y alta presión parcial de  $\text{H}_2$ , los átomos de hidrógeno de la superficie se desorben espontáneamente.

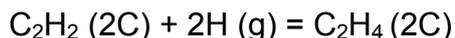
Consecuentemente se crea un elevado número de centros activos, lo que hace posible que átomos de carbono se quimisorban a estos sitios. Sin embargo resulta desventajoso que haya tantos sitios activos, porque la superficie sería muy inestable. Para conseguir un estado energético más estable se forman enlaces  $sp^2$  entre los átomos de carbono de la superficie, algo que es totalmente indeseable pues se forma grafito en vez de diamante. Para evitar la formación de estos enlaces  $sp^2$  casi la totalidad de la superficie debe estar ocupada con átomos de hidrógeno adsorbidos y para conseguirlo es necesario aumentar la concentración de hidrógeno atómico libre en la fase gas. Sin embargo altas temperaturas la adsorción de hidrógeno en la superficie es inestable, y sólo puede conseguirse si existe una concentración de H muy por encima de la del equilibrio, es decir si la fase gaseosa tiene un alto grado de activación. Como se trata de enlaces C-H inestables, los átomos de C son capaces de desalojar a los átomos de H. Gracias a esto las semillas de macromoléculas pueden crecer a altas temperaturas y por tanto se pueden alcanzar altas velocidades.

El proceso de formación de diamante en un reactor de deposición química en fase gaseosa consiste en tres reacciones de superficie consecutivas y cíclicas:

1. Formación de clusters insaturados C-H, que contienen enlaces  $sp^2$  en la superficie inestable de un sustrato de diamante.



2. Hidrogenación de los clusters insaturados, se convierte en clusters saturados, que contienen enlaces  $sp^3$ , mediante impacto con H atómico.



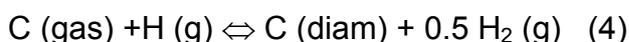
3. Coalescencia de los clusters saturados resultando una nueva capa de carbono con hibridación  $sp^3$ , característica de la estructura de diamante, y simultáneamente, los átomos de carbono de la superficie reaccionan con hidrógeno volviendo a la reacción 1.



C (gas) representa el carbono disuelto en la fase gas y C (diam) el carbono que está formando parte de la nueva capa de diamante formada, enlazado a los átomos vecinos con hibridación  $sp^3$ . Esta capa, sin embargo, es una porción de una macromolécula de polimantano y no una unidad independiente que represente a la fase diamante.  $C_2H_2$  (2C) representa al cluster insaturado enlazado a la superficie.  $C_2H_4$  (2C) representa al cluster saturado.

Para que la reacción 2 se desplace suficientemente hacia la derecha la concentración de hidrógeno atómico debe ser considerablemente mayor que la de equilibrio a la temperatura del sustrato, es decir el gas debe activarse hasta un grado lo suficientemente alto. Sólo los clusters insaturados que están químicamente enlazados a la superficie son los que se saturan y posteriormente coalescen y forman la nueva capa de diamante.

Sumando las reacciones 1, 2 y 3 y dividiendo entre dos, obtenemos la reacción:



que representa el proceso global.

La formación de grafito y de otras formas de carbono con hibridación  $sp^2$  puede darse simultáneamente con la formación de diamante.



Pero el grafito puede convertirse en diamante bajo estas condiciones:



Los valores de las reacciones anteriores para la energía libre de Gibbs,  $\Delta G$  (Ts) han sido calculados obteniéndose valores considerablemente mayores para las reacciones 4 y 6 que para la 5, lo que significa que las reacciones para la formación de diamante, 4 y 6, están mucho más favorecidas que la reacción de formación de grafito, 5.

## 5. OBJETO

El objeto del presente proyecto es el diseño y desarrollo de un reactor de deposición química en fase vapor asistido por plasma generado con microondas con el fin de hacer crecer diamante sobre un pequeño sustrato de diamante monocristalino. Se incluyen todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

El sistema opera en condiciones de vacío (6,7 KPa) y con una temperatura de la oblea de 900°C. Además es necesario hacer alto vacío antes de introducir la muestra para garantizar que no existan impurezas que puedan contaminar la oblea. Para conseguir las bajas presiones se utilizan bombas de vacío con las prestaciones necesarias para conseguir el nivel de vacío requerido. La temperatura alcanzada por la oblea, se debe a la existencia del plasma el cual es generado mediante la energía de microondas.

La temperatura de la oblea se controla mediante un pirómetro de infrarrojos que se coloca en la parte superior del reactor. A través de una ventana dieléctrica recibe la radiación infrarroja emitida por el sustrato y determina su temperatura. Como el plasma emite en el violeta, no interfiere en la medida de la T. La presión se controla por un conjunto de sensores de presión.

Los gases precursores son metano e hidrógeno. Para determinar con exactitud los flujos máscicos de cada uno de los gases se usan controladores de flujo máscico. Estos caudales son tales que aseguran flujo laminar en el interior de la cámara de reacción. Debido a que el hidrógeno presenta una elevada probabilidad de explosión en presencia de oxígeno, se hace necesaria la incorporación de un sistema de detección de fugas gaseosas. La detección deberá ser eficiente en el caso de fugas de hidrógeno y metano, aunque cualquier fuga que se diera en el sistema contendría las tres especies gaseosas por haber sido mezclados con anterioridad a su entrada en el reactor.

El sistema de microondas consiste en un magnetrón, que genera las ondas, una guía de ondas que conduce la potencia desde el magnetrón hasta la cámara de reacción, un sintonizador, que acopla las impedancias del sistema y un tramo final de guía de onda que termina en una pared conductora que refleja la energía que le llega.

## 6. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

Los dispositivos electrónicos de estado sólido han mejorado en calidad en los últimos cuarenta años a una velocidad vertiginosa. El semiconductor más ampliamente usado para estos dispositivos es el silicio y aunque da muy buenos resultados, continuamente se están desarrollando nuevos semiconductores capaces de competir con él. El diamante es el mejor candidato por sus excepcionales propiedades pero hasta los años 90, las aplicaciones potenciales del diamante se han visto limitadas por muchas razones. Lo más importante ha sido el alto coste y la dificultad de encontrar diamantes naturales, además de ser difícil adaptar los cristales de diamante a formas y tamaños definidos. Otra razón importante es que la mayoría de los diamantes contienen impurezas que perjudican las propiedades de un cristal perfecto. Además, aunque se encuentra en la naturaleza diamante tipo p (contiene impurezas de boro), la dificultad de encontrar diamante tipo n reduce en gran medida el rango de aplicación del diamante en microelectrónica. Por todo esto, para el campo de la electrónica no resulta viable la explotación de diamante natural y surgió la necesidad de fabricar diamante.

La posibilidad de conseguir diamante sintético a bajo coste mediante el empleo de técnicas de deposición química en fase vapor (CVD) para el crecimiento de capas de diamante de gran área, ha hecho que la situación cambie radicalmente. Las primeras capas de diamante crecidas sobre sustratos de otros materiales tuvieron muchos defectos, pero el conocimiento sobre el crecimiento de diamante, los defectos y la forma de controlarlos, mejoró enormemente, obteniéndose un progreso continuo en la calidad del diamante

obtenido mediante CVD. El objetivo es obtener un diamante con las mismas propiedades que el diamante natural tipo IIa, que es el diamante de mayor calidad que existe.

Hoy día, las capas de diamante crecidas sobre sustratos que no son de diamante son aún policristalinas, aunque tienen muy pocos defectos. Para obtener las capas de diamante monocristalino de gran área requeridas para aplicaciones electrónicas, se dispone de un sustrato pequeño (normalmente  $3 \times 3 \times 0,5 \text{ mm}^3$ ) relativamente barato y se produce una capa de alta pureza mediante crecimiento homoepitaxial. La única impureza aceptora con la que los laboratorios han conseguido dopar el diamante es el boro, el cual tiene una energía de activación de 380 meV. Tras muchos intentos para obtener diamante tipo n se consiguió empleando fósforo como impureza donadora, que introduce un nivel donador a 604 meV bajo el mínimo de la banda de conducción. Mediante las técnicas de CVD es posible obtener diamante no dopado con movilidades de portadores que exceden las del mejor diamante natural, y alcanzan valores de  $4500 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  para los electrones y  $3800 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  para los huecos. Recientemente se ha fabricado el primer diodo de emisión de luz UV basado en una unión pn de diamante, lo que sugiere un futuro prometedor para los dispositivos electrónicos basados en diamante.

### **6.1. Aplicaciones del diamante**

Las aplicaciones del diamante obtenido mediante técnica CVD están directamente relacionadas con las propiedades que poseen estos diamantes. Algunas de estas aplicaciones están abriéndose paso en el mercado. Hasta ahora, el principal obstáculo ha sido el alto coste del diamante y por tanto, se optaba por otro material alternativo. El coste de diamante obtenido por CVD en el año 2000 estaba por debajo de 1 dólar por cada 0,2 g, y sigue bajando, lo que permite a los ingenieros explotar las extraordinarias propiedades del diamante en un amplio rango de aplicaciones.

**Herramientas de corte.** La extrema dureza del diamante junto con su resistencia al uso, lo hacen ideal para ser usado como herramienta de corte

para metales no férreos, plásticos, materiales compuestos y aglomerados. No sirve para cortar metales férreos porque el diamante reacciona con el hierro, sin embargo es el candidato ideal para cortar los nuevos materiales compuestos que se usan en las industrias automovilística y aeronáutica, los cuales son imposibles de cortar con materiales convencionales. El diamante industrial obtenido mediante HTHP se ha usado como herramienta de corte desde 1960 y hoy día sigue utilizándose. Se une el diamante a una herramienta adecuada. El diamante obtenido mediante técnica CVD empieza a utilizarse de forma similar, el diamante se deposita directamente en la superficie de piezas de tungsteno al carbono. Tests experimentales han demostrado que las herramientas de corte de diamante CVD tienen una vida media mayor, cortan más rápido y proporcionan un mejor acabado que los diamantes HPHT.

**Aplicaciones térmicas.** Los modernos dispositivos electrónicos de alta potencia y los optoelectrónicos tienen grandes problemas de calentamiento, debido a la producción de grandes cantidades de calor en un área muy pequeña. Para enfriar estos dispositivos, es esencial esparcir el concentrado flujo de calor mediante la colocación de una placa de alta conductividad térmica entre el dispositivo y el sistema de enfriamiento (radiador, ventilador...). El diamante CVD tiene una conductividad térmica muy superior a la del cobre en un amplio rango de temperatura ( $20\text{W/cm}\cdot\text{K}$ ) con la ventaja de que es un aislante eléctrico. Así, el diamante se abre paso para aplicaciones térmicas, incluyendo bases para circuitos integrados, difusores de calor para diodos láser, o incluso como un material de sustrato para módulos multi-chip. El resultado del empleo de diamante en la fabricación de estos dispositivos hace posible velocidades de operación más altas, ya que los dispositivos pueden ser empaquetados de forma más compacta sin que se sobrecalienten. También se consigue más seguridad pues los dispositivos basados en diamante alcanzan temperaturas de unión menores.

**Aplicaciones ópticas.** Debido a sus propiedades ópticas, el diamante está empezando a utilizarse en componentes ópticos, particularmente como una placa independiente para ser usada como ventana de infrarrojos en ambientes extremos. Los materiales convencionales usados para infrarrojos como ZnS, ZnSe y Ge tienen la desventaja de ser quebradizos y dañarse fácilmente. El diamante, con su alta transparencia, durabilidad y resistencia a choques térmicos es un material ideal para dichas aplicaciones.

**Dispositivos electrónicos.** La posibilidad de dopar el diamante y convertirlo así de un aislante a un semiconductor abre un amplio espectro de posibles aplicaciones electrónicas. El diamante para uso electrónico debe ser monocristalino y de alta pureza, para conseguir altas movilidades de portadores. El diamante tipo p se consigue introduciendo impurezas de boro y el diamante tipo n tras muchos años de investigación se obtiene de forma reproducible introduciendo impurezas de fósforo. El diamante es el candidato ideal para dispositivos electrónicos de alta potencia y/o alta temperatura. De hecho, diodos Schottky basados en diamante operan por encima de 1000°C (Ebert et al. 1994).

**Filtros SAW.** Un dispositivo electrónico que puede usar diamante policristalino es el filtro de ondas acústicas superficiales. Un filtro SAW es un dispositivo que transforma señales de radiofrecuencia en vibraciones mecánicas y viceversa. Se usan en la industria de las comunicaciones, donde las ondas de radio de alta frecuencia son generadas mediante circuitería electrónica, y luego propagadas por un transmisor. Estas ondas de radio son colectadas por un receptor y deben ser reconvertidas a señales electrónicas para poder ser procesadas. El factor limitante en la mayoría de los dispositivos de ondas acústicas de superficie es la máxima velocidad a la cual las señales pueden propagarse a través del dispositivo, desde el emisor hasta el receptor, lo cual depende de la velocidad del sonido (la onda acústica) a lo largo de la superficie del material que constituye el filtro. Se necesitan materiales para

filtros SAW que puedan operar a frecuencias mayores de 10 Ghz, y el diamante es el candidato obvio. Esto es porque la red del diamante es tan rígida que la velocidad del sonido a su través es extremadamente rápida (17.500m/s). En la práctica, la capa de diamante forma parte de una estructura multi-capa, con un material piezo-eléctrico como ZnO, LiNbO<sub>3</sub> o LiTaO<sub>3</sub> colocado encima del diamante para convertir las vibraciones mecánicas del diamante a señales eléctricas. Algunas compañías (Sumitomo) están ya incorporando filtros SAW basados en diamante en teléfonos móviles y es seguro que en unos años los filtros SAW de diamante serán un componente esencial en los equipos de comunicaciones de alta frecuencia, como redes telefónicas, televisión por cable e internet.

**Displays de emisión de campo.** Es otro dispositivo que puede usar diamante policristalino, que está despertando mucho interés. La idea es usar diamante como emisor de electrones en displays de panel plano. Las propiedades electrónicas del diamante son tales que cuando está negativamente polarizado en vacío, los electrones son lanzados desde su superficie. Este proceso es común en la mayoría de los metales, excepto en aquellos en los que los electrones tienen que superar un barrera energética, o función de trabajo, para escapar de la superficie. En el diamante esta barrera es muy pequeña, incluso podría ser negativa, lo cual ha originado el término de “afinidad negativa por el electrón”.

En la práctica, esto significa que los dispositivos basados en las propiedades de emisión de electrones del diamante consumirían muy poca potencia y serían extremadamente eficientes. Los electrones emitidos desde la superficie son acelerados mediante una grid polarizada positivamente y golpean una pantalla de fósforo. Cada cristal de diamante que emite, forma un píxel en el panel plano del display. Los displays de emisión de campo de cátodo frío de diamante (FEDs) tienen mayor luminosidad, mayor ángulo de visión y son menos sensibles a variaciones de temperatura que los displays de cristal líquido, sus mayores competidores. Además, debido a su simplicidad, los FEDs

de diamante podrían conseguir grandes áreas (del orden de  $m^2$ ) lo que es impensable para los displays de cristal líquido.

**Sensores electroquímicos.** El diamante dopado obtenido mediante CVD puede usarse en aplicaciones electroquímicas, algo especialmente interesante en ambientes extremos. Los electrodos de diamante, fabricados mediante técnicas de CVD dopando con boro, tienen un alto potencial en agua. Esto es una gran ventaja sobre otros electrodos, como los de platino, que disocian el agua si el potencial aplicado es muy alto. Si los electrodos son de diamante, la formación de hidrógeno es mucho más lenta, permitiendo que se usen potenciales mucho mayores.

**Refuerzo para materiales compuestos.** Se han fabricado fibras y cables de diamante con una rigidez excepcional para su peso. Si se pudiesen alcanzar altas tasas de crecimiento económicamente viables, las fibras de diamante podrían usarse como agente de refuerzo en metales compuestos, permitiendo la fabricación de piezas más fuertes, rígidas y ligeras ideales para aplicaciones aeroespaciales. Las fibras huecas y los tejidos de diamante también han sido fabricados y podrían constituir la base de estructuras de materiales compuestos.

**Dispositivos y sensores micromecánicos.** El diamante se podría usar en micromáquinas, debido a que es posible producir finas capas con determinadas formas, mediante la técnica CVD. Esto unido a su rigidez y resistencia lo hacen un candidato ideal para estructuras micromecánicas que soportan gran fricción, como dientes y engranajes. Ya se han fabricado sensores de presión y temperatura basados en diamante.

**Detectores de partículas.** Ya se han comercializado detectores “solar-ciego” para luz ultravioleta y partículas de alta energía (neutrones y partículas alfa y beta) hechos con diamante CVD. También se va a sustituir el silicio por diamante en la nueva generación de aceleradores de partículas.

**Dosimetría clínica y radioterapia.** El diamante es un material biológicamente compatible con el tejido humano pues está compuesto de carbono, no es tóxico y es muy resistente a la radiación ionizante. Estas características lo hacen interesante para aplicaciones en dosimetría clínica y radioterapia. Los dosímetros de diamante superan en compatibilidad biológica a los que se encuentran en el mercado, detectan la cantidad de rayos x que recibe el paciente en un diagnóstico o bien la cantidad de rayos gamma en radioterapia. La posibilidad de fabricar dosímetros de diamante muy pequeños abre las puertas a la dosimetría clínica invasiva, con enormes beneficios, pues evitaría los daños al paciente u órgano humano sujeto a terapia de radiación.

## **6.2. Justificación económica.**

En el presente proyecto se diseña un reactor para la producción de obleas de diamante de hasta 3 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor. Con cada oblea se pueden obtener aproximadamente 1000 dispositivos electrónicos. Teniendo en cuenta que el equipo está diseñado para una producción diaria de 2 obleas, la producción diaria de dispositivos resulta ser 2000 dispositivos, así que se puede abastecer a varias cadenas de fabricación de dispositivos electrónicos, estando asegurada la rentabilidad.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### 7.1. Selección de materiales

La temperatura alcanza su valor máximo en el plasma, el cual se forma en la cámara de reacción, justo encima del portamuestras, por tanto las condiciones térmicas más severas en el sistema tienen lugar en el portamuestras (800-900°C), el tubo que lo sostiene y en las paredes del tubo que rodean el plasma. El material constituyente de estos elementos debe ser refractario, además de no ser susceptible a la fragilización por hidrógeno. Se selecciona el cuarzo como material idóneo para estos componentes.

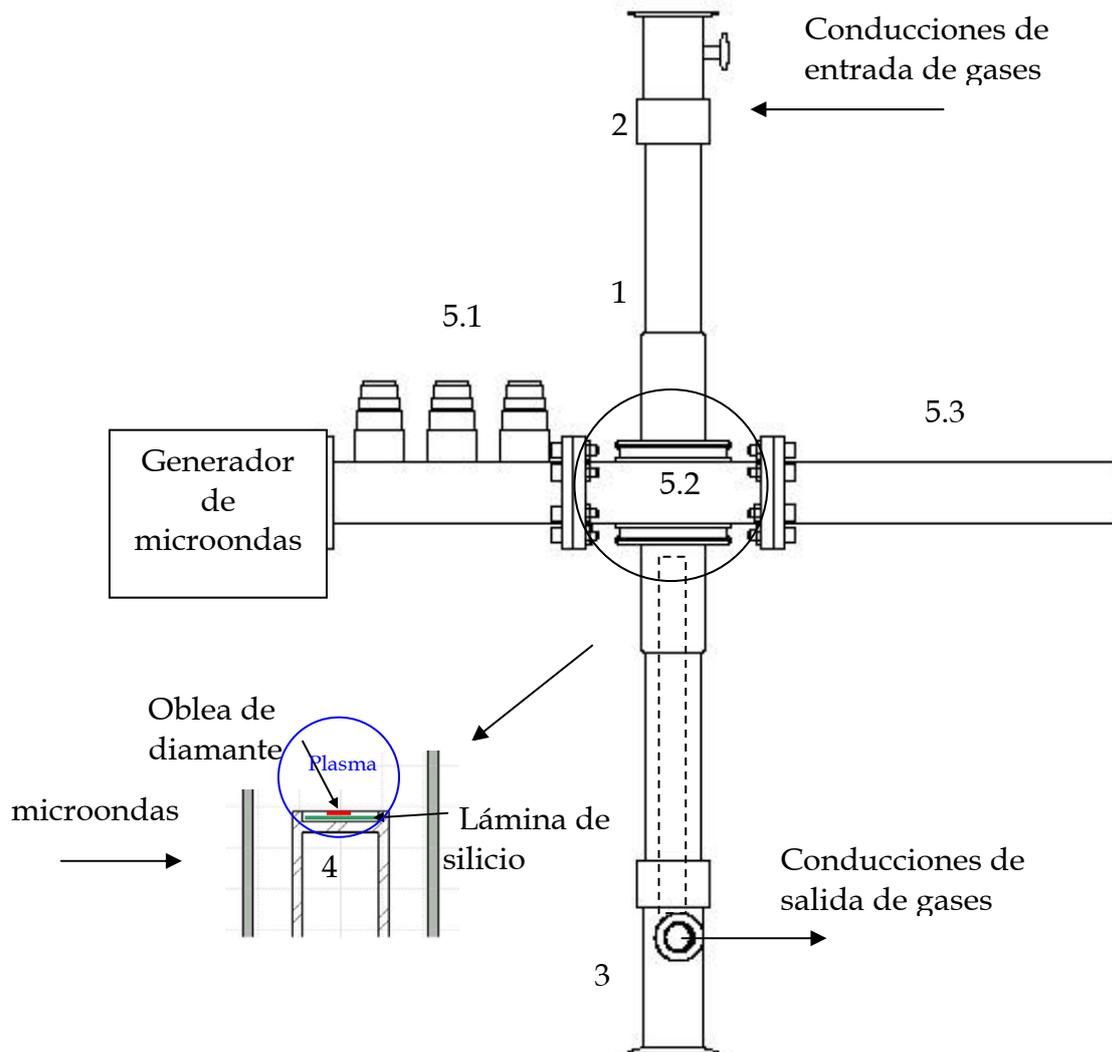
Para el resto del sistema, se debe tener en cuenta la fragilización por hidrógeno. Los aceros austeníticos (serie 300) son muy resistentes a la fragilización en atmósfera de hidrógeno y presentan muy buena resistencia a la corrosión atmosférica y a la oxidación, así que la posibilidad de oxidación de zonas exteriores queda descartada. Los gases alcanzan una temperatura como máximo de 800 °C al atravesar el plasma, debido al bajo caudal gaseoso, los gases se enfrían rápidamente durante su recorrido y se asegura que las conducciones de acero nunca alcanzarán su temperatura máxima en servicio, que es del orden de 800° C. Dentro de la serie 300, se selecciona el acero 316.

### 7.2. Descripción técnica de los componentes del sistema

En la figura 3 se muestra un esquema del sistema de deposición objeto del presente proyecto.

Los precursores gaseosos previamente mezclados entran en la cámara de reacción (1) por la parte superior y descienden por efecto del sistema de vacío. En el punto de intersección de la cámara de reacción con la guía de onda (2) la energía de las microondas activa la mezcla gaseosa y tiene lugar la formación del plasma (3). El sustrato (4) se posiciona tal que se encuentre sumergido en la bola de plasma formado. Para ello se dispone de un tubo de cuarzo interior (5), cerrado en ambos extremos, el extremo superior sirve de portamuestras (6) para el sustrato y el extremo inferior se fija a la cámara de reacción. Los gases

son activados al atravesar el plasma y tienen lugar las reacciones que conducen a la formación de diamante. Los gases sobrantes de reacción abandonan la cámara por su extremo inferior y fluyen hacia el sistema de bombas de vacío.



A continuación se describen cada uno de los componentes que forman el sistema:

### **1) Cámara de reacción**

Es el elemento principal del sistema; por su interior circulan los gases precursores, se forma el plasma y tienen lugar las reacciones químicas que dan lugar al crecimiento de diamante.

La cámara de reacción (plano 01) es un simple tubo de cuarzo de diámetro externo 47 mm y espesor 2,5 mm (Anexo de Cálculos, apartado “Cálculo del espesor de pared de la cámara de reacción”). La longitud de la cámara es 750 mm.

La cámara presenta en sus extremos sendos adaptadores de vacío cuarzo-metal que incluyen las conexiones para la entrada y salida de gases.

### **2) Adaptador superior**

Su función es servir como elemento para la introducción de los gases precursores en la cámara de reacción y unir ésta con su fondo superior, una brida ciega con ventana óptica de cuarzo. Está constituido por acero inoxidable AISI 316.

El adaptador superior (plano 02) consta de dos elementos principalmente: un cuerpo y una rosca. El cuerpo es un tubo cilíndrico de 100 mm de longitud, diámetro interno 47,6 mm y espesor 1,6 mm. En el extremo superior tiene soldada una brida NW50 para la unión con la brida ciega con ventana óptica. En el otro extremo presenta una rosca exterior M60 y en el lateral una conexión bridada NW10 para la unión de la tubería de entrada de gases. El cuerpo del adaptador rodea la cámara de reacción la cual se introduce en él hasta el extremo superior. Un anillo de centrado y una junta de vitón se colocan tras el extremo inferior del cuerpo del adaptador y el otro elemento del adaptador, rosca hembra M60, hace la presión suficiente para que la unión sea hermética. Este elemento es un cilindro de 30 mm de longitud, 48,02 mm de diámetro interno y 3 mm de diámetro externo.

### 3) **Adaptador inferior**

Similar al adaptador superior. Su función es permitir la salida de los gases sobrantes y unir la cámara de reacción con una brida de vacío con sistema de apertura y cierre, que posibilita la apertura y cierre del sistema para la carga y descarga de las obleas.

El adaptador inferior (plano 03) presenta dos conexiones laterales, una para la salida de los gases y otra para la conexión de los medidores de presión. La conexión para la salida de los gases se encuentran bridada NW25 y la de los medidores de presión NW10. Las dimensiones son las mismas que la del adaptador superior. El cuerpo del adaptador presenta en su interior una rosca hembra M26, con diámetro 25,82 mm y longitud de 3 mm, por debajo de las conexiones. Dicha rosca sirve para mantener fijo el portamuestras. En su extremo inferior se encuentra soldada una brida de vacío NW50 para la unión con la brida de apertura y cierre.

### 4) **Portamuestras**

El portamuestras (plano 01) es el elemento sobre el que se sitúa la oblea de diamante durante la operación. Es una oblea de silicio de 15 mm de diámetro cubierta por una lámina de diamante policristalino para evitar la contaminación por silicio durante la deposición. Está situada sobre el extremo superior cerrado de un tubo de cuarzo que presenta una hendidura en la cual encaja. Este tubo interior se encuentra cerrado en ambos extremos y tiene un diámetro exterior de 23,5 mm y un espesor de 1,6 mm. El extremo inferior se encuentra rodeado por un casquillo roscado M26 de acero inoxidable con espesor 1,6 mm que termina en una cabeza de tornillo. El casquillo se fija al tubo de cuarzo mediante un adhesivo epoxi. La rosca del casquillo encaja con la rosca que el adaptador inferior presenta en su interior, de forma que el tubo interior queda perfectamente fijado y centrado en el tubo exterior (cámara de reacción).

## 5) **Subsistema de microondas**

El subsistema de microondas está compuesto por los siguientes elementos:

- Generador de microondas
- Guía de onda rectangular. Se divide en los tramos siguientes
  - Circulador
  - Sintonizador de triple stub
  - Aplicador
  - Terminación

### **Generador de microondas**

Se necesita un magnetrón que genere microondas de frecuencia igual a 2,45 MHz y con una potencia máxima de 1200 vatios. Es requisito indispensable que tenga una brida RW340 para conectar directamente con la guía de onda.

### **Guía de onda**

La guía de onda es una guía RW340 (rectangular waveguide), cuya sección rectangular tiene dimensiones internas de 86 x 43 mm y espesor de 2 mm. El material es cobre recubierto de pintura externa negra. Los distintos tramos se unen mediante bridas rectangulares RW340 atornilladas.

Como parte de la guía de onda actúan el sintonizador, el aplicador y la terminación.

#### **5.1. Sintonizador**

Es un elemento capaz de acoplar las impedancias del sistema. Se requiere un sintonizador triple, que disponga de tres stub que son obstáculos que se insertan en el recorrido de la onda, cuya longitud es regulable mediante una rosca. Al ser triple se garantiza el acople de cualquier carga. Debe poseer en ambos extremos bridas RW340. Ver plano 05.

## 5.2. Aplicador

Elemento mediante el cual se aplica la energía de las microondas a la corriente gaseosa para generar el plasma. Se trata de un tramo de guía RW340 de 150 mm cuyas paredes más anchas se encuentran agujereadas, presentando sendos agujeros concéntricos circulares de 47,5 mm de diámetro, a través de las cuales el tubo de cuarzo atraviesa la guía. Dispone de un recubrimiento externo metálico que rodea el tubo de cuarzo para evitar que el campo electromagnético irradie hacia el ambiente y para evitar la formación de plasmas sostenidos por ondas de superficie. Este recubrimiento está formado por dos tubos de cobre o latón de diámetro interno 47,5 mm y externo 52,5 mm y de longitud 90 mm cada uno. En uno de los extremos se encuentra soldada una brida CF50 mediante la cual se une a las bridas de la guía de onda. El aplicador se encuentra dibujado en el plano 04.

## 5.3. Terminación

Es un tramo de guía de onda situado en el extremo opuesto al generador de microondas. Un extremo se encuentra embridado para su unión con el aplicador y el otro se encuentra cerrado. Dibujado en plano 06.

## **6) *Conducciones de gases precursores y sobrantes de reacción***

Las conducciones de los gases precursores conectan las botellas de almacenamiento de gases con la cámara de reacción. Son tubos de acero inoxidable 316 de 9,52 mm de diámetro exterior y 0,9 mm de espesor. Hay cuatro tramos de conducción que son individuales para cada gas precursor, que contienen los controladores de flujo másico. Estos tramos tienen cada uno una longitud de 0,75 m y tras esta longitud se produce la unión de las cuatro conducciones en una sola que llega hasta la cámara de reacción y cuya longitud no deberá ser superior a 4 m y podrán incluirse como máximo dos codos. El extremo de la conducción mediante el cual se conecta con la conexión de la cámara de reacción se encuentra soldado a una brida de vacío NW10.

Las conducciones de los gases sobrantes de la reacción unen la cámara de reacción con las bombas de vacío. Son tubos de acero inoxidable 316 de 19,1 y 25,45 mm de diámetro externo y 1,6 mm de espesor. En sus extremos se encuentran soldadas bridas de vacío NW25 y NW16 respectivamente. La longitud total de estas conducciones no deberá ser superior a 4 m y podrán incluirse como máximo cuatro codos.

