



SALA BLANCA PARA PROCESOS DE DEPOSICIÓN Y LITOGRAFÍA DE MATERIALES Y NANOMATERIALES

Especialidad: Enginyeria de Materials

Autor: Jordi Castañé Sánchez

Tutores: Gemma Garcia Alonso y M^a Ángeles Benítez
Almarza

Bellaterra, Junio 2009

Gemma Garcia Alonso y M^a Ángeles Benítez Almarza, como tutores del proyecto de fin de carrera de la titulación de Ingeniería de Materiales del alumno Jordi Castañé Sánchez.

Certifican:

Que el proyecto con título “Diseño de una Sala Blanca para procesos de Deposición y Litografía de Materiales y Nanomateriales” ha sido realizado bajo su dirección y cumpliendo con los requisitos establecidos y que constituye su proyecto de fin de carrera para optar al grado de Ingeniero de Materiales.

Bellaterra, Junio de 2009

Dra. Gemma Garcia Alonso

Investigador R&C de la UAB

Dra. M^a Ángeles Benítez Almarza

Director técnico del Laboratorio de Ambiente
Controlado de la UAB

Índice

1. Introducción

- 1.1. Contenido de la memoria*
- 1.2. Origen y motivación*
- 1.3. Requisitos y condicionantes*
- 1.4. Objetivos del proyecto*

2. Salas Blancas

- 2.1. Origen de las salas blancas*
- 2.2. Aplicaciones de las salas blancas*
- 2.3. Clasificación de las salas blancas*
 - 2.3.1. POR EL NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS
 - 2.3.2. POR EL TIPO DE FLUJO DE AIRE
- 2.4. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de la sala limpia*
 - 2.4.1. *Exigencias técnicas y normativas*
 - 2.4.2. *Personal y procesos*
 - 2.4.3. *Coste de la sala limpia*
 - 2.4.4. *Mantenimiento*
 - 2.4.5. *Coste de explotación*
 - 2.4.6. *Proyecto*
 - 2.4.7. *Tratamiento del aire*
 - 2.4.8. *Materiales*
- 2.5. Normativa aplicable al proyecto*
 - 2.5.1. *Normativa en diseño y construcción de salas blancas*
 - 2.5.2. *Normativa en validación de salas blancas*
 - 2.5.3. *Normativa en seguridad*

3. Situación actual – Laboratorio de ambiente controlado

- 3.1. Descripción de la sala blanca actual*
- 3.2. Limitaciones de la actual instalación*
- 3.3. Mejoras posibles a la situación actual*
- 3.4. Descripción de los equipos y procesos*
 - 3.4.1. *Fotolitografía*
 - 3.4.2. *Grabado/Ataque Húmedo*
 - 3.4.3. *Grabado Seco/Deposición*
 - 3.4.4. *Caracterización general y Control*
 - 3.4.5. *Área técnica y de servicios*

4. Diseño de la nueva sala blanca de la UAB

4.1. Ubicación de la sala blanca

4.2. Diseño conceptual

4.2.1. Diseño planta general

4.2.2. Diseño del direccionado de presiones

4.3. Diseño detallado

4.3.1. Diseño del sistema de tratamiento de aire

4.3.2. Cálculo de la red de conductos

4.3.3. Diseño de los elementos de filtración

4.3.4. Diseño de la maquinaria de tratamiento de aire

4.3.5. Diseño del flujo laminar

4.3.6. Diseño de los bancos químicos

4.3.7. Diseño de los elementos de difusión del aire

4.3.8. Diseño de la estructura de soporte de la sala blanca

4.3.9. Diseño de la instalación lumínica

4.1.10. Diseño del cerramiento

4.3.11. Diseño del Pavimento

4.3.12. Diseño de la instalación eléctrica, de control y regulación

4.3.13. Diseño de la instalación de tuberías de gases, de agua desionizada, de aire comprimido, agua general y desagües

4.3.14. Diseño de la zona de servicios y zona técnica

4.3.15. Diseño del búnker de gases

4.3.16. Diseño del almacén de productos químicos

4.3.17. Diseño de los sistemas de seguridad

4.3.18. Diseño de las zonas de evacuación

4.4. Estudio económico del proyecto

5. Conclusiones Generales

6. Referencias bibliográficas

1. Introducción

1.1. Contenido de la memoria

En el capítulo 1 se presenta una breve introducción donde se exponen el origen y la motivación del proyecto, los requisitos y condicionantes que enmarcan el diseño del proyecto y los objetivos a cumplir.

En el capítulo 2 se hace una explicación teórica general de la sala blanca, origen, aplicaciones, diseño, construcción, costes, mantenimiento, etc. También se trata la normativa que enmarca el proyecto, el ámbito de aplicación, las consecuencias y las acciones derivadas de la normativa.

En el capítulo 3 se describe la situación actual que da origen a este proyecto, la sala de ambiente controlado de la Facultad de Ciencias de la UAB, se analizan las limitaciones y se exponen las posibles mejoras a realizar en la nueva instalación. Se describen los procesos tecnológicos, contenido, equipos y las necesidades de la nueva sala.

En el capítulo 4 se propone un diseño que da solución a la nueva sala con los requerimientos y condicionantes del proyecto. Se tiene en cuenta el nuevo emplazamiento previsto, se exponen las soluciones en el diseño conceptual de la sala, fundamentos teóricos, cálculos técnicos, selección de materiales, diseño de detalle, etc. Por último se detallan los aspectos económicos referentes al coste físico de ejecución, coste de legalizaciones y proyectos, coste de mantenimiento anual y coste de funcionamiento mensual, también se presenta el coste del proyecto que recae sobre el Ingeniero de Materiales, es decir; coste en horas de proyecto, en materiales usados, usos de instalaciones, energía y transporte.

En el capítulo 5 se finaliza con las conclusiones, se comentan los objetivos conseguidos y no conseguidos y las posibles ampliaciones del proyecto si las hubiere.

Para finalizar en el capítulo 6 se detallan las referencias bibliográficas y anexos.

1.2. Origen y motivación

Este proyecto surgió de la necesidad real de trasladar y/o modernizar unas instalaciones, actualmente en uso, pero que han quedado anticuadas y obsoletas.

El Laboratorio de Ambiente Controlado que se encuentra en la facultad de Ciencias, es una instalación de aproximadamente 25 años de antigüedad, este espacio se está usando como “Sala Blanca”, su uso es el de trabajar con procesos de deposición física y química y procesos de litografía aplicados a materiales y nanomateriales.

Todo evoluciona y la tecnología más que nada, por ello la necesidad de investigar más y mejor nos hace buscar equipos y espacios donde podamos realizar con éxito nuestro trabajo de la forma más cómoda. El objetivo del presente proyecto es diseñar una nueva zona de trabajo donde se puedan llevar a cabo nuevos estudios de investigación con las máximas garantías de éxito y seguridad, tanto para las personas como para los desarrollos que se realizan, todo ello teniendo en cuenta el cumplimiento de las normativas actuales de seguridad y procesos para materiales y nanomateriales.

1.3. Requisitos y condicionantes

Los requisitos y condicionantes de este proyecto se pueden dividir en 3 grupos diferenciados, los dos primeros fueron facilitados por la Doctora M^a Ángeles Benítez como responsable del Laboratorio de Ambiente Controlado, usado como Sala Blanca actual, el tercer condicionante vino dado por las diferente normativa vigente a aplicar.

A continuación se enumeran estos requisitos y condicionantes de forma resumida ya que más adelante se explicitarán con más detalle:

1. Los propios procesos tecnológicos (microfabricación, deposición, litografía, tratamientos térmicos, etc.) que se quieren realizar en la futura Sala Blanca condicionan su entorno en la sala, es decir, el tipo y calidad del aire, la temperatura, la humedad relativa, la propia distribución de los equipos por su tamaño y geometría, los materiales usados, etc.
2. Debemos asegurar la protección del personal que va a utilizar esta instalación frente a los propios procesos que se desarrollan, su ergonomía y su comodidad en el trabajo.
3. La normativa vigente en seguridad e higiene, diseño de salas blancas, seguridad eléctrica, seguridad contra incendios, seguridad de gases, de productos químicos, etc.

1.4. Objetivos del proyecto

En esta memoria se presenta el trabajo desarrollado para conseguir los siguientes objetivos:

- Analizar y determinar las mejoras a la actual sala blanca.
- Diseñar una Sala Blanca en la nueva ubicación propuesta que cumpla los requisitos y condicionantes del proyecto.
- Proporcionar la distribución óptima del espacio para facilitar los procesos que se desarrollan.
- Seleccionar los elementos y materiales adecuados para poder garantizar un funcionamiento y uso adecuado.
- Cumplir con la normativa vigente en materia de seguridad, diseño e instalación de salas blancas.

Cabe remarcar que, aunque en el futuro los actuales equipos serán actualizados y renovados, para el presente proyecto se ha tenido en cuenta un traslado de los equipos ya existentes, especialmente a la hora de calcular las dimensiones y requisitos para estudiar su nueva ubicación.

2. Salas Blancas

2.1. Origen de las salas blancas

Las salas blancas aparecieron hace aproximadamente 100 años en dos áreas, la hospitalaria para controlar las infecciones en hospitales y la industria de armamento, posteriormente fueron aplicadas a la industria de la microelectrónica, posteriormente se observó su utilidad en la fabricación de semiconductores, microchips, etc. ya que debido a su minúsculo tamaño necesitan de ambientes libres de partículas, con el paso de los años su uso se fue extendiendo a muchos otros ámbitos como el farmacéutico, alimentario, nanotecnológico, químico, etc...

*La definición de sala blanca según la **Federal Standard 209 D** es:*

"Una habitación donde la concentración de partículas en el aire es controlado por límites especificados".

*La definición de sala blanca según la **British Standard 5295** es:*

"Una habitación con control de partículas contaminantes, construida y usada minimizando la introducción, generación y retención de partículas; y donde la temperatura, humedad y presión es controlada según necesidades".

Así, podemos resumirlo como una zona en la que ciertos parámetros críticos se mantienen alrededor de unos valores de consigna necesarios para una determinada función independientemente de las condiciones exteriores y el proceso de producción que se realice en su interior, los parámetros generales son los siguientes:

- ✓ Número y dimensiones de partículas en el aire
- ✓ Temperatura seca y húmeda y distribución de la misma
- ✓ Flujo del aire: velocidad, dirección y distribución
- ✓ Presión interior del aire y su distribución
- ✓ Geometría y acabados interiores
- ✓ Iluminación
- ✓ Protección contra incendios
- ✓ Protección electrostática
- ✓ Control y seguridad sobre la gestión, control energético y comunicación.

2.2. Aplicaciones de las salas blancas

Se encuentran salas blancas en las siguientes áreas:

- La industria electrónica: Ordenadores, televisores, etc.
- La industria de semiconductores: Producción de circuitos integrados, etc.

- La industria micromecánica: Giróscopos, equipos compact-disc, etc.
- La industria óptica: Equipos láser, lentes, etc.
- La industria química: Producción de materias primas para industria farmacéutica, etc.
- La industria farmacéutica: Investigación y desarrollo, producción, etc.
- La industria de equipos médicos: Válvulas cardíacas, sistemas by-pass, etc.
- La industria alimentaria: Comida y bebida procesada, producción de bebidas, etc.
- Hospitales y clínicas: Terapias inmunodeprimidos, quirófanos, etc.

Todos estos ámbitos persiguen una alta calidad en el aire, la diferencia entre una aplicación u otra reside en si queremos proteger al producto, al operador, al ambiente o combinaciones de ellos. En electrónica, micromecánica, semiconductores, óptica, etc. se persigue la protección del producto contra partículas que interfieran, en industria farmacéutica y química se debe proteger al producto pero también al operario y al ambiente, en alimentaria se busca proteger al producto y al operador, en hospitales y clínicas se debe proteger tanto al paciente como al personal y al ambiente, etc.

2.3. Clasificación de las salas blancas

2.3.1. POR NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Las salas limpias se clasifican según el número y tamaño de partículas permitidas por el volumen de aire. Una alta clasificación como "Clase 100" o "clase 1000" (según FED-STD-209E), enumera el número de partículas de tamaño 0,5 micras más grande permitida por el pie cúbico.

Según la norma ISO 14644-1, la clasificación que va desde 1 al 6 se especifica con el logaritmo decimal del número de partículas de 0.1 micras o más grande permitido por metro cúbico de aire. Así, por ejemplo, una sala blanca ISO clase 5 ha en la mayoría de $10^5 = 100.000$ partículas por m^3 .

ISO 14644-1 cleanroom standards

Class	maximum particles/ m^3						FED STD 209E equivalent
	$\geq 0.1 \mu m$	$\geq 0.2 \mu m$	$\geq 0.3 \mu m$	$\geq 0.5 \mu m$	$\geq 1 \mu m$	$\geq 5 \mu m$	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room air

Tabla 1: clasificación salas limpias según ISO 14644-1 y equivalencia con FED STD 209E

2.3.2. POR TIPO DE FLUJO DE AIRE

Básicamente se dividen en flujo multidireccional y unidireccional.

Flujo multidireccional

En el flujo multidireccional como su nombre indica, se trata de un flujo no direccionado que se impulsa a la zona desde un punto o puntos y se aspira por otro punto o puntos situados de diferente forma, en el camino desde la entrada hasta la salida este aire puede realizar cualquier camino y dirección.

No se evitan las contaminaciones cruzadas en este tipo de flujo y la manera de conseguir un grado de pureza del aire es mediante la renovación constante del volumen de la sala.

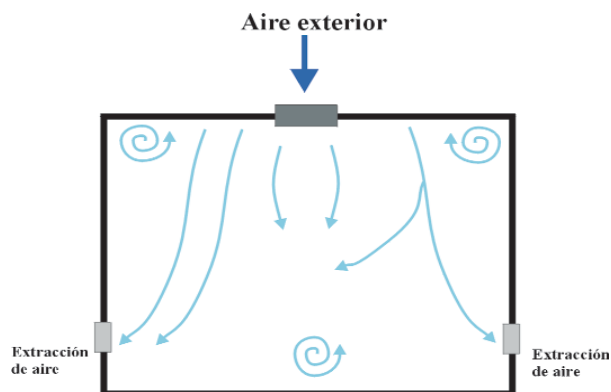


Ilustración 1: flujo multidireccional o turbulento

Flujo unidireccional

El aire es introducido por una superficie que puede ser vertical u horizontal a una velocidad constante ($0.45\text{m/s} \pm 20\%$ según ISO 14644-1), recorriendo uniformemente toda la sala produciendo un barrido efecto pistón continuo y siendo extraído por un punto opuesto que idealmente debería ser simétrico a la superficie de impulsión. Este barrido no es totalmente uniforme debido a la presencia en la sala de equipamiento y personas que produce pequeñas turbulencias, de aquí la importancia del diseño de los elementos y de su posición.

De todas formas la trayectoria del aire en el interior de la sala es predecible con una exactitud aceptable, garantizando la no contaminación por contaminaciones cruzadas de los componentes o productos de fabricación.

Hay dos tipos de flujo laminar unidireccional, el vertical y el horizontal.

En el flujo vertical el sentido del flujo es de arriba hacia abajo como se ve en la ilustración 2, con lo que el flujo de aire protege al operador y al producto evitando así las contaminaciones cruzadas.

En el flujo horizontal el flujo sale desde una pared a la otra con lo que no evitamos la contaminación del operario que se encuentra detrás del producto.



Ilustración 2: flujo laminar unidireccional vertical

2.4. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de la sala limpia

En el diseño de las salas blancas influyen fundamentalmente:

- La dedicación y uso.
- Las condiciones exteriores.
- La tecnología disponible de filtración.
- El proceso de construcción.
- La calidad de los materiales que intervienen en la fabricación.
- El coste de primera instalación.
- El coste de explotación.

En el diseño es imprescindible contemplar:

- La flexibilidad o posibilidad de realizar cambios de distribución.
- La modularidad del sistema.
- La funcionalidad o adaptación al proceso constructivo para no encarecer innecesariamente el coste inicial del sistema.
- La seguridad de funcionamiento.
- El proceso en su interior.

2.4.1. Exigencias técnicas y normativas

El cumplimiento de todas las necesidades con independencia de cuál sea la clase de la sala limpia y el cumplimiento de las normativas vigentes de aplicación son totalmente obligadas al diseñar y construir una sala limpia, el no cumplimiento denegaría la obtención de los permisos necesarios para poder ejecutar una actividad determinada.

2.4.2. Personal y procesos

Cada proyecto de sala limpia responde a una necesidad diferente y personalizada, si es cierto que para cada grupo y actividad la sala limpia cumple con requisitos similares, pero siempre se debe tener en cuenta tanto al personal como a los procesos que se van a desarrollar. Es imprescindible seleccionar adecuadamente las medidas de seguridad de las personas y los bienes. La tecnología actual posee equipos de seguridad que proporcionan medios para que tanto la seguridad de las personas como las del proceso productivo sean las adecuadas.

2.4.3. Coste de la sala limpia

Hemos de valorar el coste inicial de la sala limpia, teniendo en cuenta de que la inversión inicial puede ser elevada debido al componente tecnológico de la instalación. Aunque hay que pensar que es una inversión totalmente necesaria, que sin ella, el fin deseado no se podría llevar a cabo de una forma segura para el producto, el personal y el ambiente.

2.4.4. Coste de mantenimiento

Es imprescindible tener en cuenta en el diseño la previsión de espacios necesarios para el mantenimiento, sustitución e inspección de los elementos que intervienen en el funcionamiento de la sala limpia. A la vez que se debe tener en cuenta en el presupuesto

económico el coste de mantenimiento anual necesario para el funcionamiento de la sala limpia.

A continuación se muestra una comparativa del coste del mantenimiento según la clasificación de la sala limpia:

CLASE	COSTE RELATIVO
100.000	1
10.000	1,5
1.000	4,0
10	10,0
Sólo con aire acondicionado	0,25

Tabla 2

2.4.5. Coste de explotación

El coste más importante suele ser el del tratamiento de filtración y térmico necesario para acondicionar el aire para lograr el número de partículas máximo admisible y la temperatura y humedad necesaria.

A continuación se muestra una tabla comparativa del coste de explotación según la clasificación de la sala limpia:

CLASE	COSTE RELATIVO
100.000	1
10.000	1,5
1.000	2,5
10	5,0
aire acondicionado	0,2

Tabla 3

2.4.6. Proyecto

La sala limpia como todo proyecto complejo necesita de un equipo que sea capaz de aglutinar todas las disciplinas que lo componen. Se deben conocer perfectamente todas las técnicas en ingeniería, construcción y la normativa que interviene en el proyecto.

2.4.7. Tratamiento del aire

El apartado del tratamiento del aire es el más complejo, se deben dominar los campos de la filtración de alta eficiencia, refrigeración, climatización y la dinámica de fluidos.

Considerando la actual normativa y bajo el punto de vista de las exigencias de la sala limpia, se han de tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Dividir la sala siempre que sea posible en sectores de clase diferente. Conociendo bien el proceso suele ser casi siempre posible dividir la sala en zonas de diferentes exigencias. De esta división se deducirá la dirección de los flujos de aire y por tanto los puntos de evacuación, también se intentará separar las clases interponiendo esclusas

con función de puertas enclavadas para no comunicar clasificaciones diferentes ni zonas críticas.

2. Analizar la compatibilidad de las direcciones de flujo diseñadas con la distribución de equipos, herramientas y personas que los utilizan. Generalmente difiere bastante el flujo de aire de una sala vacía y de la misma sala en operación.
3. Analizar detenidamente el número, tamaño y vida de las partículas que desprenden los materiales usados en los cerramientos.
4. Analizar detenidamente el vestuario de las personas del interior de las zonas.
5. Estudio ergonómico de la actividad de las personas y número máximo de las mismas compatible con el mantenimiento de la clase.
6. Estudio del potencial electrostático de los materiales de la sala, de los del producto de fabricación, de los métodos para reducir la electricidad estática hasta cifras que sean compatibles con el proceso y la seguridad de las personas.
7. Formación del personal y control de la salud física de los mismos.
8. Validación de lo diseñado mediante métodos analógicos.
9. Disciplina en el desplazamiento de personas limitando al máximo el acceso a zonas de clase baja.
10. Conocer las necesidades de temperatura y humedad relativa del aire exterior y sobre todo del aire interior requerido.

Los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de la sala limpia son:

Presión en el interior de la sala limpia

El proceso de fabricación y la clase de la sala exigen una presurización determinada según normativa (saltos de entre 10Pa a 15Pa para salas de diferente clasificación según ISO 14644-1), se debe diseñar el escalonado de presiones de mayor clasificación a menor clasificación donde las salas con la clase más elevada serán las que tengan la mayor presión respecto al exterior y siempre garantizando un escalonado de presiones adecuado desde mayor clase hasta el exterior sin clasificar.

El sentido de la presurización es muy importante debido a la peligrosidad del producto que se esté manipulando. Por ejemplo, si la sala blanca está destinada a microbiología, el sentido de la presión será siempre negativo, es decir, se deberá conseguir que nada pueda salir de la sala hacia el exterior para evitar la contaminación fuera de la zona clasificada. Lo mismo sucede si se están manipulando gases tóxicos o productos químicos. Esta protección por direccionalidad de presiones irá acompañada por captaciones puntuales necesarias en los puntos de mayor concentración.

Resulta necesaria la introducción de equipos de medida, de transmisión de datos, de capacidad de respuesta y de control y regulación muy sensibles para mantener la presión dentro de tolerancias requeridas y poder detectar cualquier desviación o anomalía.

Es necesario señalar que un sistema de presurización estándar no tiene un tiempo de respuesta suficientemente rápido como para compensar bruscas variaciones en la presión diferencial por lo que es necesario diseñar esclusas que puedan presurizarse previamente y que atenúen los cambios bruscos que podrían producirse en caso contrario. Resulta, por tanto, imprescindible la utilización de esclusas presurizables (SAS), sobre todo en los vestuarios y en las entradas con el fin de no conectar directamente dos salas con clasificaciones diferentes y no descompensar más de dos salas a la vez.

Temperatura

La temperatura puede ser diferente dependiendo del proceso a realizar, del producto o de las personas que van a utilizar la zona.

Suele ser el proceso el que determina el rango de temperaturas de trabajo y por tanto, la temperatura más adecuada para el entorno, según el producto a fabricar o manipular condiciona la temperatura de la sala o en el caso en que la vestimenta del personal sea muy pesada y pueda generar calor a los operarios.

Mantener temperaturas bajas y tolerancias pequeñas exige un sobre dimensionamiento del equipo térmico y necesita de una instalación de control y regulación muy sensible a pequeñas variaciones de carga térmica. También es necesario que las condiciones climáticas exteriores no influyan en la carga térmica del local, por lo que es usual la colocación de salas blancas en el interior de otras salas donde la temperatura sea prácticamente constante y del uso de materiales con gran aislamiento térmico.

Humedad

El parámetro de humedad dependerá también del proceso y del producto y no tanto del personal.

Debe evitarse la condensación en el interior de la zona, según el proceso y el producto podemos necesitar valores de humedad fuera de los rangos comunes de entre 45-65%, por ejemplo en la fabricación y manipulación de productos higroscópicos, efervescentes, etc. También se debe tener en cuenta que valores bajos de humedad, inferiores al 40% pueden causar problemas de electricidad estática y problemas de salud para el personal.

2.4.8. Materiales

Las salas limpias deben estar diseñadas y construidas con materiales de una calidad superior a los empleados en la ejecución de cualquier otro tipo de edificación. Esto es así ya que en una sala limpia tienen que cumplirse una serie de condiciones en lo que respecta a los materiales que forman su arquitectura:

- Durabilidad
- Inocuidad
- Resistencia física y química
- Proveer de una buena estanqueidad
- Proporcionar facilidad de limpieza
- Tener capacidad de descarga de electricidad estática
- Buen comportamiento frente al fuego
- Reciclabilidad

Materiales de uso común en otro tipo de construcciones (ladrillos, bloques de hormigón, placas de yeso, etc.) son inadmisibles. Las salas limpias, sean de presión positiva como de presión negativa, deben asegurar la estanqueidad. Esto sólo es posible con materiales no porosos que faciliten el sellado en las juntas. La facilidad de limpieza y, aún más, el diseño de las superficies de modo que retengan la menor suciedad posible, es otra característica fundamental en los materiales de construcción. Por ello, se deben usar materiales con superficies totalmente lisas y no porosas, sin rugosidades ni resaltes.

