

Resumen

Para mejorar la sostenibilidad de las empresas, y su compromiso medioambiental, desarrollamos una tecnología de concentración para reducir el volumen de las aguas residuales industriales, con un bajo coste energético, y recuperar el agua en aplicaciones dispares. Ventajas: Recuperación del agua, mantenimiento mínimo sin reactivos, compatibilidad con cualquier tipo de aguas residuales. Industrias Titán representa un ejemplo en el reciclaje de aguas mediante evaporación al vacío, resolviendo un problema doble: La conductividad de las aguas procedentes del descalcificador y la DQO de las procedentes del proceso de pintura.

Palabras clave:

Evaporación al vacío, depuración de aguas, vertido cero, normativa medioambiental, reciclaje de agua, gestores de residuos, conductividad, concentración crítica

Abstract***Vacuum evaporation, a technology for re-using water and reducing waste***

In order to improve companies sustainability and environmental commitment, we have developed a concentration technology for reducing the volume of industrial waste waters at low energy cost and recovering the water for various applications. The advantages of this system are recovery of the water, minimum maintenance without reagents and compactness with any type of waste water. Industrias Titán represents an example of the recycling of water by means of vacuum evaporation to solve a double problem: the conductivity of the water from the decalcifier and the COD of the water from the painting process.

Keywords:

Vacuum evaporation, water treatment, zero dumping, environmental laws, water recycling, waste managers, conductivity, critical concentration.

La evaporación al vacío, una tecnología para la reducción de residuos y reutilización del agua

Por: **Oriol Casas**, director técnico (*); **Elías Sabaté**, director de proyectos (*); **Francesc Casas**, director general (*); **José López**, director industrial(**)

(*) C&G Ibérica, Depuración Industrial

C/Marques de Sentmenat, 89, local 1
08029 Barcelona
Tel.: 934 193 222
Fax: 934 199 623
E-mail: surfaquim@surfaquim.com

() Industrias Titán****1. Introducción**

Mediante la evaporación al vacío, y gracias a una prolongada experiencia en depuración de aguas industriales, se han conseguido solucionar problemáticas históricas que implicaban a distintos sectores industriales que hasta el día de hoy, se habían encasillado como casos sin una solución técnico-económica viable. Las opciones más habituales por las que optaban las empresas en estos casos, con el fin de cumplir la normativa medioambiental, eran en general las dos siguientes: separar el residuo acuoso problema y gestionarlo mediante un gestor de residuos autorizado externo a la empresa, o bien mezclar dichas aguas con el resto de aguas residuales provenientes de otros procesos distintos y obtener un vertido general dentro de los parámetros de vertido autorizados.

Desde nuestro punto de vista ambas opciones son un error cuando hablamos de volúmenes de residuo considerables (min. 100 l/día aprox.)

La primera opción debido a que los costes de gestión y transporte son muy elevados y las empresas deben mejorar su sostenibilidad eliminándolos o como mínimo disminuyéndolos al máximo, de manera que los costes de gestión no repercutan en el producto y la empresa pueda seguir siendo competitiva dentro de su sector.

La segunda opción suele dar problemas graves de vertido puntual, siendo además una práctica prohibida por la legislación de la U.E. y española, ya que produce un mayor aporte de polución en el medio hídrico receptor y por obligar a las empresas a consumir mucha más agua de la necesaria, hecho que incluso puede limitar la propia

gestión productiva en periodos de sequía, fenómeno un tanto habitual en nuestra climatología.

Este hecho sitúa en el punto de mira a muchas empresas de nuestro país que realizan importantes consumos de agua, generando en algunos casos vertidos fuera de normativa que no les permiten legalizar el propio vertido o la actividad de la empresa, e incluso se ven afectadas por sanciones económicas cada vez más duras por parte de la administración competente.

Como nos comenta Oriol Casas, Gerente de C&G Ibérica, dentro de este puzzle encaja perfectamente la evaporación al vacío, que consiste en un proceso de minimización que a su vez permite el reciclaje del agua evaporada y su reutilización en muy distintas aplicaciones. Por ello la evaporación al vacío se convierte en un pieza clave del esquema de depuración de muchas empresas. Los sectores en los cuales la función del evaporador al vacío es totalmente imprescindible para una solución adecuada, son aquellos que generan aguas residuales con alta salinidad como en la industria alimentaria (salmueras), galvánicos, fabricantes de productos químicos de elevada salinidad, y empresas con instalaciones de columnas descalcificadoras con un rechazo de cloruro sódico a elevadas concentraciones, o bien empresas pertenecientes a sectores como el sanitario, fabricantes de pinturas, mecanizado y automovilístico, fabricantes de productos orgánico, artes graficas, que generan residuos con niveles altísimos de DQO no volátil, que con el evaporador se pueden reducir a la mínima expresión.

