

Tecnología para el tratamiento de las aguas residuales ácidas de la planta de síntesis de un compuesto nitroaromático

Technology for Treatment of Wastewater from the Plant for the Synthesis of a Nitroaromatic Compound

MSc. Liz Mabel Ríos-Hidalgo^I, lizrh@uclv.edu.cu, Dra. Idalia Águila-Hernández^{II},
MSc. Mirelys Montesino-Herrera^{III}

^IFacultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, ^{II}Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, ^{III}Delegación Territorial del Centro de Investigación de Tecnologías y Medio Ambiente (CITMA) Santa Clara, Villa Clara, Cuba

En la planta de síntesis de un compuesto nitro aromático altamente peligroso se obtienen aguas residuales que contienen fundamentalmente ácido nítrico. En este trabajo se lleva a cabo el proyecto de una instalación eficiente para tratar estas aguas, tanto desde el punto de vista de la seguridad personal de los trabajadores como de la no contaminación del medio ambiente. Para ello se realiza un análisis técnico-económico de las alternativas más factibles a utilizar y se selecciona la variante más adecuada. Son utilizados métodos de diseño de experimentos, necesarios para determinar los parámetros de las reacciones químicas peligrosas que se producen y para desarrollar los balances de materiales y energía. Posteriormente, se define el esquema tecnológico y se realiza el diseño tecnológico del equipamiento fundamental y auxiliar utilizando diferentes programas computacionales. Del estudio llevado a cabo se determina que es factible técnica y económicamente el uso de la neutralización con amoníaco, pues es una fuente de aporte de nitrógeno al suelo de relevante importancia para el desarrollo de nuestra agricultura. En este trabajo se propone el diseño tecnológico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de producción de un compuesto nitro aromático, representando los criterios básicos para la posterior proyección, construcción e instalación del equipamiento y de la planta en su conjunto y constituye una evidencia de cómo puede encaminarse nuestro esfuerzo en eliminar problemas relacionados con la contaminación ambiental mediante el empleo de tecnologías más limpias, que contribuyan a encontrar soluciones viables para el desarrollo de nuestro país.

Palabras clave: aguas residuales ácidas, planta de síntesis, fertilizantes nitrogenados.

In plant of synthesis of a nitro aromatic compound highly dangerous are obtained waste waters that contain fundamentally nitric acid. In this work is carried out the project of an efficient installation to treat this water, as much from the point of view of the personal security of the workers like of the no contamination of environment. In the work is performed a technical analysis-economic feasible treatment alternatives to use and select the most suitable variant. Are used experimental design methods necessary to determine the parameters of chemical reactions that occur and development of the material and energy balances. Subsequently, we define the technological scheme and are made the design of main, auxiliary equipment and piping systems, using different computer programs. Finally, it performs the plant layout of equipment and is carried out the economic analysis. This paper proposes the technological design of the wastewater treatment system of the plant for the production of aromatic nitro compound, representing the basic criteria for the subsequent design, construction and installation of equipment and plant as a whole and it's evidence of how you can aim our efforts to eliminate problems related to environmental pollution through the use of cleaner technologies that contribute to sustainable solutions for the development of our country.

Key words: acidic wastewater, synthesis plant, nitrogen fertilizers.

Introducción

Los problemas ambientales son tan antiguos como el hombre. Desde etapas muy tempranas

del desarrollo de la humanidad, el hombre ha depositado sobre el medio natural los residuos de su actividad vital y productiva. Producto del alto valor que tiene para la sociedad la salud del

hombre y la protección de sus riquezas, se le presta gran atención al problema de la contaminación ambiental, buscando cada día soluciones para eliminarla.

En Cuba, país socialista, el medio ambiente y los recursos naturales son patrimonio común de la sociedad y constituyen, por tanto, interés fundamental de la nación en su conjunto. De ahí que la atención a los problemas ambientales se realice de forma integral por toda la sociedad. La Constitución de la República, incluye expresamente la obligatoriedad de la protección del medio y los recursos naturales del país, tanto por el Estado como por cada ciudadano. En 1981, la Asamblea Nacional del Poder Popular, máximo órgano legislativo del país, aprobó la Ley de Protección del Medio Ambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales. En 1992, como continuación de los trabajos desarrollados en el país para la creación de un sistema de normas para la protección del medio ambiente, se aprobó el llamado "Sistema Nacional de Protección". En 1994, se creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA); la dimensión ecológica está presente en las nuevas leyes que se han aprobado para la inversión del capital extranjero, la creación de las zonas francas y los estudios de Impacto Ambiental.