Las superficies de los materiales deben poseer la suficiente dureza y estabilidad como para que un golpe no facilite que se desprendan partículas que afecten a la limpieza de la sala. Al mismo tiempo, estas superficies deben resistir la acción de agentes químicos normalmente utilizados en operaciones de limpieza o en el propio proceso. En ocasiones debe recurrirse a paneles con acabados especiales debido a las operaciones que se desarrollan en la sala. Los materiales que permiten una correcta “puesta a tierra” facilitan la descarga electrostática de las superficies, lo que incide en su mayor facilidad de limpieza (las partículas no se ven atraídas

sobre una superficie cargada) y en la prevención de problemas en algunas operaciones (fabricación de semiconductores, por ejemplo).

A continuación se detallan las características que deben cumplir los materiales más importantes:

Paredes

Están formadas por paneles de material compuesto, construido por dos caras exteriores que aseguren las condiciones que se han comentado anteriormente y un núcleo interno que aporta rigidez al conjunto. Las caras exteriores del panel suelen ser chapas metálicas galvanizadas y lacadas, o bien, recubiertas de PVC. También pueden utilizarse aceros inoxidables u otros materiales como resinas fenólicas, poliéster, etc.

El núcleo interno del panel, además de aportar la rigidez necesaria, se utiliza para dotar al panel de cualidades adicionales como, por ejemplo, un buen comportamiento en caso de incendio y buen aislamiento térmico. Se aconsejan ir a clasificaciones contra el fuego M1 o, incluso M0.

Aislamiento térmico

Está confinado entre capas de otro material impermeable que lo aíslen del interior de la sala. Con coeficiente transmisión térmico $K < 0,5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, son materiales de resistencia al fuego de mínimo M1.

Techos

Se usa el mismo panel que el usado en las paredes debiendo cumplir las mismas características que las paredes pero en el caso de que sea techo transitable para mantenimiento deberá tener mayor resistencia mecánica.

Suelos

Están fabricados a partir de recubrimientos vinílicos soldados entre sí, resinas epoxy o poliéster autonivelables. Se puede diseñar este recubrimiento para que sea conductor de la electricidad en las zonas que así lo requieran. En salas con flujos unidireccionales, con paso de aire a través del suelo, éste se forma con piezas sujetas sobre soportes (dejando los espacios necesarios para el paso del aire). Los materiales deben tener una resistencia al fuego mínima M1. Sobre todo deben ser lisos, continuos, sin juntas ni resaltes donde se pueda acumular suciedad o focos de contaminación y fácilmente limpiables.

Puertas y ventanas

Las puertas deben cumplir con su función de elemento de paso entre dos áreas adyacentes y además resolver las particularidades que supone su ubicación en salas limpias, deben ser de fácil limpieza por lo que tienen que estar enrasadas a ambas caras del panel, las bisagras se diseñan de modo que no se acumule suciedad sobre ellas, en caso de estar acristaladas, los visores deben estar enrasados a ambas caras de las hojas, en ocasiones, y al formar parte de esclusas de entrada, deben venir dotadas de cierres electromecánicos, deben diseñarse para adaptarse a las condiciones de presurización, positiva o negativa, de la sala. Los materiales deben tener una resistencia al fuego mínima M1.

Las ventanas, al igual que en el caso anterior, se diseñan de modo que queden enrasadas a ambas caras del panel, preferentemente sin perfilería. En función de las necesidades pueden incorporar una cámara estanca que haga posible su ubicación separando áreas con condiciones de temperatura y humedad muy diferentes evitando condensaciones.

Iluminación

Fluorescentes de luz blanca neutra, la necesaria según las tareas a ejecutar. (Mínimo 500 Lux). Deberán ser estancas con una clasificación IP65.

2.5. Normativa aplicable al proyecto

	Normativa	Ámbito aplicación
Normativa en diseño y construcción de salas blancas	ISO 14644 – 4 (2001) Diseño, construcción y puesta en marcha de Salas limpias.	Aplicable en el diseño, construcción y puesta en marcha propiamente dicho de las salas blancas
	Normas CEE EN779 y EN1822 para grupos de filtración.	Aplicable en el diseño, construcción y aplicación de sistemas de filtración
	Directiva 73/23/CEE Sobre material eléctrico de baja tensión.	Aplicable al diseño, construcción e instalación de material eléctrico de baja tensión
	Directiva 98/37/CEE Reglamentación comunitaria sobre máquinas.	Aplicable al diseño, construcción e instalación de maquinaria de uso industrial
	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio.	Aplicable a las instalaciones térmicas de los edificios
Normativa en validación de salas blancas	National Environmental Balancing Bureau: Procedural Standard for Certified Testing Clean rooms IEST-RP-CC006.3 August 2004.	Aplicable al proceso de certificación de salas blancas, pruebas, controles, certificaciones, validaciones, etc.
	UNE-EN ISO 14644-1, Clasificación de la limpieza del aire. Mayo 1999.	Aplicable a los procedimientos para llegar a clasificar la calidad del aire
Normativa en seguridad	Almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias R.D. 379/01 y NTP 725.	Aplicable en la industria en todas las instalaciones de nueva construcción, modificaciones y ampliaciones
	CTE, Código técnico de edificación.	Aplicable a las instalaciones industriales y edificios
	Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MIE-APQ-5 e Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MI-IRG 0.	Aplicable en la industria en todas las instalaciones de nueva construcción, modificaciones y ampliaciones donde se manipule o almacene algún tipo de gas

Tabla 4: normativas aplicables y ámbitos de aplicación

2.5.1. Normativa en diseño y construcción de salas blancas

- ISO 14644 – 4 (2001) Diseño, construcción y puesta en marcha de Salas limpias.
- Normas CEE EN779 y EN1822 para grupos de filtración.
- Directiva 73/23/CEE Sobre material eléctrico de baja tensión.
- Directiva 98/37/CEE Reglamentación comunitaria sobre máquinas.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio.

2.5.2. Normativa en validación de salas blancas

- National Environmental Balancing Bureau: Procedural Standard for Certified Testing Clean rooms IEST-RP-CC006.3 August 2004.
- UNE-EN ISO 14644-1, Clasificación de la limpieza del aire. Mayo 1999.

2.5.3. Normativa en seguridad

- Almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias R.D. 379/01 y NTP 725.
- Almacenamiento y utilización de gases. Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MIE-APQ-5 e Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MI-IRG 0.
- Seguridad en caso de incendio. CTE, Código técnico de edificación.
- Seguridad de Utilización. CTE, Código técnico de edificación.

3. Situación actual – Laboratorio de ambiente controlado

3.1. Descripción de la sala blanca actual

Actualmente existe una sala blanca llamada “laboratorio de ambiente controlado” ubicado en el edificio de la Facultad de Ciencias. Esta instalación consta de dos zonas, una zona 1 donde se encuentra el proceso de litografía y otra zona 2 donde se encuentran el resto de los procesos de deposición química y física, así como las diferentes zonas externas de medida y control, almacén de productos, etc.

La sala fue construida hace unos 25 años cuando la normativa sobre salas blancas estaba empezando a definirse, igualmente las legislaciones sobre seguridad e higiene en el trabajo, anti incendios, eléctrica, de gases, etc. eran mucho más permisivas que en la actualidad.

De la misma manera, los materiales usados entonces para la construcción de las salas blancas, la tecnología en tratamiento de aire o las técnicas de regulación y control estaban en un momento inicial de desarrollo. Técnicas que entonces eran válidas ahora serían impensables por obsoletas en una instalación con una clasificación estéril.

En la siguiente figura se muestra un croquis del actual “laboratorio de ambiente controlado”.

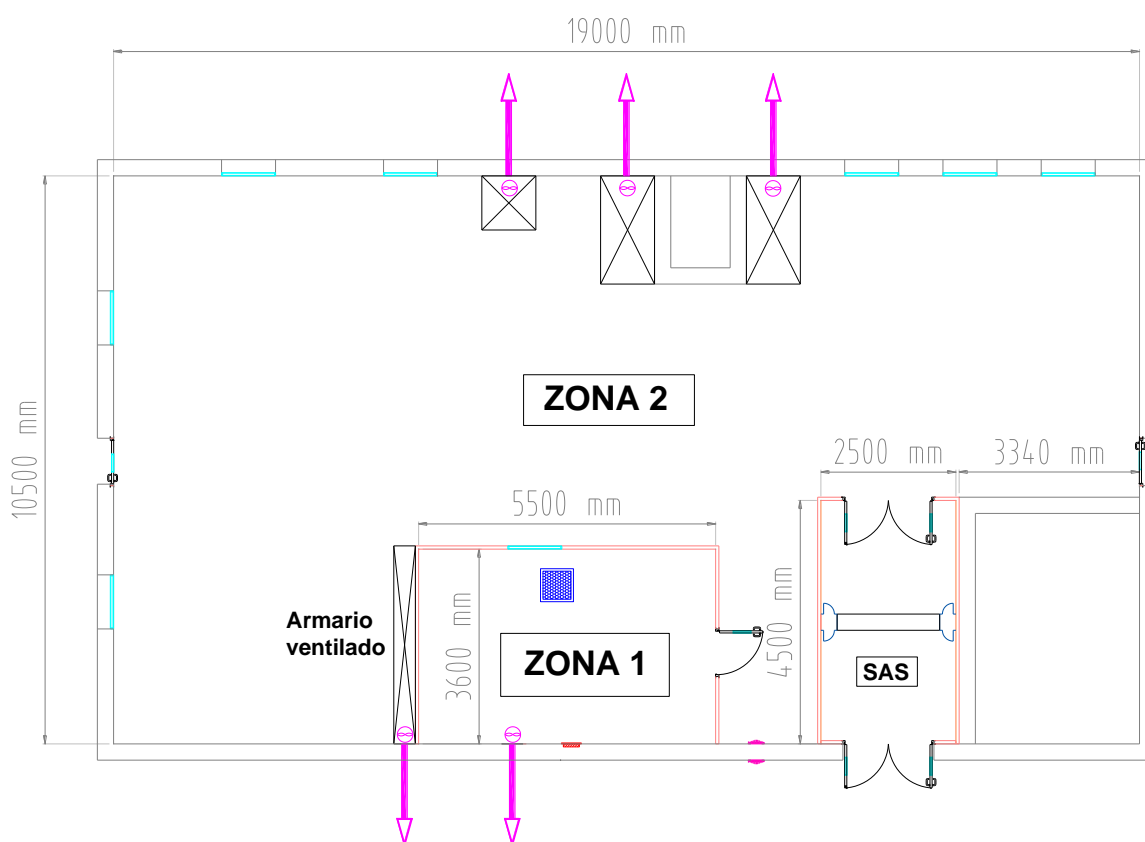


Ilustración 3: croquis sala actual

3.2. Limitaciones de la actual instalación

- Diseño anticuado
- Equipamiento antiguo y deteriorado
- Funcionalidad limitada
- Materiales de construcción obsoletos
- Simultaneidad de procesos en un mismo espacio (zona de grabado húmedo con zona de grabado seco, etc.)
- Incumplimiento de la normativa vigente sobre salas blancas
- Incumplimiento de la normativa vigente acerca de seguridad
- Control y regulación escasas de la instalación de iluminación, de temperatura, humedad y alarmas de funcionamiento
- Parámetros de temperatura y humedad fuera de rangos y/o erróneamente distribuidos
- Acabados interiores deficientes
- Dificultad de mantenimiento

3.3. Mejoras posibles a la situación actual

Limitación actual	Mejoras
Diseño anticuado	Redefinir el diseño en la nueva sala teniendo en cuenta los procesos y necesidades de los operarios
Equipamiento antiguo y deteriorado	Sustitución por equipos nuevos que cumplan con las exigencias de la sala
Funcionalidad limitada	Analizar la funcionalidad de los procesos y ajustar el diseño para conseguir la mejor funcionalidad de la instalación
Materiales obsoletos	Seleccionar los materiales adecuados teniendo en cuenta el tipo de función a realizar de cada uno, y que cumplan las normativas
Simultaneidad de procesos en un mismo espacio (zona de grabado húmedo con zona de grabado seco, zona de medida, almacén, etc.)	Diferenciación de procesos en áreas separadas
No cumple con la normativa vigente sobre salas blancas	Diseñar bajo la normativa vigente actual
No cumple con la normativa vigente acerca de seguridad	Diseñar bajo la normativa vigente actual
Control y regulación escasa de la instalación	Diseñar un sistema de control y regulación adecuado para detectar cualquier malfuncionamiento. Automatizar el sistema.
Dificultad de mantenimiento	Diseñar el espacio para facilitar el mantenimiento preventivo
Parámetros de temperatura y humedad fuera de rangos y distribución incorrecta	Diseñar la maquinaria para cumplir con los parámetros deseados
Acabados interiores	Seleccionar los materiales con unos acabados interiores estériles, sin salientes ni esquinas

Tabla 5: limitaciones y mejoras a la situación actual

3.4. Descripción de los equipos y procesos

Según información facilitada por la Dra. M^a Ángeles Benítez, tenemos 4 tipos de procesos diferentes y un 5º que no podemos definir como proceso pero que es necesario para el funcionamiento de la sala blanca, estos son:

1. Fotolitografía
2. Grabado húmedo
3. Deposición y Grabado seco
4. Medida general y control
5. Área técnica y de servicios anexas a la sala blanca

A continuación se describirán brevemente los procesos tecnológicos y equipos necesarios en una sala blanca, basándonos en los existentes en la sala actual, y que condicionarán el diseño final.

3.4.1. Fotolitografía

La Fotolitografía es la técnica más común y utilizada en los procesos de fabricación con tecnología de capas delgadas, especialmente en microelectrónica. Esta técnica consiste en la transferencia de unos motivos geométricos desde una máscara a una superficie sólida, una oblea de silicio por ejemplo. Con la aplicación de un polímero fotocurable que se deposita sobre la superficie de una oblea de silicio se puede definir cualquier estructura. Estos polímeros fotocurables son aquellos que inician su proceso de polimerización mediante la acción de una radiación ultravioleta. Para la realización del proceso fotolitográfico se debe confeccionar una máscara que transferirá los motivos geométricos que definen la forma deseada a una fotorresina que se encuentra en la oblea de silicio.

Los pasos del proceso de fotolitografía son:

1. Fabricación de la máscara
2. Precalentado
3. Deposición de fotorresina
4. Curado suave (Soft-bake)
5. Alineación y exposición
6. Revelado
7. Curado fuerte (Hard-bake)

El contenido del área de Fotolitografía es el siguiente:

- ***Insoladora-alineadora*** (sobre losa antivibración)

Dimensión equipo: 1,300m x 0,875 x 1,620m

Servicios necesarios: Nitrógeno de tanque, 220V, Aire comprimido, vacío 1bar.

Potencia: 1200W



Ilustración 4: máquina insoladora-alineadora

- **3 estufas/hornos**

Dimensión equipo: 0,55 x 0,40 x 0,60m

Servicios necesarios: Nitrógeno de tanque, 220V, extracción no forzada al exterior.

Potencia: 1100W/cada uno

- **1 nevera de seguridad aumentada**

Dimensión equipo: 0,60 x 0,60 x 1,50 m

Servicios necesarios: 220V

- **1 armario de seguridad para disolventes refrigerado**

Dimensión equipo: 1 x 0,60 x 0,70 m

Servicios necesarios: 220V, extracción

- **1 Banco químico con flujo laminar de 2,5m con 3 zonas de trabajo**

Dimensión equipo: 2,5 x 0,8 x 0,75 m + cabina flujo laminar. Servicios: 1 zona con grifo de agua DI y pica (0,45 x 0,45 m), 1 zona de 60cm con un “Spinner” encastado de 35cm de diámetro y 1 zona seca de 80cm con 2 placas calefactoras (hot-plates). Cada área de trabajo tendrá 2 enchufes 220V, toma de vacío (-1bar), aire comprimido y nitrógeno de tanque para pistola.

El “Spinner” necesita toma propia de vacío (-1bar), corriente 220V, aire comprimido y nitrógeno tanque.



Ilustración 5: deposición de fotoresina en un “Spinner” (máquina de centrifugado)

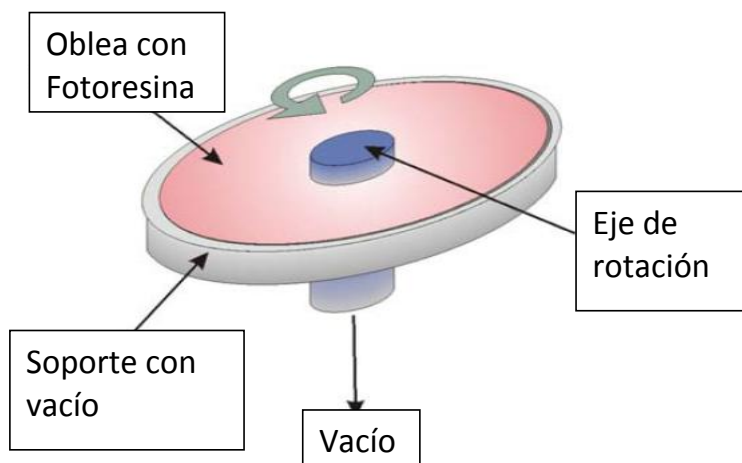


Ilustración 6: esquema de un "Spinner" (máquina de centrifugado)

- **1 zona de residuos** (junto al banco químico):

Dimensión equipo: 1m x 0,50cm para 2 bidones de 50x50cm

Servicios necesarios: Extracción al exterior

- **Armario de material**
- **Ducha lava-ojos de emergencia al lado del banco químico**
- **Microscopio**

Dimensión equipo: 0,30 x 0,40 x 0,90m sobre mesa. Servicios necesarios: 220V

Las necesidades del área de Fotolitografía son:

1. Un tamaño de partícula máximo de 0.5 μ m.
2. Máximo 1.000 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a máximo 35.200 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por m³, Clase ISO 6 según ISO 14644 – 4 (2001).
3. Bajo flujo laminar, máximo 100 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a máximo 3.520 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por m³, Clase ISO 5 según ISO 14644 – 4 (2001).
4. Ausencia de elementos contaminantes en el ambiente.
5. Protección del operario frente a los agentes químicos.
6. Control de la temperatura (20°C \pm 1°C) y de la humedad del aire (40% HR+5%).
7. Luz con filtración ultravioleta (color amarillo).

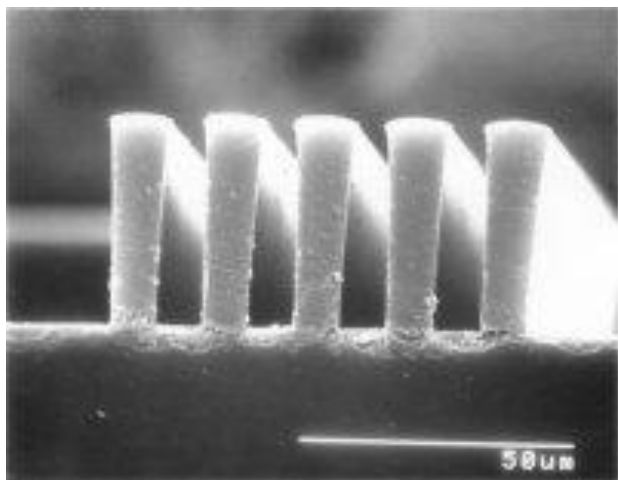


Ilustración 7: ejemplo del resultado de un proceso de fotolitografía

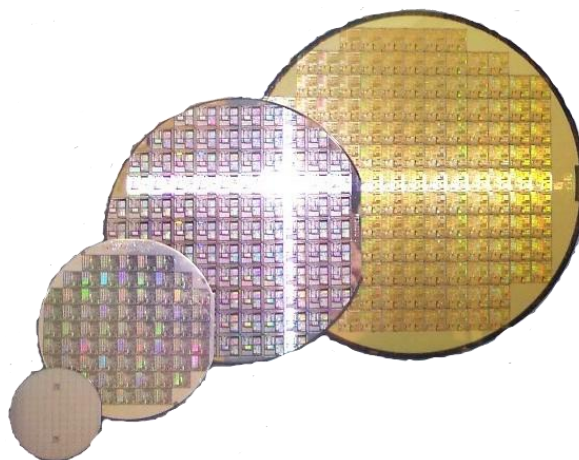


Ilustración 8: obleas fotolitografiadas

3.4.2. Grabado/Ataque Húmedo

El proceso de grabado es una de las etapas que puede afectar de manera más importante la geometría, dimensiones y resolución del ataque de la “estructura” que se quiere adquirir, ya que la resolución de este proceso inicial condicionará la efectividad de los procesos posteriores.

El grabado húmedo o químico consiste en la inmersión del sustrato en un agente químico de concentración conocida y con un tiempo de ataque y temperatura controlada, de manera que este agente químico actuará selectivamente sobre el sustrato que se quiera grabar o modelar. El grabado húmedo puede ser isotrópico, si la velocidad del grabado es idéntica en todas direcciones o anisotrópico, si la velocidad de grabado se define en una dirección predominante. El grabado húmedo proporciona un grado de selectividad en la definición de estructuras muy superior al grabado seco en un tiempo de proceso menor que otras técnicas con resultados similares. Este tipo de grabado se realiza en bancos químicos debido a la naturaleza agresiva de los líquidos de ataque.

El contenido del área de Grabado Húmedo es el siguiente:

- **2 bancos químicos con flujo laminar** de 2,5m. de longitud con 2 zonas de trabajo cada uno, una de 1m y otra de 1,5m. Dimensión equipo: 2,5 x 0,8 x 0,75 m³ + cabina flujo laminar
Servicios necesarios: Cada zona de trabajo tendrá grifo de agua DI y pica (0,45 x 0,45 m²), desagüe, 2 enchufes 220V, toma de nitrógeno de tanque para pistola, aire comprimido y extracción de aire.

La zona de 1,5m, tendrá además una cascada de agua DI con medidor de resistividad in-situ.



Ilustración 9: zona de trabajo de un banco químico

- **1 “Spinner”** de secado de 0,30 x 0,50 x 0,30 (sobremesa) junto a banco químico.
Servicios necesarios: Nitrógeno de tanque, vacío (-1bar), aire comprimido.
- **1 zona de residuos** con extracción (junto a los bancos químicos) para 3 bidones de 50x50cm². Servicios necesarios: Extracción
- **1 cabina de extracción química** de 1,5m. Dimensiones: 1,5 x 0,8 x 0,75 m³.
Servicios necesarios: Extracción de aire, 4 enchufes de 220V, toma de nitrógeno de tanque para pistola y aire comprimido.
- **3 armarios de seguridad para productos químicos**. Dimensiones: 0,80 x 0,60 x 1,8 m³ /cada uno. Servicios necesarios: Extracción.
- **Armario para material**
- **Ducha lava-ojos de emergencia al lado del banco químico**
- **Cámara de guantes**. Dimensiones: 1,20 x 60 x 1,70m de 1.200m³/h de extracción.
Servicios necesarios: 2 enchufes 220V, toma de 220V para bomba propia, nitrógeno de tanque.

Las necesidades del área de Grabado Húmedo son:

1. Ausencia de elementos contaminantes en el ambiente.
2. Protección del operario frente a los agentes químicos.
3. Un tamaño de partícula máximo de 0.5µm.
4. Máximo 10.000 partículas de ≥0.5µm por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a un máximo 352.000 partículas de ≥0.5µm por m³, Clase ISO 7 según ISO 14644 – 4 (2001).
5. Bajo flujo laminar, máximo 100 partículas de ≥0.5µm por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a un máximo 3.520 partículas de ≥0.5µm por m³, Clase ISO 5 según ISO 14644 – 4 (2001).
6. Control de la temperatura (20°C±1°C).

