

# Proyecto de diseño, selección de materiales, construcción y pruebas en marcha de una planta piloto para la producción de biodiesel a partir de microalgas

Ing. Juan Francisco Cedano Lezcano<sup>1</sup>,

**Resumen**—Debido a la situación actual provocada por el agotamiento de los combustibles fósiles, incremento de los precios del petróleo y las dificultades ambientales, se están demandando urgentemente fuentes alternas de energía siendo una opción promisoría el biodiesel el cual es producido primordialmente a partir de aceites provenientes de plantas oleaginosas, cuya disponibilidad desgraciadamente en estos momentos, todavía es incapaz de sustituir el mercado de hidrocarburos fósiles en México y el mundo.

Este trabajo muestra los parámetros de diseño necesarios para la construcción de una planta de biodiesel que permitirá saber las especificaciones necesarias a considerar para la construcción y escalamiento de dichas tecnología.

Los procesos necesarios a considerar y los servicios auxiliares necesarios para asegurar las condiciones de crecimiento de las microalgas, factores importantes para lograr la sustentabilidad de la planta y sus sistemas de operación.

**Palabras clave**—bases de diseño, biomasa, microalgas, fotobioreactores, procesos.

## Introducción

Actualmente los sistemas de cultivo de microalgas presentan ciertas limitantes tales como la escasez de información para su escalamiento, la dificultad para el mantenimiento de monocultivos, los elevados costos de operación para la producción y recolección de la biomasa de microalgas, ante estos inconvenientes, la optimización de los sistemas de cultivo de microalgas es imprescindible.

Por lo que el siguiente trabajo diseña algunos criterios metodológicos para la elaboración de las bases de diseño mecánico de una planta piloto, para el estudio experimental de la obtención de biodiesel a partir de microalgas. Se aborda el proyecto ingenieril para el diseño mecánico de la Planta Piloto y de forma concurrente estudiar el escalado de la tecnología de producción de biodiesel de la referida materia prima, partiendo del procedimiento convencional para el diseño de plantas piloto y la concepción empleada en el proyecto, proyectando un esquema estratégico conceptual para el desarrollo de la planta piloto. Se tratan específicamente las particularidades técnicas de los equipos mecánicos estáticos y dinámicos usados en el proceso de la misma y necesarios para la sustentabilidad del cultivo de microalgas, las especificaciones técnicas de los sistemas de tubería empleados en la planta de biomasa, así también se abordara la distribución necesaria de los equipos y los servicios necesarios para su operación, se consideran temas de pruebas y puesta en operación de los principales equipos y sus consideraciones empleadas en su instalación, dicha planta se encuentra instalada en el parque industrial Tabasco Bisnes Center en Cunduacán Tabasco,.

## Descripción del Método

### *Reseña de las dificultades de la búsqueda*

Existen diversos factores a considerar para la elaboración de las bases de diseño, pero determinaremos un procedimiento convencional para el diseño mecánico de plantas piloto se puede enmarcar (Figura 1) en el escalado de las experiencias de laboratorio, a partir de consideraciones estándares de diseño. Figura 1. Se realizara un procedimiento convencional para el desarrollo de diseño de prototipo de plantas piloto se establecen los requisitos de cada una de las etapas y sus equipos particulares, sobre los cuales se establecen los requisitos de diseño (dimensiones, formas, materiales) y, a partir de los mismos, se estiman 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).

