

# **Diseño de acciones para minimizar el consumo de agua en una empresa de anodizado**

Master de química sostenible

Universidad politécnica de Valencia (ITQ)

Autor: Jesús Alejandro Olmo Iniesta

Tutor: Antonio Eduardo Palomares Gimeno



## **Agradecimientos:**

Este proyecto está dedicado a la memoria de mi madre, María José Iniesta Alejo, la mujer que me enseñó que aunque tu batalla este perdida por un enemigo más fuerte que tú, nunca debes abandonar ni dejar de luchar...y que el poder de una sonrisa, es la mejor forma de afrontar cualquier situación y problema.

A mi hermano David Olmo Iniesta que siempre me apoya y me saca una sonrisa cuando más lo necesito. Pasando por muchos malos momentos siempre juntos y con solo una mirada de complicidad saber que tenemos que hacer en cada momento.

A mi padre Alejandro Olmo Villanueva, un ejemplo de constancia, trabajo, esfuerzo y sacrificio, ya no por el sino por su familia, gracias por ese espejo donde mirarme y ponerme las metas tan altas, para que siempre pueda seguir creciendo.

A mi familia y amigos que son muchos pero que me han arropado y soportado en todo momento.

A mis abuelos que ya no están aquí Rosa, Severiano y Antonia..... Allí donde estéis gracias por vivir siempre en mí recuerdo y espero que os sintáis orgullosos de mí como yo hago al acordarme de vosotros.

A mi abuelo Miguel gracias por tanto que me has dado durante mi vida y por esos consejos tan sabios que siempre tienes para mí.

A la empresas Thomas cosmética de España, que me permitió utilizar sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto, pero sobre todo a mis compañeros de trabajo que día a día me han soportado, ayudado y aguantado, consiguiendo que el trabajo sea más ameno y fácil de llevar.



# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>Pag 7</b>
<b>1.1El agua.....</b>	<b>Pag 7</b>
<b>1.2El sector del anodizado.....</b>	<b>Pag 9</b>
<b>1.3La empresa.....</b>	<b>Pag 25</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>Pag 29</b>
<b>3. Cuantificación y detección consumo de agua.....</b>	<b>Pag 31</b>
<b>4. Propuestas para minimizar el consumo de agua.....</b>	<b>Pag 37</b>
<b>4.1 Mantenimiento.....</b>	<b>Pag 37</b>
<b>4.2 Enjuagues.....</b>	<b>Pag 39</b>
<b>4.3 Equipo de osmosis y desionizada.....</b>	<b>Pag 45</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>Pag 51</b>



# 1. Introducción

## 1.1 El agua

El agua es uno de los recursos más importantes que posee el planeta, de hecho es tan importante que sin ella la vida no sería posible. Se podría decir que casi todo en nuestro planeta depende del agua. La mayor parte de la superficie de la tierra está cubierta de agua, nosotros mismos, los seres humanos, estamos compuesto de agua en nuestra mayoría. En los mares, ríos y océanos se encuentra también la mayor biodiversidad del planeta, y existen multitud de especies que aún ni se conocen.

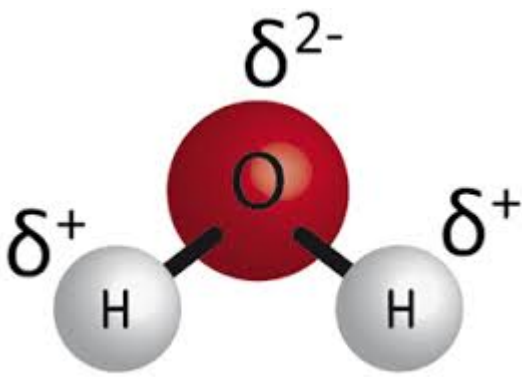
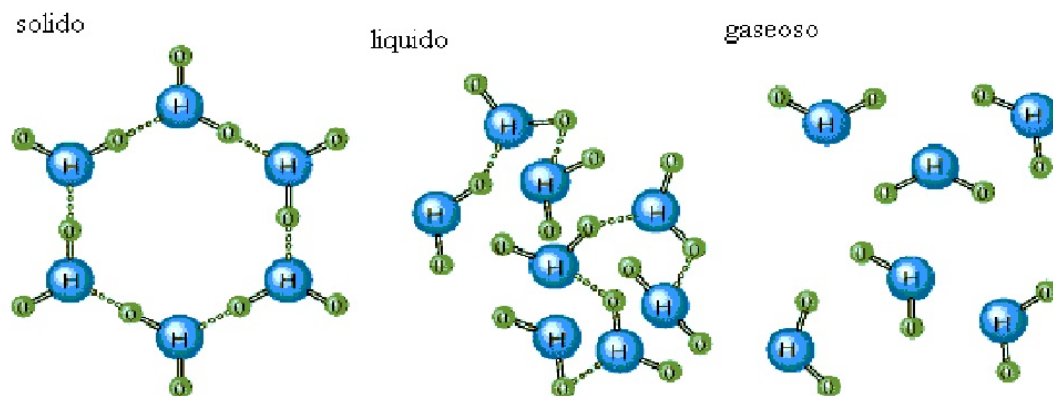


Figura 1: Molécula de agua

El agua es un producto raro y en muchos aspectos excepcional. Como es bien sabido, la molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Esa molécula es polar como podemos ver en la figura 1, porque la distribución de sus cargas eléctricas no es simétrica respecto al centro. Ello hace que las moléculas de agua tiendan a unirse merced a enlaces o puentes de hidrógeno. Con frecuencia, y como mínimo en el caso del agua en estado sólido las moléculas se unen en grupos de seis figura 2. A su vez, eso explica, entre otras cosas, la estructura hexagonal de los cristales de hielo, y la perfecta y simétrica estructura fractal de los copos de nieve, también con seis brazos. Debido a su peculiar estructura, el agua en su forma sólida pesa menos que en estado líquido, por lo que el hielo flota siendo de las pocas sustancias que tiene estas propiedades y que de forma natural, a las temperaturas y con la presión atmosférica se presenta tanto en forma líquida (el agua en sentido estricto), como en forma sólida (hielo) y en forma gaseosa (vapor de agua). El agua es además un magnífico disolvente y es fundamental en

el metabolismo de los seres vivos, que no es otra cosa sino el intercambio de sustancias – y energía– con el exterior y la síntesis de productos complejos, orgánicos, a partir de otros más simples. El agua es el medio de transporte de esas sustancias y el agua es, también, el ambiente donde tienen lugar las correspondientes reacciones químicas.

Por otro lado los puentes de hidrógeno tienden a mantener las moléculas de agua fuertemente unidas entre sí, generando una tensión superficial imprescindible para diferentes actividades de los seres vivos. La tensión superficial, por ejemplo, hace posible la capilaridad, fenómeno mediante el cual el agua asciende por un tubo estrecho contra la acción de la gravedad. Esa capilaridad, entre otras cosas, ayuda a las plantas a succionar agua del entorno y también, en parte, facilita el ascenso de la savia a lo largo de los vasos leñosos que componen el xilema. Otra característica peculiar del agua, relacionada asimismo con la fuerte cohesión entre sus moléculas, es que apenas puede comprimirse, de manera que para algunos animales blandos el agua funciona como un auténtico esqueleto. No menos importante es el hecho de que el agua se caliente y se enfríe con lentitud o, dicho en otras palabras, que sea capaz de absorber grandes cantidades de energía en forma de calor es decir tienen un elevado calor específico. Esto permite que a escala global los océanos funcionen como un gran termorregulador y redistribuidor de calor, y a escalas menores hace posible proteger a individuos, órganos y células de los cambios de temperatura. Estas y otras muchas características hacen del agua un elemento absolutamente esencial para la vida tal y como la conocemos.



**Figura 2: agrupaciones de las moléculas de agua según su estado físico**

El agua es muy abundante en nuestro planeta, pero gran parte de los seres vivos necesitamos agua dulce, y esa es mucho menos común. En la Tierra existen alrededor de 1.390 millones de kilómetros cúbicos de agua, pero el 96,5% del mismo es agua salada y



está en los océanos y mares. Casi otro 1% es agua subterránea también salada, y por tanto tampoco apta para el consumo humano. Solo hay, apenas un 2,5% del total en forma agua dulce, esto es 35 millones de kilómetros cúbicos. El problema es que gran parte de ese agua no es asequible y que algo más de dos terceras partes –el 68’7%– del agua dulce está en forma de hielo y nieve permanentes, en los glaciares y casquetes polares, y por tanto apenas disponible, para nuestras necesidades. Otro 30% tampoco es fácil de usar, pues es agua subterránea, a veces muy profunda. El agua acumulada en los lagos representa el 0,26% del agua dulce del mundo, y sumando la almacenada en marismas y aguazales con la que corre por los ríos, el valor coincide aproximadamente con la cantidad que se mantiene en la atmósfera.

