

Escalado primario de plantas para la obtención de biocombustibles

Primary scaling up of plants for the obtaining of biofuels

Carlos René Gómez Pérez crene@uclv.edu.cu

Facultad de ingeniería Mecánica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

Romel García romelquaich@yahoo.com,

Facultad de Ingeniería. Universidad San Carlos de Guatemala (USAC).

Erenio González Suárez erenio@uclv.edu.cu

Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

Gretel Villanueva Ramos. gretel@uclv.edu.cu

Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

RESUMEN

En el trabajo se plantean algunos criterios metodológicos para el diseño primario de una planta experimental destinada a la obtención de biodiesel. Para ello, se parte del procedimiento convencional para el diseño de prototipos de plantas piloto y la concepción empleada en proyectos de escalado primario. El trabajo aborda algunas ideas de cómo, partiendo solo de experiencias a escala de laboratorio, puede esbozarse un esquema estratégico conceptual para el desarrollo de las plantas pilotos preliminares.

Para el desarrollo constructivo de una planta piloto de biocombustibles, han de considerarse presupuestos generales, tales como la diversidad, la complejidad y la flexibilidad constructivas. Sin embargo, la secuencia de diseño y su complejidad estructural y operativa ha de satisfacer, tanto las exigencias de los laboratoristas, como las de los operarios que las harán funcionar.

Palabras clave: Diseño de plantas piloto, escalado de plantas.

ABSTRACT

For the primary design of an experimental plant dedicated to the biodiesel obtaining in the work they think about some methodological approaches. For it, we leave of the conventional procedure for the design of pilot plants prototypes and the conception used in projects of having primary scaling up. The work approaches some ideas of how, leaving alone of experiences to laboratory scale, a conceptual strategic outline can be sketched for the development of the plants-pilots preliminary. For the constructive development of a plant-pilot of biofuel, general budgets must consider, such as the diversity, the complexity and the constructive flexibility. However, the design sequence and their structural and operative complexity must satisfy so much the demands of the scientific, as those of the operatives that will make them work.

Key words: Design pilot plant, plant scaling up.

INTRODUCCIÓN

Al estudiar situaciones industriales reales, la necesidad de adaptarse a un entorno muy complejo y cambiante, con una serie de características propias que difícilmente pueden introducirse en un modelo matemático sencillo (por ejemplo, políticas de empresa), suele llevar a situaciones inabordables a través de las formulaciones y los procedimientos de cálculo que habitualmente se aplican a diferentes problemas de optimización. Por otra parte, la utilización de modelos simplificados suele ser en detrimento del rigor necesario, dando lugar a soluciones incorrectas o incluso irrealizables. En consecuencia, para conseguir resultados aceptables será necesario utilizar procedimientos basados en el conocimiento específico de cada caso concreto¹. Sin embargo, el diseño primario de una planta, es decir, el escalado del laboratorio a una planta, por pequeña que esta sea, conduce a la transformación de la base experimental, no solo en tamaños sino en formas y materiales.

DESARROLLO

Criterios Metodológico-conceptuales

Un procedimiento convencional para el diseño de plantas piloto se puede enmarcar (Figura 1) en el escalado de las experiencias de laboratorio, a partir de consideraciones estándares de diseño.

A partir de la experiencia de laboratorio y de las etapas u operaciones del flujo productivo deben establecerse los requisitos de explotación de cada uno de los equipos, sobre los cuales se establecen las necesidades de diseño (dimensiones, formas, materiales) y los requisitos de fabricación; es decir, los procesos de elaboración más convenientes para la obtención de las formas y los acabados superficiales requeridos en el proceso en cuestión (fundición, conformación, maquinado, soldadura).

Desde un análisis integral de estos aspectos se desglosan los costos de fabricación, explotación y mantenimiento. El equilibrio del presupuesto asignado para cada etapa establece, en muchas ocasiones, la estrategia de diseño.

Precisamente por ello, comúnmente 2,3 son reconocidos los costos de fabricación, de explotación y de mantenimiento como las bases esenciales a considerar para el escalado de plantas. Sin embargo, a criterio de los autores se requiere la consideración de otros principios esenciales, tales como: Proporcionalidad equilibrada; Flexibilidad operativa o multifuncionalidad; Independencia operacional; Simplicidad operativa; Independencia energética; Economía del mantenimiento; Economía de la fabricación; Economía de la explotación; Seguridad en el diseño y Responsabilidad ambiental.