### 7) **Bridas de vacío**

La función de las bridas de vacío es la unión de distintos elementos:

- Cámara de reacción con accesorios superior e inferior, NW50
- Conducciones de gases con conexiones de entrada, NW16
- Conducciones de gases con conexiones de salida, NW16
- Conducciones de gases con bomba de vacío primaria, NW16
- Conducciones de gases con bomba de vacío secundaria, entrada NW25 y salida NW16
- Tramos de conducción con los diferentes accesorios ubicados a lo largo de las conducciones: tes, codos, válvulas, medidores, etc.

Los detalles dimensionales de estas bridas se encuentran en el plano 07. El encaje de estas bridas se realiza mediante anillo de centrado y junta de vitón. Una vez encajadas se finaliza el cierre usando una mordaza que las mantiene firmes, evitando el escape de gases gracias al sellado que proporciona el anillo de vitón.

### 8) **Bombas de vacío**

Las bombas de vacío son los elementos que permiten alcanzar el nivel de vacío exigido por las condiciones de operación en el sistema.

Para conseguir un vacío de  $10^{-6}$  mbar es necesario incluir dos bombas conectadas en serie. La bomba que genera el alto vacío es una bomba turbomolecular que descarga a una presión de  $10^{-2}$  mbar y necesita por tanto, una bomba de apoyo conectada en serie que genere un vacío de  $10^{-2}$  mbar y

descargue a la atmósfera. La bomba de apoyo seleccionada es una bomba rotatoria. La bomba turbomolecular debe presentar una velocidad mínima de bombeo de 7 l/s y proporcionar un vacío de  $10^{-6}$  Torr . La bomba rotatoria debe presentar una velocidad de bombeo de 0,2 l/s y mantener un vacío de 66 mbar.

## **9) Elementos de control del flujo de gases en las conducciones**

### **9.1) Controladores de flujo de gases precursores**

Los controladores de flujo de los gases precursores se ubican en el tramo de conducción que va desde la botella de almacenamiento de cada uno de ellos hasta la unión de las conducciones en una sola para dirigirse a la cámara de reacción.

Las características que deben reunir los controladores para poder ser usados en el sistema son:

- Rango de medida que comprenda los flujos del sistema ( $10^{-4}$  –200 sccm)
- Máxima fuga permisible:  $10^{-9}$  sccs.
- Controladores programables que permitan fijar con precisión el flujo de gas de cada uno de los componentes.
- Posibilidad de unión a las conducciones mediante bridas de vacío NW16
- Posibilidad de ser instalados tanto en conducciones horizontales como verticales.

### **9.2) Válvulas**

El sistema incluye válvulas para el cierre de flujo de gases en las conducciones. Estas válvulas se ubican en las conducciones de gases precursores, en las conducciones de entrada y salida de la bomba de vacío secundaria y en la conducción de entrada de la bomba de vacío. Tras la válvula de salida de la bomba de vacío secundaria, se coloca una válvula de aislamiento, que sirve para que no exista posibilidad de dañar la bomba primaria, ésta no se encuentre en funcionamiento. Las características que deben reunir estas válvulas son las siguientes:

- Máxima fuga permitida:  $10^{-10}$  sccs.

- Dos de ellas deben presentar bridas de vacío NW16 y una de ellas NW25.
- La válvula de aislamiento debe presentar bridas de vacío NW16.
- El cuerpo de las válvulas y los mecanismos internos deben ser de acero inoxidable 316, y las juntas de cerrado de vitón.
- Posibilidad de introducción en conducciones verticales y horizontales.

### 10) **Medidores de presión**

Se requieren medidores de presión para medir en el rango de presión de (1013 mbar –  $10^{-6}$  mbar). No existen medidores que abarquen tan amplio rango así que se necesitan varios medidores. Se colocarán:

- Un transductor capacitivo, para medidas de presión del orden de la presión atmosférica.
- Una galga Pirani, para medidas comprendidas en el rango de 2 a  $10^{-3}$  mm Hg
- Un transductor de cátodo frío para medidas de alto vacío, de  $10^{-2}$  a  $10^{-7}$  mmHg

Se conectan mediante un accesorio en forma de cruz NW16, a una conexión dispuesta en el conector inferior de la cámara de reacción.

### 11) **Pirómetro de infrarrojos**

La temperatura del sustrato se medirá mediante un pirómetro de infrarrojos colocado sobre la parte superior del tubo de cuarzo. La radiación emitida por el sustrato llega hasta el pirómetro a gracias a la ventana de cuarzo que constituye el fondo de la brida ciega unida al conector superior de la cámara de reacción.

Requisitos que debe cumplir el pirómetro:

- Rango de medición de temperatura: 25°C a 1000° C
- Resolución: 1° C
- Relación distancia /área medida = 300 mm/ 4 mm<sup>2</sup>

## 8. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones de operación para el óptimo crecimiento de diamante en este sistema son las siguientes:

### Temperatura

La temperatura que se controla en el sistema es la temperatura del sustrato,  $T_s$ , pues es la que influye en la velocidad de crecimiento de la oblea. Dicha temperatura debe encontrarse en el rango de 850 a 950° C.

La temperatura de operación del sistema será pues:

$$T_s = 850-950^\circ \text{ C}$$

Este intervalo de temperatura ha sido seleccionado debido a que la morfología de la superficie de obleas de diamante, obtenidas mediante esta técnica, observada mediante SEM y espectroscopía Raman, indica que es el rango de temperatura óptimo para obtener la mayor calidad. Dicha temperatura depende del caudal de gases, la concentración de cada uno de ellos, y la frecuencia y la potencia de las microondas que generan el plasma.

### Presión

La presión de operación será de:

$$P = 6,7 \text{ Kpa}$$

### Caudales

Los caudales de gases serán los siguientes:

$$Q_{H_2} = 200 \text{ sccm}$$

$$Q_{CH_4} = 0,1 \text{ sccm}$$

La unidad sccm se refiere a standard cubic centimetre per minute (centímetros cúbicos estándar), es decir, medidos a 0°C y 1 atm.

$$1 \text{ sccm} = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ Sm}^3/\text{s} = 1,83 \cdot 10^{-8} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

Para cada caudal tenemos:

$$Q_{H_2} = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$Q_{CH_4} = 1,83 \cdot 10^{-9} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

El caudal total puede considerarse igual al de hidrógeno:

$$Q = Q_{H_2} = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}^3/\text{s}$$

El caudal másico:

$$W_m = 2,73 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/s}$$

## 9. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que se usan en el sistema son los gases precursores, el gas para la inertización del sistema, y el sustrato de diamante HPHT sobre el cual se crece el diamante.

### 9.1 Sustratos de diamante

Serán finas capas de diamante obtenido mediante síntesis HPHT, tipo Ib. Los sustratos tienen forma rectangular, de dimensiones  $3 \times 3 \times 0.5 \text{ mm}^3$  y los suministra Sumitomo Company. Su valor comercial es de aproximadamente 10 euros cada uno. Como los diamantes HPHT contienen impurezas metálicas y carbono amorfo, grafito y otras fases, es necesario realizar un pretratamiento químico a los sustratos.

Existe un procedimiento optimizado que siguen diferentes laboratorios involucrados en la síntesis de diamante.

#### ***Tratamiento químico previo.***

- Se lavan en una disolución de 1 parte de  $\text{HClO}_4$ , 3 partes de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 4 partes de  $\text{HNO}_3$  durante media hora a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Luego se enjuagan en agua destilada en un baño ultrasónico.
- Se secan usando nitrógeno gaseoso.
- Se colocan inmediatamente en la cámara de deposición para evitar cualquier posible contaminación.
- Se hace un tratamiento con plasma de hidrógeno puro durante 15 min. a  $900^\circ\text{C}$  y 50 Torr, justo antes de iniciar el crecimiento. Así se completa la limpieza de la superficie.

Las características que deben cumplir los sustratos de diamante son:

- Lado:  $2 \pm 0.01 \text{ mm}$

- Espesor:  $0.5 \pm 0.001$  mm

## 9.2 Gases

**Gases precursores.** Los gases precursores son metano e hidrógeno. Todos los gases tienen una pureza muy alta (>99.9995%) y las botellas las suministra Air Liquide. Estos gases precursores son introducidos al interior del reactor en la proporción adecuada:

$$[\text{CH}_4]/[\text{H}_2] (\%) = 0,1$$

Los caudales de estos gases son :

$$Q_{\text{H}_2} = 200 \text{ sccm}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 0,2 \text{ sccm}$$

Las características de presión y volumen que deben tener las botellas son:

- Presión no inferior a 150 bar.
- Volumen mínimo almacenado en la botella igual a  $5 \text{ m}^3$ .

**Inertización.** La inertización se lleva a cabo en el sistema antes de la introducción del sustrato con el fin de que éste no se contamine. El gas usado es argón y las características mínimas que debe cumplir son:

- Volumen mínimo de gas almacenado igual a  $7 \text{ m}^3$ .
- Presión en la botella superior a 150 bar.
- Grado de pureza del 99,999%.

## 10. OPERACIÓN Y RÉGIMEN DE FABRICACIÓN

### 10.1. Operación del sistema

La operación del sistema deberá realizarse siguiendo los pasos que se exponen a continuación:

- a) Introducción de argón gaseoso en el sistema hasta alcanzar 2 atm de presión
- b) Apertura de la brida/puerta de vacío e introducción del portamuestras con la oblea de diamante colocada sobre lámina de silicio. Rosca del

- casquillo del portamuestras y cierre de la puerta. Al existir una sobrepresión en el sistema se garantiza que no entra aire.
- c) Actuación de las bombas de vacío sobre el sistema hasta alcanzar el nivel de vacío base,  $10^{-6}$  mbar
  - d) Introducción del caudal de gases precursores
  - e) Realizar by-pass de la bomba secundaria y realizar vacío sólo con la bomba primaria
  - f) Garantizar que se alcanza la presión de operación en el sistema, 67 mbar, en la cámara de reacción
  - g) Tras el tiempo de operación, se cierra el flujo de gases y se desconecta la bomba de vacío
  - h) Introducción de argón gaseoso en la cámara de reacción hasta 2 atm de presión
  - i) Apertura de la puerta de acceso y retirada del tubo interior.

Estas son las operaciones que conforman un ciclo operativo del sistema, es decir, las operaciones necesarias para el crecimiento homoepitaxial de una capa de diamante sobre una oblea de diamante HPHT.

## 10.2. Mantenimiento y desmontaje del sistema

El mantenimiento que se realiza al sistema es fundamentalmente de dos tipos: mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

El mantenimiento preventivo abarca las bombas de vacío, el generador de microondas y el sintonizador. Estos elementos requieren la determinación del momento en el cual es posible que se produzca el fallo para la sustitución previa a este fallo. El tiempo de funcionamiento viene dado por el fabricante así que se procederá a la sustitución completa o parcial de dichos elementos antes de cumplirse el tiempo de funcionamiento.

Al resto de componentes del sistema se le aplicará un mantenimiento predictivo, especialmente indicado a evitar y detectar la aparición de grietas en

soldaduras y en el resto de elementos que pudieran provocar la fuga de gases. Este mantenimiento consistirá en realizar anualmente, una inspección ultrasónica manual en las zonas de unión y una limpieza de los componentes del sistema. Para ello deberá desmontarse siguiendo el orden inverso los pasos citados en el apartado 9.5 del Pliego de Condiciones.

### 10.3. Régimen de fabricación

El tiempo de operación por oblea depende del espesor de oblea de diamante requerido. La velocidad de crecimiento para las condiciones de operación se encuentra en el rango 0,6-1  $\mu\text{m}$  /h. Un espesor típico de oblea requerido para aplicaciones en semiconductores es de 5  $\mu\text{m}$ . Suponiendo que se fabriquen obleas de 5  $\mu\text{m}$ , se tendría un tiempo de crecimiento por oblea de 5 h. A este tiempo hay que sumarle los siguientes tiempos:

- Tiempo para el tratamiento químico previo del sustrato de diamante HTHP: 1h.
- Tiempo de introducción de argón gaseoso hasta alcanzar 2 atm de presión: 2 min.
- Tiempo de introducción del sustrato, 3 min.
- Tiempo de consecución del vacío base de  $10^{-6}$  mbar, 5 min.
- Tiempo transcurrido hasta alcanzar el estado estacionario una vez introducido el caudal de gases precursores: 5 min.
- Tiempo de introducción de argón gaseoso y el de descarga de la oblea crecida, 3 min.

Se tiene pues, un tiempo total de operación por oblea de 5,6 h aprox. Resulta coherente la producción de 2 obleas de 5  $\mu\text{m}$  por día , que se puede llevar a cabo en dos turnos de 6 horas.

### 10.4. Ubicación del sistema y formación de los operarios

El lugar en el que se ubique el sistema deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Poseer una instalación eléctrica que permita el suministro a todos los componentes del sistema diseñado
- Presentar una ventilación adecuada para evitar una posible acumulación de gases inflamables en el caso de fugas
- Las dimensiones mínimas libres alrededor del sistema deben ser de 3 m de radio
- Las botellas de almacenamiento de gases deben situarse en un lugar que cumpla los siguientes requisitos:
  - Área ventilada
  - Alejado más de 6 m de almacenamiento de materias inflamables o gases oxidantes
  - Alejado más de 8 m de instalación eléctrica, llamas abiertas o cualquier otro foco de ignición
  - Alejado más de 8 m de concentraciones de personas
  - Alejado más de 15 m de la aspiración de aire acondicionado y compresores
  - Alejado más de 15 m de almacenamiento de gases inflamables
  - Separado de zonas de gran actividad y protegido contra golpes

Los operarios deberán ser instruidos en el funcionamiento y operación del equipo, de cara a que puedan evitar posibles averías o problemas durante el funcionamiento del mismo.

## **11. SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

### **11.1. Pruebas previas a la puesta en marcha de los equipos**

La primera de las pruebas previas a realizar es la prueba hidrostática interna a la cámara de reacción conforme a la norma UG-99, en la que se indica que los recipientes de una sola pared diseñados para vacío deberán someterse a una prueba hidrostática interna, debiendo realizarse dicha prueba a una presión no menor de 1,5 veces la diferencia entre la presión atmosférica

normal y la presión interna absoluta mínima de diseño. La presión de prueba será por tanto:

$$P_{\text{prueba}} = 1,5 (P_{\text{atm}} - P_{\text{operación}}) = 1,5 (760 - 10^{-6}) = 1139 \text{ Torr} = 1.49 \text{ atm}$$

Otra de las pruebas previas es la comprobación de la correcta realización de todas las soldaduras presentes en el sistema. Esta prueba se realizará mediante ensayos no destructivos, preferentemente inspección ultrasónica, y el resultado debe garantizar que en los puntos de soldadura no se producirán escapes de gases.

Las válvulas deberán someterse a pruebas de estanqueidad para determinar si cumplen los requisitos establecidos para las mismas.

Antes de iniciar la operación del sistema deberán calibrarse todos los componentes del sistema de control (pirómetro, sensores de presión y detectores de fugas de hidrógeno) así como los controladores de flujo másico de los gases.

## 11.2. Seguridad durante la operación

La seguridad durante la operación está encaminada fundamentalmente a evitar la posibilidad de fugas gaseosas del sistema. También es importante tener en cuenta la temperatura de la superficie exterior de la cámara de reacción, y de acuerdo con la norma UNE-EN 563 tomar las medidas oportunas.

En el caso de la posibilidad de fuga de hidrógeno gaseoso, es necesario calcular el límite de inflamabilidad y detonación del hidrógeno. Según la norma ISO TC 197 estos valores son del 4% y 18,3% en volumen respectivamente. Durante la operación del sistema, la presión en el interior de la cámara de reacción es de 6,7 Kpa, por lo que podemos suponer que la presión parcial de hidrógeno en el aire atmosférico sería de 6,7 Kpa. Realmente es menor porque no toda la corriente es de hidrógeno, pero las cantidades de metano y de fosfina son muy pequeñas. Transformando los límites de inflamabilidad en presiones parciales, se obtienen 30,4 Torr y 139.08 Torr. Por tanto el límite de

detonación del hidrógeno se encuentra por encima de 50 Torr, valor en el caso de que se produjera la fuga de toda la corriente de gases. En tal caso la presión parcial del hidrógeno estaría por encima de la correspondiente a su límite de detonación y estaríamos ante la posibilidad de una explosión. Por tanto es muy importante el sistema de detección de fugas y una correcta y rápida actuación en el caso de que se produjese. Habría que cerrar inmediatamente la entrada de gases al reactor.

Para el metano, el valor del límite inferior de inflamabilidad es 5%. El sistema de flujo de metano es 1% en volumen del total, por lo que la presión parcial del mismo sería de 67 Pa. Si se transforman el límite de inflamabilidad a presión parcial se tiene el valor de 1000 Pa. El valor límite de inflamabilidad se encuentra por encima de la presión parcial que se tendría en caso de una fuga total de todos los gases presentes, por lo que el riesgo de inflamación por una fuga de metano queda descartado para las condiciones de operación del sistema.

El sistema cuenta con un sensor de detección de fugas de gases en el tramo de la conducción de entrada de gases al interior de la cámara de reacción.

La prevención de riesgos laborales en todas las operaciones que se lleven a cabo durante la operación de los equipos, fabricación de componentes, montaje de los mismos y en todas las fases del proceso productivo del sistema diseñado y pruebas previas, deberá realizarse conforme a la ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales y a la ley 50/1998 de 30 de diciembre de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social (modificación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, artículos 45, 47 48 y 49)

### **11.3. Seguridad en el manejo de los gases**

Las siguientes normas serán de obligado cumplimiento en el manejo y almacenamiento de las botellas de los gases hidrógeno, metano, fosfina y argón.

### Normas de uso

- No coger o elevar las botellas por la válvula de salida de gases.
- Usar algún mecanismo para el traslado de las botellas, incluso en desplazamientos cortos.
- Las botellas no deben ser expuestas a temperaturas superiores a 45°C.
- No dar a las botellas otro uso diferente al de almacenamiento de gases.
- Mantener las válvulas de salida de las botellas limpias.
- No someter a las botellas a esfuerzos mecánicos que puedan causar daños a las válvulas o dispositivos de seguridad.

### Normas de almacenamiento

- Las botellas se almacenarán en un lugar destinado exclusivamente a tal efecto que deberá mantenerse ventilado, preferentemente al aire libre, alejado del fuego y posibles focos de ignición y calor.
- Las botellas deberán ser almacenadas en posición vertical, con los elementos de seguridad correctamente ubicados y cerrados.
- Las botellas que contengan gases inflamables deberán almacenarse alejadas de otros materiales combustibles.
- Las botellas deberán revisarse periódicamente para evitar la posible aparición de fugas.

#### 11.4. Medio ambiente

El presente sistema tan sólo emite al medio ambiente el argón gaseoso tras la presurización a la que se le somete para la introducción de la oblea, así como el hidrógeno gaseoso tras eliminar el resto de los gases, los cuales quedan atrapados en el sistema de burbujeo instalado tras la bomba de vacío de la cámara de reacción.

En la legislación actual, la emisión de argón e hidrógeno a la atmósfera no se encuentra limitada en el Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del medio ambiente atmosférico (las emisiones a la atmósfera quedan excluidas de la Ley

10/1998 de 21 de abril, de residuos, en el artículo 2 numeral 1 apartado a, en el que se indica que la legislación acerca de emisiones gaseosas a la atmósfera queda regulada por la ley anterior). Esta ley no recoge en el Anexo III de las disposiciones finales y derogatorias, en el que se incluye un listado de los contaminantes de la atmósfera, la emisión de hidrógeno ni argón gaseoso, por lo que el sistema cumple la legislación en materia de emisiones al medio ambiente.

## 12. ESTUDIO ECONÓMICO

El objetivo de este capítulo es cuantificar el beneficio económico que se puede obtener a escala industrial con el sistema diseñado, así como definir el plazo de amortización del mismo. Para ello se hace un análisis de los gastos y beneficios que reporta el crecimiento de diamante.

### 12.1 Ingresos

Los precios en el mercado de estas obleas oscilan alrededor de los 100 €. En un mes se producen aproximadamente unas 40 obleas, por lo que los ingresos en un mes serían de 4000 €.

### 12.2. Costes

Los gastos en la producción pueden englobarse en tres conceptos diferentes:

- Materias primas
- Mantenimiento y mano de obra
- Energía

#### Materias primas

Obleas de diamante HPHT

Se toma la de mayor calidad existente en el mercado, cuyo precio es de unos 4 euros. En un mes tendremos un gasto de 160 euros.

## Gases

Los precios de los gases que se utilizan en el proceso son:

H<sub>2</sub>: 25 € / m<sup>3</sup>

CH<sub>4</sub>: 17,5 € / m<sup>3</sup>

Argón:

Se puede realizar una estimación del gasto mensual de los gases, utilizando los datos de caudales. En un mes se procesan 40 obleas con un tiempo de crecimiento de 5 h cada una. Por tanto el gasto mensual de cada uno de los gases es:

Gases	Caudal (m <sup>3</sup> /mes)	Precio (Euros / m <sup>3</sup> )	Gasto (Euros / mes)
Hidrógeno	2.4	25	60
Metano	0.024	17,5	0,42
Argón	2	27,2	54,4

## Mantenimiento y mano de obra

Para el mantenimiento se han establecido paradas del equipo cada 365 días. El coste de cada parada se estima en 1000 euros. Por tanto, 80 €/mes.

## Electricidad

La electricidad la consume principalmente el magnetrón y las bombas de vacío.

Potencia máxima generador de microondas: 1,2 Kw

Bomba rotatoria: 0,09 Kw

Bomba turbomolecular: 0.01 Kw

Se estima un total de  $1,3 \text{ Kwh} \cdot 0,082\text{€}/\text{Kwh} \cdot 200\text{h} = 21,32 \text{ €/mes}$

## **12.3. Beneficios y plazo de amortización**

Los beneficios en un mes resultan ser de 3620 €. Con estos beneficios se consigue una amortización del inmovilizado tras el tercer mes de producción, ya que el presupuesto de ejecución del proyecto es de 11168 €. A partir de este momento, los beneficios anuales para el equipo proyectado serán de 43440€.

### 13. NORMATIVA

La normativa aplicada en el presente proyecto es la siguiente:

- ISO TC 197 “Basic considerations for the safety of hydrogen systems”
- Norma sobre recipientes a presión ASME, sección VIII, div. 1
- UNE-EN 563 “ Seguridad de las máquinas. Temperatura de las superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límite de las superficies calientes”.
- Norma U-99 para prueba hidrostática en recipientes sometidos a presión, vacío o vacío parcial.
- Norma UG-100 para prueba neumática en recipientes sometidos a presión, vacío o vacío parcial.
- Ley 38/1972 de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico
- Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 50/1998 de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social. (Modificación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, artículos 45, 47, 48 y 49)

Además de la normativa expuesta, también es aplicable durante la ejecución de las tareas de fabricación y montaje del sistema, el conjunto de normas citadas en el Pliego de Condiciones. En la fabricación y montaje también serán aplicables las dos últimas leyes citadas en la página anterior.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- M. Kamo, Y. Sato, S. Matsumoto and N. Setaka. "Diamond synthesis from gas phase in microwave plasma." Journal of Crystal Growth 62 (1983) 642-644
- Euo Sik Cho. "Microwave Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition of Diamond Film". SMDL Annual '99
- M. Poisan and J. Pelletier. "Microwave excited plasmas"
- A. Grill. "Cold plasma in materials fabrication"
- O'Hanlon. "A user's guide to vacuum technology"
- S.J. Orfanidis. "Electromagnetic waves and antennas"
- Propiedades del cuarzo. <http://www.gequartz.com/en/properties.htm>
- Propiedades del acero 316.  
[http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless steels](http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels)
- V. Lelevkin and I. Rafatov. "On the modelling of non-equilibrium cylindrical microwave discharge"
- Lelevkin V.M., Ortobaev D.K. and Shram D.C."Physics of non-equilibrium plasmas
- Waveguides and resonators.  
<http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/waveguide.html>
- Chemistry of diamonds. <http://www.chemistry.about.com>
- Rules for construction of pressure vessels. Asme boiler and pressure vessel code. Section VII, división 1.

## 15. ANEXO DE CÁLCULOS

### 15.1. CÁLCULO DEL SISTEMA DE VACÍO

En el sistema se necesita realizar un vacío base de  $10^{-6}$  mbar. Para conseguir este nivel de vacío se dispone una bomba turbomolecular y una bomba rotatoria de apoyo, conectadas en serie. Una vez alcanzado el grado de vacío requerido en el sistema, se inyectan los gases precursores y para mantener la presión de operación de 6,7 KPa, se utiliza sólo la bomba rotatoria.

#### 15.1.1. Bomba de vacío primaria

##### - Cálculo de la velocidad efectiva de la bomba, $S_{ef}$

La bomba debe presentar una velocidad efectiva de bombeo capaz de desalojar el caudal de gases que se introduce en el sistema.

$$S_{ef} = (Q_{gas}) / P$$

En los cálculos de vacío, el caudal se calcula multiplicándolo por la presión a la que se mida y presenta un concepto parecido a la potencia, presentando las unidades  $[P \cdot V \cdot t^{-1}]$

$$Q_{gas} = Q_{H_2} \cdot P = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}^3/\text{s} \cdot 1 \text{ atm} = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ atm} \cdot \text{Nm}^3/\text{s}$$

Para las condiciones de operación, suponiendo que el hidrógeno se comporta como un gas ideal:

$$Q_{gas} = \frac{P_n \cdot Q_n \cdot T \cdot P}{T_n \cdot P} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ L/s} \cdot 1073 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 0,014 \text{ atm} \cdot \text{L/s}$$

La velocidad efectiva de bombeo necesaria:

$$S_{ef} = Q_{gas} / P = 0,014 \text{ atm} \cdot \text{l/s} / 0,065 \text{ atm}$$

$$S_{ef} = 0,2 \text{ l/s}$$

Si tomamos una bomba cuya velocidad nominal (ofertada por el fabricante) sea 0,21 l/s realmente no proporciona esta velocidad sino menor, debido a que la

velocidad nominal se ha medido en condiciones ideales, en las cuales la bomba directamente desaloja los gases de un recipiente, sin intermediarios. La velocidad efectiva de la bomba está relacionada con la velocidad nominal mediante la siguiente expresión:

$$1/S_{ef} = 1/S + 1/C$$

$S_{ef}$  = velocidad de bombeo efectiva

$S$  = velocidad nominal de la bomba

$C$  = conductancia (inversa de la resistencia al flujo)

En sistemas de vacío no se usa las pérdidas de carga sino un concepto parecido; la conductancia,  $C$ . La conductancia de un conducto, elemento o dispositivo, es el cociente entre el flujo de gas o caudal que lo atraviesa y la diferencia de presiones que se produce entre la entrada y la salida de dicho conducto, elemento o dispositivo.

$$C = Q_{gas} / (P_e - P_s) = Q_{gas} / \Delta P$$

Es necesario calcular la conductancia para los siguientes elementos:

- Tramo recto de conducción.
- Codos y válvula de la conducción.

Para el cálculo de las conductancias existen diferentes expresiones dependiendo del régimen de flujo que se trate. Se caracteriza el régimen de flujo en el sistema mediante el número de Reynolds y el producto  $P \cdot D$ .

$Re > 2000$	flujo Turbulento	donde $[P]$ = mbar ; $[D]$ = cm
$1000 < Re < 2000$	flujo Transición	
$Re < 1000$ y $P \cdot D > 0,741$	flujo Laminar	
$0,00741 < P \cdot D < 0,741$	flujo Intermedio	
$P \cdot D < 0,00741$	flujo Molecular	

**Cálculo del número de Reynolds:**

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$\rho$  = densidad promedio de la corriente gaseosa

$v$  = velocidad de la corriente gaseosa

$D$  = diámetro del tubo

$\mu$  = viscosidad promedio de la corriente gaseosa

Para el cálculo de la densidad y viscosidad suponemos que toda la corriente es hidrógeno.

$$\rho = PM/RT = (1\text{atm} \cdot 2,016 \cdot 10^{-3} \text{Kg/mol}) / (0,082 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 \text{atm mol}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 298\text{K})$$

$$\rho = 0,082 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 8,75 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Reynolds conducciones  $d = 7,7 \text{ mm}$

$$v = W_m / \rho \cdot S = (2,73 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/s}) / (0,082 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,85 \cdot 10^{-3})^2 \pi \text{ m}^2) = 0,07 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{0,082 \cdot 0,07 \cdot 0,007}{8,75 \cdot 10^{-6}} = 9,4 \quad \left. \vphantom{\text{Re}} \right\} \text{ Régimen intermedio}$$

$$P \cdot D = 66,7 \text{ mbar} \cdot 0,01 \text{ m} = 0,66$$

Reynolds cámara reacción  $d = 42,5 \text{ mm}$

$$v = W_m / \rho \cdot S = (2,73 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/s}) / (0,082 \text{ kg/m}^3 \cdot (21,25 \cdot 10^{-3})^2 \pi \text{ m}^2) = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{0,082 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0425}{8,75 \cdot 10^{-6}} = 0,91 \quad \left. \vphantom{\text{Re}} \right\} \text{ Régimen laminar}$$

$$P \cdot D = 66,7 \text{ mbar} \cdot 0,049 \text{ m} = 3,23$$

Reynolds conducciones  $d = 16,7 \text{ mm}$

$$v = W_m / \rho \cdot S = (2,73 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/s}) / (0,082 \text{ kg/m}^3 \cdot (8,35 \cdot 10^{-3})^2 \pi \text{ m}^2) = 0,01 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{0,082 \cdot 0,01 \cdot 0,016}{8,75 \cdot 10^{-6}} = 1,5 \quad \left. \vphantom{\text{Re}} \right\} \text{ Régimen laminar}$$

$$P \cdot D = 66,7 \text{ mbar} \cdot 0,016 \text{ m} = 1,056$$

Reynolds conducciones  $d = 23,05 \text{ mm}$

$$v = W_m / \rho \cdot S = (2,73 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/s}) / (0,082 \text{ kg/m}^3 \cdot (11,52 \cdot 10^{-3})^2 \pi \text{ m}^2) = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{0,082 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,023}{8,75 \cdot 10^{-6}} = 1,72 \quad \left. \vphantom{Re} \right\} \text{ Régimen laminar}$$

$$P \cdot D = 66,7 \text{ mbar} \cdot 0,024 \text{ m} = 1,58$$

Excepto en las conducciones de entrada de los gases precursores se tiene régimen laminar en todo el sistema.