La conclusión es que no llegan a cien mil los kilómetros cúbicos de agua dulce disponibles para la Humanidad y para las plantas y animales. Además existe un problema añadido: esa agua dulce, además de escasa, está mal repartida. En Asia, por ejemplo, donde vive el 60% de la población humana, tan sólo se acumula el 36% del agua dulce. Aunque en menor proporción, también en Europa y África el porcentaje de población supera al de agua dulce. En Sudamérica, en cambio, sólo vive el 6% de la Humanidad, pero disponen del 26% del agua, mientras que en Norteamérica el 8% de la población humana puede acceder al 16% del agua dulce existente.

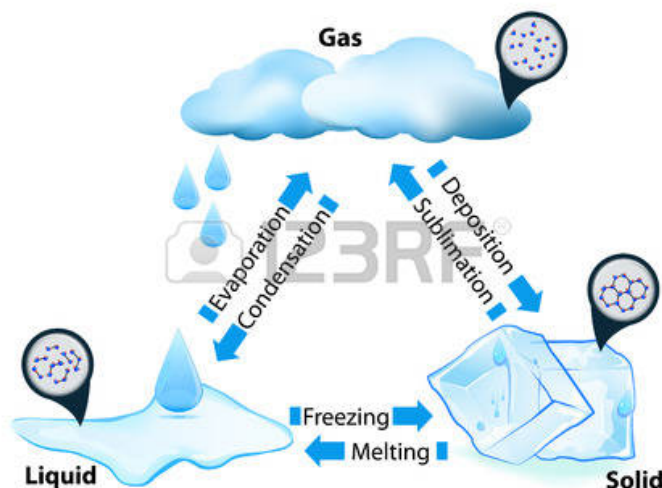


Figura 3

No obstante el ciclo del agua permite que esa pequeña cantidad de agua accesible para el consumo humano permanezca en la superficie de la tierra a lo largo del tiempo, como consecuencia del ciclo del agua (figura 3). Como en todo ciclo, en el del agua no puede

identificarse ni un principio ni un final y cualquier molécula de agua, sea sólida, líquida o vapor, participa de ese ciclo. La energía del sol es la última responsable del ciclo, haciendo que se caliente el agua y que parte de ella se evapore. En ese momento se produce un cambio importante, pues el agua salada del mar se convierte en agua dulce y limpia, sin impurezas. El aire caliente cargado de vapor se eleva, enfriándose y poco a poco el agua en forma de gas se condensa formando las nubes. Estas nubes se desplazan, empujadas por los vientos, y las partículas de agua chocan y se unen entre sí, aumentando de tamaño y cayendo en forma de precipitación. La mayor parte de esa precipitación cae sobre el mar, otra parte cae en forma de nieve sobre los polos, o sobre glaciares en altas montañas, donde puede permanecer millones de años en forma de hielo y otra parte cae en forma de lluvia en tierra firme cerrando así el ciclo.

Como el agua puede estar en forma sólida, líquida o gaseosa, las condiciones climáticas globales afectan seriamente a la distribución en cada uno de esos estados. En los periodos muy fríos, como fueron las glaciaciones, mucha agua estaba depositada como hielo y, en consecuencia los niveles del mar fueron más bajos que en la actualidad (hasta 120 metros menos en la última glaciación). Pero cuando hace más calor, en cambio, mucho hielo se derrite –además, el agua se dilata al calentarse– y los niveles del mar aumentan. Como es sabido, ésta es una de las posibles consecuencias del actual cambio climático, o calentamiento global, provocado por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a las actividades humanas. Se estima que en el mejor de los casos, el mar puede ascender algo menos de medio metro en el actual siglo, pero las previsiones más pesimistas contemplan el riesgo de deshielo de los casquetes polares, lo que podría elevar el nivel del océano hasta seis metros. Pero este no es el único modo en que el calentamiento global puede afectar al ciclo del agua. También, lo hace redistribuyendo las precipitaciones en el espacio y en el tiempo. En muchas zonas, como España, está nevando menos, ello pone en peligro, el abastecimiento primaveral y estival de los ríos de montaña, que se nutren del deshielo. Por contra en algunas regiones del mundo llueve más que antes ya que al estar el agua del mar más caliente, se evapora más y sobre todo, llueve de forma más catastrófica y violenta. Con más calor también transpiran más las plantas y el suelo pierde humedad lo que también puede contribuir a la desertificación de ciertas zonas del planeta. Éstos y muchos otros cambios obligan a considerar la forma en que se utilizar y se gestionara ese escaso recurso que es el agua dulce.

Por ello desde los gobiernos han empezado a concienciar a la población de la importancia de cambiar sus hábitos de vida y sobretodo de consumos de agua. Eso se hace además de con campañas publicitarias con incrementos en los controles e incremento de precios paratanto por parte de la industria como de los consumidores que intentan minimizar el consumo de agua estas medidas contribuyen a lo que se conoce como la “nueva cultura del agua” basado en conciencia a la gente de que el agua es un bien escaso que hay que cuidarlo y no se debe derrochar. En esa última parte las empresas también deben participar exhaustivamente, tanto por las elevadas facturas que les tocaría pagar como por las legislación restringente que se les obliga a cumplir. Por ello las empresas invierten cada día más y más dinero en la investigación y desarrollo de sistemas o de programas que reduzcan sus consumos de agua para de esa manera cumplir con las legislación y reducir esa factura.

En este TFM se van a analizar las opciones para minimizar el consumo de agua en la empresa Thomas cosmética de España, que es una empresa dedicada al sector del anodizado y es la empresa en que se ha realizado el mismo.



## 1.2 El sector del anodizado

El sector de tratamiento y revestimiento de piezas metálicas y plásticas cuenta en Europa con, aproximadamente, un total de 18.300 instalaciones (entre las incluidas en la IPPC y las no incluidas).

La mayor parte son pequeñas y medianas empresas, por ejemplo, en Alemania el número de trabajadores por empresa oscila entre los 10 y los 80. La ocupación del sector en Europa es de alrededor de 440.000 personas. Del total de empresas del sector en Europa, el 55% dedican su actividad principal al tratamiento y revestimiento de superficies, mientras que el resto, el 45%, desarrollan otra actividad principal, siendo una parte de su proceso el tratamiento y revestimiento de superficies. Por ejemplo, una empresa dedicada a la fabricación de componentes eléctricos (conectores eléctricos), puede tener internalizado el cobreado de los mismos o, puede ser que lo subcontrate externamente. Este tipo de empresas, dificulta la obtención de datos tanto a nivel europeo como a nivel estatal.

En cuanto a la extensión del mercado en Europa, cabe destacar la disminución del volumen de negocio, alrededor de un 30%, entre los años 2001 y 2002 como consecuencia del incremento de exportaciones de países asiáticos. En la figura 4, se presenta un gráfico con los datos de producción (en miles de toneladas) tanto del anodizado de piezas como del total de recubrimientos.

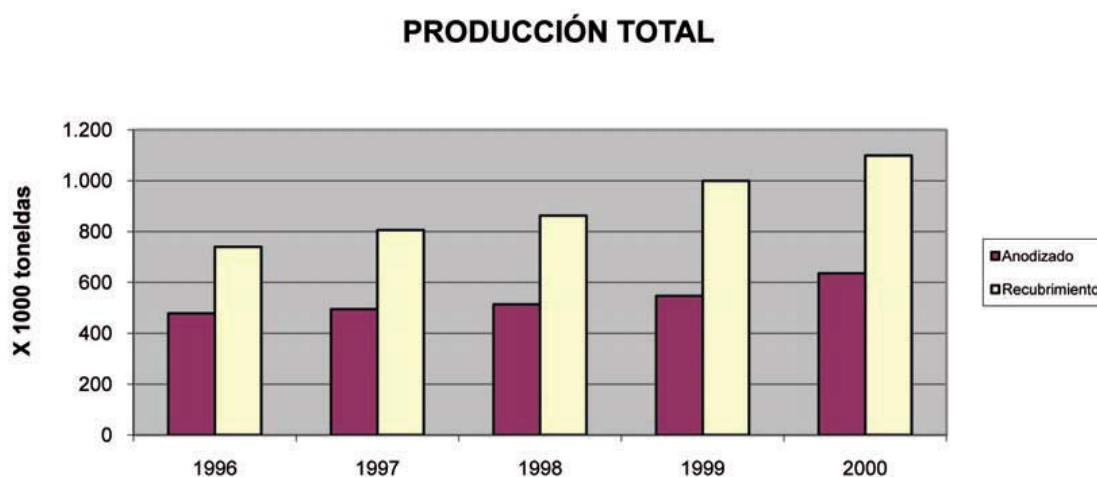


Figura 4: Producción total en Europa del sector del anodizado

Se denomina anodización al proceso electrolítico de pasivación utilizado para incrementar el espesor de la capa natural de óxido en la superficie de piezas metálicas. Esta técnica suele emplearse con el aluminio para generar una capa de protección artificial mediante el óxido protector del aluminio, conocido como alúmina. La capa se consigue por medio de procedimientos electroquímicos, y proporciona una mayor resistencia y durabilidad del aluminio. La protección dependerá en gran medida del espesor de esta capa que va desde las 2  $\mu\text{m}$  hasta las 20  $\mu\text{m}$  dependiendo del ambiente en que se vayan a utilizar.

