

3.- MATERIALES UTILIZADOS.

3.1.- Consideraciones generales.

Los materiales utilizados en una sala limpia requieren unas propiedades y/o características que no requiere una construcción normal. Ante todo debemos asegurarnos que los materiales elegidos no contribuyen o no puedan contribuir a la contaminación de la sala, ya sea una contaminación por desprendimiento de partículas, proliferación de micro-organismos, química o que puedan producir cargas electroestáticas. Asimismo, deberemos procurar evitar el uso de cualquier material que durante el proceso constructivo requiera una manipulación que pueda producir una contaminación. Por tanto, materiales que se rompen, agrieten o astillen con facilidad deben ser omitidos de la sala.

Los materiales que se utilizan para la construcción de una sala limpia deben ser completamente lisos en la cara que da al interior de la sala. No deben existir poros o asperezas los cuales puedan acumular suciedades. Asimismo, la superficie debe estar libre de salientes y protuberancias, para ser así fácilmente limpiable de cualquier contaminación que se le pudiera depositar. Los extremos y las juntas de los materiales, en la parte interior de la sala limpia, no deberán presentar orificios que pueden albergar, y luego dispersar, la suciedad.

Además, los materiales seleccionados deben tener una fácil puesta en obra para poder reducir así, al máximo, la contaminación resultante de su colocación. La construcción de la sala limpia también requiere que los materiales utilizados aseguren una estructura hermética.

Todas estas características deben mantenerse a lo largo de la vida útil de la sala blanca. Para asegurar que estos requisitos se cumplan, el tipo de materiales y características de la construcción deben cuidarse desde el primer diseño. Si esto no ocurre, se corre el riesgo de perjudicar enormemente los trabajos y procedimientos que en ella se realicen.

Por ejemplo, una sala limpia utilizada para la industria tecnológica, en la cual no se haya tenido en cuenta el uso de materiales que no produzcan cargas electroestáticas, puede resultar gravemente perjudicial. Además las cargas electroestáticas en paredes y techos de cualquier sala limpia, pueden contribuir a la acumulación de suciedades con una mayor facilidad.

Requisitos exigidos

Antes de ponernos a definir los materiales más o menos adecuados para una sala limpia, se hace conveniente enumerar y definir, algunos de los requisitos que debemos exigir a todos los materiales que se incluyan en la construcción de una sala limpia. Estos requisitos son:

- Funcionalidad.
- Durabilidad.
- Facilidad de limpieza.
- Mantenimiento.

Funcionalidad

Determinadas funciones, relacionadas o no con el riesgo de contaminación del producto, a menudo se requieren en un sistema de sala limpia. Por ejemplo; el acabado, las características, y el diseño del material a utilizar, suelen ser necesarios para ser lo suficientemente herméticos para proporcionar la presurización de aire adecuada y las condiciones definidas de humedad, así como también pueden ser necesarias unas determinadas características anti-estáticas para mantener controlada la conductividad. En algunos casos, aspectos anti-microbianos como los que se requieren en la producción farmacéutica o alimentaria, o las propiedades de las superficies de emisión de gases en la industria de los semiconductores, pueden ser decisivos en la selección del material correcto y de los sistemas de acabado.

La acumulación de una carga electrostática y la descarga electrostática posteriores, es un problema en casi todas las salas limpias. Debido a ello, se

puede dar un riesgo inaceptable de (a) una explosión (en presencia de sustancias inflamables o gases), (b) daños a los dispositivos de trabajo (daños a los componentes electrónicos u ópticos), o (c) la contaminación a través de la atracción de las partículas a las superficies electroestáticamente cargadas. Por tanto cuando se deban tener en cuenta los riesgos electroestáticos en el diseño de la sala, los materiales utilizados en la construcción de las instalaciones no deben ni generar ni mantener una carga electroestática significativa. Este requisito antiestático será específico para cada aplicación, y debe estar claramente especificado por el cliente. Ciertos procesos podrán exigir incluso, algunas condiciones particulares, en términos de humedad ambiental, para minimizar la generación y retención de una carga electrostática. El cuerpo humano es un buen conductor, y en ambientes con humedad relativa baja, acumula cargas electrostáticas que dan lugar a un potencial de varios miles de voltios. Estas cargas se generan por contacto del calzado con suelos aislantes o en las propias operaciones de fabricación.

Por ello, para minimizar los problemas electrostáticos, la humedad relativa no debe ser inferior al 50% en términos generales, y nunca debe caer por debajo del 30% en momentos puntuales.

Para proteger los componentes sensibles a las descargas electrostáticas la resistencia a la tierra por toda la estructura debe estar en el rango de 10^4 a $10^7 \Omega$. Se debe tener cuidado para proteger al personal contra el riesgo de electrocución. La toma de tierra debe ser considerada, con una resistencia de transición de $5 \times 10^4 \Omega$. El rango "ideal" de resistencia es por lo tanto entre la resistencia de transición de $5 \times 10^4 \Omega$ y la resistencia de masas de $10^7 \Omega$.

Las características eléctricas necesarias para el suelo son válidas para todos los materiales que componen la envolvente de la sala. Es muy aconsejable realizar mediciones periódicas para vigilar la posible pérdida de rendimiento debido al envejecimiento de los materiales que la componen. La carga de superficie acumulada no debe exceder en ningún caso de 2 kV.

Durabilidad

Todos los acabados deben de ser capaces de resistir el tráfico de personas y maquinaria, sobre todo aquellas piezas que estén situadas en los lugares de mayor uso. Además, la vida útil de estos debe de ser la máxima posible, para reducir al máximo posibles reparaciones, sustituciones y/o labores de mantenimiento.

Las exigencias en durabilidad que se le puede dar a un material pueden incluir también la resistencia a determinados productos químicos o ácidos, productos de limpieza, agentes abrasivos, etc.

La durabilidad es el requisito más importante que se le debe exigir a un material que vaya a estar ubicado en una sala limpia en la cual se pretenda reducir al máximo la contaminación.

Facilidad de limpieza

Paredes, suelo y techo con sus encuentros, deben ser diseñados y contruidos de manera que puedan ser accesibles para su limpieza. En una sala limpia, la limpieza es indispensable, por ello, los materiales elegidos para todas las superficies deben de estar preparados para resistir el uso de desinfectantes, cepillos y maquinas de limpieza en caso de que sea necesario.

Las diferentes superficies de una sala limpia deben ser por tanto, resistentes, lisas, y con una baja porosidad relativa, y, de ser necesario, propiedades anti-estáticas para evitar así la acumulación de polvo y/o suciedad. Los encuentros de pared-pared, pared-techo y suelo-pared, deben estar especialmente diseñados para facilitar su limpieza.

Mantenimiento

Como ya hemos dicho, los materiales usados en una sala limpia deben de mantener sus estándares de funcionalidad a lo largo del tiempo, para ello, puede que se requieran procesos regulares de mantenimiento. Debido a esto, cambios o reparaciones deben ser posibles para poder ir devolviendo los materiales a su estado original en caso de que sea necesario. En general, mejores acabados y soluciones constructivas pueden reducir las reparaciones futuras.

Por tanto, podemos concluir que los materiales a utilizar dentro de la sala deben ser:

- (1) fáciles de limpiar y, en su caso, resistentes al agua, detergentes y desinfectantes,
- (2) duraderos, que no derramen sustancias, siendo químicamente inertes, y
- (3) cuando sea necesario, antiestáticos.

Materiales idóneos

Hagamos ahora un pequeño compendio de algunos de los materiales que por sus características, y por los requisitos anteriormente mencionados, se pueden considerar ideales en la construcción de salas blancas:

-Acero inoxidable.

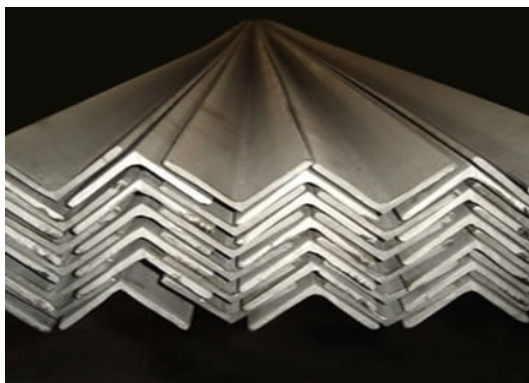


Imagen 01: Varios perfiles de acero inoxidable.

-Aluminio anodizado.

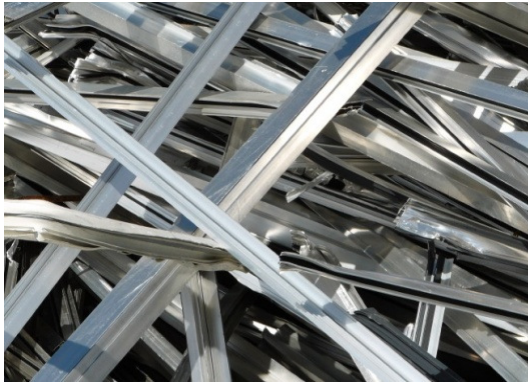


Imagen 02: Perfiles de aluminio.

-Piezas cerámicas.

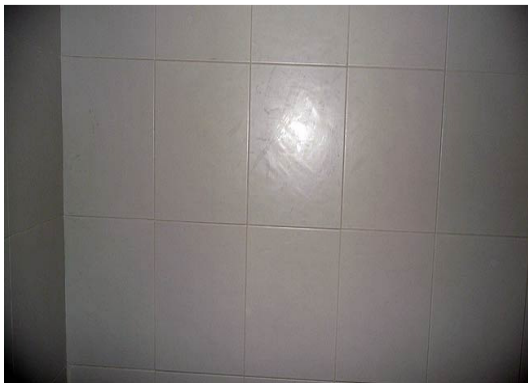


Imagen 03: Piezas cerámicas.

-Vidrio.



Imagen 04: Piezas de vidrio.

-Hormigón sellado con pinturas epoxi.



Imagen 05: Gotas de agua estáticas sobre superficie de hormigón.

-Polímeros plásticos.



Imagen 06: Varios polímeros coloreados.

Estos materiales los trataremos en profundidad más adelante, para poder comprender mejor el porqué de su idoneidad en las salas limpias.

Materiales no recomendables

Ahora mencionaremos ciertos materiales que, en contraste con los anteriores, por su facilidad para desprender, acumular o producir elementos contaminantes, no deben utilizarse en la construcción de una sala limpia. Algunos de ellos pueden ser:

-Madera en todas sus formas.



Imagen 07: Sección de madera.

-Acero templado.



Imagen 08: Barras de acero templado.

-Goma o caucho comunes.

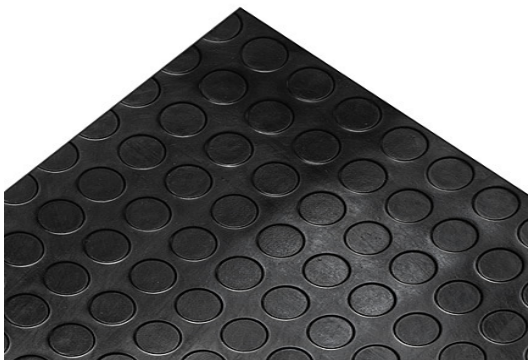


Imagen 09: Pavimento de goma.

-Papel o materiales similares.

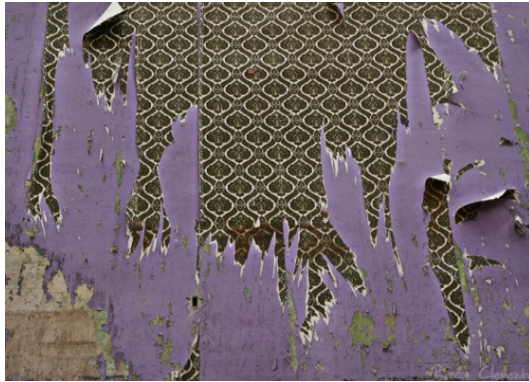


Imagen 10: Revestimiento de papel deteriorado.

