



Asimilación y puesta en marcha de una planta industrial de ácido sulfúrico concentrado

Assimilation and start-up of an industrial sulfuric acid concentrate plant.

• Gabriel Iglesias¹ • Yosviel Reyes² • Yeliany Manso³

¹ Complejo Industrial de Bioproductos LABIOFAM VC, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: gibarreto@uclv.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0086-2236>

² Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: yreyes@uclv.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9344-2304>

³ Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Correo electrónico: yemanso@uclv.cu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0403-7046>

Recibido: 05 noviembre del 2023 / **Revisado:** 18 diciembre del 2023 / **Aprobado:** 28 diciembre del 2023 / **Publicado:** 22 enero del 2024

RESUMEN

La asimilación y puesta en marcha de una planta nueva para la fabricación de ácido sulfúrico es un caso de estudio útil para la conducción de la asimilación de nuevas tecnologías, esta es una actividad de riesgo. El objetivo de la presente investigación es establecer un procedimiento para la asimilación y adaptación de la tecnología necesaria para la manufactura de ácido sulfúrico que haga posible la conducción segura y eficiente de la puesta en marcha técnica de una nueva capacidad industrial y su normal funcionamiento. Se elaboraron las bases conceptuales y un procedimiento heurístico para la asimilación tecnológica en instalaciones productoras de ácido sulfúrico concentrado que se basen en el método productivo de doble contacto a partir de azufre sólido elemental. Para ello se tuvo en cuenta la integración lógica de los sistemas del proceso, así como los establecidos en la literatura para el desarrollo, evaluación y asimilación de nuevas tecnologías. Se desarrollaron las bases metodológicas para la adopción de tecnologías y un procedimiento heurístico para facilitar la dirección de esta diligencia en una secuencia lógica capaz de conducir eficientemente la asimilación tecnológica y puesta en marcha cumpliendo con los compromisos de tiempo, seguridad y económicos a trazar. Los fundamentos para la adaptación de nuevas capacidades industriales tienen que considerar aspectos empresariales, de mercado, de evaluación tecnológica y ambiental.

Palabras claves: ácido sulfúrico; asimilación tecnológica; metodología; procedimiento heurístico.

ABSTRACT

The assimilation and start-up of a new plant for the manufacture of sulfuric acid is a useful case study for the conduct of the assimilation of new technologies, this is a risky activity. The objective of the present research is to establish a procedure for the assimilation and adaptation of the necessary technology for the manufacture of sulfuric acid that makes possible the safe and efficient conduct of the technical start-up of a new industrial capacity and its normal operation. The conceptual bases and a heuristic procedure were elaborated for the technological assimilation in concentrated sulfuric acid production facilities based on the double contact production method from elemental solid sulfur. For this purpose, the logical integration of the process systems was taken into account, as well as those established in the literature for the development, evaluation and assimilation of new technologies. The methodological bases for the adoption of technologies and a heuristic procedure were developed to facilitate the management of this diligence in a logical sequence capable of efficiently conducting the technological assimilation and start-up complying with the time, safety and economic commitments to be outlined. The foundations for the adaptation of new industrial capabilities must consider business, market, technological and environmental assessment aspects.

Keywords: sulfuric acid; technological assimilation; methodology; heuristic procedure.

1. INTRODUCCIÓN

Para la industria de procesos transformativos el ácido sulfúrico se usa directa o indirectamente en casi todas las actividades de fabricación y es un producto vital en la economía nacional. Para su empleo técnico se comercializa con altos grados de pureza superando el 80% peso hasta el 98,5 % sirviendo estas presentaciones para preparar disoluciones acuosas con la concentración específica demandada dentro de cada proceso. Las principales propiedades químicas que hace tan valioso al ácido sulfúrico es su poder deshidratante, su marcado carácter ácido y ser el agente corrosivo por excelencia. En Cuba la producción de ácido sulfúrico se limita casi exclusivamente a la producción de ácido sulfúrico técnico al 98.5% ofrecida por la Empresa Rayo Nitro de Matanzas en la región central del país según Castillo y col., (2021). Esta entidad opera hoy a una capacidad de trabajo inferior a la capacidad instalada a razón de la obsolescencia tecnológica.