Coloración de dicha capa depende principalmente del electrolito, la corriente eléctrica aplicada (amperios A), de la temperatura del baño y de la duración del tratamiento. El nombre del proceso deriva del hecho que la pieza a tratar con este material hace de ánodo en el circuito eléctrico de este proceso electrolítico.

La anodización es usada frecuentemente para proteger el aluminio y el titanio de la abrasión y la corrosión, y permite su tinte en una amplia variedad de colores.

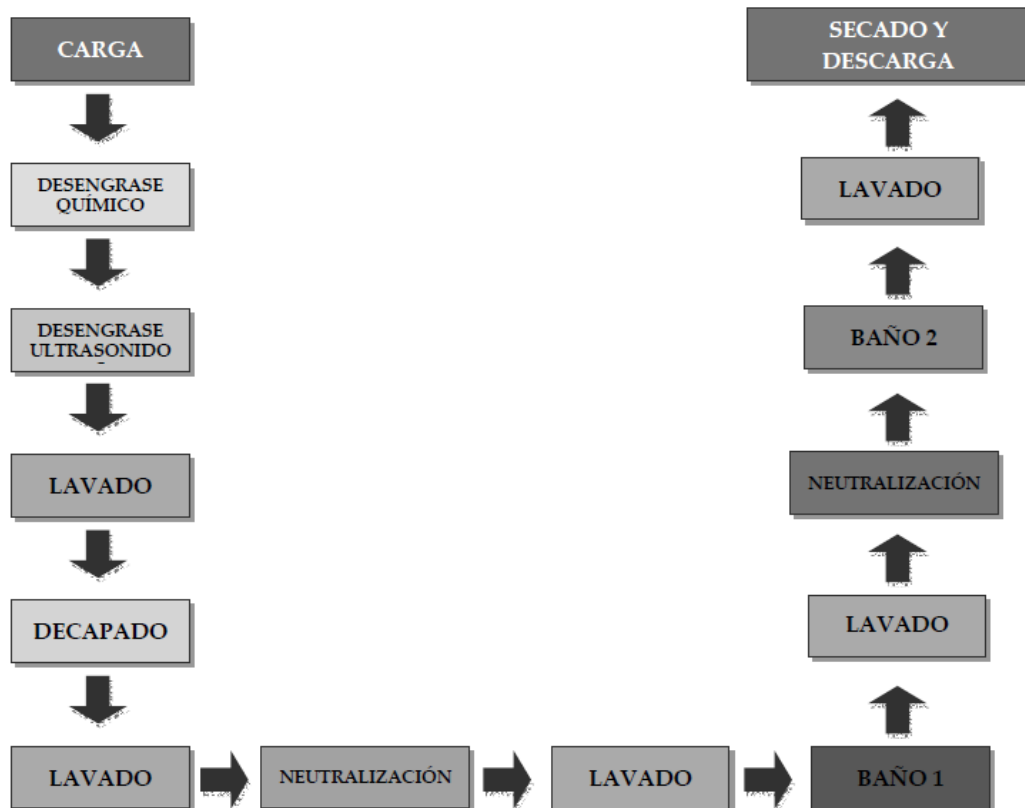


Ilustración 24. Esquema general de los procesos comunes

Figura 5: Esquema de los procesos de anodizado

En la figura 5 se representa el proceso general de anodizado, en todo proceso de anodizado, antes de proceder al recubrimiento superficial de la pieza, se requiere de un tratamiento previo de preparación de la superficie. Este pretratamiento se realiza para eliminar los restos de grasas, aceites y sustancias lubricantes, etc... En general, estos restos proceden del tratamiento de conformación mecánica, pudiendo también proceder del proceso de engrase de las piezas como protección anticorrosiva temporal. Tras ello se procede al pulido, satinado y decapado y posteriormente el anodizado de la pieza, su coloración y posterior sellado y secado. En este proceso es necesario utilizar numerosos lavados para preparar la pieza entre sus tratamientos. Estas etapas se describen con mas detalle a continuación:

- **Desengrase**

El desengrase químico puede realizarse con disolventes orgánicos o en soluciones acuosas alcalinas con poder emulsificador (detergentes).

#### **Desengrase químico con disolventes**

Estos son utilizados tanto en frío como en fase vapor. Eliminan grasas, pinturas y barnices.

- En frío, se aplican por inmersión, realizando el efecto desengrasante el mismo disolvente.
- En fase vapor, los disolventes del baño se evaporan y producen vapores que contactan con la pieza realizando el efecto desengrasante.

Tradicionalmente se usaban los disolventes halogenados pero estos están siendo sustituidos por soluciones acuosas. Éstas contienen fundamentalmente detergentes inorgánicos, así como sustancias orgánicas, por lo general, biodegradables. Sin embargo, en casos en los que por razones técnicas sea inevitable el empleo de disolventes halogenados, es recomendable realizarlo en instalaciones cerradas herméticamente y acompañadas incluso de un sistema de extracción de vapores y ventilación del local durante su apertura. En la tabla 1 aparecen los aspectos ambientales relacionados con el uso de esta técnica.

## Aspectos ambientales

Aspecto ambiental	Identificación
Aguas residuales	No aplica
Residuos	Disolvente contaminado con aceites
Emisiones a la atmósfera	Compuestos orgánicos volátiles (COVs).
Ruido y vibraciones	No significativo

**Tabla 1: Aspectos ambientales del desengrase**

### **Desengrase con detergentes**

En el desengrase químico con detergentes (productos comerciales), se elimina cualquier tipo de grasa debido a su composición alcalina y a los compuestos tensioactivos que disminuyen la tensión superficial del aceite del baño. Se utiliza un medio químico con agentes emulsionantes en el cual, para favorecer el efecto mecánico de la limpieza, normalmente se utiliza algún mecanismo de agitación del medio, como por ejemplo el aire.

### **Desengrase por ultrasonidos**

En este tipo de sistema se usa en un medio químico como el anterior, pero se le añade un mecanismo generador de ultrasonidos que crea un efecto de impacto sobre la superficie de la pieza y colabora en su limpieza mecánica. Requiere agitación mecánica de las piezas y no se utiliza a granel ni en procesos a tambor.

### **Desengrase electrolítico**

Consiste en someter las piezas, aun proceso electrolítico en el que estas actúan como cátodos, en una solución alcalina. Las grasas saponificables son atacadas y saponificadas por la acción de la solución alcalina, y el hidrógeno originado en la electrólisis sobre el cátodo favorece el desprendimiento de las grasas de la pieza. Con este sistema, también se desprenden los óxidos metálicos que se pueden haber formado por su reducción a través del hidrógeno.



### **Pulido, satinado y decapado**

Este paso es un proceso que le confiere al aluminio varios tipos de acabados, además de ser un paso por el cual eliminamos cualquier resto de desengrase que pudiera quedar en el aluminio.

- El pulido, es un proceso en el que se aplica una combinación de ácido fosfórico, sulfúrico y nítrico sobre la pieza de aluminio a temperaturas elevadas, entre 98 y 110 °C, para conseguir darle a el aluminio un acabado brillante.
- El satinado, es el proceso por el cual se le confiere al aluminio un acabado mate, que se consigue mediante una mezcla de agua con sosa y aluminio disuelto, las temperaturas pueden variar según el acabado que se quiere conseguir.
- El decapado, es un proceso utilizado para eliminar la capa anódica del aluminio, este proceso se utiliza para eliminar también la posible coloración de la pieza aluminio, por que se pueda reanodizar en un posterior tratamiento. Este proceso se lleva a cabo con una mezcla de agua y de sosa, pero a diferencia del satinado, en este proceso no hay aluminio disuelto. Se puede utilizar también para dar un acabado mate muy ligero.

### **Neutralización**

La neutralización es el paso previo al anodizado, es un proceso que sirve para eliminar los restos del ácido o bases del paso anterior. Aunque cada paso se utilizan enjuagues para eliminar restos, este proceso sirve para evitar interferencias en el anodizado. Es un proceso que se realiza con productos químicos estandarizados mezclados con agua y a temperatura ambiente

## **Anodizado del aluminio**

El anodizado de metales es un proceso electroquímico de oxidación mediante el cual se produce la oxidación de la superficie del metal. El aluminio (y sus aleaciones) es uno de los principales metales anodizados, formándose en su superficie óxido de aluminio alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

En este caso, a diferencia del resto de procesos electroquímicos vistos hasta ahora, la superficie a tratar actúa como ánodo produciéndose su oxidación. Esto presenta numerosas ventajas como:

### Ventajas del Anodizado

- El aluminio anodizado tiene una excelente resistencia a los agentes químicos, dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa.
- La capa de anodizado es más dura que la capas obtenidas pintando con resina sintéticas. Esta propiedad la hace muy útil en áreas donde existe alto tránsito.
- El anodizado no puede ser escamado por cuanto la capa forma parte del metal base.
- El anodizado le da al aluminio una apariencia metálica muy superior a la que se puede obtener con pinturas orgánicas.
- El anodizado no se ve afectado por la luz solar. A pesar de ello, todos los recubrimientos orgánicos pueden eventualmente fallar debido a la exposición a los rayos ultravioletas

El anodizado del aluminio se lleva a cabo, mayoritariamente en baños con ácido sulfúrico, aunque en ocasiones pueden utilizarse otro tipo de soluciones como el ácido fosfórico o crómico, siendo esta última aplicación cada vez menos utilizada y en aplicaciones muy concretas.