La madera (en todas sus formas), al ser un material degradable y exfoliable, no es un material adecuado para su uso ni en interiores ni en exteriores de salas limpias, ya que contaminaría de manera directa o indirecta al ambiente de la sala.

El acero templado, debido a que es un material, que por su proceso de fabricación posee una alta dureza pero también una alta fragilidad, no es recomendable utilizarlo en ningún elemento de sala limpia, ya que su facilidad de rotura, puede resultar contraproducente en tanto a estándares de mantenimiento y vida útil de la sala.

Se debe limitar el uso de goma o caucho a soluciones constructivas muy concretas, evitar su uso en revestimientos, tanto horizontales, como verticales, y prestar una especial atención a su uso en juntas de puertas, tanto horizontales como verticales, de forma que se prevean soluciones constructivas que no limiten su vida útil.



Foto 01: Junta horizontal entre una puerta y pavimento limitada por junta de goma.

En la foto 01 podemos observar una junta horizontal entre una puerta de doble hoja equipada con un cierre no estanco de goma y el suelo técnico de la sala. Dicha puerta posee un sistema que permite levantar su junta de goma, en caso necesario, para evitar así la degradación de la misma, y la introducción de partículas no deseadas, mediante su arrastre, al interior de la sala.

El uso del papel o materiales similares para forrar cualquier tipo de elemento, ya sea vertical u horizontal, es una práctica habitual en la construcción común. No obstante, esta práctica resulta completamente contraindicada en la construcción de una sala limpia. Y esto es debido a la limitada vida útil que posee el papel, el cual además, es un material degradable, exfoliable, y que puede acumular suciedad con gran facilidad.

3.2.- Acero inoxidable.

Un poco de historia

El desarrollo original de lo que son actualmente los aceros inoxidables aconteció en los albores de la primera guerra mundial. En forma independiente y casi simultánea, en Inglaterra y en Alemania se descubrieron los aceros inoxidables tal como los conocemos ahora. El metalúrgico inglés Harry Brearly investigando cómo mejorar una aleación para proteger los cilindros de los cañones, encontró que agregando cromo a los aceros de bajo carbono, obtenía aceros resistentes a las manchas (“stainless”) o resistentes a la oxidación. Los doctores Strauss y Maurer, de Alemania, patentaron en 1912 dos grupos de aceros inoxidables al cromo-níquel de bajo contenido de carbono; uno de éstos, con la denominación 18-8, ha sido utilizado desde entonces en numerosas aplicaciones.

Características técnicas

Los aceros inoxidables que generalmente se usan en la construcción, son aceros de alta aleación que contienen más del 10% de cromo. Se caracterizan por su resistencia al calor, a la oxidación y a la corrosión. Se piensa que en estas aleaciones el cromo es el elemento que da la resistencia a la corrosión. Parte del cromo se combina con el carbono y cierta cantidad de hierro del acero, para formar carburos de cromo-hierro, y el resto se disuelve en el hierro. La mejor resistencia a la corrosión, se obtiene cuando se disuelve tanta cantidad de cromo cómo es posible en el hierro, y se combina lo menos posible en la forma de carburo. En la superficie se forma una película delgada, estable, dura, continua e invisible, que actúa como barrera contra el ataque progresivo de agentes corrosivos, mientras esté presente el oxígeno en alguna forma. Debido precisamente a esta propiedad inoxidable, continua y estable, el acero inoxidable se presenta como un material idóneo para las salas limpias.

Los aceros inoxidables se endurecen mediante el labrado en frío. También poseen baja conductividad de calor, y poseen una alta expansión

térmica; estas dos características, sobre todo la primera de ellas, son importantes cuando el acero inoxidable se usa en salas limpias. Muchas veces, las estructuras, paredes divisorias, elementos de suelo y techo pueden estar en contacto con ciertos equipos que desprenden calor, por ello es muy importante que este calor no se propague por ningún elemento, y esto se consigue utilizando materiales que no posean una alta conductividad térmica. Además, esta propagación del calor, podría perjudicar enormemente las condiciones de humedad y temperatura de la sala.

A los aceros se les suele dar ciertas cualidades especiales adicionando algunos elementos, en función de las cualidades que queramos que el material final presente, algunas de las adiciones posibles son: Níquel, Manganeso (estos dos son los más comunes), Cromio, Molibdeno, Fósforo, Selenio, Silicio, Azufre, Titanio y Circonio. En el caso de que nuestra sala requiriese algún tipo de condición especial, deberíamos estudiar qué adición podría resultar más adecuada, para conformar el acero inoxidable ideal según nuestro caso.

Tipos de aceros inoxidables

Según su composición química y su respuesta al tratamiento en caliente los aceros inoxidables se pueden dividir en tres categorías:

- 1) Aceros Austeníticos:
- 2) Aceros Ferríticos:
- 3) Aceros Martensíticos:

En la industria y la construcción los aceros inoxidables se usan para diversas aplicaciones, estas aplicaciones se mueven en función del tipo de acero. En la tabla 5, se nos muestra las diversas aplicaciones que se les puede dar en función del tipo de acero.

Tipo de acero inoxidable	Aplicación
Austenítico (resistente a la corrosión)	-equipos para industria química y petroquímica -equipos para industria alimenticia y farmacéutica -construcción civil -vajillas y utensilios domésticos
Ferrítico (resistente a la corrosión, más barato)	-electrodomésticos (cocinas, heladeras, etc.) -mostradores frigoríficos -monedas -industria automovilística -cubiertos
Martensítico (dureza elevada)	-cuchillería -instrumentos quirúrgicos como bisturí y pinzas -cuchillos de corte -discos de freno

Tabla5: Clases de aceros inoxidables.

Cada uno de los aceros vistos anteriormente, posee unas características determinadas debido a su composición y proceso de fabricación, estas características nos servirán para elegir mejor el acero inoxidable más adecuado para las salas limpias. Estas características son:

- Resistencia a la corrosión.
- Dureza.
- Magnetismo.
- Admisión o no de templado.
- Soldabilidad.

En la tabla 6 comparamos las características particulares de los aceros austeníticos, ferríticos y martensíticos. Podemos observar, que en cuanto a resistencia a la corrosión, los aceros austeníticos son los más apropiados para su uso en las salas limpias (resistencia excelente a la corrosión), y evitar así posibles problemas de oxidación a lo largo de su vida útil. En tanto, a la dureza del material, los aceros austeníticos y martensíticos son los que mayores resistencias ofrecen (ambos poseen una dureza alta). Sin embargo, el acero austenítico, es el único que no presenta un magnetismo que pueda perjudicar a la sala. Los aceros martensíticos son los únicos que ofrecen temple, proceso el cual, como ya hemos dicho anteriormente no es recomendable en los aceros ubicados en salas limpias. Y por último, un

aspecto muy importante como es la soldabilidad. Debido a que como veremos más adelante, la construcción de una sala limpia, debe de ser una “construcción limpia”, y por tanto, la no presencia de juntas innecesarias, y la continuidad y solidaridad de los materiales se hace especialmente importante. Debido a esto, que un material pueda unirse solidariamente mediante una soldadura es un detalle muy importante. Y en este aspecto vuelven a ganar los aceros austeníticos.

		PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS INOXIDABLES				
		Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnético	Admiten temple	Soldabilidad
TIPO DE ACERO	<i>Austenítico</i>	Excelente	Alta	No	No	Excelente
	<i>Ferríticos</i>	Buena	Media Baja	Sí	No	Limitada
	<i>Martensítico</i>	Baja	Alta	Sí	Sí	Pobre

Tabla 6: Propiedades generales de los aceros inoxidables.

Como acabamos de ver en las tablas y justificaciones anteriores, los aceros austeníticos, por sus propiedades y características, son los más apropiados para su uso en las salas limpias, así que vamos a centrarnos sólo en ellos para poder describir mejor, sus características y usos dentro de la sala.

Aceros inoxidables austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos no son magnéticos y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad. Soldabilidad que ayuda a su puesta en obra sin utilizar remaches ni juntas innecesarias.

El inoxidable austenítico más popular es el tipo 304, que contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con un tenor de carbono limitado a un máximo de 0,08%. Este tipo de acero, tiene gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de alcohol, aeronáutica, naval, arquitectura, alimenticia, y de transporte. Es también utilizado en elementos de la vida cotidiana, como: cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y en un sin número de aplicaciones.

En determinados medios, especialmente en aquellos que contienen iones cloruro (medios marinos y aguas con alto contenido en cloruros), el inoxidable 304 muestra propensión a una forma de corrosión llamada corrosión por picado. Es un tipo de corrosión extraordinariamente localizada, en la cual en determinados puntos de la superficie del material, el medio agresivo consigue quebrar la película pasiva para después progresar en profundidad. El crecimiento de los picados se da en un proceso auto-catalítico y aunque la pérdida de masa pueda ser a veces insignificante, esta forma de corrosión es muy insidiosa, ya que muchas veces un picado es suficiente para dejar un equipo o elemento fuera de servicio. Por tanto deberemos estudiar a conciencia el entorno en que va a ser ubicado el material, para poder evitar posteriores daños.

La corrosión por rendijas, puede ser considerada como una corrosión por picado artificial. El aspecto es frecuentemente semejante al de la corrosión por picado y el proceso de crecimiento es también autocatalítico. Pero, la existencia de una rendija es necesaria para la ocurrencia del fenómeno, lo que no sucede en la corrosión por picado. Los mismos medios capaces de provocar la corrosión por picado, promueven la corrosión por rendijas en los aceros inoxidables.

El molibdeno es introducido como elemento de aleación en los aceros inoxidables precisamente para disminuir la susceptibilidad a estas formas de corrosión. La presencia de molibdeno permite la formación de una capa pasiva más resistente y en casos en que el inoxidable 304 no resiste a la acción de determinados medios, corroyendo por picado o por rendijas, los inoxidables 316 y 317 constituyen una excelente solución. Estos aceros se utilizan frecuentemente en la industria química, del alcohol, petroquímica, de papel y celulosa, en la industria petrolífera, industria textil y farmacéutica.

En los casos en lo que se pretende una buena resistencia mecánica y no existe gran preocupación por la corrosión intergranular, los aceros inoxidables 304H y 316H, con tenores de carbono en el rango de 0,04/0,10%,

son recomendados. La precipitación de una fina red de carburos de cromo, tan perjudicial bajo el punto de vista de la corrosión, se torna benéfica cuando lo que interesa son las propiedades mecánicas. Los aceros de la serie 200, resultan de una substitución parcial de níquel por manganeso. Son utilizados en aplicaciones estructurales, bajando no obstante su resistencia a la corrosión. Estos tipos de acero (304H, 316H y 200), no son recomendable para su uso en el interior de salas limpias.

GRADO	304	304L	316	316L	317	317L	C-276	DUPLEX 2205
CARBONO (C) max.	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.02	0.03
MANGANESO (Mn) max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00
FOSFORO (P) max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
AZUFRE (S) max.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
SILICIO (Si) max.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.08	1.00
CROMO (Cr) max.	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	16.0 a 18.0	16.0 a 18.0	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	14.5 a 16.5	21.0 a 23.0
NIQUEL (Ni)	8.0 a 11.0	8.0 a 13.0	10.0 a 14.0	10.0 a 15.0	11.0 a 14.0	11.0 a 15.0	Balance	4.5 a 6.5
MOLIBDENO (Mo)	----	----	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	3.0 a 4.0	15.0 a 17.0	2.5 a 3.5

Tabla 7: Composición química de los aceros inoxidable según tipo.

