

TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES MEDIANTE DESTILACIÓN FRÍA SÓLIDO LÍQUIDO

Vicenç Rodríguez Barraguer

Josep M^a Nacenta Anmella

Joaquim Lloveras Macià

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Abstract

Large water consumption that occurs in all industrial process and subsequent disposal, not always admitted in the WWTP, by high content of COD, makes reconsider and look for new solutions

The alternative to distillation for heat, usually accompanied with vacuum systems, filtering, and controls complicated; solid liquid, which allows to concentrate a fluid by means of cold techniques, in combination with hydraulic regulation is provided by cold distillation. It offers lower energy consumption, lower investment and an easy installation.

This physical process, gives separating the water contained in the effluent, in the form of ice on one side and concentrate on the other

The application to water waste, from washing or other industries has been one of the accomplishments of this application, to see that water withdrawal in the form of ice was free of impurities and at the same time obtained the desired concentrate. The recycling of water is another advantage

The development of the article shows schematically the technological process of distillation solid liquid, with experimental values, and both qualitative and quantitative data

Keywords: *distillation cold liquid solid; concentration; freezing; ice crystals; wastewater*

Resumen

El gran consumo de agua que se produce en todo proceso industrial y su posterior desecho, no siempre admitido en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), por alto contenido en Demanda Química de Oxígeno (DQO), hace que se replantee y busquen nuevas soluciones.

La alternativa a la destilación por calor, generalmente acompañada con sistemas de vacío, filtrado, controles complicados; es la ofrecida por la destilación fría sólido líquido, que permite concentrar un fluido mediante técnicas de frío, en combinación con regulación hidráulica. Se ofrece así menor consumo energético, menor inversión y una instalación sencilla.

Con este procedimiento físico, se consigue separar el agua contenida en el efluente, en forma de hielo por un lado y el concentrado por otro.

La aplicación a las aguas residuales, procedentes de industrias de lavado u otras, ha sido uno de los logros de esta técnica, al ver que el agua retirada en forma de hielo estaba libre de impurezas y a la vez se obtenía el concentrado deseado. El reciclado del agua es otra de las ventajas.

En el desarrollo del artículo se muestra esquemáticamente el proceso tecnológico de la destilación sólido líquido, con valores experimentales, y datos tanto cualitativos como cuantitativos.

Palabras clave: *destilación fría sólido líquido; concentración; congelación; cristales de hielo; aguas residuales*

1. Introducción

A las industrias que, en el transcurso de sus procesos, necesitan mucha agua con el consiguiente desecho residual, se les plantea el problema del “vertido legal”. La práctica de dilución con agua potable para rebajar la DQO de los fluidos residuales que no cumplen la normativa, exigida a la entrada de la EDAR, no hace otra cosa que enmascarar el problema, aparte de utilizar un recurso más acorde y necesario para otros menesteres. Dicha práctica, no justificada y censurable, pone de manifiesto que hay que buscar soluciones para acabar con esta “mala solución”.

Los diversos métodos de depuración de aguas, no siempre pueden cumplir su cometido, debido a la complejidad y diversidad de vertidos, por eso es que se buscan nuevas formas de tratamiento en la depuración de aguas residuales.

Pensando en que estos vertidos se pueden concentrar reduciéndolos a su mínima expresión, es por lo que se lleva a término el tratamiento de aguas residuales por destilación fría sólido líquido, una de las aplicaciones novedosas realizadas experimentalmente.

Si se referencia el método de concentrado por congelación, de Grasso Grenco, de la multinacional GEA Process Engineering, 1950-2000 (GEA, 2011) que opera a presión elevada y muy baja temperatura, se deduce que este no es apropiado y seguramente ineficaz para lo que se persigue.

Los concentrados por congelación varían en multitud y formas con aplicación de distintas técnicas en función de objetivos diferentes en sus procesos.

La destilación fría sólido líquido, utilizada experimentalmente en el primer prototipo, como modelo para obtener concentrados de zumos de frutas, concentrado de café y otras bebidas alimentarias (Rodríguez, 2011) es aplicada esta vez para concentrar aguas residuales procedentes de industrias de lavado y proceso, consiguiendo de este modo depurar el vertido, con la opción de aprovechar el agua por un lado y el concentrado residual por otro.

La aplicación experimental que se lleva a término es novedosa, tanto en el procedimiento de recogida y filtrado, pretratamiento y posterior destilado realizado, como en el resultado del concentrado obtenido, no teniendo otras referencias. El proceso físico de separación del hielo y concentrado es el mismo que el utilizado en las bebidas alimentarias pero las variantes mecánicas e hidráulicas, dentro del prototipo, son necesarias para este tipo de fluidos.