La capa de alúmina formada durante el proceso de anodizado puede colorearse con colorantes orgánicos o compuestos inorgánicos metálicos. Posteriormente, se somete a un proceso de sellado con el propósito de aumentar la resistencia a la corrosión y retener la coloración dada a la superficie.

Las condiciones de trabajo en este tipo de anodizado son las descritas en la tabla 2:

Concentración ácido sulfúrico	< 200 g/l ± 10 g/l
Aluminio	5-15 g/l
Cloruros	< 100g/l
Temperatura	< 21 °C para 5,10 µm
	< 20 °C para 15,20,25 µm
Densidad de corriente A/ dm <sup>2</sup>	1.2-2.0 Amp/dm <sup>2</sup> para 5,10 µm
	1.4-2.0 Amp/dm <sup>2</sup> para 15 µm
	1.5-2.0 Amp/dm <sup>2</sup> para 20,25 µm

**Tabla 2: condiciones de trabajo anodizado aluminio con acido sulfurico**

En el anodizado duro, en el que se obtiene una capa de 25-150 µm (25-150 µm) (mayor protección), el intervalo de temperatura de trabajo es entre 0-5 °C y en estos casos la capa obtenida no se sella si no que simplemente se impregna con lubricantes.

### Coloración del anodizado del aluminio

En ocasiones el aluminio debe colorearse durante o después del anodizado. Para ello se usan los siguientes métodos de coloración:

- **Coloración por inmersión:** es la más utilizada con una ampliada gama de colores.
- **Coloración electrolítica:** el anodizado se lleva a cabo en una solución de ácido que contiene sales de metal y se le aplica corriente alterna. Esto provoca que el metal penetre 1-5 µm en el interior del poro de la alúmina. Se obtiene el color característico del metal usado. El electrolito más usado hoy en día es a base de sulfato de estaño. Se utilizan también sales de níquel, de cobre y permanganato según el color deseado.
- **Coloración por interferencia:** es una técnica especial basada en el principio de coloración electrolítica, con una modificación previa de la capa anódica antes de la deposición electrolítica. El aspecto se produce por la interferencia de 2 capas finas: la capa de metal depositada electroquímicamente en el fondo de los poros y la interfase de óxido de aluminio modificada por debajo.
- **Coloración integral:** En este caso el óxido de aluminio se colorea durante el proceso de anodizado debido a las características de la aleación de aluminio

utilizada. Esta técnica está siendo totalmente reemplazada por la coloración electrolítica.

### **Sellado del anodizado de aluminio**

El anodizado con ácido sulfúrico va seguido, normalmente, de un sellado cuya función es mejorar la resistencia a la oxidación. El proceso consiste en el cierre de los poros formados durante el anodizado, por transformación química del óxido mediante temperatura o la acción de sustancias químicas. A continuación se describen los métodos de sellado:

#### **Sellado en caliente:**

Sellado por termo-hidratación: se realiza con agua desmineralizada a una temperatura superior a 96 °C: los poros del óxido de aluminio se hidratan, formándose  $\text{AlO}(\text{OH})$  (bohemia) y así produciéndose el cierre de éstos. El proceso consiste en sumergir las piezas en agua desionizada durante 3-4 minutos por micra de grosor. El pH del baño es de 6-6.5 u.p.H, y puede contener aditivos anti polvo y reguladores de pH.

La termo-hidratación también puede realizarse con vapor de agua, utilizando en este caso la temperatura mínima del vapor saturado.

#### **Sellado a media temperatura:**

La temperatura y el tiempo son inferiores a los del sellado caliente, la temperatura está entre 60 y 85 °C, y el tiempo entre 2 a 5.5 minutos por micra. Se utiliza con sales de níquel y aditivos orgánicos.

#### **Sellado en frío:**

Este tipo de sellado presenta dos fases:

Primera fase: impregnación y cierre de los poros de la capa anódica por reacción entre el óxido de aluminio y un baño en que contiene níquel y fluoruros. La temperatura de trabajo es entre 25 y 30 °C. El tiempo de tratamiento es de 0.8 a 1.2 minutos por micra, y el pH es de 6-6.5 u.p.H.

Segunda fase: una vez sellado y lavado, la superficie tratada se sumerge en agua desionizada a 60 °C durante un tiempo de 0.8 a 1.2 minutos por micra.

Los principales aspectos ambientales de los procesos de sellado y anodizado aparecen detallados en la tabla 3

### Aspectos Ambientales

Aspecto ambiental	Identificación
Aguas residuales	Metales pesados: níquel, aluminio, cromo hexavalente (para anodizado con ácido crómico) Aniones: fluoruros y silicatos, fosfatos, sulfatos DQO ( proceso coloración)
Residuos	Lodos de filtración procedentes del baño
Emisiones a la atmósfera	Aerosoles ( anodizado con ácido crómico) Vapor agua (proceso sellado)
Ruido y vibraciones	No significativo
Consumo de recursos naturales	Elevado consumo energético.

**Tabla 3: Aspectos ambientales de sellado**

### Lavado

Las operaciones de lavado son fundamentales en los procesos de recubrimiento de aluminio para evitar la contaminación cruzada entre baños de proceso y para detener la acción del electrolito sobre la superficie tratada. El caudal de agua necesario para efectuar correctamente el lavado de las superficies tratadas es un parámetro que, normalmente, determina las dimensiones de los sistemas de gestión y los tratamientos posteriores de las aguas residuales generadas. Este caudal depende de muchos factores y, en función del diseño de la planta de anodizado, puede ser muy superior al mínimo necesario, siendo este hecho muy habitual. Por tanto, es muy importante que el sistema de lavado escogido permita obtener la calidad de lavado necesaria con el mínimo consumo de agua, hecho que, por otro lado también implica una reducción del caudal generado de aguas residuales.

El principal factor que influye en los caudales de lavado es el arrastre. Éste, por su lado, puede venir condicionado por la forma y la rugosidad superficial de la pieza, por la viscosidad del proceso, etc.

## Secado

Después de haber realizado el tratamiento superficial, las piezas deben secarse de modo rápido y eficaz para evitar la formación de manchas y una posible corrosión de éstas. Los métodos más utilizados son el secado mediante agua o aire caliente.

En los procesos a tambor además del secado mediante aire caliente también se utiliza la centrifugación, siempre que el proceso lo permita, siendo este un tratamiento efectivo y energéticamente eficiente.

### Secado mediante agua caliente.

El método más simple de secado es mediante la inmersión de las piezas en agua caliente. Las piezas se sumergen durante unos segundos en el agua y después se retiran y se secan a temperatura y presión atmosférica.

Este tipo de secado se utiliza normalmente en líneas manuales, por consiguiente en líneas de poca capacidad. La temperatura del agua debe controlarse, en el secado piezas de plástico y normalmente está limitada a 60 °C ya que a temperaturas mayores los componentes podrían deformarse. Las piezas cincadas y las pasivadas tampoco pueden superar los 60 °C para evitar la deshidratación del recubrimiento y la pérdida de protección contra la corrosión de la capa de pasivado. Las piezas cromadas pueden secarse hasta temperaturas de 90 °C.

Habitualmente, se utiliza agua desionizada en este proceso para evitar la generación de manchas. El inconveniente de este sistema de secado es la pérdida de energía, es decir, la baja eficiencia energética. En la tabla 4 se recogen los aspectos medioambientales de este proceso.

### Aspectos Ambientales

Aspecto ambiental	Identificación
Aguas residuales	No significativo
Residuos	--
Emisiones a la atmósfera	Vapor de agua Gases de combustión.
Ruido y vibraciones	--
Consumo de recursos naturales	Elevado consumo energético

**Tabla 4: Aspectos ambientales del secado con agua caliente**

## Secado mediante aire caliente

En líneas automáticas o manuales, a bastidor se utiliza más frecuentemente el secado mediante aire caliente. Los bastidores se introducen en una cuba al final de la línea de tratamiento, donde se somete al secado. La cuba tiene las mismas dimensiones que el resto de cubas del proceso, excepto en el caso de plantas manuales donde suele ser mayor. El aire caliente es regularmente recirculado desde la parte superior a la inferior de la cuba y a unas temperaturas de entre 60 y 80 °C. En la parte superior de la cuba hay fugas de aire caliente lo que suele hacer que el proceso sea térmicamente ineficiente.

En grandes instalaciones, el aire normalmente es calentado mediante intercambiadores de calor de vapor o de aceite. Existe también la alternativa del calentamiento directo mediante un quemador de gas, en el cual la llama calienta directamente el aire; esta técnica suele utilizarse en plantas de menor tamaño. En la tabla 5 se recoge los aspectos medioambientales de este proceso.