En particular, ya se han realizado vertidos cero para evitar la gestión directa de residuos, por ejemplo en el fabricante de pinturas Industrias Titán, cuyos resultados detallaremos más adelante. En el caso de Titán se ha instalado un evaporador v-nt 10.000 que es capaz de tratar alrededor de 10.000 litros/día de residuo procedente de la fabricación

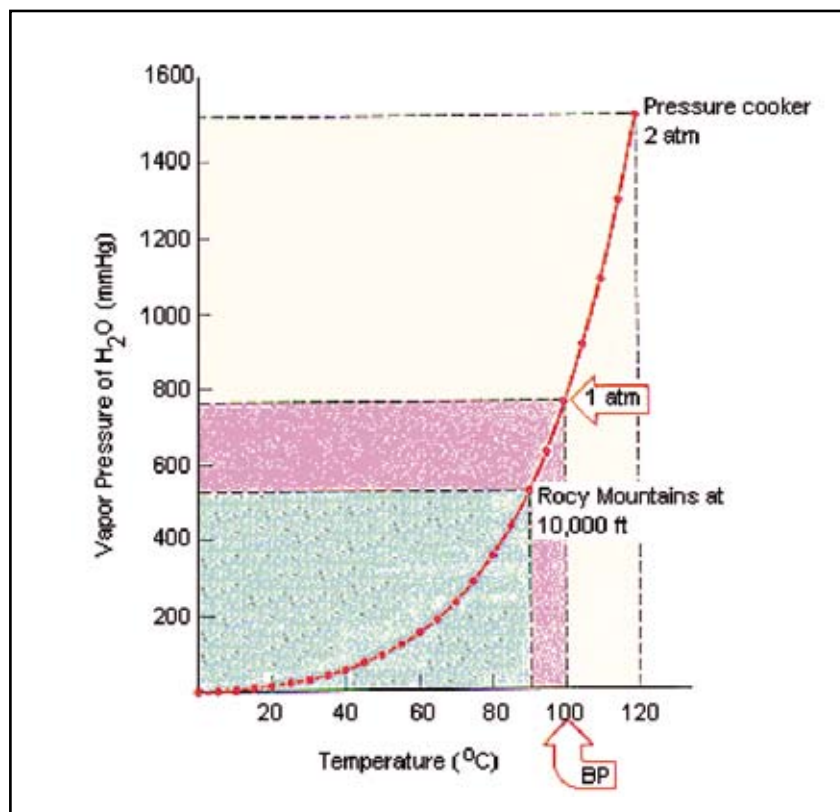


Figura 1. Punto de ebullición del agua en función de la presión de vapor.

de pinturas al agua y de la regeneración de las columnas descalcificadoras.

En general podemos decir que recurriremos al evaporador para reducir el volumen de aguas residuales en todos aquellos casos en que los métodos de depuración convencional no den un óptimo resultado.

2. Conceptos fundamentales

La evaporación al vacío es un sistema de concentración de disoluciones acuosas procedentes de diferentes procesos industriales. Los evaporadores suelen denominarse también concentradores ya que la función principal de la máquina es concentrar un residuo hasta prácticamente el punto de saturación incluso en algunos casos llegar hasta un residuo seco (5% de agua).

Incluso podemos definir la evaporación como un método de minimización del residuo, y no de depuración. Generalmente la reducción del residuo contaminante

suele estar entre un 90-95%, con el correspondiente ahorro económico.

El principal motivo por el cual la máquina representa un avance tecnológico importante es que aplicando la tecnología de las bombas de vacío travaini, se realiza un vacío de 33 mbares en toda la instalación y eso permite hervir el agua residual a una temperatura aproximada de 31 °C. El hecho de hervir el agua residual a baja temperatura no solamente permite evaporar sin un coste energético muy elevado sino que además el agua después condensada sale con una calidad inmejorable y en la mayor parte de los casos es reutilizable en muchas aplicaciones que más adelante comentaremos con detalle.

En la Figura 1 observamos como la temperatura de ebullición del agua va disminuyendo a medida que aumentamos la condición de vacío (descendiendo la presión en caldera). En nuestra condición de 33 mbares el agua pura herviría sobre

25°C, y cuando tenemos cierta carga orgánica o inorgánica en disolución la temperatura de ebullición oscila entre 28-31°C.

3. Descripción del funcionamiento de un evaporador al vacío

Para no confundirnos es realmente útil separar en dos circuitos la máquina: circuito del agua y circuito de frío. Ambos trabajan independientes pero desarrollan sus ciclos a la vez.