3.4.3. Grabado Seco/Deposición

El grabado seco se basa en el grabado de la superficie del sustrato por bombardeo de iones o en otros casos, combinando la acción física del bombardeo con la reacción química sobre el sustrato. Consiste en generar una descarga entre dos electrodos, los iones generados en el plasma creado son dirigidos sobre el sustrato/ánodo, creando la forma deseada por ataque selectivo. La técnica de grabado seco mas utilizada es el RIE (Reactive Ion Etching o grabado por iones reactivos).

Las técnicas en fase vapor son las más utilizadas para la preparación de capas delgadas como por ejemplo la deposición de dieléctricos y metales, especialmente en microelectrónica. De los diferentes procesos de deposición de capa delgada, podemos destacar el proceso PECVD (deposición química en fase vapor activado por plasma) y LPCVD (Low Pressure CVD) que se engloba dentro de los procesos de deposición química en fase vapor o CVD (Chemical Vapor Deposition) y las técnicas de evaporación física PVD (Physical Vapor Deposition) como el "sputtering" o la evaporación térmica.

La deposición química en fase vapor (CVD) consiste en evaporar un precursor que contiene el material a depositar, transportar la fase vapor hasta la zona de reacción, donde mediante activación térmica se produce la reacción química heterogénea que da lugar al crecimiento de la capa. Si el proceso de activación es asistido mediante plasma, generalmente para disminuir la temperatura de depósito, este se llama PECVD o Plasma Enhanced CVD. Si el proceso se realiza a bajas presiones (por debajo de los 10 Pa), este lleva por nombre LPCVD o Low Pressure CVD. Este método, basado en el perfecto control de la reacción en superficie permite obtener espesores homogéneos y gracias a su gran conformidad, permite depositar sobre un gran número de obleas al mismo tiempo.

El proceso de deposición química térmica rápida por vapor (RTCVD); proceso de CVD mejorado térmicamente que se realiza a alta temperatura pero durante un tiempo muy breve.

El contenido del área de Grabado seco/Deposición es el siguiente:

RTCVD (deposición química térmica rápida). Dimensiones: 1,05 x 1,70 x 1,97 m

Observaciones: Hay que dejar 0,80-1m por todo el perímetro. Servicios necesarios: 380V, 30KW, Agua de refrigeración: 10 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 4°C, Nitrógeno de tanque, aire comprimido, Silano, Nitrógeno, Hidrógeno, Metano, NO₂, Argón. Zona fuera de sala blanca de bombas para bomba rotatoria con servicio de Nitrógeno de tanque y 220V. Dimensiones bomba: 0,70 x 0,30 x 0,50 m³.

PECVD (deposición química en fase vapor activado por plasma). Dimensiones: 0,60 x 0,80 x 1,40 m. Servicios necesarios: 380V, Agua de refrigeración: 10 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 4°C, Nitrógeno de tanque, aire comprimido, Silano, Nitrógeno, NO₂, CHF₃, Argón. Zona anexa fuera de sala blanca de bombas para bomba rotatoria y Buster con servicio de Nitrógeno de tanque y 220V Dimensiones bombas: 0,40 x 0,65 x 1,10 m.

LPCVD (deposición química en fase vapor a baja presión). Dimensiones: 0,80 x 2,00 x 1,96 m³. Servicios necesarios: 380V, Agua de refrigeración: 10 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 4°C, Nitrógeno de tanque, aire comprimido, Silano, Nitrógeno, Hidrógeno, O₂, Argón.

Zona anexa, fuera de sala blanca, para bombas de vacío (rotatoria) y Buster con servicio de Nitrógeno de tanque y 220V. Dimensiones bombas: 0,40 x 0,65 x 1,10 m³.

RIE (grabado por iones reactivos). Dimensiones: 0,60 x 0,80 x 1,40 m³. Servicios necesarios: 380V, Agua de refrigeración: 10 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 4°C, Nitrógeno de tanque, aire comprimido, Nitrógeno, O₂, SF₆, CF₄ y Argón. Zona anexa fuera de sala blanca para 2 bombas rotatoria y chiller con servicio de Nitrógeno de tanque y 220V. Dimensiones bomba 1: 0,80 x 0,40 x 0,70 m³. Dimensiones bomba 2: 0,52 x 0,20 x 0,50 m³. Dimensiones chiller: 0,60 x 0,50 x 0,90 m³.

Hornos atmosféricos. Dimensiones: 0,62 x 2,92 x 1,96 m³
Servicios necesarios: 220V, Agua de refrigeración: 10 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 7°C, Nitrógeno de tanque, nitrógeno, O₂, enchufes 220V. Observaciones: Hay que dejar espacio de 1m sólo por un lateral y 2,5 m por delante.

Metalizadora Sputtering (PVD)

Dimensiones: Actualmente no se tiene este equipo. Servicios necesarios: 380V, Agua de refrigeración: 5 l/min a P<2bars con un incremento de temperatura de 4°C, Nitrógeno de tanque, nitrógeno, Argón. Zona anexa fuera de sala blanca de bombas para bomba rotatoria con servicio de Nitrógeno de tanque y 380V.

Las necesidades del área de Deposición/Grabado seco son:

1. Ausencia de elementos contaminantes en el ambiente.
2. Un tamaño de partícula máximo de 0.5µm.
3. Máximo 10.000 partículas de ≥0.5µm por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a máximo 352.000 partículas de ≥0.5µm por m³, Clase ISO 7 según ISO 14644 – 4 (2001).
4. Control de la temperatura (20°C±1°C).
5. 1m de distancia alrededor de todos los equipos excepto en la parte trasera que irá a 50cms de la pared.

3.4.4. Caracterización general y Control

Se necesita disponer, adyacente a las 3 zonas de proceso, de una zona de medida general y caracterización, donde se puedan realizar comprobaciones, medidas, verificaciones, preparativos, etc. Todas estas tareas deben poder realizarse en una zona clasificada junto a las otras zonas.

El contenido del área de medida general es el siguiente:

- **Mesa con microscopio.** Dimensiones: 0,30 x 0,40 x 0,90m³ sobre mesa. Servicios necesarios: 220V, toma de nitrógeno tanque para pistola
- **Perfilómetro.** Dimensiones: 0,90 x 1,10 x 1,60 m³. Servicios necesarios: 220V, vacío 1bar, toma de nitrógeno tanque para pistola.
- **Mesa con Elipsómetro.** Servicios necesarios: 220V, toma para nitrógeno tanque para pistola.

- **Mesa con balanza de precisión.** Servicios necesarios: 220V
- **Mesa de ordenador.** Servicios necesarios: 220V
- **Mesa de microsoldadura.** Servicios necesarios: 220V, vacío 1bar.
- **Mesa de trabajo de 3m. de longitud bajo flujo laminar.** Servicios: 3 tomas de 4 enchufes cada una de 220V, 3 tomas de vacío 1bar, 3 tomas de nitrógeno de tanque para pistola.

Las necesidades del área de medida general son:

1. Un tamaño de partícula máximo de 0.5µm.
2. Máximo 10.000 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a un máximo 352.000 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por m^3 , Clase ISO 7 según ISO 14644 – 4 (2001).
3. Bajo flujo laminar, máximo 100 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a un máximo 3.520 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por m^3 , Clase ISO 5 según ISO 14644 – 4 (2001).
4. Control de la temperatura ($20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$).

3.4.5. Área técnica y de servicios

Con el fin de abastecer los servicios necesarios de los procesos; gases, agua desionizada, vacío, etc. albergar la maquinaria y equipos de tratamiento de aire, control y regulación de la sala, equipos eléctricos, etc. se debe contar con una zona técnica y de servicios.

El contenido del área de técnica y de servicios es el siguiente:

1. **Búnker de gases:** Incluye 10 cuadros para botellas 50H, 3 cuadros para botellas 20H y dos cabinas de seguridad con dimensiones (0,880 x 0,40 x 2,2m cada una) para Silano e Hidrógeno. Servicios necesarios: Toma de enchufes 220V para las balanzas de los gases licuados. Para la cabina de seguridad: Agua de red, desagüe, Aire comprimido, y 220V para extracciones.
2. **Área de generación e impulsión de aire**
3. **Área de generación y recirculación de agua DI:** Caudal de agua 3 l/min. en cada grifo o cascada de agua desionizada (DI). 220V para conectar todos los equipos. Desagüe.
4. **Área o áreas de bombas anexa al área de deposición:** Ya comentado: 220 o 380V y toma de nitrógeno de tanque para cada bomba. Salida de cada bomba al exterior.
5. **Otros servicios:** Sistema de vacío a 1 bar: Bomba + depósito. Servicios necesarios: 220V. Sistema de aire comprimido a 7 bar con una caudal de 250l/min.: Bomba + depósito+aire seco. Servicios necesarios: 220V y desagüe. Nitrógeno de tanque con una presión por defecto 6 bar proveniente del depósito de la facultad.
6. **Almacén material.**
7. **Almacén productos químicos.**
8. **Ducha lava-ojos de emergencia.**
9. **Despacho (1 o 2).**

Las necesidades del área técnica y de servicios son:

1. Si se habla de un gas (nitrógeno, argón,...) y no se especifica lo contrario serán gases de botella de alta calidad que deberán estar en el búnker de gases.
2. Se facilitará el mantenimiento de los equipos.
3. Se facilitará el acceso a los equipos
4. Se tendrán en cuenta las normativas vigentes acerca de seguridad (en el apartado 3.3 se tratarán con más detalle).

4. Diseño de la nueva sala blanca de la UAB

El diseño propuesto tendrá en cuenta todos los parámetros asociados a cada proceso tecnológico que se llevara a cabo en la sala blanca: el tipo de proceso, el contenido para ejecutar dichos procesos, maquinaria, equipos y uso; es decir el estudio previo de los condicionantes descritos en el capítulo 2.

4.1. Ubicación de la sala blanca

El lugar destinado a albergar la futura sala blanca se encuentra en el Campus de la Universitat Autònoma de Bellaterra, a continuación se muestra una imagen en planta desde el aire del edificio:



Ilustración 10: vista aérea del edificio previsto para albergar la futura sala blanca

Este edificio es una nave prefabricada de dos plantas, planta baja y planta primera, de dimensiones aproximadas de $17,2 \times 13,7\text{m}^2$ y una altura hasta el techo de la primera planta de 4m. El edificio está libre en 3 de los lados y en el cuarto lado está a unos 5m del edificio colindante.

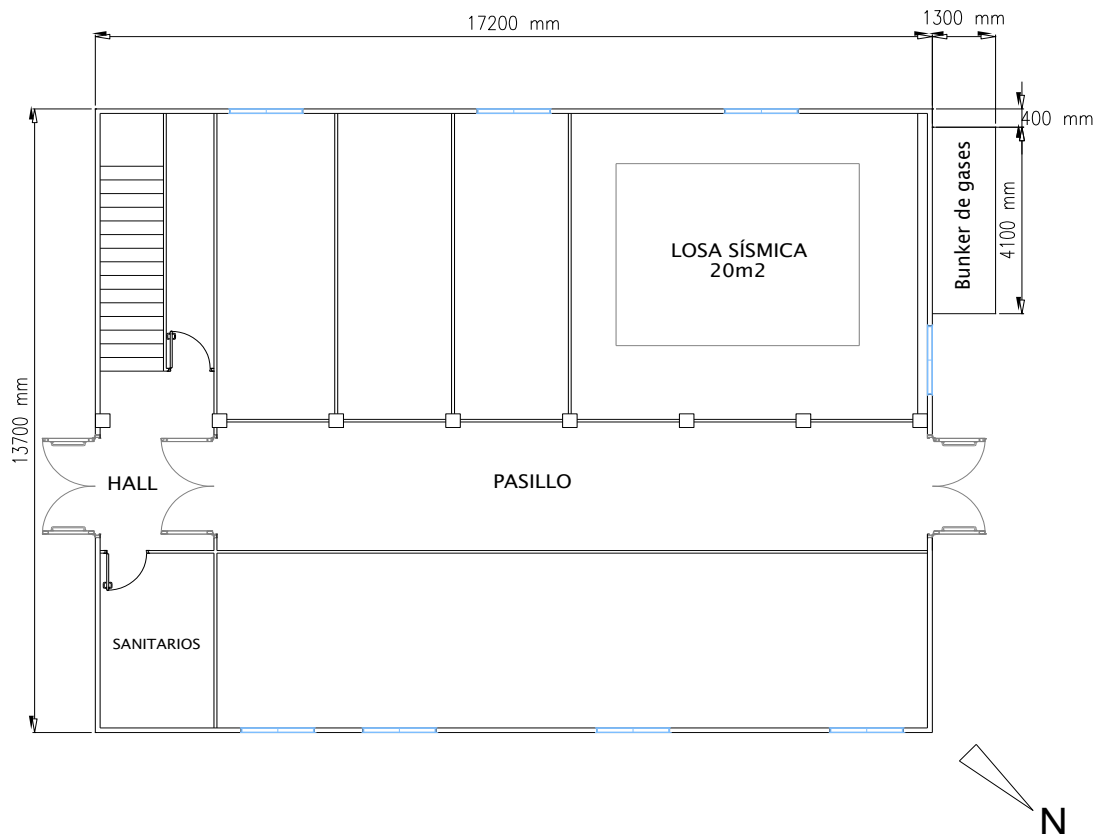


Ilustración 11: planta del edificio con la distribución actual

Actualmente el edificio cuenta con dos entradas a cada lado corto, un hall desde donde se accede a la primera planta y a la planta baja. Cuenta con servicios sanitarios, ventanas que dan al exterior y una losa sísmica antivibraciones de aproximadamente 20m². En uno de los laterales se encuentra el búnker de gases.

4.2. Diseño conceptual

Teniendo en cuenta los procesos y el contenido de cada proceso, así como los requisitos derivados de las necesidades del proceso se puede dividir la sala blanca propuesta en 5 zonas diferenciadas:

1. Zona de Fotolitografía
2. Zona de Grabado húmedo
3. Zona de Deposición y Grabado seco
4. Zona de Medida general y control
5. Zona técnica y de servicios

Para el dimensionado de las diferentes zonas se ha partido de:

- Medidas de los equipos (actuales)
- Geometría del edificio y servicios existentes
- Espacios de seguridad y mantenimiento de los equipos
- Flujo de personal y accesos
- Esclusas (SAS) de entrada de personal y materiales
- Posición de la losa sísmica
- Medidas de seguridad
- Evacuaciones

4.2.1. Diseño planta general

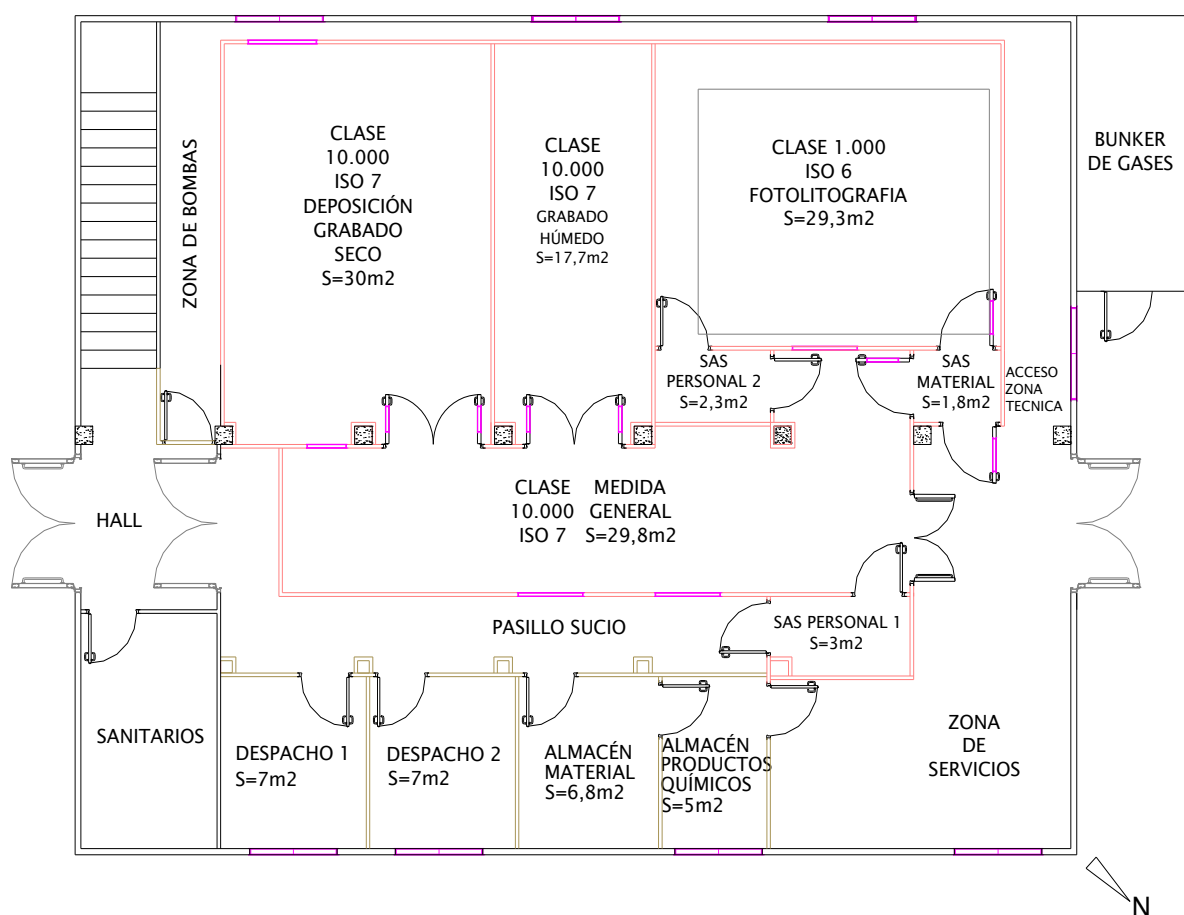


Ilustración 12: planta general sala blanca y anexos

Se pueden identificar las 5 zonas que debe albergar la sala, empezando por la puerta principal que se encuentra después del hall; el pasillo que da paso a los dos despachos, seguidos del almacén de materiales y de productos químicos. Dicho pasillo da entrada a la esclusa de personal 1, donde el personal se cambia de ropa antes de entrar a la sala de medida general clase 10.000. Desde esta sala se tiene acceso a las dos salas también clase 10.000 de Grabado Húmedo y Deposición/Grabado Seco, también se tiene acceso a la esclusa de material y a la esclusa de personal 2 de acceso a la sala de Fotolitografía clase 1.000, donde se encuentra la losa sísmica. Adyacente a la sala de Deposición/Grabado Seco se encuentra la zona técnica de bombas de vacío y “chiller” de la maquinaria. En el lado contrario se ubica la zona técnica de servicios y el acceso a la zona técnica del techo.

A continuación se detallará la distribución de cada sala.

- *Zona Fotolitografía*

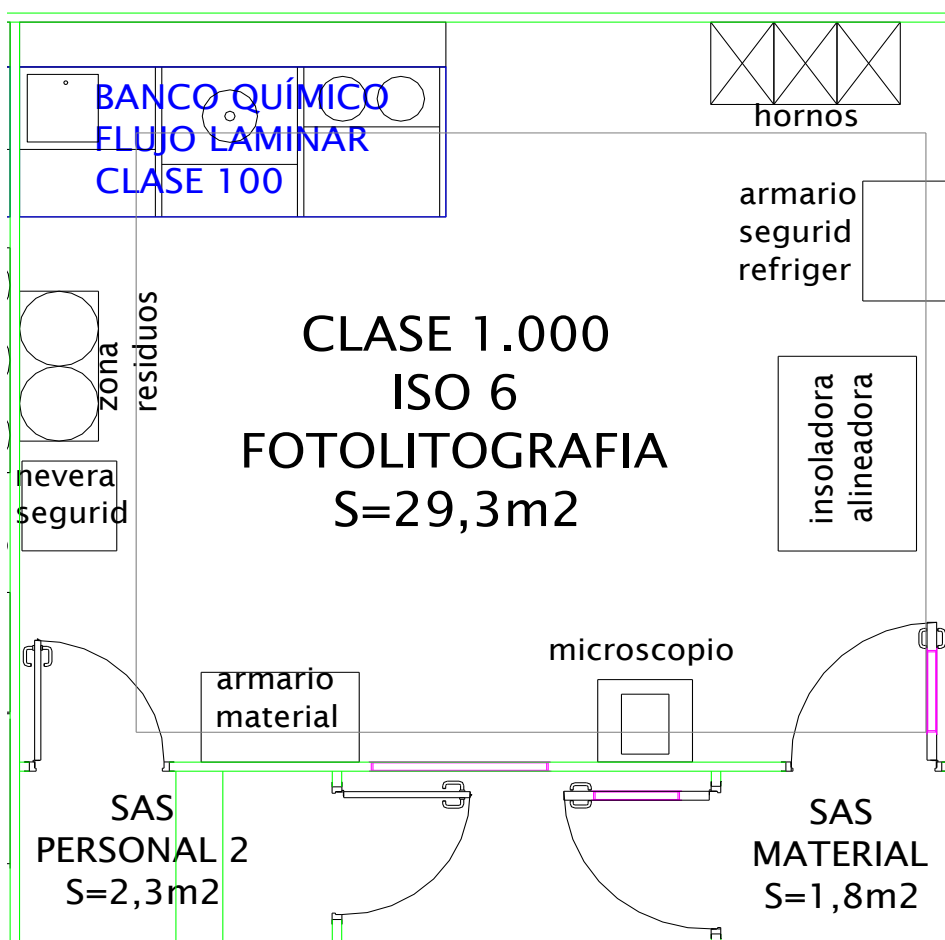


Ilustración 13: planta distribución zona Fotolitografía

Se han previsto dos esclusas, una para personal y otra para material, con el fin de no conectar zonas de diferente clasificación, además el personal debe cambiarse de ropa al entrar en la zona Clase 1.000 para conservar la clasificación. El equipo insoladora-alineadora debe estar ubicado encima de la losa sísmica para evitar que pueda recibir cualquier vibración. Se han ubicado todos los elementos de manera perimetral para facilitar el trabajo de los operarios y minimizar las turbulencias del flujo de aire. Se ha ubicado el banco químico con

flujo laminar al lado de la pared exterior para facilitar el paso de instalaciones y junto a éste, se ha ubicado la zona de residuos.