Basado en la importancia que en nuestro país se le ha dado a estos problemas se han venido realizando estudios para mejorar el tratamiento que se le brinda a residuales peligrosos provenientes de diferentes procesos productivos, puesto que estos son ricos en compuestos tóxicos para la salud del hombre y los animales, provocando la destrucción acelerada de las riquezas naturales.

Durante el proceso de producción de compuestos nitroaromáticos altamente peligrosos, se generan aguas residuales ácidas muy contaminantes y peligrosas tanto para la salud y la seguridad de los trabajadores, como para el medio ambiente, ya que las mismas arrastran partículas sólidas de dichos compuestos y además, contienen ácido nítrico en un rango de concentración entre un 58- 62 %, lo que constituye un peligro para el medio ambiente y de accidentes graves. El ácido nítrico es un líquido incoloro y corrosivo y un ácido tóxico que puede causar quemaduras severas. La sustancia es irritante a los ojos, la piel y el sistema respiratorio.

Es por ello que en este trabajo se propone como objetivo fundamental la realización del

proyecto de una instalación eficiente para el tratamiento de las aguas residuales ácidas resultantes del proceso de síntesis de un compuesto nitro aromático, desde el punto de vista de la seguridad personal de los trabajadores y la no contaminación del medio ambiente.

Desarrollo

En el trabajo se realiza un estudio detallado de las diferentes variantes que se pueden utilizar para el tratamiento efectivo de las aguas residuales contaminadas con ácido nítrico /1-3/.

Una de las alternativas posibles es la recuperación del HNO_3 ; para ello se realiza la concentración de las aguas ácidas, lográndose un ácido nítrico que podría volver a utilizarse en el proceso.

Otra vía sería la neutralización utilizando distintos productos, los cuales son:

- Neutralización mediante amoníaco
- Neutralización utilizando urea
- Neutralización utilizando carbonatos u óxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos

Análisis de las alternativas de tratamiento

- Recuperación del HNO_3 . Mediante esta alternativa se podría disminuir el costo de producción por concepto de materia prima, método indicado sólo para cantidades considerables de ácido. Tiene numerosas ventajas, pero en contraposición con éstas, está el inconveniente económico de que sería necesaria la adquisición de una planta de recuperación; lo cual elevaría considerablemente el costo de instalación.
- Rocas carbonatadas y óxidos de metales: Entre éstas se encuentran el carbonato de calcio, el óxido de calcio y la dolomita. Las mismas presentan gran factibilidad en su aplicación pues los yacimientos de la Región Central poseen grandes reservas naturales, lo cual hace menos costoso el proceso de producción. Entre ellas se utilizaría la dolomita, pues comparada con el óxido de calcio y el carbonato de calcio es la de menor costo, además, la tecnología utilizada no presenta mayores complicaciones; sin embargo, las cantidades que se producen de la calidad "vidrio" que es la que se exige en este

caso, no son suficientes para garantizar un suministro para el tratamiento del residual, ya que tiene amplia demanda en la economía del vidrio. Respecto al producto obtenido, el carbonato de calcio y el óxido de calcio al igual que la dolomita pueden tener cierta demanda en la agricultura, sin embargo, se hace difícil su utilización, tanto en solución como granulado, y en nuestro país este último no es posible emplearlo debido a las características del clima. El nitrato de calcio se aplica en determinados suelos carentes de calcio y en Cuba no se presenta esta situación. La utilización de carbonato de potasio como neutralizador se dificulta al ser éste un producto de importación.

- Urea y amoníaco: El empleo de la urea y del amoníaco se aprecia que tiene mayores costos de producción comparado con las rocas carbonatadas pero, analizando la posible utilización de los productos finales, presenta los mejores resultados. Específicamente la neutralización con amoníaco, por medio de la cual se obtiene el nitrato de amonio, presenta las mayores ventajas ya que este fertilizante tiene gran demanda en nuestro país debido a que

incorpora un 35 % de nitrógeno a la tierra y en Cuba los suelos carecen de este nutriente /1/.

Basándonos en el análisis anterior, se selecciona la alternativa de neutralización con amoníaco debido a que se ofrece una solución viable para el tratamiento de las aguas residuales y, a la vez, se obtiene un producto final de alta demanda en la agricultura.

La obtención del nitrato de amonio perlado tiene sus ventajas, pero el costo del equipamiento y de producción resulta muy elevado. Es por ello que se opta por la variante de obtención del fertilizante líquido 32-0-0 (por su composición), ya que, además de su favorable balance económico, el mismo puede ser dosificado al terreno unido a las aguas de riego (ferti- riego), no es corrosivo, no existe la posibilidad de que solidifique con el descenso de la temperatura y tiene significativas ventajas para el desarrollo de las plantas /4/.