3.1. Circuito del agua

Cuando ponemos en marcha el evaporador inmediatamente la bomba de vacío (P1) empieza a trabajar y la electroválvula (EV1) se abre dejando paso al residuo líquido.

Cuando en la caldera tenemos un nivel de vacío suficiente la manguera comienza a succionar el agua residual, que pasa por un prefiltro de seguridad de 50 micras. Recalcamos que este filtro es solo de seguridad, esto significa que los líquidos tienen que venir ya pre-tratados si tienen una importante cantidad de sólidos, y este deberá ser apartado o bien mediante: filtración, centrifuga, decantación, etc.

Una vez el agua entra en la caldera supera un primer nivel mínimo y llega a un segundo nivel de trabajo, y en ese momento se cierra EV1 para mantener el nivel y se pone en marcha el compresor C1 (con un retardo programado, 3 min. por ejemplo) para comenzar a calentar la disolución. El calor lo transmite un serpentín de acero Inox. En forma de espiral, que debe quedar cubierto por completo cuando el agua residual llega al nivel de trabajo.

Cuando las aguas que cubren el serpentín llegan a una temperatura de 31°C (aprox.), en unas condiciones de vacío alcanzadas de 33 mbares, se empieza a producir la evaporación. Los vapores generados atraviesan el interior de la caldera en dirección vertical pasando por una chimenea que contiene pequeños cuerpos rompe-gotas que

evitan el paso de contaminaciones espontáneas. Todo el vapor acaba llegando al serpentín superior donde se encuentra con el serpentín frío 5-10°C (que contiene freón a baja presión) Al haber este intercambio de calor todo el vapor se condensa y cae por gravedad a una bandeja que acaba rebosando en un barril de acumulación de destilado.

Este barril de acumulación tiene un sistema de vaciado automático mediante un equipo de niveles conectados a una bomba centrífuga.

En todo momento el concentrado que cubre el serpentín de la caldera se mantiene en agitación mediante una bomba que toma el líquido del fondo de la caldera y lo envía a un nivel medio. Esta misma bomba será la encargada de enviar el concentrado a un depósito para que un gestor de residuos autorizado lo retire.

3.2. Circuito de frío

El compresor (C1) comprime el fluido frigorífico. A causa de la compresión éste se calienta alcanzando las condiciones de vapor sobrecalentado, con una temperatura de 75-80°C y una presión de 19-20 bares (0.19-0.20 MPa). Este refrigerante, antes de ser enviado al intercambiador de calor (E1) situado en la cámara de ebullición, pasa por el intercambiador auxiliar (DS), que mediante aire regula su temperatura de modo que evitamos ebulliciones violentas, y la posterior contaminación del destilado.

Ahora sí, en condiciones de vapor saturado y a una presión de 19-20 bares (0.19-0.20 MPa), el refrigerante puede llegar al intercambiador puesto en la cámara de ebullición (E1). Aquí se realiza el contacto, del serpentín E1 con la solución a tratar, la cual recibe el calor del refrigerante.

Se consigue así el primer objetivo de la destilación: la solución pasa de fase líquida a fase vapor.

Cuando el refrigerador sale del intercambiador de calor E1, pasa

por el intercambiador principal (SL), éste lo enfría con aire dejándolo en condiciones de líquido saturado a alta presión.

Antes de entrar en el intercambiador de calor puesto en la cámara de condensación (E2), el fluido frigorífico se expande a través de una válvula termostática (V1).

El vapor de agua que se ha evaporado en la cámara de ebullición, avanza hacia la zona más fría, la cámara de condensación. Aquí cede su calor al refrigerante frío que ha atravesado la válvula termostática. Este cambio térmico produce por un lado la recondensación del vapor acuoso presente, y del otro la evaporación del refrigerante que, bajo P (6 bares) llega de nuevo al compresor frigorífico (C1).

El sistema se mantiene bajo vacío por una adecuada bomba (P1).

El refrigerante utilizado en este circuito frigorífico es el R407C, uno de los nuevos HFC no nocivos para el entorno

3.3. Datos particulares sobre el Refrigerante R407C

El Refrigerante R407C normalmente se utiliza como líquido refrigerante en aplicaciones a bajas temperaturas (industriales y comerciales) y en el acondicionamiento del aire.

Este también se utiliza, en mezcla con otros tipos de refrigerantes, como agente espandente en las espumas.

3.4. Características químico-físicas del refrigerante R407C

A temperatura y a presión normal, el refrigerante R407C es una mezcla ternaria de moléculas puras de HFC. Además el producto, en acuerdo con los estándares de seguridad del ASHRAE, es no tóxico y no inflamable.

En la **Tabla 1** se enumeran algunas características del refrigerante.