<sup>1</sup> Juan Francisco Cedano Lezcano Ing. es Líder de proyectos de la especialidad de Sistemas Mecánicos de la empresa CIATEQ Sede Tabasco [juan.cedano@ciateq.mx](mailto:juan.cedano@ciateq.mx)

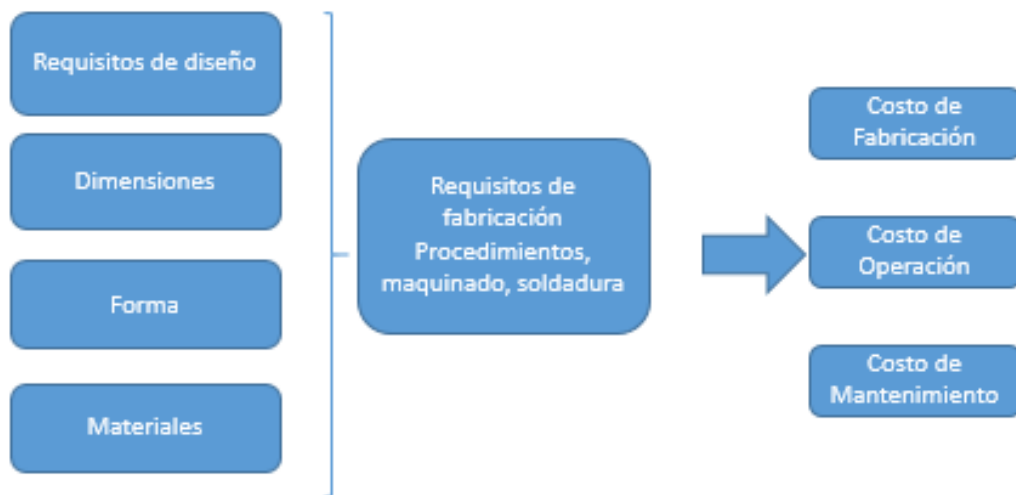


Figura 1. Procedimiento convencional para el desarrollo de diseño de prototipo de plantas piloto

Los principales factores que determinaran la base de diseño serán factores que determinaran los carcteristicas para el crecimiento de las microalgas, Luz, temperatura, Nutrientes, pH, turbulencia y mezclado y el tipo de fotobioreacotr a utilizar.

La intensidad de la luz es uno de los factores importantes para el crecimiento fotosintético de las microalgas. Los sistemas de cultivos de microalgas estos pueden ser iluminados por luz artificial, luz solar. Entre los sistemas de cultivo de algas con iluminación natural con grandes áreas de iluminación son los que están al aire libre. Mientras que los sistemas de biorreactores empleados a nivel laboratorio son iluminados interna o externamente por luz artificial con lámparas fluorescentes y diodos emisores de luz (ligh emitting diodes, LED) entre otros. Para que la luz artificial sea de utilidad en el proceso fotosintético de las microalgas, los fotones generados deben encontrarse a una longitud de onda de entre los 600 y 700 nm.

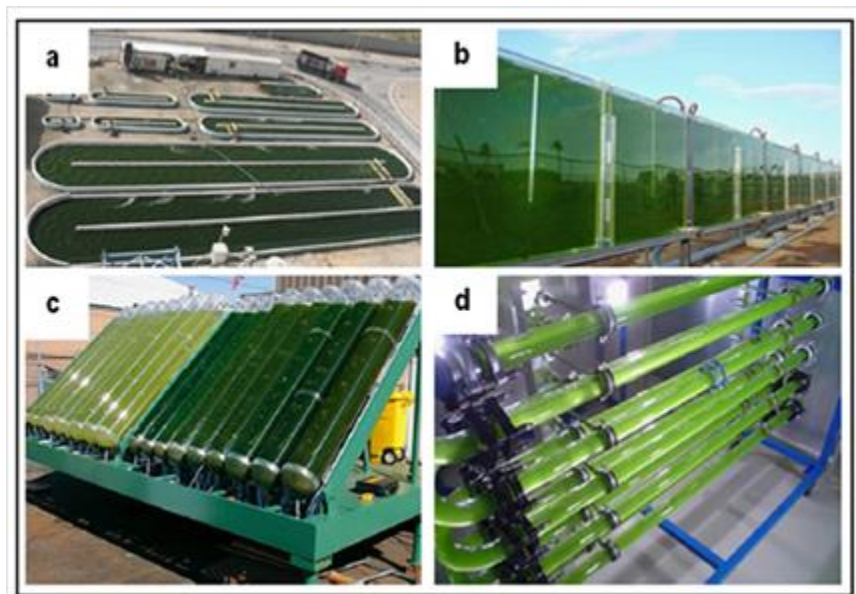
El CO<sub>2</sub> es la fuente de carbono más utilizada en cultivos de microalgas. Al consumirse el carbono, el oxígeno es producido por fotólisis del agua y este es diluido en el medio de cultivo (Molina y col., 1999). En el Cuadro 1, se muestra la tolerancia al CO<sub>2</sub> por diferentes especies de microalgas, en donde se observa que algunas especies como *Tetraselmis sp.*, *Chlamydomonas sp.*, y *Nannochloris sp.* Necesitan una cantidad menor al 15 % de CO<sub>2</sub> para su crecimiento, mientras que especies como *Scenedesmus sp.* y *Cyanidium caldarium* toleran concentraciones desde un 80 hasta un 100% respectivamente (Ono y Cuello, 2003).