El ácido sulfúrico es procesado según el método del doble contacto por su alta eficiencia productiva y sus bondades en cuanto a emisiones y efluentes en concordancia con estudios actualizados de Bahamonde, (2021), Bravo y col. (2014) y Kumareswaran (2013). Esta ruta productiva cuenta con cinco etapas tecnológicas fundamentales: fundición del azufre, combustión del azufre líquido, enfriamiento del dióxido de azufre, oxidación catalítica del dióxido de azufre en trióxido de azufre y absorción química del trióxido de azufre en ácido sulfúrico concentrado. Este esquema tecnológico propone la manufactura del ácido sulfúrico a altas concentraciones aprovechando el azufre elemental residuo de la actividad de refinación del petróleo crudo cubano. Esta es la materia prima fundamental, disponible en cantidades suficientes en Cuba. Otros requerimientos materiales son el agua y aire, además de que demanda pentóxido de vanadio para el lecho catalítico de la etapa de oxidación del dióxido de azufre. Los residuos asociados a este proceso son sulfuro de hidrógeno y emisiones mínimas de

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron resumidas las bases conceptuales y un procedimiento heurístico que permite conducir las actividades necesarias para la importación y adopción segura de nuevas capacidades productivas destinadas a la industria de procesos químicos, la misma toma como caso de estudio una fábrica de producción de ácido sulfúrico concentrado por el método de doble contacto. Dicha metodología es aplicable a cualquier instalación industrial de procesos. La fuente fundamental para el estudio de las prácticas para

dióxido de azufre, ambas en cantidades inferiores a las emisiones normalizadas exigidas. Los índices en cuanto a la eficiencia alcanzados en plantas con la misma técnica superan en su amplia mayoría el 99% de la conversión del azufre elemental en ácido sulfúrico concentrado; desplazando aceleradamente a métodos para su fabricación como el método de la cámara de plomo y el de simple contacto.

El emplazamiento de una nueva capacidad industrial proveedora de ácido sulfúrico a la industria química cubana se justifica entonces con el fin de sustituir las importaciones de este reactivo atendiendo al alza sostenida de los precios en el mercado internacional sumado a las dificultades asociadas para la importación de insumos a Cuba. Además, es objetivo aprovechar las cantidades de azufre sólido elemental generadas por las refinerías petroleras cubanas. Según estudios precedentes de Dueñas y col. (2010) existen pocas calificaciones formales para la disciplina de la arrancada de una planta de procesos y la ejecución de la misma requiere obligatoriamente del trabajo integral de equipos profesionales multidisciplinarios en las ramas de la ingeniería. Una planta que se pone en marcha de forma deficiente funciona por debajo del rendimiento óptimo, incurre en fallas tecnológicas peligrosas y retrasa sustancialmente la recuperación del capital involucrado en la inversión. Una puesta en marcha técnica mal consumada a menudo conduce a una amplia acción bajo la ley de contratos para recuperar los costos de los contratistas o ingenieros de acuerdo con Killcross, (2021).

El objetivo de la presente investigación es establecer un procedimiento para la asimilación y adaptación de la tecnología necesaria para la manufactura de ácido sulfúrico que haga posible la conducción segura y eficiente de la puesta en marcha técnica de una nueva capacidad industrial y su normal funcionamiento.

la adopción de nuevas industrias son los principios generales de aplicación de la asimilación tecnológica en instalaciones de la industria química propuestos por Ley y González, (2006), quienes consideran la preparación de materias primas, la garantía de los requerimientos energéticos y de sistemas auxiliares, el cumplimiento de los factores técnicos, económicos, ambientales y de transferencia tecnológica. También se tuvo en consideración las modificaciones propuestas en

trabajos posteriores por Hernández y col., (2009). Se utilizaron además los estudios desarrollados por (Pérez y col., 2021) para el ajuste en el desarrollo de procesos y asimilación tecnológica de la agroindustria alimentaria cubana y su aplicabilidad en el marco de la gestión de la calidad en un entorno local (Pérez y col., 2020). Se profundizó en los estudios de Ashar y Golwalkar, (2013) y King et al. (2013) para la profundización en cuanto a la industria del ácido sulfúrico.