Fluidos residuales con alto contenido en agua pueden ser concentrados con este método de destilación fría sólido líquido, consiguiendo en muchos casos obtener un subproducto valorable y de paso aportar otra solución al gran problema medioambiental.

La destilación fría sólido líquido se lleva a cabo en una máquina experimental (prototipo II) combinación de hidráulica y frío, que opera físicamente a presión atmosférica y a temperatura no inferior a -5°C , ofreciendo de esta forma sencillez y ahorro en el proceso.

2. Proceso tecnológico de la destilación fría sólido líquido

El proceso termodinámico empieza con la extracción del calor de la disolución, hasta el punto de formar hielo casi puro en el intercambiador de calor. Las condiciones de frío

adecuadas y el movimiento continuo del fluido hacen posible que el fluido se vaya concentrando debido a la extracción de agua por formación de hielo.

Aunque el detalle y descripción de la máquina no es objeto de esta comunicación, describimos de forma simplificada que dicho prototipo II, de destilación fría sólido líquido (ver Figura 1 y Figura 2) permite experimentar con distintos fluidos residuales y verificar resultados.

Consiste en una cámara cerrada que trabaja a presión atmosférica con un sistema de frío (ciclo de compresión) que se puede invertir para facilitar la separación del hielo.

El sistema de frío está compuesto, por un compresor hermético, un intercambiador de calor, condensadores por aire y por líquido según el tipo de muestra, un turbo ventilador de apoyo a la condensación, además de las válvulas solenoides respectivas y de cuatro vías; dos visores, manómetros, termómetros y distintos elementos del requerimiento frigorífico. (ASHRAE, 2001). (ASHRAE, 2010).

La máquina prototipo II de destilación fría sólido líquido utilizada en la concentración de aguas residuales, consume aproximadamente 20 KW eléctricos por cada m^3/h de hielo (Nacenta, 1984).

La parte hidráulica, está formada por colectores de alimentación y por bombas de impulsión con velocidad variable. La propia máquina permite la recogida del destilado y del concentrado. (Bossler, 1985). (Byron, Warren y Edwin, 1964).

Figura 1. Esquema simplificado de frío en la Máquina de Destilación sólido líquido

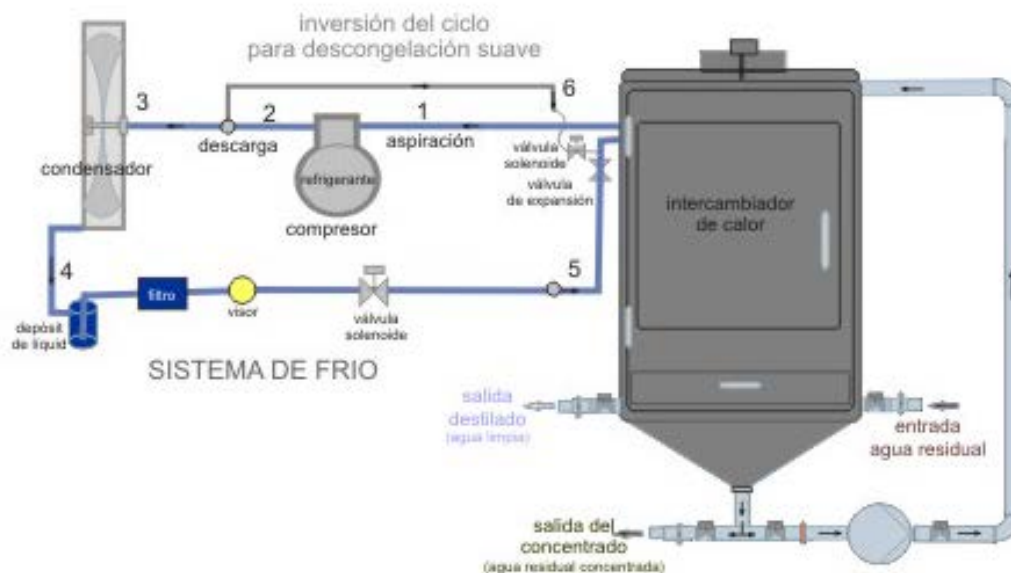


Figura 2. Fotografía de la Máquina Prototipo II de Destilación Fría Sólido Líquido



2.1 Aportación del modelo de destilación fría sólido líquido en el tratamiento de aguas residuales industriales.

La destilación fría sólido líquido puede ofrecer un método de solución para los vertidos de aguas industriales en la mayoría de los casos, dejando entrever en algunos, la recuperación de subproductos.