Para entender con claridad el proceso de evaporación represen-

tamos en la **Figura 2** un esquema de la bomba de calor que se encarga de calentar por un lado y condensar por el otro, y de los demás elementos citados que son imprescindibles para el correcto desarrollo del proceso. En la **Figura 3** vemos un evaporador real y sus elementos principales indicados.

4. Ventajas de la evaporación al vacío

Oriol Casas nos resume las numerosas ventajas. La más destacable es, sin duda, que el agua evaporada en un altísimo porcentaje de los casos se puede reutilizar en diferentes usos como: industrial (inicio de proceso), sanitario, riego, lavado de suelos, en sustitución de agua desmineralizada o osmotizada, etc. Todo ello gracias a la gran calidad de agua que obtendremos de la evaporación, que suele rondar una conductividad inferior a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una DQO inferior a 1000 ppm (en ausencia de volátiles), un pH entre 6-9, y ausencia total de sólidos en suspensión, metales pesados, dureza y turbidez. En el caso de que el usuario decida reciclar el agua no sólo obtiene un ahorro económico proporcional a la productividad de la máquina sino que mejora la sostenibilidad de la empresa y erradica la generación de vertido industrial y todo lo que ello comporta.

Otras ventajas que nos ofrece esta tecnología son:

- Total automatización y mantenimiento mínimo
- Ausencia de reactivos (a excepción del antiespumante en algunos casos),
- Compacidad, robustez y tamaño reducido,
- Muy práctico para tratar bajas cantidades de agua residual (hasta 100 l/día)
- Representa un ahorro energético muy importante con respecto a la evaporación atmosférica.

A pesar de que la máquina está realizada completamente en ace-

TABLA 1		
Propiedad	Unidad	R407C
Componentes		HFC-32, 125, 134A
Composición	% en peso	23 / 25 / 52
Peso Molecular	g/mol	86.2
Temperatura de gorgoteo (a 1.013 bares)	°C	-43.4
Temperatura de fluencia (a 1.013 bares)	°C	-265.95
Densidad del líquido saturado (a 25°C)	Kg/dm3	1.139
Densidad del vapor saturado (a 1.013 bares)	Kg/dm3	4.56
Temperatura crítica	°C	86.2
Presión crítica	bar	46.2
Volumen específico crítico	kg/dm3	0.511
Calor latente de evaporación (a 1.013 bares)	kJ/kg	249.9
Calor específico (a 25°C):		
líquido	kJ/kg.K	1.60
vapor (a 1.013 bares)	kJ/kg.K	0.83
Límites de inflamabilidad en aire		ninguno

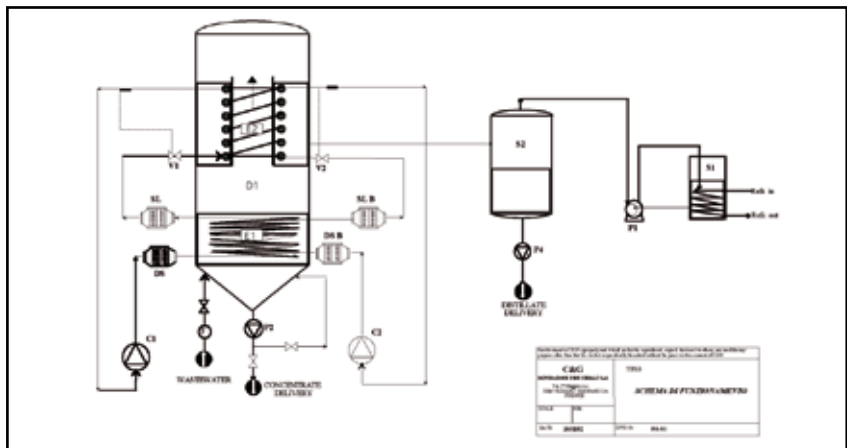


Figura 2. Esquema de un evaporador al vacío de bomba de calor.

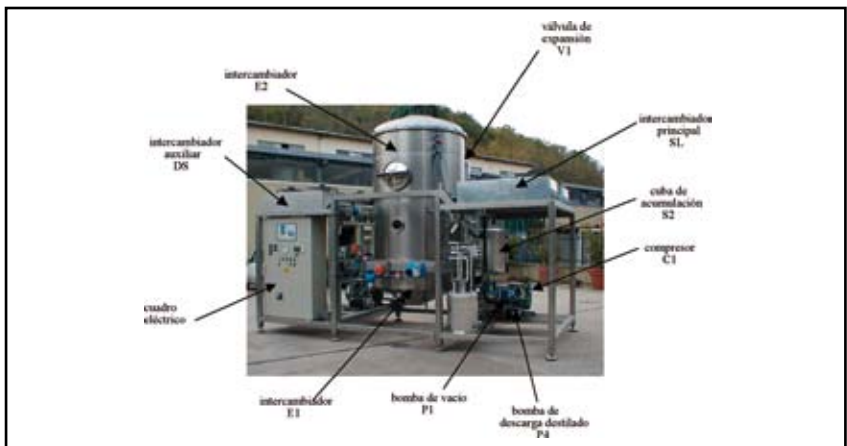


Figura 3. Foto de un evaporador V-NT 12.000.