- Zona Grabado Húmedo

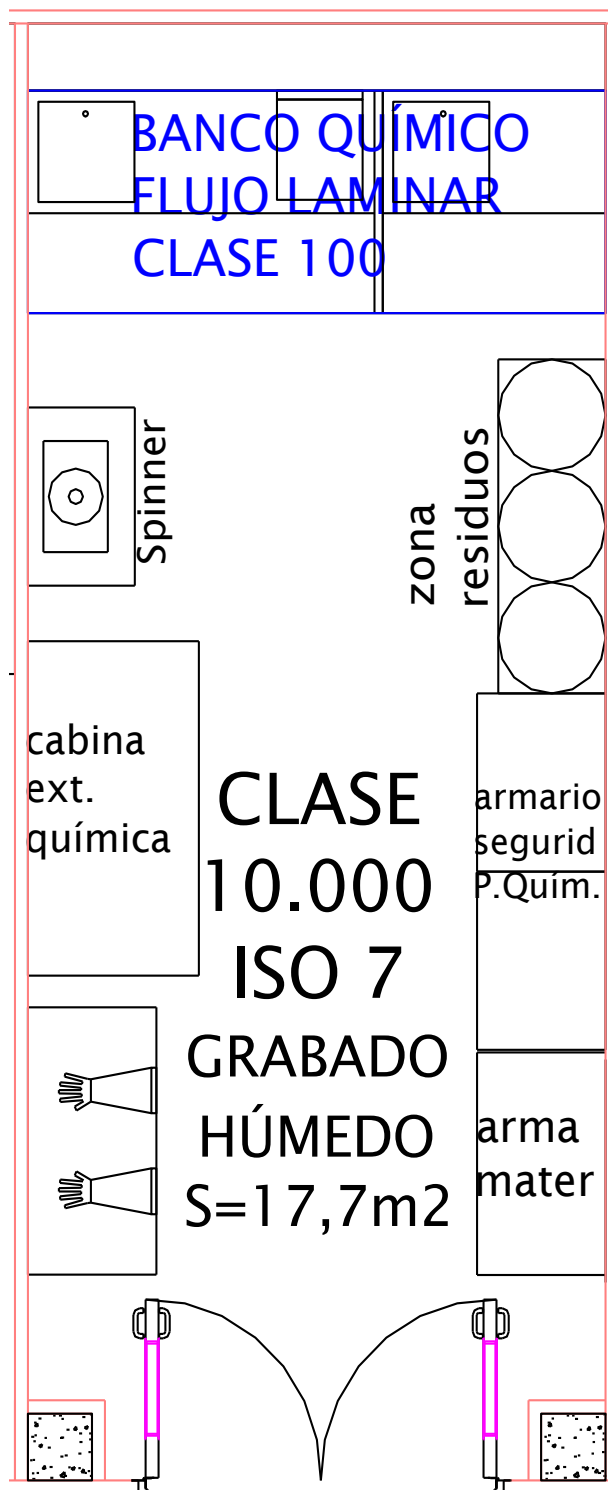


Ilustración 14: planta distribución zona Grabado Húmedo

La zona de grabado húmedo se ha distribuido de manera que todos los equipos queden en los laterales para perturbar lo menos posible el flujo del aire y facilitar el paso de las personas. El banco químico se ha situado al fondo, junto a la pared exterior para facilitar el paso de equipos e instalaciones, contiguamente se ha ubicado la zona de residuos.

- *Zona Grabado Seco/Deposición*

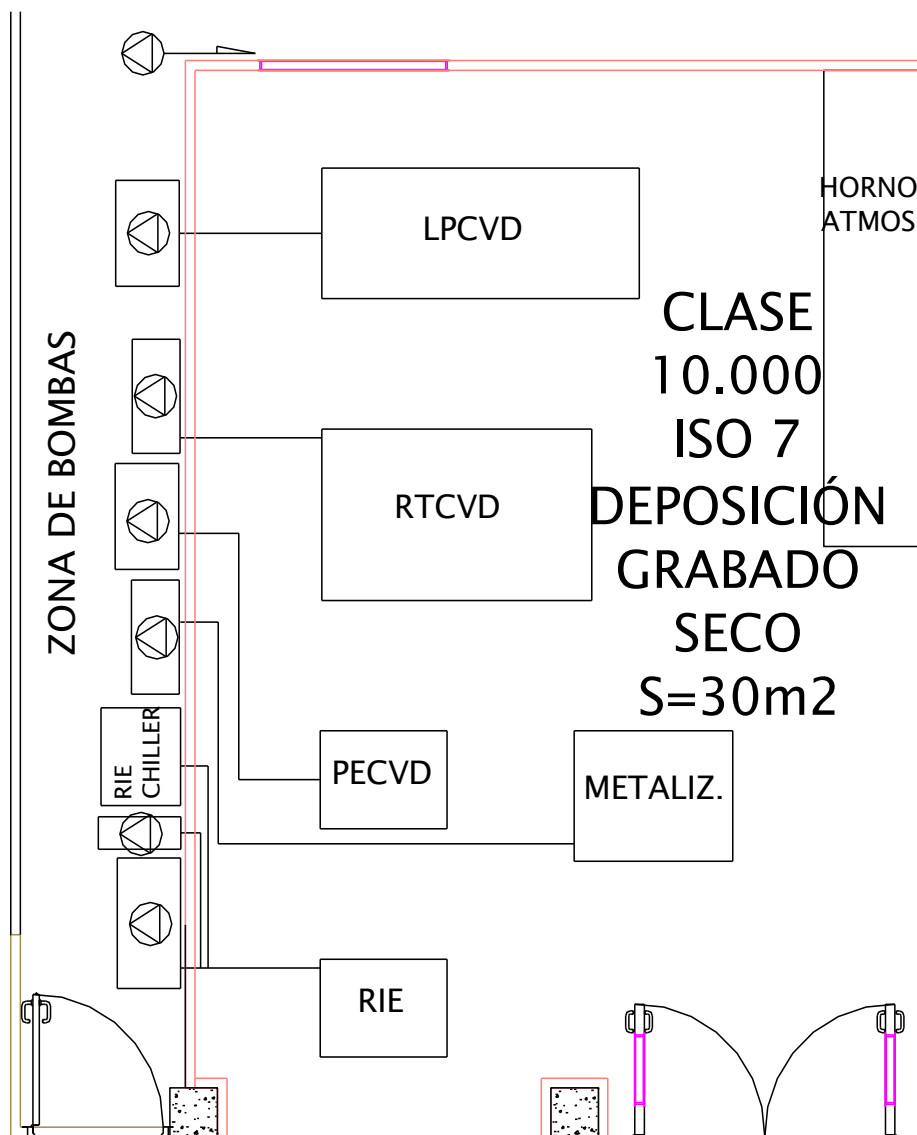


Ilustración 15: planta distribución sala Deposición Grabado Seco

La zona de Grabado Seco/Deposición ha sido la más complicada de distribuir debido a la dimensión de los equipos y las distancias libres mínimas requeridas alrededor de los equipos para uso, mantenimiento y seguridad. También se ha tenido en cuenta la necesidad de conectar los equipos a las bombas de vacío y el chiller necesarios para su funcionamiento y que se ubicaran en el pasillo separado por un muro.

- *Zona de Medida General*

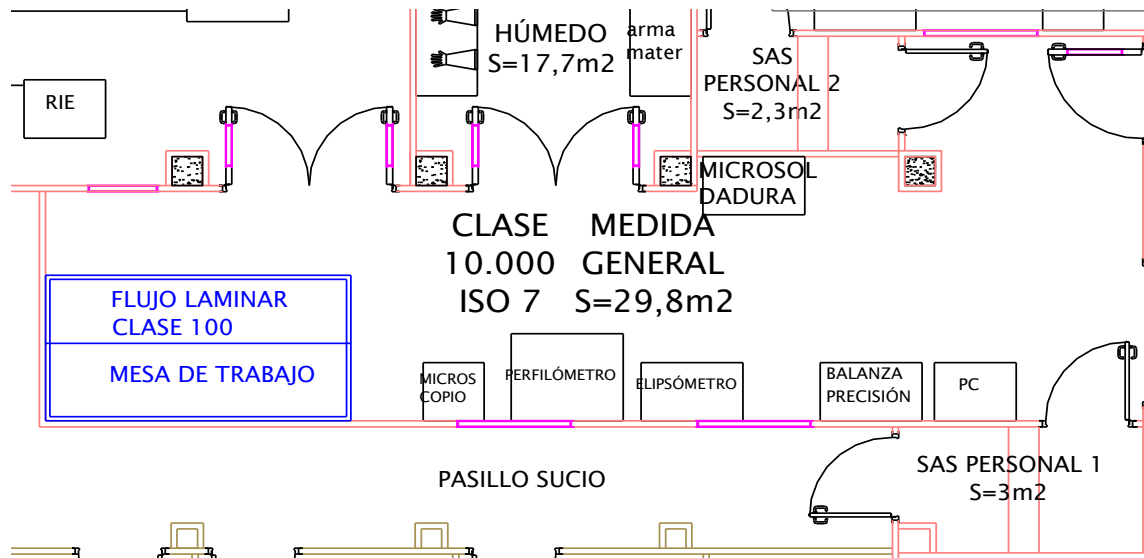


Ilustración 16: planta distribución zona medida general

Esta zona sirve de distribuidor para acceder a las otras 3 zonas, además es el área donde se realiza la caracterización, la preparación y la comprobación de procesos y materiales. Se ha previsto un flujo laminar unidireccional para poder tener una zona con clasificación superior (CLASE ISO 5).

4.2.2. Diseño del direccionado de presiones

El direccionado de presiones es muy importante en toda sala blanca. La presurización de la sala delimita el flujo del aire en un sentido o en otro. Una vez analizado el tipo de proceso que se va a desarrollar en el interior y la peligrosidad de los productos que se van a manipular se pueden definir los flujos de aire y presiones. Los aspectos que se han tenido en cuenta en este proyecto para diseñar el sentido de la presurización son:

- Mantener la clasificación de la sala superior
- Crear barreras de presiones frente a flujos de aire menos clasificado
- Evitar la contaminación del exterior para proteger el producto
- Evitar la contaminación al exterior para proteger al ambiente
- Proteger al operador
- La presión diferencial entre zonas debe ser de 5 a 15 Pa

Zona	Clase (ISO 14644-1)	Presión [Pa]
Fotolitografía	ISO 6	(+)(+)(+)(+) 35
Grabado Húmedo	ISO 7	(+) 10
Grabado Seco/Deposición	ISO 7	(+)(+)(+) 25
Medida general	ISO 7	(+)(+) 20
Sas material	ISO 7	(+) 10
Sas personal 1	ISO 7	(+) 10
Sas personal 2	ISO 7	(+)(+)(+) 25
Banco químico Fotolitografía	ISO 5	(-) 15
Banco químico Grabado Húmedo	ISO 5	(-) 15
Flujo laminar medida general	ISO 5	0

Tabla 6: presiones de diseño por zonas

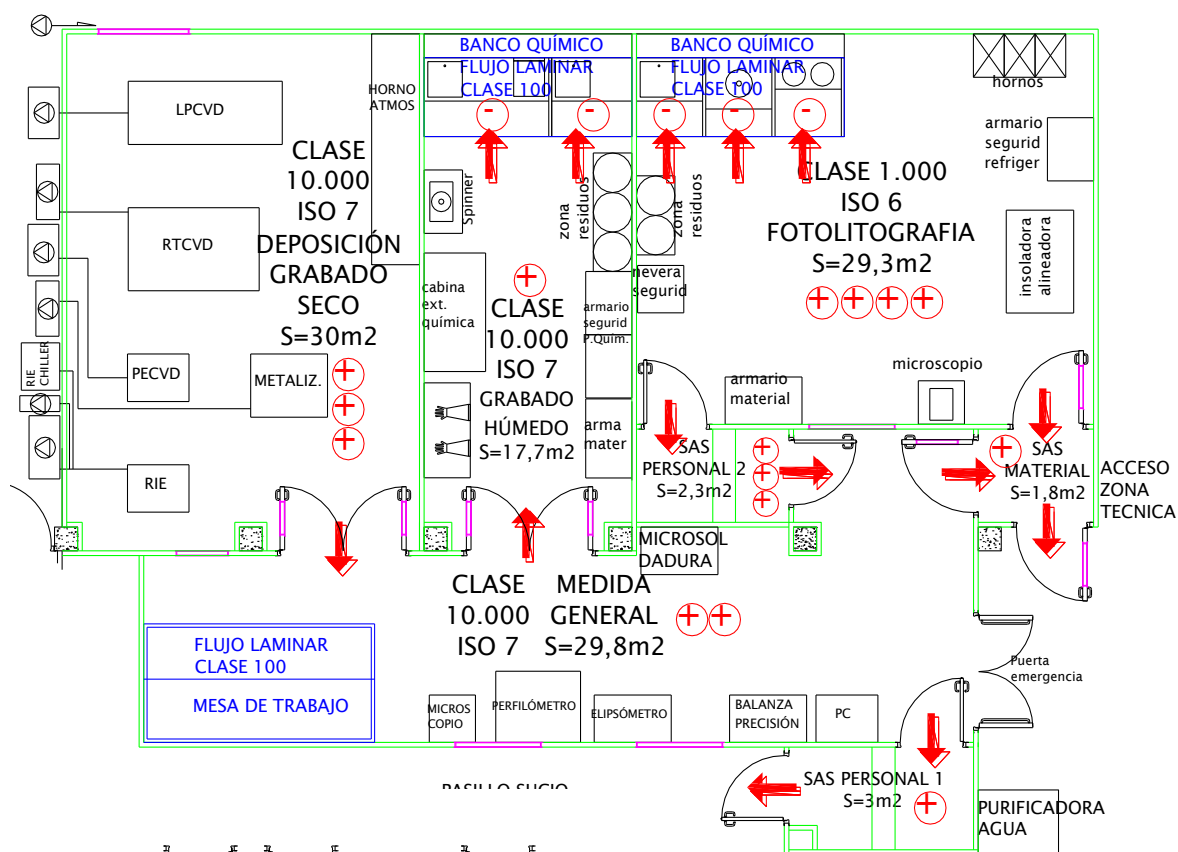


Ilustración 17: direccionado de presiones

Se observa como el direccionado de presiones va en sentido de mayor clasificación a menor clasificación hasta acabar en el exterior sin clasificación. De esta forma se consigue que el número de partículas indeseables no penetre en la sala con mayor clasificación. El sentido de la presión evita también que cualquier producto peligroso pueda salir, por ejemplo, en los bancos químicos con flujo laminar, la presión es negativa respecto a la sala donde se ubican. Así mismo, la sala de Grabado Húmedo está a una presión inferior a la de la sala de medida general para evitar en caso de contaminación del aire que esta pueda salir fuera de la sala.

4.3. Diseño detallado

4.3.1. Diseño del sistema de tratamiento de aire

El tratamiento del aire en una sala blanca es una de las partes más importantes junto con la arquitectura de cerramiento. De esta fase depende en gran medida que la sala pueda ser clasificada de acuerdo con los requisitos y pueda realizar su función con seguridad, tanto para el producto, como para las personas y el ambiente.

- *Parámetros generales del aire por zonas*

Zona	Clase (ISO 14644-1)	Tipo de flujo	Temp. [°C]	Humedad Relativa [%]	Nivel Acústico [dBA]	Movimientos de aire [renov/hora]	Velocidad [m/s]	Aire Exterior [%]
Fotolitografía	ISO 6	mixto	20 ±1	40-45	<65	≥50	-	10
Grabado Húmedo	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Grabado Seco/Deposición	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Medida general	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Sas material	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Sas personal 1	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Sas personal 2	ISO 7	multidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥30	-	10
Banco químico Fotolitografía	ISO 5	unidireccional	20 ±1	45-50	<65	≥120	0,45 ±20%	10
Banco químico Grabado Húmedo	ISO 5	unidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥120	0,45 ±20%	10
Flujo laminar medida general	ISO 5	unidireccional	20 ±1	60-65	<65	≥120	0,45 ±20%	10

Tabla 7: parámetros del aire clasificados por las diferentes zonas

Cálculo de caudales

Para definir los caudales de impulsión y retorno se parte de los parámetros geométricos de la sala, volumen (V) y de las renovaciones por hora deseadas en cada zona (Renov/h), de la siguiente manera:

$$Q_{imp} = V \cdot \frac{Renov}{h} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$Q_{ae} = (10\% \cdot Q_{imp}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Q_{aet} = Q_{ae} + Q_{extracciones} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Q_{impt} = Q_{imp} + Q_{aet} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Q_{rec} = Q_{imp} - Q_{ae} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde (Q_{imp}) es el caudal de impulsión en m³/h, (V) es el volumen de la sala en m³ y (Renov/h) son las renovaciones por hora para mantener la clase. (Q_{ae}) es el caudal de aire

exterior de renovación en m^3/h , que normalmente se determina entre un 10% y un 20% dependiendo de la estanqueidad de la sala y el número de puertas, salidas, aberturas, etc. (Q_{aet}) es el caudal de aire exterior teniendo en cuenta las extracciones de aire al exterior ($Q_{extracciones}$), ya que es aire perdido que debemos aportar para mantener la sala en presión positiva. (Q_{impt}) es el caudal de impulsión total sumando el caudal de impulsión (Q_{imp}) más el caudal de aire exterior total (Q_{aet}). (Q_{rec}) es el caudal de recirculación, que es la diferencia entre el caudal de impulsión (Q_{imp}) y el caudal de aire exterior sólo de sobrepresión (Q_{ae}).

$$Q_{imp} = v \cdot S \cdot 3600s \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para el cálculo del caudal en las zonas con flujo laminar se parte de la velocidad (v) en m/s necesaria en la altura de trabajo de 1m , que está en $0.45\text{m/s} \pm 20\%$, se multiplica por 3600 segundos para convertirlos a m^3/h . El resto de parámetros se calculan de la misma manera que en el caso anterior.

$$Q_{rec_{bq}} = Q_{imp} + Q_{ae} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En el caso de los bancos químicos al estar éstos en presión negativa el caudal de aire exterior (Q_{ae}) es de extracción, así la recirculación de aire es superior a la impulsión.

Finalmente, los caudales resultantes son los siguientes:

Zona	Movimientos de aire [renov/hora]	Velocidad [m/s]	Aire Exterior [%]	Superficie [m ²]	Altura sala [m]	Volumen [m ³]	Q_{imp} [m ³ /h]	Q_{ae} [m ³ /h]	$Q_{extracciones}$ [m ³ /h]	Q_{aet} [m ³ /h]	Q_{impt} [m ³ /h]	Q_{rec} [m ³ /h]
Fotolitografía	50	-	10	29,3	2,5	73,3	3663	366	700	1066	4363	3296
Grabado Húmedo	30	-	10	17,7	2,5	44,3	1328	133	1800	1933	3128	1195
Grabado Seco/Deposición	30	-	10	30	2,5	75,0	2250	225	0	225	2250	2025
Medida general	30	-	10	29,8	2,5	74,5	2235	224	0	224	2235	2012
Sas material	30	-	10	1,8	2,5	4,5	135	14	0	14	135	122
Sas personal 1	30	-	10	3	2,5	7,5	225	23	0	23	225	203
Sas personal 2	30	-	10	2,3	2,5	5,8	173	17	0	17	173	155
Banco químico Fotolitografía	120	0,45	10	2,7	2,5	6,8	4374	437	0	437	4374	4811
Banco químico Grabado Húmedo	120	0,45	10	2,5	2,5	6,3	4050	405	0	405	4050	4455
Flujo laminar medida general	120	0,45	0	4,5	2,5	11,3	7290	-	-	-	-	7290

Tabla 8: caudales resultantes

▪ *Cálculo térmico*

Para definir los parámetros de cálculo se parte de los datos de consigna deseados según el proceso a desarrollar, como temperatura y humedad relativa de cada sala.

Zona	Clase (ISO 14644-1)	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
Fotolitografía	ISO 6	20 ±1	40-45
Grabado Húmedo	ISO 7	20 ±1	60-65
Grabado Seco/Deposición	ISO 7	20 ±1	60-65
Medida general	ISO 7	20 ±1	60-65
Sas material	ISO 7	20 ±1	60-65
Sas personal 1	ISO 7	20 ±1	60-65
Sas personal 2	ISO 7	20 ±1	60-65
Banco químico Fotolitografía	ISO 5	20 ±1	45-50
Banco químico Grabado Húmedo	ISO 5	20 ±1	60-65
Flujo laminar medida general	ISO 5	20 ±1	60-65

Tabla 9: datos de consigna

Se tienen en cuenta los siguientes parámetros variables según la sala:

- Condiciones del aire exterior según la zona geográfica que se encuentre la sala, en este caso Bellaterra.
- Verano: Temperatura = 32 °C; Humedad relativa = 80%
- Invierno: Temperatura = 1 °C; Humedad relativa = 80%
- Orientación del edificio y exposición al sol.
- Condiciones interiores requeridas. Ver tabla 7.
- Geometría de la instalación, volumen de la sala, superficie de paredes con aislamiento, superficie de techo con aislamiento, superficie de suelo, ventanas, puertas, etc.
 - Aislamiento del material que forma el cerramiento.
 - Número de personas que se van a encontrar en el interior.
 - Cargas térmicas aportadas por el equipamiento de la propia sala, luminarias, ventiladores, etc.
 - Cargas térmicas aportadas por el equipamiento que se ubicará en el interior de la sala, maquinaria, hornos, motores, calefactores, etc.
 - Caudales de recirculación y de aire exterior.
 - Características físicas del aire.

Para el cálculo de las cargas térmicas se ha usado el programa de cálculo térmico de: SAUNIER DUVAL CLIMA, S.A.



Este programa usa las ecuaciones de la termodinámica y de la transmisión de calor para calcular las necesidades de potencia frigorífica y calorífica según los parámetros de entrada, en resumen las ecuaciones son:

$$Q = m \cdot ce \cdot \Delta T \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde (Q) es la carga térmica en KW, (m) es la masa del fluido de estudio en kg/s, agua o aire en este caso, (ce) es el calor específico del fluido en KJ/kg.°K y (ΔT) es el salto térmico de temperatura en °K.

$$Q = \frac{T1 - T2}{\frac{e}{\lambda} \cdot A} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde (Q) es la carga térmica perdida por conducción en KW, (T1) es la temperatura interior y (T2) es la temperatura exterior en °C, (e) es el espesor de la pared, techo y suelo en m, (λ) es el coeficiente de aislamiento térmico en W/m.°C y (A) es el área en m².