Especie	Tolerancia máxima de concentración de CO <sub>2</sub>
<i>Cyanidium caldarium</i>	100%
<i>Scenedesmus sp.</i>	80%
<i>Chlorococcum littorale</i>	60%
<i>Synechococcus elongatus</i>	60%
<i>Euglena gracilis</i>	45%
<i>Chlorella sp.</i>	40%
<i>Eudorina sp.</i>	20%
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	15%
<i>Nannochloris sp.</i>	15%
<i>Chlamydomonas sp.</i>	15%
<i>Tetraselmis sp.</i>	14%

La temperatura óptima para el cultivo de microalgas se encuentra generalmente entre los 20 y 24 °C, no obstante, esto varía dependiendo del medio de cultivo, la especie y la cepa utilizada. Comúnmente, los cultivos de microalgas toleran temperaturas de entre 16 y 27 °C, en donde a temperaturas menores a 16 °C disminuyen el crecimiento, mientras que una temperatura mayor a los 35 °C resulta ser letal para un gran número de especies (Mehlitz, 2009), por lo que el proceso puede ocupar materiales plásticos de CPVC o PVC sin mayor problema, ya que no representa mayor presión en los el proceso.

Turbulencia y mezclado Para cualquier tipo de reactor usado en el cultivo de algas un mezclado eficiente debe ser proporcionado con el fin de producir una dispersión uniforme de las microalgas en el medio de cultivo, eliminando así los gradientes de concentración de luz, nutrientes (entre ellos CO<sub>2</sub>) y temperatura, es importante la selección del método de equipo el compresor y soplador debe cumplir los requerimientos del sistema. El método a emplear debe permitir la reproducción de las microalgas.

Existen diversos tipos de fotobioreactores probados actualmente: (a) estanque abierto, (b) placa delgada, (c) tubular inclinado y (d) continuo horizontal (Bitog y col., 2009).



*Los factores principales a considerar son* Facilidad para cosechar la biomasa, mantenimiento del cultivo sin contaminación, mejor control de las condiciones de cultivo, menor inversión de capital en el fotobiorreacto, este último factor es un elemento importante en el costo de producción de productos derivados de microalgas ya que es factor determinante de los equipos auxiliares que necesitara para la reproducción de las microalgas.

*Los servicios auxiliares representan una parte importante ya que determinarán la calidad del agua, la capacidad de burbujeo y el control de crecimiento, así mismo se debe dar un laboratorio que permita la correcta caracterización de los nutrientes y la evolución de vida del sistema.*

## Comentarios Finales

El proceso de

### Resumen de resultados

Se mostró los resultados de las condiciones a considerar en el diseño y construcción de una planta de microalgas, las condiciones actuales de la industria de los hidrocarburos permitirá ir desarrollando nuevas tecnologías para este tipo de plantas, así como la aplicación de materiales de menor costo para hacer el biodiesel por microalgas una opción en la industria energética.