TABLA 2

	Reactivos	Limitación en calidad del agua de entrada	Capacidad
Evaporación al vacío	Solo antiespumante	Prácticamente ninguna	Media
Dep. fisico-química	Si	DQO y CONDUCTIVIDADES elevadas	Muy alta
Dep. biológica	Si	CONDUCTIVIDADES elevadas y DQO muy elevadas	Muy alta
Ultrafiltración	Anti-incrustantes	CONDUCTIVIDADES elevadas y DQO muy elevada	Alta
Osmosis inversa	Anti-incrustantes	No admite ni dureza elevada ni DQO	Alta
Intercambio iónico	Regenerantes	No admite cantidades elevadas de sales	Muy alta

TABLA 3

	Costes de explotación	Inversión inicial	Rechazo medio	Reaprovechamiento del agua
Evaporación al vacío	Medio	Medio	5 - 10% Concentrado	Siempre
Dep. fisico-química	Medio	Medio	2% Lodos	Nunca
Dep. biológica	Medio	Medio	2% Lodos	Nunca
Ultrafiltración	Bajo	Medio	15 - 20% Concentrado	Siempre
Osmosis inversa	Bajo	Medio	25 - 35% Concentrado	Siempre
Intercambio iónico	Muy Bajo	Bajo	3 - 5% Regenerantes	Siempre

ro inox 316L, incluidos los dos serpentines de intercambio, incluso teniendo en cuenta los costes energéticos (150-180 W/l evaporado) y los costes de gestión del concentrado, entendemos que la máquina es rápidamente amortizable ya que los costes de gestión se pueden minimizar hasta un 80% (dependiendo de la capacidad de la máquina y las necesidades de la empresa).

En las siguientes tablas se puede ver una comparativa de los distintos métodos de depuración consolidados en el mercado, ver **Tablas 2 y 3**.

5. El vertido de los fabricantes de pintura. Industrias Titan

5.1. Problemática planteada y estudio previo

Según nos indica Elías Sabaté, Director de Proyectos de C&G Ibérica, la problemática medioambiental que se planteó en las instalaciones de la empresa Industrias Titán puede tomarse como modelo de cualquier fabricante de pinturas al agua, aunque a gran escala si tenemos en cuenta que Titán es el primer productor de pintura a nivel nacional.

Las aguas de lavado de reactores arrastran cantidades de producto muy importantes y el análisis químico nos muestra unos niveles de DQO altísimos, muy por encima de la exigencia de la administración. Con esta agua ya se realizaba con anterioridad al proyecto un mini proceso de depuración fisicoquímico que se encargaba de flocular, decantar y filtrar esta agua dando como resultado unas aguas floculadas que se llevaban al gestor autorizado cuando se llegaba al límite de floculación (mediante purgas)

Aún estando floculadas las aguas continúan siendo muy contaminantes ya que tenemos materia orgánica que continua siendo soluble y por tanto el análisis químico no tiene una mejoría suficiente.

Además, Titán necesita agua descalcificada para realizar su producción. Debido a la altísima dureza del agua de la zona (Llobregat) se instaló un descalcificador que frecuentemente se ha de regenerar generando unas aguas con unas concentraciones de cloruro sódico de unos 50-70 g/l y con unas conductividades de 60.000 aprox.

Esto complicaba todavía más la situación ya que el cóctel generado rondaba los 30.000 µS/cm y además de una sales como el cloruro de sodio, completamente insolubles. Este último dato ya descartaba cualquier tipo de tratamiento que no fuera la evaporación al vacío y de inmediato nos pusimos a trabajar en ello.

Después de realizar distintos ensayos en nuestro laboratorio y en planta piloto se obtuvieron los resultados que detallaremos a continuación.

5.2. Características del evaporador v-nt 10.000

5.2.1. Datos Técnicos

En la **Tabla 4** se relacionan las características técnicas del evaporador instalado en Titán.

5.2.2. Materiales

Relación de los diversos materiales instalados en la **Tabla 5**.

*Aun estando
floculadas
las aguas
continúan siendo
muy contaminantes*

En este esquema podemos ver como llegan tres tipos de aguas distintas a un depósito único de acumulación donde las aguas se homogenizan. Las tres providencias son: depuradora físico-química, aguas de reacción y regeneración descalcificador.