Cargas térmicas sala Fotolitografía:

ZONA/GRUPO: SALA CLASE 1000																	
Horas ocupadas:										Condiciones del proyecto							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Verano		Externas		Internas	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40,0 °C		14,0 % HR		20,0 °C	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Corregidas en Verano		13,2% HR			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40,00 °C					
										Invierno		1,2 °C		20,0 °C			
Máxima carga: Mes 7 Hora 17										Verano (Watt/h)		Sensible (Watt/h)		Latente (Watt/h)		Invierno (Watt/h)	
0,0 m2 MUROS EXTERIORES										0		0				0	
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES										0		0				0	
55,0 m2 PAREDES INTERIORES										158		158				322	
29,3 m2 TECHOS										67		67				138	
0,0 m2 CLARABOYAS										0		0				0	
29,3 m2 SUELO										219		219				245	
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES										444		444				706	
1,066 m3 AIRE 14,6 re/h										7.429		7.190		240		6.758	
4 PERSONAS 0,1 p/m2										412		303		108			
0,73 kW LUCES 25 w/m2										584		584					
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS										0		0					
OTRAS CARGAS										4.500		4.000		500			
TOTAL CARGAS INTERNAS										12.924		12.077		848		6.758	
CARGAS TOTALES										13.369		12.521		848		7.464	

Cargas térmicas sala grabado húmedo:

ZONA/GRUPO: SALA CLASE 10000 GRABADO HUMEDO																							
Horas ocupadas												Condiciones del proyecto				Externas		Internas					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Verano	32,0 °C	68,0 % HR	20,0 °C	60,0 % HR							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Corregidas en Verano	31,00 °C	72,40 % HR									
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Invierno	1,2 °C		20,0 °C								
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
Máxima carga: Mes 6 Hora 16												Verano (Watt/h)	Sensible (Watt/h)	Latente (Watt/h)	Invierno (Watt/h)								
0,0 m2 MUROS EXTERIORES												0	0		0								
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES												0	0		0								
47,5 m2 PAREDES INTERIORES												155	155		200								
17,2 m2 TECHOS												56	56		72								
0,0 m2 CLARABOYAS												0	0		0								
17,2 m2 SUELO												105	105		136								
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES												315	315		408								
1.933 m3 AIRE 45,0 re/h												26.244	7.170	19.074	12.255								
3 PERSONAS 0,2 p/m2												309	228	81									
0,43 kW LUCES 25 W/m2												344	344										
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS												0	0										
OTRAS CARGAS												1.500	1.000	500									
TOTAL CARGAS INTERNAS												28.398	8.742	19.656	12.255								
CARGAS TOTALES												28.713	9.057	19.656	12.663								

Cargas térmicas sala grabado seco/deposición:

ZONA/GRUPO: SALA CLASE 10000 GRABADO SECO																							
Horas ocupadas												Condiciones del proyecto				Externas		Internas					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Verano	32,0 °C	68,0 % HR	20,0 °C	60,0 % HR							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Corregidas en Verano	32,00 °C	66,90 % HR									
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Invierno	1,2 °C		20,0 °C								
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
Máxima carga: Mes 7 Hora 17												Verano (Watt/h)	Sensible (Watt/h)	Latente (Watt/h)	Invierno (Watt/h)								
0,0 m2 MUROS EXTERIORES												0	0		0								
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES												0	0		0								
57,5 m2 PAREDES INTERIORES												237	237		299								
30,0 m2 TECHOS												100	100		127								
0,0 m2 CLARABOYAS												0	0		0								
30,0 m2 SUELO												126	126		237								
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES												463	463		663								
225 m3 AIRE 3,0 re/h												3.044	910	2.134	1.427								
4 PERSONAS 0,1 p/m2												412	303	108									
0,75 kW LUCES 25 W/m2												600	600										
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS												0	0										
OTRAS CARGAS												15.000	15.000	0									
TOTAL CARGAS INTERNAS												19.056	16.814	2.242	1.427								
CARGAS TOTALES												19.519	17.277	2.242	2.090								

Cargas térmicas sala medida general y esclusas:

ZONA/GRUPO: SALA CLASE 10000 GENERAL CON SASES													
Horas ocupadas													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Condiciones del proyecto													
Verano 32,0 °C 68,0 % HR 20,0 °C 60,0 % HR													
Corregidas en Verano 32,0C °C 66,9C % HR													
Invierno 1,2 °C 20,0 °C													
Máxima carga: Mes 7 Hora 17													
Verano (Watt/h) Sensible (Watt/h) Latente (Watt/h) Invierno (Watt/h)													
0,0 m2 MUROS EXTERIORES 0 0 0 0													
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES 0 0 0 0													
100,0 m2 PAREDES INTERIORES 400 400 503													
41,4 m2 TECHOS 138 138 174													
0,0 m2 CLARABOYAS 0 0 0													
41,4 m2 SUELO 173 173 327													
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES 712 712 1.005													
278 m3 AIRE 2,7 re/h 3.762 1.124 2.637 1.763													
4 PERSONAS 0,1 p/m2 412 303 108													
1,04 kW LUCES 25 W/m2 833 833													
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS 0 0													
OTRAS CARGAS 3.500 3.000 500													
TOTAL CARGAS INTERNAS 8.506 5.260 3.245 1.763													
CARGAS TOTALES 9.217 5.972 3.245 2.768													

Cargas térmicas Banco químico sala Fotolitografía:

ZONA/GRUPO: BANCO QUIMICO SALA CLASE 1000													
Horas ocupadas													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Condiciones del proyecto													
Verano 32,0 °C 68,0 % HR 20,0 °C 40,0 % HR													
Corregidas en Verano 31,0C °C 72,4C % HR													
Invierno 1,2 °C 20,0 °C													
Máxima carga: Mes 6 Hora 16													
Verano (Watt/h) Sensible (Watt/h) Latente (Watt/h) Invierno (Watt/h)													
0,0 m2 MUROS EXTERIORES 0 0 0 0													
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES 0 0 0 0													
0,0 m2 PAREDES INTERIORES 0 0 0 0													
2,7 m2 TECHOS 9 9 12													
0,0 m2 CLARABOYAS 0 0 0													
2,7 m2 SUELO 10 10 21													
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES 20 20 33													
437 m3 AIRE 64,7 re/h 6.998 1.621 5.377 2.771													
3 PERSONAS 1,0 p/m2 309 228 81													
0,07 kW LUCES 26 W/m2 56 56													
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS 0 0													
OTRAS CARGAS 2.500 2.000 500													
TOTAL CARGAS INTERNAS 9.863 3.905 5.958 2.771													
CARGAS TOTALES 9.883 3.925 5.958 2.804													

Cargas térmicas banco químico sala grabado húmedo

ZONA/GRUPO: BANCO QUIMICO SALA CLASE 10000 GRABADO HUMEDO																			
Horas ocupadas												Condiciones del proyecto				Externas		Internas	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Verano		32,0 °C	68,0 % HR	20,0 °C	60,0 % HR		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Corregidas en Verano		31,0C °C	72,4C % HR				
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Invierno		1,2 °C		20,0 °C			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
Máxima carga: Mes 6 Hora 16												Verano (Watt/h)		Sensible (Watt/h)		Latente (Watt/h)		Invierno (Watt/h)	
0,0 m2 MUROS EXTERIORES												0		0				0	
0,0 m2 CRISTALES EXTERIORES												0		0				0	
0,0 m2 PAREDES INTERIORES												0		0				0	
2,5 m2 TECHOS												8		8				10	
0,0 m2 CLARABOYAS												0		0				0	
2,5 m2 SUELO												10		10				20	
TOTAL CARGAS ESTRUCTURALES												19		19				30	
405 m3 AIRE 64,8 re/h												5.499		1.502		3.997		2.567	
1 PERSONAS 0,5 p/m2												102		76		27			
0,06 kW LUCES 24 w/m2												48		48					
0,00 HP MOTORES ELECTRICOS												0		0					
OTRAS CARGAS												2.500		2.000		500			
TOTAL CARGAS INTERNAS												8.149		3.626		4.523		2.567	
CARGAS TOTALES												8.168		3.645		4.523		2.597	

Cargas térmicas refrigeración equipos deposición/grabado seco:

Equipo	Caudal agua necesario [l/min]	ΔT [°C]	Potencia frigorífica [kW]
RIE	10	4	3,35
RTCVD	10	4	3,35
PECVD	10	4	3,35
LPCVD	10	4	3,35
HORNO	10	7	5,86
METALIZADORA	5	4	1,67
Total	55	-	20,93

Tabla 10: cargas térmicas equipos zona deposición/grabado seco

Resumen cargas térmicas

Zona	Temp. [°C]	Humedad Relativa [%]	Potencia frigorífica [kW]	Potencia calorífica [kW]
Fotolitografía	20 ±1	40-45	15	10
Grabado Húmedo	20 ±1	60-65	30	15
Grabado Seco/Deposición	20 ±1	60-65	20	2
Medida general	20 ±1	60-65	10	8
Sas material	20 ±1	60-65		
Sas personal 1	20 ±1	60-65		
Sas personal 2	20 ±1	60-65		
Banco químico Fotolitografía	20 ±1	45-50	11	5
Banco químico Grabado Húmedo	20 ±1	60-65	9	4
Flujo laminar medida general	20 ±1	60-65	3	3
Batería de preenfriamiento deshumidificador	14 ±1	99	30	0
Refrigeración equipos deposición	-	-	21	-
Total			149	47

Tabla 11: resumen cargas de refrigeración y calefacción

Solución propuesta:

Para hacer frente a las cargas térmicas calculadas, se instalan en las unidades de tratamiento de aire baterías de refrigeración y de calefacción, formadas por un intercambiador de calor o frío por intercambio térmico aire-agua. Estos intercambiadores están contruidos en aluminio para las aletas y cobre para los serpentines y tuberías, materiales aptos y adecuados debido a su coeficiente de transmisión térmica.

Estas baterías de intercambio están controladas por válvulas de tres vías servomotorizadas que abren o cierran el caudal de agua según la consigna de temperatura que capta una sonda de temperatura situada en el retorno del aire.

Para alimentar en agua fría o agua caliente según sea verano o invierno, se instala una máquina enfriadora o calentadora de agua que funciona por intercambio agua-aire por expansión directa de gas refrigerante. Esta máquina alimenta tanto a las baterías de agua de las máquinas de tratamiento de aire como a la refrigeración de los equipos de Grabado seco/Deposición.

Se completa la instalación térmica con un depósito de expansión, una bomba de recirculación de agua, manómetros y termómetros.

PLANTA PRODUCCIÓN AGUA

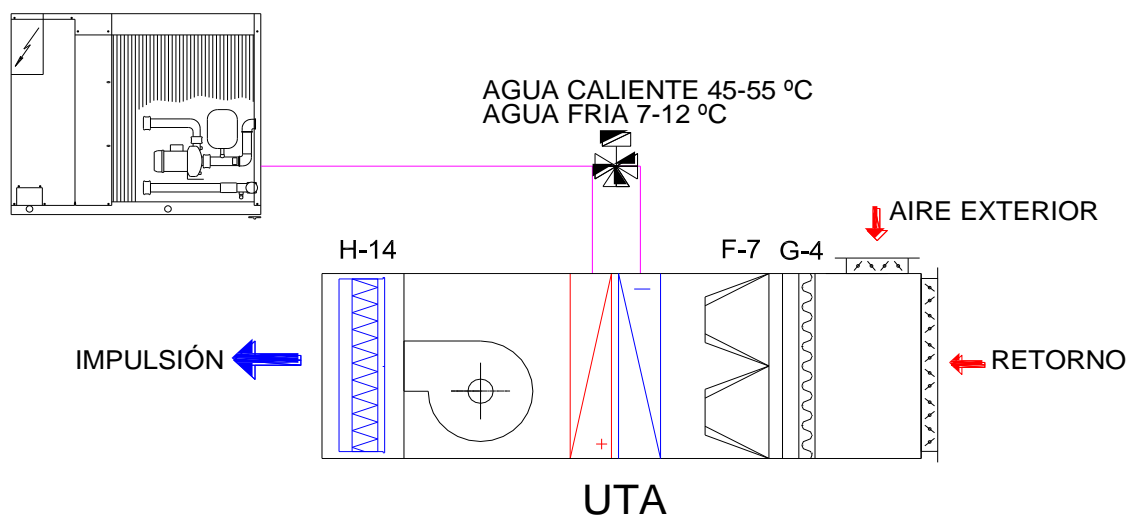


Ilustración 18: esquema instalación térmica

▪ **Cálculo higrométrico**

Para el cálculo higrométrico se parten de las condiciones de consigna de la sala de Fotolitografía, que son: Temperatura: $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y Humedad relativa: 40-45%

Se tienen en cuenta los siguientes parámetros variables según la sala:

- ✓ Condiciones del aire exterior según la zona geográfica donde se encuentre la sala.
- ✓ Aislamiento del material que forma el cerramiento.
- ✓ Número de personas que se van a encontrar en el interior.

- ✓ Caudales de recirculación y de aire exterior.
- ✓ Aportaciones de agua en forma vapor en el interior.
- ✓ Características físicas del aire.

Para calcular las necesidades de deshumidificación según los parámetros de entrada, se usa el diagrama psicrométrico y las siguientes ecuaciones:

$$\Delta x = X_{ae} - X_{rec} \quad (\text{Ecuación 10})$$

(Δx) es la cantidad de agua a eliminar en gr por kg de aire, (X_{ae}) es la cantidad de agua en gr por Kg de aire que contiene el aire exterior y (X_{rec}) es la cantidad de agua en gr por Kg de aire que contiene el aire de recirculación.

$$CH = Q_{ae} \cdot \rho_{aire} \cdot \Delta x \quad (\text{Ecuación 11})$$

(CH) es la cantidad de agua a eliminar en kg/h del caudal de aire exterior, donde (Q_{ae}) es el caudal de aire exterior en m³/h, ρ_{aire} es la densidad del aire y (Δx) es la cantidad de agua a eliminar en gr/kg.

A continuación se muestra la tabla resumen de los cálculos de deshumidificación según los datos de partida:

	Temp. [°C]	HR [%]	X [gr/Kg]	Caudal [m ³ /h]	ρ_{aire} [kg/m ³]	Carga de humedad [Kg/h]
Aire exterior en verano	32	80	24	1066	1,2	
Aire interior recirculación sala	20	40	5,8	3296	1,2	
Cantidad agua a eliminar Δx			18,2			
Carga de humedad a eliminar			18,2	1066	1,2	23,3

Aire salida batería preenfriamiento	14	99	9,6	1000	1,2	
Salida deshumidificador	38	5	3,3	1000	1,2	
Rendimiento Batería preenfriamiento (agua 7-14°C)			14,4	1000	1,2	17,3
Rendimiento Deshumidificador DT1000			6,3	1000	1,2	7,6
Capacidad total de deshumidificación						24,8

Tabla 12: tabla resumen cálculo deshumidificación

A continuación se muestra el diagrama psicrométrico con el proceso de deshumidificación:

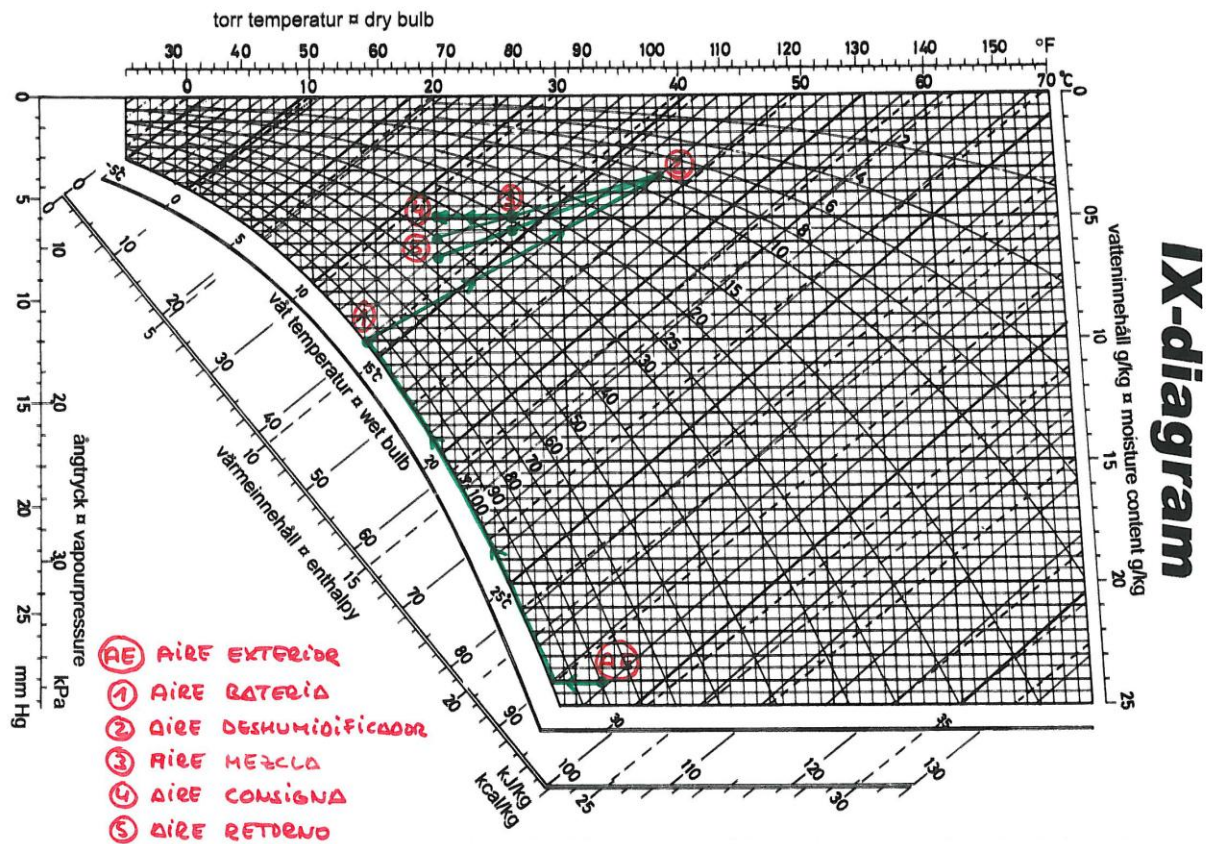


Ilustración 19: diagrama psicrométrico del aire de la sala de Fotolitografía

Solución propuesta:

Se ha previsto la instalación de una batería de refrigeración de la entrada de aire exterior con el fin de condensar el máximo de agua que contiene el aire y aportar el aire a una temperatura donde el deshumidificador trabaje al 100% de su rendimiento. Esta batería está formada por un intercambiador frío por intercambio térmico aire-agua, construido en material aluminio para las aletas y cobre para los serpentines y tuberías, materiales aptos y adecuados debido a su coeficiente de transmisión térmica.

Una vez el aire ha pasado por la batería de preenfriamiento entra en el interior del deshumidificador, que funciona por adsorción química del agua contenido en el aire, mediante absorción de moléculas de agua por el gel de sílice que por contiene el rotor.

El deshumidificador proporciona aire muy seco, aproximadamente un 8% de humedad relativa y a una temperatura cercana a los 38°C. Este aire se mezcla con el aire de retorno de la sala.

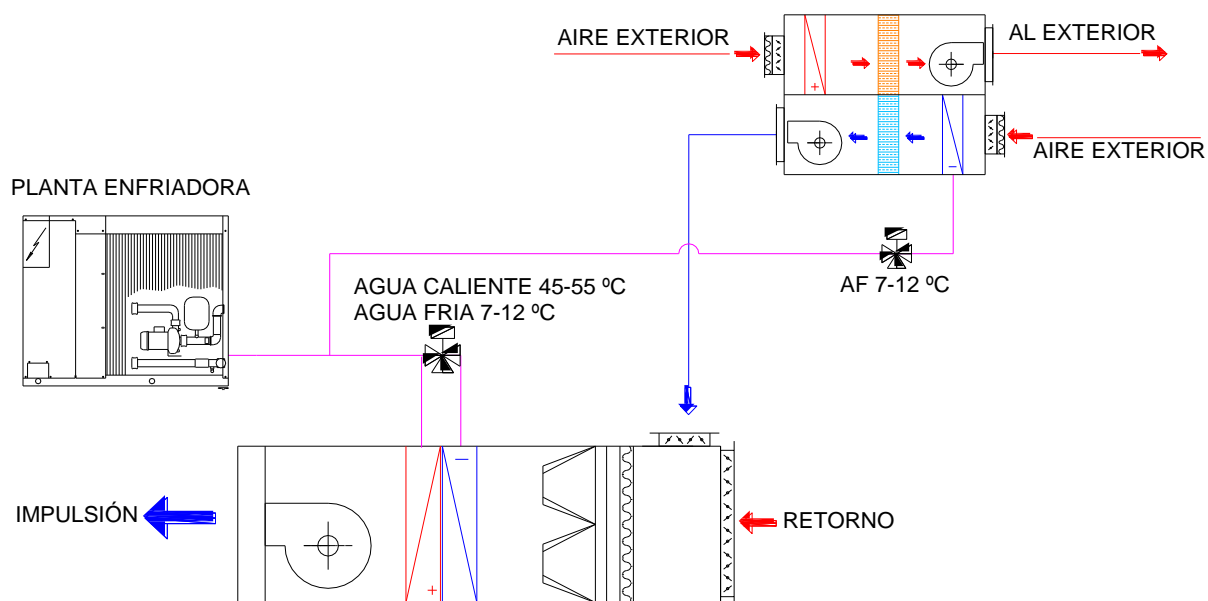


Ilustración 20: esquema sistema de deshumidificación

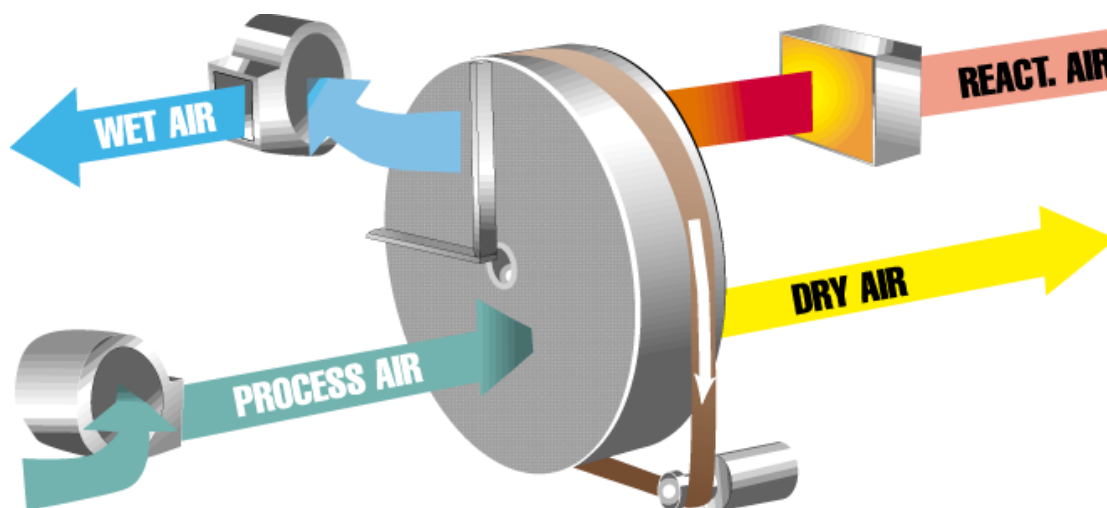


Ilustración 21: esquema de funcionamiento del deshumidificador por absorción

4.3.2. Cálculo de la red de conductos

Para efectuar el cálculo de la red de conductos se han partido de las ecuaciones de la dinámica de fluidos que nos relaciona la pérdida de carga, con la velocidad de un fluido confinado y los parámetros geométricos del conducto.

$$hl = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow \text{-Régimen laminar: } f = \frac{64}{Re}$$

-Régimen turbulento: Diagrama de Moody

(Ecuación 12: ecuación de Darcy)

Donde (hl) es la pérdida de carga por tramo lineal de conducto en Pa, (f) es el factor adimensional de fricción que se extrae del Diagrama de Moody, la rugosidad relativa (ϵ/D) donde (ϵ) es la rugosidad del material en m, (L) es la longitud de la tubería en m, (D) es el diámetro del conducto en m, (v) es la velocidad del fluido en m/s y (g) es la aceleración de la gravedad en m/s^2 , por último (Re) que es el Número de Reynolds que delimita el flujo laminar del flujo turbulento. Las pérdidas de cargas no lineales o singulares (hs) se calculan con la ecuación:

$$hs = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde K es un coeficiente tabulado que depende del tipo de elemento singular que provoca un cambio de sección o de geometría.

Las secciones de los conductos están calculadas para que la velocidad del aire sea de aproximadamente 4 m/s, provocando una pérdida de carga lineal en el conducto de chapa de acero de aproximadamente 1 Pa por metro lineal. Así, el método de cálculo utilizado es el de pérdida de carga constante, con el fin de lograr un correcto equilibrado de presiones en todo el entramado. La ecuación que relaciona la velocidad con la sección es:

$$S = \frac{Q}{v} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde (S) es la sección en m^2 , (Q) es el caudal en m^3/s y (v) es la velocidad del fluido en m/s.

Zona	UTA	Presión conducto impulsión [Pa]	Presión conducto retorno [Pa]
Fotolitografía	1	60	50
Grabado Húmedo	4	40	50
Grabado Seco/Deposición	5	100	80
Medida general			
Sas material			
Sas personal 1			
Sas personal 2	2	40	50
Banco químico Fotolitografía			
Banco químico Grabado Húmedo			
Flujo laminar medida general			
	6	40	50

Tabla 13: pérdidas de carga en conductos

Solución propuesta:

Los conductos instalados son de sección circular y de chapa de acero galvanizado de 6 décimas de espesor. Los diferentes tramos y accesorios de conducto están unidos y sellados entre sí. Los conductos de impulsión están calorifugados para evitar al máximo las pérdidas caloríficas en invierno y las aportaciones en verano, mediante aislante tipo “Armaflex” o similar de 10 mm de espesor. En la salida del conducto principal para cada unidad de filtración absoluta, se ha instalado un registro de caudal variable. En caso que tengamos rejillas de retorno, estos elementos irán provistos de sus sistemas de regulación de caudal.

En los tramos finales con desembocadura en una caja terminal de filtración absoluta de impulsión o rejilla de retorno, se instalara un conducto circular flexible de PVC. En la impulsión el conducto flexible ira calorifugado. En las uniones de retorno e impulsión se ha instalado una junta flexible para evitar la propagación de las vibraciones desde las UTA's.