En la tabla anterior mostramos la composición química de los distintos tipos de acero que hemos comentado. Como podemos observar, el cromo, el níquel y el manganeso, son, por orden descendente, los elementos químicos de mayor presencia en todos y cada uno de los tipos de acero.

El acero 316L, se suele utilizar en las conducciones de gases que se utilizan en una sala limpia. Esto es debido a su baja rugosidad, consecuencia de su bajísimo contenido en carbono y uso del molibdeno, que permite una aleación estable, inoxidable a varios tipos de corrosión y durable.

Recomendaciones de soldado

El acero inoxidable se puede soldar con soldadura autógena, pero no es aconsejable usar soldadura con metal de aporte o fuerte. En algunos usos, los adhesivos estructurales están reemplazando a los sujetadores y soldaduras mecánicas. Estos adhesivos pueden resultar muy indicados cuando se trata de partes interiores de la sala, pues reducen considerablemente la contaminación resultante del proceso constructivo.

La soldadura del acero inoxidable varía según el tipo de aleación. En general, los tipos austeníticos se pueden soldar por fusión y resistencia, pero se debe tener cuidado, ya que las propiedades físicas de estos aceros (mayor resistencia eléctrica, menor conductividad térmica, mayor expansión térmica y punto de fusión ligeramente más bajo) difieren de aquellas de los aceros al carbono.

Tratamientos al acero inoxidable.

Aunque nos pueda parecer que el acero inoxidable es completamente liso y sin poros, no es así. En una escala macroscópica, el contorno de una superficie maquinada se puede considerar como una serie de picos y valles. La profundidad de los mismos y la distancia entre los picos dependen de los métodos utilizados para producir la superficie. En una escala microscópica, la superficie es aún más compleja, con pequeñas irregularidades sobrepuestas a los picos y valles.

Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, ambos tipos de irregularidades (macroscópicas y microscópicas) deben ser eliminadas. Esta superficie completamente lisa es necesaria para evitar que se pueda acumular cualquier tipo de residuo que pueda perjudicar al entorno de la sala.

Para conseguir esto, se requiere un proceso de pulido, que a su vez se pueden distinguir como dos procesos:

a) Alisado: que trata de la eliminación de las irregularidades a gran escala (tamaño superior a 1 micrón).

b) Abrillantado: que busca la remoción de pequeñas irregularidades de un tamaño inferior a centésimas de micrón.

Existen varias clases de pulido, pero nosotros, nos vamos a fijar en la más interesante para el uso del acero inoxidable en las salas limpias: **el electropulido**.

El electropulido es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica, disolviéndose. Con la aplicación de corriente, se forma un film polarizado en la superficie metálica bajo tratamiento, permitiendo a los iones metálicos difundir a través de dicho film. Las micro y macro proyecciones, o puntos altos de la superficie rugosa, lo mismo que zonas con rebabas, son áreas de mayor densidad de corriente que el resto de la superficie, y se disuelven a mayor velocidad, dando lugar a una superficie más lisa, nivelada y/o rebabada. Simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente y temperatura, tiene lugar un abrillantamiento de la superficie.

En aleaciones, como el **acero inoxidable**, se tiene además la ventaja adicional que, al ser el hierro un metal que se disuelve fácilmente, se incrementa el contenido de cromo y níquel en la superficie, aumentando así la resistencia a la corrosión.

El electropulido (o pulido electroquímico, o pulido electrolítico) funciona básicamente debido que, al disolverse el metal bajo la circulación de corriente, se forma una capa viscosa de productos de la disolución, la cual se va difundiendo lentamente en el baño electrolítico. El espesor de esta capa no es constante, siendo mayor en los valles; y como su resistencia eléctrica es superior a la de la solución de electropulido, conduce a una disolución preferencial de los picos, y a una nivelación de la superficie.

En la fig. nº 1 (a) se puede apreciar el esquema de un corte transversal (a escala microscópica) de la superficie al comienzo del procedimiento, y en la (b) cómo después de un tiempo de tratamiento la superficie se ha disuelto y comienza a "nivelarse".

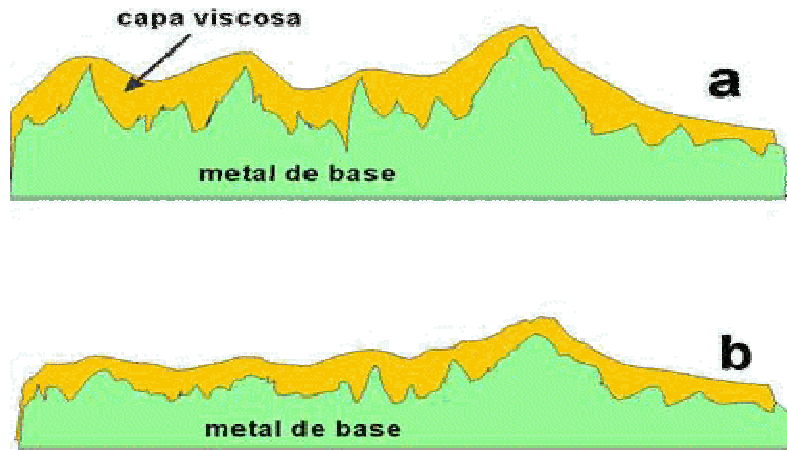


Figura 5: Microfotografía de una superficie electropulida, antes (a) y después (b) del tratamiento.

En este proceso no se forma una capa superficial como en el caso del pulido mecánico, ya que lo que se disuelve es el metal de base.

El espesor de material disuelto varía entre 10 y 25 micrones, de acuerdo con la intensidad de corriente utilizada y el tiempo de exposición.

En la figura 5 se puede apreciar una microfotografía de una superficie tratada con esmeril 180, aumentada 50 veces.

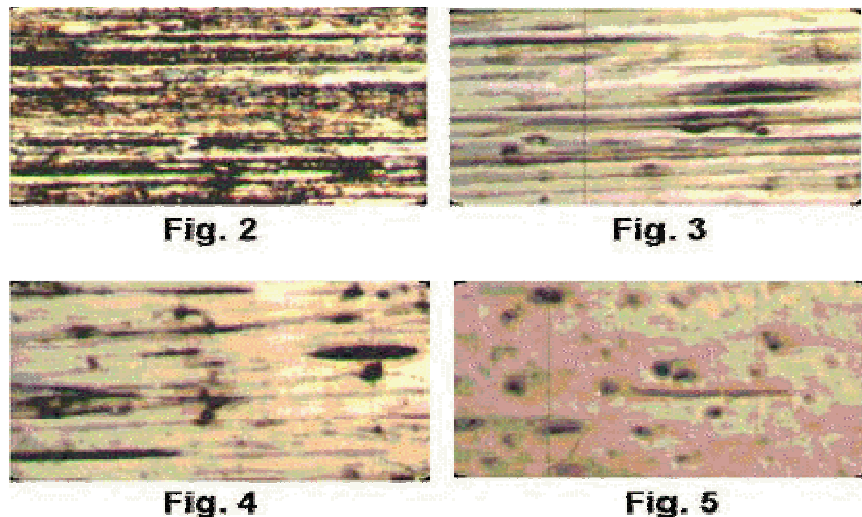


Imagen 11: Microfotografías de superficies antes y después del tratamiento de electropulido.

En la toma nº2 y 3, la misma superficie, antes y después del electropulido. Se ve claramente la acción niveladora descrita en el esquema de la fig. numero 5.

La toma nº4 es una microfotografía, con un aumento de 50 veces, de una superficie especular obtenida mediante un tratamiento mecánico con cepillo y pasta de pulir. Se aprecian claramente las pequeñas cavidades y rayas con bordes agudos, que dificultarán posteriormente las acciones de limpieza. En cambio, en la toma nº 5, la misma superficie electropulida muestra la ausencia de huecos con bordes definidos. En este tipo de terminación no podrán alojarse materiales extraños.

Por lo tanto, una superficie plana electropulida, aunque brillante, no tendrá el aspecto especular del pulido mecánico. Sin embargo, a nivel microscópico y sanitario, es mejor, y el usuario deberá comprender que una superficie similar a la de un espejo, no necesariamente implica que a nivel microscópico esté libre de imperfecciones que pueden alojar colonias de microorganismos y/o iniciar procesos de corrosión localizada.

Algunas ventajas del electropulido en salas limpias

Enfocado al acero inoxidable, el uso de este proceso permite obtener superficies lisas y brillantes, de condiciones sanitarias, debido a la ausencia de rayaduras que impiden el acceso a los productos de limpieza y se convierten en focos de contaminación por microorganismos.

Desde el punto de vista técnico y económico, el pulido electroquímico permite:

- Tratar piezas de forma irregular y de gran tamaño, en un tiempo corto y con gran ahorro de mano de obra. Reduciendo así, remaches, juntas y contaminación en el proceso constructivo.
- Aumentar la resistencia a la corrosión ya que el proceso permite eliminar las capas superficiales formadas por labores de laminación y pulido, dejando sobre la superficie terminada una capa de óxidos de cromo y níquel extremadamente delgada y transparente que le confiere una excelente pasividad en relación con numerosos reactivos químicos
- Eliminar la coloración debida a procesos de soldadura o calentamiento, ahorrándose el proceso manual de su eliminación
- Disminuir la tendencia en los líquidos y sólidos a adherirse a la superficie, mejorando los aspectos de limpieza y escurrido de las mismas, aspectos muy importantes en intercambiadores de calor, evaporadores, etc.
- Posibilidad de pulir piezas de formas intrincadas, en las que el pulido mecánico resulta inaccesible. Esto es posible lograrlo en un solo tratamiento, proporcionando un aspecto uniforme en toda la superficie, lo cual sería difícil de lograr mediante métodos convencionales.
- Disminuir el tiempo y costo del pulido, debido a la posibilidad de automatización del proceso, ahorro en insumos y mano de obra. Este

punto es importante debido al alto coste que puede suponer crear una sala limpia adecuada.

Por tanto, sólo nos queda que recomendar el uso de este tratamiento cuando se trata de conducciones o tuberías que se ubiquen en salas limpias, o que puedan ser utilizadas para el transporte de sustancias que requieran una extraordinaria pureza.

Usos de los aceros inoxidables en las salas limpias

- Tuberías y conducciones.
- Mobiliario.
- Elementos de suportación de equipos.
- Especialmente en conducciones de gases.

3.3 - Aluminio.

Un poco de historia

En 1882 el aluminio era considerado un metal de asombrosa rareza del que se producían en todo el mundo menos de 2 toneladas anuales. En 1884 se seleccionó el aluminio como material para realizar el vértice del Monumento a Washington, en una época en que la onza (30 gramos) costaba el equivalente al sueldo diario de los obreros que intervenían en el proyecto;[4] tenía el mismo valor que la plata.

Sin embargo, con las mejoras de los procesos los precios bajaron continuamente hasta colapsarse en 1889 tras descubrirse un método sencillo de extracción del metal aluminio. La invención de la dinamo por Siemens en 1866 proporcionó la técnica adecuada para producir la electrólisis del aluminio. La invención del proceso Hall-Hérault en 1886 (patentado independientemente por Hérault en Francia y Hall en EE.UU.) abarató el proceso de extracción del aluminio a partir del mineral, lo que permitió, junto con el proceso Bayer (inventado al año siguiente, y que permite la obtención de óxido de aluminio puro a partir de la bauxita), que se extendiera su uso hasta hacerse común en multitud de aplicaciones. Sus aplicaciones industriales son relativamente recientes, produciéndose a escala industrial desde finales del siglo XIX. Ello posibilitó que el aluminio pasara a ser un metal común y familiar.[5] Para 1895 su uso como material de construcción estaba tan extendido que había llegado a Sídney, Australia, donde se utilizó en la cúpula del Edificio de la Secretaría.