Para el cálculo de la conductancia de una conducción recta, cilíndrica en régimen laminar se parte de la ecuación de Poiseuille:

$$F = Q_{\text{gas}} / P = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot R^4}{8 \eta L} \quad \Longrightarrow \quad C = \frac{(\pi / 8 \eta) R^4 \cdot P}{L}$$

$C$  = conductancia,  $\text{m}^3 / \text{s}$

$\eta$  = viscosidad del gas,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$

$R$  = radio de la conducción,  $\text{m}$

$P$  = presión media entre la entrada y la salida de la conducción,  $\text{Pa}$

$L$  = longitud de la conducción,  $\text{m}$

Se dispone de la velocidad de bombeo medida en las condiciones de operación, velocidad de bombeo efectiva,  $S_{\text{ef}}$  en el extremo inferior de la cámara de reacción, justo antes de la conexión para la conducción de salida de los gases que une la cámara con la bomba de vacío primaria. Hay que calcular la velocidad de bombeo nominal de la bomba,  $S_{\text{bom}}$ . En el siguiente dibujo se muestra la configuración (orientativa):



$P_{\text{bom}} = \text{desconocida}$

Como el cálculo de la conductancia depende del valor de  $P_{\text{bom}}$ , se supone un valor inicial y se itera.

$P_{\text{bom}} = 6500 \text{ Pa}$

$P_{\text{ef}} = \text{presión de diseño} = 6580 \text{ Pa}$

$P = 6540 \text{ Pa}$

Para incluir los valores de conductancia de la salida de la cámara (contracción brusca) y la conductancia de los codos de  $90^\circ$ , se incluye una longitud equivalente:

Nominal width (mm)	10	25	40	63
Y valve	0.12	0.25	0.35	0.35
Angle valve	0.1	0.2	0.25	0.3
Elbow $90^\circ$ , $D = 3d$	0.03	0.07	0.12	0.2

Tabla 1. Longitudes equivalentes (m) de varios accesorios en vacío. Pfeifer vacuum.

Se extrapola para accesorios NW16:

$L_{\text{eq}}$  (válvula) = 17,2 cm

$L_{\text{eq}}$  (codos  $90^\circ$   $D_i = 0,83 \text{ cm}$ ) =  $4 \times 5 = 20 \text{ cm}$

$L_{\text{con}} = 300 \text{ cm}$

**1ª iteración:**

$$R = 8,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 3 + 0,175 + 0,2 = 337,5$$

$$C = \frac{(\pi/8\eta)R^4 \cdot P}{L} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s} = 360 \text{ l/s}$$

$$1/S_{\text{ef}} = 1/S + 1/C$$

$$S = \frac{S_{\text{ef}} \cdot C}{C - S_{\text{ef}}} = \frac{0,22 \cdot 360}{360 - 0,22} = 0,2201$$

$$P = \frac{P_{\text{ef}} \cdot S_{\text{ef}}}{S} = 6577 \text{ Pa}$$

**2ª iteración:**

$$P_{\text{bom}} = 6577 \text{ Pa}, P = 6578,5 \text{ Pa}$$

$$C = \frac{44879 \cdot R^4 P}{L} = 358 \text{ l/s}$$

$$1/S_{\text{ef}} = 1/S + 1/C$$

$$S = \frac{S_{\text{ef}} \cdot C}{C - S_{\text{ef}}} = \frac{0,22 \cdot 358}{358 - 0,22} = 0,2203$$

$$P_{\text{bom}} = \frac{P_{\text{ef}} \cdot S_{\text{ef}}}{S} = 6571 \text{ Pa}$$

**3ª iteración:**

$$P_{\text{bom}} = 6571 \text{ Pa}, P = 6575,5 \text{ Pa}$$

$$C = \frac{44879 \cdot R^4 P}{L} = 0,358 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/S_{\text{ef}} = 1/S + 1/C$$

$$S = \frac{S_{\text{ef}} \cdot C}{C - S_{\text{ef}}} = \frac{0,22 \cdot 358}{358 - 0,22} = 0,2203$$

$$P_{\text{bom}} = \frac{P_{\text{ef}} \cdot S_{\text{ef}}}{S} = 6571 \text{ Pa} = 66,56 \text{ mbar}$$

Se tiene, por tanto un valor de conductancia muy alto, que prácticamente no afecta a la velocidad de bombeo:

$$C = 358 \text{ l/s}$$

$$S \approx S_{\text{ef}} = 0,2 \text{ l/s}$$

Se requiere una bomba de vacío cuya velocidad nominal sea mayor o igual que 0,2 l/s y que proporcione un vacío de 66,7 mbar durante la operación del sistema.

En el siguiente apartado se selecciona la bomba secundaria, una bomba turbomolecular, con  $S = 40 \text{ l/s}$  y  $P_{\text{ult}} = 10^{-8} \text{ mbar}$ , EXT70. Esta bomba de vacío necesita una bomba de apoyo tal como una bomba rotaria de paletas EM0,7 (ambas del catálogo Boc Edwards) con  $S = 0,7 \text{ mbar}$  y  $P_{\text{ult}} = 10^{-3} \text{ mbar}$ . Esta es

la bomba de vacío con menor velocidad de bombeo disponible que alcance un vacío de  $10^{-3}$  mbar (necesario para la operación de la bomba turbomolecular). Además la bomba primaria también actúa sola cuando realiza la primera parte del vacío previo en el sistema. Desaloja los gases retenidos, bajando la presión en el sistema desde la presión atmosférica hasta la presión última que sea capaz de alcanzar la bomba.

Se calcula el tiempo que tarda en alcanzar dicho nivel de vacío en el sistema: Asumiendo una velocidad de bombeo constante, la variación de la presión con el tiempo en la cámara a desalojar viene dada por la ecuación:

$$-\frac{dP}{dt} = \frac{S}{V} \cdot P$$

Comenzando a 1013 mbar en

$t = 0$ , el tiempo requerido para alcanzar un determinado nivel de vacío se calcula como sigue:

$$\int_{1013}^P \frac{dP}{P} = -\frac{S}{V} \cdot t \implies t = \frac{V}{S} \cdot \ln \frac{1013}{P}$$

Volumen de la cámara de reacción:

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \cdot (2,12 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 0,75 = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ L}$$

Volumen de las conducciones:

- Conducción entrada gases:

$$V_2 = 4 \cdot \pi \cdot 0,00385^2 = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,18 \text{ L}$$

- Conducciones salida gases (hasta la bomba)

$$V_3 = 3 \cdot \pi \cdot 0,0083^2 = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,66 \text{ L}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 1,84 \text{ L}$$

$$t = \frac{V}{S} \cdot \ln \frac{1013}{P} = \frac{1,84}{0,7} \ln \frac{1013}{10^{-3}} = 36 \text{ s}$$

Debido al bajo volumen a desalojar el tiempo requerido es mínimo.

### 15.1.2. Bomba secundaria

Esta bomba debe garantizar un nivel de vacío hasta una presión de  $10^{-6}$  mbar.

Para calcular la velocidad de bombeo requerida, hay que tener en cuenta que en alto vacío, la velocidad de bombeo necesaria para conseguir un determinado nivel de vacío depende mayoritariamente de los gases que se desprenden de las paredes, y en menor medida del volumen del sistema a desalojar.

La velocidad de bombeo necesaria para evacuar los gases retenidos en un volumen determinado, se calcula mediante la siguiente fórmula, siempre que la velocidad de bombeo sea constante y no varíe con la presión:

$$S = \frac{V}{t} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

V = volumen de la cámara a desalojar

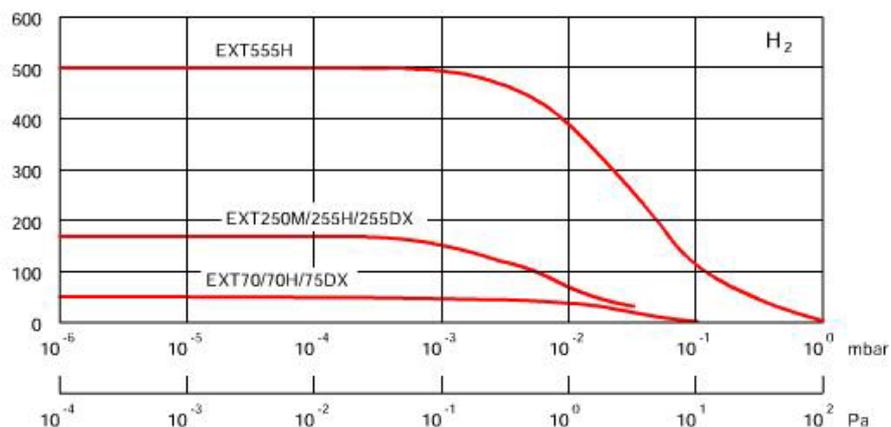
$P_1$  = presión de la cámara a desalojar,

$P_2$  = presión a alcanzar,  $10^{-6}$  mbar

T = tiempo

Dadas las pequeñas dimensiones del sistema, se preselecciona la bomba turbomolecular con menor velocidad de bombeo.

Se preselecciona una bomba turbomolecular EXT70, cuya curva característica se muestra a continuación:



Se observa que la variación de S con P es mínima, por tanto puede aplicarse la fórmula anterior para el cálculo de S.

Volumen de la cámara de reacción:

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \cdot (2,12 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 0,75 = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ L}$$

Volumen de las conducciones:

- Conducción entrada gases:

$$V_2 = 4 \cdot \pi \cdot 0,00385^2 = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,18 \text{ L}$$

- Conducciones salida gases (hasta la bomba)

$$V_3 = 1 \cdot \pi \cdot 0,011^2 = 0,41 \text{ L}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 1,6 \text{ L}$$

La velocidad de bombeo necesaria para alcanzar una presión en el sistema de  $10^{-6}$  mbar, partiendo de una presión de  $10^{-3}$  mbar (alcanzada con la bomba secundaria y considerando sólo el volumen de gas encerrado) en 5 minutos es la siguiente:

$$S_v = \frac{V}{t} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \frac{1,6}{300} \ln\left(\frac{10^{-3}}{10^{-6}}\right) = 0,04 \text{ l/s}$$

En sistemas de alto vacío es imprescindible calcular el aporte de gases de las paredes (outgassing). Conocido el caudal de aporte de gases de los materiales que constituyen el sistema,  $Q_{out}$ , y la presión de vacío a alcanzar,  $P_{ult}$ , es muy simple determinar la velocidad de bombeo efectiva necesaria para mantener este nivel de vacío:

$$S_{ef} = \frac{Q_{out}}{P_{ult}}$$

Para el acero inoxidable (tratado térmicamente):

$$A_{ac} = \pi \cdot 0,77 \cdot 400 + \pi \cdot 2,3 \cdot 75 = 1509 \text{ cm}^2$$

$$q_{ac} = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ mbar} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$$

$$Q_{acero} = A_{ac} \cdot q_{ac} = 1509 \text{ cm}^2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ mbar} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2 = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$$

Para el cuarzo (desgaseado):

$$A_{cz} = 75 \cdot 2\pi \cdot 2,21 + 37,5 \cdot 2\pi \cdot 2,3 = 1583 \text{ cm}^2$$

$$q_{cz} = 9 \cdot 10^{-10} \text{ mbar} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$$

$$Q_{\text{cuarzo}} = A_{cz} \cdot q_{cz} = 1583 \text{ cm}^2 \cdot 9 \cdot 10^{-10} \text{ mbar} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2 = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$$

En total:

$$Q_{\text{pared}} = Q_{\text{acero}} + Q_{\text{cuarzo}} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$$

$$S_{\text{ef}} = \frac{Q_{\text{out}}}{P_{\text{ult}}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}} = 1,4 \text{ l/s}$$

Esta velocidad es mucho más alta que la requerida para evacuar el sistema, por tanto, en sistemas de alto vacío, la consecución del grado de vacío requerido depende mayoritariamente de la velocidad de aporte de gases que de los materiales constituyentes del sistema.

Para calcular la velocidad nominal se hallan las conductancias de los distintos elementos que componen el sistema.

La ecuación para el cálculo de la conductancia de una conducción recta, válida para flujo laminar, de transición y molecular, suponiendo que el gas a desalojar es aire a temperatura ambiente, se muestra a continuación (ecuación de Knudsen):

$$C = 135 \cdot \frac{D^4}{L} \cdot P + 12,1 \cdot \frac{D^3}{L} \cdot \frac{1 + 192 \cdot d \cdot P}{1 + 237 \cdot d \cdot P}$$

Donde,

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \text{ (mbar)}$$

D = diámetro interior de la conducción (cm)

L = longitud de la conducción (cm)

Rescribiendo el segundo término de la forma:

$$C = 12,1 \frac{D^3}{L} f \cdot (D \cdot P) \quad \text{con} \quad f = \frac{1 + 203 \cdot D \cdot P + 2,78 \cdot 10^3 \cdot D^2 \cdot P^2}{1 + 237 \cdot D \cdot P}$$

Se puede establecer un límite para flujo molecular:

$$\text{Si } D \cdot P < 10^{-2} \quad \Rightarrow \quad C = 12,1 \cdot \frac{D^3}{L}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

C es el valor de la conductancia total del sistema, compuesto por los valores individuales,  $C_n$ , de cada elemento conectado en serie (tramo conducción, codos, válvulas...)

En este caso el régimen es molecular, pues  $D \cdot P = 4,6 \cdot 10^{-6} < 10^{-2}$  mbar·cm que es el límite para el flujo molecular, y por tanto, la conductancia es independiente de la presión y se tienen las siguientes expresiones simplificadas para el cálculo de la conductancia:

#### Conductancia de los tramos rectos de conducción

$$C = 12,1 D^3/L$$

Cámara reacción, tramo1:  $D = 4,2$  cm,  $L = 37,5$  cm       **$C_1 = 24$  l/s**

Cámara reacción, tramo 2:  $D_{eq} = 3,1$  cm,  $L = 37,5$  cm       **$C_2 = 9,6$  l/s**

Conducción salida gases:  $D = 2,3$  cm,  $L = 75$  cm       **$C_3 = 3,7$  l/s**

#### Conductancia de los orificios

$$C = 11,6 \cdot A$$

$$C_4 = 11,6 \cdot \pi \cdot 0,5^2 = 9,11 \text{ l/s}$$

$$C_5 = 11,6 \cdot \pi \cdot 1,15^2 = 52 \text{ l/s}$$

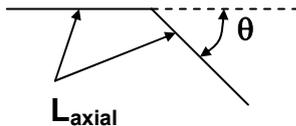
#### Conductancia de la válvula

$$\text{Válvulas de bola NW25, } C_6 = 46,5 \text{ l/s}$$

Conductancia de los codos

Se calcula teniendo en cuenta una longitud efectiva.

$$L_{ef} = L_{axial} + 1,33 \theta D/180, C = 12,1 \cdot D^3 / L_{ef}$$



Para codos cortos NW25 de 90°, se tiene:

$$L_{ef} = 8,4 + 1,33 \cdot 90 \cdot 2,3/180 = 10 \text{ cm}$$

$$C_7 = 12,1 \cdot 2,3^3/10 = 14,7 \text{ l/s}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{2}{C_7} = 0,6 \text{ l/s} \implies C = 1,7 \text{ l/s}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_{ef}} - \frac{1}{C} = 0,14 \implies S = 7 \text{ l/s}$$

Se necesita una bomba con una velocidad intrínseca mínima de 7 l/s que proporcione un vacío de  $10^{-6}$  mbar.

Se selecciona la menor bomba turbomolecular disponible, EXT70 (Boc Edwards), cuya velocidad de bombeo es 40 l/s y es capaz de alcanzar un vacío de hasta  $10^{-8}$  mbar. La bomba de apoyo que recomienda el fabricante es la bomba rotatoria de paletas EM0,7, que presenta una velocidad de bombeo de 0,2 l/s y alcanza un vacío de  $10^{-3}$  mbar.

## 15.2. CÁLCULO DE LA CÁMARA DE REACCIÓN

### 15.2.1 Cálculo del espesor

La cámara de reacción es un tubo de cuarzo, que durante la operación del sistema se encuentra sometido a presión externa, ya que trabaja por debajo de la presión atmosférica.

Para el cálculo del espesor de la pared de la cámara se utilizan los procedimientos y las fórmulas de diseño de la norma ASME Code for Pressure Vessels, sección VIII, división 1.

La presión externa de diseño no será menor que la máxima diferencia esperada entre la presión en el interior del recipiente y la presión en el exterior.

$$P_{\text{int}} = 10^{-6} \text{ mbar}$$

$$P_{\text{out}} = 1013 \text{ mbar}$$

$$\Delta P = 1013 \text{ mbar} = 15 \text{ psi}$$

Así que la presión externa de diseño es la presión atmosférica:

$$P = 15 \text{ psi}$$

La cámara de reacción consiste en un tubo de cuarzo que llega a tener un nivel de vacío de  $10^{-6}$  mbar.

Los valores hay que tomarlos en pulgadas.

1) Se supone un valor inicial del espesor,  $t = 3$  mm, y se determinan los cocientes  $D_0 / t$  y  $L / D_0$ .

$$D_0 / t = 47,5 / 2,5 = 19$$

$$L / D_0 = 750 / 47,5 = 15,8$$

2) Con los cocientes anteriores se entra en la gráfica UG-28 correspondiente y se determina el valor del factor A.

$$A = 0,003$$

3) Con el valor del factor A, el módulo de elasticidad del cuarzo, el límite elástico y la temperatura de operación se entra en la correspondiente gráfica para el cálculo del factor B:

$$A = 0,0028$$

$$E = 10,5 \cdot 10^6 \text{ psi}$$

$$Y = 7500 \text{ psi}$$

$$T = 1000 \text{ }^\circ\text{F}$$

Se obtiene,  $B = 7000$

4 ) Cálculo de la presión máxima de trabajo permitida:

$$P_a = \frac{4B}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = \frac{4 \cdot 7000}{3 \cdot 19} = 491 \text{ psi} > 15 \text{ psi}$$

Se comprueba que el valor obtenido de la presión máxima de trabajo es mayor que el de la presión externa de diseño, por lo que el valor supuesto de 2,5 mm para el espesor de la cámara de reacción es válido y se puede adoptar como definitivo.

$$t = 2,5 \text{ mm}$$

Nota: Como no se dispone de la gráfica UG-28 para el cuarzo se ha utilizado la correspondiente a Titanio, que tiene un módulo elástico muy parecido al del cuarzo,  $E = 11 \cdot 10^6 \text{ psi}$ .

47

### 15.2.2. Cálculo del diámetro

El diámetro del tubo está condicionado por la disponibilidad de tamaños del aplicador de microondas. Se oferta para tubos de diámetro externo de  $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ . Esta variación se absorbe con el diseño de los recubrimientos metálicos externos. Se opta por un tubo de 47,5 mm que es el diámetro compatible con el adaptador superior.

### 15.3. CÁLCULO DE LAS CONDUCCIONES

Las conducciones se encuentran sometidas a presión externa durante la operación del sistema.

Para el cálculo del espesor de la pared de la cámara se utilizan los procedimientos y las fórmulas de diseño de la norma ASME Code for Pressure Vessels, sección VIII, división 1.

El espesor de pared requerido se determina con la gráfica UG-31. Se necesitan los valores:

Tensión de diseño del material = 7000 psi

Presión externa máxima = 15 psi

La gráfica comienza con un valor de presión de diseño de 30 psi, así que siempre y cuando  $t/D_0 > 0,02$ , el espesor resulta válido.

Se seleccionan los espesores de las conducciones de acuerdo con las dimensiones de las bridas NW disponibles. Así se tiene:

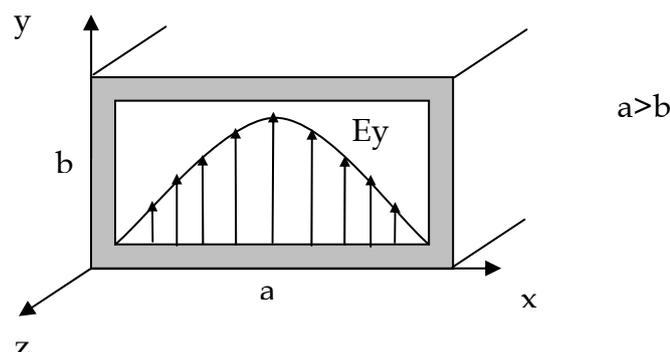
Conducciones entrada gases: NW 10,  $t/D_0 = 0,9/9,52 = 0,09$ ,  $t = 0,9$

Conducciones salida gases: NW 16,  $t/D_0 = 1,2/19,1 = 0,06$ ,  $t = 1,2$

Conducciones salida gases: NW 25,  $t/D_0 = 1,2/25,4 = 0,05$ ,  $t = 1,2$

#### 15.4. CÁLCULO DE LA GUÍA DE ONDA

Para conducir las microondas desde el punto en el que son generadas hasta la cámara de reacción se empleará una guía de onda rectangular. Las dimensiones de dicha guía deben ser tales que permitan sólo la propagación del modo más simple, el modo fundamental transversal eléctrico, TE<sub>01</sub>, que depende sólo de la coordenada x. El campo eléctrico es perpendicular a las paredes más anchas de la guía, sólo existe la componente y del campo eléctrico,  $E_y$ , y el campo magnético tiene componentes en la dirección de propagación z,  $H_z$ , y en la dirección x,  $H_x$ .



Si se propaga más de un modo a la vez no se tendría control sobre qué modo transmite la señal en cada instante y se originarían problemas de dispersión, distorsión e inestabilidad.

Dada una guía de onda, existe una frecuencia de corte para cada modo, de forma que si ésta es menor que la frecuencia de operación, entonces el modo se propagará, y si es mayor que la frecuencia de operación, la onda se atenuará de forma exponencial en la dirección de la guía de onda,  $z$ . Esto se deduce de la relación existente entre la frecuencia angular,  $\omega$  y el número de onda de propagación en la dirección de la guía,  $\beta$ :

$$\beta^2 = \frac{\omega^2 - \omega_c^2}{c^2}$$

Si  $\omega > \omega_c$ , el número de onda  $\beta$  es real y la onda se propagará

Si  $\omega < \omega_c$ , el número de onda  $\beta$  es imaginario y la onda se atenuará en la dirección  $z$ .

Para asegurar que sólo se propague el modo fundamental, el más bajo, la frecuencia de trabajo debe ser mayor que la frecuencia de corte de dicho modo y menor que la frecuencia de corte del siguiente modo.

En una guía rectangular la frecuencia de corte de un modo se calcula con la siguiente expresión (obtenida tras resolver las ecuaciones de Maxwell con las condiciones de contorno que impone la guía de onda rectangular)

$$f_{nm} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{n}{a}\right)^2 + \left(\frac{m}{b}\right)^2}$$

$n = 1,2,3 \dots$

$m = 1,2,3 \dots$

$\mu$  = permeabilidad del medio a través del que se propaga la onda

$\varepsilon$  = permisividad

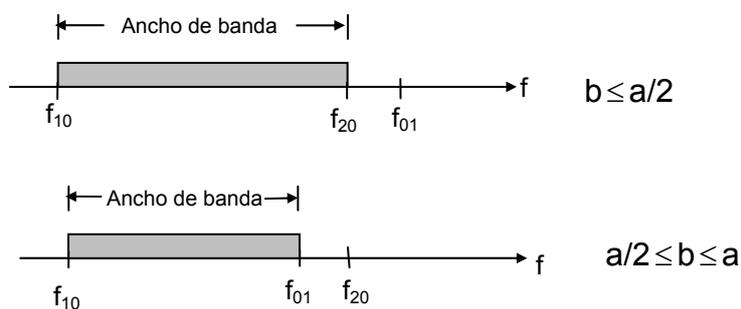
$a$  = lado mayor de la sección rectangular de la guía de onda

$b$  = lado menor de la sección rectangular de la guía de onda

Si  $b \leq a/2$ , las dos frecuencias menores son  $f_{10} = c/2a$  y  $f_{20} = c/a = 2 f_{10}$

Si  $b > a/2$ , las dos frecuencias menores son  $f_{10} = c/2a$  y  $f_{01} = c/2b$

Ambos casos se ilustran en la siguiente figura:



Es evidente que para conseguir el mayor ancho de banda posible para el modo  $TE_{10}$ , las dimensiones de la guía deben satisfacer la relación  $b \leq a/2$  así el ancho de banda es el intervalo  $[f_{10}, 2f_{10}]$ . Por otra parte, la potencia transmitida en este modo es directamente proporcional al área de la sección de la guía,  $ab$ . Además de requerirse el mayor ancho de banda posible también se requiere que la potencia transmitida sea máxima, así que  $b$  debe ser lo mayor posible, es decir,  $b = a/2$ .

Para calcular la dimensión  $a$ , hay que tener en cuenta que se toma como regla que la frecuencia de operación debe estar en el medio del ancho de banda, para tener un margen de seguridad, es decir:

$$f = 1,5f_c$$

$$f_c = f/1,5 = 2,45 \cdot 10^9 / 1,5 = 1,63 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

Como:

$$f_c = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

La guía de onda está llena de aire, así que se toman los valores de permisividad y permeabilidad del aire:

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/ m}$$

$$\varepsilon = 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ F/ m}$$

Se tiene:

$$a = \frac{1}{2f_c \sqrt{\mu\varepsilon}} = 0.09 \text{ m}$$

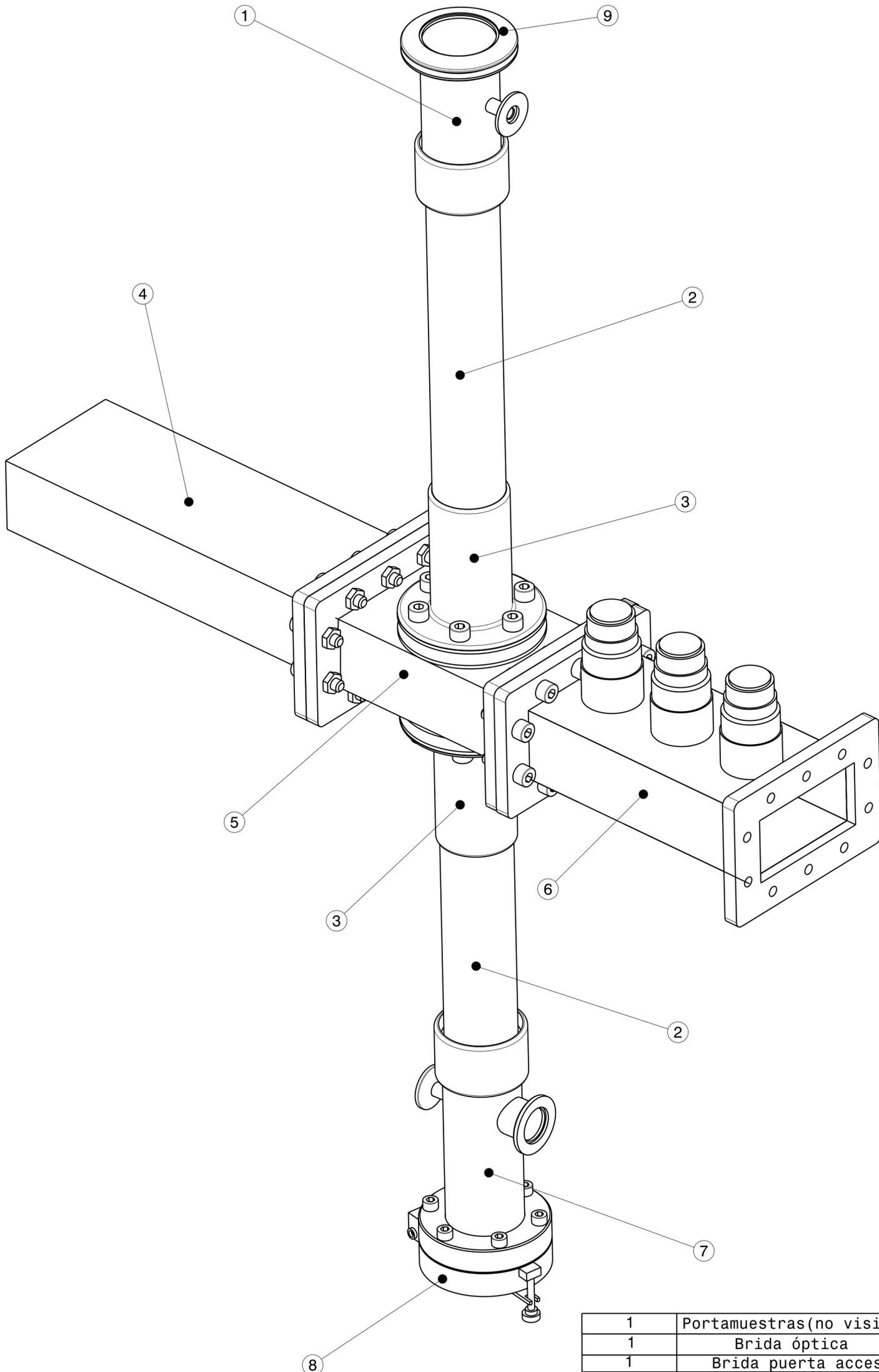
Se necesita pues, que la sección de la guía de onda tenga las dimensiones:

$$\mathbf{a = 9 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{b = 4,5 \text{ cm}}$$

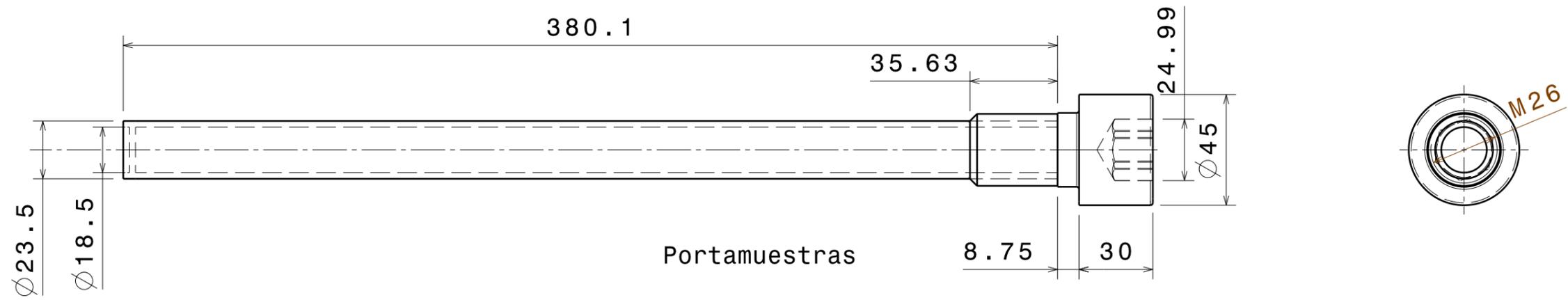
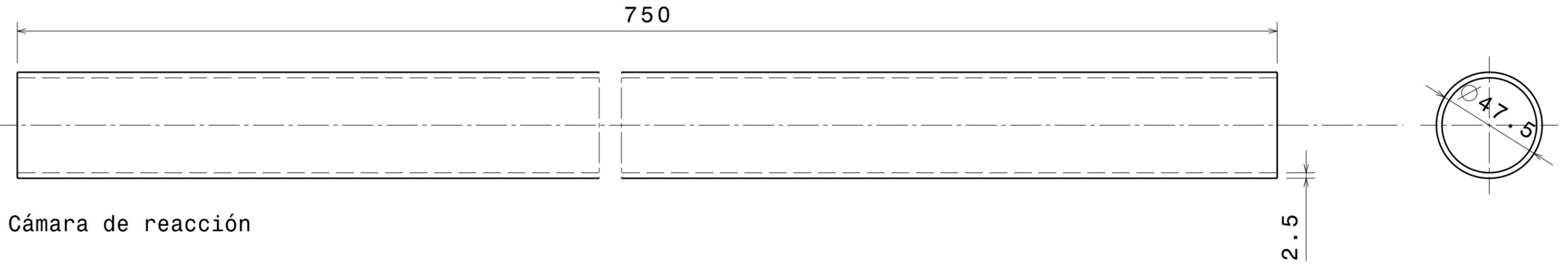
La guía de onda rectangular normalizada que más se acerca a estas dimensiones es la RW340.