Ver planos en anexo 1: planos

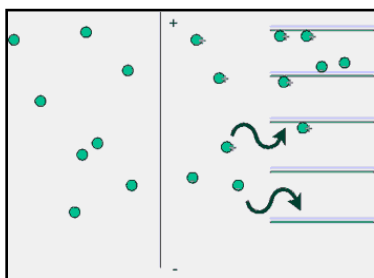
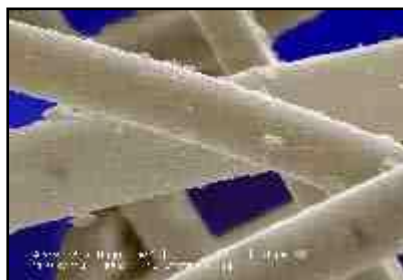
4.3.3. Diseño de los elementos de filtración

Los filtros retienen las partículas del aire al entrar en contacto con la superficie de las fibras de la media filtrante donde se adhieren. Existen dos grandes categorías de filtros de aire:



Filtros de aire de fibras finas: Estos filtros utilizan medias filtrantes cuyas fibras tienen un diámetro lo suficientemente pequeño como para permitir la intercepción eficaz de partículas submicrónicas sin atracción electrostática. La media de fibras finas se compone a menudo fibras de vidrio o PTFE.

Filtros de aire con media de fibras espesas: Estos filtros utilizan medias filtrantes cuyas fibras tienen un diámetro que no permite, normalmente, detener eficazmente las partículas submicrónicas. Para detener estas partículas con más eficacia, la media se carga electrostáticamente para permitir una atracción electrostática de las partículas. Las medias de fibras espesas tienen a menudo fibras sintéticas.



Filtros de aire electrónicos Electrostatic Precipitator: Estos filtros necesitan una fuente de energía externa. Los filtros cargan las partículas en una primera planta y a menudo utilizan un conjunto de láminas paralelas sobre las cuales las partículas se recolectan en una segunda planta. Una lámina con una carga opuesta atrae las partículas cargadas. Normalmente, estas láminas deben lavarse para que el filtro conserve su máxima eficacia.

Los filtros de alta eficacia, deben situarse en la parte terminal del conducto de impulsión o en el inicio de la red de conductos según la clasificación requerida. Los filtros absolutos deben cumplir la Norma UNE-EN 1822-1, deben ir montados sobre una carcasa

soporte y debe comprobarse la ausencia de fugas a través del material filtrante y la estanqueidad a través de la junta. Esta comprobación la realiza el fabricante. La comprobación de la correcta colocación del filtro absoluto es fundamental, para asegurar que no existe el paso de partículas y/o microorganismos a través del sistema de climatización siendo el único método que garantiza la estanqueidad y eficacia. Dicha comprobación se puede realizar mediante un conteo de partículas tras el filtro absoluto. Para realizarlo, utilizamos un contador láser dotado de una sonda isocinética, que determina el número y tamaño (de 0,3 – 10 micras) de las partículas. Cabe destacar que la medición se realiza en condiciones de reposo y sin personal presente, situando el cabezal de aspiración junto al filtro, con el fin de que el resultado no se vea modificado por el aire inducido del ambiente.

Clase EN1822		
$\bar{E} \% @ 0.3 \mu m$		$\bar{E} \% @ MPPS$
≥ 95	H10	≥ 85
≥ 98	H11	≥ 95
≥ 99.99	H12	≥ 99.5
≥ 99.997	H13	≥ 99.95
≥ 99.999	H14	≥ 99.995
$\bar{E} \% @ 0.12 \mu m$		
≥ 99.9995	U15	≥ 99.9995
≥ 99.99995	U16	≥ 99.99995
≥ 99.999995	U17	≥ 99.999995

Tabla 14: clasificación filtración terminal según EN1822

Clase EN779	
G1	$Am < 65$
G2	$65 \leq Am < 80$
G3	$80 \leq Am < 90$
G4	$90 \leq Am$
F5	$40 \leq Em < 60$
F6	$60 \leq Em < 80$
F7	$80 \leq Em < 90$
F8	$90 \leq Em < 95$
F9	$95 \leq Em$

Tabla 15: clasificación filtración previa y media según EN779

Solución propuesta:

Las etapas de filtración absoluta para cada zona son las siguientes:

- En las zonas de Grabado Húmedo, Grabado seco/Deposición, medida general y en las esclusas, con clasificación 10.000, se instalarán cajas terminales de filtración absoluta H14 eficacia MPPS (Tamaño de partícula de mayor penetración) en el falso techo de la sala.
- En la zona de Fotolitografía con clasificación 1.000, se instalarán cajas terminales de filtración absoluta H14 eficacia MPPS (Tamaño de partícula de mayor penetración) en el falso techo de la sala.

Estas cajas están construidas en aluminio y plástico. La superficie de difusión del aire es de chapa microperforada de fácil abertura para la sustitución de los filtros absolutos, y van provistas de bocas circulares para conexión en conducto.

Previo a estas etapas, el aire se filtrará mediante una primera etapa de prefiltración con una eficacia Gravimétrica G-4 (EU-4) según EN779 y una segunda de alta eficiencia, con una eficacia Opacimétrica Dust Spot F7 (EU-7).

En el caso de los bancos químicos se ha previsto una etapa de filtración mediante carbono activado que consigue absorber los contaminantes químicos gaseosos usados en esta zona.

Zona	Clase (ISO 14644-1)	Tipo de flujo	Filtración previa	Ubicación	Filtración media	Ubicación	Filtración química	Ubicación	Filtración absoluta	Ubicación
Fotolitografía	ISO 6	mixto	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Grabado Húmedo	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Grabado Seco/Deposición	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Medida general	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Sas material	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Sas personal 1	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Sas personal 2	ISO 7	multidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo
Banco químico Fotolitografía	ISO 5	unidireccional	G4	UTA	F7	UTA	Carbono activado	UTA	H14	Techo
Banco químico Grabado Húmedo	ISO 5	unidireccional	G4	UTA	F7	UTA	Carbono activado	UTA	H14	Techo
Flujo laminar medida general	ISO 5	unidireccional	G4	UTA	F7	UTA	-	-	H14	Techo

Tabla 16: filtración instalada y su ubicación

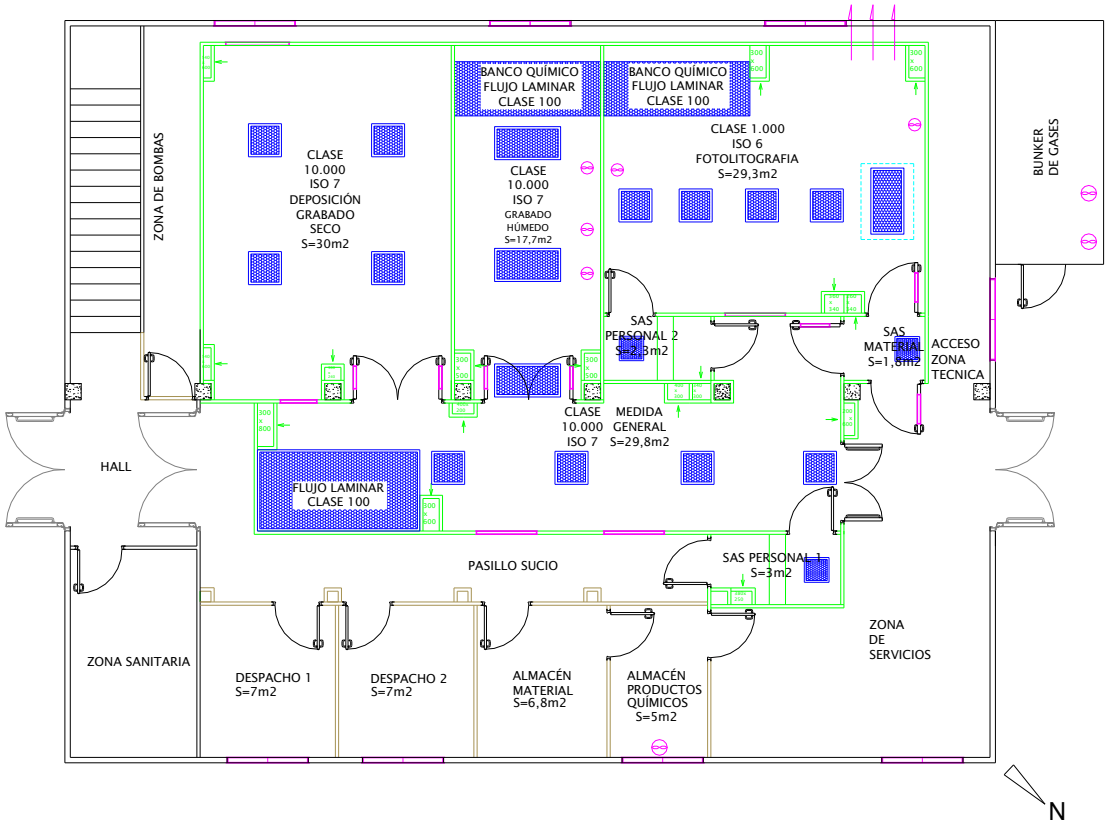


Ilustración 22: distribución de filtros en techo

4.3.4. Diseño de la maquinaria de tratamiento de aire

Los valores calculados de caudales y potencias térmicas son:

Zona	UTA	Caudal aire exterior sala [m ³ /h]	Caudal aire exterior UTA [m ³ /h]	Caudal impulsión sala [m ³ /h]	Caudal impulsión UTA [m ³ /h]	Caudal recirculación sala [m ³ /h]	Caudal recirculación UTA [m ³ /h]	Potencia frigorífica sala [kW]	Potencia frigorífica UTA [kW]	Potencia calorífica sala [kW]	Potencia calorífica UTA [kW]
Fotolitografía	1	1066,25	1066,25	4362,5	4362,5	3296,25	3296,25	15	15	10	10
Grabado Húmedo	4	1932,75	1932,75	3127,5	3127,5	1194,75	1194,75	30	30	15	15
Grabado Seco/Deposición	5	225	501,75	2250	5017,5	2025	4515,75	20	10	2	8
Medida general		223,5		2235		2011,5					
Sas material		13,5		135		121,5					
Sas personal 1		22,5		225		202,5					
Sas personal 2		17,25		172,5		155,25					
Banco químico Fotolitografía	2	437,4	437,4	4374	4374	4811,4	4811,4	11	11	5	5
Banco químico Grabado Húmedo	3	405	405	4050	4050	4455	4455	9	9	4	4
Flujo laminar medida general	6	-	-	7290	7290	7290	7290	3	3	3	3

Tabla 17: valores de caudal y potencias térmicas calculadas

Para el cálculo de la presión total que ha de tener el electroventilador de impulsión de la unidad de tratamiento de aire, se ha considerado una presión total capaz de poder vencer la pérdida de carga de la instalación en la situación más desfavorable, es decir, con los filtros de aire colmatados

Zona	UTA	Presión Prefiltración G4 [Pa]	Presión Prefiltración F7 [Pa]	Presión Filtración H14 [Pa]	Presión batería frío [Pa]	Presión batería calor [Pa]	Presión conducto impulsión [Pa]	Presión conducto retorno [Pa]	Total
Fotolitografía	1	150	250	500	50	50	60	50	1111
Grabado Húmedo	4	150	250	500	50	50	40	50	1094
Grabado Seco/Deposición	5	150	250	500	50	50	100	80	1185
Medida general									
Sas material									
Sas personal 1									
Sas personal 2	6	150	250	500	50	50	40	50	1096
Banco químico Fotolitografía									
Banco químico Grabado Húmedo	3	150	250	500	50	50	40	50	1093
Flujo laminar medida general	6	150	250	500	50	50	40	50	1096

Tabla 18: resumen de las pérdidas de cargas que afectan al ventilador

Solución propuesta:

Para poder tratar el aire de cada zona, se han instalado 6 unidades, una de ellas trata la zona de Fotolitografía con clasificación 1.000, otra UTA trata la zona de Grabado húmedo,

de clasificación 10.000, otra UTA en las zonas de Grabado seco/deposición, medida general y las esclusas, todas éstas zonas también de clase 10.000, y para los bancos químicos se han previsto dos máquinas más. Finalmente, se instalara una unidad de tratamiento de aire para el flujo laminar clase 100.

El motivo de separar las zonas en diferentes máquinas es que cada zona tiene necesidades distintas y diferentes clasificaciones, con diferentes tipos de proceso y equipamiento. Principalmente hay dos salas, la zona de fotolitografía y la zona de Grabado húmedo con una complicación añadida ya que disponen de gran número de extracciones, bancos químicos que trabajan en presión negativa, cabinas de extracción, armarios con extracción, etc. Esto provoca descompensaciones en las salas cuando se arranca o para alguna de las extracciones. Para solucionar este problema se instalara una máquina para cada sala. Estas disponen de control de regulación según la variación de presión de la sala al funcionar o no las extracciones. Si una extracción arranca, la sala bajará su presión positiva por estar aspirándose aire hacia el exterior. El sistema de regulación detecta esta disminución de presión y proporciona más caudal a la impulsión para compensar la disminución de presión. Esto se puede hacer cuando una sola máquina alimenta a la sala en cuestión ya que si alimentara a más salas todas las salas sufrirían un aumento del caudal de impulsión y consecuentemente un aumento de la sobrepresión.

Las unidades de tratamiento de aire están construidas con perfilera de aluminio. Paneles tipo sándwich de 27/52 mm con aislamiento de fibra sintética. Bancada con zócalo de vigueta de 80/100 mm reforzada interiormente. Bandeja de condensados de acero inoxidable. Puertas de acceso con bisagras y mirillas. En el interior, plancha de acero galvanizado de 0,6 mm de espesor, perforada en la zona de ventiladores (con el objetivo de absorber al máximo el ruido creado en su interior).

4.3.5. Diseño del flujo laminar

Un flujo laminar por definición es un equipo que proporciona aire ultrafiltrado con una clasificación bajo flujo laminar de máximo 100 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por pie cúbico (según U.S. Federal Standard 209E). Equivalente a máximo 3.520 partículas de $\geq 0.5\mu\text{m}$ por m^3 , Clase ISO 5 según ISO 14644 – 4 (2001). El aire sale en régimen unidireccional con lo que se consigue un barrido de la zona efecto pistón hacia abajo, con esto se consigue la protección del producto y del operador al estar respirando en una cota superior a la manipulación del producto, también se evitan las contaminaciones cruzadas al ser flujo unidireccional.

Solución propuesta:

1.- Caja autónoma a instalar en el falso techo, construida en acero material plancha F-111 de 1,5mm de espesor, esmaltado y secado al horno. En el interior de dicha caja tendremos, según la dirección del paso del aire, las siguientes partes:

- Zona de filtración absoluta mediante filtros instalados en el plenum H14 eficacia MPPS (Tamaño de partícula de mayor penetración).
- La entrada del aire al interior de la sala se lleva a cabo mediante unos difusores de doble tela tipo velo (microred en material poliéster) con marco en perfil de acero inoxidable.
- En el perímetro se instalará cortinas en lamas de PVC transparentes de 200mm de anchura y 2mm de espesor, con el objetivo de mantener el flujo laminar a lo largo de toda la altura de la sala.
- Se instalan luminarias de manera que no rompan la laminaridad del flujo y en número y potencia necesarios para obtener un nivel de iluminación de 500 lux a la altura de trabajo.

2.- Falsa columna de retorno realizada por la parte exterior, en la esquina de la sala de medida general, construido con el mismo tipo de panel que el utilizado para las paredes. En la parte más baja se han instalado rejillas de retorno del mismo tipo de las instaladas en el resto de las salas.

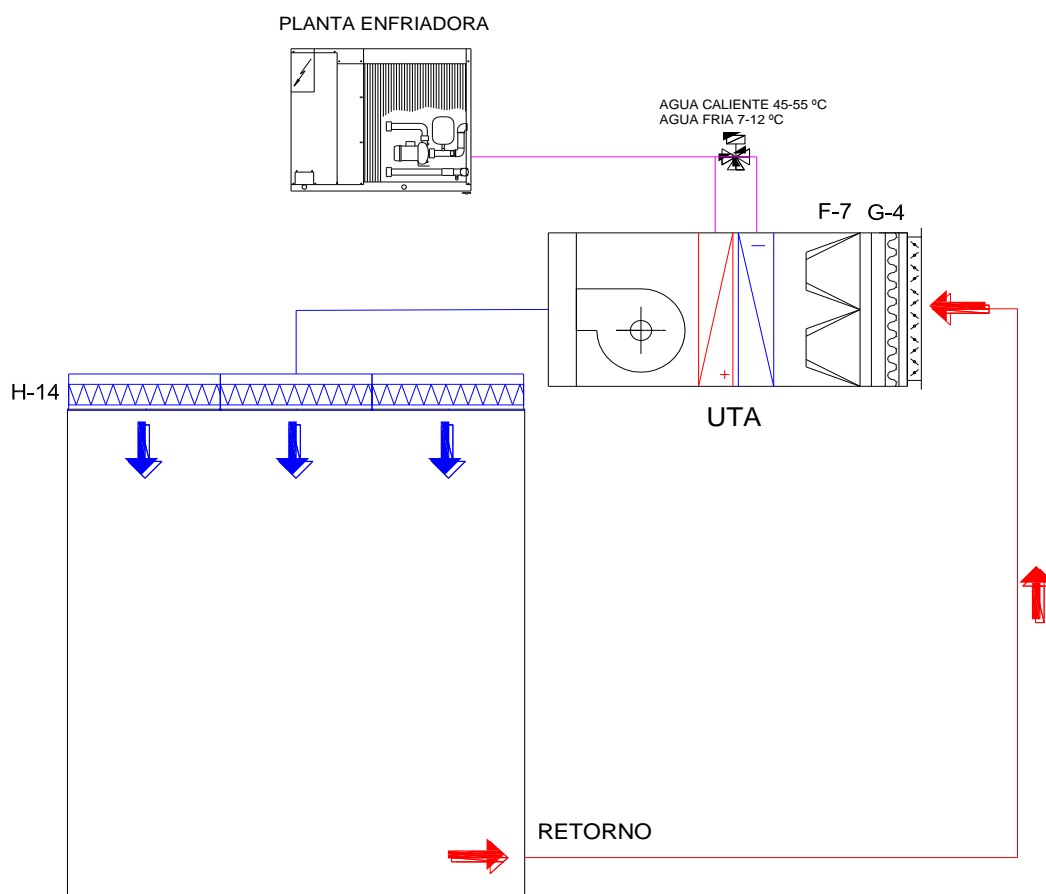


Ilustración 23: esquema del flujo laminar

4.3.6. Diseño de los bancos químicos

Los bancos químicos están formados por dos piezas, una pieza consta de un flujo laminar vertical situado en el techo del banco químico que se encarga de crear el barrido de aire filtrado en dirección vertical hacia abajo protegiendo al operario y al producto.

La segunda pieza es el banco químico propiamente dicho, fabricado en un material resistente químicamente como es el Polipropileno (PP), este banco químico consta de fregadero, grifo de agua desionizada, pistola de N₂ y agua desionizada y enchufes, sería instalado por la empresa experta en este tipo de equipamiento Flores Valles.

El tratamiento del aire es diferente debido a que para proteger al operador y al ambiente este debe estar en una presión negativa respecto al resto de la sala, con esto conseguimos que aspire cualquier producto químico gaseoso evitando que pueda ser inhalado por el operador y que pueda contaminar el ambiente. El tratamiento de filtración es igual que el resto de las zonas con la excepción de que se instala una etapa de filtración por carbono activado especialmente diseñada para neutralizar productos químicos.

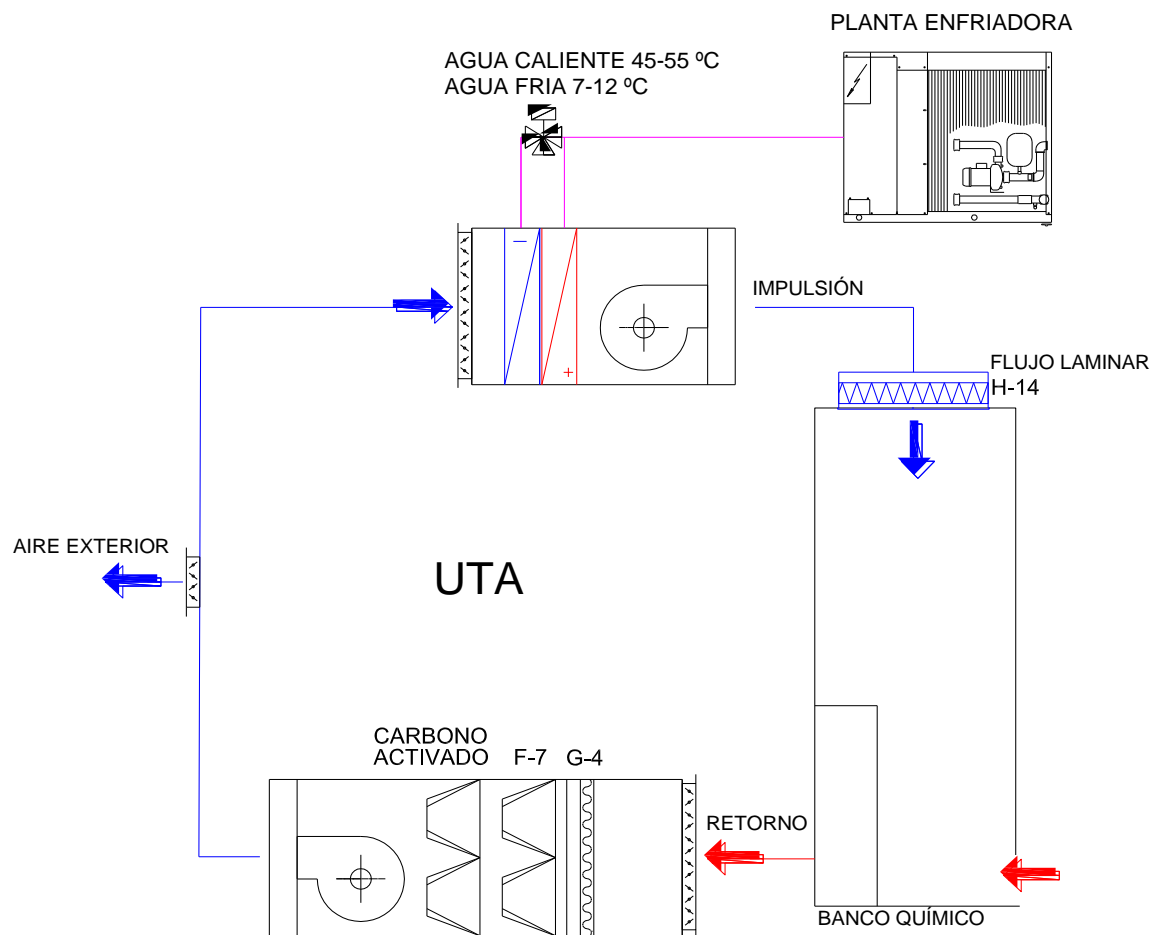


Ilustración 24: esquema banco químico con flujo laminar

4.3.7. Diseño de los elementos de difusión del aire

A continuación se muestra la tabla de cálculo de los elementos de difusión de aire de cada sala.

Zona	Caudal impulsión [m3/h]	Nº filtros	Caudal [m3/h]	Medidas [mm]	Nº columnas retorno	Medidas [mm]	Caudal por columna retorno [m3/h]
Fotolitografía	4362,5	3	623	610x610	2	300x600	1454
		2	1246	1220x610	1	360x340	1454
Grabado Húmedo	3127,5	3	1042,5	1220x610	2	300x500	1564
Grabado Seco/Deposición	2250	4	562,5	610x610	2	140x600	750
					1	300x240	750
Medida general	2235	4	558,75	610x610	1	400x200	745
					1	400x300	745
					1	200x500	745
Sas material	135	1	135	457x457	1	260x340	135
Sas personal 1	225	1	225	457x457	1	380x250	225
Sas personal 2	172,5	1	172,5	457x457	1	340x300	172,5
Banco químico Fotolitografía	4374	1	4374	2700x1000	1	2700x300	4374
Banco químico Grabado Húmedo	4050	1	4050	2500x1000	1	250x300	4050
Flujo laminar medida general	7290	1	7290	3000x1500	1	800x300	3645
					1	300x600	3645

Tabla 19: elementos de difusión del aire

4.3.8. Diseño de la estructura de soporte de la sala blanca

En el techo de la sala se instalarán elementos como filtros, luminarias, flujo laminares, etc.; además de los elementos de conducción del aire y del propio panel que forma el techo. El techo debe también poder soportar el acceso de personal de mantenimiento y la sujeción de maquinaria.