La producción mundial alcanzó las 6.700 toneladas hacia 1900, 700.000 en 1939 y en 1943 llegó a los dos millones debido al impulso de la II Guerra Mundial. Desde entonces la producción se ha disparado hasta superar la de todos los demás metales no férreos.

Características técnicas

Símbolo: Al

Número Atómico: 13

Densidad relativa: 2.6989 (20°C, 68°F)

Punto de fusión: 658.7 °C, 1243.26 °F

Punto de ebullición: 2467 °C, 4422.6 °F

Coeficiente de dilatación térmica lineal: 0.0000231/ °C, 0.0000128/ °F

Resistencia a la tensión: 48265 MN/m² (para aluminio de 99.996% de pureza)

El aluminio es un metal blando, no magnético, de color argentino, que se caracteriza por su ligereza (pesa la tercera parte que el hierro, el latón o el cobre), de bajo punto de fusión, de alta conductividad térmica y eléctrica (sobrepasadas sólo por la plata y el cobre) y de coeficiente de dilatación moderadamente elevado.

El aluminio se combina fácilmente con el oxígeno y se vuelve resistente a la corrosión por la película transparente de óxido de aluminio que se forma rápidamente y que es relativamente inerte a toda acción química posterior. Al igual que ocurría con el acero, esta resistencia natural a la corrosión, se presenta como una cualidad a tener muy en cuenta a la hora de elegirlo como material idóneo para el interior de una sala limpia. Los álcalis y el ácido clorhídrico atacan con facilidad al aluminio el cual es atacado lentamente por los ácidos diluidos, debemos tener esto en cuenta, pues en depende de que salas limpias se puede ver atacado por diferentes tipos de ácidos. Es inerte al azufre. En contacto directo con otros metales que no sean zinc, cadmio, magnesio y acero inoxidable no magnético, está expuesto a ciertos tipos de acción galvánica, y debe, por tanto, aislarse eléctricamente de los demás metales. Este último punto es importante tenerlo en cuenta, para evitar que ocurra esta acción galvánica en determinadas soluciones

constructivas en las que pueda estar en contacto con otros metales. Pero como hemos podido comprobar, tenemos la ventaja de que es perfectamente combinable, con cualquier solución en que se utilice acero inoxidable.

El aluminio es un metal que se trabaja con facilidad, y tanto en frío como en caliente, puede laminarse, obtenerse por extrusión, forjarse, prensarse, estirarse, moldearse, estamparse, doblarse y conformarse. Puede unirse por remachado, apernado, por soldadura autógena, por soldadura fuerte y por soldadura con metal de aporte. Toda esta diversidad de uniones, nos da una gran libertad a la hora de elegir la solución constructiva que mejor se adapte a nuestra sala limpia. Generalmente, elegiremos aquella que resulte más limpia (produzca menos residuos a la hora de realizarla), y que presente menor cantidad de resquicios. Por ello, evitaremos en la medida de lo posible las uniones remachadas por medio de tornillería o elementos similares.

Veamos ahora de qué componentes suele estar compuesta una aleación de aluminio de uso comercial, como el que podríamos utilizar en una sala limpia.

	Elementos químicos							
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Porcentaje	99.5	0.2	0.2	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
(%)			máx	máx	máx	máx	máx	máx

Tabla 8: Composición química de un aluminio de pureza comercial.

Por supuesto, al igual que ocurría anteriormente con el acero, existen diversos tipos en función de su composición. Y aunque no vamos a ponernos a describir cada uno de ellos, pues no resulta de utilidad para este proyecto, si que resulta interesante conocer las equivalencias de este material, en función del país en el que se produce.

Tipo de Aluminio	Países						
	E.U.A.	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B.	CANADÁ	ITALIA
	105071145	L-3051	A 5	AL 99,5	2L 48	1 S	4507
	1070	L-3071	A 7	AL 99,7	2L 48	-	4508
	1100/1200	L-3001	A 4	AL 99	1 C	2 S	3567
	2011	L-3192	AU5 PbBi	AlCuBiPb	FC 1	M28S	6362
	2017	L-3120	AU 4G	AlCuMg1	H 14	17 S	3579
	2030	L-3121	AU 4Pb	AlCuMgPb	-	-	-
	5083	L-3321	AG4,5 MC	Almg4,5Mn	N8	D54S	7790
	5086	L-3322	AG4 MC	AlMg4Mn	-	E54S	5462
5754	L-3390	AG3 M	AlMg3	-	53 S	3059	
6060/6063	L-3441	AGS	AlMgSi05	H 9	50 S	3569	
6082	L-3453	ASG M0,7	AlMgSi1	H 30	-	3571	
7022	L-3741	AZ 5G	AlZn4,5Mg1	H 17	-	7791	
7075	L-3710	AZ5 GU	AlZnMgCu	L160	75 S	3735	

Tabla 9: Equivalencias del aluminio según países.

Tratamientos del aluminio

Aunque el aluminio tiene en forma inherente buena resistencia a la corrosión, los productos de aluminio y sus aleaciones pueden aceptar, y a menudo se les da, una gran variedad de acabados para fines decorativos, o como es nuestro caso, de protección, o para ambos. Que a nosotros nos interesen, existen tres tipos de tratamientos:

- 1.- Tratamientos químicos.
- 2.- Acabados electroquímicos.
- 3.- Recubrimientos electrolíticos.

Los tratamientos químicos incluyen: 1) la limpieza de la superficie sin afectar al metal, 2) una textura mate, limpia, de superficie terminada por ataque químico, 3) un acabado terso y brillante y 4) una conversión química de la superficie para recibir los recubrimientos que se apliquen.

La limpieza sin ataque químico consiste en desengrasar por vapores de disolventes clorinados o en la limpieza con disolventes hidrocarburos. La limpieza química por rociado con sustancias químicas inhibidas o por inmersión en éstas, es otro método igualmente posible.

Los acabados mate se describen como finos, medianos y gruesos. El mate fino se obtiene usando una solución alcalina suave, ya sea fosfato trisódico o carbonato de sodio y una solución caliente de ácido sulfúrico crómico o de bifloruro de amonio. El mate mediano se obtiene usando sosa cáustica (hidróxido de sodio), la cual da un acabado blanco de plata. El mate grueso se obtiene usando una solución con contenido de fluoruro de sodio, hidróxido de sodio o compuestos patentados.

Los acabados brillantes se emplean para reflectores, para espejos y en accesorios para alumbrado. Se obtiene un acabado altamente especular haciendo un pulido preliminar con piel, seguido de un abrillantamiento químico o de electropulido. La brillantez difusa se obtiene agregando un ataque cáustico, seguido por abrillantamiento químico.

Los recubrimientos de conversión, utilizan fosfato fluoruro ácido de cromato (por lo general son soluciones patentadas) para producir un color claro a verdoso, el cual es adecuado como acabado final. Otro tipo de solución de ácido-cromato-fluoruro, también por lo general de patente, produce un color claro o amarillento. Las soluciones alcalinas de cromato, producen un color gris, el cual es el más común, que es adecuado como acabado final.

Técnicas de anodizado

El anodizado de calidad se ha convertido en una ciencia complicada y altamente especializada. La producción de una película dura, uniforme y no porosa de igual espesor no es tarea fácil. Entre las numerosas variables que deben controlarse durante el proceso de anodizado están: 1) concentración del electrolito, 2) temperatura del mismo, 3) duración del baño, 4) densidad de corriente y uso correcto de los rectificadores, 5) agitación del baño y 6) preparativos previos al anodizado y el sellado de la película posterior al anodizado. Será muy importante, que todos estos procesos se hayan llevado a cabo a la perfección, para conseguir así un producto perfectamente inoxidable, que resista el paso del tiempo, sin oxidarse.

Existen varios procedimientos de anodizado en uso común, basado cada uno en un ácido diferente, a saber, sulfúrico, crómico, oxálico, fosfórico y bórico.

Los acabados anodizados de color para aluminio, pueden obtenerse con colorantes orgánicos e inorgánicos por tres métodos: 1) impregnando el recubrimiento anódico con colorante o pigmentos, 2) depositando electrolíticamente los pigmentos en el recubrimiento y 3) utilizando aleaciones y procesos que produzcan un color integrado en el recubrimiento.

Una ligera variación en la composición química de un lote determinado de aluminio puede ocasionar variaciones del tinte, especialmente si se usan láminas y formas obtenidas por extrusión en la construcción. Los productores de aluminio y los anodizadores continuamente están realizando estudios acerca de la forma de lograr la normalización en los colores.

De los colores que se usan en los tratamientos anódicos, el oro arquitectónico ha demostrado ser uno de los más estables desde el punto de vista de la resistencia al desvanecimiento. Otros colores satisfactorios son: azul, café y negro. Se pueden combinar diversos acabados mecánicos y tratamientos de anodizado, para producir una gama de efectos de color.

A destacar

El aluminio posee una densidad menor que el acero inoxidable, por ello se suele utilizar en una gran variedad de soluciones constructivas interiores. Debido a que, al encontrarnos con el suelo, y el techo suspendidos, sería completamente contraproducente cargar de peso las particiones interiores, así como los mismos elementos de suelo y techo, ya sean baldosas de suelo técnico, o perfiles entre filtros o luminarias. No obstante, aún con tratamientos específicos, el aluminio presenta una mayor rugosidad que los plásticos, siendo por tanto inadecuado su uso en ciertas conducciones de gases, líquidos..., ya que esta rugosidad, favorecería la acumulación de suciedades, perjudicando así el correcto funcionamiento de los equipos, y en consecuencia, de la sala.

Usos de los aluminios en las salas limpias

- Baldosas de suelo técnico (recubiertas de otro material para evitar la acumulación de cargas electroestáticas).
- Pies de elevación y sustentación de suelo técnico.
- Arriostramientos de pies.
- Montantes y travesaños en paneles.
- Elementos de sustentación de techos.
- Cajas de iluminación.
- Elementos singulares

3.4.- Policloruro de Vinilo o PVC.

Un poco de historia

El Cloruro de vinilo en su forma de monómero, fue descubierto por Henri Victor Regnault en el año 1838, cuando trataba dicloroetano con una solución alcohólica de hidróxido de potasio. Regnault también descubrió, accidentalmente, el policloruro de vinilo, por medio de la exposición directa del monómero a la luz del día. Sin embargo, no advirtió la importancia de sus descubrimientos, ni comprendió que el polvo blanco contenido en el vaso de precipitados de vidrio, era el polímero del líquido obtenido al comienzo. Baumann tuvo éxito en 1872, al polimerizar varios haluros de vinilo y fue el primero en obtener algunos de estos en la forma de producto plástico. Ostrominlensky estableció en 1912 las condiciones para la polimerización del Cloruro de vinilo y, desarrolló técnicas convenientes en escala de laboratorio. Klatte de Grieskein descubrió en 1918 los procesos que aún se emplean en la actualidad para la producción de Cloruro de vinilo a través de la reacción en estado gaseoso, del Cloruro de hidrógeno y del Acetileno, en presencia de catalizadores.

El cloruro de vinilo y sus polímeros han sido curiosidades de laboratorio hasta hace 40 años, cuando se inició una labor de investigación más profunda y dirigida tanto en Alemania, como en Estados Unidos y Rusia.

Senon de la B. F. Goodrich Company, y Reid de la Carbide and Chemical Carbon Company, obtuvieron patentes para la producción de PVC que pueden ser considerados como los puntos de partida para la producción industrial de este material.