Para confeccionar el modelo metodológico se propuso un procedimiento en el que prima la integración lógica y ordenada de pasos de desarrollo, evaluación y asimilación de tecnologías, justificado por la literatura científica y experiencias en el campo de la industria transformativa como plantea Pérez y col. (2021). La secuencia metodológica parte del escenario

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fundamentos teóricos para la asimilación de nuevas tecnologías productivas

Los fundamentos metodológicos generales señalados por Ley y González, (2006) señalan los fundamentos metodológicos generales para la adquisición de nuevas tecnologías industriales. Los mismos son aplicables a los procedimientos dentro de la industria química cubana actual incluyendo los proyectos de ampliación, modificación o adopción de nuevas capacidades industriales como el caso de estudio de una nueva fábrica de ácido sulfúrico concentrado. Dentro de ellos, es esencial la vigilancia tecnológica previa a la síntesis del proyecto por medio de la investigación en fuentes bibliográficas actualizadas propuestas por dicho estudio y Bonachea y col., (2021). Para este escenario, ya que existe gran cantidad de instalaciones de este tipo en el mundo con altos índices de eficiencia reportados y certificados en la literatura, es provechosa la observación directa. Ante esta última posibilidad, es preciso adaptar el conocimiento y los métodos tecnológicos a las demandas específicas de las materias primas con que se cuenta para la producción del ácido sulfúrico: azufre sólido proveniente de la refinación del petróleo crudo cubano de instalaciones diferentes. También es fundamental conocer las exigencias para la manipulación y explotación segura del catalizador pentóxido de vanadio. Siguiendo los aspectos definidos por Pérez y col., (2021), aun cuando la vigilancia tecnológica se logra con efectividad, aspectos vinculados con las especificidades del proceso, principalmente propiedades y características físico-químicas

en que se sintetiza conceptualmente el proyecto a ejecutar, definiendo el objetivo, evaluando las estrategias económicas generales y capacidades a satisfacer; la aprobación del proyecto permite el desarrollo de tareas en paralelo como las obras de ingeniería civil y preparación del personal, con la conclusión de estas se adquieren y montan los equipos del sistema productivo de la planta, sistemas que deben ser evaluados y chequeados hasta la puesta en marcha. Para la evaluación tecnológica se propuso la evaluación operacional, la evaluación e integración energética, el chequeo de equipos y los balances energéticos. Todos estos pasos exigen de un compromiso económico y medioambiental que regirán la seguridad y factibilidad del proyecto, definiendo en gran medida su éxito a largo plazo.

de los materiales a tratar, requieren ser investigados desde la etapa de concepción inicial del proyecto de ingeniería siendo esta etapa de trabajo de escritorio puro.

La magnitud proyectada para la nueva industria por adquirir se verá definida por factores como: la capacidad con que pretende asimilar materias primas y productos, las características de todas las sustancias involucradas, el estado tecnológico del equipamiento (que pudiera ser nuevo o de uso), los sistemas auxiliares y del control automático, la localización de la fábrica y los recursos humanos que intervendrán en la explotación tecnológica. Es importante la definición clara de estos puntos, las responsabilidades de proveedores, facilitadores y beneficiarios y el desglose detallado de las actividades y límites de cada parte. Además, es fundamental definir los mecanismos para el abastecimiento y distribución de los productos, la gestión de los desechos, que en el caso de la industria del ácido sulfúrico abarca emisiones gaseosas y semisólidos resultantes de la filtración del azufre líquido. Dependiendo de la gestión de los principios definidos y la habilidad de las partes implicadas durará más o menos tiempo la etapa destinada al diseño del proyecto y cuanto más rigor y detalle se logre acordar en la misma se verá interpretado en ahorro de tiempo y dinero en las siguientes fases del proyecto de ingeniería.

Generar un procedimiento para la conducción de la asimilación de tecnologías para la manufactura del ácido sulfúrico exige considerar el vínculo entre las salidas al

mercado del ácido sulfúrico concentrado, el abastecimiento del azufre elemental y las posibilidades tecnológicas y financieras para la actividad productiva, obligando a trazar estrategias rápidas y seguras para la adopción de estas tecnologías, la preparación del personal y recepción definitiva de la planta. Respecto a la demanda actual en Cuba de ácido sulfúrico con fines técnicos en otras industrias de procesos es necesario considerar el estado crítico en que se encuentran instalaciones similares en el país encabezadas por la empresa RayoNitro de Matanzas, Cuba. Esta empresa es insuficiente para gestionar el azufre total entregado por las refinerías de petróleo regionales e incapaz de satisfacer la demanda de este compuesto por otras capacidades industriales por su antigüedad tecnológica.