La longitud total de la guía de onda queda determinada por la longitud de los elementos que la componen: sintonizador, tramo central y tramo final, pues forman parte de la guía de onda y permiten que la onda pase a su través, teniendo todos ellos la misma sección con las dimensiones calculadas.

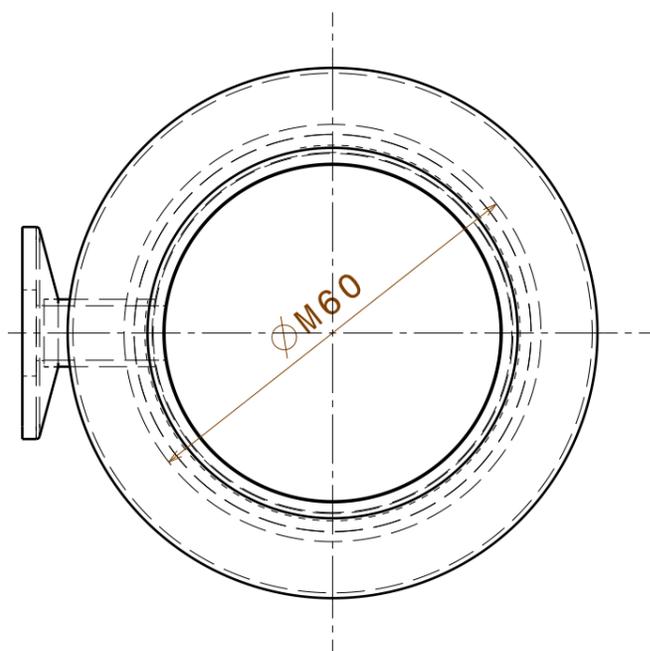
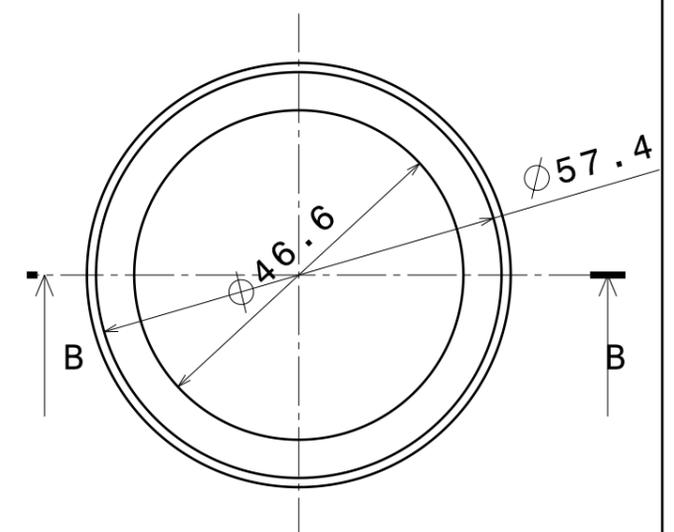
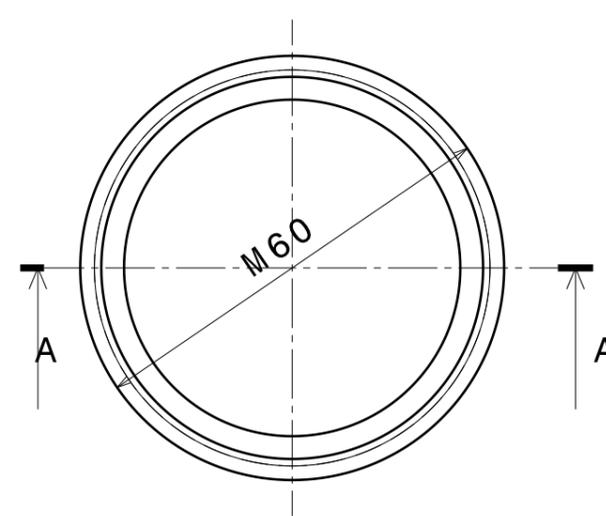
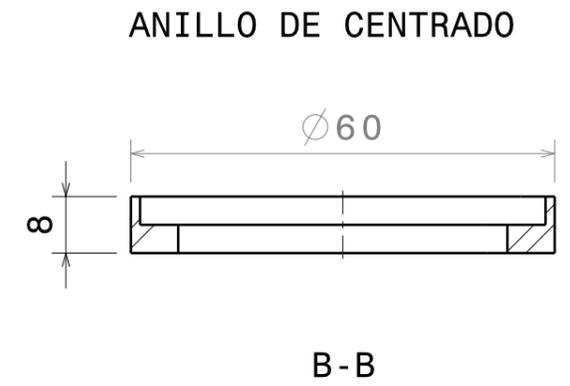
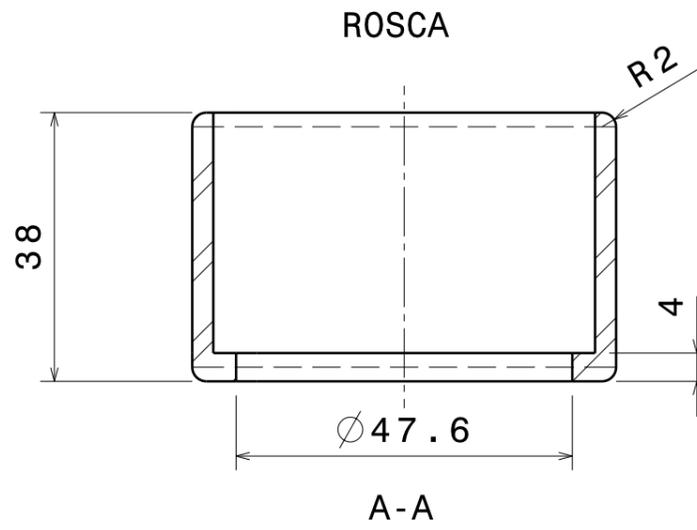
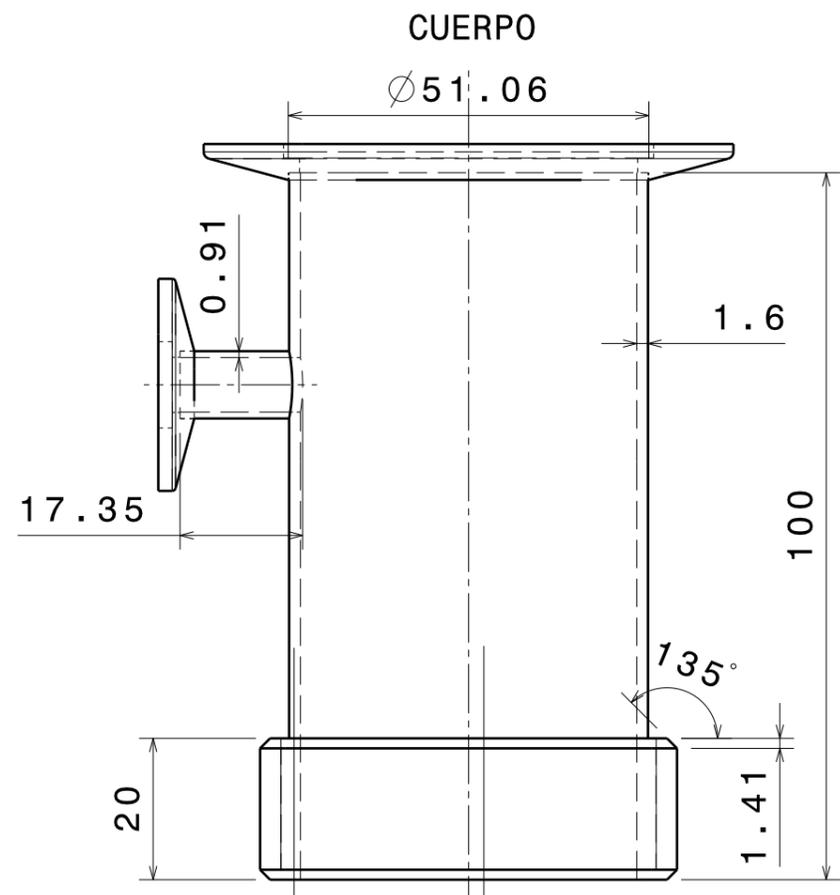


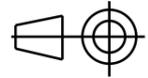
1	Portamuestras(no visible)	-	CUARZO / AISI 316
1	Brida óptica	9	AISI 316 / CUARZO
1	Brida puerta acceso	8	AISI 316
1	Adaptador inferior	7	AISI 316
1	Sintonizador triple	6	COBRE
1	Aplicador guía onda	5	COBRE
1	Terminación guía onda	4	COBRE
2	Recubrimiento	3	COBRE
1	Cámara de reacción	2	CUARZO FUNDIDO
1	Adaptador superior	1	AISI 316
Nº de piezas	Denominación	Marca	Material

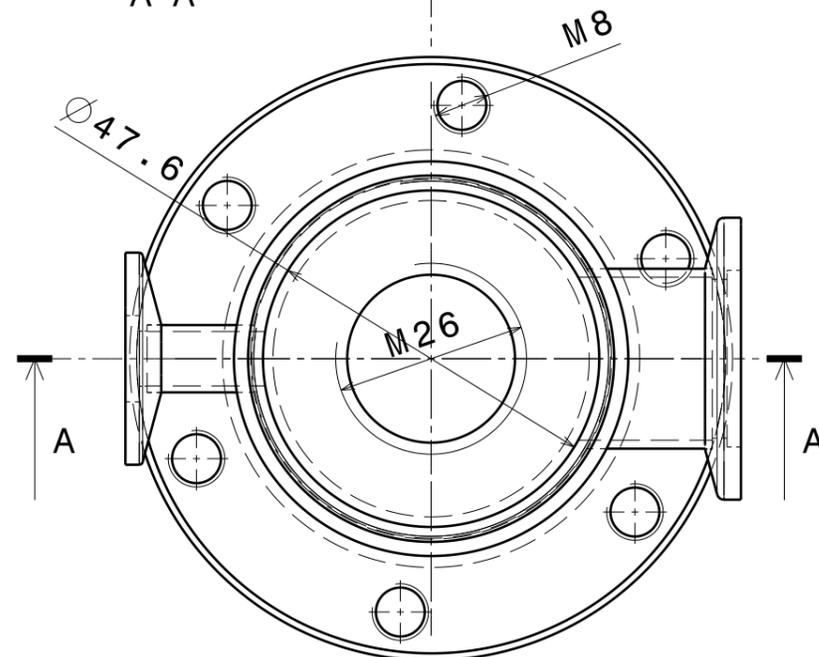
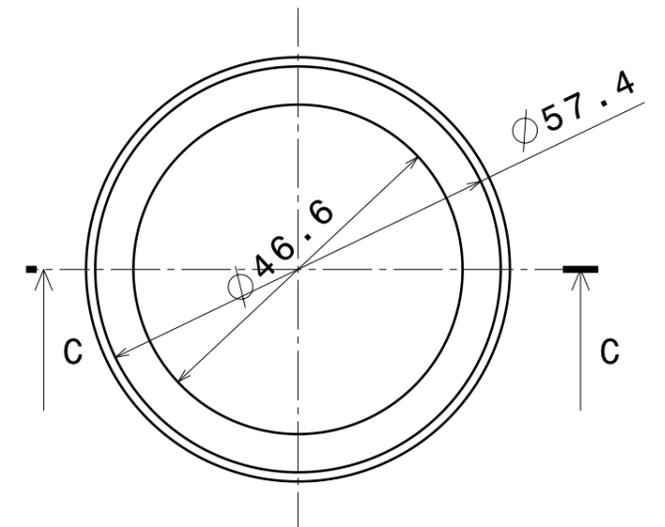
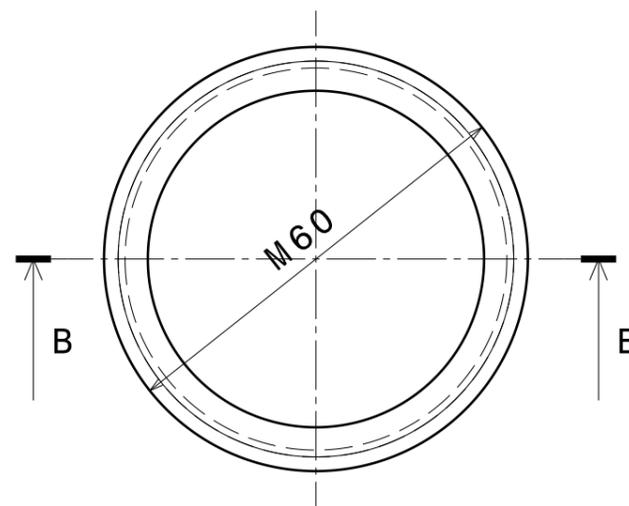
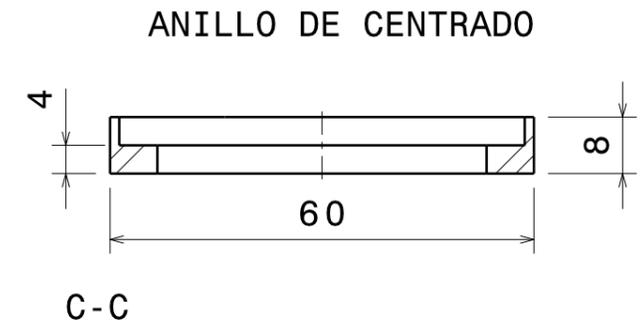
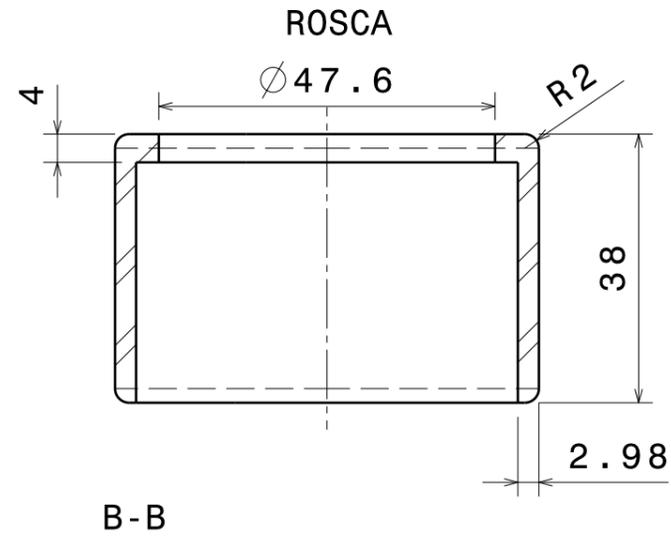
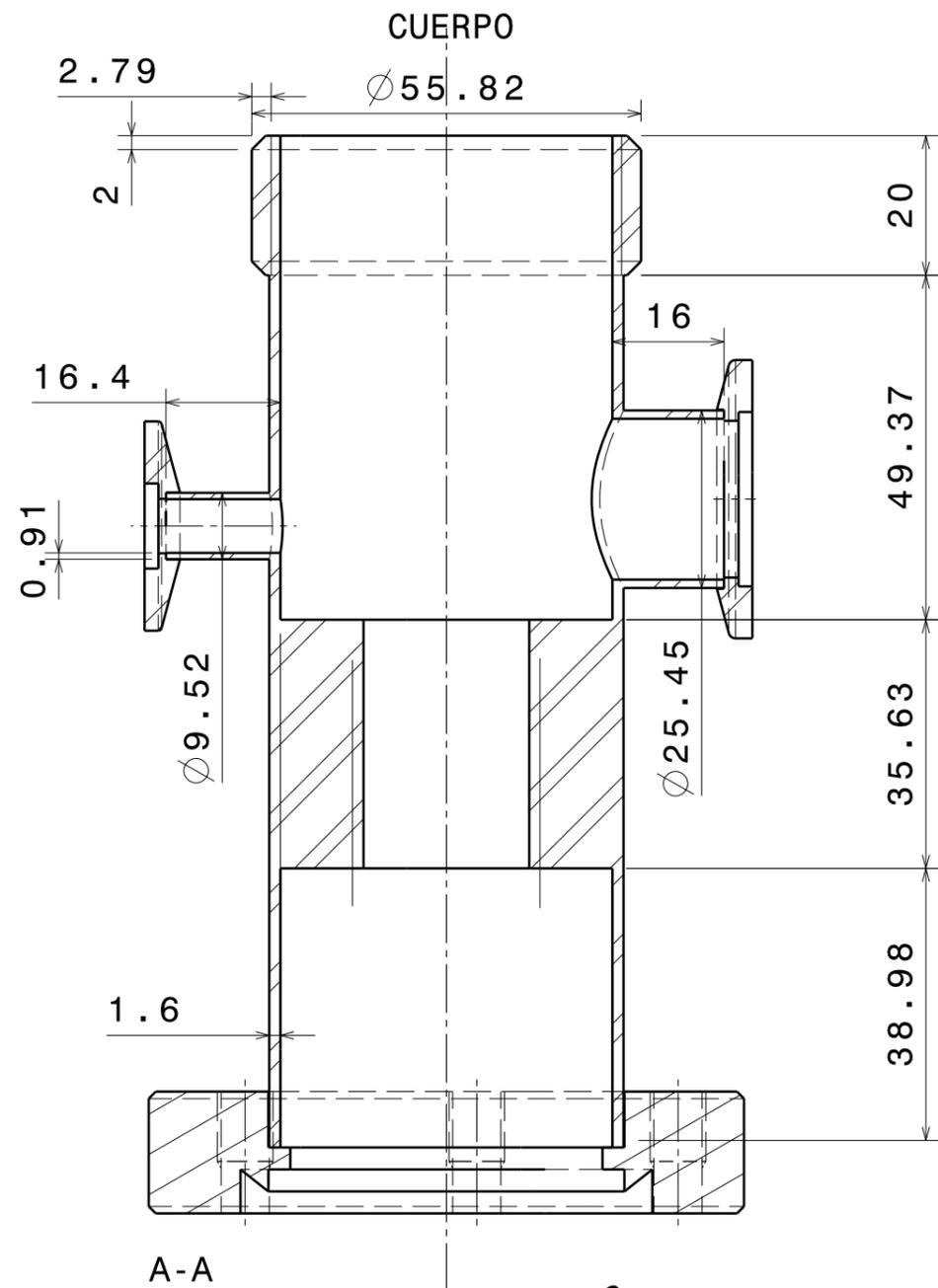
DIBUJADO POR: Desirée Guzmán		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: 1/11/2004			
FIRMA:			SISTEMA COMPLETO
ESCALA 1:2	DIMENSIONES mm		



DIBUJADO POR: Desirée Guzmán		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: 20/10/2004			
FIRMA:		CÁMARA DE REACCIÓN Y PORTAMUESTRAS	
ESCALA	TAMAÑO	NUMERO DE PLANO	Dimensiones
1:2	A3	01	mm

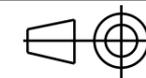


DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>25/10/2004</b>			
FIRMA:			<b>ADAPTADOR SUPERIOR</b>
ESCALA <b>1:1</b>	Dimensiones <b>mm</b>		



DIBUJADO POR:  
**Desirée Guzmán**  
 FECHA:  
**25/10/2004**  
 FIRMA:

SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA  
 CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE

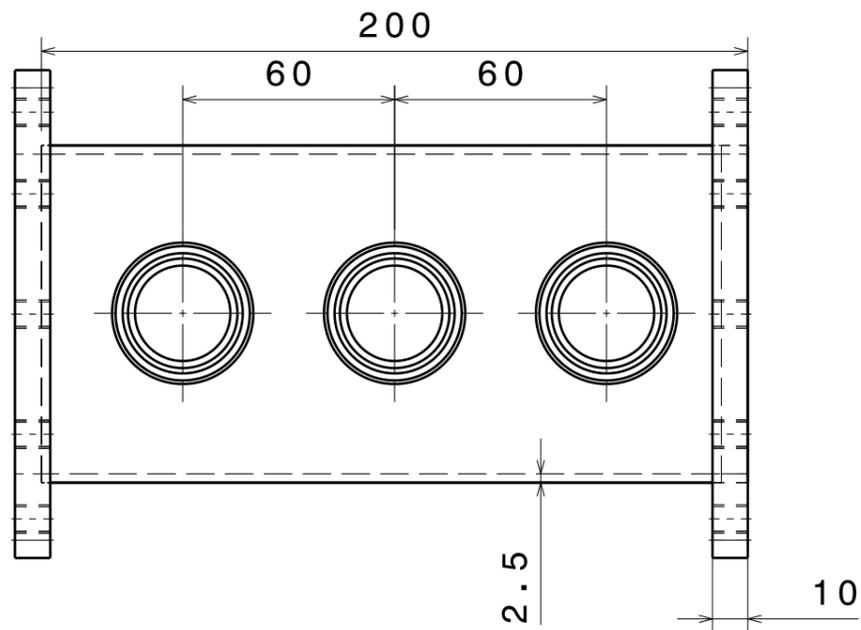
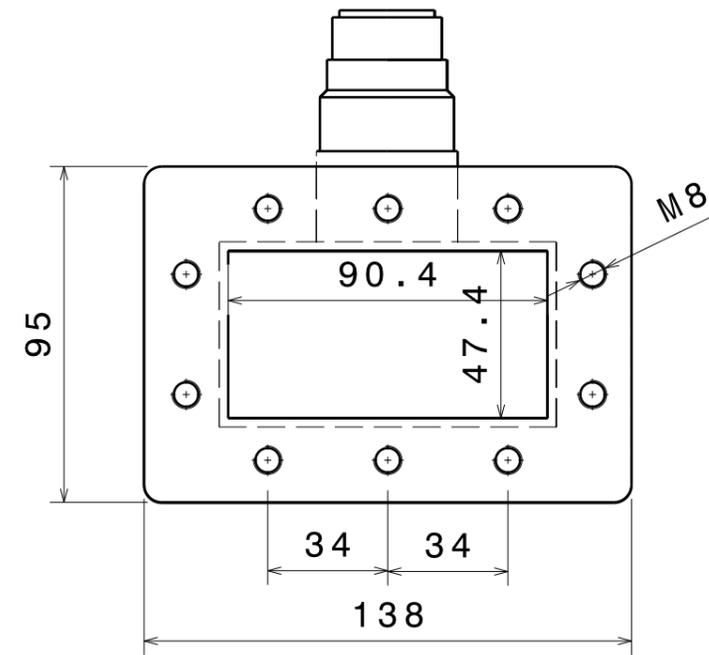
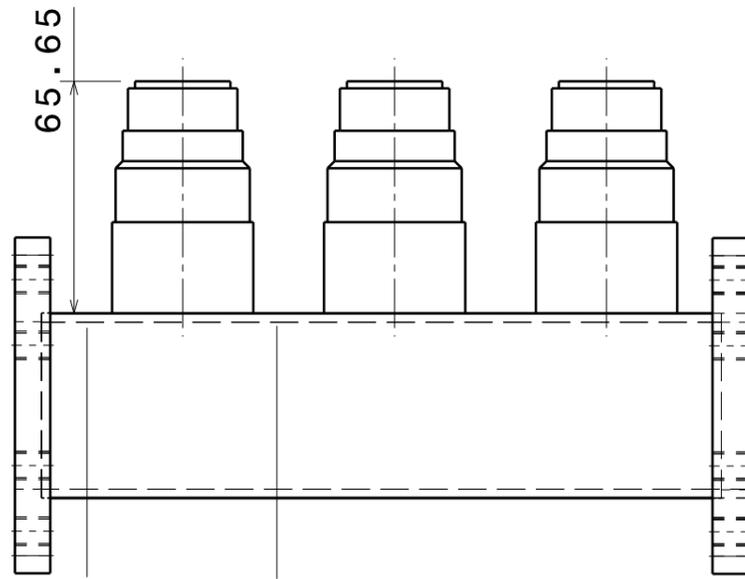


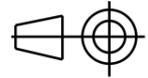
**ADAPTADOR INFERIOR**

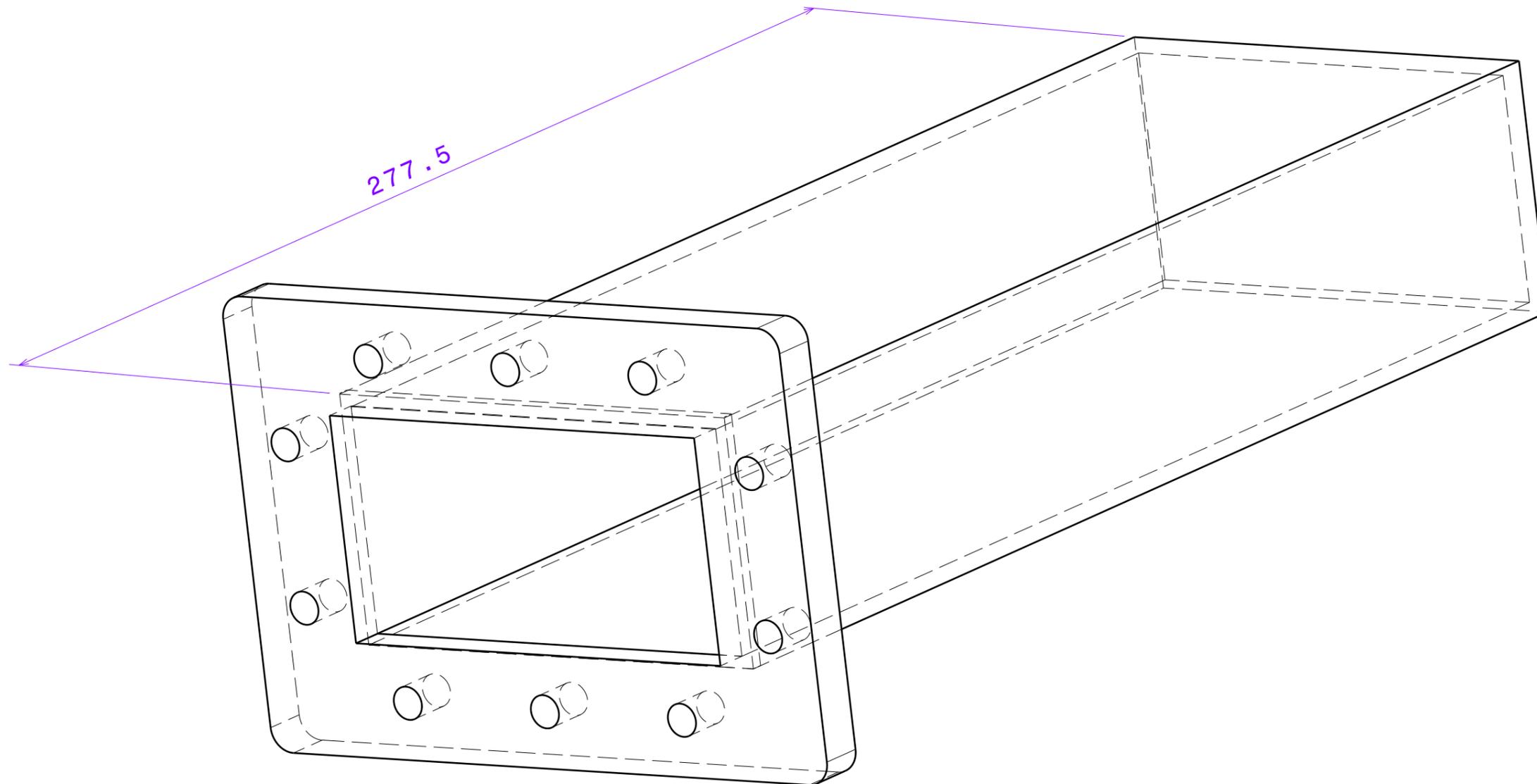
ESCALA Dimensiones  
**1:1 mm**

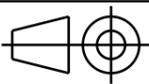
TAMAÑO  
**A3**

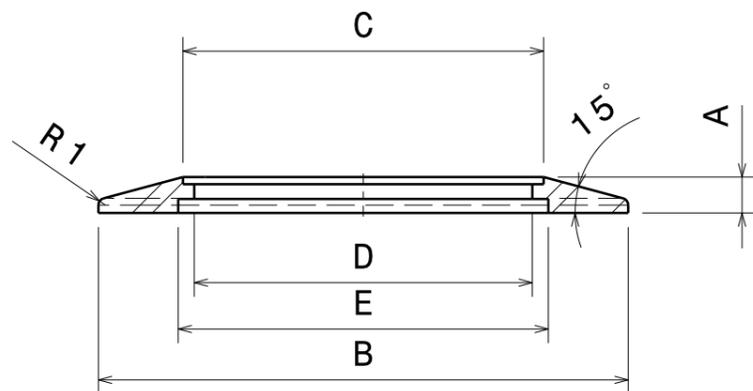
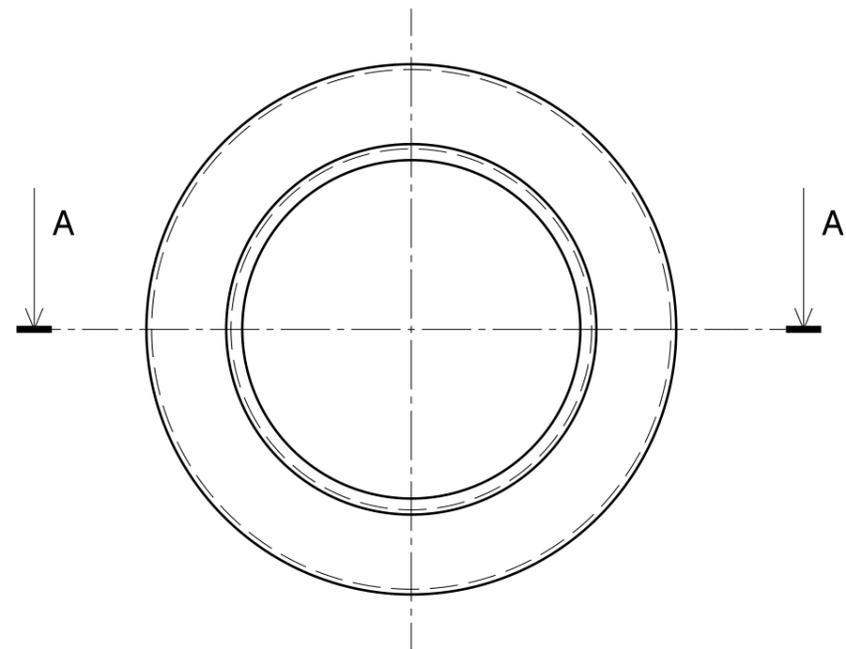
NÚMERO DE PLANO  
**03**