Definición del esquema tecnológico para la alternativa seleccionada

Se elaboró el diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la planta, como se aprecia en la figura 1.

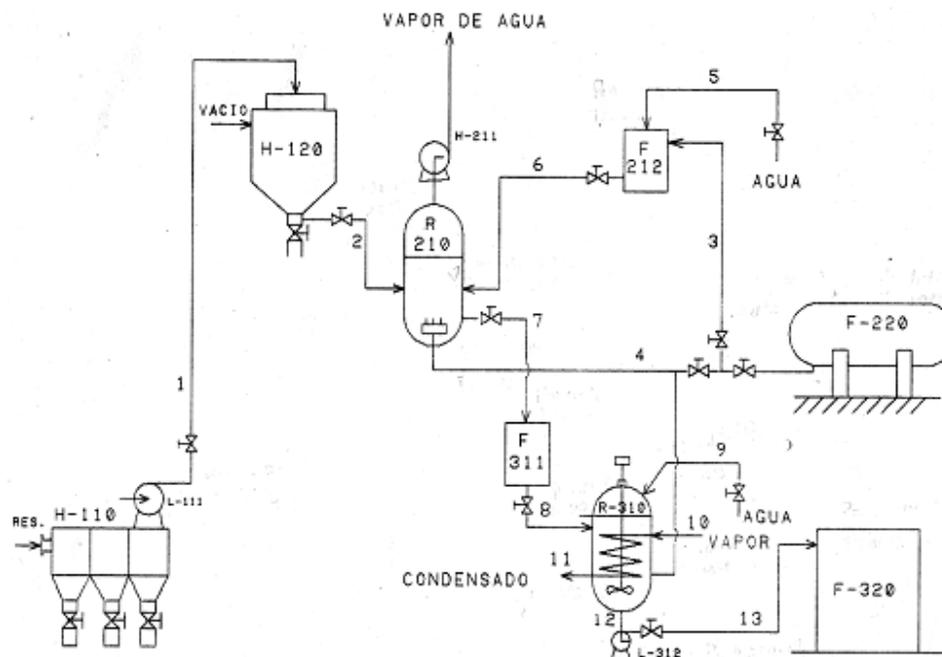


Fig. 1 Esquema Tecnológico. H-110: Sedimentador; H-120: Filtro Nutsh; R-210: Reactor de Burbujeo; F-220: Bala de amoníaco; R-310: Tanque agitado de preparación del fertilizante; F-320: Tanque de almacenamiento del fertilizante; L-111: Bomba de residual (HNO₃); H-211: Extractor; F-212: Tanque de la solución de amoníaco; F-311: Tanque de almacenamiento intermedio de nitrato de amonio; L-312: Bomba de fertilizante.

-
- Estará compuesto de tres etapas fundamentales:
- Limpieza o preparación del residual
 - Etapa de neutralización
 - Obtención del producto final

Durante la producción del compuesto nitro aromático, las aguas residuales ácidas arrastran pequeñas cantidades de partículas sólidas que, de pasar a la etapa de neutralización, pondrían en peligro el proceso y la vida de los operarios al ocurrir una reacción violenta y con gran desprendimiento de calor.

Para la purificación del residual se utiliza un sistema de sedimentación – filtración. En la sección de sedimentación se necesita un tiempo largo de sedimentación para que precipiten los sólidos disueltos en las aguas residuales. Al emplearse un proceso discontinuo, se trabajará con un sedimentador de volumen adecuado, tratando de lograr el área de sedimentación mayor posible. Este equipo consta de dos compartimientos rectangulares. El primero, más grande, es utilizado como región de sedimentación, en la cual el residual llega por una tubería que descarga en su profundidad. Cuando transcurren siete días y se llena el primer compartimiento, el líquido pasa suavemente por reboso al segundo y cuando en éste hay un volumen de residual almacenado por un día, la bomba instalada en la superficie del dosificador lo extrae y lo impulsa hacia el filtro. Durante la sedimentación se elimina un 75 % de los sólidos, las restantes partículas quedan atrapadas en la fina tela del filtro Nustch el cual opera de forma discontinua y a vacío. El lodo del sedimentador es descargado a mano cada cierto tiempo por el extremo superior de éste.

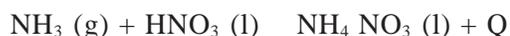
El líquido filtrado, ya en condiciones de pasar a la etapa de neutralización, fluye por gravedad a un reactor discontinuo con burbujeo de gas, el cual opera a presión atmosférica. Este equipo consta de un cilindro de acero inoxidable 304, en el que se descargará la solución ácida, y el gas neutralizante $(\text{NH}_3)_{(g)}$ se suministrará por el fondo a través de un burbujeador de acero inoxidable recubierto por teflón.