Aspecto ambiental	Identificación
Aguas residuales	No significativo
Residuos	--
Emisiones a la atmósfera	Vapor de agua Gases de combustión
Ruido y vibraciones	Ventiladores
Consumo de recursos naturales	Elevado consumo energético

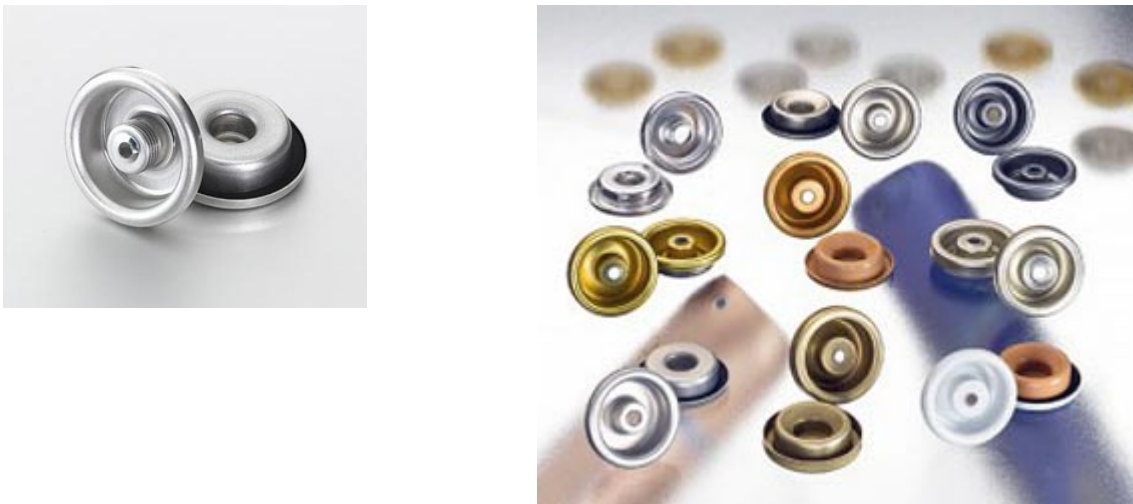
**Tabla 5: Aspectos ambientales secado por aire caliente**





### 1.3 La empresa Thomas cosmética de España

La empresa en la que se realiza el proyecto es Thomas cosmética de España es una empresa consolidada y de gran importancia dentro del conglomerado empresarial de Thomas grup, empresa dedicada al sector del anodizado. En esta empresa se fabrican piezas de aluminio anodizadas para marcas de perfumería, cosmética y farmacia. Es una empresa muy comprometida con la calidad y con la ecología, con clientes con gran volumen de trabajo que exigen una calidad superior a la del resto de empresas. En la figura 6 aparecen algunas de los productos fabricados por ella.

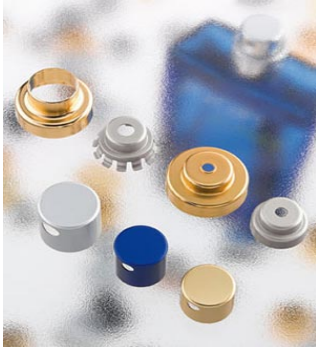


**Figura 6: Productos fabricados por Thomas cosmética de España**

Actualmente la empresa produce 5 billones de componentes metálicos para farmacia alrededor del mundo siendo el grupo líder en la industria de la fabricación de componentes para inhaladores. El grupo produce actualmente 400 modelos diferentes de piezas para cubrir las diferentes necesidades de los clientes que tiene por todo el mundo.

En el apartado de cosmética los modelos se disparan y para adecuar los diseños a las necesidades del cliente, además de producir las piezas también se les da una capa anódica, que protege las piezas de la oxidación, y además se les da una coloración de acuerdo con las necesidades del cliente, con una amplia variedad de colores, además de dos tipos de acabado (mate o brillante).

También es una de las empresas líder en el sector de productos cosméticos de lujo, fabricando tapones y ferrulas para marcas de primer nivel a nivel mundial figura 7.



**Figura 7: Productos fabricados por Thomas**

Esta empresa tiene su sede en Alemania, pero el trabajo se ha llevado a cabo en la planta de Chestre. Esta planta cuenta con 3 naves en la cual la materia prima (bobinas de aluminio) entran y son transformadas en la parte de prensas, para su posterior desengrase (para la eliminación de aceites) y por su anodizado, donde las piezas son recubiertas con una capa anódica, que les confiere una resistencia al oxido. Además son coloreadas y se les dan un acabado que puede ser tanto brillante como mate. Además de tener unos 200 empleados en nómina ocupa tres naves realizando el anodizado siguiendo los siguientes procesos:

Los bobinas de aluminio son almacenadas en las planta de entrada

Se transforma el aluminio en las piezas, deseado en las prensas existentes se utiliza una gran cantidad de aceite para no dañar el aluminio.

Se realizará el desengrase con alcoholes y productos biodegradables que eliminan el aceite sobrante de las prensas, antes de entrar en el anodizado.

La parte principal de la fabrica y en lo que se basa el proyecto es el anodizado aquí hay varios procesos que detallaremos a continuación.

**-Pulido:** Es un proceso conocidos que consigue eliminar los restos del desengrase y además darle un acabado brillante y puliendo las piezas

**-Satinado:** Es un proceso aparte del anodizado que mediante sosa, agua y aluminio disuelto consigue pulir la pieza pero dándole un acabado mate

**-Decapado:** Es un proceso diferente a los anteriores, en que conseguimos eliminar la capa anódica en aquellas piezas que han sido anodizadas y que habian sido por error enviadas a un color diferente





## 2. Objetivos

En este TFM, que tiene una orientación industrial se pretende identificar y minimizar problemas que tiene la empresa en la que se ha desarrollado el proyecto referente al consumo de agua. Para ello se realiza primero un estudio de la situación describiendo los tipos de agua que son utilizados en cada enjuague, el consumo en la instalación y en base a ella se propondrán mejoras para minimizar el consumo de agua y la generación de aguas residuales, de acuerdo a los principios de sostenibilidad en las que se pretende enmarcar este TFM agua.

En concreto los objetivos son:

- Cuantificar y determinar los principales consumos de agua de la planta
- Establecer las medidas necesarias para reutilizar las aguas en la misma instalación.
- Plantear una solución que permita disminuir el consumo y reutilización de aguas reduciendo los costes relacionadas con su consumo.

El TFM se centrara en una de las líneas de anodizado descrita posteriormente y que aparece en la figura 9



**Figura 9:** vista de la línea donde se pretende realizar el proyecto



### **3. Cuantificación y detección**

El sector químico, por diversos motivos ha tenido mala prensa y por tanto un mal recibimiento por la sociedad a lo largo del tiempo por la “suciedad” que generaba. Sin embargo durante las últimas décadas la industria ha hecho una importante inversión en revertir esa opinión mejorando ese aspecto tan negativo cara a la sociedad. En este sentido se está haciendo un gran esfuerzo en el control del uso de materias primas y generación de residuos, haciendo especial hincapié en los usos del agua en sus instalaciones ya que además el agua es un recurso que genera una preocupación medioambiental. La escasez del recurso hídrico y el encarecimiento de este repercute en la economía de la empresa tanto directamente por el precio del consumo del agua como indirectamente por los tratamientos que se le realizan para purificarla y cumplir con los imperativos legales.

En este punto se va a analizar detenidamente el consumo de agua en los últimos años en las diversas partes de la planta y a detectar en que instalaciones de la misma se podrían minimizar el consumo del agua.

Por ello en primer lugar se va a controlar los consumos de agua de la planta durante los últimos 2 años tabla 6 y se va a proponer un plan de actuación desde el cual atacar los mayores problemas que se pueden encontrar en la planta, relacionados con el consumo de agua.