Desde el punto de vista tecnológico, asumir una nueva capacidad productiva de ácido sulfúrico demanda del diagnóstico de la situación actual y perspectiva de la instalación para asumir esta actividad y sufrir a futuro implementaciones tecnológicas a fin de intensificar la productividad y generar entornos de manufactura más amigables con el medio ambiente. Este diagnóstico requiere considerar, los prerequisites para la implementación de la nueva capacidad a través de sistemas de gestión de la calidad (Pérez y col., 2020). El diagnóstico facilita la planificación de las tareas a ejecutar en la evaluación tecnológica y ambiental, entre ellas la evaluación operacional a través de balances de materiales, energía y exergía (Vidal, 2017). Posteriormente se necesita chequear el funcionamiento del equipamiento para las condiciones operacionales normales del proceso y las condiciones extremas de diseño a partir de los exámenes mecánicos-eléctricos y las pruebas de riesgo. Dicha práctica debe extenderse a los servicios, accesorios e instrumentación instalada.

El cumplimiento de estas actividades preliminares garantiza las condiciones para la toma de decisiones estratégicas relacionadas con modificaciones tecnológicas, asociadas a procesos de mejora con o sin inversión. De acuerdo con Bonachea y col., (2021) en el primer caso, la evaluación tecnológica y ambiental va acompañada de un análisis de factibilidad económica y financiera que permitirá definir la utilidad de ejecutar inversiones asociadas a alteraciones en la capacidad de diseño y en el segundo, la evaluación tecnológica y ambiental se complementa con la evaluación económica, en la búsqueda de los efectos de la

modificación sobre los indicadores económicos del proceso.

3.2. Procedimiento heurístico para conducir la asimilación tecnológica en instalaciones productoras de ácido sulfúrico

El diagrama heurístico del procedimiento propuesto para la asimilación de tecnología aplicable a la adquisición de nuevas plantas fabriles especializadas en la fabricación de ácido sulfúrico. El procedimiento inicia con el diseño del proyecto, en este caso la adquisición y explotación de una nueva planta productora de ácido sulfúrico a partir del azufre sólido elemental. En este paso son definidas las entidades involucradas y su papel dentro del proyecto, el proveedor o proveedores de las tecnologías, sistemas e insumos que pudieran ser una entidad extranjera. También se definen de acuerdo a la disponibilidad física de las materias primas en el mercado regional y nacional, se fijará la capacidad de la planta y proyectará a posibles modificaciones futuras. Es obligatorio incluir también un análisis de la localización de la planta y las salidas económicas. También es importante aclarar las responsabilidades de cada ente involucrado en cuanto al recurso tiempo y el perfil medioambiental de la inversión. La etapa de síntesis o diseño del proyecto es por defecto un paso lento necesariamente dentro de todas las actividades para la asimilación tecnológica, aunque pareciere contradictorio con el uso óptimo del recurso tiempo cuanto mayor detalle se le preste a esta etapa mejor definidas quedarán las actividades futuras y por ende una garantía para el manejo del capital y la seguridad tecnológica. Posteriormente los esfuerzos se dividen en dos grupos fundamentales, el grupo para las actividades de ingeniería civil y el grupo para el trabajo sobre el proceso tecnológico. Cada cual orienta el trabajo para el ahorro del tiempo y culminar las actividades en la recepción provisional de la planta una vez queden montados, acoplados y constructivamente verificados los equipos seleccionados para el flujo tecnológico, los sistemas auxiliares y accesorios para el control. Cada paso intermedio exige de verificaciones y regresar a las etapas anteriores en caso de demandar modificaciones agresivas en el sistema implementado físicamente. Una vez cometidas estas acciones es prioridad adquirir los insumos materiales y repuestos suficientes para la operación normal de la planta y duplicado de los dispositivos tecnológicos intermedios.

Recibida la planta por el personal designado para la puesta en marcha y el mantenimiento debe prepararse para la ejecución de las pruebas preliminares, las cuales los equipos serán sometidos a los exámenes mecánicos, eléctricos y químico-físicos definidos en Iglesias, (2022). Estos exámenes de riesgo contribuyen a certificar que los equipos en planta son adecuados para las operaciones tecnológicas que fueron diseñados y por las que ha instalado. Seguido de las pruebas preliminares de los equipos y sistemas se introducen las sustancias del proceso siguiendo la secuencia normal del flujo tecnológico una vez se hayan preparado los equipos de alta presión y temperatura y activados los sistemas auxiliares. Acompañando la operación de la planta se verifica el comportamiento de las variables

4. CONCLUSIÓN

Partiendo del planteamiento de los fundamentos metodológicos para la asimilación de tecnologías, teniendo en cuenta aspectos empresariales, de mercado, de evaluación tecnológica, económica y medioambiental, es provechoso considerar un modelo heurístico que facilite las acciones para la conducción de las actividades correspondientes a la adopción de nuevas capacidades industriales. La secuencia

5. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Ashar, N., y Golwalkar, K., A practical guide to the manufacture of sulfuric acid, oleums, and sulfonating agents, MacGraw-Hill, Reino Unido, 2013. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-02042-6>.