Las violentas condiciones que se producen al reaccionar estas dos sustancias, son aplacadas con la adición de una solución amoniacal que

contiene el 15 % de $\text{NH}_3(g)$ la cual disminuye la reacción del amoníaco gaseoso y el ácido.

Producto de esta reacción y del desprendimiento de calor que se produce, se obtienen vapores de agua que arrastran consigo pequeñas cantidades de amoníaco y de la solución formada. Estos vapores ligeramente contaminados (1,5 – 2 % de NH_3) se descargan a una altura adecuada, sin que existan problemas para el medio ambiente o para el hombre, por medio de un extractor.

Como resultado de la reacción



El nitrato de amonio obtenido tiene una concentración del 80 % y fluye por gravedad hasta un tanque de almacenamiento intermedio donde se queda la mitad de la solución formada y la otra mitad continúa su camino hasta un tanque provisto de agitación y un serpentín de calentamiento. En el tanque agitado se prepara el fertilizante líquido conocido por su forma de aplicación al suelo como ferti-riego, y por su composición como 32-0-0.

Para obtener este abono, el nitrato de amonio se mezcla con cantidades adecuadas de urea, ácido fosfórico, amoníaco y agua. Para el desarrollo del trabajo se consultan las tablas archivadas en la empresa de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos, que relacionan las variantes establecidas para la preparación del ferti-riego y se selecciona la variante para la obtención de una tonelada de fertilizante /2/.

El fertilizante formado tiene excelentes características al aplicarse al suelo cultivado, pero también tiene otras ventajas como son: el no ser corrosivo, pudiéndose utilizar tuberías y equipos de riego y almacenamiento de acero al carbono o aluminio, puede dosificarse al suelo según las necesidades de los cultivos y no hay peligro de cristalización.

Las ventajas económicas del uso de soluciones nitrogenadas como fertilizante son las siguientes:

- 1 Las soluciones amoniacales constituyen la forma de nitrógeno más concentrada y más barata de que dispone la industria de los abonos.

- 2 La amonización mejora mucho las características mecánicas de curación y almacenamiento de los abonos mezclados que contienen superfosfatos, pues neutralizan la acidez libre de aquel.
- 3 En general, se requiere menos abono.
- 4 Se evitan los daños producidos a las raicillas de las plantas producidos por la utilización intensa de abonos secos.
- 5 Se obtiene mejor distribución de fertilizante cuando se tienen cantidades reducidas.
- 6 Pueden utilizarse abonos de características físicas diferentes.
- 7 Durante el período seco se obtiene una respuesta máxima de las plantas de cultivo /5, 6, 7/.

El agitador seleccionado es del tipo de hélice y tanto él, como el recipiente cilíndrico de fondo cónico y el serpentín deben fabricarse de acero inoxidable.

Previendo la posibilidad de dificultades con el suministro de la urea para la preparación del fertiriego y teniendo en cuenta que el nitrato de amonio obtenido en la etapa de neutralización no puede utilizarse como fertilizante en una concentración del 80 % debido a que cristaliza a temperatura ambiente, se plantea la variante de, con los mismos equipos, diluir la solución de nitrato de amonio hasta un 20 %, pudiéndose utilizar como fertilizante con la desventaja de la disminución del contenido de nitrógeno.

Con el objetivo de determinar los parámetros de la reacción que se produce entre el ácido nítrico y el amoníaco seco (temperatura de la reacción y cantidad de agua que se evapora), necesarios para desarrollar los balances de masa y energía así como el diseño, se realizaron experiencias a nivel de laboratorio, empleando una pequeña instalación montada para este fin /2/.

Se llevó a cabo, además, el diseño tecnológico del equipamiento tanto principal como auxiliar, y de los sistemas de tuberías, utilizándose programas computacionales para el cálculo de los sistemas de bombeo y para la determinación del espesor del aislamiento necesario en cada caso.

Se realizó la distribución en planta basándonos fundamentalmente en el aprovechamiento de la gravedad para el transporte de fluidos entre los

equipos colocados a diferentes niveles en la planta. También se tuvo en cuenta, la compactación de los equipos interrelacionados entre sí, sin afectar la comodidad y seguridad en el trabajo con los obreros y la protección del entorno.

Una vez dimensionados los equipos fundamentales de la planta, se efectuó el análisis económico de la misma, sobre la base del cálculo del costo de inversión, el costo de producción, la ganancia, así como los indicadores económicos dinámicos tales como: el valor actual neto (VAN), el período de recuperación de la inversión (PP) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) /10, 11/.