Figura 1. Esquema convencional para el diseño de prototipos de plantas piloto

El *principio de la proporcionalidad equilibrada* se sustenta en la necesidad de mantener una correspondencia unívoca entre los procesos o etapas de la escala de laboratorio y la escala de planta piloto; es decir, proporcionalidad equivalente entre los flujos productivos, respecto a los volúmenes de los equipos para eliminar los llamados “cuellos de botella”, lo que tiende a complicar el diseño de las instalaciones y sus respectivas interconexiones productivas.

El *principio de la flexibilidad operativa o multifuncionalidad de las etapas* incluye la potencialidad para la modificación de tipos de materias primas, rangos de tratamiento o su independencia, si fuera necesario, para su uso en otra actividad. Este principio conduce a incrementar las posibilidades de explotación de la planta, pero introduce un potencial incremento de los costos constructivos y de instalación. La flexibilidad es una ventaja clave para el desarrollo del mercado, pero las economías de escala son también importantes en el contexto de construcción de plantas, porque el coste de una planta con el doble de capacidad normalmente no se duplica.³ El reto ingenieril está en la solución de esta contradicción.

Una posible solución a la problemática anterior lo constituye la aplicación del *principio de independencia operacional de las etapas*. Este supuesto se basa en el diseño de la planta como una suma de operaciones unitarias diferentes asociadas a equipos para las mismas (en reactores: tratamiento enzimático o transesterificación, etc.) con alta potencialidad de independencia o compartimentación en bloques asociados (evaporación y condensación). Esta estrategia permite, a partir de una planta inicial, crecer en la obtención de coproductos, o sobre la base de una anterior, desarrollar una nueva, solo adicionando las operaciones unitarias necesarias, reduciendo a largo plazo, los costos de las nuevas inversiones.

El *principio de simplicidad operativa* de las etapas basa su fundamento en la simplificación del diseño constructivo de los equipos; es decir, en la reducción a escala mínima del número de operaciones y de equipos relacionados, su grado de accionamiento mecánico requerido (fácil manipulación para las operaciones de carga y descarga, uso de las partes móviles indispensables, empleo de controles mínimos

necesarios, etc.).

El *principio de independencia energética de las etapas* consiste en la potencialización de la sustentabilidad energética de cada etapa de forma independiente. Este principio permite la operación por secciones y la regulación de la carga energética con mayor eficiencia.

La materialización de un ciclo sencillo del control productivo, con el diseño y la colocación en planta de equipos accesibles, además de la construcción de los mismos a partir de piezas estandarizadas, conforman el *principio de economía del mantenimiento* durante el diseño de plantas multipropósito, que se conjuga con el *principio de la economía de la fabricación* y el *principio de la economía de la explotación*.

La *seguridad en el diseño (constructiva)* se enmarca en tres consideraciones básicas⁴. La primera directamente relacionada con las condiciones de diseño que garantice que las personas intervinientes no sufran daño ni peligro alguno, en su ambiente de trabajo. La segunda consideración es la relacionada con la confiabilidad de los equipos de proceso y el proceso en su conjunto. La tercera encierra todos los dispositivos auxiliares, su cálculo y/o adopción para dar garantía al cumplimiento de los dos primeros presupuestos básicos considerados.

Unido a este principio se plantea el de *responsabilidad ambiental*, que debe ajustarse⁵ a las normas y procedimientos legales de cada país y región en particular.

La consideración de todos los aspectos antes mencionados conduce a meditar sobre los *criterios que deben ser considerados para la evaluación de proyectos mecánicos de plantas pilotos* destinadas a la obtención de biocombustibles.

La aplicación integral de todos los principios anteriormente expuestos presupone contradicciones, algunas veces insalvables. Una forma de exponer (Figura 2) las contradicciones producidas por la aplicación de los principios anteriormente mencionados, se puede analizar a través de una propuesta de estrategia integral para lograr un equilibrio entre las etapas de concepción (laboratorio) y de aplicación (escalado) durante el diseño de plantas pilotos.