Una vez conseguimos unas aguas homogéneas, se hace llegar mediante bombeo las aguas a un depósito intermedio de 1000 l de donde succiona el evaporador. Éste no necesita bombas intermedias ya que el propio vacío succiona del depósito y comienza el proceso.

Una vez acabado el ciclo de trabajo se vacía el concentrado (a una densidad de 1,24 kg/l) en otro depósito de 1000 l que se llevará a un gestor autorizado.

El agua que en continuo va evaporando la máquina se bombea automáticamente hasta los tanques de alimentación de agua de las torres de refrigeración.

5.3. Resultados de la aplicación de la evaporación

Este proyecto, ver **Tabla 6**, con la incorporación del evaporador al vacío C&G Ibérica, ha tenido una amortización entre 1,5 y 1,7 años.

Como colofón final, el agua evaporada se envía a un tanque como indica la **Figura 4**, donde se acumulan aguas que alimentan las torres de refrigeración. Esto convierte al proyecto en más sostenible, con una reutilización de aguas de 9.000 l/día de media.

5.4. Calidad de las aguas

Lógicamente para poder ser aprovechada el agua evaporada tenía que

Tipo de Evaporador	C&G VNT 10.000
Principio de funcionamiento	A bomba de calor
Agua evaporada, en l/h	416.6
Agua evaporada, l/24h	10.000
Intercambiador por calefacción	A serpentín inmerso
Dimensiones de obstruido approx. (mm)	4800x 2100 x 3700H
Peso, en Kg, ca.	4000
Tensión de alimentación, estándar (V)	400 – 3F
Potencia instalada, total en KW, ca.	115
Potencia absorbida, en KW-h, ca.	104
Consumo de energía, en VATIO por cada litro evaporado	150

Ref	Componentes	Material
D1	Caldera de ebullición/condensación	Acero austenítico AISI 316L (EN 1.4435)
E1	Intercambiador de calor cámara de ebullición	SAF 2507 (EN 1.4410)
E2	Intercambiador de calor cámara de condensación	Acero austenítico AISI 316L (EN 1.4435)
S1	Tanque anillo líquida bomba del vacío	Acero austenítico AISI 316L (EN 1.4435)
SL	Intercambiador sottoraffredatore	Le arrullas en Cu / Paquete en A. el
P1	Bomba al vacío	Arrabio UN 5007-69
P3	Bomba dosificación antiespumante	PP
P3	Bomba dosificación antiespumante	PP
P4	Bomba descarga del destilado	Acero austenítico AISI 304, EN 1.4301,
S2	Tanque destilado	Acero austenítico AISI 316L, EN 1.4435,
	Telar	Acero austenítico AISI 304 (EN 1.4301)
	Cañerías	Cobre / PVC

Datos productivos Ind. Titan	
Fabricación pinturas año 2007	60.000 Tn.
Líquido a tratar por el evaporador al vacío C&G:	1.200 m ³ /año
Agua recuperada/reutilizada:	1.020 m ³ /año
Residuo (concentrado) para llevar a tratar:	180 m ³ /año
Ahorros en porcentaje	
Costes del tratamiento de residuos antes del proyecto del evaporador al vacío C&G	100%
Costes después de la instalación	23%
Ahorro conseguido	77%