Conclusiones

- Del estudio llevado a cabo se determina que es factible técnica y económicamente el tratamiento de las aguas residuales ácidas que se generan durante el proceso de producción de un compuesto nitroaromático con el empleo de la neutralización con amoníaco.
- La alternativa de esquema tecnológico se define para la obtención del fertilizante denominado ferti-riego (32-0-0), por las enormes ventajas de su aplicación al suelo.
- Fue determinado experimentalmente que la temperatura de reacción entre el ácido nítrico y el amoníaco está en un rango comprendido entre 120- 130 °C y los balances de materiales y energía fueron realizados para una capacidad de producción de 600 ton/ año y teniendo en cuenta 2 síntesis/ día.
- Del análisis económico realizado se obtuvo que para una planta de producción de 150 toneladas/año, el sistema de tratamiento de aguas residuales que se generan tiene los siguientes costos:
 - Costo total de inversión: \$1 446 296,20
 - Costo total de producción: 327 532,73 \$/año.
 - Ganancia: 79 588,55 \$/año.
- La evaluación económica del proyecto es positiva obteniéndose un valor actual neto (VAN) de \$ 924 399,35, con una tasa interna de rendimiento (TIR) del 26 %.
- Se propone el diseño tecnológico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de producción de un compuesto nitro aromático,

representando los criterios básicos para la posterior proyección, construcción e instalación del equipamiento y de la planta en su conjunto.

- Este trabajo constituye una evidencia de cómo puede encaminarse nuestro esfuerzo en eliminar problemas relacionados con la contaminación ambiental mediante el empleo de tecnologías más limpias, que contribuyan a encontrar soluciones viables para el desarrollo de nuestro país.

Bibliografía

- 1 CRUZ, M., GUERRA, B. "Análisis de alternativas de tratamiento de los residuales líquidos y gaseosos de la planta de síntesis del "producto P". Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Central de Las Villas. Cuba. 2002.
- 2 CAÑIZARES, E., RÍOS L. M. "Diseño de un sistema para el tratamiento de los residuales ácidos de la planta de síntesis del "producto P". Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Central de Las Villas. Cuba. 2007.
- 3 BARETTINO D. F., LOREDO J., PENDÁS F. "Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones". Instituto Geológico y Minero de España. ISBN 84-7840-586-0. Págs. 37- 48. 2005.
- 4 COLLINS, G. "Fertilizantes comerciales, sus fuentes y usos". Editorial Revolucionaria, Ciudad de La Habana. Págs. 175- 400. 1986.
- 5 SÁNCHEZ, J. "Fertirrigación. Principios, Factores, Aplicaciones". In: Seminario de Fertirrigación, FERTITEC S.A., Apukai- Comex Perú, Lima, < ebookbrowse.com/fertirrigacion-pdf-d75755877> accessed 25.03.2011; 2000.
- 6 LIPINSKI, V., BERMEJILLO A. FERTIRRIEGO. Departamento de Ingeniería Agrícola, Cátedra de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Almirante Brown 500 (5505), Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. Págs. 1-14. 2008.
- 7 HERNÁNDEZ, A.: "Depuración de aguas residuales". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Madrid. Págs. 1023. 1994.
- 8 SHIMIZU K., TAKADA, S., MINEKAWA K., KAWASE Y. "Phenomenological model for bubble column reactors: prediction of gas hold-ups and volumetric mass transfer coefficients". Chemical Engineering Journal 78. Págs. 21–28. 2000.
- 9 ALVES S.S., MAIA C.I., VASCONCELOS J.M.T. "Gas-liquid mass transfer coefficient in stirred tanks interpreted through bubble contamination kinetics". Chemical Engineering and Processing, 43. Págs. 823-830. 2004.
- 10 Chemical Engineering Journal. Chemical Engineering Journal vol. 119, No. 5, June/2012. TM & © EPI Engineering, Inc. Available in: <http://en.okezine.com/chemical-engineering-magazine-june-2012/>
- 11 ULRICH, G.D., VASUDEVAN, P.T. Chemical Engineering Process Design and Economics, A. Practical Guide, 2nd Edition, 2004.
- 12 ESCOBAR, J., V.P.: "Efectividad de diversos tratamientos aplicados a las aguas residuales del T2". Trabajo de Diploma, UCLV. 1993-1994.
- 13 RÍOS, L.M., "Propuesta tecnológica para el tratamiento con hipoclorito de sodio de los residuales líquidos de T1 Trabajo de Diploma". Universidad Central de Las Villas, Cuba. UCLV, 1992-1993. 2002.