El modelo experimental es extrapolable a otros mayores, según necesidad y volumen a tratar y va enfocado en doble dirección, de manera que no solo sea eficiente en la separación diluyente-soluto sino que utilice el mínimo consumo de energía. De nada vale un método energéticamente costoso aunque dé un buen resultado.

La operación a escala industrial, con un rendimiento aceptable, vendrá relacionada con el coste del volumen a tratar y con el aprovechamiento del agua reciclada, por un lado y el concentrado por otro, que rebajen el precio final. Pensemos que actualmente, las industrias que quieren deshacerse de las aguas residuales que generan, tienen un coste significativo por la retirada residual sin obtener reciclado.

Los ricos concentrados industriales, ofrecen amplias posibilidades de aprovechamiento, además de la utilización como abono.

Definiendo un buen conjunto de operaciones desde el pre tratamiento, hasta el destino final, podremos tener una buena premisa de actuación.

El planteamiento debe ser acorde con las necesidades, pensando que no se puede implementar procesos con soluciones estándares.

No hay dos plantas que operen igual, por eso es de tener en cuenta que cada vertido, aunque tuviese la misma cantidad de agua diluida, tiene distinta composición de solutos disueltos, lo que hace que el comportamiento en la destilación sea distinto. La recuperación puede diferir con compuestos orgánicos e inorgánicos y a su vez dentro de cada grupo pueden presentar variantes en función de su densidad, gases disueltos, o tensioactivos, por ejemplo.

3. Estudio de casos por destilación fría sólido líquido.

Los casos de estudio de aguas residuales que se han llevado a cabo a modo experimental, son diversos, pero por razones de espacio y tema la exposición se centrará en dos casos

escogidos, ambos utilizan grandes cantidades de agua, tienen diversas sustancias disueltas adquiridas en el transcurso de fabricación y presentan acidez y sedimentos.

El caso que se presentaba con más parámetros de estudio, es el de las aguas residuales procedentes de una importante empresa de cosmética, que en el procesado de sus productos, utiliza diversos compuestos derivados de multitud de materias (que no fueron reveladas).

El reto es mayor, cuando la muestra de composición desconocida, contiene diversas sustancias, poniendo a prueba la eficacia o fracaso del proceso a experimentar.

El segundo caso expuesto es el de una empresa conocida de cava, que utiliza gran volumen de agua con el consiguiente residuo generado.

3.1 Caso de estudio en el análisis y tratamiento de aguas residuales procedentes de una empresa cosmética.

Las siete muestras procedentes de la empresa cosmética presentan diferencias significativas respecto al porcentaje de contenidos residuales. La variabilidad observada hace pensar que el lugar o momento de captación no es el mismo.

El procedimiento físico que se lleva a término, es una destilación fría sólido líquido en dos etapas, previa decantación de la muestra original, para separar los sedimentos que podrían embozar los colectores de alimentación a la entrada de la destiladora, con el objeto de separar el agua en forma de hielo, con las mínimas impurezas y reducir la parte concentrada residual.

Al disponer de siete muestras con distinta acidez, pues se observa un pH ácido y distinto en cada muestra, se procede a destilar primeramente las tres muestras más ácidas (denominadas M1, M2 y M3) con un pretratamiento básico para reducir la acidez, en previsión de las posibles corrosiones en las partes metálicas de la máquina y bombas. El resto de las muestras (denominadas, M4, M5, M6 y M7) con un pH menos ácido, se destilan sin hacer ningún tratamiento químico, para ver la diferencia.

Después del resultado de la primera destilación, se plantea el hecho de realizar una segunda etapa de destilación para ver el grado de ganancia en un segundo destilado. Para ello se necesita mayor cantidad de muestra por lo que se opta por mezclar dos muestras (denominadas M4+M6) de forma que haya una buena ponderación.

Con los valores y mediciones obtenidos en las etapas de destilado, queda de manifiesto el resultado.

En las fotografías de las figuras 3 y 4, puede observarse la transparencia en cada etapa consecuencia de los valores obtenidos.

Figura 3. Fotografías de la 1^{era} etapa de destilado



Figura 4. Fotografías de la 2ª etapa de destilado



La mayor transparencia de los cristales de hielo, en la segunda etapa, pone de manifiesto que es hielo muy puro y que por tanto la destilación consigue separar los solutos de la disolución, según el grado de exigencia.