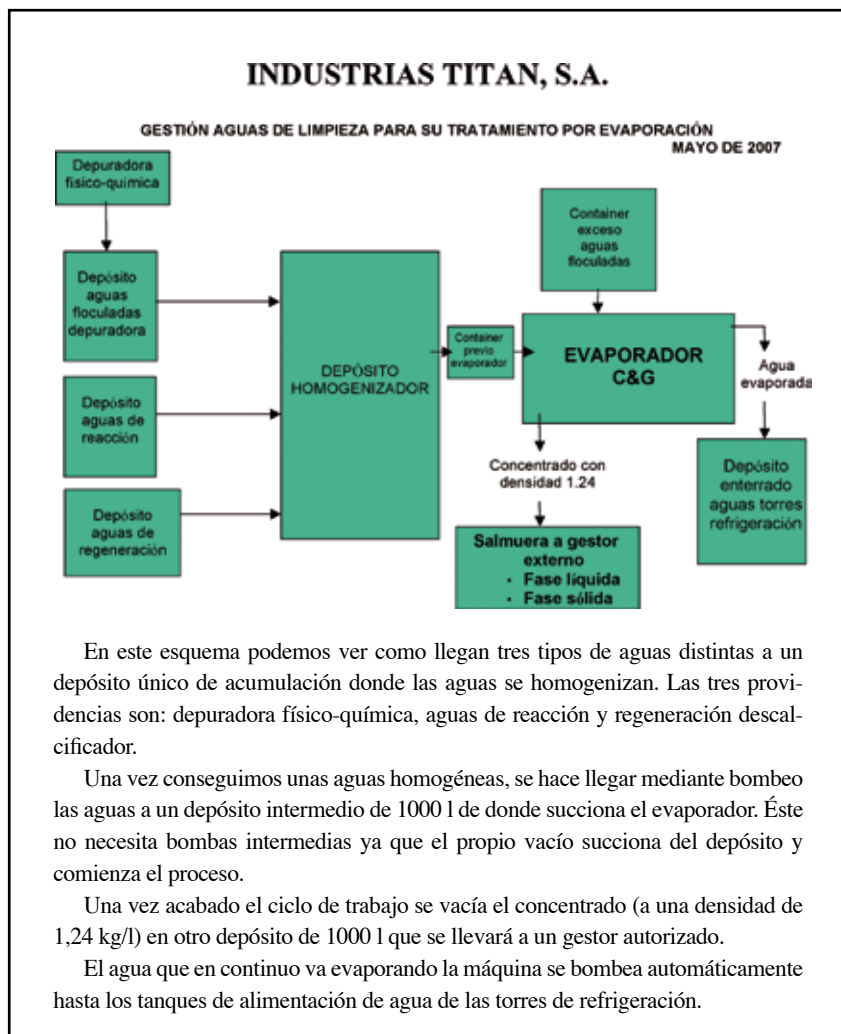


Figura 4. Esquema de depuración de la planta industrias Titan.

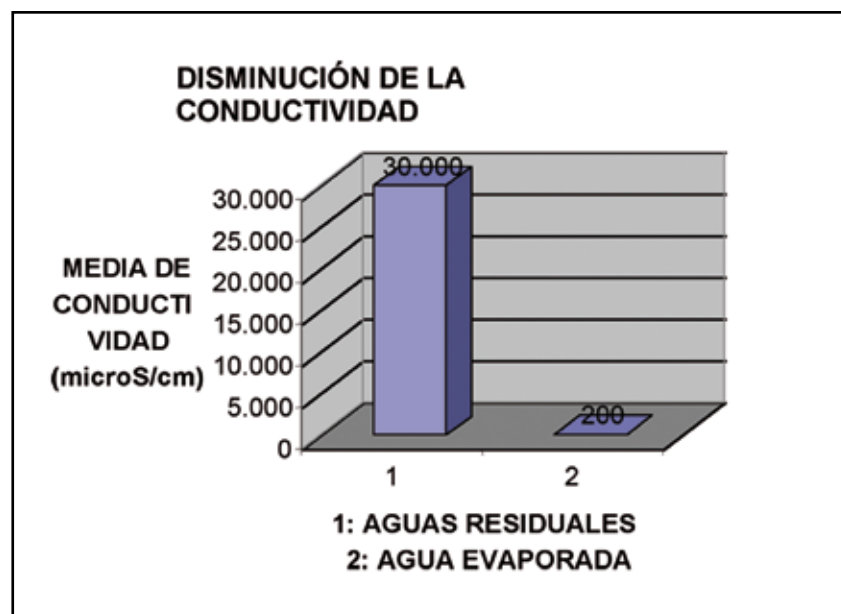


Figura 5. Disminución de la conductividad.



Figura 6. Disminución de la DQO.



Figura 7. Rendimiento frente a la concentración

salir con una calidad excelente: sin turbidez, sin sólidos en suspensión, muy baja en sales y con una DQO más que aceptable.

Las Figuras 5 y 6 indican la gran diferencia entre el agua de entrada y la evaporada en parámetros tan conflictivos como son conductividad y DQO.

5.5. Energía y concentración

La energía consumida por litro evaporado es siempre directamente proporcional a la concentración del concentrado como indica la Figura 7. La explicación es sencilla, el punto de ebullición de la muestra va en aumento y el rendimiento disminuye como indica la Figura 8. En ésta podemos ver como el rendimiento de la máquina, por el contrario es inversamente proporcional a la concentración del concentrado.