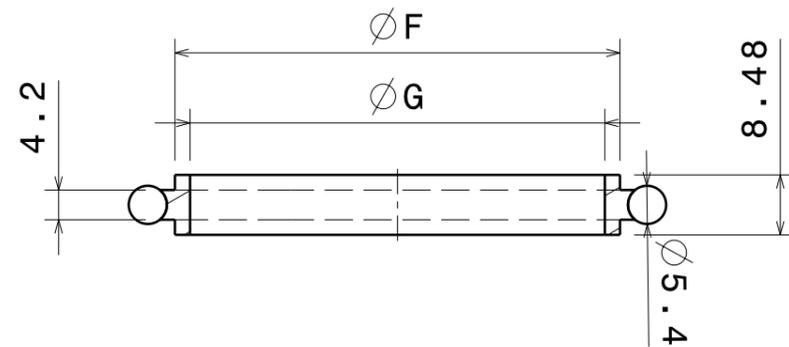
DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>10/10/2004</b>			
FIRMA:			<b>SINTONIZADOR TRIPLE</b>
ESCALA <b>1:2</b>	Dimensiones <b>mm</b>		

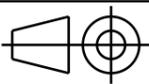


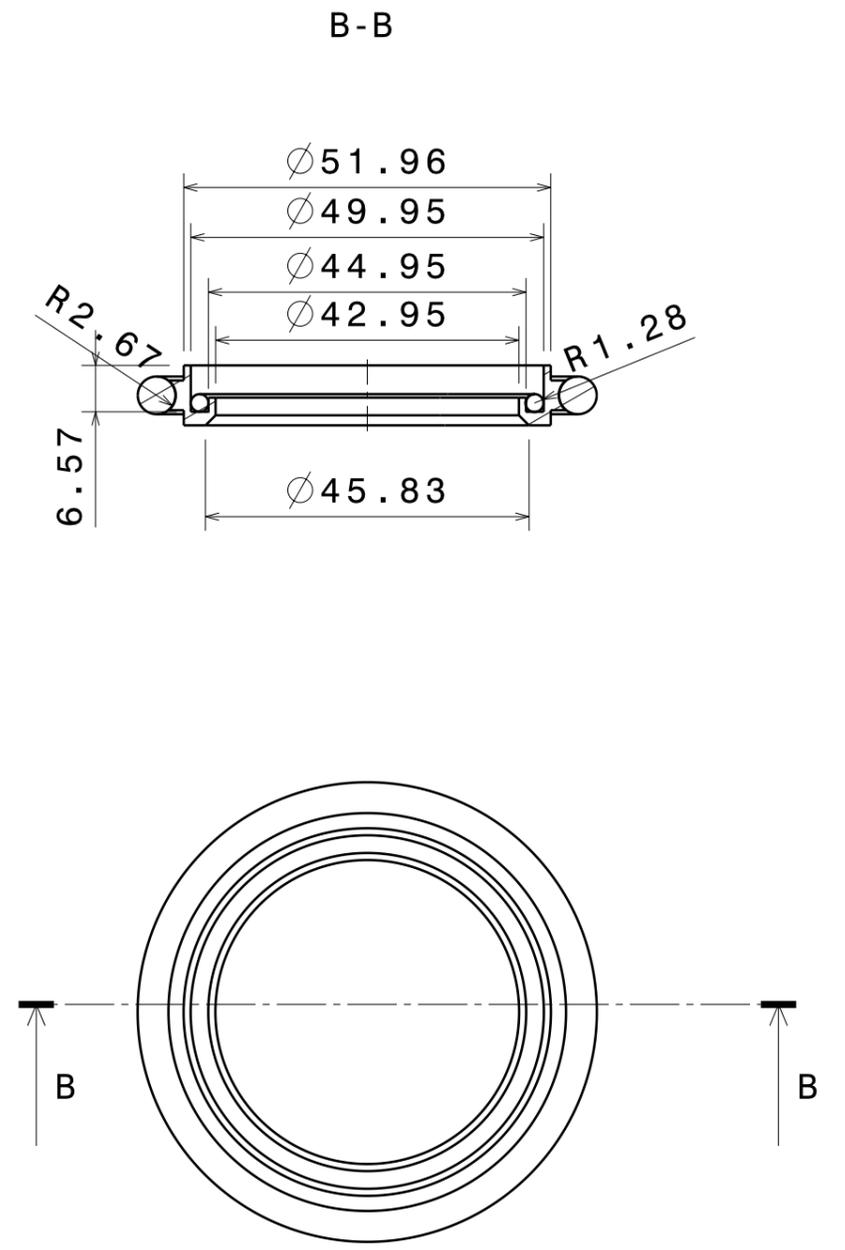
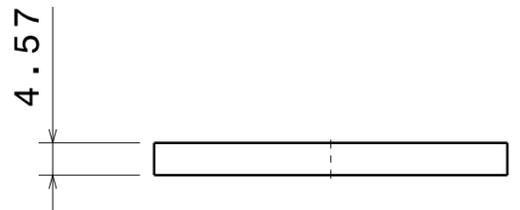
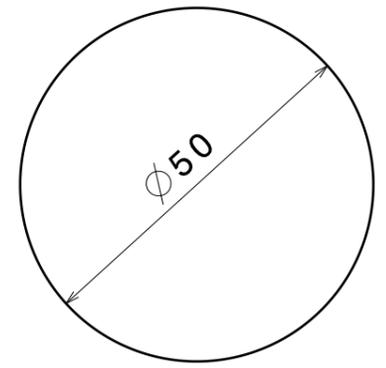
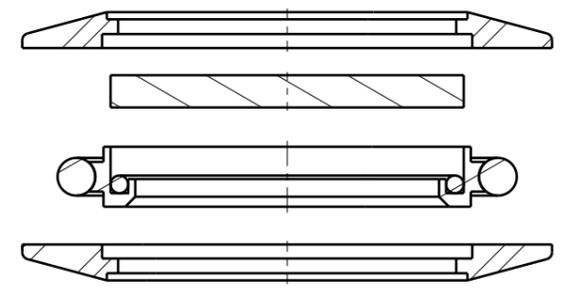
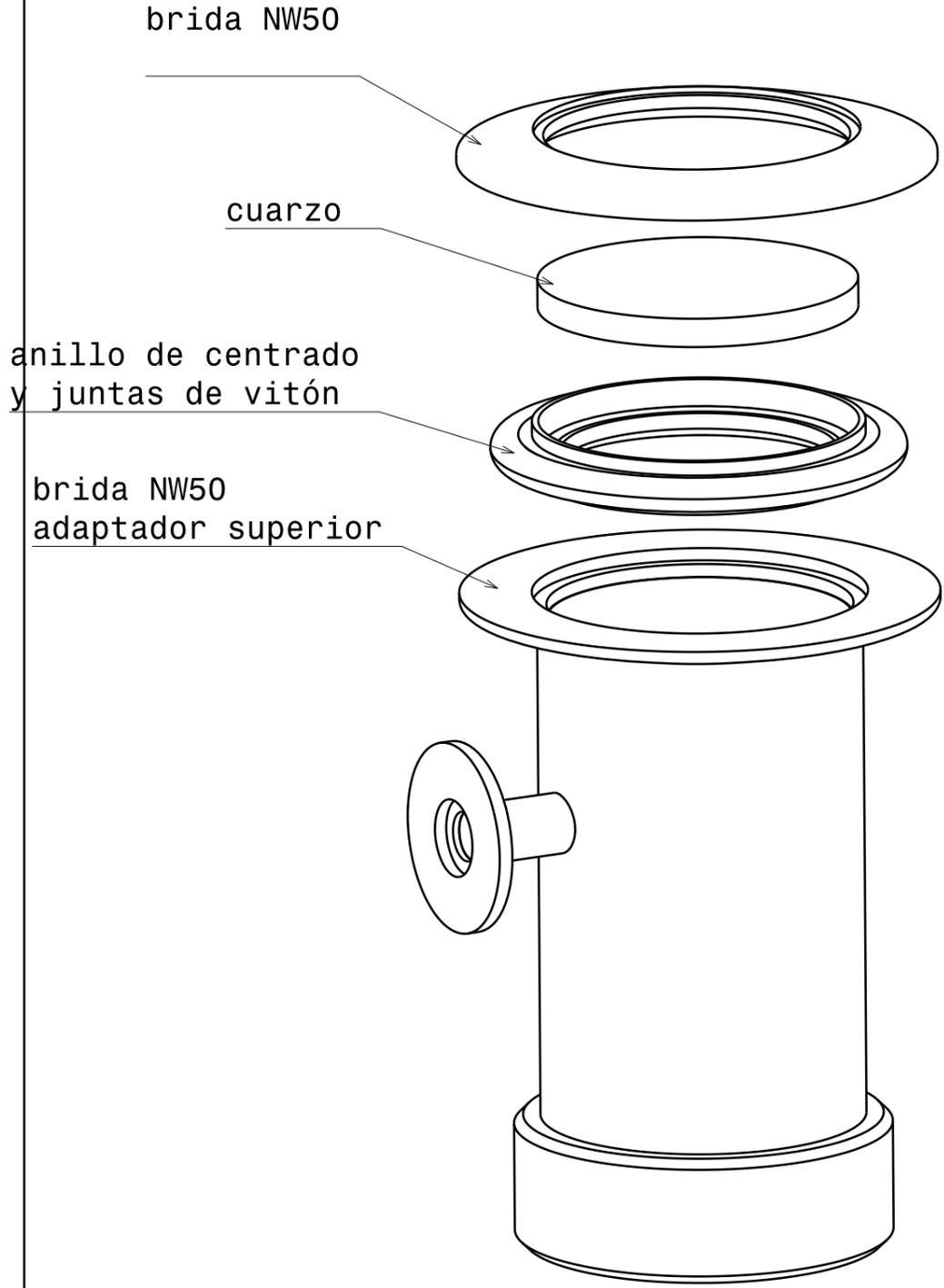
DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>25/10/2004</b>			<b>TERMINACIÓN GUÍA ONDA</b>
FIRMA:			NÚMERO DE PLANO <b>06</b>
ESCALA	Dimensiones	TAMAÑO	
<b>1:2</b>	<b>mm</b>	<b>A3</b>	

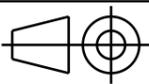


BRIDA	A	B	C	D	E	F	G
NW10	5.08	26.2	9.52	8.20	10	12.14	11.58
NW16	5.08	29.97	19.3	15.87	16	17	15.87
NW25	5.08	39.88	25.65	23.81	25	26	25
NW50	5.08	74.93	51.05	49.21	50	52	49.96

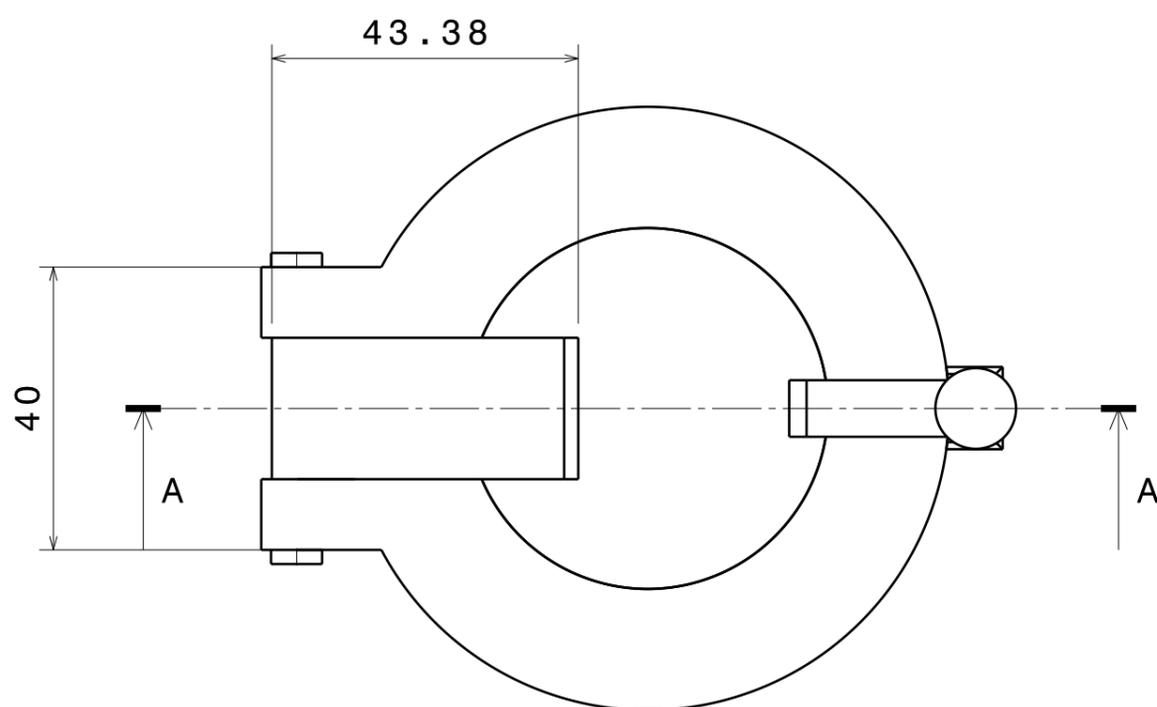
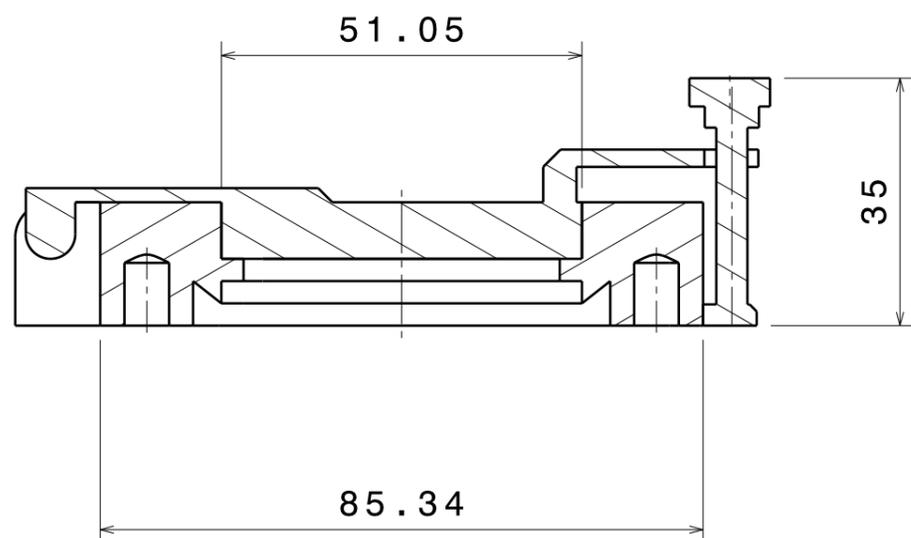


DIBUJADO POR: Desirée Guzmán		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: 25/10/2004			
FIRMA:			
ESCALA	Dimensiones	TAMAÑO	NÚMERO DE PLANO
-	mm	A3	07

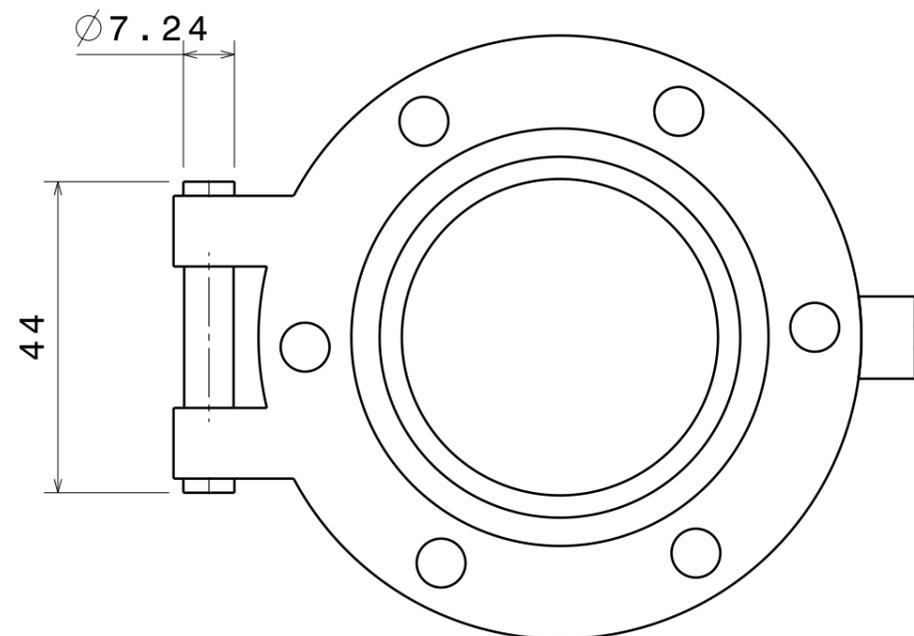


DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>01/11/2004</b>			
FIRMA:			<b>BRIDA DE VISUALIZACIÓN</b>
ESCALA <b>1:1</b>	Dimensiones <b>mm</b>		TAMAÑO <b>A3</b>

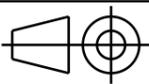
A-A



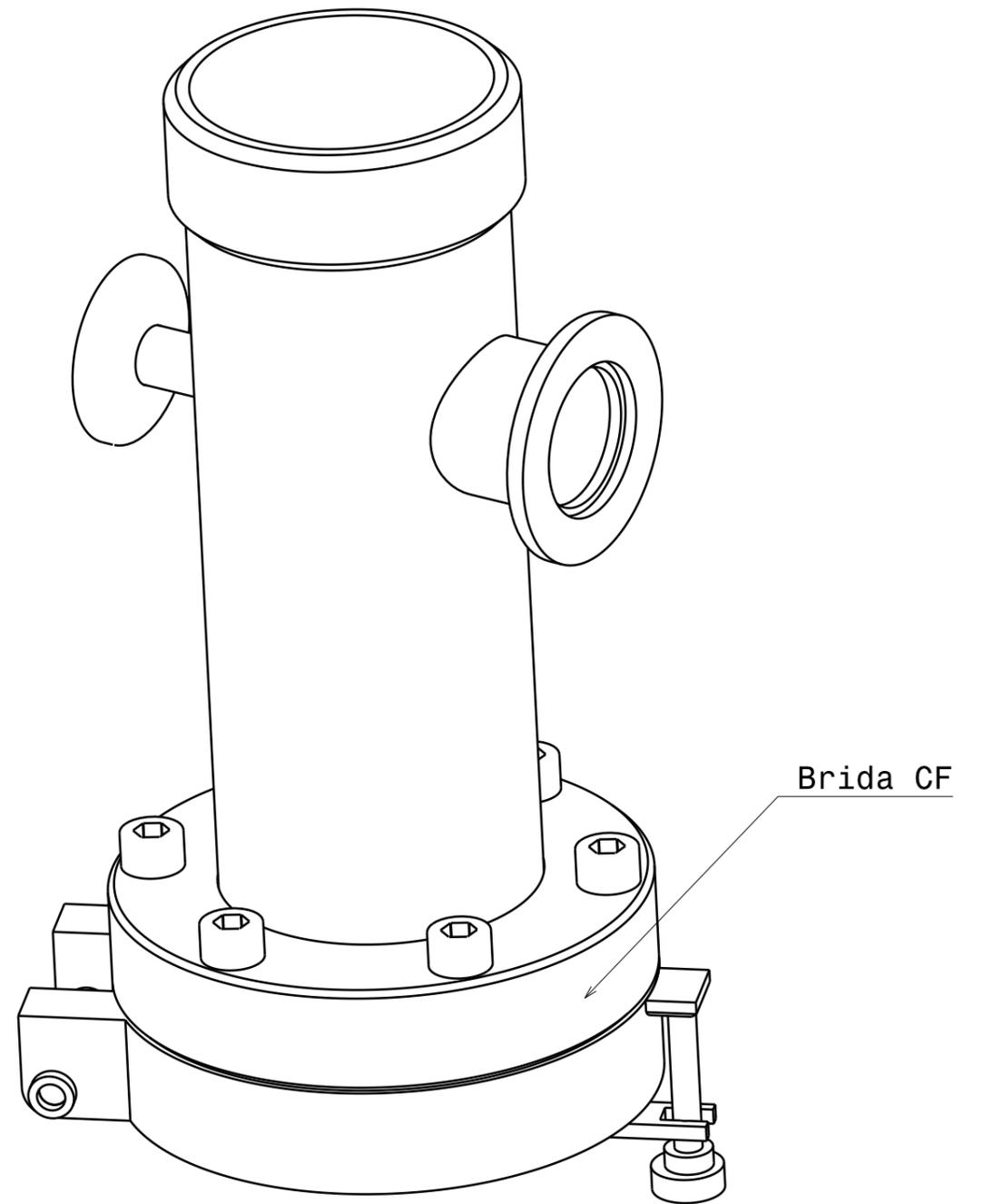
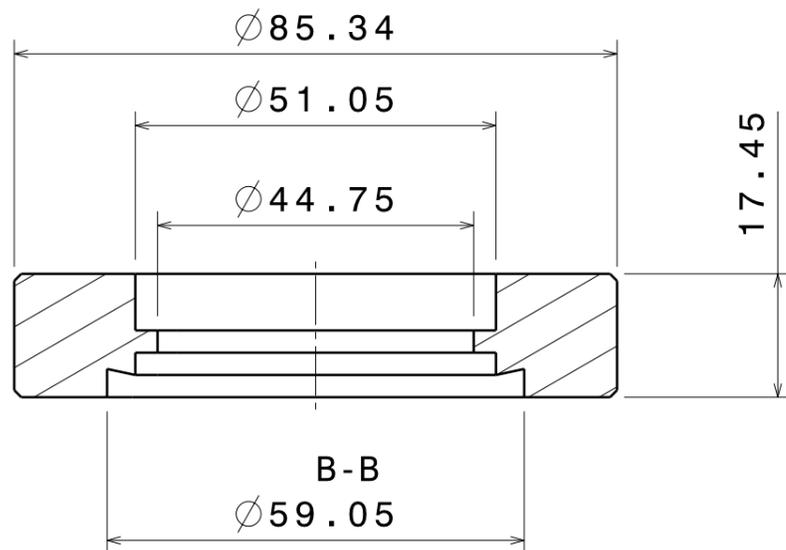
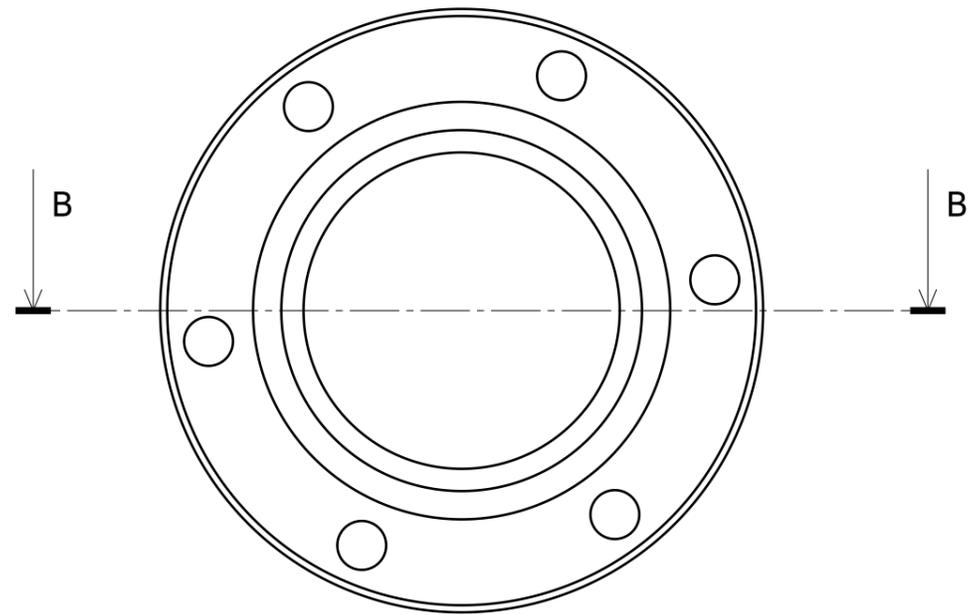
Vista inferior

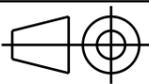


Vista superior  
(en contacto con brida)

DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>25/10/2004</b>			
FIRMA:			<b>BRIDA PUERTA ACCESO</b>
ESCALA <b>1:1</b>	Dimensiones <b>mm</b>		TAMAÑO <b>A3</b>

Vista superior  
(contacto con adaptador)



DIBUJADO POR: <b>Desirée Guzmán</b>		SISTEMA DE DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR PARA CRECIMIENTO HOMOEPITAXIAL DE DIAMANTE	
FECHA: <b>25/10/2004</b>			
FIRMA:			<b>BRIDA CF</b>
ESCALA <b>1:1</b>	Dimensiones <b>mm</b>		TAMAÑO <b>A3</b>

# PLIEGO DE CONDICIONES

## PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

### 1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Objeto del Pliego.....	5
1.2. Proyecto.....	5
1.3. Documentación complementaria.....	5

### 2. ADJUDICACIÓN

2.1. Concurso.....	6
2.2. Retirada de la documentación de concurso.....	6
2.3. Condiciones legales que debe reunir el contratista para poder ofertar..	6
2.4. Presentación de las ofertas.....	7
2.5. Garantía de mantenimiento de las ofertas.....	9
2.6. Validez de las ofertas.....	10
2.7. Aclaraciones a los licitadores.....	10
2.8. Alcance de las aclaraciones.....	10
2.9. Contradicciones y omisiones de la documentación.....	11
2.10. Planos provisionales y definitivos.....	12
2.11. Presentaciones defectuosas de las ofertas.....	12
2.12. Adjudicación del concurso.....	12
2.13. Devolución de la documentación.....	12

### 3. EL CONTRATO

3.1. Contrato.....	13
3.2. Documentos del contrato.....	14
3.3. Formalización del contrato.....	14
3.4. Gastos e impuestos.....	14
3.5. Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía.....	14
3.6. Aprobación y vigencia del contrato.....	15
3.7. Incomparecencia del contratista.....	16
3.8. Cesión del contrato.....	16
3.9. Asociación de contratistas.....	17
3.10. Subcontratistas.....	17

3.11. Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas.....	18
3.12. Domicilios y representantes.....	19
4. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA	
4.1. Obligaciones contables.....	20
4.2. Cumplimiento de la legislación laboral y de seguridad.....	20
4.3. Seguros.....	20
4.4. Coberturas a tomar.....	21
4.5. Obligaciones en materia de seguridad.....	21
4.6. Sustitución del personal.....	23
4.7. Rescisión del contrato.....	24
5. CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES	
5.1. Gastos de carácter general por cuenta del contratista.....	27
5.2. Gastos de carácter general por cuenta del promotor.....	28
5.3. Indemnizaciones por cuenta del contratista.....	28
5.4. Partidas para tareas accesorias.....	28
5.5. Partidas alzadas.....	28
5.6. Revisión de precios.....	29
5.7. Régimen de intervención.....	30
5.8. Informes.....	31
5.9. Revisión de los informes.....	31
5.10. Certificación de las presentaciones.....	31
5.11. Confección de las facturas de pago.....	32
5.12. Pago de los certificados.....	32
5.13. Propiedad industrial, comercial e intelectual.....	33
5.14. Tribunales	
6. DESARROLLO DE LAS TAREAS, CONDICIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS	
6.1. Modificaciones del proyecto.....	34
6.2. Modificaciones de los planos.....	35
6.3. Empleo de materiales nuevos pertenecientes al promotor.....	36
6.4. Uso anticipado del equipo o componentes	

6.5. Plan de trabajo y montaje.....	36
6.6. Plazos de ejecución.....	37
6.7. Retenciones por retrasos durante la ejecución de las tareas.....	38
6.8. Incumplimiento de los plazos y multas.....	38
6.9. Supresión de las multas.....	39
6.10. Procedimiento para la aplicación de multas.....	39
6.11. Premios y primas.....	40
6.12. Retrasos ocasionados por el promotor.....	40
6.13. Daños y ampliación del plazo en caso de fuerza mayor.....	40
6.14. Medición de las tareas.....	41
6.15. Certificación y abono de las tareas.....	42
6.16. Abono de unidades incompletas o defectuosas.....	44
6.17. Informe final.....	44
6.18. Acta de finalización de las prestaciones.....	44
6.19. Recepción provisional de los equipos.....	45
6.20. Plazo de garantía.....	46
6.21. Recepción definitiva de los equipos.....	46
6.22. Liquidación.....	47

## **1. DISPOSICIONES GENERALES**

### **1.1. Objeto del Pliego**

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por objeto la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas y económicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos del presente proyecto, “ Reactor de deposición química en fase vapor con plasma asistido por microondas para crecimiento de diamante tipo n “.

El contratista adjudicatario se compromete a aceptar íntegramente todas y cada una de las cláusulas del presente Pliego de Condiciones Generales, a excepción de aquéllas que expresamente queden anuladas o modificadas en el Pliego de Condiciones Particulares.

### **1.2. Proyecto**

El proyecto comprende los siguientes documentos:

- Una memoria descriptiva que considera las necesidades a satisfacer y los factores de carácter general a tener en cuenta.
- Los Planos de conjunto y de detalle necesarios para que las tareas queden perfectamente definidas.
- Los diferentes cuadros de precios que conforman el presupuesto.
- El Pliego de Condiciones Particulares, que incluirá la descripción de las tareas, especificaciones de los materiales y elementos constitutivos y normas para la ejecución de las tareas. Las condiciones de este Pliego Particular serán preceptivas y prevalecerán sobre las del Pliego General, si las modifican o contradicen.
- Plazos total y parciales de ejecución de las tareas, incluidos en el Pliego de Condiciones Particulares.

### **1.3. Documentación complementaria**

Además de los documentos integrantes del proyecto indicados en el párrafo anterior, serán preceptivas las Normas Oficiales que se especifiquen en el Pliego de Condiciones Particulares.

## **2. ADJUDICACIÓN**

### **2.1. Concurso**

La licitación de la obra se hará por concurso restringido, en el que el promotor seleccionará las empresas que estime oportuno.