3.2 Caso de estudio en el análisis y tratamiento de aguas residuales procedentes de una empresa de cava.

En el caso de la empresa de cava nos encontramos con una muestra que contiene diversas sustancias disueltas (no reveladas).

Procedemos a realizar una primera destilación sólido líquido, sin aplicar ningún tratamiento químico.

En las fotografías de la figura 5 se observa los cristales de hielo (izquierda y centro) y el concentrado (derecha).

Figura 5. Fotografías de la 1ª etapa de destilado



4. Resultados

Los análisis y mediciones de las muestras, en los dos casos de estudio (empresa cosmética y empresa de cava) antes y después de los destilados nos permiten comparar resultados.

La tabla 4 y la tabla 5 muestran los resultados finales de la segunda etapa de destilación, para la empresa cosmética.

El análisis de DQO, de la muestra (M4+M6) en la forma original (como se entregó) y la conseguida en la segunda etapa de destilación, se obtuvo por una empresa externa especializada.

La tabla 8 muestra los resultados en la primera destilación, de la empresa de cava.

Las fotografías reflejan el grado de turbidez de las muestras tratadas. Los cristales de hielo de la destilación también ponen de manifiesto si existen gases disueltos en la disolución y posterior atrapado.

En los apartados, 4.1 y 4.2, relatados a continuación, se dan en forma de tablas, los diferentes valores para las muestras comentadas.

4.1 Resultados de las muestras de agua residual de la empresa cosmética

CONDICIONES DE PARTIDA DE LAS SIETE MUESTRAS A ANALIZAR:

Se realizan las mediciones de: temperatura; acidez/basicidad (pH); conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$); sólidos totales disueltos (TDS en mg/l) así como las decantaciones oportunas para eliminar sedimentos que podrían dificultar el paso del fluido por los colectores, para todas las muestras.

Las muestras M1, M2, M3, se someten a un tratamiento básico (con NaOH) para contrarrestar su acidez, en previsión de una posible corrosión por su paso por las conducciones y bombas.

Tabla 1. Valores obtenidos de las muestras iniciales decantadas

Operación	Nº de muestra	Peso muestra [Kg]	pH original
Tratamiento básico	M1	25,20	3,50
Tratamiento básico	M2	22,94	3,50
Tratamiento básico	M3	26,25	4,50

Las muestras M4, M5, M6 y M7, decantadas para eliminar sólidos, son destiladas sin ningún tratamiento químico.

Tabla 2. Valores obtenidos de las muestras iniciales decantadas

Operación	Nº de muestra	Peso muestra [Kg]	pH original
Sin tratamiento químico	M4	22,53	4,10
Sin tratamiento químico	M5	24,57	4,17
Sin tratamiento químico	M6	25,30	4,39
Sin tratamiento químico	M7	25,23	3,92
Sin tratamiento químico	M4+M6	47,83	4,23

Tabla 3. Continuación de valores obtenidos de las muestras iniciales una vez decantadas, excepto la columna 5 que se da el valor de la DQO original sin decantar.

Nº de muestra	T [°C]	Conductividad [µS/cm]	TDS [mg/l]	M.O. (DQO) [ppm]
M4	23,5	953	609	-
M5	23,0	939	600	-
M6	23,8	1458	934	-
M7	23,7	1140	732	-
M4+M6	23,6	1205	723	27.500

RESULTADOS DE LAS MUESTRAS, después de la 2ª destilación:

Tabla 4. Resultado de la 2ª destilación

Nº de muestra	Tª [°C]	Peso de hielo [Kg]	pH final
M4+M6	0,1	28,06	7,20

Tabla 5. Continuación resultados de la 2ª destilación

Nº de muestra	Conductividad [µS/cm]	TDS [mg/l]	M.O. (DQO) [ppm]
M4+M6	35,6	22,3	27

Se ha conseguido pasar de un pH de 4,23 a un pH de 7,20; parámetro que también indica la depuración del agua residual.

Respecto a la (DQO) que es otro de los parámetros de control, se ha pasado de una DQO original de 27.500 ppm a 27 ppm.