### Conclusiones

Este trabajo permitirá tener los parámetros necesarios para la instalación de este tipo de plantas, permitiendo optimizar y mejorar los procesos de diseño, construcción y pruebas de este tipo de plantas en México, las cuales ayudará a la competitividad para la producción en un menor costo de la generación de combustibles generados por hidrocarburos.

### Recomendaciones

Los investigadores que deseen continuar con esta investigación debe ser énfasis a los requerimientos probados en laboratorio del proceso de crecimiento de las microalgas, los materiales empleados en los procesos constructivos de las plantas y los rendimientos obtenidos de producción de biodiesel por este método.

### Referencias bibliográficas

- Alyabyev A, Andreyeva I and Rachimova G. 2011. Influence of pH shift and salting on the energetics of microalgae *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella maritima*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 104: 201–207.
- Andersen R. 2005. Algal Culturing Techniques. USA. Elsevier. Cap 1:1-12
- Barbosa MJ, Hadiyanto H and Wijffels RH. 2004. Overcoming shear stress of microalgae cultures in sparged photobioreactors. Biotechnology and Bioengineering 85: 78-85.
- Barbosa MJ, Janssen M, Ham N, Tramper J and Wijffels RH. 2003. Microalgae cultivation in air-lift reactors: modeling biomass yield and growth rate as a function of mixing frequency. Biotechnology and Bioengineering 82: 170–179.
- Becker EW. 1994. Large-scale cultivation. New York: Cambridge University Press. In Microalgae: Biotechnology and Microbiology Book Review: 63-171.
- Bhosale P. 2004. Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids from microorganisms. Applied Microbiology and Biotechnology 63: 351–361.
- Bitog JP, Lee IB, Yoo JI, Hwang SB, Hong SW and Seo IH. 2009. Development of a large-sized photobioreactor for microalgae production. In Proceedings of the 2009 CIGR International Symposium of the Australian Society for Engineering in Agriculture, Brisbane, Queensland, Australia, September 13–16.
- Bohne F and Linden H. 2002. Regulation of carotenoid biosynthesis genes in response to light in *Chlamydomonas reinhardtii*. Biochimica et Biophysica Acta 1579: 26–34.
- Carvalho, P., Meireles, A. and Xavier, F. 2006. Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. Biotechnology Programs 22: 1490-1506.
- Chen F and John MR. 1991. Effect of C/N ratio and aeration on the fatty acid composition of heterotrophic *Chlorella sorokiniana*. Journal of Applied Phycology 3: 203–209.
- Chen GQ and Chen F. 2006. Growing phototrophic cells without light. Biotechnology Letters 28: 607–616.
- Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: 94–306.
- Chisti Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends in Biotechnology 26: 126–131.
- Fábregas J, Domínguez A, García-Álvarez D, Lamela T and Otero A. 1998. Induction of astaxanthin accumulation by nitrogen and magnesium deficiencies in *Haematococcus pluvialis*. Biotechnology Letters. 20: 623-626.
- Fernandes BD, Dragoner GM, Teixeira JA and Vicente AA. 2010. Light regime characterization in an airlift. Photobioreactor for production of microalgae with high starch content. Applied Biochemical and Biotechnology 61: 218–226.
- Fernández JM, García JL, García F, Molina E, Al-Dahhan MH, Huping L and Kemoun A. 2002. Integration of fluid dynamics, light regime and photosynthetic response in photobioreactors. 1st Congress of International Society for Applied Phycology. Roquetas de Mar, Almería, España.
- García-Malea MC, Ación FG, Fernández JM, Cerón MC and Molina E. 2006. Continuous production of green cells of *Haematococcus pluvialis*:

- Modeling of the irradiance effect. *Enzyme and Microbial Technology* 38: 981–989.
- González LE, Cañizares RO and Baena S. 1997. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology* 60: 259-262.
- Javanmardian M and Palsson BO. 1991. High-density photoautotrophic algal cultures: design, construction, and operation of a novel photobioreactor system. *Biotechnology and Bioengineering*. 38: 1182-1189.
- Kommareddy AR and Anderson GA. 2003. Study of light as a parameter in the growth of algae in a photo-bio reactor (PBR). ASAE Paper No. 034057. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Lorenz RT and Cysewski GR. 2000. Commercial potential of *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. *Trends in Biotechnology* 18: 160-167.
- Lou HP and Al-Dahhan MH. 2004. Analyzing and modeling of photobioreactors by combining first principles of physiology and hydrodynamics. *Biotechnology and Bioengineering* 85: 382-393.
- Lu C and Vonshak A. 1999. Photoinhibition in outdoor *Spirulina platensis* cultures assessed by polyphasic chlorophyll fluorescence transients. *Journal of Applied Phycology*. 11: 355-359.
- Martin FPH. 2010. Optimization of photobioreactor for astaxanthin production in *Chlorella zofingiensis*. Tesis de Maestría en Ingeniería. National University of Singapore.
- Mehlitz TH. 2009. Temperature influence and heat management requirements of microalgae cultivation in photobioreactors. Tesis de Maestría. California Polytechnic State University, USA.
- Molina GE, Acien FG, Fernandez J, Camacho F and Chisti Y. 1999. Photobioreactors: light regime, mass transfer and scale up. *Journal of Biotechnology* 70: 231–247.
- Mosqueda-Cano G and Gutierrez-Corona JF. 1995. Environmental and developmental regulation of carotenogenesis in the dimorphic fungus *Mucor rouxii*. *Current Microbiology*. 31: 141–145.
- Norton TA, Melkonian N and Andersen R. 1996. Algal biodiversity. *Phycologia*. 35: 308–326. *Journal of Applied Phycology* 5: 327-332.
- Richmond A. 1996. Efficient utilization of high irradiance for production of photoautotrophic cell mass: a survey. *Journal of Applied Phycology* 8: 381-387.
- Sánchez A, García F, Contreras A, Molina E and Chisti Y. 2000. Bubble column and airlift photobioreactors for algal culture. *AIChE Journal* 46: 1872-1877.
- Sierra E, Acien FG, Fernandez JM, Garcia JL, Gonzales C and Molina E. 2008. Characterization of a flat plate photobioreactor for the production of microalgae. *Chemical Engineering Journal* 138: 136–147.
- Singh RN and Sharma S. 2012. Development of suitable photobioreactor for algae production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2347– 2353.
- Sylvestre S, Lessard P and De la Noüe J. 1996. Performance d'un photobioreacteur utilisant la cyanobactérie *Phormidium bohneri* pour l'enlèvement de l'azote et du phosphore. *Environmental Technology*. 17: 697-706.
- Torzillo G, Pushparaj B, Bocci F, Balloni W, Materassi R and Florenzano G. 1986. Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass* 11: 61-64.
- Tsoglin LN, Gabel BV, Falkovich TN and Semenenko VE. 1996. Closed photobioreactors for microalgal production. *Russian Journal of Plant Physiology* 43: 131–136.
- Ugwu CU, Aoyagi H and Uchiyama H. 2008. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology* 99: 4021–4028.
- Van Beilen JB. 2010. Why microalgal biofuels won't save the internal combustion machine.

### Notas Biográficas

El Ing. Juan Francisco Cedano Lezcano participo en el proyecto de diseño y construcción de una planta de biodiesel por microalgas en el estado de Tabasco México.

### Apéndice

Cuestionario utilizado en la investigación

1. ¿existe plantas de biodiesel en México?
2. ¿Las microalgas se desarrollan en México?
3. Es viable el desarrollo de plantas de biodiesel por microalgas en México?