2015		MEDICIONES		FINANZAS (sin IVA)			
Trimestre	Periodo	Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (m <sup>3</sup> )	Coste total	Suministro	Tasas y cánones	Precio med (m <sup>3</sup> )
T2-2015	9/01/2015-15/04/2015	15	9.371	6.779,94 €	5.913,28 €	866,66 €	0,723502 €
T3-2015	15/04/2015-13/07/2015	15	11.277	8.124,62 €	7.095,00 €	1.029,62 €	0,720459 €
T4-2015	13/07/2015-7/10/2015	15	8.063	5.857,15 €	5.102,32 €	754,83 €	0,726423 €
T1-2016	7/10/2015-8/01/2016	15	11.374	7.870,65 €	7.155,14 €	715,51 €	0,691986 €
<b>Total/media</b>				28.632,36	25.265,74	3.366,62	0,714000 €
2016		MEDICIONES		FINANZAS (sin IVA)			
Trimestre	Periodo	Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (m <sup>3</sup> )	Coste total	Suministro	Tasas y cánones	Precio med (m <sup>3</sup> )
T2-2016	9/01/2016-07/04/2016	15	13.712	9.842,52 €	8.604,70 €	1.237,82 €	0,717803 €
T3-2016	7/04/2016-08/07/2016	15	17.009	12.168,55 €	10.648,84 €	1.519,71 €	0,715418 €
T4-2016	8/07/2016-7/10/2016	15	15.981	11.443,30 €	10.011,48 €	1.431,82 €	0,716057 €
T1-2017	7/10/2016-9/01/2017	15	16.865	12.066,96 €	10.559,56 €	1.507,40 €	0,715503 €
<b>Total/media</b>				45.521,33	39.824,58	5.696,75	0,716116 €

**Tabla 6: consumos de agua de 2015/2016**

En esta tabla se detalla los aumentos en el consumo de agua de la planta. Como se puede observar en la tabla el consumo de agua varía según el trimestre y el año, pero observamos un importante incremento en el consumo del agua en el último año, tendencia que se espera que continúe en los próximos años, debido al aumento de producción de la planta. Además se ve como las facturas los cánones y demás impuestos sobre las aguas han aumentado por la escasez del recurso hídrico. Se observa un aumento de unos 17396,71€ en los consumos y una media de 23.482 m<sup>3</sup> de caudal nominativo. Así en en el 2016 se produjo un consumo de 63567 m<sup>3</sup> de agua lo que supone casi un 60% más que el año anterior.

Al hacer un estudio detallado del consumo se determina que los principales problemas relacionados con el consumo de agua aparecen relacionados con:

**-Problemas de mantenimiento**



Las instalaciones son antiguas y están funcionando las 24h del día durante 365 días del año, las paradas para mantenimiento son contadas y eso genera un deterioro por perdidas, roturas fugas, etc... cuyas reparaciones se hacen con la mayor brevedad al ser detectada, pero la detección de problema no siempre es inmediato pudiéndose alargar en el tiempo.

Además hay que considerar que las aguas son tratadas con varias instalaciones que ya tienen cierto tiempo y que no aplican tecnologías actuales que se podrían aplicar para eliminar costes y pasos. Esto hace que el consumo de agua debida a un mal mantenimiento de la fábrica sea importante y sea un problema que hay que abordar.

### **-Gastos en los enjuagues y en las instalaciones de osmosis**

Hay diferentes tipos de aguas que se utilizan en la planta para las diferentes cubas y procesos del anodizado, buscando siempre la menor interferencia posible y evitando el uso directo del agua de red. Por este motivo se utiliza una estación de osmosis inversa que proporciona agua osmotizada que luego se vuelve a tratar para convertirla en agua desionizada. Este es el principal consumo de agua en toda la planta. Por ello estos procesos se describen con más detalle:

#### Agua Osmótizada

El concepto de agua osmotizada no puede entenderse sin el concepto de presión osmótica como es bien sabido, el término presión se emplea para nombrar una magnitud de raíz física que se define como la fuerza que ejerce un objeto o elemento respecto a la unidad de superficie. Por otro lado el adjetivo “Osmótico”, es un vocablo que refiere a aquello que pertenece o está relacionado a la ósmosis que es el nombre que recibe el fenómeno físico-químico que implica el paso de disolventes, aunque no de soluto, entre dos disoluciones que poseen distinta concentración y que están separadas por una membrana semipermeable. Se entiende por presión osmótica al nivel de presión que debe aplicarse sobre una solución cuando se necesita frenar el flujo de disolvente por medio de una membrana de características semipermeables.

La membrana semipermeable es aquella que permite que pasen las moléculas de disolvente pero impide el avance de las moléculas del soluto. Esto hace que las moléculas del disolvente se difundan y puedan pasar desde una solución con menor concentración a

otra con mayor concentración, cuando entre las distintas porciones de una misma disolución no hay un intercambio neto de soluto, se dice que existe una presión osmótica de equilibrio.

En general la presión osmótica depende directamente de la concentración de soluto y de la temperatura y la unidad que se utiliza para representar la presión osmótica, es la misma que para cualquier otra: el Pascal, la atm.

La osmosis inversa es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para la eliminación, moléculas, y partículas del agua. Para ello se genera una presión suficiente para vencer la presión osmótica. La ósmosis inversa puede eliminar muchos tipos de elementos suspendidos en el agua, incluyendo bacteria y es utilizada tanto en procesos industriales como para la producción de agua potable. El resultado es que las sustancias de la disolución son retenidas en el lado presurizado de la membrana y el solvente puro pasa al otro lado.

Esta técnica se basa en invertir el proceso normal de osmosis en cual, el solvente se mueve naturalmente de una área de baja concentración de la disolución (alto potencial hídrico), a través de una membrana, hacia un área de alta concentración de la disolución (bajo potencial hídrico). La ósmosis inversa es la aplicación de una presión externa para invertir el flujo natural del solvente de esta forma el agua conseguirá atravesar la membrana desde la una concentración más elevada hasta otra más diluida. El proceso es similar a otras aplicaciones de tecnología con membranas como la nano, micro o ultrafiltración. Sin embargo, hay una diferencia clave entre estos y la ósmosis inversa y el mecanismo de separación. El mecanismo se basa en la exclusión por tamaño, por lo que el proceso teóricamente puede siempre conseguir una eficacia perfecta independientemente de la presión y la concentración. La ósmosis inversa se basa en el fenómeno de difusión, haciendo que el proceso dependa de la presión, el índice de flujo, y otras condiciones.

La ósmosis inversa generalmente se utiliza para la obtención de agua potable a partir de agua de mar, extrayendo la sal y otros efluentes de las moléculas de agua. En este caso se utiliza depurar el agua de red y esta agua se utilizara posteriormente para la preparación de agua desionizada

### Agua Desionizada

El agua desionizada o agua desmineralizada es aquella a la que se le han extraído cationes como el sodio, el calcio, el hierro, el cobre y otros, y aniones tales como el carbonato, el fluoruro, el cloruro y otros, mediante un proceso de intercambio iónico. Esto significa que al agua se le han quitado todos los iones, excepto el ion hidrógeno ( $H^+$ ) y el  $OH^-$ . Es similar al agua destilada, y se conoce como agua miliQ.

El agua desionizada puede cambiar su pH con facilidad al ser almacenada, debido a que absorbe el  $CO_2$  atmosférico. Éste, al disolverse, forma ácido carbónico, de ahí el aumento de la acidez que suele presentar el agua lo que hace que sea muy agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable; por lo que, debe utilizarse plástico o vidrio para su almacenamiento y su manejo.

En la planta objetivo del estudio esta agua se obtiene a partir del agua osmotizada y es lo que se utiliza en la mayor parte de procesos de la planta, ya que es la que genera menor interferencia en los procesos químicos.

Se ha detectado al analizar los consumos de agua de la planta que estas instalaciones generan un gran consumo de agua, por lo que en el apartado siguiente se estudiara con detalle posibilidades para minimizar el consumo de agua en estas instalaciones.

Asimismo se ha detectado que en el uso de estas aguas por los enjuagues se produce un gran desperdicio de las mismas y una nula reutilización de ellas por lo que este será otro aspecto sobre el cual se propondrá actuar en este proyecto.



## **4. Propuestas para minimizar el consumo de agua**

En base a lo descrito en el apartado anterior se propone trabajar en los 3 principales problemas relacionados con el consumo de agua detectados en la planta objeto que son:

### **4.1 Mantenimiento**

Uno de los principales problemas que se han observado al analizar los consumos de agua es el envejecimiento de las infraestructuras de las conducciones hídricas. Esto es un problema que supone muchas veces paradas por roturas, consumos excesivos por grifos que no cierran bien, llaves de retención que por el uso sufren pérdidas, pérdidas por tuberías mal ensambladas, etc. Como ejemplo en el último año se han producido una media de incidencias relacionadas con las tuberías de agua de unas 3500 (entre tuberías mal ensambladas, roturas de tuberías, etc...) (Según los partes realizados por mantenimiento)

Para atajar estos problemas se propone como medida a largo plazo se la sustitución de las tuberías con mayor envejecimiento o con mayor exposición al sol, mayor carga de trabajo o las que se hayan reparado con gran asiduidad..... A su vez se recomienda ir sustituyendo en las paradas programadas las infraestructuras hídricas según un plan programado para cada línea, de esta manera podemos hacer un mantenimiento preventivo que evitara en gran medida las roturas y las paradas de la línea, así como fugas, que minimizarán los gastos extra que estas averías producen.

En concreto se recomienda hacer:

- Un plan de mantenimiento en las paradas semanales en las cuales se hará una inspección visual de la línea buscando roturas.
- Un plan de mantenimiento mensual donde se irán sustituyendo las tuberías identificándolas como prioritarias (por su antigüedad, reposiciones o carga de trabajo) haciendo una planificación sectorial para intentar evitar grandes pérdidas de agua y roturas que puedan parar la planta.

- Un plan anual en las paradas de la planta, para hacer las sustituciones de las tuberías de entrada de agua, las que llevan agua desde las plantas de purificación hasta dentro de la línea que son las más tiempo de parada necesitan, como los que se encuentran en la figura 10
- Se pedirá la colaboración de los trabajadores de la planta para que si detectan algún problema lo notifiquen inmediatamente a mantenimiento.