Todo este falso normalmente se sujeta al un techo de forjado estructural del edificio. En nuestro caso, siendo el edificio prefabricado, el techo del primer piso está calculado para soportar simplemente personas y equipamiento de oficina. Como la sala blanca se ubicaría justo en la planta inferior, este techo no podría soportar todos los elementos previstos. Por este motivo se prevé construir una subestructura metálica que iría pegada en la parte inferior de dicho techo a una altura de 4m.

Para realizar el cálculo de esta estructura se partirá de la teoría de construcción industrial sobre diseño de estructuras haciendo especial atención en el material estructural para optimizar la estructura final.

La carga por superficie que tendrá que soportar la estructura se divide en:

Elemento	Peso [kg/m ²]
Panel de techo	23
Luminarias	10
Filtros	5
Conductos	10
Varios	5
Tuberías	7
Total	60

Tabla 20: peso por m² a soportar por la estructura

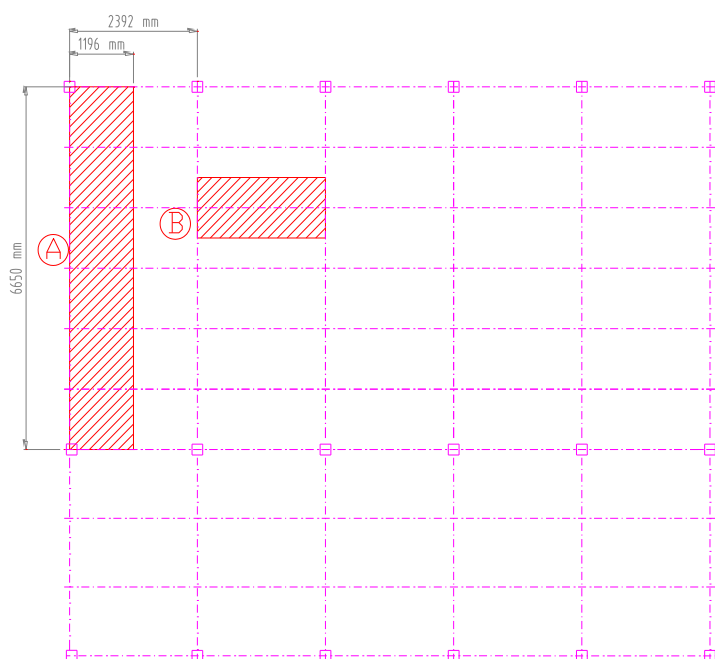
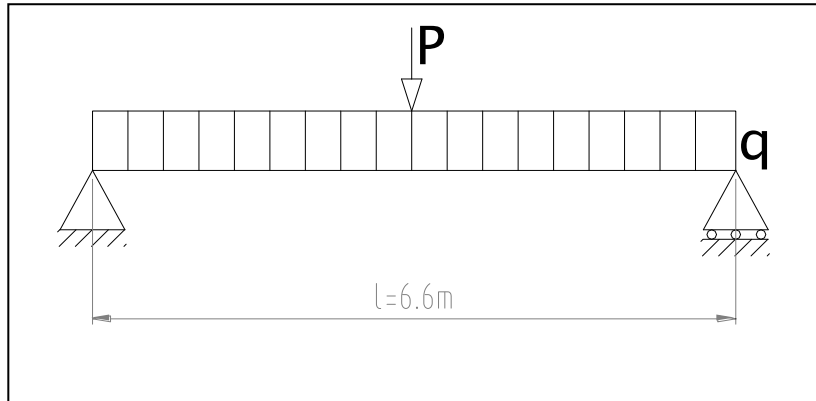


Ilustración 25: esquema de la estructura de soporte

El área rayada en color rojo corresponde a la superficie de carga que soporta la viga A, en total es un área de 15.85m^2 que corresponde a una carga de 475kg mas 100kg del peso propio y de las viguetas B suman un total de 575kg, esto equivale a una carga lineal (q) de 90kg/m de carga constante. Se le aplica una carga puntual variable y móvil (P) de 100kg de una persona, queda:



Primero se calcula la flecha límite: $f_{\text{límite}} = C \cdot l$

El coeficiente es igual a: $C = \frac{1}{250}$ (Ecuación 15) Para vigas generales o vigas de cubierta.

Así que la flecha límite admisible es de **26,4mm**.

ELS (estado límite de servicio)

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde (f) es la flecha límite admisible en cm, (q) es la carga lineal en kg/cm, (I) es la distancia entre apoyos en cm, (E) es el módulo de elasticidad del acero que es igual a $2.1 \cdot 10^6$ Kp/cm² y (I) es el momento de inercia de la viga a seleccionar en cm⁴.

Sustituyendo y aislando queda que el momento de inercia mínimo debe ser 509.11cm^4 .

ELU (estado límite de seguridad)

Se calcula la carga P con el coeficiente de seguridad: $P^* = P \cdot 1.5$ (Ecuación 17)

Se calcula la carga q con el coeficiente de seguridad: $q^* = q \cdot 1.5$ (Ecuación 18)

Se calcula el momento flector máximo de la carga P*: $M_{fmax}(P^*) = \frac{P^* \cdot l}{4}$ (Ecuación 19)

Se calcula el momento flector máximo de la carga q*: $M_{fmax}(q^*) = \frac{q^* \cdot l^2}{8}$ (Ecuación 20)

El momento flector total es igual a la suma de los dos momentos: $M_{ftotal} = 90090\text{Kp}\cdot\text{cm}$

Se calcula el momento resistente: $W_x = \frac{M_{ftotal}}{\sigma_e}$ (Ecuación 21)

Donde (W_x) es el momento resistente de la sección de la viga en cm^3 , el momento flector máximo total en $\text{Kp}\cdot\text{cm}$ y (σ_e) es el límite elástico del material, en este caso acero, que puede ser de varias calidades; para un acero A37 el límite elástico es $2400\text{Kp}/\text{cm}^2$ y para un acero A42 el límite elástico es $2600\text{Kp}/\text{cm}^2$.

Calculando resulta que con un acero de material de calidad A37 la sección resistente es 34.65cm^3 y para un acero A42 es 37.53cm^3 .

En las tablas de perfiles estructurales IPE, con los resultados mínimos del momento de inercia I y del momento resistente W_x se puede seleccionar un perfil, en este caso el perfil que cumple es el IPE140, con un momento de inercia I_x de 541cm^4 y un momento resistente W_x de 77.3cm^3 .

Comprobación por cálculo estático

Se comprueba que la sección seleccionada aguante la combinación de cargas a la que es solicitada, un esfuerzo cortante y un esfuerzo de flexión en los puntos más críticos de la sección:

El esfuerzo cortante es igual a la carga: $P^* = 150\text{kg}$

El momento flector es igual a: $M_{ftotal} = 90090\text{Kp}\cdot\text{cm}$

La tensión de flexión es igual a: $\sigma_n = \frac{M_{ftotal}}{I_x} \cdot y$ (Ecuación 22) resultando $932.5\text{ Kp}/\text{cm}^2$

La tensión del cortante es igual a: $\tau_x = \frac{\frac{P^*}{2}}{h_1 \cdot e}$ (Ecuación 23) resultando $14.24\text{ Kp}/\text{cm}^2$

La tensión combinada de flexión y de cortante es igual a: $\sigma_{co2} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 \cdot \tau^2}$ (Ecuación 24)

Resulta que $\sigma_{co2} = 932.8\text{ Kp}/\text{cm}^2$ que es inferior a $2400\text{ Kp}/\text{cm}^2$ del material de calidad A37.

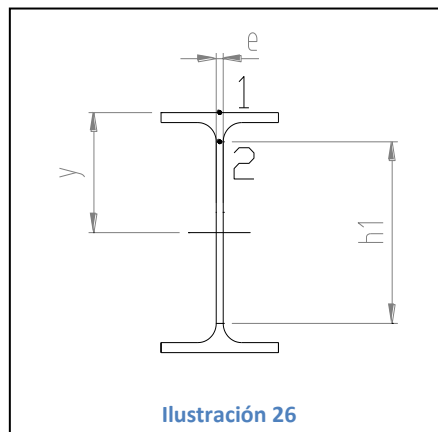


Ilustración 26

Calculamos la tensión en el punto 1, es igual a: $\sigma_{n1} = \frac{M_{ftotal}}{I_x} \cdot y$ (Ecuación 25)

Resulta que $\sigma_{n1} = 1165.6\text{ Kp}/\text{cm}^2$ que es inferior a $2400\text{ Kp}/\text{cm}^2$ del material de calidad A37.

Con lo que podemos seleccionar el *perfil IPE140 en acero de calidad A37*.

Para el cálculo de las viguetas B, que soportan la carga rayada en rojo B de la ilustración 28 se realizaría de la misma manera que la viga anterior.

Resulta una vigueta de perfil IPE80 con acero de material calidad A37.

4.3.9. Diseño de la instalación lumínica

Para el cálculo de las necesidades lumínicas de cada sala se parte de un ratio lumínico de 20-25W/m² en una sala de 2,2m a 2,8m de altura. Este ratio se calcula empíricamente para conseguir 500 Lux a una altura de trabajo de 1m respecto al suelo. Dependiendo del tipo de tarea a realizar y de la superficie útil no ocupada por equipamiento, el ratio oscilará entre 20 y 25 W/m², y en las zonas tipo bancos químicos y flujos laminares se definirán 30W/m² por ser zonas de mayor precisión.

También se ha previsto para el área de Fotolitografía lámparas con filtración ultravioleta de color amarillo, necesarias para el propio proceso.

Zona	Superficie [m2]	Altura sala [m]	Volumen [m3]	Ratio lumínico mínimo [W/m2]	nº de luminarias	nº fluorescentes	potencia fluorescente [W]	Potencia mínima [W]	Potencia instalada [W]
Fotolitografía	26,6	2,5	66,5	25	10	4	18	665	720
Grabado Húmedo	15,2	2,5	38,0	20	2	4	36	304	288
Grabado Seco/Deposición	30	2,5	75,0	25	6	4	36	750	864
Medida general	25,3	2,5	63,3	20	3	4	36	506	540
					1	4	18		
					1	2	18		
Sas material	1,8	2,5	4,5	20	1	2	18	36	36
Sas personal 1	3	2,5	7,5	20	1	4	18	60	72
Sas personal 2	2,3	2,5	5,8	20	1	4	18	46	72
Banco químico Fotolitografía	2,7	2,5	6,8	30	6	1	21	81	126
Banco químico Grabado Húmedo	2,5	2,5	6,3	30	5	1	21	75	105
Flujo laminar medida general	4,5	2,5	11,3	30	6	1	35	135	210

Tabla 21: resumen cálculo lumínico

Se han previsto luminarias para empotrar específicas para Salas Blancas y estériles, fabricadas en chapa de acero lacado en epoxy poliéster blanco, con cristal laminado IP65. Son registrables para su mantenimiento por su parte inferior y están preparadas para instalar en su interior lámparas fluorescentes tipo T-8.

En las zonas anexas a la sala blanca, zona de servicios, zona técnica, despachos, etc, se instalarán luminarias normales de superficie necesarias para iluminar las zonas.

Se ha previsto la iluminación de emergencia, según normativa del Código Técnico de Edificación (CTE) debe existir una iluminación mínima de 4-5 lux dentro del recinto y las salidas deben estar iluminadas con iluminación de emergencia mediante baterías eléctricas para que en caso de corte del suministro eléctrico tengan una duración de 15 minutos.

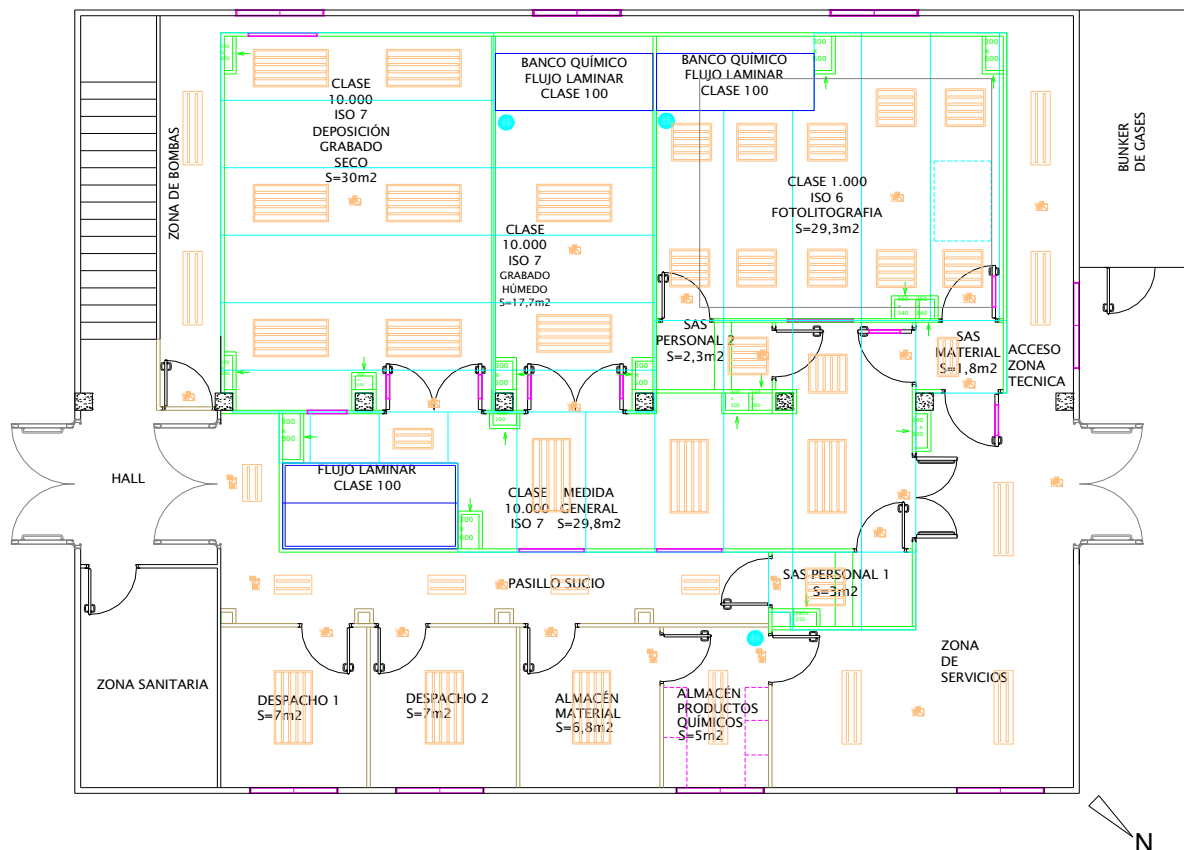


Ilustración 27: distribución de la instalación lumínica

4.3.10. Diseño de la arquitectura de cerramiento

Paredes

Se han previsto paredes con paneles tipo sándwich, formadas por dos placas de resina fenólica lisas de 3mm de espesor, con núcleo de poliestireno extruido de 60mm.

La unión entre paneles se lleva a cabo mediante ranura en panel de 20x20mm, para poner un tubo de PVC 40x20mm para el machihembrado de ambos.

Estos paneles se instalan sobre una guía U de 20x60x20mm, para su alineación. Las uniones entre paneles son de tipo macho-hembrado, cuyas juntas se han sellado con cordón de silicona, aplicada con pistola, una vez terminado el montaje de los mismos.

Falso techo

El falso techo se ha realizado mediante paneles tipo sándwich, formado por dos chapas lisas de 6mm de acero prelacado (color blanco pirineo) con una imprimación de 7 micras y 25 micras de pintura de poliéster de silicona polimerizada al horno, con núcleo de poliestireno extruido de 80mm. La unión entre paneles se realizara mediante ranuras en panel de 20 x 20 mm² para poner tubo de PVC 40 x 20mm para el machi-hembrado de ambos.

El sellado se realiza una vez terminado todo el montaje para evitar que el polvo levantado por los trabajos, se adhiera a la silicona. Presentarán una resistencia al fuego M1.

Esquinas y rinconeras

Debido a las dificultades en la limpieza de estas zonas y para evitar la posible acumulación de polvo en la sala, se han recubierto las esquinas y encuentros (pared-pared y pared-techo) con un perfil de PVC de forma cóncava, compuesto por dos elementos, un ángulo “macho” que se fija mediante remaches al panel y un perfil “hembra” de forma cóncava que encaja a presión en el primero. Las distintas uniones entre estos perfiles, irán cubiertas con un cordón de silicona blanca aplicada a la terminación de los trabajos.

Ventanas

Se han instalado los visores para poder observar la sala sin necesidad de acceder al interior de la misma. Dichos visores, con un espesor de 60mm de grueso total, están compuestos por tres cristales transparentes de 6mm de grosor y dos cámaras de aire.

Puertas

Las puertas montadas han sido fabricadas con marco y hoja de aluminio lacado blanco y panel sándwich, formado por dos placas de resina fenólica lisas de espesor 3mm, con núcleo de poliestireno extruido de 60mm, con mirilla y enclavamiento en las puertas de las esclusas, bisagras y cerradura con golpe y maneta.

Con el objetivo de obtener la máxima hermeticidad posible, manteniendo las características técnicas necesarias para una puerta de Sala Blanca, estas llevan instalada una junta por todo su perímetro. En su parte inferior, se incluye una junta tipo guillotina, que actuará cuando la puerta se cierre.

Los enclavamientos eléctricos de las puertas están formados por un cierre automático electromecánico (24 Vca), con apertura libre si no se excita eléctricamente la bobina de cierre, que se instalará en la parte más elevada de la puerta. Su funcionamiento será paralelo al

propio de la cerradura de la puerta. Se incluye un piloto rojo de señalización que indicará cuando el cierre electromecánico está activado.

Cortinas

Se ha previsto un cerramiento con cortina de lamas de 200x2mm en material PVC transparente para delimitar el flujo de aire filtrado sobre la insoladora.

4.3.11. Diseño del Pavimento

El pavimento es una parte importante de la sala blanca debido a que dependiendo del proceso y del tipo de producto que se manipulará en el interior puede causar problemas si no se elige el adecuado, para su selección se debe tener en cuenta varios puntos:

- Resistencia mecánica a la compresión, flexión, arrancamiento y rayadura
- Resistencia química
- Compatibilidad electrostática
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Higiene

TIPO	CARACTERÍSTICAS	ÁMBITO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
PVC	Pavimento para zonas con tráfico intenso, resistente a la abrasión, higiénico y de fácil mantenimiento.	Hospitales, laboratorios, industria química,...	Resistente abrasión, higiénico	No continuo
ANTIESTÁTICO	Sectores en los que se utilizan aparatos de medición o sensibles a cargas electrostáticas.	Hospitales, fábricas de componentes electrónicos y también áreas de atmósfera explosiva.	No estática	Precio elevado
EPOXY	Resistente a las agresiones de productos químicos, larga duración e impermeable.	Revestimiento universal que se aplica en sectores como laboratorios, industria química y hospitales.	Continuo, sin juntas, resistencia química, durabilidad, impermeabilidad	

Tabla 22: comparativa pavimentos

Solución propuesta:

Pavimento epoxi apto para industria química, farmacéutica, alimentaria, hospitales, etc. Combina alta resistencia química y física con durabilidad, estética e higiene. Muy resistente a las agresiones de productos químicos y al rayado e impermeable al agua. Con un espesor de 3-4mm, de elevada elasticidad y de larga duración (más de 10 años). No contiene disolventes, compatible con el medio ambiente.

Las características son las siguientes:

- Resistencia a la compresión: 94 N/mm^2
- Resistencia a la tracción por flexión: 27 N/mm^2
- Resistencia al arrancamiento $>4 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de elasticidad (ensayo de compresión): 16000 N/mm^2

4.3.12. Diseño de la instalación eléctrica, de control y regulación

El diseño de la instalación eléctrica, de control y regulación por su complejidad y laboriosidad puede ser objeto de un proyecto aparte. En cualquier caso las características más importantes que si debe definir el Ingeniero de Materiales para que el proyecto eléctrico, de regulación y control se pueda ejecutar son:

1. Definición del número y tipo de maquinaria ubicada en la sala blanca, zona técnica y zona de servicios, necesario para poder calcular la potencia eléctrica total instalada y el control de dicho equipamiento.
2. Definición de las cargas eléctricas instaladas tales como luminarias, enchufes, etc.
3. Definición del tipo de control de la sala blanca, control de presiones, de temperatura y de humedad.
4. Definición del tipo de información a obtener del sistema para poder monitorizar y controlar el funcionamiento de la sala.
5. Definición del grado de automatización del sistema, facilidad de funcionamiento e interacción operario-sistema.

El proyecto eléctrico debe estar legalizado según el Reglamento de Baja Tensión (REBT) debido a que es una instalación de más de 70kW de potencia instalada.

4.3.13. Diseño de la instalación de tuberías de gases, de agua desionizada, de aire comprimido, agua general y desagües

El diseño de la instalación de tuberías, tanto de gases técnicos, gas, agua desionizada, aire comprimido, agua general y desagües se omite debido a que no es su estudio objeto de este proyecto por su laboriosidad y complejidad, conociendo los puntos de abastecimiento, la ubicación de las máquinas de generación o acometidas y las necesidades de cada proceso se lleva a cabo el diseño.

En referencia a la instalación se subcontrataría una empresa externa especializada.

La instalación de gases y de agua debe estar legalizada según la normativa vigente.

4.3.14. Diseño de la zona de servicios y zona técnica

La zona técnica y de servicios no ha de tener menor importancia que la propia sala blanca, sin esta área, la sala blanca no podría funcionar debido a que es donde se ubican los elementos necesarios para el funcionamiento y de abastecimiento de los equipos y procesos.