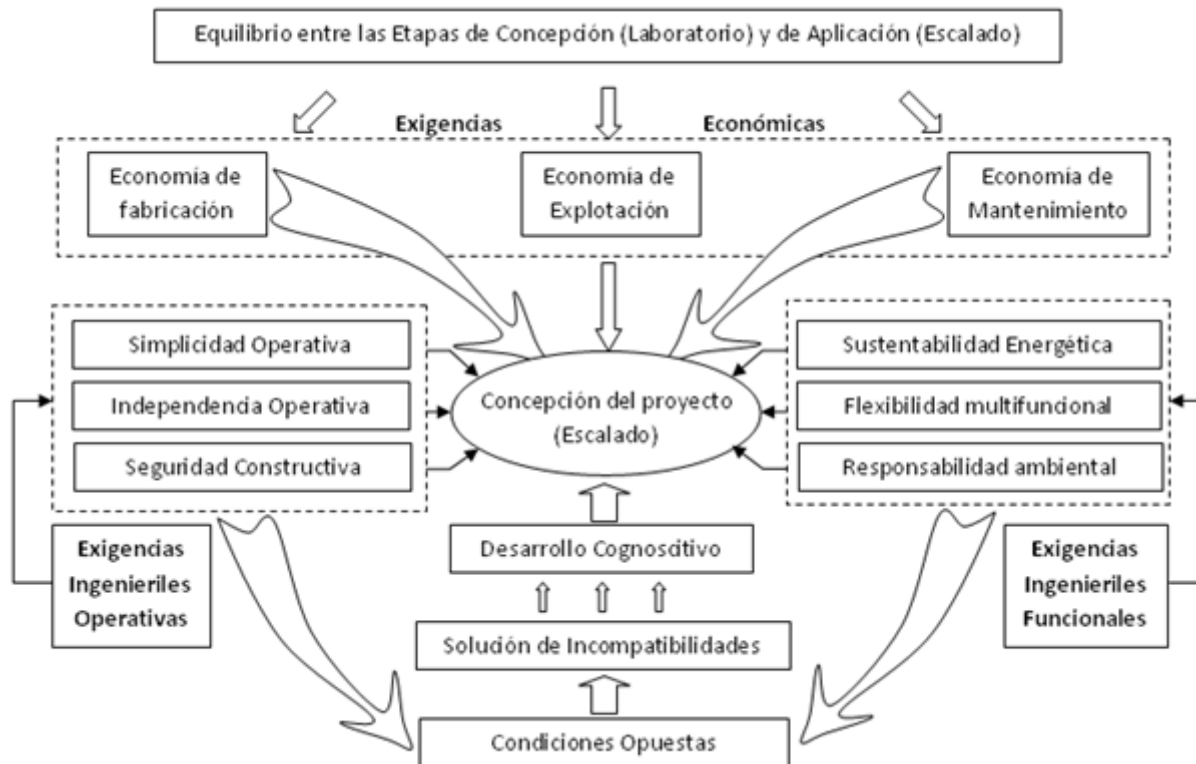


Figura 2. Esquema estratégico conceptual para el desarrollo de plantas piloto

La *diversidad constructiva* está asociada a la variedad de tipos de equipos y de las funciones que realizan, así como de los parámetros explotacionales con los cuales trabajarán (según el tipo de materia prima a tratar y las cantidades y tipos de coproductos a obtener).

La *complejidad constructiva* se define por el orden operacional y condiciones de funcionamiento (requisitos técnicos de operación, reactividades de las sustancias, necesidad de enfriamiento y calentamiento, medio empleando para ello, inocuidad, presiones de trabajo, etc.).

La *flexibilidad constructiva* estará dada por la adaptabilidad a otros procesos, áreas o locales preestablecidos, requisitos de funcionamiento de equipos auxiliares existentes (sus capacidades de trabajo y ubicación), etc.

Observando los presupuestos generales anteriormente expuestos, uno de los aspectos a considerar para el diseño mecánico del escalado de equipamiento para procesos a volúmenes de planta piloto lo constituye *el lugar de emplazamiento de la instalación terminada*.