Bahamonde, D., Estudio de la obtención de ácido sulfúrico por métodos de contacto, Tesis de grado. Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, 2021. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24391/1/T-ESPEL-IPE-0070>.

Bonachea, M. Pérez, O., y Pedraza, J., Procedimiento de evaluación y adaptación de tecnología para el incremento de la producción de líquido asfáltico., Centro Azúcar Vol 48, No. 3, 2021, pp. 98-107. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n3/2223-4861-caz-48-03-98>.

Bravo, D. y col., Prefactibilidad técnica y económica para el diseño de una planta combinada de ácido sulfúrico y dióxido de azufre líquido a partir de azufre elemental, Tesis de Grado, Universidad

físicas con el apoyo del laboratorio de la planta y según el comportamiento de estas se maniobrará en planta de acuerdo con el plan tecnológico desarrollado. El análisis de estas variables ofrecerá en tiempo real la calidad de las actividades desarrolladas para la preparación de la puesta en marcha y la operación normal de la planta de procesos.

Desde el punto de vista metodológico este modelo integra principios desarrollados previamente como la relación mercado-disponibilidad de la materia prima con otros como la relación secuencial entre las obras constructivas, la preparación tecnológica y las pruebas preliminares de los equipos y sistemas, acompañados de evaluaciones energética, medio ambiental y económica de la operación de la planta.

lógica exige la definición exacta de la capacidad de la planta, los compromisos ambientales y energéticos, así como el rol de las entidades involucradas y sus responsabilidades en el proyecto. El desarrollo de las pruebas de riesgo sobre el sistema tecnológico y el rechequeo de los equipos son las actividades que incidirán en como garantía de seguridad y factibilidad del proyecto ingenieril.

Tecnológica de Valparaíso, Chile, 2014. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0500/UCF0564_01.

Castillo, J., Carmona, J., Ley, N., González, E., y de León Benítez, J., Estrategia para la evaluación de las posibilidades de modificación de una planta de ácido sulfúrico. Centro Azúcar, 48(4), 12-23, 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612021000400012.

Dueñas, L. C., de Lucas Martínez, A., Fernández, F. R., y Marcos, M., Metodologías del diseño aplicado y gestión de proyectos para Ingenieros Químicos (Vol. 58). Universidad de Castilla La Mancha, España, 2010. https://books.google.com/cu/books/about/Metodolog%C3%ADas_del_dise%C3%B1o_aplicado_y_ges.html?id=pD08ygAACAAJ&redir_esc=y.

Hernández, J.P., García, A., y González, E., Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa exploratoria del

- Análisis Complejo de Procesos en plantas de gases industriales., Tecnología Química, Vol. XXIX, No. 1, 2009, pp. 17-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543758003>.
- Iglesias, G. Asimilación tecnológica y puesta en marcha de una planta industrial de ácido sulfúrico concentrado, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2022. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/19>.
- Killcross, M., Chemical and process plant commissioning handbook: A practical guide to plant system and equipment installation and commissioning. Butterworth-Heinemann, Estados Unidos, 2021 <https://www.elsevier.com/books/chemical-and-process-plant-commissioning-handbook/killcross/978-0-12-824049-6>.
- King, M., Moats, M., y Davenport, W. G., Sulfuric acid manufacture: Analysis, control and optimization, Newnes, Australia, 2013. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VxuHCdW7kYwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Sulfuric+acid+manufactur>
- [e:+Analysis,+control+and+optimization](#).
- Kumareswaran, S. (2013). Design of a Plant to Manufacture Sulfuric Acid from Sulfur, Tesis de Doctorado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Moratuwa, Canadá, 2013. https://www.researchgate.net/publication/286199169_Design_of_a_Plant_to_Manufacture_Sulfuric_Acid_from_Sulfur.
- Ley, N., y González, V., Aspectos metodológicos para la transferencia tecnológica en un proceso químico., Revista Ingeniería Química de Uruguay, No. 29, Julio, 2006, pp. 30-34.
- Pérez, O., González, E., y Ley, N., Procedimiento estratégico de desarrollo de procesos agroindustriales complementado con asimilación tecnológica., Centro Azúcar, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 47-58. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/641.
- Vidal, C., Evaluación de la Gestión Energética de la Refinería “Sergio Soto Valdés”, Tesis presentada en opción al título de Ingeniera Química, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Cuba, 2017