Los concursantes enviarán sus ofertas por triplicado, en sobre cerrado y lacrado, según se indique en la carta de petición de ofertas, a la dirección que indique el promotor.

No se considerarán válidas las ofertas presentadas que no cumplan los requisitos citados anteriormente, así como los indicados en la documentación técnica enviada.

### **2.2. Retirada de la documentación de concurso**

Los contratistas, por sí mismos o a través de sus representantes, podrán retirar dicha documentación si ésta no les hubiese sido enviada previamente.

El promotor se reserva el derecho de exigir para la retirada de la documentación, un depósito que será reintegrado en su totalidad a los contratistas que no hubiesen resultado adjudicatarios de la obra, previa devolución de la documentación de concurso.

### **2.3. Condiciones legales que debe cumplir el contratista para poder ofertar**

#### **2.3.1. Capacidad para concurrir**

Tienen capacidad para concurrir las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se hallen en plena posesión de su capacidad jurídica y de obrar. No obstante, serán de aplicación a las empresas extranjeras las normas de ordenación de la industria y las que regulen las inversiones de capital extranjero, así como las que dicte el gobierno sobre concurrencia de dichas empresas, antes de la licitación de las obras.

#### **2.3.2. Documentación justificativa para la admisión previa**

- Documento notarial justificativo de la representación ostentada por el firmante de la propuesta, así como documento oficial acreditativo de su personalidad.

- Documento que justifique haber constituido la fianza provisional en las formas que se determinan en el apartado 2.6 del Pliego de Condiciones Generales.
- Documento acreditativo de que el interesado está al corriente del pago del impuesto industrial en su modalidad de cuota fija o licencia fiscal (o compromiso, en su caso, de su matriculación den éste, si resultase adjudicatario de las obras).
- Documento oficial acreditativo de hallarse al corriente de pago de las cuotas de la seguridad social y, concretamente, el de cobertura de riesgo de accidentes de trabajo.

#### **2.4. Presentación de las ofertas**

Las empresas que oferten el concurso presentarán obligatoriamente los siguientes documentos en original y dos copias:

- Cuadro de precios nº 1, consignando en letra y cifra los precios unitarios asignados a cada tarea cuya definición figura en dicho cuadro. Estos precios deben incluir el % de gastos generales, beneficio industrial y el IVA que facturarán independientemente. En caso de no coincidir las cantidades expresadas en letra y cifra, se considerará como válida la primera. En el caso de que existiese discrepancia entre los precios unitarios de los cuadros de precios nº 1 y 2, prevalecerán los del cuadro nº1.
- Cuadro de precios nº 2, en el que se especificará claramente el desglose de la forma siguiente:
  - a) Mano de obra por categorías, expresando el número de horas invertido por categoría y precio horario.
  - b) Materiales, expresando la cantidad que se precise de cada uno de ellos y su precio unitario.
  - c) Maquinaria y medios auxiliares, indicando tipo de máquina, número de horas invertido por máquina y precio horario.
  - d) Transporte, indicando en las unidades que lo precisen el precio por peso y kilómetro.
  - e) Varios y resto de tareas que incluirán las partidas directas no comprendidas en los apartados anteriores.

f) Porcentajes de gastos generales, beneficio industrial e IVA.

- Presupuesto de ejecución material, obtenido al aplicar los precios unitarios a las mediciones del proyecto. En caso de discrepancia entre los precios aplicados en el presupuesto y los del cuadro de precios nº 1, se tendrán en cuenta los de este último.
- Presupuesto total, obtenido al incrementar el presupuesto de ejecución material en sus dos apartados con el % de IVA.
- Relación del personal técnico adscrito a la ejecución y organigrama general del mismo durante el desarrollo de las tareas.
- Relación de maquinaria adscrita a la obra, expresando tipo de máquina, características técnicas fundamentales, años de uso de la máquina y estado general. Asimismo relación de máquinas de nueva adquisición que se asignarán a la obra en caso de resultar adjudicatario. Cualquier sustitución posterior de la misma debe ser aprobada por el promotor. Deberá incluirse también un plan de permanencia de toda la maquinaria en la obra.
- Baremos horarios de mano de obra por categorías y de maquinaria para trabajos por administración. Estos precios incluirán el % de gastos generales y el IVA que facturarán independientemente.
- Plan de obra detallado, en el que se desarrollarán en el tiempo los distintos trabajos a ejecutar, haciendo mención de los rendimientos medios a obtener.
- Las propuestas económicas y documentación complementaria deberán ir firmadas por el representante legal o apoderado del ofertante, quien a petición del promotor, deberá probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.
- Además de la documentación citada anteriormente que el contratista deberá presentar de forma obligatoria, el promotor podrá exigir en cada caso, cualquier otro tipo de documentación, como pueden ser referencias, relación de tareas ejecutadas, balances de sociedad...

## **2.5. Garantía de mantenimiento de la oferta**

Para afianzar el mantenimiento de la oferta, cada licitador presentará una garantía que tendrá vigencia y validez durante 90 días. La garantía será constituida a favor del promotor en cualquiera de las siguientes formas:

- Dinero en efectivo, mediante depósito en euros en la cuenta que indique el promotor, o mediante la entrega de un certificado de depósito a 90 días renovables automáticamente, extendido a nombre del promotor. Los intereses sobre la garantía constituida, en este caso, formarán parte de la misma.
- Fianza bancaria de entidad autorizada por el Banco Central de España, pagadera incondicionalmente al primer requerimiento del promotor, mediante el correspondiente documento afianzando al licitador, emitido en carácter de fiador liso y llano y principal pagador con renuncia a los beneficios de división y exclusión y a toda interpelación previa al deudor principal.
- Póliza de seguro, extendida por entidad aseguradora de reconocida solvencia.

El texto de la fianza o seguro deberá indicar la identificación del presente concurso, el beneficiario del seguro (promotor) y el plazo de duración, que en ningún caso será inferior a noventa días. La fianza y/o el seguro se deberán cumplimentar en las condiciones especificadas, incorporando a tal fin en el texto de la póliza, la fórmula expresada en el citado dispositivo normativo.

Las garantías de mantenimiento de oferta deberán ser otorgadas a entera satisfacción del promotor, que deberá prestar conformidad con el texto, con los documentos que las instrumenten y con las instituciones y personas que las otorguen.

En el caso de que las garantías no hayan sido presentadas o constituidas con satisfacción (y siempre que no se trate de deficiencias insalvables y que constituyan causa de rechazo de la oferta), el promotor queda facultado para solicitar su sustitución o modificación, incluso para rechazar al fiador o asegurador presentado. En caso de producirse dicho supuesto, y a simple requerimiento del promotor, el licitador deberá presentar una nueva garantía en el plazo de 72 horas.

La garantía de mantenimiento de oferta del licitador que no resulte adjudicatario, será devuelta a partir de los 10 días posteriores a la notificación de aprobación del contrato, previa presentación de una solicitud por escrito en tal sentido por parte del interesado.

## **2.6. Validez de las ofertas**

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo señalado en la carta de invitación, o anuncio respectivo, o que no conste de todos los documentos que se señalan en el apartado 2.4. Los concursantes se obligan a mantener la validez de sus ofertas durante un período mínimo de 90 días a partir de la fecha tope de recepción de ofertas, salvo que en la documentación de petición de ofertas se especifique otro plazo.

## **2.7. Aclaraciones a los licitadores**

Antes de haber transcurrido la mitad del plazo estipulado en las bases del concurso, los contratistas participantes podrán solicitar por escrito al promotor las oportunas aclaraciones, en el caso de encontrar discrepancias, errores u omisiones en los planos, pliegos de condiciones o en otros documentos de concurso, o si se les presentasen dudas en cuanto a su significado.

El promotor estudiará las peticiones de información recibidas y les contestará mediante una nota que remitirá a todos los presuntos licitadores. Si la importancia de la consulta así lo aconsejara, el promotor podrá prorrogar el plazo de presentación de las ofertas, comunicándolo así a todos los interesados.

## **2.8. Alcance de las aclaraciones**

La totalidad de las aclaraciones emitidas en función de lo establecido en el artículo precedente, pasarán a formar parte del pliego. No se admitirán reclamos o acciones de cualquier índole fundadas en falta de información.

Por otra parte, el solo retiro del pliego implica la aceptación para que el promotor modifique y/o introduzca agregados y/o efectúe las aclaraciones al contenido de los mismos y/o prorrogue los plazos previstos.

Todas las aclaraciones que realice el promotor serán numeradas en forma correlativa y ordenadas cronológicamente.

### **2.9. Contradicciones y omisiones en la documentación**

Lo mencionado, tanto en el pliego de condiciones generales, como en el particular de cada tarea y omitido en los planos, o viceversa tendrá que ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los planos y los pliegos, prevalecerá lo escrito en estos últimos.

Las omisiones en los planos y pliegos de condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de las tareas que deban ser subsanadas para que pueda llevarse a cabo la intención expuesta en los planos y pliegos o que, por su uso y costumbres, deben ser realizados, no sólo no exime al contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos sino que, deberán ser ejecutados como si hubiera sido completa y correctamente especificados en los planos y pliegos de condiciones.

### **2.10. Planos provisionales y definitivos**

Con el fin de poder acelerar los trámites de licitación y adjudicación de las tareas y consecuente iniciación de las mismas, el promotor, podrá facilitar a los contratistas, para el estudio de su oferta, documentación con carácter provisional. En tal caso, los planos que figuren en dicha documentación no serán válidos para construcción, sino que únicamente tendrán el carácter de informativos y servirán para formar ideas de los elementos que componen los trabajos, así como para obtener las mediciones aproximadas y permitir el estudio de los precios que sirven de base para el presupuesto de la oferta. Este carácter de planos de información se hará constar expresamente y en ningún caso podrán utilizarse dichos planos para la ejecución de ninguna parte de las tareas.

Los planos definitivos se entregarán al contratista con antelación suficiente a fin de no retrasar la preparación y ejecución de los trabajos.

### **2.11. Presentaciones defectuosas de las ofertas**

Si durante el acto de apertura de las ofertas se observara la no inclusión en los mismos, o el no cumplimiento en forma integral de cualquiera de los

requisitos establecidos, se dejará la constancia correspondiente. El o los licitadores que hayan incurrido en tal situación deberán cumplimentar la entrega de la documentación omitida u observada (siempre que la misma no constituya una causa taxativa de rechazo de la oferta), dentro de los dos días hábiles siguientes a la clausura del acto, sin necesidad de notificación previa.

El incumplimiento de este requisito en el plazo establecido, será causa de desestimación de la oferta que incurra en tal situación, no teniéndosela en cuenta a los efectos de la adjudicación.

### **2.12. Adjudicación del concurso**

El promotor procederá a la apertura de las propuestas presentadas por los licitadores y las estudiará en todos sus aspectos. El promotor tendrá alternativamente la facultad de adjudicar el concurso a la propuesta más ventajosa, sin atender necesariamente al valor económico de la misma, o declarar desierto el concurso. En este último caso, el promotor podrá libremente suspender definitivamente la licitación de las obras o abrir un nuevo concurso pudiendo introducir las variaciones que estime oportunas, en cuanto al sistema de licitación y relación de contratistas ofertantes.

Transcurriendo el plazo indicado en el artículo 9 transcurrido desde la fecha límite de presentación de oferta, sin que el promotor, hubiese comunicado la resolución del concurso, los licitadores que lo deseen podrán retirar sus ofertas, así como las fianzas depositadas como garantía de las mismas.

La elección del adjudicatario de la obra por parte del promotor es irrevocable y, en ningún caso, podrá ser impugnada por el resto de los contratistas ofertantes. El promotor comunicará al ofertante seleccionado la adjudicación de las obras mediante una carta de intención.

En el plazo máximo de un mes a partir de la fecha de esta carta, el contratista a simple requerimiento del promotor se prestará a formalizarla en contrato definitivo. En tanto no se firme éste y se constituya la fianza definitiva, el promotor retendrá la fianza provisional depositada por el contratista.

### **2.13. Devolución de la documentación**

Los planos, pliegos de condiciones y demás documentos, entregados por el promotor a los concursantes deberán ser devueltos después de la adjudicación

del concurso, excepto el adjudicatario, que deberá conservarla sin poder reclamar la cantidad abonada por dicha documentación. El plazo para devolver la documentación será de 30 días, a partir de la notificación a los concursantes de la adjudicación del concurso y su devolución tendrá lugar en las mismas oficinas en las que fue retirada.

El promotor, a petición de los concursantes no adjudicatarios, devolverá la documentación correspondiente a las ofertas en un plazo de 30 días, a partir de haberse producido dicha petición.

La no devolución por parte de los contratistas no adjudicatarios de la documentación del concurso dentro del plazo, lleva implícita la pérdida de los derechos de la devolución del depósito correspondiente a la referida documentación, si lo hubiese.

### **3. EL CONTRATO**

#### **3.1. Contrato**

Conforme a lo dispuesto en el apartado 2.12, el contratista, dentro de los 30 días siguientes a la comunicación de la adjudicación ya simple requerimiento del promotor, depositará la fianza definitiva y formalizará el contrato en el lugar y fecha que se le notifique oficialmente.

El contrato, tendrá carácter de documento privado, pudiendo ser público, a instancias de una de las partes, siendo en este caso a cuenta del contratista los gastos que ello origine.

Una vez depositada la fianza definitiva y firmado el contrato, el promotor procederá a petición del interesado, a devolver la fianza provisional, si la hubiera.

Cuando por causas imputables al contratista, no se pudiera formalizar el contrato en el plazo previsto, el promotor podrá proceder a anular la adjudicación, con incautación de la fianza provisional.

A efectos de los plazos de ejecución de las tareas, se considerará como fecha de comienzo de las mismas la de la orden de comienzo de los trabajos. Esta orden se comunicará al contratista en un plazo no superior a 90 días a partir de la fecha de la firma del contrato.

El contrato, será firmado por parte del contratista, por su representante legal o apoderado, quine deberá poder probar este extremo con la presentación del correspondiente poder acreditativo.

### **3.2. Documentos del contrato**

Formarán parte íntegra del contrato los siguientes documentos:

- El contrato firmado por ambas partes.
- El pliego de condiciones.
- Las aclaraciones emitidas por el promotor durante la fase de concurso.
- La resolución de la adjudicación.
- La oferta adjudicada.

### **3.3. Formalización del contrato**

Resuelta la adjudicación y notificado formalmente el contratista adjudicatario deberá comparecer ante el promotor dentro de los 5 días hábiles, para suscribir el pertinente contrato, sin opción a prórroga.

### **3.4. Gastos e impuestos**

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden que por disposición del Estado, provincia o municipio se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del contratista, con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

### **3.5. Fianzas provisional, definitiva y fondo de garantía.**

#### **3.5.1. Fianza provisional**

La fianza provisional del mantenimiento de las ofertas se constituirá por los contratistas ofertantes por la cantidad que se fije en las bases de licitación. Esta fianza se depositará al tomar parte en el concurso y se hará en efectivo. Por lo que a plazo de mantenimiento, alcance de la fianza y devolución de la misma se refiere, se seguirá lo establecido en los apartados 2.6 y 2.11.

#### **3.5.2. Fianza definitiva**

A la firma del contrato, el contratista deberá constituir la fianza definitiva por un importe igual al 5% del presupuesto total de adjudicación.

En cualquier caso el promotor se reserva el derecho de modificar el anterior porcentaje, estableciendo previamente en las bases del concurso el importe de esta fianza. La fianza se constituirá en efectivo o por aval bancario realizable a satisfacción del promotor. En el caso de que el aval bancario sea prestado por varios bancos, todos ellos quedarán obligados solidariamente con el promotor y con renuncia expresa a los beneficios de división y exclusión.

El modelo aval bancario será facilitado por el promotor debiendo ajustarse obligatoriamente el contratista a dicho modelo. La fianza tendrá carácter de irrevocable desde el momento de la firma del contrato, hasta la liquidación final de los trabajos y será devuelta una vez realizados. Dicha liquidación seguirá a la recepción definitiva de los equipos y componentes, que tendrá lugar una vez transcurrido el plazo de garantía a partir de la fecha de la recepción provisional. Esta fianza inicial responde del cumplimiento de todas las obligaciones del contratista, y quedará a beneficio del promotor en los casos de abandono del trabajo o de rescisión por causa imputable al contratista.

#### 3.5.3. Fondo de garantía.

Independientemente de esta fianza, el promotor retendrá el 5% de las certificaciones semanales, que se irán acumulando hasta constituir un fondo de garantía. Este fondo de garantía responderá a los defectos de ejecución o de mala calidad de los materiales suministrados por el contratista pudiendo el promotor realizar con cargo a esta cuenta las reparaciones necesarias, en caso de que el contratista no efectuase por su cuenta y cargo dicha reparación.

Este fondo de garantía se devolverá una vez deducidos los importes debidos a dichas reparaciones, a la recepción definitiva de la obra.

### **3.6. Aprobación y vigencia del contrato.**

El contrato será aprobado mediante resolución del promotor, adquiriendo plena validez y eficacia jurídica a partir de su notificación fehaciente al contratista adjudicatario, sin perjuicio de la fecha de comienzo efectivo de las prestaciones.

### **3.7. Incomparecencia del contratista**

Si el contratista adjudicatario no compareciera a suscribir el contrato o no constituyera la fianza definitiva del mismo ni cumpliera con las demás obligaciones exigidas dentro del plazo establecido, se dejará sin efecto la adjudicación, notificándolo por escrito a todos los licitadores, y se ejecutará automáticamente la garantía de mantenimiento de la oferta. El promotor podrá emitir una nueva resolución de adjudicación, haciendo recaer la misma en la oferta que hubiese quedado en segundo lugar en orden de mérito.

Si el promotor desistiera de suscribir el contrato, tal situación no creará derecho alguno a favor del contratista adjudicatario.

### **3.8. Cesión del contrato**

No se admitirá la cesión total del contrato ni la asociación por decisión unilateral del contratista adjudicatario con terceros, con posterioridad a la adjudicación o a la firma del contrato, bajo pena de quedar sin efecto aquélla o de rescindir el contrato, según corresponda, y en todos los casos con las consecuencias legales que ello implique.

Sólo se podrá admitir la cesión total del contrato, cuando concurren, a exclusivo criterio del promotor, causas que lo justifiquen, debiendo en tales casos aprobarlo mediante resolución.

Si el promotor autorizase la cesión total del contrato, lo que en tal caso sería hasta completar el plazo contractual, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- El cesionario deberá acreditar todos y cada uno de los requisitos exigidos al cedente, conforme al las disposiciones de la documentación contractual original.
- Se suscribirá un convenio entre el promotor y el cesionario con el acuerdo del cedente, por el cual se transfieren todos los derechos y obligaciones emergentes del contrato, manteniendo plena validez todos los documentos del contrato original, incluidos el pliego y todas las modificaciones y condiciones eventualmente acordadas entre las partes con posterioridad a aquél.

- El cesionario deberá cumplimentar la presentación de todos los requisitos establecidos para los licitadores en el momento del llamado a concurso.
- El cesionario deberá constituir las garantías en idénticas condiciones y con iguales características que la garantía de cumplimiento del contrato, según lo especificado en el apartado 3.5.2.
- Subsistirá la responsabilidad solidaria del cedente por todas las obligaciones inherentes al contrato.
- El cedente, previo a la cesión, deberá abonar al promotor un derecho que se denomina “Derecho de cesión”, el que será equivalente al 50% del valor de la fianza definitiva.

A fin de asegurar la homogeneidad, coherencia, correlación y unidad conceptual de las tareas a ejecutar por el contratista, no se admitirá bajo ningún concepto, la cesión parcial del contrato.

### **3.9. Asociación de contratistas**

Si las tareas licitadas se adjudicasen en común a un grupo de contratistas, la responsabilidad será conjunta y solidaria, en relación al compromiso contraído por el grupo o asociación.

Los componentes del grupo o asociación delegarán en uno de ellos, a todos los efectos, la representación ante el promotor. Esta delegación se realizará por medio de un representante responsable provisto de poderes, tan amplios como proceda, para actuar ante el promotor en nombre del grupo o asociación.

La designación del representante, para surtir efecto, deberá ser aceptada y aprobada por el promotor por escrito.

### **3.10. Subcontratistas**

El contratista podrá subcontratar o destajar cualquier parte de la ejecución de los trabajos, previa autorización del promotor, para lo cual deberá informar con anterioridad al promotor del alcance y condiciones técnico-económicas del subcontrato mencionado.

El promotor podrá, en cualquier momento, requerir del contratista la exclusión de un subcontratista por considerar al mismo incompetente, o que no reúne las condiciones necesarias, debiendo el contratista tomar las medidas

oportunas para la rescisión de este subcontrato, sin que por ello pueda presentar reclamación alguna el promotor.

En ningún caso podrá deducirse relación contractual alguna entre los subcontratistas y el promotor, como consecuencia de la ejecución de aquellos trabajos parciales correspondientes al contrato principal, siendo siempre responsable el contratista ante el promotor de todas las actividades del subcontratista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este pliego.

Los trabajos específicos que requieran una determinada especialización y que no estuviesen incluidos en el presupuesto del contrato, bien por que aún estando previstos en la memoria y/o planos de concurso, no se hubiese solicitado para ellos oferta económica, bien por que su necesidad surgiese a durante la ejecución de los trabajos, podrán ser adjudicados por el promotor directamente a la empresa que libremente elija, debiendo el contratista prestar las ayudas necesarias para la ejecución de los mismos.

### **3.11. Relaciones entre el promotor y el contratista y entre los diversos contratistas y subcontratistas**

El contratista está obligado a suministrar al promotor, en todo momento, cualquier información relativa a la realización del contrato, debido a la posible incidencia de los trabajos confiados al contratista sobre los de otros contratistas y suministradores, entre otras razones.

El contratista debe ponerse oportunamente en relación con los demás contratistas y suministradores, a medida que éstos sean designados por el promotor, con el fin de adoptar de común acuerdo las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de los trabajos, el buen orden de la obra y la seguridad de los trabajadores.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre su uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

El promotor deberá estar permanentemente informado de los acuerdos tomados al amparo del párrafo anterior, para que en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la solución que proceda, o designar el árbitro a

quien haya de someterse dichas diferencias. La decisión del árbitro designado por el promotor es obligatoria para los interesados. En ningún caso el promotor deberá encontrarse durante los trabajos con una situación problemática que tuviese lugar por falta de información por parte del contratista.

Cuando varios contratistas trabajen en la ejecución de las tareas, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudieran derivarse de su propia actuación.

### **3.12. Domicilios y representaciones**

El contratista está obligado antes de iniciarse la ejecución de las tareas objeto del contrato a facilitar un domicilio al promotor.

Seguidamente a la notificación del contrato, el promotor comunicará al contratista su domicilio a efectos de la ejecución del contrato, así como nombre de su representante.

Antes de iniciarse las obras, el contratista designará su representante en la ejecución de las tareas y se lo comunicará por escrito al promotor especificando sus poderes, que deberán ser los suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la representación del promotor. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el contratista la ausencia de su representante.

El contratista está obligado a presentar a la representación del promotor antes de la iniciación de los trabajos, una relación comprensiva del personal facultativo responsable de la ejecución de las tareas contratadas y a dar cuenta posteriormente de los cambios que en el mismo se efectúen, durante la vigencia del contrato.

La designación del representante del contratista, así como la del personal facultativo, responsable de la ejecución de las tareas contratadas, requiere la conformidad y aprobación del promotor quien por motivo fundado podrá exigir al contratista la remoción de su representante y la de cualquier facultativo responsable.

## **4. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA**

### **4.1. Obligaciones contables**

El contratista deberá llevar y conservar los libros y documentos relativos al contrato y mantenerlos a disposición del promotor durante toda la vigencia del mismo y hasta los 6 meses posteriores a su vencimiento y el de las eventuales prórrogas acordadas.

### **4.2. Cumplimiento de la legislación laboral y de seguridad**

El contratista deberá cumplir con todas las leyes laborales, provisionales e impositivas, convenios colectivos de trabajo vigentes, como así también con toda otra disposición que pudiera ser de aplicación a los trabajos que desarrolle.

Deberá mantener al día el pago de los impuestos, del personal empleado (cualquiera que sea su nivel), abonar íntegramente los honorarios, salarios y jornales estipulados, ingresando los aportes provisionales y demás cargas sociales que correspondan. Asimismo deberá cumplimentarlas reglamentaciones y pagos de aranceles que para la actividad desarrollada pueda corresponder, de acuerdo a la legislación vigente en la materia, a los consejos o colegios profesionales, incluyendo la inscripción de los mismos.

El contratista deberá dar estricto cumplimiento a lo estipulado por la ley nacional y europea de higiene y seguridad en el trabajo.

Será responsabilidad del contratista el pago de multas, recargos, intereses, etc., originados por infracciones a las leyes, decretos, ordenanzas, reglamentos y demás normas vigentes, por las que fuera responsable como consecuencia de su condición de contratista y empleador.

### **4.3. Seguros**

El contratista será responsable de cualquier accidente que ocurra al personal profesional, técnico, obrero o administrativo, que realice o inspeccione trabajos para aquél, en el lugar o en tránsito, correspondiéndole en consecuencia, las obligaciones que establecen las leyes nacionales y europeas.

A los efectos precedentes, el contratista deberá mantener en vigencia y cancelar a su cargo todos los seguros especificados en el apartado siguiente.

Se considerará falta grave del contratista tener sin cobertura cualquiera de los riesgos indicados, por lo que en caso de incumplimiento, el promotor podrá proceder a la contratación de los seguros con cargo al contratista, independientemente de la aplicación de las sanciones que pudieran corresponder.

El promotor deberá aprobar las pólizas y la entidad aseguradora ofrecida, previo a que aquéllas entren en vigencia, para lo cual el contratista deberá someterlas a su consideración, previo a suscribir los contratos de seguros respectivos.

Todas las pólizas deben contener cláusulas de ajuste automático de las sumas aseguradas. También deberán contener una cláusula por la cual la entidad aseguradora asume el compromiso de no reducir ni alterar las condiciones de cobertura sin consentimiento previo y fehaciente del promotor. Cuando corresponda, dichas pólizas deberán ser endosadas a favor del promotor.

#### **4.4. Coberturas a tomar**

Los seguros que el contratista deberá tomar a su cargo cubrirán los siguientes riesgos:

##### 4.4.1. Responsabilidad del contratista como empleador

- Muerte e incapacidad permanente, total o parcial, de todo personal afectado a los fines del contrato, en un todo de acuerdo a las obligaciones emergentes de la normativa legal vigente.
- La indemnización prevista en la ley de contrato de trabajo.

##### 4.4.2. Seguro contra terceros afectados por el contratista durante los trabajos.

#### **4.5. Obligaciones en materia de seguridad**

El contratista estará obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad e higiene en el trabajo. En lo referente a las obligaciones del contratista en materia de seguridad e higiene en el trabajo, éstas quedan detalladas de la forma siguiente:

- El contratista es responsable de las condiciones de seguridad e higiene en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las

disposiciones vigentes sobre estas materias, en las medidas que dicte la inspección de trabajo y demás organismos competentes, así como las normas de seguridad complementarias que correspondan a las características de las obras contratadas.

- A tal efecto el contratista debe establecer un plan de seguridad, higiene y primeros auxilios que especifique con claridad las medidas prácticas que, para la consecución de las precedentes prescripciones, estime necesario tomar en la obra. Este plan debe precisar las formas de aplicación de las medidas que correspondan a los riesgos de la obra con el objeto de asegurar eficazmente:

- La seguridad de su propio personal y de terceras personas.
- La higiene y primeros auxilios a enfermos y accidentados.
- La seguridad en las instalaciones.

El plan de seguridad así concebido debe comprender la aplicación de las normas de seguridad que el contratista prescribe a sus empleados cuando realizan trabajos similares a los encomendados al personal del contratista.

El plan de seguridad, higiene y primeros auxilios deberá ser comunicado al promotor, en el plazo máximo de tres meses a partir de la firma del contrato. El incumplimiento de este plazo puede ser motivo de resolución del contrato.

La adopción de cualquier modificación o aplicación al plan previamente establecido, con relación a la variación de las circunstancias de la obra, deberá ser puesta inmediatamente en conocimiento del promotor.

- Los gastos originados por la adopción de las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios son a cargo del contratista y se considerarán incluidos en los precios del contrato. Quedan comprendidas en estas medidas:

- El mantenimiento del orden, limpieza, comodidad y seguridad en las superficies o lugares de trabajo, así como en los accesos.
- Las protecciones y dispositivos de seguridad en las instalaciones, aparatos y máquinas, almacenes, etc., incluidas las protecciones contra incendios.
- La formación del personal en sus distintos niveles profesionales en materia de seguridad, higiene y primeros auxilios, así como la

información mediante carteles, avisos o señales de los distintos riesgos que la obra presente.

- El establecimiento de las medidas encaminadas a la eliminación de factores nocivos tales como polvo, humos, gases, vapores, ruidos, temperatura, humedad, aireación e iluminación insuficientes...
- Suministro de todos los elementos de protección personal necesarios, así como de las instalaciones sanitarias, botiquines, ambulancias... Además el contratista debe proveer de vestuarios, servicios higiénicos, servicio de comedor y menaje, barracones, suministro de agua, etc, que las características de las tareas y la reglamentación determinen.
- Si se produjera una asociación de contratistas, éstos deberán agruparse en el seno de un comité de seguridad, formado por los representantes de los contratistas, comité que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad, higiene y primeros auxilios, tanto a nivel individual como colectivo. De esta forma cada contratista debe designar un representante responsable ante el comité de seguridad. Las decisiones adoptadas por el comité se aplicarán a todos los contratistas, incluso los que lleguen con posterioridad a la ejecución de las tareas.

Los gastos resultantes de esta organización colectiva se prorratearán mensualmente entre las empresas participantes, proporcionalmente al número de jornales, horas de trabajo de sus trabajadores o por cualquier otro método establecido de común acuerdo.

El contratista remitirá al promotor, con fines de información, copia de cada declaración de accidente que cause baja en el trabajo, inmediatamente después de formalizar dicha baja.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del contratista o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para el promotor.

#### **4.6. Sustitución del personal**

##### **4.6.1. A solicitud del promotor**

El promotor podrá exigir con causa fundada, la sustitución o separación de cualquiera de las personas que integren el equipo. En tales casos, todos los gastos emergentes serán por cuenta del contratista.

En los casos que, en virtud de lo anterior, corresponda la sustitución de personal, el contratista deberá cumplimentar los requisitos anteriores establecidos en el numeral siguiente.