Atendiendo a estos criterios es recomendable considerar los aspectos siguientes: área disponible; condiciones energéticas existentes (vapor, energía eléctrica y su potencia; servicios auxiliares disponibles (agua, alcantarillado); ubicación (respecto a los suministradores de materia prima y a los clientes); relación con el entorno (parque tecnológico, universidad, parque industrial, etc.).

Relativa alta importancia poseen los cuatro primeros aspectos; sin embargo, no es así respecto a la relación con el entorno. Las potencialidades del marco externo al emplazamiento constituyen un eslabón importante para abaratar los costos de fabricación, montaje, operación y mantenimiento. Las capacidades instaladas y la experiencia desarrollada en el entorno son de suma importancia durante la concepción de la nueva planta.

Además de lo anteriormente expuesto, es de suma importancia tener en cuenta consideraciones relativas a la *selección y trabajo con los especialistas* que abordarán el diseño de plantas pilotos, a saber: el grado de especialización de cada uno de los miembros del grupo de trabajo; las normas para el desarrollo eficiente del trabajo en grupos multidisciplinarios y la eficiencia y la eficacia del grupo de diseño mecánico.

En cuanto a esto se prefieren grupos de especialistas multidisciplinarios enmarcados dentro de los campos de conocimientos siguientes: materiales (propiedades mecánicas, anticorrosivas, etc.); procesos (flujos productivos, tiempos de carga y descarga, etc.); mecánicos (resistencia de materiales, flujos, temperaturas, etc.) y explotación (operación, mantenimiento, economía, etc.).

De forma similar, es necesario considerar algunos *... criterios para la selección del constructor*: experiencia en la producción de equipos para plantas químicas (especializado en el tema); experiencia en la producción de equipos pequeños (conocimiento sobre la tecnología de explotación flexible); experiencia en la producción de equipos por encargo (capacidad de producción adaptativa); experiencia en el montaje de miniplantas (capacidad de integrar la obra) y capacidad de realizar modificaciones sobre los prototipos “in situ”.

Muchos son los factores y consideraciones necesarias para conducir al éxito la extrapolación científica de la concepción (idea, incluso probada en el laboratorio por los especialistas químicos) a la materialización de una planta química. Las transformaciones en el equipamiento, en los procedimientos operativos, en las concepciones de trabajo son extraordinarias.

De la experiencia práctica de los autores en el desarrollo de proyectos de construcción de miniplantas químicas, puede afirmarse que en muchas ocasiones no se cuenta con el presupuesto necesario para la fabricación de recintos para albergar plantas pilotos, lo que no permite considerar aspectos esenciales sobre los aspectos que afectan la selección del lugar⁶. Para solventar esta dificultad se ha optado por escoger recintos ya existentes, diseñados para otros fines. Sin embargo, estas soluciones constituyen verdaderas camisas de fuerza para el correcto aprovechamiento lógico secuencial de los procesos a instalar. Precisamente, uno de los aspectos importantes a considerar en cuanto a ello es la *relación entre el espacio disponible para la instalación y el diseño mecánico de Los equipos*. En cuanto a este aspecto ha de considerarse las relaciones entre: el espacio disponible y las operaciones de carga y descarga; la altura disponible

y la consecutividad operacional; y el área periférica de cada equipo con las operaciones de control de proceso, mantenimiento y reparaciones asociadas.

Dentro de las condiciones para el planteamiento de la planta experimental, que deciden las capacidades de los equipos, y con ello sus dimensiones, espesores de pared, costos, etc., se encuentran: 1.- La cantidad de jornadas laborales, en correspondencia con el tiempo de permanencia de cada proceso (específicamente define los volúmenes a trabajar en cada equipo); 2.- La cantidad de personal involucrado en la operación del proceso tecnológico a escala de planta (define el costo de operación); 3.- La cultura técnica y la idiosincrasia social del personal involucrado en la operación de la planta (decide la exigencia en el diseño del equipamiento y de los controles necesarios); 4.- Las políticas nacionales sobre seguridad, protección e higiene del trabajo y de conservación del medio ambiente.