Características técnicas

La materia prima básica del policloruro de vinilo es, según la disponibilidad, acetileno o gas etileno. Durante su fabricación, la polimerización se puede iniciar con peróxidos, compuestos azo, persulfatos, luz ultravioleta o fuentes radioactivas. Para la polimerización de adición se

deben romper los enlaces dobles de los monómeros mediante calor, luz, presión o un sistema de catalizador.

Los usos de los plásticos de policloruro de vinilo se pueden ampliar por adición de plastificantes, cargas, refuerzos, lubricantes y estabilizantes. Se pueden formular en compuestos flexibles, rígidos, elastoméricos o expandidos.

El policloruro de vinilo se utiliza mucho en películas flexibles y formas laminares. Estas películas y láminas son competitivas con otras películas para contenedores plegables, tapizados de tambor, sacos y paquetes. Los papeles pintados lavables y determinadas prendas como bolsos, impermeables, abrigos y vestidos son otros de sus usos. Con las láminas se producen tanques y sistemas de conductos de todo tipo. Se fabrican fácilmente por soldadura, termosellado o cementado con disolvente con mezclas de cetonas o hidrocarburos aromáticos.

Las formas de perfil extruidas del policloruro de vinilo tanto rígido como flexible encuentran aplicación en moldeados arquitectónicos, sellos, juntas elásticas, canalones, chapas exteriores, soportes de jardinería y moldeadas para mamparas móviles. Las suelas moldeadas por inyección para calzado están extendidas en varios países.

Los organosoles y plastisoles son dispersiones o emulsiones líquidas o pastosas de policloruro de vinilo. Se utilizan para recubrir diversos sustratos, como metal, madera, plástico y telas. En el caso de una sala limpia, se puede, por ejemplo, recubrir materiales que no puedan estar en contacto directo por acción galvánica. Como es el caso que hemos explicado anteriormente del aluminio con ciertos metales y aleaciones. Se pueden aplicar por inmersión, pulverizado, extensión o colada rotativo o por embarrado. Los estratos de película de polivinilo, espuma y tela se utilizan para materiales de tapicería. Los recubrimientos de inmersión se encuentran en los mangos de herramientas, drenajes de bañeras y otros sustratos como capa protectora. Otro ejemplo, puede ser utilizar este

recubrimiento a modo de protección de un material en concreto, preservándolo así por más tiempo. La colada por embarrado y rotativa de polivinilos se emplea para producir artículos huecos como pelotas, muñecas y contenedores grandes. Los polivinilos muy cargados y sus copolímeros se utilizan para producir cubiertas de suelos y tejas. Una de las principales aplicaciones del PVC en salas limpias es su uso en suelos técnicos como recubrimiento. Para conseguir una perfecta funcionalidad las baldosas de suelo técnico son, generalmente, de aluminio, recubierto por láminas de PVC. Las espumas han encontrado una aplicación limitada en las industrias textil y de alfombras. Se utilizan grandes cantidades de PVC como contenedores moldeados por soplado y como cubiertas extruidas para cables eléctricos.

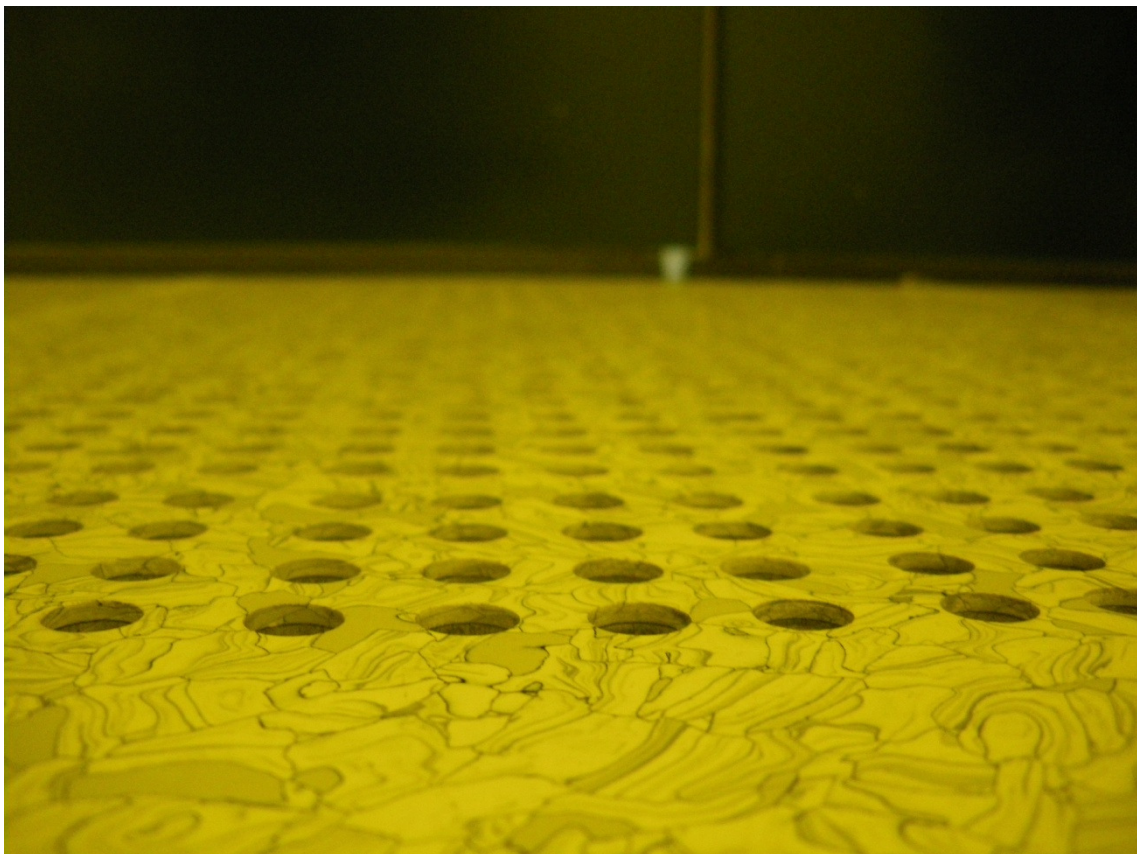


Foto 02: Baldosa técnica de aluminio recubierta de Policloruro de Vinilo (PVC).

Generalmente, los materiales de la familia de vinilos son resistentes a la llama, el agua, las sustancias químicas, la electricidad y la abrasión.

Presentan una buena resistencia a la intemperie y pueden ser transparentes. Todas estas características, hacen del PVC un gran material, que se utiliza en múltiples soluciones en el interior de una sala limpia.

Para favorecer su procesado e impartir distintas propiedades, los polivinilos se suelen plastificar. Existen compuestos de PVC plastificados y sin plastificar. Los tipos no plastificados se utilizan en plantas químicas e industrias de construcción. Los plastificados son más flexibles y blandos. Al estar más plastificados se produce una mayor filtración o desplazamiento del agente químico plastificante a los materiales adyacentes, un hecho muy importante en los envases de productos alimenticios y equipos médicos. Además, se pueden emplear todas las técnicas de tratamiento para termoplásticos con los vinilos.

El policloruro de vinilo (PVC) es el vinilo más tenaz y más utilizado, si bien otros homopolímeros y copolímeros de polivinilo se están abriendo, cada vez más, paso. A continuación, se enumeran seis ventajas y cinco inconvenientes del uso del policloruro de vinilo en las salas limpias.

Ventajas del policloruro de vinilo (PVC):

1. Se puede procesar a través de los métodos para termoplásticos.
Pudiendo producir así, cualquier forma que se requiera.
2. Amplio margen de flexibilidad (variando los niveles de plastificantes).
3. No es inflamable.
4. Posee una buena estabilidad dimensional.
5. Comparativamente bajo coste.
6. Buena resistencia al paso del tiempo.

Inconvenientes del policloruro de vinilo:

1. Sujeto al ataque de diversos disolventes. Por lo que deberemos tener en cuenta su uso y mantenimiento.
2. Capacidad térmica limitada. No resiste altas temperaturas.
3. La descomposición térmica desprende HCl.

4. Manchado por compuestos de azufre.
5. Densidad superior a la de muchos plásticos

Usos del Policloruro de Vinilo en las salas limpias

- Recubrimientos, suelo, paredes....
- Conducciones de evacuación comunes en zonas exteriores a la sala.
- Cubiertas de cables eléctricos.
- Recubrimiento de elementos que no puedan estar en contacto directo.

3.5.- Poliuretano.

Un poco de historia

Los primeros poliuretanos se obtuvieron en Alemania para competir con otros polímeros que se estaban produciendo entonces. Los poliuretanos alifáticos lineales se utilizaban para obtención de fibras. Los poliuretanos lineales son termoplásticos y se pueden tratar a través de las técnicas para termoplásticos normales, incluyendo inyección y extrusión. Dado su elevado coste tienen un uso limitado como fibras o filamentos.

Características técnicas

El A.S.T.M. ha definido cinco tipos diferenciados de recubrimientos de poliuretano, tal como se indica en el siguiente resumen a modo de tabla.

<i>Tipo</i>	<i>Componentes</i>	<i>Vida útil</i>	<i>Curado</i>	<i>Aplicaciones</i>
(I) Modificado con aceite	Uno	Ilimitada	Aire	Maderas de interior o exterior y esmaltes marinos e industriales
(II) Prepolímero	Uno	Prolongada	Humedad	Interior y exterior. Recubrimientos de madera, caucho y cuero
(III) Bloqueado	Uno	Ilimitada	Calor	Revestimientos de cables y acabados horneados
(IV) Prepolímero + catalizador	Dos	Limitada	Amina/aire catalizador	Acabados industriales y productos de cuero y caucho
(V) Poliisocianato + polialcohol	Dos	Limitada	Reacción NCO/OH	Acabados industriales y productos de cuero y caucho

Tabla 10: Designaciones de elastómeros de poliuretano.

Las resinas de poliuretano se emplean como acabados transparentes o pigmentados para uso doméstico, industrial o marino. Mejoran la resistencia a las sustancias químicas y el ozono en el caucho y otros polímeros. Estos acabados y recubrimientos pueden consistir en simples soluciones de poliuretanos lineales o sistemas complejos de poliisocianato y grupos OH como poliésteres, poliéteres, y aceite de ricino.

Los recubrimientos de poliuretano son llamativos por su alta resistencia a la abrasión, su inhabitual tenacidad y sus cualidades de dureza, flexibilidad y resistencia a sustancias químicas y a la intemperie.

Muchos elastómeros de poliuretano (PUR) (cauchos) se pueden preparar a partir de diisocianatos, poliésteres lineales o resina de poliéster y agentes de curado. Si se formulan en un uretano termoplástico lineal, se pueden tratar con un equipo para termoplásticos normal. Tienen aplicación como absorbentes de impacto, amortiguadores, engranajes, cubiertas de cables, forros de manguera, roscas elásticas (Spandex) y diafragmas. Todas estas aplicaciones se pueden dar en una sala limpia.

Entre los usos típicos de elastómeros termoendurecibles reticulados se incluyen neumáticos industriales, tacones de calzado, juntas elásticas, sellos, juntas tóricas, obturadores de bomba, y material para neumáticos. Los elastómeros de poliuretano presentan una gran resistencia a la abrasión, envejecimiento por el ozono y fluidos de hidrocarburo. Estos elastómeros tienen un mayor coste que los cauchos convencionales, pero son más tenaces y elásticos y presentan un intervalo más amplio de flexibilidad a temperaturas extremas. Características adicionales, que nos pueden servir a la hora de ubicarlo en una sala limpia.