Como vemos en estos dos gráficos la concentración llega a un punto en que la evaporación no es

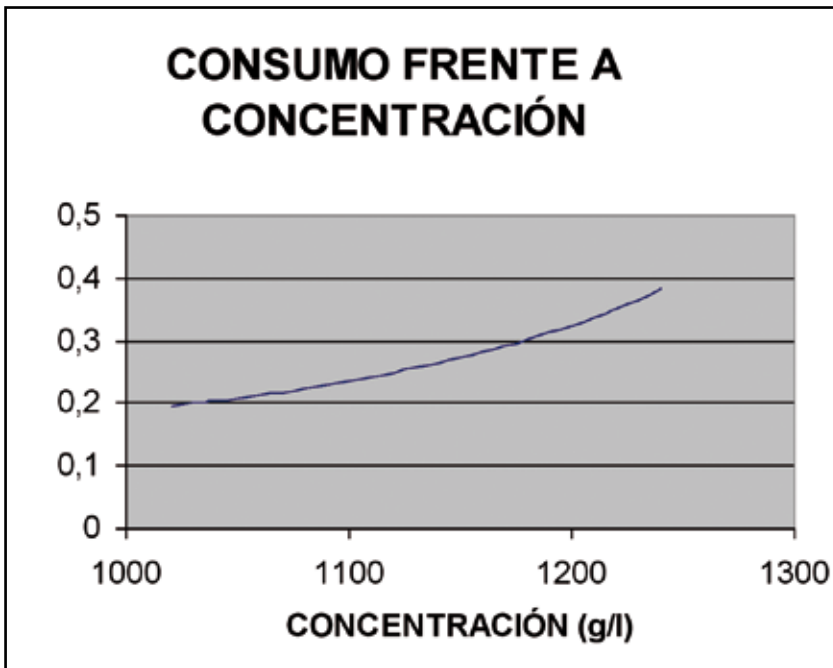


Figura 8. Consumo frente a la concentración.

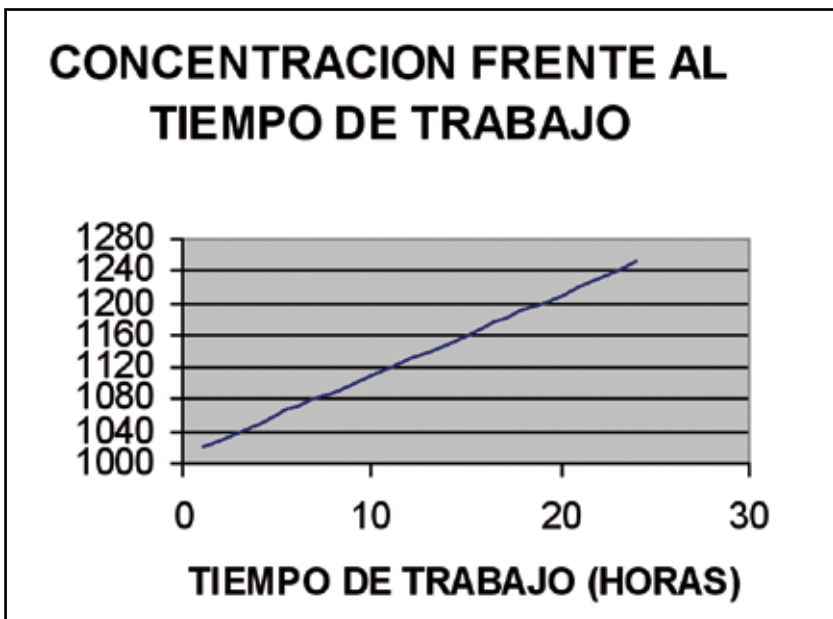


Figura 9. Concentración frente al tiempo de trabajo.

rentable. A ese punto se le denomina concentración crítica.

La Figura 9 nos es muy útil para ver en que tiempo la evaporación

llega a su concentración crítica. En el caso de Titán los ciclos de trabajo son de 22-24 horas.

6. Conclusiones

En definitiva, la aplicación de la evaporación al vacío abre muchas posibilidades en diferentes sectores industriales. En concreto el sector de fabricantes de pinturas tienen como referente a Titán, también en este aspecto.

Viendo los resultados es fácilmente deducible que prácticamente todo son ventajas. Después de un año y 5 meses de funcionamiento de la instalación, la máquina ya está prácticamente amortizada y producirá un beneficio anual del 77% de su coste que fue de 200 mil € aproximadamente. Según expone Elías Sabaté como filosofía, los proyectos no son caros o baratos, son rentables.

No sólo en lo económico hay que felicitarse, también hemos generado una forma de trabajo más respetuosa con el medio ambiente y más sostenible a nivel empresa.

A día de hoy con el único sistema que ha sido posible rentabilizar de esta forma la gestión de los residuos es con la evaporación al vacío.

7. Agradecimientos

Desde C&G Ibérica, queremos agradecer al Director Industrial de Industrias Titán, José López, y a todo su equipo técnico las facilidades para la realización de este proyecto y la confianza demostrada a lo largo de todo el proceso de implantación y puesta en marcha, hasta la consecución de los ahorros conseguidos.

COMODIN