#### 4.6.2. A solicitud del contratista.

La sustitución de cualquier persona que integra el equipo profesional sólo podrá ocurrir cuando se produzcan causas debidamente fundadas. La propuesta de sustitución se efectuará por nota dirigida al promotor, la cual contendrá:

- Currículum vitae actualizado del nuevo profesional propuesto.
- Actividades específicas a desarrollar.
- Compromiso de participación debidamente firmado por el profesional propuesto.
- Cuando corresponda, la pertinente habilitación expedida por el colegio profesional correspondiente.
- Efecto que produce la sustitución sobre la ejecución de las tareas.
- Constancia de aceptación del profesional reemplazado de su sustitución.

La incorporación del profesional propuesto a los equipos de trabajo, sólo podrá hacerse efectiva una vez que el promotor haya otorgado la aprobación correspondiente.

La ocurrencia de las situaciones contempladas en el presente artículo, no podrán dar lugar, bajo ningún concepto, a la disminución del ritmo del cumplimiento de las obligaciones, ni dejar en ningún momento áreas específicas sin cubrir.

#### **4.7. Rescisión del contrato**

Cuando a juicio del promotor el incumplimiento por parte del contratista de algunas de las cláusulas del contrato pudiera ocasionar graves trastornos en la ejecución de las tareas, cumplimiento de los plazos, lo en el aspecto económico, el promotor podrá decidir la resolución del contrato, con las penalidades que tuvieran lugar. Asimismo, podrá proceder la resolución con

pérdida de fianza y garantía suplementaria si la hubiera, de producirse alguno de los supuestos siguientes:

- Cuando no se hubieran aportado los medios relacionados con la oferta o su equivalente o capacidad en los plazos previstos incrementados en un 25%, o si el contratista hubiese sustituido dichos medios en sus elementos principales sin la previa autorización del promotor.
- Cuando se cumpla el plazo final de las tareas y falte por ejecutar más del 20% de las mismas. La imposición de las multas establecidas por los retrasos sobre dicho plazo, no obligará al promotor a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir entre la resolución o la continuidad del contrato.
- La quiebra, fallecimiento o incapacidad del contratista. En este caso, el promotor podrá optar por la resolución del contrato, o por que se subroguen en el lugar del contratista los síndicos de quiebra o sus representantes.
- La disolución, por cualquier causa justa, de la sociedad, si el contratista fuera una persona jurídica.
- Si el contratista es una agrupación temporal de empresas y alguna de las integrantes se encuentra incluida en alguno de los supuestos previstos de los dos apartados anteriores, el promotor estará facultado para exigir el cumplimiento de las obligaciones pendientes del contrato a las restantes empresas que constituyen la agrupación temporal o para acordar la resolución del contrato. Si el promotor optara en ese momento por rescisión, ésta no produciría pérdida de la fianza, salvo que concurriera alguna otra causa suficiente para declarar tal pérdida.

Procederá asimismo la rescisión, sin pérdida de fianza por el contratista, cuando se suspendan las tareas una vez comenzadas, y en todo caso, siempre que por causas ajenas al contratista, no sea posible dar comienzo a las tareas adjudicadas, en el plazo de 3 meses, a partir de la fecha de adjudicación.

En el caso de que se incurriese en las causas de resolución del contrato conforme a las cláusulas de este pliego, o del particular, el promotor se hará

cargo de las obras en la situación en que se encuentren, sin otro requisito que el del levantamiento de un acta notarial o simple, si ambas partes prestan su conformidad, que refleje la situación de las tareas, así como de acopios de materiales, maquinaria y medios auxiliares que el contratista tuviese en ese momento en el emplazamiento de los trabajos. Con este acto del promotor el contratista no podrá poner interdicto ni ninguna otra acción judicial, a la que renuncie expresamente.

Siempre y cuando el motivo de la rescisión sea imputable al contratista, esta se obliga a dejar a disposición del promotor hasta la total terminación de las tareas, la maquinaria y medios auxiliares existentes en el emplazamiento, que el promotor estime necesario, pudiendo el contratista retirar los restantes. El promotor abonará los medios, instalaciones y máquinas que decida deben continuar en obra, un alquiler igual al estipulado en el baremo para trabajos por administración, pero descontando los porcentajes de gastos generales y beneficio industrial del contratista.

El contratista se compromete como obligación subsidiaria de la cláusula anterior, a conservar la propiedad de las instalaciones, medios auxiliares y maquinaria seleccionada por el promotor o reconocer como obligación preferente frente a terceros, la derivada de dicha condición.

El promotor comunicará al contratista, con 30 días de anticipación, la fecha en que desea reintegrar los elementos que venía utilizando, los cuales dejarán de devengar interés alguno a partir de su devolución, o a los 30 días de la notificación, si el contratista no se hubiese hecho cargo de ellos. En todo caso, en la devolución se realizarán siempre por cuenta del contratista los gastos de su traslado definitivo.

En los contratos rescindidos, se procederá a efectos de garantías, fianzas, etc. a efectuar las recepciones provisionales y definitivas de todos los trabajos ejecutados por el contratista hasta la fecha de la rescisión.

## 5. CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES

### 5.1. Gastos de carácter general por cuenta del contratista

Se entienden como tales los gastos de cualquier clase ocasionados por los ensayos de materiales que deba realizar por su cuenta el contratista, oficinas y almacenes pertenecientes al contratista, equipos necesarios para evitar accidentes de cualquier clase, los de protección de materiales y las propias tareas contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes, los de limpieza de los espacios interiores y exteriores, los de retirada al fin de las tareas de herramientas, materiales, etc.

Salvo que se indique lo contrario, será de cuenta del contratista el suministro de la energía eléctrica necesaria para la ejecución de las tareas.

Serán de cuenta del contratista los gastos ocasionados por la retirada del lugar de ejecución de las tareas, de los materiales rechazados, los de jornales y materiales para las mediciones periódicas para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final, los de pruebas, ensayos, reconocimientos y tomas de muestras para la recepción definitiva del equipo, la corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc. y los gastos derivados de los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en estas pruebas y la reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía-

Además de los ensayos a los que se refieren los párrafos anteriores de este artículo, serán por cuenta del contratista los ensayos que realice directamente con los materiales suministrados por sus proveedores antes de su adquisición e incorporación a la obra y que en su momento serán controlados por el promotor para su aceptación definitiva. Serán asimismo de su cuenta aquellos ensayos que el contratista realice durante la ejecución de los trabajos, para su propio control.

En los casos de resolución del contrato, cualquiera que sea la causa que lo motive, serán de cuenta del contratista los gastos de los jornales y materiales ocasionados por la liquidación de las obras y los de las actas notariales que

sean necesarias levantar, así como los de retirada de los medios auxiliares que no utilice el promotor o que le devuelva después de ser utilizados.

### **5.2. Gastos de carácter general por cuenta del promotor**

Serán por cuenta del promotor los gastos originados por la inspección de las obras del personal del promotor o contratados para este fin, la comprobación o revisión de las certificaciones, la toma de muestras y ensayos del laboratorio para la comprobación periódica de la calidad de los materiales y obras realizadas, salvo los indicados en el apartado 5.1, y el transporte de los materiales suministrados por el promotor, hasta el almacén del contratista, sin incluir su descarga ni los gastos de paralización de vehículos por retrasos.

### **5.3. Indemnizaciones por cuenta del contratista**

Serán cuenta del contratista la reparación de cualquier daño que puedan ocasionar sus instalaciones y construcciones auxiliares en propiedades particulares, así como los producidos en las demás operaciones realizadas por el contratista para la ejecución de las tareas.

### **5.4. Partidas para tareas accesorias**

Las cantidades calculadas para tareas accesorias, que por su escala o nula definición, figuren en el presupuesto con una partida alzada, no se abonará por su cantidad total, salvo que se indique así en el pliego de condiciones particulares.

En consecuencia estas obras accesorias se abonarán a los precios unitarios del contrato y conforme a las unidades y medidas que se obtengan de los proyectos que se realicen para ellas y de su medición final.

### **5.5. Partidas alzadas**

Las partidas alzadas consignadas en los presupuestos para obras o servicios, y que expresamente así se indique en el pliego de condiciones particulares, se abonarán por su importe una vez realizados totalmente dichos trabajos.

Quedan excluidas de este sistema de abono, las obras accesorias que se liquidarán conforme a lo indicado en el artículo 39

## **5.6. Revisión de precios**

El promotor adopta para la revisiones de los precios el sistema de fórmulas polinómicas vigentes para la obras del estado y organismos autónomos, establecido por el Decreto Ley 2/1964 de 4 de febrero (BOE de 6/02/1964), especialmente en lo que a su artículo se refiere.

Se establecerán la fórmula o fórmulas polinómicas a emplear, adoptando de entre todas las reseñadas en el Decreto- Ley 3650/1970 de 19 de diciembre (BOE de 29/12/1970) la que más se ajuste a las características de la obra contratada.

Si estas características así lo aconsejan, el promotor se reserva el derecho de establecer nuevas fórmulas, modificando los coeficientes o las variables de las mismas.

Para los valores actualizados de las variables que inciden en la fórmula, se tomarán para cada mes los que faciliten el Ministerio de Hacienda una vez publicados en el BOE. Los valores iniciales corresponderán a los del mes de la fecha del contrato.

El índice de revisión mensual se aplicará al importe total de la certificación correspondiente al mes de que se trate, siempre y cuando la tarea realizada durante dicho periodo, lo haya sido dentro del programa de trabajo establecido.

En el caso de que las obras se desarrollen con retraso respecto a dicho programa, las certificaciones mensuales producidas dentro del plazo se revisarán por los correspondientes índices de revisión hasta el mes previsto para la terminación de los trabajos. En este momento, dejarán de actualizarse dicho índice y todas las certificaciones posteriores que puedan producirse, se revisarán con este índice constante.

Los aumentos de presupuesto originados por las revisiones de precios oficiales, no se computarán a efectos de lo establecido en el artículo 51, "Modificaciones del Proyecto".

Si las tareas a realizar fuesen de corta duración, el Promotor podrá prescindir de la cláusula de revisión de precios, debiéndolo hacer constar así expresamente en las bases del Concurso.

### **5.7. Régimen de intervención**

Cuando el Contratista no de cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del Contrato, sea a las órdenes de servicio que se les sean dadas por el Promotor, éste le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo en casos de urgencias, no será nunca menor de diez (10) días a partir de la notificación de requerimiento.

Pasado este plazo, si el Contratista no ha ejecutado las disposiciones dadas, el Promotor podrá ordenar el título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Contratista.

Se procederá, en presencia del contratista, o habiéndole convocado, a la comprobación de las tareas ejecutadas, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del contratista, ya la devolución a este de la parte de materiales que no utilizará el promotor para la terminación de los trabajos.

El promotor tiene por otra parte, la facultad sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del contratista incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el periodo de régimen de intervención, el contratista podrá conocer la marcha de los trabajadores, sin que se pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes del promotor.

El contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que se puedan ser debidas al contratista, sin perjuicios de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato supone, por el contrario una disminución de gastos, el contratista no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor del promotor.

### **5.8. Informes**

De cada uno de los informes que se produzcan por parte del contratista en cumplimiento de sus obligaciones contractuales, así como de la documentación de respaldo anexa a los mismos, se confeccionarán dos (2) ejemplares, redactados en idioma español. Las unidades de medida utilizadas en los informes deberán ser las del sistema internacional de unidades y las hojas a emplear para los informes deberán ser de tamaño DIN A4.

Cada informe deberá presentarse acompañado de su soporte magnético en disquetes de 3,5", debidamente identificado y fechado. Para el soporte de textos se utilizará la última versión de Word; para planilla de datos, cálculos y gráficos resultantes, la última versión Excel; para base de datos, Access en su última versión; para administración de proyectos Microsoft Project y para planos el programa Autocad en versión 14 o mayor. Todo ello sin perjuicio de los programas computacionales desarrollados o utilizados al efecto, y que previamente hayan sido aprobados por el promotor.

Cada informe que presente el contratista deberá ser autosuficiente, evitando al máximo las referencias a otros informes y por lo tanto permitir que el promotor pueda verificar, analizar y evaluar integralmente su contenido, sin necesidad de tener que recurrir a otros documentos o informaciones adicionales. El promotor rechazará los informes que no respondan a esas condiciones.

### **5.9. Revisión de los informes**

El promotor revisará, analizará, evaluará y, en caso de encontrarlos conformes a las normas contenidas en la documentación contractual, aceptará los informes y demás documentación de respaldo a sus tarea que entregue al contratista durante la vigencia del contrato.

### **5.10. Certificación de las prestaciones**

El promotor emitirá un informe de evaluación de las tareas ejecutadas por el contratista. En caso de que su evaluación concluya en el sentido que las funciones del contratista hubiesen sido cumplidas en forma satisfactoria por el mismo en el período considerado y se ajustan a las normas contenidas en la documentación contractual, se dará curso a la factura de pago correspondiente.

### **5.11. Confección de las facturas de pago.**

El contratista presentara las facturas de pago a la comisión, para cuya confección utilizará formularios previamente aprobados y que se ajusten a las disposiciones vigentes en la materia. Para tales facturas se considerará como fecha de emisión, la del día hábil posterior al de finalización del periodo al que corresponden las prestaciones liquidadas.

### **5.12. Pago de los certificados**

El pago de las facturas o certificados se efectuará dentro de los treinta (30) días contados desde el primer día posterior a su fecha de emisión. En caso de producirse demora en el pago, será de aplicación lo estipulado en el Derecho español.

### **5.13. Propiedad industrial, comercial e intelectual**

Al suscribir el contrato, el contratista garantiza al promotor contra toda clase de reivindicaciones que se refieran a suministros y materiales, procedimientos y medios utilizados para la ejecución de las tareas y que procedan de titulares de patentes, licencias, planos, modelos, marcas de fábrica o comercio.

En el caso de que fuera necesario, corresponde al contratista la obtención de las licencias o a utilizaciones precisas y soportar la carga de los derechos e indemnizaciones correspondientes.

En caso de acciones dirigidas contra el promotor por terceros titulares de licencias, autorizaciones, planos, modelos, marcas de fábricas o de comercio utilizadas por el contratista para la ejecución de los trabajos, el contratista responderá ante el promotor del resultado de dichas acciones estando obligado además a prestarle su plena ayuda en el ejercicio de las excepciones que competan al promotor.

La propiedad intelectual del contenido de todos los informes presentados por el contratista en lo que hace a los estudios, cálculos, recomendaciones, conclusiones y demás trabajos propios de los profesionales de aquélla. Será exclusiva del promotor, quien podrá disponer de los mismos. El contratista sólo podrá invocarlos como antecedentes de su propia labor.

#### **5.14. Tribunales**

El contratista renuncia al fuero de su propio domicilio y se compromete a sustanciar cuantas reclamaciones origine el contrato ante los tribunales.

## 6. DESARROLLO DE LAS TAREAS, CONDICIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS

### 6.1. Modificaciones del proyecto

El promotor podrá introducir en el proyecto, antes de empezar las tareas o durante su ejecución, las modificaciones q sean precisas para la normal ejecución de las mismas, aunque no se hayan previsto en el proyecto y siempre que no varíen las características principales de las tareas.

También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto.

Cuando se trate de aclarar o interpretar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes o instrucciones se comunicarán exclusivamente por escrito al contratista, estando obligado éste a su vez a devolver una copia suscribiendo con su firma el enterado.

Todas estas modificaciones serán obligatorias para el contratista, y siempre que, a los precios del contrato, sin ulteriores omisiones, no alteren el presupuesto total de ejecución material contratado en más de un 35%, tanto en más como en menos, el contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios ni a indemnización de ninguna clase.

Si la cuantía total de la certificación final, correspondiente a la obra ejecutada por el contratista, fuese a causa de las modificaciones del proyecto, inferior al presupuesto total de ejecución material del contrato en un porcentaje superior al 35%, el contratista tendrá derecho a indemnizaciones.

Para fijar su cuantía, el contratista deberá presentar al promotor en el plazo máximo de dos meses a partir de la fecha de dicha certificación final, una petición de indemnización con las justificaciones necesarias debido a los posibles aumentos de los gastos generales e insuficiente amortización de equipos e instalaciones, y en la que se valore el perjuicio que le resulte de las modificaciones introducidas en las previsiones del proyecto. Al efectuar esta valoraciones el contratista deberá tener en cuenta que el primer 35 % de reducción no tendrá repercusión a estos efectos.

Si por el contrario, la cuantía de la certificación final correspondiente a la obra ejecutada por el contratista, fuese a causa de las modificaciones del proyecto, superior al presupuesto total de ejecución material del contrato y cualquiera que fuere el porcentaje de aumento, no procederá el pago de ninguna indemnización ni revisión de precios por este concepto.

No se admitirán mejoras de tareas más que en el caso de que el promotor haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratos.

Tampoco se admitirán aumentos de tareas en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del proyecto, o salvo que el promotor ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

## **6.2. Modificaciones de los planos**

Los planos de construcción podrán modificar a los provisionales de concurso, respetando los principios esenciales y el contratista no puede por ello hacer reclamación alguna al promotor.

El carácter complejo y los plazos limitados de que se disponen en la ejecución de un proyecto, obligan a una simultaneidad entre las entregas de las especificaciones técnicas de los suministradores de equipos y la elaboración de planos definitivos de proyecto.

El promotor tomará las medidas necesarias para que estas modificaciones no alteren los planes de trabajo del contratista entregando los planos con la suficiente antelación para que la preparación y ejecución de estos trabajos se realice de acuerdo con el programa previsto.

El contratista por su parte no podrá alegar desconocimiento de estas definiciones de detalle, no incluidas en el proyecto base, y que quedará obligado a su ejecución dentro de las prescripciones generales del contrato.

El contratista deberá confrontar, inmediatamente después de recibidos, todos los planos que le hayan sido facilitados, debiendo informar por escrito al promotor en el plazo máximo de quince días y antes de proceder a su

ejecución, de cualquier contradicción, error u omisión que lo exigiera técnicamente incorrectos.

### **6.3. Empleo de materiales nuevos pertenecientes al promotor**

Cuando fuera de las previsiones del contrato, el promotor juzgue conveniente emplear materiales y equipos nuevos que le pertenezcan, el contratista no podrá oponerse a ello y las condiciones que regulen este suministro serán establecidas de común acuerdo o, en su defecto, se establecerá mediante arbitraje de derecho privado.

### **6.4. Uso anticipado del equipo o componentes**

El promotor se reserva el derecho de hacer uso de los componentes o del equipo terminando de las tareas contratadas, antes de que los trabajos prescritos en el contrato se hayan terminado en su totalidad, bien por necesidades de servicio, bien para permitir la realización de otros trabajos que no forman parte del contrato.

Si el promotor deseara hacer uso de citado derecho, se lo comunicará al contratista con una semana de antelación a la fecha de utilización. El uso de este derecho por parte del promotor no implica recepción provisional del equipo afectado.

### **6.5. Plan de trabajo y montaje**

Independientemente del plan de trabajos que los contratistas ofertantes deben presentar con sus ofertas, de acuerdo a lo establecido en el artículo 7.8, el contratista presentará con posterioridad a la firma del contrato, con un plan más detallado que el anterior.

El plazo máximo a partir de la formalización del contrato, el que debe presentarlo y tipo de programa exigido queda establecido es un mes.

Este plan, que deberá ser lo más completo, detallado y razonado posible, respetará obligatoriamente los plazos fijados en el concurso, y deberá venir acompañado del programa de certificaciones mensuales.

En el caso de que le contratista, decidiera proponer un adelanto en alguno de los plazos fijados, deberá hacerlo como una variante suplementaria,

justificando expresamente en este caso todas la repercusiones económicas a que se diese lugar.

El plan de trabajo deberá ser aprobado oficialmente por le promotor adquiriendo desde este momento el carácter de documento contractual. No podrá ser modificado sin autorización expresa del promotor y el contratista estará obligado a respetarlo en el desarrollo de los trabajos.

En caso de desacuerdo sobre el plan de trabajo, una vez rechazado por el promotor, se someterá la controversia a arbitraje, siendo desempeñado por un profesional competente, designado por el colegio profesional correspondiente.

Los medios ofrecidos, que han de ser como mínimo los de la propuesta inicial, salvo que el promotor, a la vista del plan de trabajo, autorice otra cosa, quedarán afectos a la obra y no podrán ser retirados o sustituidos.

La aceptación del plan y relación de medios auxiliares propuestos por el contratista no implica exención alguna de responsabilidad para el mismo en el caso incumplimiento de los plazos parciales, o final convenido.

Si el desarrollo de los trabajos no se efectuase de acuerdo al plan aprobado y ello pudiera dar lugar al un incumplimiento de plazos parciales o final, el promotor podrá exigir del contratista la actualización del plan vigente, reforzando las plantillas de personal, medios auxiliares e instalaciones necesarias a efectos de mantener los plazos convenidos y sin que el contratista pueda hacer recaer sobre le promotor las repercusiones económicas que este aumento de medios puede traer consigo. El plan de trabajo actualizado sustituirá a todos los efectos contractuales al anteriormente vigente, con la salvedad que se indica en el párrafo siguiente.

En cualquier caso, la aceptación por parte del promotor de los planes de trabajo actualizados que se vayan confeccionando para adecuar el desarrollo real de los trabajos al mantenimiento de los plazos iniciales, no liberará al contratista de las posibles responsabilidades económicas en que incurra por el posible incumplimiento de los plazos convenidos.

#### **6.6. Plazos de ejecución**

En el Pliego de Condiciones Particulares, se establecen los plazos parciales y plazo final de terminación, a los que el contratista deberá ajustarse

obligatoriamente. Los plazos parciales corresponderán a la fabricación, adquisición o terminación de determinados elementos, tareas o conjuntos de tareas, que e consideren necesarios para la prosecución de otras fases del montaje.

#### **6.7. Retenciones por retrasos durante la ejecución de trabajos**

Los retrasos sobre el plan de trabajo y programa de certificaciones imputables al contratista, tendrán como sanción económica para cada mes la retención por el promotor, con abono a una cuenta especial denominada “retenciones”, del 50% de la diferencia en el 90% de la tarea que hasta ese momento debería haberse justificado y la que realmente se haya realizado.

Si el contratista realizase tareas con valor superior alo establecido en el plan de trabajos para cada momento, tendrá derecho a recuperar de la cuenta “retenciones” parte proporcional que le corresponda.

Cuando se alcance el plazo total previsto para la ejecución del trabajo con un saldo acreedor en la cuenta de “retenciones” quedará éste bloqueado a disposición del promotor para responder de las posibles multas y sanciones correspondientes a una posible rescisión. En el momento de la total terminación y liquidación de las tareas contratadas, se procederá a saldar esta cuenta abonando al contratista el saldo acreedor si lo hubiere o exigiéndole el deudor si así resultase.

#### **6.8. Incumplimiento de los plazos y multas**

en el caso de incumplimiento de los plazos fijados por causas directamente imputables al contratista, satisfará éste las multas que se indiquen en el pliego particular, con cargo a las certificaciones, fondo de retenciones o fianza definitiva, sucesivamente, sin perjuicio de la responsabilidad por daños.

Si el retraso producido en el cumplimiento delos plazos ocasionara a su vez retrasos en otros contratistas, lesionando los intereses de estos, el promotor podrá hacer repercutir sobre el contratista las indemnizaciones a que hubiera lugar por tales perjuicios.

En el caso de que los retrasos se produzcan por causas imputables al promotor en los suministros a que vengan obligado, se prorrogarán los plazos

en un tiempo igual al estimado por el promotor como retraso producido, de acuerdo con lo establecido en el apartado 6.3.2.

#### **6.9. Supresión de las multas**

Cuando el promotor advierta la posibilidad de que un retraso en la ejecución de las obras o en el montaje, no va a repercutir en la entrega final ni causar perjuicios a terceros, podrá acordar libremente la supresión de multas, o la ampliación de los plazos de ejecución.

En este último caso, el promotor podrá diferir a la nueva fecha de terminación, y en el supuesto de que ésta tampoco se cumpla, la aplicación de las multas establecidas.

#### **6.10. Procedimiento para la aplicación de multas**

A los fines de la aplicación de las multas que se establecen en el pliego y en el contrato, se considera producido el hecho por el solo incumplimiento de las cláusulas contractuales que dan origen a la aplicación de las mismas. El importe de la penalidad será exigible y cobrable con necesidad de interpelación extrajudicial o judicial previa, produciéndose la mora en forma automática por el solo vencimiento del plazo concedido para su cancelación.

En todos los casos en que corresponda la aplicación de multas, las mismas serán dispuestas por resolución del promotor y notificadas al contratista. La cantidad resultante será pagada por el contratista en un plazo de diez días contados a partir de la fecha de su notificación.

Vencido el plazo de pago, el promotor podrá deducir las cantidades impagadas más sus intereses moratorios, de cualquier crédito que tenga a su favor el contratista, a cuyo fin los importes originados en penalidades, cualquiera sea su origen, se considera de plazo vencido, líquidos y exigibles.

En especial las multas podrán deducirse de los pagos de cualquier tipo que tenga a cobrar el contratista o de las fianzas constituidas de acuerdo a las disposiciones contractuales, a cuyo efecto se deberá disponer los mecanismos o la redacción necesaria para que ello pueda efectivizarse de manera automática, cada vez que se produzca una reducción en la cantidad de las fianzas por deducción.

Las multas, una vez aplicadas, serán deducidas en forma automática, sin perjuicio de las presentaciones recurriendo las mismas que el contratista pueda efectuar mediante la correspondiente nota dirigida al promotor. Si se diese curso favorable a alguna solicitud de reconsideración, el importe descontado le será reintegrado mediante un certificado especial, sin ningún tipo de intereses.

#### **6.11. Premios y primas**

Se podrán establecer premio en el caso de cumplimiento de los plazos parciales y total contratados y/o un sistema de primas para premiar los posibles adelantos sobre dichos plazos de terminación de obras.

En el pliego particular, se especificarán las condiciones que deberán concurrir para que el contratista pueda obtener dichos premios y/o primas.

El promotor podrá supeditar el pago de los premios, siempre que así lo indique expresamente, al cumplimiento estricto de los plazos, incluso en el caso de retrasos producidos por causas no imputables al contratista o de fuerza mayor.

#### **6.12. Retrasos ocasionados por el promotor**

Los retrasos que pudieran ocasionar la falta de planos, demoras en el suministro de materiales que deba realizar por el promotor, o interferencias ocasionadas por otros contratistas, serán valorados en tiempo por el promotor, después de oír al contratista, prorrogándose los plazos conforme a la valoración.

Para efectuar ésta, el promotor tendrá en cuenta la influencia sobre la parte de las tareas realmente afectada, y la posibilidad de adelantar la ejecución de tareas cuya realización estuviese prevista para fecha posterior.

#### **6.13. Daños y ampliación de plazo en caso de fuerza mayor**

Cuando se produjeran daños en las tareas por causa de fuerza mayor, si su prevención o minoración hubiera correspondido a las partes, la que hubiese sido negligente soportará sus consecuencias.

Si fuese por completo ajena a la actuación del contratista el riesgo sobre la tarea ejecutada será soportado por el promotor en cuanto a las unidades de que se hubiese hecho previa medición, según se determina en el apartado 6.15.

Si por causa de fuerza mayor no imputable al contratista hubiese de sufrir demora el curso de las tareas, lo pondrá en conocimiento del promotor con la mayor prontitud posible, concretando el tiempo en que se estima necesario prorrogar los plazos establecidos, el promotor deberá manifestar su conformidad o reparos a la procedencia y alcance de la prórroga propuesta en un plazo igual al que hubiese mediado entre el hecho originario y la comunicación del contratista.

#### **6.14. Mediciones de las tareas ejecutadas**

Servirán de base para la medición y posterior abono de las obras los datos contractuales de presupuestos parciales y totales.

Las mediciones con los datos recogidos de los elementos cualitativos que caracterizan las tareas ejecutadas los acopios realizados, o los suministros efectuados, constituyen comprobación de un cierto estado de hecho y se recogerán por el promotor en presencia del contratista. La ausencia del contratista, aún habiendo sido avisado previamente, supone su conformidad a los datos recogidos por el promotor.

En caso de presencia del contratista las mediciones serán avaladas con la firma de ambas partes.

El contratista no podrá dejar de firmar las mediciones. En caso de negarse a hacerlo, podrá levantarse acta notarial a su cargo. Si las firmara con reservas, dispondrá de un plazo de diez días a partir de la fecha de redacción de las mismas para formular por escrito sus observaciones. Pasado ese plazo, las mediciones se suponen aceptadas sin reserva alguna.

En el caso de la firma con reserva, se redactará un acta en la que se hará constar los motivos de disconformidad, acta que se unirá a la correspondiente medición.

En el caso de reclamación del contratista las mediciones se tomarán a petición propia o por iniciativa del promotor, sin que estas comprobaciones prejuzguen, en ningún caso, el reconocimiento de que las reclamaciones están bien fundamentadas.

El contratista está obligado a exigir a su debido tiempo la toma contradictoria de mediciones para los trabajos, prestaciones y suministros que

no fueran susceptibles de comprobación o de verificaciones ulteriores, a falta de lo cual, salvo pruebas contrarias que deben proporcionar a su costa, prevalecerán las decisiones del promotor con todas sus consecuencias.

#### **6.15. Certificación y abono de las tareas**

- Las tareas se medirán periódicamente sobre las partes realmente ejecutadas con arreglo al Proyecto, modificaciones posteriores y órdenes del Promotor, y de acuerdo con los artículos del Pliego de Condiciones. La medición de la tarea realizada se llevará a cabo en los 2 primeros días siguientes a la fecha de cierre de certificaciones. Dicha fecha se determinará al comienzo de las obras. Las valoraciones ejecutadas servirán para la redacción de certificaciones al origen, de las cuales se tendrá el líquido de abono. Corresponderá al Promotor en todo caso, la redacción de las certificaciones periódicas.
- Las certificaciones periódicas se deben entender siempre como abonos a buena cuenta, y en consecuencia, las mediciones de unidades de obra y los precios aplicados no tienen el carácter de definitivos, pudiendo surgir modificaciones en certificaciones posteriores y definitivamente en la liquidación final.
- Si el Contratista rehusase firmar un certificado semanal o lo hiciese con reservas por no estar conforme con ello, deberá exponer por escrito y en el plazo máximo de 2 días, a partir de la fecha de que se le requiera para la firma, los motivos que fundamenten su reclamación e importe de la misma. El Promotor considerará esta reclamación y decidirá si procede atenderla. Los retrasos en el cobro, que pudieran producirse como consecuencia de esta dilación en los trámites de la certificación, no se computarán a efectos de plazo de cobro no de abono de intereses de demora.
- Terminado el plazo de 2 días, señalado en el párrafo anterior, o si hubiesen variado las tareas en forma tal que les fuera imposible recomprobar la medición objeto de discusión, se considerará que la certificación es correcta, no admitiéndose posteriormente reclamación alguna en tal sentido.