Esta zona, al ser de mantenimiento debe cumplir con:

1. Proveer a la sala de los servicios y necesidades para su funcionamiento
2. Facilitar el mantenimiento de los equipos
3. Facilitar el acceso a los equipos
4. Tener en cuenta las normativas vigentes sobre seguridad

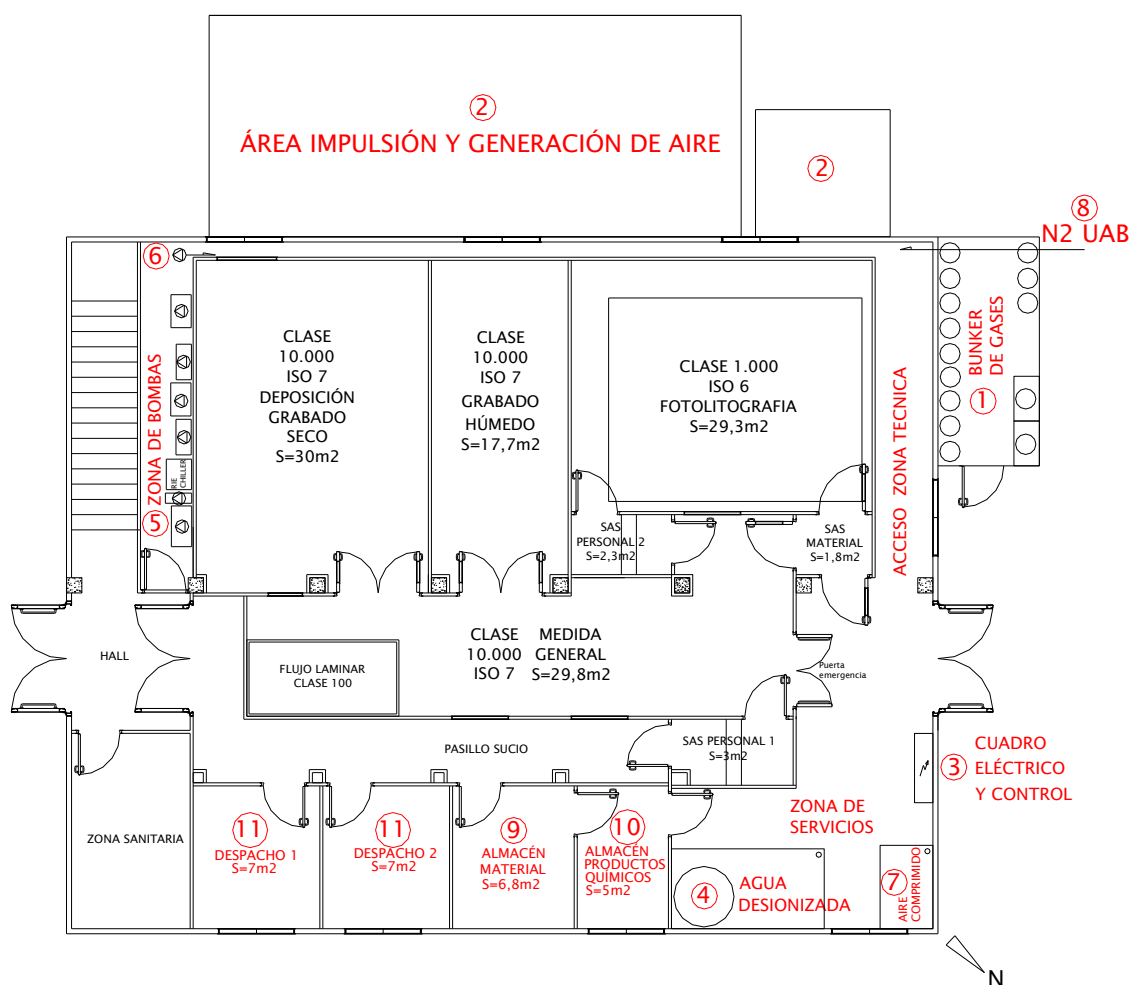


Ilustración 28: diseño de la zona técnica y de servicios

1. Búnker de gases
2. Área de generación e impulsión de aire
3. Cuadro eléctrico y de control
4. Área de generación y recirculación de agua DI
5. Área o áreas de bombas anexa al área de deposición
6. Sistema de vacío a 1 bar
7. Sistema de aire comprimido deshumidificado a 7 bar y un caudal de 250l/min

- 8. Nitrógeno de tanque con una presión por defecto 6 bar proveniente del depósito de la facultad
- 9. Almacén material
- 10. Almacén productos químicos
- 11. Despachos

4.3.15. Diseño del búnker de gases

Para diseñar el búnker de gases se ha tenido en cuenta la Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MIE-APQ-5 “almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión” y la Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MI-IRG 0.

Incluye 10 cuadros para botellas 50H, 3 cuadros para botellas 20H y dos cabinas de seguridad con dimensiones (0,880 x 0,40 x 2,2m³ cada una) para Silano e Hidrógeno debido a su inflamabilidad. Servicios necesarios: Toma de enchufes 220V para las balanzas de los gases licuados. Los servicios necesarios para la cabina de seguridad son agua de red, desagüe, aire comprimido, y 220V para las extracciones.

El almacén de gases se ha definido según la I.T.C. como un almacén de categoría 1 debido a la cantidad de producto almacenado. Su emplazamiento es un área abierta separada de la vía pública, los gases inflamables están confinados dentro de cabinas de seguridad con una resistencia al fuego de 180 minutos (RF-180). El búnker de gases está formado por paredes metálicas con una puerta de acceso mediante llave para evitar la manipulación de las botellas.

Se instalará un equipo de lucha contra incendios, un agente extintor compatible con los gases almacenados con un mínimo de 2 extintores, cada uno con una eficacia de 89B (según UNE 23110) situados en lugares fácilmente accesibles desde el área de mantenimiento.

Cada gas almacenado dispone de una ficha de seguridad donde se encuentra toda la información necesaria del gas, peligros, actuación en caso de accidente, manipulación, almacenamiento, protección, etc.

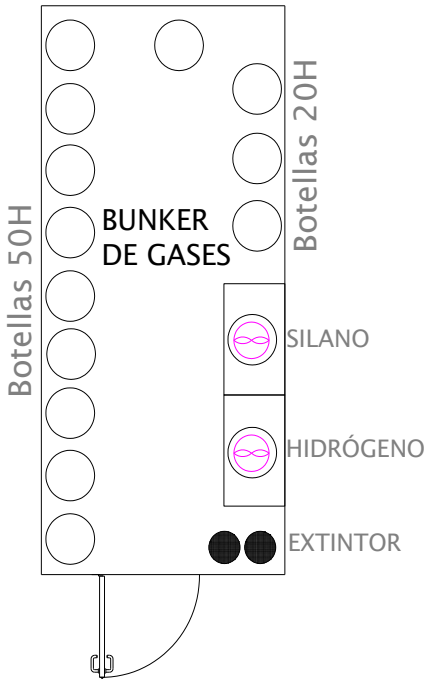


Ilustración 29: Distribución del Búnker de Gases

IDENTIFICACIÓN GAS	Nº FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
METANO (CH ₄)	078A-1
SILANO (SiH ₄)	107-1
HIDRÓGENO (H ₂)	067A-1
ARGÓN (Ar)	003B-1
NITRÓGENO (N ₂)	089A-1
TETRAFLUORMETANO (CF ₄)	116-AL
TRIFLUORMETANO (CHF ₃)	119-AL
OXÍGENO (O ₂)	HDS 12
DIOXIDO DE NITROGENO (NO ₂)	HDS-NO2-00
HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF ₆)	110-2

Tabla 23: Lista de gases almacenados en el Búnker

4.3.16. Diseño del almacén de productos químicos

En el laboratorio se almacenan gran variedad de productos químicos de diferentes características y peligrosidad, generalmente en cantidades pequeñas y en recipientes no mayores de 2,5 litros. Ello confiere a su gestión una característica especial, ya que la normativa legal vigente (RD 379/2001) no es normalmente de obligado cumplimiento en estas condiciones, por lo que es necesario aplicar unas normas técnicas específicas y unas prácticas de trabajo seguras establecidas en la NTP 725.

Para el diseño del almacén de productos químicos se ha tenido en cuenta la mencionada normativa. Se ha partido de la base de que no se almacenan productos explosivos, comburentes o inflamables, tampoco se almacenarán productos clasificados como cancerígenos, mutágenos y/o tóxicos para la reproducción. En el caso de que se quisiera almacenar este tipo de productos se instalarían armarios de seguridad adecuados para estos productos según la ITC MIEAPQ-1.

Se ha instalado una ducha y un lava ojos de emergencia para utilizar en caso de derrame o salpicadura, también se ha previsto una extracción continua en el almacén.

La NTP 725 propone la distribución de los productos químicos según si son inertes, tóxicos, bases o ácidos.

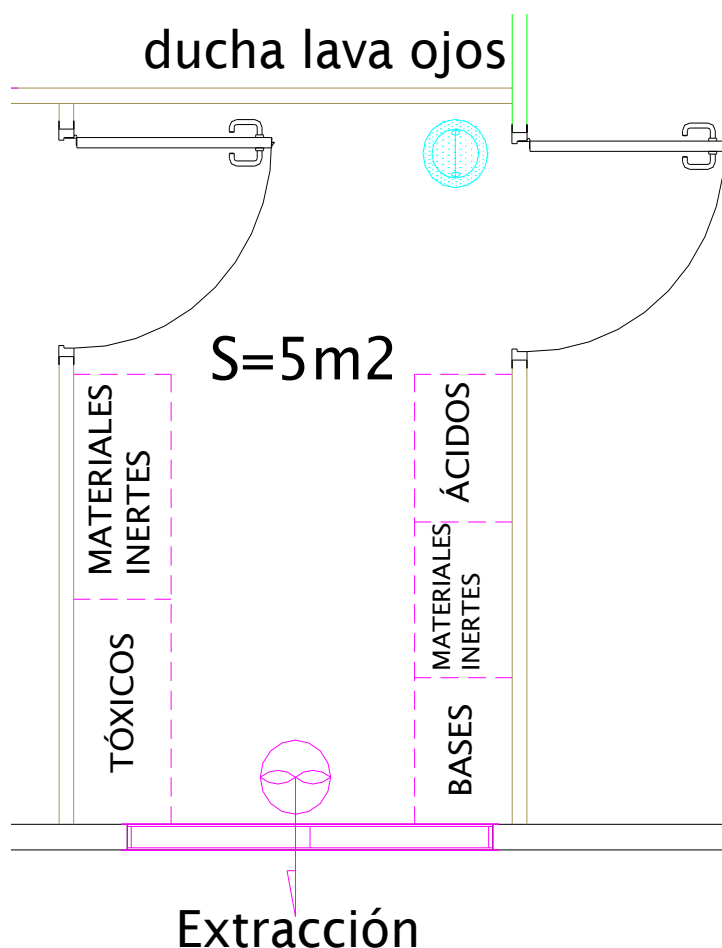


Ilustración 30: distribución del almacén de productos químicos

4.3.18. Diseño de las zonas de evacuación

Para diseñar las zonas de evacuación se ha tenido en cuenta el Código Técnico de Edificación. Se han previsto luminarias de emergencia en todas las salas y salidas con un nivel de iluminación mínimo de 4-5 lux, éstas describen el camino a seguir hacia el exterior en caso de emergencia. También se han previsto puertas de emergencia con un sistema de apertura de emergencia en sentido del interior hacia el exterior. Dentro de las esclusas se han previsto pulsadores de emergencia para liberar las puertas.

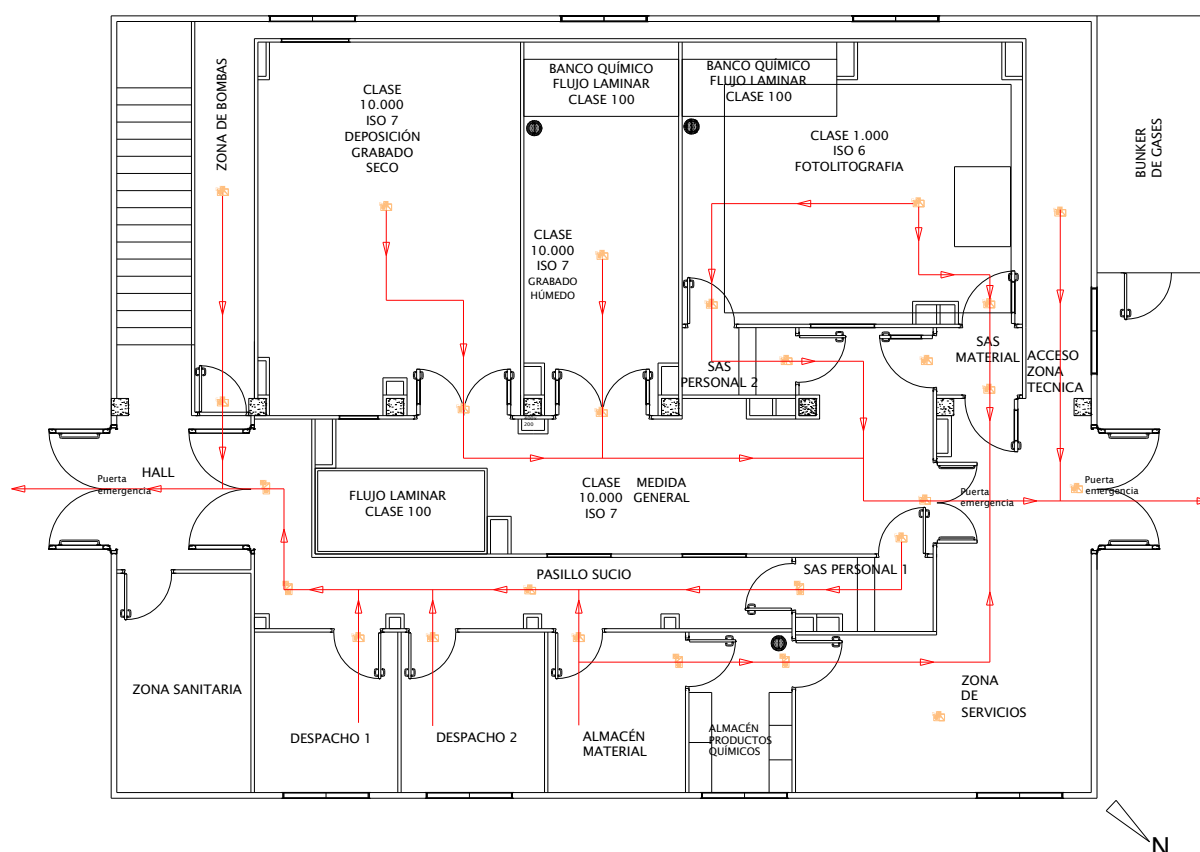


Ilustración 32: distribución de la evacuación

4.4. Estudio económico del proyecto

En todo proyecto industrial una parte muy importante es el estudio económico, es necesario poder tener una aproximación lo más precisa posible del posible coste del proyecto, esto puede marcar la definición, el grado de calidad, la complejidad e incluso la viabilidad.

El ingeniero que dirige el proyecto es el encargado de realizar el estudio económico teniendo en cuenta todos los factores que intervienen en la realización de dicho proyecto, personal, industriales, materiales, legalizaciones, etc. pero también debe aportar un coste de mantenimiento y de funcionamiento anual que se repite a lo largo de los años de vida del proyecto.

- Coste de la sala blanca

Ver anexo 2

- Coste del estudiante

UNID.	CANTIDAD	COSTE UND	DESCRIPCION	PVP
Horas	160	40,00 €	Horas estudiante	6.400,00 €
Días	40	10,00 €	Gastos transporte coche Terrassa-UAB	400,00 €
Ud.	1	200,00 €	Material oficina	200,00 €
Ud.	1	150,00 €	Consumo eléctrico ordenadores, iluminación, etc.	150,00 €
Ud.	1	150,00 €	Uso instalaciones oficina, sanitarios, etc.	150,00 €
Total coste proyecto estudiante				7.300,00 €

Tabla 24

- Coste Proyecto

UNID.	CANTIDAD	COSTE UND	DESCRIPCION	PVP
horas	1	7.300,00 €	Proyecto ingeniería	7.300,00 €
horas	60	60,00 €	Proyecto regulación y control	3.600,00 €
horas	60	60,00 €	Proyecto eléctrico	3.600,00 €
horas	50	60,00 €	Proyecto protecciones seguridad	3.000,00 €
horas	50	60,00 €	Proyecto contraincendios	3.000,00 €
horas	50	60,00 €	Legalización eléctrica	3.000,00 €
horas	50	60,00 €	Legalización contraincendios	3.000,00 €
horas	50	60,00 €	Legalización gases	3.000,00 €
horas	50	60,00 €	Legalización agua	3.000,00 €
Total coste proyecto				32.500,00 €

Tabla 25

▪ Coste mantenimiento anual

UNID.	CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTE UND	COSTE
u	1	Cambio Filtros UTA 1	750,00 €	750,00 €
u	1	Cambio Filtros UTA 2	1.250,00 €	1.250,00 €
u	1	Cambio Filtros UTA 3	1.250,00 €	1.250,00 €
u	1	Cambio Filtros UTA 4	750,00 €	750,00 €
u	1	Cambio Filtros UTA 5	750,00 €	750,00 €
u	1	Cambio Filtros UTA 6	750,00 €	750,00 €
u	1	Cambio Filtros	500,00 €	500,00 €
u	1	Cambio Filtros flujos laminares	1.500,00 €	1.500,00 €
u	1	Cambio Filtros Enfriadora	375,00 €	375,00 €
u	1	Revisión UTAS	250,00 €	250,00 €
u	1	Mantenimiento enfriadora	625,00 €	625,00 €
u	1	Test integridad filtros cambiados	1.500,00 €	1.500,00 €
u	1	Reajuste presiones y caudales	750,00 €	750,00 €
u	1	Revisión general	1.250,00 €	1.250,00 €
Total mantenimiento anual				12.250,00 €

Tabla 26

▪ Coste funcionamiento

UNID.	CANT.	COSTE UNID.	Horas diarias	Coefficiente simultaneidad	DESCRIPCION	PVP
kW	2,2	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 1	4,23 €
kW	2,2	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 2	4,23 €
kW	4,4	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 3	8,46 €
kW	4,4	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 4	8,46 €
kW	4	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 5	7,68 €
kW	4	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico UTA 6	7,68 €
kW	80	0,10 €	24	0,6	Consumo eléctrico enfriadora	115,20 €
kW	15	0,10 €	24	0,6	Consumo eléctrico deshumidificador	21,60 €
kW	1	0,10 €	24	0,8	Consumo eléctrico extracciones	1,92 €
kW	3	0,10 €	8	1	Consumo eléctrico luminarias	2,40 €
kW	3	0,10 €	8	0,7	Consumo eléctrico agua desionizada	1,68 €
kW	3	0,10 €	8	0,7	Consumo eléctrico aire comprimido	1,68 €
kW	3	0,10 €	8	0,7	Consumo eléctrico purificadora agua	1,68 €
kW	5	0,10 €	8	0,5	Consumo eléctrico equipos área fotolitografia	2,00 €
kW	60	0,10 €	8	0,5	Consumo eléctrico equipos área grabado seco	24,00 €
kW	5	0,10 €	8	0,5	Consumo eléctrico equipos área grabado húmedo	2,00 €
kW	5	0,10 €	8	0,5	Consumo eléctrico equipos área medida general	2,00 €
m3	0,5	0,26 €	8	0,8	Consumo agua	0,84 €
Total coste funcionamiento diario						217,74 €
Total coste funcionamiento mensual						6.532,20 €
Total coste funcionamiento anual						71.854,20 €

Tabla 27

5. Conclusiones Generales

Este proyecto es un estudio técnico de una instalación necesaria para poder realizar determinados procesos de litografía y deposición de capas delgadas de materiales y nanomateriales.

EL punto de partida ha sido habilitar un espacio con una serie de requisitos y condicionantes: procesos tecnológicos (microfabricación, litografía, tratamientos térmicos, etc.) que se quieren realizar en la futura Sala Blanca, mejorando en todos los aspectos la actual instalación que ha quedado obsoleta.

Se ha asegurado un funcionamiento adecuado a los tipos de procesos, la protección del personal que va a utilizar esta instalación frente a los peligros de los propios procesos, ya sean físicos o químicos, su ergonomía y su comodidad de trabajo, también se ha intentado cumplir con la complicada normativa vigente en diferentes campos, seguridad e higiene, diseño de salas blancas, seguridad eléctrica, seguridad contra incendios, seguridad de gases, de productos químicos, etc.

Con todos estos requisitos y condicionantes los objetivos a cumplir han sido el análisis y determinación de las mejoras a la actual sala blanca, el diseño de una Sala Blanca en la nueva ubicación que cumpla los requisitos y condicionantes del proyecto, proporcionar la distribución óptima del espacio para facilitar los procesos que se desarrollan, seleccionar los elementos y materiales adecuados y finalmente cumplir con la normativa vigente en materia de seguridad, diseño e instalación de salas blancas.

Las salas blancas exigen la existencia de un Ingeniero que dirija las diferentes disciplinas que intervienen en el diseño y construcción de una zona controlada: tratamiento del aire, cerramiento, procesos, normativas, instrumentación y regulación, etc. También es imprescindible su conocimiento en materiales, que teniendo en cuenta las posibilidades de los materiales de que dispone, pueda garantizar la estabilidad mecánica y química de éstos y así lograr las exigencias requeridas y sea capaz de diseñar un área en consonancia con los procesos que se van a producir en su interior.

Cabe destacar la importancia que tienen en una sala blanca el sistema de tratamiento de aire, la elección de los materiales para su construcción y del sistema de control y regulación. Se debe llegar a un grado de acabado muy bueno de la sala utilizando materiales adecuados, éstos son necesarios para evitar la presencia de fugas e infiltraciones de aire no tratado, por otro lado, el equipo de tratamiento de aire debe mantener los parámetros críticos (presión, caudal, clase de contaminación, temperatura y humedad relativa) y por último el sistema de control y regulación debe controlar el sistema y avisar de cualquier desviación para la seguridad de las personas y de los procesos. Si estos términos; arquitectura, tratamiento de aire, control y regulación no están perfectamente controlados no se alcanzará el propósito pretendido. Para ello, es fundamental la experiencia del ingeniero y su conocimiento de los métodos de diseño y construcción, así como de los materiales necesarios y de las normas que rigen la seguridad.

Por último hacer mención de la importancia de la eficiencia energética de la sala que afecta económicamente y ambientalmente, se trata de una instalación de uso prolongado que funciona durante toda la jornada de trabajo y en muchas ocasiones las 24 horas. El mantenimiento de la calidad del aire tiene un coste elevado y genera una contaminación importante debido a la gran cantidad de energía necesaria para ello. Este estudio podría ser ámbito de una futura ampliación del proyecto.

6. Referencias bibliográficas

- <http://www.segla.net/Verificacion.pdf>
- <http://www.alcion.es/DOWNLOAD/ArticulosPDF/mi/09articulos.pdf>
- <http://nanotec.blogspot.com/2008/07/como-hacer-para-fabricar-cosas-tan.html>
- USP 24. 1999. The Pharmacopeia of the United States of America. Capitol 1116. 24 Revisions, Mack Publishing Co.
- USP 24. 1999. The Pharmacopeia of the United States of America. Capitol 1208. 24 Revisions, Mack Publishing Co.
- Consideraciones sobre diseño de salas blancas. Julio Castejón, Catedrático de la E.T.S. de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. Isabel Castejón, Profesor asociado de la Facultad de Medicina y Odontología. Universidad de Murcia. Rafael Magán, Profesor colaborador de la Facultad de Medicina y Odontología. Universidad de Murcia.
- El criterio de diseño de una sala limpia farmacéutica. The design criteria of a pharmaceutical clean room Emilio Moia Foster Wheeler marzo/abril 00
- Marc J. Madou, "Fundamentals of microfabrication", CRC Press, 1997 Stephen D. Senturia, "Microsystem design", Kluwer Academic, 2001
- Nadim Maluf, "An introduction to microelectromechanical systems engineering", Artech House, 2000.
- Pierson H.O. Handbook of Chemical Vapor Deposition. Principles, Technology and Applications. Noyes Publications, (1992).
- Rossnagel S.M., Cuomo J.J., Westwood W.D. Handbook of Plasma Processing Technology, Ed. Noyes Pub., (1990).
- McGillis. Lithography ed. VLSI Technology S.M. Sze. McGraw-Hill, (1983).
- E. Julve. Electrodeposición de Metales. Ed. E.J.S (2000).
- Dra. Gemma Garcia, apuntes de la asignatura de Capas Delgadas de la especialidad "Ingeniería de Materiales", (2007).
- Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MIE-APQ-5 "almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión".
- Instrucción Técnica Complementaria (I.T.C.) MI-IRG 0.
- Código Técnico de Edificación (C.T.E.)
- RD 379/2001 Almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementaria.
- ISO 14644 – 4 (2001) Diseño, construcción y puesta en marcha de Salas limpias.
- Normas CEE EN779 y EN1822 para grupos de filtración.
- Directiva 73/23/CEE Sobre material eléctrico de baja tensión.

- Directiva 98/37/CEE Reglamentación comunitaria sobre máquinas.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio.
- National Environmental Balancing Bureau: Procedural Standard for Certified Testing Clean rooms IEST-RP-CC006.3 August 2004.
- UNE-EN ISO 14644-1, Clasificación de la limpieza del aire. Mayo 1999.
- Almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias R.D. 379/01 y NTP 725.