Las espumas de poliuretano se usan mucho y son muy conocidas. Pueden adquirirse en formas flexible, semirígida y rígida en diferentes densidades . Algunas se utilizan como cojín para muebles, asientos de muebles y colchones. Se producen haciendo reaccionar diisocianato de tolueno (TDI) y poliéster y agua en presencia catalizadores. Para mayores densidades se realiza su colada o moldeo en frentes de cajones, puertas, moldeados y piezas enteras de muebles. Las espumas flexibles son estructuras de célula abierta, y se pueden usar como esponjas artificiales. Estas espumas se utilizan en las industrias de ropa y tejido como soporte y material aislantes. En algunos modelos de paneles sándwich tipo, generalmente usados en elementos de pared, se utiliza el poliuretano como material aislante. El poliuretano, ubicado entre las planchas que lo

encierran colabora para conseguir una temperatura óptima en el interior de la sala.

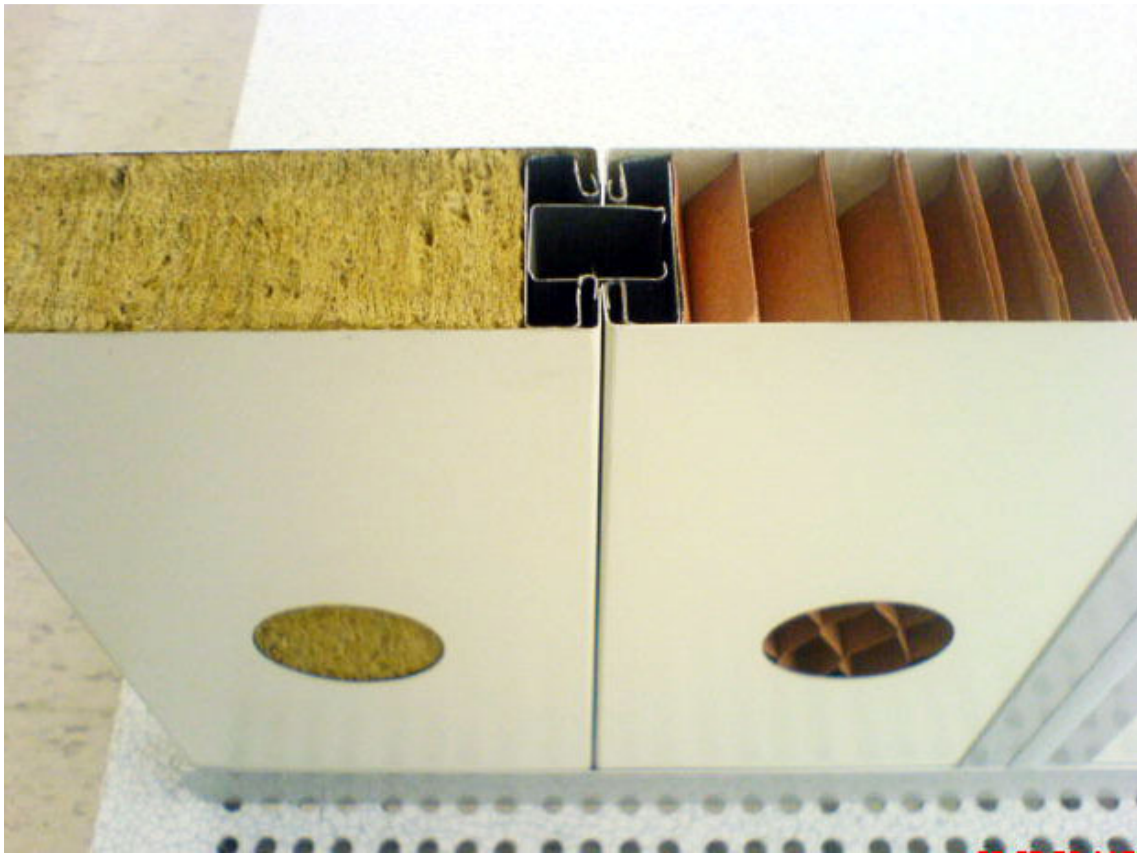


Imagen 12: Paneles sándwich con alma de espuma de poliuretano y otro de cartón.

Las espumas semirígidas encuentran aplicación como materiales absorbentes de energía en amortiguadores, reposabrazos y viseras. Los tres usos principales de la espuma de poliuretano rígido están relacionados con la fabricación de muebles, automóviles y moldeados de construcción, además de aislantes térmicos. Por otra parte, se obtienen réplicas de tallas de madera, adornos y moldeos a partir de espumas autopelables de alta densidad. El valor aislante de estas espumas las sitúa en una importante posición a la hora de seleccionar materiales de aislamiento de refrigeradores, cámaras de refrigeración de camiones y camiones de ferrocarril. Asimismo, se pueden expandir para su aplicación en arquitectura. Se pueden colocar en superficies verticales, pulverizando la mezcla de reacción a través de una tobera. Esta aplicación a modo de pulverización, se puede utilizar para crear un aislamiento en determinadas

zonas en los exteriores de la sala, pero nunca en el interior, debido al peligro de degradación y segregación que existe.

El poliuretano rígido es un material celular cerrado, producido por reacción de TDI (forma de prepolímero), con poliésteres y agentes de soplado reactivos como monofluorotriclorometano (fluorocarbono). También se usan como espumas rígidas diisocianato de difenilmetano (MDI) e isocianato de polimetilén polifenilo (PAPI). Las espumas MDI tienen mejor estabilidad dimensional, mientras que las PAPI presentan una alta resistencia térmica. Los agentes de calafateado y sellantes de poliuretano son materiales de poliisocianato baratos, utilizados para encapsulado, además de tener aplicación en construcción y fabricación. Otros poliisocianatos se emplean también como adhesivos, y producen enlaces fuertes entre telas flexibles, cauchos, espumas y otros materiales.

Muchos agentes de soplado o espumado son explosivos y tóxicos; por tanto, al mezclar o tratar espumas de poliuretano debe asegurarse una ventilación adecuada.

PROPIEDAD	Uretano colado	Elastómero de uretano
Calidad de moldeo	Buena	Excelente
Densidad relativa	1,10-1,50	1,11-1,25
Resistencia tracción,MPa	1-69	31-58
Resistencia compres,MPa	14	14
Resistencia impacto,J/mm	0,25 a flexible	No se rompe
Dureza, Shore	10A-90D	30A-70D
Rockwell	M28,R60	-
Dilatación térmica,10 ⁻⁴ /°C	25,4-50,8	25-50
Resistencia al calor,°C	90-120	90
Resistencia dieléctrica V/mm	15.750-19.690	12.990-35.435
Constante dieléctrica (a 60Hz)	4-7,5	5,4-7,6
Factor de disipación (a 60Hz)	0,015-0,017	0,015-0,048
Resistencia arco, s	0,1-0,6	0,22
Absorción de agua (24h)%	0,02-1,5	0,7-0,9
Velocidad de combustión	Lenta a autoextinguible	Lenta a autoextinguible
Efecto luz solar	Ninguna a amarilleo	Ninguna a amarilleo
Efecto ácidos	Atacado	Se disuelve
Efecto álcalis	Ligera a atacado	Se disuelve
Efecto disolventes	Ninguna a ligera	Resistente
Calidades mecanizado	Excelente	Excelente
Calidad óptica	Transparente a opaco	Transparente a opaco

Tabla 11 : Propiedades de dos plásticos de uretano.

Ventajas del poliuretano:

- Alta resistencia a la abrasión.
- Buena capacidad a baja temperatura.
- Amplia variabilidad en estructura molecular.
- Posibilidad de curado en condiciones ambientales.
- Comparativamente bajo coste.
- Los prepolímeros se espuman fácilmente.

Inconvenientes del poliuretano:

- Escasa capacidad térmica.
- Tóxico (se usan isocianatos).
- Escasa resistencia a la intemperie.
- Susceptible del ataque de disolventes.

Usos del Poliuretano en las salas limpias

- Aislamiento térmico de los paneles.
- Recubrimientos exteriores.

3.6. - Polipropileno o PPR.

Un poco de historia

Hasta 1954, la mayoría de las tentativas para producir plásticos a partir de poliolefinas encontraron un escaso éxito comercial, revistiendo importancia en este sentido tan sólo la familia de polietileno. En 1955, el científico italiano F.J. Natta anunció el descubrimiento de polipropileno estereoespecífico indica que las moléculas están dispuestas en un orden definido en el espacio. Esto se contrapone con las disposiciones ramificadas y aleatorias. Natta denominó este material organizado de forma regular polipropileno isotáctico. Al experimentar con los catalizadores de tipo Ziegler, sustituyó el tetracloruro de titanio en $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)+\text{TiCl}_4$ por el catalizador estereoespecífico tricloruro de titanio. Esto condujo a la producción comercial de polipropileno.

Características técnicas

El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico comercial, semicristalino, blanco, semiopaco, y que actualmente se elabora en una amplia variedad de calidades y modificaciones. Un plástico termoconformado o técnico que básicamente se utiliza para la construcción de piezas que necesitan resistencia química, peso ligero y fricción suave. Estos casos se pueden dar en diversas conducciones en el interior de las salas limpias, donde debemos asegurarnos que las cualidades del material van a impedir fugas, pérdidas o contaminaciones exteriores del elemento que circula por su interior.



Imagen 13: Tubo de polietileno con racor de polipropileno para conducciones en salas limpias.

Características técnicas del polipropileno (PPR)

El polipropileno es un material muy rígido y duro, que tiene una excelente resistencia al impacto, a los productos líquidos corrosivos y a la dieléctrica. Debido a estas propiedades el “PPR” es un material ampliamente utilizado en las instalaciones de las salas limpias y laboratorios que trabajen con ciertos ácidos, o sustancias que requieran una especial atención, ya sea por peligrosidad, pureza, u otras razones. Comparado con otros materiales de similares características como el polietileno, el polipropileno tiene una mayor rigidez, dureza y estabilidad que este, no obstante el polietileno posee una mayor resistencia a esfuerzo cortante. Se puede decir que ambos materiales, son similares en origen y fabricación.

Producto	<i>Tubo flexible PLN</i>	<i>Racores NPQP</i> Racor rápido roscado
Material	Polietileno	Cuerpo: Polipropileno
	Calibración exterior	Anillo de junta: EPDM
		Mecanismo de bloqueo del tubo: acero inoxidable
		Casquillo de desbloqueo: polipropileno
		Casquillo extractor: polipropileno
Ejecución		
Diámetro exterior del tubo	4, 6, 8, 10, 12, 16 mm.	4, 6, 8, 12 mm.
Colores	Natural negro	Transparente
Tipo de rosca		Rosca M y R
Condiciones de utilización		
Presión de funcionamiento	-0,95 a 14 bar	-0,95 a 10 bar
Temp. de funcionamiento	-30 a 80 °C	-20 a 60 °C
Resistencia y aptitud		
Resistencia a sustancias químicas	Buena	Excelente
Resistencia a hidrólisis	Excelente	Excelente
Antiestático	No	No
Ingífugo	No	No
Homologación para la industria alimentaria	Sí	No
Medios	Aire comprimido, vacío, agua no potable	Aire comprimido, vacío

Tabla 12 : Características tubo comercial de polietileno con racor de polipropileno.

Por ello, no es sorprendente que el polipropileno y el polietileno compartan muchas propiedades. Como podemos observar en las tablas de características, las propiedades físicas generales del polipropileno son similares a las del polietileno de alta densidad. No obstante, el polietileno y el polipropileno difieren en cuatro importantes aspectos:

1. El polipropileno tiene una densidad relativa de 0,90; el polietileno tiene densidades relativas de 0,941 a 0,965.
2. La temperatura de servicio del polipropileno es superior.
3. El polipropileno es más duro, más rígido y tiene un punto de fragilidad superior.
4. El polipropileno es más resistente al agrietamiento por tensión medioambiental.