- Tanto en las certificaciones, como en la liquidación final, las obras serán en todo caso abonadas a los precios que para cada unidad de obra figuren en la oferta aceptada, o a los precios contradictorios fijados en el transcurso de la obra, de acuerdo con lo previsto a continuación.
- Los precios de las tareas, así como los de los materiales, maquinaria y mano de obra que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre el Promotor y el Contratista, o su representante expresamente autorizado a estos efectos. Estos precios deberán ser presentados por el Contratista debidamente descompuestos, conforme a lo establecido en el apartado 2.4 del presente pliego. El Promotor podrá exigir para su comprobación la presentación de los documentos necesarios que justifique la descomposición del precio presentado por el Contratista a. La negociación del precio contradictorio será independiente de la ejecución de la unidad de obra que se trate, viniendo obligado el Contratista a realizarla, una vez recibida la orden correspondiente. A falta de acuerdo se certificará provisionalmente según los precios establecidos por el Promotor.
- Cuando circunstancias especiales hagan imposible el establecer nuevos precios, o así le convenga al Promotor, corresponderá exclusivamente a éste la decisión de abonar estos trabajos en régimen de administración, aplicando los baremos de mano de obra, materiales y maquinaria, aprobados en el contrato.
- Cuando así lo admita expresamente el Pliego de Condiciones Particulares, o el Promotor acceda a la petición en este sentido formulada por el Contratista, podrá certificarse a cuenta de acopios de materiales en la cuantía que determine dicho pliego, o en su defecto la que estime oportuno el Promotor. Las cantidades abonadas a cuenta por esta concepto se deducirán de la certificación de la unidad de obra correspondiente, cuando dichos materiales pasen a formar parte de la tarea ejecutada. En al liquidación final no podrán existir abonos por acopios, ya que los excesos de materiales serán siempre por cuenta del

Contratista y no presupondrá, en ningún caso, la aceptación en cuanto a la calidad y demás especificaciones técnicas de dicho material, cuya comprobación se realizará en el momento de su puesta en obra.

- Del importe de la certificación se retraerá el porcentaje correspondiente al fondo de garantía.
- Las certificaciones por revisión de precios, se redactarán independientemente de las certificaciones de mensuales de obra ejecutada, ajustándose a las normas establecidas en el apartado 5.6 de este pliego.

#### **6.16. Abono de unidades incompletas o defectuosas**

El Promotor determinará si las unidades que han sido realizadas en forma incompleta o defectuosa deben rehacerse o no. Caso de rehacerse el Contratista vendrá obligado a ejecutarlas, siendo de su cuenta y cargo dicha reparación, en el caso de que ya le hubiesen sido abonadas. De no haberlo sido, se certificará la obra como realizada una sola vez.

Cuando existan trabajos defectuosos o incompletos que el Promotor considere, que a pesar de ello puedan ser aceptables para el fin previsto, se abonarán teniendo en cuenta la depreciación correspondiente a las deficiencias observadas.

En lo referente a resistencias, densidades, grados de acabados, tolerancias en dimensiones, etc., se podrá hacer una proporcionalidad con las obtenidas, siempre que sean admisibles, o bien fijar de entrada una depreciación en los precios de un 10% para obras defectuosas pero aceptables.

#### **6.17. Informe final**

Previo a la finalización de la relación contractual o de suscripción de la prórroga del contrato, lo que ocurra antes, el Contratista deberá presentar:

- Informe final global.
- Informe final de cada tarea.

#### **6.18. Acta de finalización de las prestaciones**

Una vez aprobado el informe final por parte del promotor se procederá a elaborar el acta de finalización de las prestaciones. En el acta de finalización de las prestaciones, se deberá dejar constancia de:

- Fecha en la que se elabora.
- Listado e índice del informe, de la documentación de respaldo y del soporte computacional, que el contratista haya entregado.
- Constancia de las modificaciones, ampliaciones o supresiones producidas en el transcurso de la ejecución de las prestaciones, si hubieren existido.
- Constancia expresa que las prestaciones fueron ejecutadas de acuerdo con lo establecido en la documentación contractual.
- Constancia de las multas impuestas al Contratista, si hubiesen existido por cualquier motivo.

#### **6.19. Recepción provisional de los equipos**

A partir del momento en que todas las tareas que le han sido encomendadas, hayan sido terminadas, el Contratista lo pondrá en reconocimiento del Promotor, mediante carta certificada con acuso de recibo.

El Promotor procederá entonces a la recepción provisional de los equipos y de los componentes, habiendo convocado previamente al Contratista mediante notificación escrita con acuso de recibo, al menos con 5 días de anticipación. Si el Contratista no acude a la convocatoria, se hará mención de su ausencia en el Acta de Recepción.

Del resultado del reconocimiento de los equipos, se levantará un Acta de Recepción en la que se hará constar el estado final de los mismos así como las deficiencias que pudieran observarse. El Acta será firmada conjuntamente por el Contratista y Promotor.

Si el reconocimiento de los equipos fuera satisfactorio se recibirán provisionalmente los mismos, empezando a contar desde esta fecha el plazo de garantía. Si por el contrario, se observaran deficiencias y no procediese efectuar la recepción provisional, se concederá al Contratista un plazo breve para que corrija los defectos observados, transcurrido el cual deberá procederse a un nuevo reconocimiento.

Si transcurrido el plazo concedido al Contratista, no se hubieran subsanado dichos defectos, el Promotor podrá proceder a su realización, bien

directamente, bien por medio de otros contratistas, con cargo al fondo de garantía y si éste no bastase, con cargo a la fianza definitiva.

Una vez terminados los trabajos de reparación, se procederá a recibir provisionalmente los equipos y componentes.

#### **6.20. Plazo de garantía**

Una vez terminadas totalmente la ejecución de las tareas, se efectuará ña recepción provisional de las mismas, tal como se indica en el artículo 69, a partir de cuyo momento comenzará a contar el plazo de garantía al final del cual se llevará a cano la reacepción definitiva.

Durante este plazo, será de cuenta del Contratista la conservación y reparación de los equipos, así como todos los desperfectos que se o pudiesen originar hasta la recepción definitiva, excepción de los daños que se deriven del mal trato o uso inadecuado de las obras por parte del Promotor.

Si el Contratista incumpliese lo estipulado en el párrafo anterior, el promotor podrá encargar a terceros la realización de dichos trabajos o ejecutarlos directamente por administración, deduciendo su importe del fondo de garantía y si no bastase, de la fianza definitiva, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el promotor en el caso de que el monto de fondo de garantía y de la fianza no bastasen para cubrir el importe de los gastos realizados en dichos trabajos de reparación.

#### **6.21. Recepción definitiva de los equipos**

Una vez transcurrido el plazo de garantía se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras de un modo análogo indicando en el artículo 69 para la recepción provisional.

En el caso de que hubiese sido necesario conceder un plazo para subsanar los defectos hallados, el contratista no tendrá derecho a cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía, debiendo continuar encargado de la conservación de las obras durante esa ampliación.

Si el equipo presentase con posterioridad a la recepción definitiva defectos de cualquier tipo debidos a incumplimientos doloso del contrato por parte del contratista, responderá éste de los daños y perjuicios en el término de dos años.

Transcurrido este plazo, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del contratista.

### **6.22. Liquidación**

Una vez efectuada la recepción provisional se procederá a la medición general de las tareas que han de servir de base para la valoración de las mismas.

La liquidación se llevará a cabo después de la recepción definitiva, saldando las diferencias existentes por los abonos a cuentas y descontado el importe de las reparaciones u obras de conservación que haya habido necesidad de efectuar durante el plazo de garantía, en el caso de que el contratista no las haya realizado por su cuenta.

Después de realizada la liquidación, se saldarán el fondo de garantía y la fianza definitiva, tanto si ésta última se ha constituido Aval Bancario.

También se liquidará, si existe, la cuenta especial de retenciones por retrasos durante la ejecución de las tareas.

## PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

### 1. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

- 1.1. Características y requisitos.....50
- 1.2. Ensayos a materiales.....52

### 2. TAREAS A REALIZAR SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

- 2.1. Torno .....53
- 2.2. Corte .....53
- 2.3. Soldadura.....53

### 3. REALIZACIÓN DE LAS TAREAS

- 3.1. Piezas de catálogo.....55
- 3.2. Piezas a mecanizar.....56
- 3.3. Plazos.....56
- 3.4. Montaje del sistema.....57

## 1. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

### 1.1 Características y requisitos

#### Acero inoxidable 316

Las características y requisitos que debe cumplir el acero inoxidable que se use en la fabricación de los componentes del sistema son, a temperatura ambiente y presión atmosférica, las siguientes:

Composición:

C 0,08%, Mn 2.00%, Si 1,00% Cr 16.0-18,0%, Ni 10.0-14%, P 0.045% y S 0,03%

Propiedades físicas:

- Densidad: 8000 Kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de Young: 193 –200 Gpa

Propiedades mecánicas

- Límite elástico (2%): 330 Mpa
- Resistencia a la tracción: 500-525 Mpa
- Dureza: Brinell 160-190, Rockwell B 95
- Módulo de Poisson: 0,27-0,3

#### Cuarzo

Composición:

Cuarzo de alta calidad, con una pureza mínima del 99,99%. Dentro de las trazas de impurezas, el contenido en alcalinos e hidróxidos debe ser el menor posible.

Propiedades físicas:

- Densidad: 2200 Kg/m<sup>3</sup>
- Temperatura de fusión:  $\geq 1200$  °C
- Módulo de Young: 72 Gpa

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a la tracción: 48 Mpa
- Resistencia a compresión: Mayor que 1,1 GPa

- Módulo de Poisson: 0,17

#### Propiedades térmicas:

- Coeficiente de expansión térmica:  $5,5 \cdot 10^{-7}$  cm/cm· °C
- Conductividad térmica: 1,4 W/m·°C
- Calor específico: 670 J/kg·°C

#### Propiedades ópticas:

- Constante dieléctrica: 3,75
- Tensión dieléctrica:  $5 \cdot 10^7$  V/m
- Factor de pérdidas:  $< 4 \cdot 10^{-4}$
- Factor de disipación:  $< 1 \cdot 10^{-4}$
- Índice de refracción: 1,458 m/s
- Velocidad de propagación de ondas:  $3,75 \cdot 10^3$  -  $5,9 \cdot 10^3$  m/s

#### Otras:

- Constante de permeabilidad para el hidrógeno  $\leq 21 \cdot 10^{-10}$
- Velocidad de aporte de gas de las paredes:  $\leq 9 \cdot 10^{-10}$  mbar·l/s·cm<sup>2</sup>

### **Cobre**

#### Composición:

Cobre de alta calidad, con una pureza mínima del 99,9%.

#### Propiedades físicas:

- Densidad: 8960 Kg/m<sup>3</sup>
- Temperatura de fusión:  $\geq 1085$  °C
- Módulo de Young: 111 Gpa

#### Propiedades térmicas:

- Coeficiente de expansión térmica:  $1,65 \cdot 10^{-5}$  cm/cm· °C
- Conductividad térmica: 401 W/m·°C
- Calor específico: 385 J/kg·°C

#### Propiedades eléctricas:

- Resistividad eléctrica  $\leq 1,67 \cdot 10^{-8}$

## 1.2. Ensayos a materiales

Sobre los materiales que constituirán los diferentes componentes del sistema, el fabricante realizará ensayos, al menos uno de cada partida, para asegurar que se cumplen las especificaciones establecidas.

Los ensayos a realizar sobre los materiales son los siguientes:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de compresión
- Ensayo de dureza

Los ensayos se llevarán a cabo según las siguientes normas UNE:

- UNE 7474-1: 1992 Materiales metálicos. Ensayo de tracción
- UNE-EN ISO 6506-1: 2000 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell.
- UNE-EN ISO 6508-1: 2000 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Rockwell.

Los ensayos se realizarán por triplicado, siendo necesario que las tres pruebas cumplan los requisitos especificados para los materiales.

## 2. TAREAS A REALIZAR SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

El mecanizado de las piezas se realizará en un taller mecánico de precisión.

Las operaciones que se incluyen son:

### 2.1. Torno

Las operaciones de torneado se realizan principalmente para realizar roscas y rebajes de piezas cilíndricas.

Los requisitos que debe reunir la herramienta así como el desarrollo de los trabajos serán conformes a las normas siguientes:

- UNE 15318: 1990 Tornos paralelos de uso general. Control de precisión.
- UNE 15322: 1992 Tornos verticales de una o dos columnas, de mesa fija o desplazable. Introducción general y control de la precisión.
- UNE 15323-1: 1992 Tornos horizontales revolver y automáticos monohusillo. Parte 1.
- UNE 15323-2: 1992 Tornos horizontales revolver y automáticos. Parte 2.

### 2.2. Corte

Las operaciones de corte necesarias y los equipos que las realicen deben ajustarse a las normas siguientes:

- UNE-EN 12584: 1999 Imperfecciones en los cortes realizados por oxicorte, láser y plasma.
- UNE-EN 28206: 1993 Ensayos de recepción para máquinas de oxicorte.

### 2.3. Soldadura

Las soldaduras que se realizarán en el conjunto serán de tipo TIG, debiéndose ajustar a las normas siguientes:

- UNE 14208: 1992 Electrodo de wolframio para el soldeo por arco en atmósfera inerte, con electrodo refractario y para el soldeo y corte con plasma.

- UNE-EN 288: 1993 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. UNE-EN 288-1: 1993, UNE-EN 288-2: 1993, UNE-EN 288-3: 1993 Partes 1, 2 y 3.
- UNE-EN 29692: 1995 Soldero por arco con electrodo revestido, soldero por arco con protección gaseosa y soldero por gas.

En los cálculos, se supone que los factores de eficiencia para las soldaduras son 1 por lo que deberán inspeccionarse todas las soldaduras en su totalidad. Las inspecciones de las soldaduras se harán conforme a las siguientes normas, según la técnica que se utilice:

- UNE 14618:2000 Inspecciones de soldadura. Cualificación y certificación.
- UNE-EN 12062:1997 Examen no destructivo de soldaduras. Reglas generales para los materiales metálicos.
- UNE 14612:1980 Práctica recomendada para el examen de las uniones soldadas mediante la utilización de líquidos penetrantes.
- UNE-EN 12517:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Examen radiográfico de uniones soldadas.
- UNE-EN 1290:1998 Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen de uniones soldadas mediante partículas magnéticas.
- UNE-EN 1714:1998 Examen no destructivo de soldaduras. Examen ultrasónico de uniones soldadas.

### 3. REALIZACIÓN DE LAS TAREAS

#### 3.1. Piezas de catálogo

Las piezas que pueden adquirirse directamente del catálogo son las siguientes:

- Bridas de vacío NW10, NW16, NW25 y NW50 (con sus correspondientes mordazas, anillos de centrado y juntas de vitón)

Estas bridas deben cumplir los requisitos dimensionales establecidos en el plano A.

- Brida de vacío con puerta de acceso NW50
- Brida de vacío con puerto óptico de visualización, NW50

Estas bridas deben cumplir los requisitos dimensionales establecidos en los planos B y C, respectivamente.

- Bomba de vacío rotatoria de paletas con velocidad nominal 0,7 l/s
- Bomba de vacío turbomolecular con velocidad nominal 40 l/s
- Magnetron, frecuencia 2,45 GHz, potencia máxima 1Kw
- Circulador RW340
- Sintonizador de triple stub RW340
- Aplicador RW340, diámetro tubo 51 mm
- Terminación guía onda RW340
- Válvulas de vacío de bola, de diámetro 16 y 25 mm.
- Válvula de aislamiento, de diámetro 16 cm.
- Sensor de infrarrojos
- Sensores de presión
- Controladores de flujo másico

Estos elementos deberán reunir las características técnicas indicadas en la memoria ( apartado 7.2. Descripción técnica de los componentes del sistema)

### 3.2. Piezas a mecanizar

Las piezas a mecanizar se trabajarán a partir de los materiales de partida indicados en el presupuesto. Estos materiales deberán cumplir las condiciones establecidas en el apartado 1 de este Pliego, y el mecanizado se realizará de acuerdo a las normas expuestas en el apartado 2.

Las piezas a mecanizar son las siguientes:

- Adaptador superior
- Adaptador inferior
- Tubo interior de la cámara de reacción
- Portamuestras
- Cámara de reacción

### 3.3. Plazos

Los plazos a cumplir por el contratista son los siguientes:

- Adquisición de materiales para el mecanizado. Plazo máximo de 30 días naturales, desde el momento de inicio de las prestaciones o de la firma del contrato ( a especificar por el Promotor en acuerdo con el contratista).
- Adquisición de elementos de catálogo: Plazo máximo de 30 días naturales a partir del inicio de las prestaciones o de la firma del contrato (según acuerdo entre Promotor y Contratista)
- Mecanizado de piezas: 15 días naturales contados desde el momento en el que se han adquirido todos los materiales.
- Montaje de componentes del equipo: 15 días naturales contabilizados desde el momento en el que se tienen mecanizadas todas las piezas y adquiridos todos los elementos de catálogo.

### 3.4. Montaje del sistema

En este apartado se indica como debe realizarse el montaje del sistema una vez que se han concluido los trabajos de mecanizado de piezas y se han adquirido todos los elementos de catálogo. Se describen paso a paso las operaciones para un correcto montaje.

1. Soldadura de las bridas NW10, NW16, NW25 y NW50 en los correspondientes extremos de pieza, accesorios y conducciones.
2. Encolado del casquillo metálico del portamuestras con adhesivo epoxi y curado en las condiciones de presión y temperatura indicadas por el fabricante del adhesivo.
3. Unión del magnetrón con el circulador mediante atornillado de sus respectivas bridas, incluyendo junta de vitón.
4. Unión del circulador con el sintonizador, mediante atornillado de sus respectivas bridas, incluyendo junta de vitón.
5. Unión del sintonizador con el aplicador mediante atornillado de sus respectivas bridas, incluyendo junta de vitón.
6. Unión del aplicador con la terminación mediante atornillado de sus respectivas bridas, incluyendo junta de vitón.
7. Atornillar las protecciones cilíndricas de cobre en el aplicador.
8. Deslizar desde el extremo inferior de la cámara de reacción la rosca hembra del adaptador inferior.
9. Acoplar el anillo de centrado y la junta de vitón del adaptador inferior en la cámara de reacción.
10. Introducción del extremo inferior de la cámara de reacción en el cuerpo del adaptador inferior hasta la marca de encaje.
11. Situar correctamente el anillo de centrado y la junta de vitón.
12. Introducir la cámara de reacción en el aplicador desde la parte inferior.
13. Mantener sujeta la cámara de reacción mediante la aplicación de un brazo metálico fijador que rodea el adaptador inferior.

14. Introducción del portamuestras y enroscado del casquillo con la rosca interna del adaptador inferior.
15. Fijación de la brida con puerta de acceso con la brida del adaptador inferior con el correspondiente anillo de centrado, junta de vitón y mordaza.
16. Colocación y montaje de los sensores de presión
17. Montaje del adaptador superior siguiendo los mismos pasos que para el adaptador inferior.
18. Fijación de la brida de visualización con la brida del adaptador superior con el correspondiente anillo de centrado, junta de vitón y mordaza
19. Colocación del pirómetro de infrarrojos
20. Montaje de las líneas de entrada y salida de gases con los correspondientes medidores de flujo, válvulas...
21. Unión de las líneas de entrada y salida de gases con las conexiones de la cámara de reacción.
22. Unión de los extremos de las conducciones a las botellas de almacenamiento de gases y a las bombas de vacío

Para realizar el montaje de los elementos adquiridos por catálogo se seguirán las instrucciones suministradas por el fabricante.

## **PRESUPUESTO**

<b>1. PRECIOS UNITARIOS.....</b>	<b>2</b>
1.1. Mecanizado de piezas.....	2
1.2. Material y elementos.....	2
<b>2. PARTIDAS.....</b>	<b>4</b>
2.1. Partida número 1: Adaptador superior.....	4
2.2. Partida número 2: Adaptador inferior.....	5
2.3. Partida número 3: Brida de visualización y brida de puerta de acceso..	6
2.4. Partida número 4: Cámara de reacción.....	6
2.5. Partida número 5: Guía de onda.....	7
2.6. Partida número 6: Conducciones de gases.....	8
2.7. Partida número 7: Sensores.....	10
2.8. Partida número 8: Bombas de vacío.....	10
2.9. Partida alzada.....	11
<b>3. COSTE TOTAL.....</b>	<b>12</b>

## 1. PRECIOS UNITARIOS

### 1.1 Mecanizado de las piezas

Concepto	Precio	Velocidad de trabajo
Torno	23,13 €/h	20 mm /h (media)
Soldadura	26,44 €/h	1000 mm / h
Corte	26,44 €/h	1000 mm / h
Taladrado	22,20 €/h	2 m / h

Estos precios incluyen todos los conceptos necesarios para la operación correspondiente.

### 1.2 Elementos

Material	Elemento	Precio
Acero inoxidable AISI 316	Tubo 10 mm OD 11,8 mm ID	16,75 €/m
	Tubo 16 mm OD 12,7 mm ID	20,26 €/m
	Tubo 24 mm OD 20,7 mm ID	26,23 €/m
	Tubo 53 mm OD 49 mm ID	60,25 €/m
	Cilindro 57 mm diámetro	150,25 €/m
Cuarzo fundido	Tubo 49 mm OD 44 mm ID	62,52 €/m
	Tubo 23 mm OD 18 mm ID	35,26 €/m
Acero inoxidable AISI 316	Bridas NW 10	6 €
	Bridas NW16	6 €
	Bridas NW25	6.81 €
	Bridas NW50	14 €
Acero inoxidable AISI 316 / Vitón	Anillo centrado NW 10 / junta	4 €
	Anillo de centrado NW 16 / junta	4 €
	Anillo de centrado NW 25/junta	5 €
	Anillo de centrado NW 50/junta	9,5 €

Material	Elemento	Precio
Acero inoxidable AISI 316 Cuarzo / AISI 316	Mordazas bridas NW 10	7.60 €
	Mordazas bridas NW 16	7.60 €
	Mordazas bridas NW 25	9 €
	Mordazas bridas NW 50	12.60 €
	Brida de visualización NW50	151.5 €
	T NW 16	44.2 €
Silicio	Lámina 20 µm	62 €/m <sup>2</sup>
Cobre	Circulador RW340	356 €
	Sintonizador triple RW340	836 €
	Aplicador RW340	403 €
	Terminación RW340	305 €

Elemento	Descripción	Precio
Válvulas	Válvula in-line NW16	265 €
	Válvula in-line NW25	284 €
	Válvula de aislamiento NW16	412 €
Controladores de flujo y sensores	Detector hidrógeno	37.80 €
	Controladores de flujo másico	130,50 €
	Sensores de presión	
	Cátodo frío NW16	265 €
	Pirani NW16	228 €
	Pirómetro de infrarrojos	21,32 €
Generadores	Bomba de vacío rotatoria	1310 €
	Bomba de vacío turbomolecular	2392 €
	Magnetron RW340	85.40 €

## 2. PARTIDAS

### 2.1. Partida número 1: Adaptador superior

#### 2.1.1. Cuerpo adaptador superior

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 53 mm OD 49 mm ID, L = 400 mm	15,06 € (200mm)
Corte	1 corte de longitud 200 mm	3,84 €

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 53 mm OD 49 mm ID, L = 200 mm	12,05 €
Torno	Reducción 2 mm OD en 25 mm	2,3 €
	Rosca M56 con terraja en zona no reducida	1,5 €
Taladradora	Taladro 11,8 mm D	1 €

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 10 mm OD 11,8 mm ID, L = 4000 mm	0,35 € (20 mm)
Corte	1 corte (segmento 20 mm)	0,90 €
Soldadura	soldadura de longitud 37 mm (corte L = 20 mm con taladro)	1 €

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 brida NW 50	14 €
Soldadura	Soldadura de longitud 315 mm	3,82 €

### 2.1.2. Rosca hembra adaptador superior

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 57 mm OD 49 mm ID L = 200 mm	37,56 € (50 mm)
Corte	1 corte (segmentos 50 mm)	3,84 €
Torno	Reducción hasta 53 mm ID, L = 45 mm	4,6 €
	Rosca M56 con macho en zona reducida	1,6 €

**TOTAL PARTIDA Nº 1 = 103,2 €**

### 2.2. Partida número 2: Adaptador inferior

#### 2.2.1. Cuerpo adaptador inferior

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 57 mm OD, 25 mm ID, L = 200 mm	22,5 €
Torno	Reducción hasta 51 mm ID en L = 150 mm	30 €
	Taladro D = 25mm en zona no reducida L=50 mm	25,4 €
	Rosca M24 con macho en zona no reducida	1,6 €
	Reducción 2 mm OD en 175 mm	2,1 €
	Rosca M56 con terraja en zona no reducida	1,5 €
Taladradora	Taladro D = 16 mm	0,60€
	Taladro D = 25 mm	0,60 €

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 brida NW 25	6,81 €
Soldadura	Soldadura de longitud 85 mm	2,02 €

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 brida NW 50	14 €

Soldadura	Soldadura de longitud 315 mm	3,82 €
-----------	------------------------------	--------

### 2.2.2. Rosca hembra adaptador inferior

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 tubo acero 57 mm OD 49 mm ID L = 200 mm (50 mm)	37,56 €
Corte	1 corte (segmentos 50 mm)	3,84 €
Torno	Reducción hasta 53 mm ID, L = 45 mm	4,6 €
	Rosca M56 con macho en zona reducida	1,6 €

**TOTAL PARTIDA Nº 2 = 158,5 €**

### 2.3. Partida número 3: Brida de visualización y brida de puerta de acceso

Elemento	Precio
Brida de visualización NW50	151.5 €
Brida de puerta de acceso NW50	246 €
2 anillos de centrado NW 50/junta	19 €
Mordazas bridas NW 50	25,2 €

**TOTAL PARTIDA Nº 3 = 442 €**

### 2.4. Partida número 4: Cámara de reacción

#### 2.4.1. Tubo de cuarzo externo

Concepto	Descripción	Precio
Material	Tubo cuarzo 49 mm OD 44 mm ID, L = 1000 mm	62,52 €
Corte	1 corte (segmento 750 mm)	4 €

#### 2.4.2. Casquillo tubo cuarzo interno

Concepto	Descripción	Precio
Material	Tubo acero 26 mm OD 24,2 mm ID, L = 50 mm	1,31 €

Torno	Rosca con terraja M24	1,50 €
-------	-----------------------	--------

Concepto	Descripción	Precio
Material	Brida ciega NW25	5,7 €
Soldadura	Soldadura de longitud 85 mm	2,02 €

Concepto	Descripción	Precio
Adhesión	Encolado y curado casquillo/ tubo cuarzo	5,02 €

### 2.4.3. Tubo de cuarzo interno

Concepto	Descripción	Precio
Material	Tubo cuarzo 23 mm OD 18 mm ID, L = 500 mm cerrado en un extremo	18,75 €
Corte	1 corte (segmento 375 mm)	3,20 €
Torno	Reducción 1mm en extremo cerrado D = 10 mm	0,50 €

**TOTAL PARTIDA Nº 4 = 104,5 €**

### 2.5. Partida número 5: Guía de onda

Elemento	Precio
Aislador RW340	356 €
Sintonizador triple RW340	836 €
Aplicador RW340	403 €
Terminación RW340	305 €
Magnetron RW340	85,40 €

**2.6. Partida número 6: Conducciones de gases** **TOTAL PARTIDA Nº 5: 1985 €**

**2.6.1. Tramo botellas almacenamiento de gases a punto de unión de las tres conducciones**

Concepto	Descripción	Precio
Material	2,5 m tubo acero 10 mm OD 11,8 mm ID	41,87 €
	2 codos 90° NW10	58 €
	1 cruz NW10	42 €
	7 bridas NW10	42 €
	7 Anillo centrado NW 10 / junta	28 €
	7 mordazas NW 10	53.2€
	2 controladores de flujo másico	261 €
Corte	7 cortes	1,85 €
Soldadura	7 soldaduras	2,9 €

### 2.6.2. Tramo de conducción única hasta la cámara de reacción

Concepto	Descripción	Precio
Material	1 m tubo acero 10 mm OD 11,8 mm ID	16,75 €
	1 codo 90° NW10	29 €
	4 bridas NW10	24 €
	4 Anillos centrado NW 10 / junta	16 €
	4 mordazas NW 10	30,4€
Corte	2 cortes	0,50 €
Soldadura	4 soldaduras	2,49 €

### 2.6.3. Tramo de la cámara de reacción a las bombas de vacío

Concepto	Descripción	Precio
Material	0,75 m tubo acero 24 mm OD 20,7 mm ID	16,75 €

	2 codos 90° NW25	65 €
	1 T reductora NW25/NW16	54,5 €
	2 bridas NW25	13,62 €
	6 Anillos centrado NW 25 / junta	24 €
	6 mordazas NW 25	45,6 €
	1,5 m tubo acero 16 mm OD 12,67 mm ID	30,4 €
	2 codos 90° NW16	58 €
	1 T NW16	44,2 €
	6 bridas NW16	36 €
	10 anillos centrado NW16 /junta	40 €
	10 mordazas NW 16	76 €
	Válvula in-line NW16	265 €
	Válvula in-line NW25	284 €
	Válvula de aislamiento NW16	412 €
Soldadura	8 soldaduras	5 €
Corte	6 cortes	1,5 €

**TOTAL PARTIDA Nº 6: 2121 €**

## 2.7. Partida número 7: Sensores

Elemento	Precio
Detector hidrógeno	37,80 €

Cátodo frío NW16	265 €
Pirani NW16	228 €
Pirómetro de infrarrojos	21,32 €

**TOTAL PARTIDA Nº 7: 552 €**

## **2.8. Partida número 8: Bombas de vacío**

<b>Elemento</b>	<b>Precio</b>
Bomba de vacío rotatoria	1310 €
Bomba de vacío turbomolecular	2392 €

**TOTAL PARTIDA Nº 8: 3702 €**

## **2.9. Partidas alzadas**

Las partidas alzadas incluyen los ensayos a realizar sobre los materiales especificados en el Pliego de Condiciones Particulares, el cableado del sistema

y otros elementos a incorporar en el mismo que no se hayan tenido en consideración.

**Importe total de la partida alzada: 2000 €**

### **3. COSTE TOTAL**

<b>Partida</b>	<b>Coste</b>
Partida número 1	103,2 €

"Adaptador superior"	
Partida número 2 "Adaptador inferior"	158,5 €
Partida número 3 "Brida de visualización y brida de puerta de acceso "	442 €
Partida número 4 "Cámara de reacción"	104,5 €
Partida número 5 "Guía de onda"	1985 €
Partida número 6 "Conducciones de gases"	2121 €
Partida número 7 "Sensores"	552 €
Partida número 8 "Bombas de vacío"	3702 €
Partida alzada	2000 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>11168 €</b>

**En Puerto Real, a 20 de Diciembre de 2004**

**Desirée Guzmán Rabanillo**