**Figura 10:** una muestra de la gran cantidad de tuberías que hay en la planta

## 4.2 Enjuagues

El proyecto del TFM se ha centrado en una sola de las tres líneas de las que dispone la planta, ya que es la más antigua, la más controlada con medidores y la que más consume por motivos de producción. Se ha detectado que los enjuagues son un foco de gasto de agua muy importante, ya que para obtener el producto en las condiciones de calidad que se desean y que exigen los clientes, la limpieza de las piezas juega un papel fundamental en este proceso. Para el enjuague se usa agua desionizada que constantemente se añade a la cuba de enjuague, ya que esta siempre tiene que estar llena y rebosa. El sobrante de agua va a la arqueta y de ahí va al pozo de aguas generales, donde se pasa a un homogeneizador donde se mezcla con todas las aguas generadas en la línea para su posterior tratamiento y su posterior vuelta a la arqueta sin ningún tipo de reutilización.

Esto se controla desde un ordenador (Scada), desde el que se gestiona el llenado de la cuba, conductividad del agua, consumo, etc. En la figura 11 se observa una foto de la pantalla de control donde se regulan tanto los caudales, las conductividades, temperaturas y demás factores que puedan afectar a la línea

Para entender bien los consumos de la línea se debe de explicar que las duchas de los enjuagues del anodizado al igual que el enjuague de lavado de los colores (37) se activan durante un periodo de tiempo al paso de cada carga, teniendo en cuenta los meses que más cargas se han producido se calcula una media de 175 cargas en un día (24h). El enjuague de pulido (10) se activa según la conductividad del enjuague, añadiendo agua desionizada para bajar la conductividad.

Para el cálculo del consumo se hicieron las siguientes estimaciones:

- Las duchas colocadas en los enjuagues del anodizado gastan 1L/agujero de salida, teniendo en cuenta que son 5 pivotes por tubería y hay 4 tuberías y que se activan con las cargas que pasan, se calcula que pasan 175 cargas de media en un día consumen una media de 7000 L/día

- Las duchas colocadas en el enjuague 48 del sellado gastan 11 por agujero y teniendo en cuenta que hay 5 por tubería y hay solo dos tuberías hay un gasto medio de 3500 L/día
- El enjuague 49 después del sellado está regulado con un consumo de 600 L/h y ello nos da un gasto de 14400 L/día
- El enjuague 10 enjuague de pulido está regulado para ponerse en funcionamiento cuando sube la conductividad, pero midiendo varios días el consumo nos da un gasto medio de 600 l/h con lo cual al día gasta 7200 L/día
- El enjuague 37 que se encuentra detrás de los colores es muy importante para evitar la contaminación de los demás enjuagues así que cada carga con color que se manda pasa por ese enjuague y se abre 2 min a 800l/h con una media de 175 cargas con color en 24h se consume un total de 9600 L/día
- El enjuague 40 colocado antes de los sellados está regulado siempre y en marcha a 400l/h con lo cual se consume 14400 L/día

Con todo esto nos da en total un gasto de 60900 L/día de consumo de agua



#### **Figura 11 Pantalla de el ordenador central o Scada**

La propuesta es aprovechar el agua que se pierde diariamente y volverla a reintroducir en la línea en ciertos enjuagues en las que no pueda producir ninguna interferencia.

Como no cualquier enjuague valdría para reciclar su agua, se escogió el enjuague del pre-sellado (40), ya que es el paso entre el enjuague del color y la entrada al sellado y además de contener el agua más limpia porque está en continua regeneración es también la que mayor consumo de agua.

La cuba 40 que en las figuras 12 y 13 se puede apreciar que la cuba del enjuague del pre-sellado (40) que es una cuba de 1 m de ancho, por 1.5m de alto y 1.5 de largo, donde hay una tubería de entrada de agua de 1.4m para poder mover el agua desde abajo hasta arriba, así se consigue que el enjuague este siempre limpio al remover el agua. En la parte contraria de la entrada de agua y siempre en la parte alta, hay un rebosadero de la cuba con una anchura de 0.5m y una altura de 0.2 m, con este rebosadero se va perdiendo el agua sobrante, que se observa en la figura 12

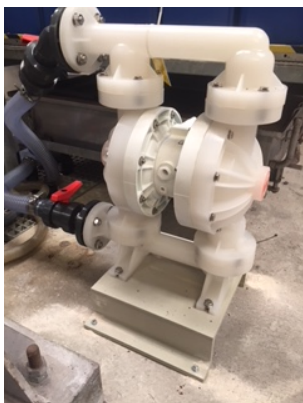


**Figura 12: imágenes del rebosadero de la cuba de presellado (40)**



**Figuras 13: se puede observar la cuba de pre sellado y el caudalimetro**

La propuesta es recoger el agua sobrante, sin verterla al alcantarillado y almacenarla en un tanque para su uso posterior. Utilizando un sistema de bombas que se observan en la figura 14 y electroválvulas.



**Figura 14: imágenes de una bomba capaz de recoger el agua del rebosadero y que impulsaría al tanque**

Lo propuesto es que a través de un sistema de recogida de aguas del rebosadero sale una tubería que conecta con una bomba que succiona el sobrante de la cuba de pre-sellado y la impulsa directamente a un cilindro de retención donde se puede acumular esa agua para luego distribuirla a los enjuagues de colores y a las duchas de enjuague de anodizado o las cubas de post-sellado. Todas estas cubas estarán reguladas con una electroválvula activada por aire que serán abiertas y cerradas por el ordenador central (Scada) de forma automática y programada. Regulando los caudales del enjuague del pre-sellado se pueden mantener varios enjuagues de la línea organizando con el programador los movimientos de la línea. De esta manera conseguiremos volver a reutilizar el sobrante de agua y además conseguir un ahorro importante en el consumo de agua desionizada.

En la figura 15 describimos el cilindro de retención, que es donde almacenaremos el agua del sobrante y desde el que abasteceremos el resto de enjuagues de la línea, para ello hemos diseñado un cilindro con una capacidad bastante amplia que nos pueda abastecer en caso de algún fallo en la línea.



**Figura 15: imágenes del posible silo de almacenamiento**

Se calcula que usando el rebosadero del enjuague del pre sellado (40) teniendo en cuenta que se mantiene a un caudal constante y no deja de funcionar, podemos abastecer el resto de enjuagues con agua pura y limpia. Además de que el tanque podría servir también para cuando se produzcan cortes de agua permitiéndonos trabajar durante unas 2h sin tener que parar la línea, ya que ese tanque llegaría a almacenar más agua de la que consume la línea.



### 4.3 Equipo de osmosis y deionización

Como ya se ha comentado anteriormente para la realización de un anodizado de calidad acorde a estándares de calidad y a las exigencias del cliente, se utilizan varios tipos de agua para evitar interferencias. Como se ha descrito anteriormente en el proceso se usa agua desionizada que se genera a partir de agua osmotizada

El equipo de osmosis, que se muestra en las figuras 16 y 17, de la planta es un modelo antiguo que tiene muchas restricciones ya que a la entrada del agua se le debe de hacer un pre-tratamiento con ácido clorhídrico para que las membranas del tratamiento no se atasquen ni puedan sufrir desperfectos. Después se le aplica una presión muy elevada que consigue que se realice la osmosis inversa, este procedimiento genera una gran cantidad de agua de rechazo que no puede ser utilizada en la osmosis ni puede ser devuelta a la arqueta por su elevado pH, así que se debe de enviar al homogeneizador de la planta para ser tratada en el físico-químico, lo que provoca un importante consumo de productos químicos con el consiguiente costes económicos y medioambiental.



**Figuras 16 y 17 equipo de osmosis inversa que hay en la planta actualmente y los filtros que utiliza**

Se ha realizado un arduo trabajo de investigación para poder intentar dar una solución a este problema y finalmente se ha propuesto la sustitución, el equipo de osmosis inversa y el de desionización por un tratamiento de depuración de agua red usando zeolitas como adsorbentes e intercambiador iónico.

Se sabe desde hace tiempo que las zeolitas del tipo clinoptilolita, permiten llevar a cabo tratamientos de aguas residuales en una forma mucho más eficiente y económica que otros materiales conocidos para estos efectos. Así se ha descubierto que el uso de zeolitas en el tratamiento de depuración biológica permite incrementar la actividad biológica (se reduce el número de bacterias ccliformes y mesofilicas); mejora la eficiencia hidráulica

(disminuye en 1.5-dos veces la caída de la presión); aumenta la utilización de los nutrientes y del oxígeno; aumenta la estabilidad de los lodos, gracias a la formación de flóculos alrededor de las partículas neofíticas, en tanto se aceleran sustancialmente los procesos de degradación biológica y desinfección. Los lodos generados en este proceso pueden ser fácilmente lavados; y se pueden obtener lodos que contengan de 2-7% más de sólidos que cuando no se usan zeolitas, reduciéndose el volumen de lodo disponible de 17-35%.