4.2 Resultados de las muestras de agua residual de la empresa de cava

Tabla 6. Valores obtenidos de la muestra inicial

Operación	Nº de muestra	Peso muestra [Kg]	pH original
	M1	50	6,70

Tabla 7. Continuación valores obtenidos de las muestras iniciales

Nº de muestra	Tª [°C]	Conductividad [µS/cm]	TDS [mg/l]
M1	21	2470	1582

Tabla 8. Resultados de la 1ª destilación

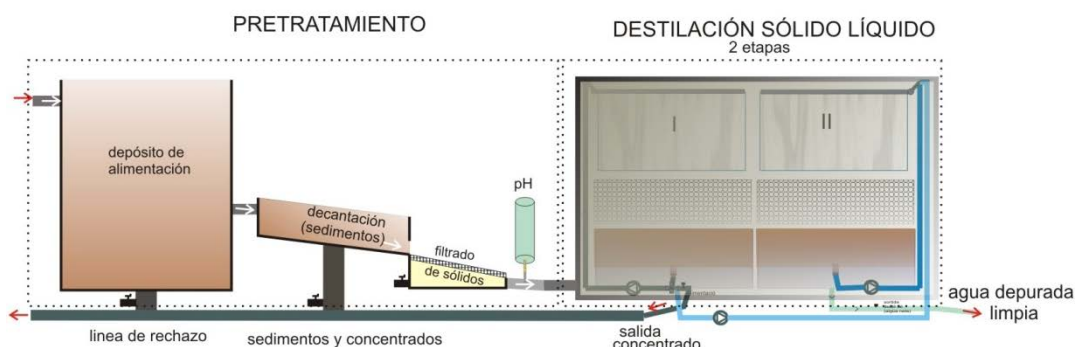
Nº de muestra	Tª [°C]	Conductividad [µS/cm]	TDS [mg/l]	pH
M1	21	197,6	126	7,02

En este caso, con una única etapa de destilación, se ha conseguido pasar de un pH de 6,70 a un pH de 7,02; como indicador de una buena depuración.

5. Esquema de una unidad de destilación sólido líquido para tratamiento de aguas industriales residuales.

Esquemáticamente podríamos representar una planta de tratamiento para aguas industriales residuales (figura 6) con aporte de sedimentos, en que se necesitara una etapa de pretratamiento antes de entrar a la destiladora, como en el caso de la empresa cosmética.

Figura 6. Unidad de pretratamiento y destilación de 2 etapas



El esquema es orientativo y sin dimensionar pretendiendo diferenciar una y otra parte.

6. Conclusiones.

Los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos (fotografías y tablas) demuestran que mediante una destilación fría sólido líquido podemos depurar un agua residual, separando el agua limpia, en forma de hielo y el concentrado que se va reduciendo y concentrando de las sustancias que contiene.

La parte de agua limpia (reciclada) se puede incorporar al uso en el proceso industrial y la parte concentrada, en caso de desecharla, siempre presentará una reducción importante de volumen con la consiguiente disminución de coste en su retirada.

En líneas generales, en la destilación fría sólido líquido propuesta:

- Se ha de valorar la sencillez y efectividad del sistema en una planta de tratamiento.
- La energía consumida menor que con los equipos estándar de calor y vacío. En el prototipo II, se consiguió un rendimiento, COP (coefficient of performance) superior a 8.
- Un mantenimiento más sencillo y económico que los equipos que utilizan calor y vacío.
- No hacen falta tratamientos secundarios, posteriores al destilado, para corregir la DQO máxima exigida.
- Dimensiones de la planta menores que facilitan la localización y logística final.

Respecto al rendimiento obtenido con esta máquina prototipo II de destilación sólido líquido, se puede decir que en la liberación de 1000 Kg/h de hielo se consume 20 KW eléctricos.

Referencias

ASHRAE, 2001. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Fundamentals Volume (S.I. edition.)*. Atlanta:.

ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION, SI Edition. 2010. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* Atlanta.

Bosser, J. (1985) *Vademécum de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, Barcelona: ETSEIB - CPDA.

BYRON BIRD R.; WARREN E. STEWART; EDWIN N. LIGHTFOOT. 1964. *Fenómenos de Transporte*.

GEA Process Engineering S.A de C.V. *Concentración por congelación de Niro Process Technology*. Obtenido de http://www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/concentracion_por_congelamiento.asp [visitado, abril 2011].

Nacenta, J.M^a; Ribas, E.; Rogla I. 1984. *Ahorro de energía en refrigeración*. ETSEIB - CPDA.

Rodríguez, V., Nacenta, J.M^a; Lloveras J. 2011. *Modelo de destilación fría sólido líquido para concentración de fluidos. Actas del XV INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING*, Huesca.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Vicenç Rodríguez Barraguer
Ingeniero Industrial
Phone: +34 93 3395437
E-mail : vicenc.rodriiguez@enginyers.net