Las propiedades químicas y eléctricas de los dos materiales son muy similares. El polipropileno es más susceptible a la oxidación y se degrada a

temperaturas elevadas. El polipropileno se puede obtener para que presente una serie de propiedades por adición de cargas, refuerzos o mezclas de monómeros especiales. Se trata fácilmente con un equipo para termoplásticos convencional. No se puede cementar con medios cohesivos, pero se suelda fácilmente. Podemos decir sin duda que, a lo largo de los años, el polipropileno se ha convertido en un potente competidor del polietileno tanto dentro, como fuera de su uso en las salas limpias.

El polipropileno es competitivo con polietileno para muchos usos. Posee la ventaja de una temperatura de servicio superior. Entre los usos típicos se incluyen artículos para hospitales esterilizables, platos, piezas de aparatos, componentes de lavavajillas, recipientes, piezas con tapa integrada, conductos de automóvil y remates. Los monofilamentos extruidos y estirados en frío encuentran aplicación en cuerdas antipodredumbre que flotan en agua. Algunas fibras se utilizan cada vez más para textiles y para felpudos de coche y exterior. Se puede utilizar como película de embalaje tenaz o como aislamiento eléctrico de cables y alambres. El cortado de fibra en película, proceso conocido como fibrilación, se utiliza ampliamente para la producción de cuerdas y fibras de polipropileno. Se moldea por combinación de extrusión y soplado para fabricar numerosos recipientes para alimentos.

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	POLIPROPILENO (PP)	POLIETILENO (PE)
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	650	800
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,22	0,43
Coeficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m K		150·10 ⁻⁶	200·10 ⁻⁶
Coeficiente de Fricción			0,4	0,2
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	0,91	0,95
Dureza a la bola	N/mm ²	DIN 53456		
Dureza "Shore"		DIN 53505	D73	D65
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	1.300	900
Punto de fusión	°C	ASTM D789	164	138
Resistencia Superficial		DIN 53482	5·10 ¹³	1·10 ¹³
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	10	No se rompe
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	33	28
Temperatura máxima de uso	°C	NORMAL	100	80
	°C	CON PUNTAS	140	110
Temperatura mínima de uso	°C		-10	-10

Tabla 13: Tabla de comparación de las características físicas del polipropileno y del polietileno.

De la tabla 13 observamos que el “PP” posee una mayor temperatura máxima de uso que su compañero el “PE”, punto realmente esencial cuando se trata de determinadas conducciones. Así mismo presenta una mayor resistencia a la tracción, una mayor elasticidad y dureza. Debido a su resistencia a la abrasión, alta temperatura de servicio y coste potencialmente bajo, el polipropileno espumado encuentra cada vez más aplicaciones. El polipropileno celular se expande de forma muy similar al polietileno.

Estas cualidades, hacen del polipropileno un material durable y funcional, cualidades que sin duda, como hemos dicho anteriormente, dicen mucho a su favor para su uso en las salas limpias.

El polipropileno como alternativa al acero inoxidable.

El polipropileno se presenta como una opción a considerar en lugar del acero inoxidable, en su uso en conducciones interiores de las salas limpias por razones tanto físicas y químicas, como técnicas y funcionales. Nombremos y comparemos ahora algunas ventajas del uso del polipropileno en ciertas conducciones, contra los inconvenientes de hacerlo con acero inoxidable.

Ventajas del uso del polipropileno en conducciones:

- Resistentes contra numerosos químicos y ácidos.
- Resistente a detergentes.
- Resistentes a la hidrólisis.
- Gran cantidad de variantes.
- Apropriados para fluidos como el aire comprimido, el vacío y otros (como el agua) sobre demanda.

Inconvenientes del uso del acero inoxidable en conducciones:

- Excesivo peso que requiere gran número de uniones al elemento portante.

- Precio alto en comparación con otros materiales.
- Pocos tipos poseen la calidad deseada.

Para hacernos una mejor idea de los usos que se le puede dar al polipropileno veamos ahora algunas ventajas y desventajas:

Ventajas del Polipropileno:

1. Se puede tratar a través de los métodos para termoplásticos.
2. Bajo coeficiente de fricción.
3. Aislamiento eléctrico excelente.
4. Buena resistencia a la fatiga.
5. Excelente resistencia a la humedad.
6. Resistencia a la abrasión de primera calidad.
7. Son asequibles buenas calidades.
8. Temperatura de servicio a 126 °C.
9. Resistencia química muy buena.
10. Excelente resistencia flexural.
11. Buena resistencia al impacto.

Inconvenientes del Polipropileno:

1. Se descompone por radiación ultravioleta.
2. Resistencia a la intemperie escasa.
3. Inflamable (son asequibles las calidades resistentes de llama)
4. Susceptible del ataque de disolventes clorados y aromáticos.
5. Difícil de unir.
6. Descomposición oxidante acelerada por algunos metales.

Usos del Polipropileno en las salas limpias

- Conducciones de residuos.
- Conducciones de agua normales.

3.7.- Polisulfuro de fenileno, o PPS.

Un poco de historia

En 1968, la Phillips Petroleum Company anunció un material conocido como polisulfuro de fenileno, con la marca registrada “Ryton”. El material es asequible en forma de compuestos termoplásticos y termoendurecibles. La reticulación se consigue por medios térmicos o químicos.

Características técnicas

Este polímero rígido y cristalino con anillos de benceno y enlaces de azufre presenta una considerable estabilidad a alta temperatura y resistencia química y a la abrasión. Los componentes de ordenador, componentes de cocina, secadores de pelo, estuches de bombas sumergibles y carcasas de aparatos pequeños son algunos de sus usos típicos. Posee diversos usos como adhesivo, resina de estratificado y recubrimiento de piezas eléctricas.

En la siguiente tabla se muestran algunas características de tres polióxidos de fenileno.

Propiedad	Polióxido de fenileno (sin carga)	Noryl SE-1-SE-100	Polisulfuro de fenileno
Calidad de moldeo	Excelente	Excelente	Excelente
Densidad relativa	1,06 – 1,10	1,06 – 1,10	1,34
Resistencia a tracción, MPa	54-66	54-66	75
Resistencia compresión, MPa	110-113	110-113	
Resistencia impacto, Izod J/mm	0,25	0,25	0,015 a 24 °C
Dureza, Rockwell	R115-R119	R115-119	R124
Dilatación térmica, 10⁴/°C	13,2	8,4-9,4	0,5 a 150
Resistencia al calor, °C	10-105	110-130	14
Resistencia dieléctrica, V/mm	15.800-21.500	15.500-21.500	205-260
Constante dieléctrica (60Hz)	2,64	2,64-2,65	23.500
Factor disipación (60 Hz)	0,0004	0,0006-0,0007	3,11
Resistencia arco, s	75		
Absorción de agua (24h), %	0,066		0,02
Velocidad de combustión, mm/min	Autoextinguible sin goteo	Autoextinguible sin goteo	Incombustible
Efecto luz solar	Posible desvanecimiento de color	Posible desvanecimiento de color	
Efecto de ácidos	Ninguno		Atacado por ácidos oxidantes
Efecto de álcalis	Ninguno		Ninguno
Efecto disolventes	Soluble en algunos aromáticos	Soluble en algunos aromáticos	Resistente
Calidad mecanizado	Excelente	Excelente	Excelente
Calidad óptica	Opaco	Opaco	Opaco

Tabla 15: Propiedades de óxido de polifenileno.

Ahora veamos y razonemos algunas de las ventajas y desventajas del uso del PPS en salas limpias:

Ventajas del polisulfuro de fenileno:

- Capacidad de un uso prolongado a 232°C.
- Buena resistencia química y a los disolventes.
- Buena resistencia a la radiación.
- Excelente estabilidad dimensional.
- No inflamable.
- Baja absorción de agua.

Inconvenientes del polisulfuro de fenileno:

- Difícil de tratar (alta temperatura de fundido).
- Coste comparativamente alto.
- Necesidad de cargas para una buena resistencia al impacto.
- Sujeto al ataque de hidrocarburos clorados.

La capacidad de su uso a altas temperaturas (232 °C) y su estabilidad dimensional, lo hace ideal para su uso en determinadas instalaciones ubicadas generalmente en las salas limpias, y en las conducciones que de ellas radican. Ya que tan esencial puede resultar que resista las temperaturas de líquidos, gases y materiales con los que pueda estar en contacto, como que se mantenga prácticamente inalterable en el rango de temperatura en el que se trabaja. Además, muy importante es su capacidad de uso prolongado, pues muchas de estas instalaciones deben estar en constante funcionamiento.

Su buena resistencia química y a los disolventes y su resistencia a la radiación; factores que se pueden llegar a dar en las salas limpias a lo largo de su vida útil, y en determinados usos (farmacéutico, químico...), lo hace perfecto para conducciones y sistemas diversos, que puedan estar expuestos a estos agentes.

Y hemos dejado para el final, la característica que lo diferencia de un material similar en propiedades como es el Polipropileno (PP o PPR), y es que el Polisulfuro de fenileno (PPS) no es inflamable. Característica esencial que sin duda debe de cumplir un material que se ubique en un sistema de detección o extinción de incendios, o de extracción de gases contaminantes o inflamables. Situaciones que se pueden, y sin duda se dan en un gran número de salas limpias, y que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el material idóneo.

Usos del Polisulfuro de fenileno en las salas limpias:

- Instalaciones.
- Instalación de extracción de gases.

3.8.- Polivinilideno de flúor o PVDF.

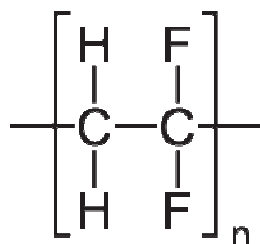
Un poco de historia

En 1969, la empresa “Kawai et al” observó la fuerte piezoelectricidad del PVDF. Se descubrió que el coeficiente piezoeléctrico en los polos de películas delgadas del material era 10 veces mayor que la observada en cualquier otro polímero descubierto hasta la fecha.

Características técnicas

El fluoruro de polivinilideno, o PVDF es un termoplástico altamente fluoropolímero no reactivo y puro. El PVDF es un material plástico especial en la familia de los fluoropolímeros, que se utiliza generalmente en aplicaciones que requieren la más alta pureza, fuerza y resistencia a disolventes, ácidos, bases y generación de calor y baja emisión de humo durante un evento de fuego. En comparación con otros fluoropolímeros, tiene un fácil proceso de fusión debido a su relativamente bajo punto de fusión de alrededor de 177 ° C. Posee una baja densidad (1,78) y un bajo costo en comparación con los otros fluoropolímeros. Está disponible como productos para tuberías, láminas, tubos, películas, placa y aislantes de cables y conducciones. Puede ser inyectado, moldeado o soldado y se utiliza comúnmente en las industrias químicas, de semiconductores, medicina y defensa, así como en las baterías de iones de litio.

El polifluoruro de vinilideno se polimeriza térmicamente por deshidrohalogenación (separación de los átomos de hidrógeno y cloro) del clorodifluoroetano a presión:



Al igual que el polifluoruro de vinilo (PVF), el PVDF no tiene la resistencia química de PTFE o PCTFE. Los grupos alternos de CH_2 y CF_2 en su esqueleto contribuyen a sus características de tenacidad y flexibilidad. La presencia de los átomos de hidrógeno reduce la resistencia química y permite la cementación de disolvente y la degradación. Los materiales de PVDF se tratan a través de los métodos para termoplásticos y se sellan por ultrasonido o térmicamente. El PVDF se utiliza mucho en formas de película y recubrimiento por su tenacidad, propiedades ópticas y resistencia a la abrasión, sustancias químicas y radiación ultravioleta. Las temperaturas de servicio oscilan entre -62°C y $+150^\circ\text{C}$. Un uso conocido es el recubrimiento que se observa en las chapas de aluminio para paredes y tejados. Como ejemplos de objetos moldeados con él se incluyen válvulas, rodetes, tubos de ensayo, conductos y componentes electrónicos. A continuación se enumeran seis ventajas y tres inconvenientes del uso polifluoruro de vinilideno en salas limpias.