Cabe esperar que si se producen mejoras al usar zeolitas en el tratamiento de aguas residuales, esta también ocurrirá en el tratamiento del agua de red

Adicionando adecuadamente zeolitas naturales en sus diversas modificaciones catiónicas en los sistemas de filtración, se pueden alcanzar niveles de purificación de aguas bastante notables, y lograr no sólo la remisión de fosfatos, sulfatos, y cloruros; sino también, la eliminación de otras sustancias presentes en el agua de red.

Entre las ventajas que ofrecen las zeolitas, se pueden señalar las siguientes:

- Son de fácil aplicación.
- No necesitan condiciones especiales para la construcción de los sistemas de tratamientos de agua;
- No se produce un uso de reactores químicos como la osmosis que se usa en la planta de osmosis y en un, que posteriormente se convierte en un obstáculo para la reutilización de agua.

Por ello en este TFM se propone sustituir la planta de osmosis/ desionización por un sistema que use zeolitas naturales. Para calcular la cantidad de zeolitas necesarias se usará el concepto de dureza.

La dureza del agua depende de la presencia en ella de sales que contienen metales bivalentes, especialmente magnesio (Mg) y calcio (Ca), y puede ser temporal o permanente. La primera está relacionada a la presencia en las aguas de bicarbonato que

se descomponen bajo la acción de la temperatura, formando carbonatos, oxicarbonatos, e hidróxidos insolubles. La suma de las durezas temporal y permanente, da como resultado la dureza total de las aguas. La dureza del Mg representa aproximadamente una tercera parte de la dureza total, en tanto que las otras dos terceras partes, corresponden a la dureza del  $\text{Ca}^{2+}$ . Se usa este parámetro pues este es el principal contaminante que tiene el agua de red. El límite máximo de dureza que se recomienda para suavizar el agua de manera económica con zeolitas, es de 500 ppm.

Las zeolitas naturales tienen capacidad para eliminar de 7,000 a 12,000 gramos de dureza por metro cúbico, mientras a las zeolitas sintéticas, son incluso capaces de eliminar de 20,000 a 60,000 gramos de dureza por metro cúbico. Sin embargo, su costo es demasiado elevado en comparación con las naturales y por ello se desechó su uso en este proyecto.

Las zeolitas que se usan deben sufrir primero un proceso de activación que se realiza en reactores químicos, bajo condiciones controladas de temperatura, presión, y tiempo de reacción, se propone en continuo al combinar 2 reactores de tal manera que al saturarse el primero, el segundo entre en operación, mientras tanto, en primero se realiza su ciclo de retro lavado y regeneración, a fin de quedar listo para operar nuevamente cuando el segundo alcance su nivel de saturación. Este esquema se repite alternadamente. Haciendo el proceso continuo en todo momento

Para el diseño de la instalación se estima que la capacidad de tratamiento de las zeolitas activadas es de 1.33 L/hora/Kg, por lo que cada unidad está empacada con 1.5 toneladas de mineral. El peso específico aparente es de 1.7 toneladas/m, por lo que su volumen asciende a 0.88 m, El factor de carga es de un poco más del 80%, ya que el espacio restante es requerido para instalar los soportes, la tubería, y los accesorios de alimentación y descarga de la corriente líquida.

Por otro lado, un adecuado patrón de distribución del líquido a través de toda el área de sección transversal de la unidad, exige de una relación no menor de 3 entre la longitud y el diámetro de la unidad, con el objeto de evitar las canalizaciones del flujo en la cama de zeolitas.

Se buscaran siempre sistemas comerciales que se adapten a nuestras necesidades aunque tengamos que poner varias líneas paralelas

La materia prima estará constituida por zeolitas crudas de tipo clinoptilolita, chabacita, y mordenita, principalmente; trituradas y clasificadas a un tamaño de partícula comprendido en un rango de 850 a 425 micras. Los proveedores son nacionales y extranjeros. El mineral se recibe en el almacén de materia prima y de ahí se alimenta directamente a los reactores.

En esta instalación será necesario construir un contenedor de almacenamiento de zeolitas. Para ello se propone lo siguiente

- El material de construcción de la unidad es de acero inoxidable tipo 301, o poly-glass, asegurando alta calidad del producto, debido a que la presión de operación del sistema es baja (menor de Kg/cm<sup>2</sup>).
- El espesor de la placa recomendable, es 0.164 pulgadas,
- Con un peso unitario de 6.875 lb/pie, el acabado del producto será (pulido y abrigantado).

Se espera con esto conseguir una calidad de agua similar a la del agua miliQ que se obtiene con los tratamientos de osmosis inversa y desionizacion.

Las ventajas que presenta este tratamiento frente a las antiguas es que:

- La instalación propuesta ocupa un volumen inferior al 50% de las instalaciones de osmosis inversa y desionizacion que están actualmente en funcionamiento
- El costo de las zeolitas es menor al de las resinas sintéticas y/o carbón activado.
- Su polifuncionalidad.
- El afluente que se obtiene es de mayor calidad.
- Su resistencia física es similar a la de la arena sílica, por lo que su vida útil es larga la combinación de los factores mencionados, origina que el costo de purificación por litro sea bajo.
- Los gastos de construcción, operación, y mantenimiento, son bajos.



- Requiere de equipos sencillos para su operación y mantenimiento, de origen nacional y personal mínimamente capacitado
- Utiliza menos agua para su retro lavado. Tiene mayor porosidad en comparación con las arenas filtrantes.
- Los tiempos de operación son más prolongados entre las etapas de regeneración y reposición de los intercambiadores iónicos naturales modificados La regeneración se hace igual -que en las resinas sintéticas
- No se producen excesos de lodos residuales con compuestos químicos peligrosos que puedan significar dificultades para su carga, acarreo, y depósito final, ya que fácilmente podrán removerse para su uso posterior.

Se calcula que la actual osmosis inversa utilizada en la fábrica genera un gasto de 92.261.700 litros diarios, de los cuales realmente se aprovechan el 50%, (figura 17) con lo cual entre aguas residuales y aguas de limpieza se genera una perdida diaria de 46.130.850 litros que van directamente a el homogeneizador de la depuradora, esto además de una perdida muy importante de agua genera una gran pérdida de productos químicos, ya que esas aguas son muy difíciles de tratar.



**Figura 17 caudalímetros de la osmosis inversa de la planta en funcionamiento**

Las pérdidas que genera esta osmosis inversa a día de hoy es de 1.383.925.500 litros mensuales y al año genera una pérdida de agua de 16.607.106.000 litros de agua, que se pierden directamente sin ser utilizada en la empresa. Por ello se sustituirá por el sistema de depuración con zeolitas que supondrá un ahorro sustancial en el consumo de agua y en la generación de aguas residuales.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con los objetivos de este proyecto se han identificado los puntos que generan mayores problemas relacionados con el consumo de agua de la planta. Estos son mantenimiento, el consumo de los enjuagues y las instalaciones de agua osmotizada y desionizada.

Teniendo en cuenta el plan de mantenimiento que se ha propuesto, las reparaciones que se han realizado durante el último año, se calcula que el ahorro que se consigue al tener un mantenimiento eficaz y preventivo, es de un 2% de agua. Esto implica que tomando el dato de consumo medio anual 57.527.000 litros, el ahorro que se consigue será de **1.150.540 litros** que ahorraría la empresa lo que con un precio medio de 0.85 €/m<sup>3</sup> obtenemos que el ahorro económico cercano a 977,88 €/año

Con la instalación que se propone para dar solución a la reutilización de aguas mediante un sistema de tuberías, que estará conectado a unas bombas y controlado por el ordenador central (scada), en la actualidad el enjuague 40 tiene un caudal de 400 L/h, con esta instalación deberíamos poner el caudal a 1000 L/h para poder abastecer a toda la línea. Esto supondría un aumento de consumo en este enjuague, pero evitando el resto de consumos de la línea lo que se calcula que supondría un ahorro mensual de 1.107.000 litros mensuales, con lo cual al año ahorraremos un total de **13.284.000 litros anuales**, además de cubrir de sobra todos los consumos del agua y manteniendo de esta manera la calidad que se nos exige. Con un precio medio de 0.849935 €/m<sup>3</sup> obtenemos que el ahorro económico cercano a 11290,53 €/año

En el último punto de este proyecto cambiando la osmosis antigua por una osmosis de zeolitas, podemos conseguir el mayor ahorro de agua que se pueda ver, ya que la pérdida generada en ese aspecto es de 8.303.553 litros anuales, ya que como hemos comentado la actual tiene un rendimiento del 50% y con la nueva osmosis no tendríamos ninguna pérdida, además de que sacaríamos un agua más pura sin tener que pasarla por un segundo tratamiento para conseguir agua desionizada, por que con este tratamiento como hemos dicho anteriormente conseguimos los mismos resultados. Con un precio medio de 0.849935 €/m<sup>3</sup> obtenemos que el ahorro económico cercano a 11.290,53 €/año

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos decir que en conclusión este proyecto ha conseguido un ahorro en el consumo de aguas de 22738093 litros anuales con lo cual obtendremos un ahorro económico 26383,37€año