Una vez instaladas, a las plantas pilotos ha de realizárseles una revisión a fondo del equipamiento y de su instalación, para lo cual han de desarrollarse, entre otras, las actividades siguientes: 1.- *Revisión de la calidad constructiva de cada uno de los equipos*, en comparación con los estándares preestablecidos por diseño y empleando las técnicas y medios adecuados (inspección “in situ” empleando líquidos penetrantes, ultrasonido o inspección radiográfica, según se necesite, sobre las uniones soldadas de los equipos presurizados o sometidos a relativa alta temperatura), independientemente de la garantía del fabricante; 2.- *Revisión de la instalación y del estado técnico de la instrumentación* añadida a los equipos, en función de los parámetros operativos de funcionamiento del equipamiento y de las normas de seguridad previamente establecidas para su colocación; 3.- *Inspección de posicionamiento espacial* acorde al plano de instalación preestablecido; 4.- *Revisión de las conexiones de alimentación y extracción de sustancias* (sólidos, vapor, líquidos, etc.) y *de energía eléctrica*; 5.- *Inspección de conductos presurizados y no presurizados y de su aislamiento térmico*;

6.- Realización de las pruebas en vacío para cada equipo, según las especificaciones de diseño; 7.- Realización de una prueba sin carga de la planta; 8.- Realización de una prueba de la planta con carga al 80 % y al 100 %.

Las plantas pilotos destinadas a la obtención de biocombustibles, atendiendo al criterio de flexibilidad operativa o multifuncionalidad, deben considerar las *perspectivas en el diseño integrado de procesos de plantas para biocombustibles*, dentro de las cuales ha de tenerse en cuenta que:

1. No solo son importantes los biocombustibles, como productos fundamentales del proceso, sino los coproductos que del proceso se derivan (atención al concepto de biorrefinería).

2. La obtención de coproductos y su procesamiento conduce a complejizar las plantas hacia áreas de menores volúmenes productivos y mayores requisitos de explotación (equipos complejos de construir, instalar y mantener).

3. La reducción del volumen y el incremento de la temperatura, junto a la operación con sustancias corrosivas conducen a la complicación del diseño mecánico.

4. Aparecen reactores presurizados, sometidos a ciclos térmicos de enfriamiento brusco, con volúmenes pequeños de trabajo, pero también en sus áreas superficiales, donde han de instalarse las conexiones necesarias para su funcionamiento.

5. El diseño mecánico de estos equipos no está estereotipado en códigos de prestigio internacionales.

6. Se requieren de herramientas investigativas conjugadas en el campo de la modelación de las condiciones explotacionales, que no siempre son confiables, ni están disponibles.

2. Dentro de los presupuestos generales en el desarrollo constructivo de una planta piloto para la obtención de biocombustibles han de considerarse la Diversidad, la Complejidad y la Flexibilidad constructivas.

Bibliografía

1. España-Camarasa, A., *Contribución al estudio de plantas químicas multiproducto de proceso discontinuo*, Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona (UPC), Barcelona, 1994.

2. Speight, J.G.: *Chemical and process Design Handbook*. McGraw-hill, 2 548 pp., 2002.

3. Anónimo: *Cambios radicales en la construcción y diseño de plantas químicas. Química*. Dechema. 2009 [citado 2009 23-09-2009]; Disponible en: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/Articulo.asp?A=33974>.

4. Anónimo: *Consideraciones de seguridad en el diseño de plantas químicas*. 2009 [citado 23-09-2009]; Disponible en: <http://www.modeloingenieria.edu.ar/unl/proyind/apuntes/seguridad.pdf>.

5. Gómez, C.: *La industria de la refinación de aceite mineral usado en Argentina*. 2007 [citado 2009 18/11]; Disponible en: http://www.cema.edu.ar/posgrado/download/tesinas2007/MADE_Hernandez.pdf

6. Anónimo: *Diseño de plantas químicas*. 2009 [citado 29-03-2009]; Disponible en: http://www.uca.edu.sv/deptos/dae/seleccion_de_tamano_y_localizacion.pdf

Conclusiones

1. El equilibrio del presupuestario asignado para cada etapa de diseño de plantas pilotos, a partir del escalado de etapas simples de laboratorio, requiere la consideración de los principios esenciales siguientes: Proporcionalidad equilibrada, Flexibilidad operativa o multifuncionalidad, Independencia operacional, Simplicidad operativa, Independencia energética, Economía del mantenimiento, Economía de la fabricación, Economía de la explotación, Seguridad en el diseño y Responsabilidad ambiental.