Ventajas del polifluoruro de vinilideno:

1. Procesable a través de métodos para termoplásticos.
2. Baja fluencia
3. Excelente resistencia a la intemperie.
4. No inflamabilidad.
5. Excelente resistencia a la abrasión.
6. Buena resistencia a los disolventes.

Inconvenientes del polifluoruro de vinilideno:

1. Limitada capacidad térmica y resistencia química.
2. Tóxico al descomponerse térmicamente.
3. Dipolo superior.

Usos del Polifluoruro de Vinilideno en salas limpias:

- Instalaciones de agua ultrapura.

3.9.- Otros materiales.

-Resinas epoxi.

Un poco de historia

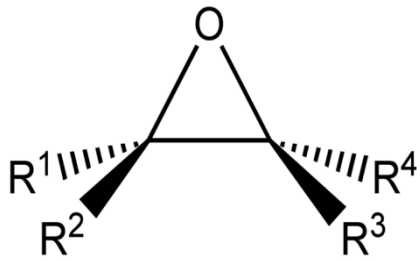
A lo largo de los años se han concedido cientos de patentes para usos comerciales de resinas de epóxido. Una de las primeras descripciones de los poliepóxidos es la de la patente alemana de I.G. Farbenindustrie de 1939. Posteriormente le siguió, en 1943, Cyba Company desarrolló una resina epoxídica de relevancia comercial en los Estados Unidos. En 1948 se habían descubierto ya varias aplicaciones comerciales, tales como recubrimientos y adhesivos.

Cuando en la década de los 50, se introdujeron por primera vez las resinas epoxi, fueron reconocidas como materiales de gran interés. Aunque más caras que otras sustancias de recubrimiento, sus características de adherencia e inercia química las hacían tremendamente competitivas.

Características técnicas

Las resinas epoxídicas son plásticos termoendurecibles. Existen diversas resinas de epoxi termoplásticas que se usan como recubrimientos y adhesivos. Muchas estructuras de resina epoxídica diferentes de las que hoy se dispone, se derivan de acetato de bisfenol y epiclorhidrina.

El bisfenol A (acetato de bisfenol) se obtiene por condensación de acetona y fenol. Los epóxidos a base de epiclorhidrina se utilizan ampliamente, ya que son asequibles y baratos. La estructura de la epiclorhidrina se obtiene por cloración de propileno. Se puede deducir que el grupo epoxi, que da nombre a esta familia de plásticos, tiene una estructura triangular.



Las estructuras epoxi suelen estar terminadas con esta estructura de epóxido, si bien otras muchas configuraciones moleculares pueden rematar la larga cadena molecular. Se puede formar un polímero de epoxi lineal al hacer reaccionar bisfenol A y epiclorhidrina, también llamados poliéteres. Son posibles otras resinas a base de epoxi intermedias, pero son un número demasiado extenso, y no nos interesan en el presente proyecto.

Las resinas epoxi se curan, por lo general, añadiendo catalizadores o endurecedores reactivos. Habitualmente se emplean los miembros de la familia de aminas alifáticas y aromáticas como agentes de endurecimiento. También se usan varios anhídridos ácidos para polimerizar la cadena de epóxido. Las resinas epoxídicas se polimerizan y reticulan al aplicar energía térmica, normalmente en presencia de catalizadores para alcanzar el grado de polimerización deseado. Las resinas epoxi de un solo componente pueden contener catalizadores latentes, que reaccionan cuando se aplica suficiente calor. Un factor que las hace muy comercializables es que tienen una vida en almacén previsiblemente práctica.

Tipos de resinas epoxi

Existen muchos tipos de resinas epoxi, no obstante, nosotros destacaremos tres tipos:

- Las resinas epoxi reforzadas son muy fuertes, y tienen una buena estabilidad dimensional y temperaturas de servicio de hasta 315 °C. Los materiales reforzantes preimpregnados se utilizan para obtener productos por tratamientos de aplicación de láminas manual, bolsa de vacío y bobinado de filamentos. El epoxi presenta una buena resistencia química y a la fatiga, por lo que las resinas epoxídicas

sustituyen en muchos casos a las de poliéster insaturadas, con lo que se puede ahorrar un tercio de la masa de resina.

- Los estratos de epoxi-vidrio se usan ampliamente, ya que poseen una alta relación de resistencia-masa. Son muy apreciados por una adherencia superior a todos los materiales y por su gran compatibilidad. Algunos de sus usos son placas de circuitos impresos, estratificados, piezas de aviones y tuberías bobinadas con filamentos, tanques y contenedores.
- Las resinas epoxi cargadas se suelen utilizar para coladas especiales. Estos fuertes compuestos se usan también en herramientas de bajo coste. Los epóxidos empiezan a sustituir a otros materiales en herramientas para troqueles, plantillas, monturas y moldes. Se puede conseguir una fiel reproducción de los detalles cuando se funden los compuestos epóxidos mediante prototipos o patrones.

Se emplean muchas cargas diferentes para impermeabilizar y parchear compuestos que contienen resinas epoxi. Las características adhesivas y la baja contracción de los epóxidos durante su curado los convierte en útiles para aplicaciones de impermeabilizado y parcheado.

La alfarería eléctrica constituye otro uso extendido de la colada. Los epóxidos destacan como protectores de piezas electrónicas de la humedad, calor y sustancias químicas corrosivas. Permiten también proteger piezas de motor eléctricas, transformadores de alta tensión, relés, bobinas y otros componentes de entornos duros forrados con resinas epoxi. Los compuestos de moldeo de resinas epoxi y reforzamientos fibrosos se pueden moldear por inyección, compresión y tratamientos de transferencia. Se moldean en elementos eléctricos pequeños y piezas de aparatos, y presentan muchos usos modulares. La versatilidad se consigue controlando la fabricación de las resinas, los agentes de curado, y la velocidad de curado. Estas resinas se pueden formular para conseguir resultados que abarcan desde compuestos blandos y flexibles hasta productos duros resistentes a agentes químicos,

mostrando así un amplio abanico de posibilidades a elegir en función de las necesidades que requiera nuestra solución constructiva.

Al incorporar un agente de soplado se pueden producir espumas epoxídicas de baja densidad. Las cualidades que ofrecen los plásticos epoxi son adhesión, resistencia química, tenacidad y excelentes características eléctricas.

Los acabados a base de epoxi se usan en calzados, suelos de hormigón, porches, aparatos metálicos y muebles de madera. Los acabados epoxi en los electrodomésticos constituyen la principal aplicación de este material duradero y resistente a la abrasión y, además, han sustituido a los esmaltes de vidrio para vagones cisterna y otros tapizados de contenedores que requieren resistencia a sustancias químicas. A veces se recubren con epoxi los cascos de barcos y los muros de contención. Un acabado más duradero significa menos reparaciones y menor tensión superficial entre el barco y el agua, de manera que se reducen los costes de mantenimiento y combustible. La flexibilidad de numerosos recubrimientos epoxi los hace populares para el posconformado de piezas de metal revestidas, como láminas de metal todavía lisas, que luego se conforman o doblan en recipientes planos sin que se dañe el recubrimiento.

La capacidad de los adhesivos epoxi de unir materiales distintos ha permitido que reemplacen a la soldadura, soldado, remachado y otros métodos de unión; métodos, que como ya hemos mencionado anteriormente en la introducción deberemos de evitar siempre que nos sea posible. Las industrias aeronáutica y del automóvil emplean estos adhesivos en los casos en que el calor u otros métodos podrían distorsionar la superficie. En las estructuras de alma de panal se aprovechan las excelentes propiedades adhesivas y térmicas del epoxi.

En la siguiente tabla se muestran algunas propiedades de diversos epóxidos.

Propiedad	Compuestos de moldeo epoxi		
	Cargado con vidrio	Cargado con mineral	Cargado con microesferas
Calidad de moldeo	Excelente	Excelente	Buena
Densidad relativa	1,6 – 2,0	1,6 – 2,0	0,75-1,00
Resistencia a tracción, MPa	69-207	34 - 103	17 - 28
Resistencia a compresión, MPa	172 – 276	124 – 276	69 - 103
Resistencia impacto, Izod, J/mm	0,5 – 1,5	0,015 – 0,02	0,08 – 0,013
Dureza, Rockwell	M100 – M110	M100 – M110	
Dilatación térmica, 10-4°C	2,8 – 8,9	5,1 – 12,7	
Resistencia al calor, °C	150 – 260	150 - 260	
Resistencia dieléctrica, V/mm	11.810 – 15.750	11.810 – 15.750	14.960 – 16.535
Constante dieléctrica (a 60 Hz)	3,5 – 5	3,5 - 5	
Factor disipación (a 60 Hz)	0,01	0,01	
Resistencia arco, s	120 – 180	150 – 190	120 -150
Absorción agua (24h)%	0,05 – 0,20	0,04	0,10 – 0,20
Velocidad de combustión	Autoextinguible	Autoextinguible	Autoextinguible
Efecto luz solar	Ligero	Ligero	Ligero
Efecto ácidos	Insignificante	Ninguno	Ligero
Efecto alcális	Ligero	Ligero	Ligero
Efecto disolventes	Ligero	Ninguno	Ligero
Calidad mecanizado	Buena	Aceptable	Buena
Calidad óptica	Opaco	Opaco	Opaco

Tabla 16: Características de las resinas epoxi.

De todo lo expuesto anteriormente podemos razonar una serie de ventajas e inconvenientes en el uso de las resinas epoxi en las salas limpias, a saber:

Ventajas del Epoxi:

- Amplio intervalo de condiciones de curado, desde la temperatura ambiente a 178 ° C.
- No se desprenden sustancias volátiles durante el curado.
- Adherencia excelente.
- Se puede reticular con otros materiales.
- Gran resistencia a sustancias químicas.
- Adecuado para todos los métodos de tratamiento de termoendurecibles.

Inconvenientes del Epoxi:

- Escasa estabilidad oxidantes: cierta sensibilidad a la humedad.
- Estabilidad térmica limitada de 178 ° C a 232 ° C.
- Muchos tipos son caros.

De estas ventajas e inconvenientes destacaremos ahora brevemente los que resulten más importantes de su uso en las salas limpias, explicándolos así para su mejor comprensión.

De las ventajas:

Resulta muy importante destacar, que durante el curado, el material epoxi no desprenderá ningún tipo de sustancia que pudiese contaminar al proceso constructivo “limpio”, ni tampoco a lo largo de su vida útil. Su gran capacidad de adherencia con todo tipo de materiales lo convierte en un aliado indispensable cuando se trata de realizar juntas estancas y seguras entre materiales de distinta índole. La resistencia que presentan las resinas epoxi frente a diferentes tipos de sustancias químicas y ácidos las hace perfectas para su uso en laboratorios y demás ámbitos hospitalarios.

De los inconvenientes:

El problema que presentan las resinas epoxi frente a la humedad, no es de consideración en el interior de las salas limpias, pues estas, generalmente, presentan una humedad y temperatura ambiente reguladas en todo momento. En cuanto a la estabilidad térmica decir que los usos en los que vamos a utilizar el material epoxi, no requieren de altas temperaturas. Por último, el precio suele ser un inconveniente cuando realizamos un trabajo muy específico, por tanto será algo que deberemos asumir, no obstante decir, que las juntas, sellados, etc. en las que se utilizan dichas resinas no suelen ser de un gran volumen.

Usos de las resinas epoxi en salas limpias:

- Sellado de juntas.
- Acabados impermeables.
- Acabados que requieran resistencia química a cierto tipo de componentes.