

Fábricas modulares: desafíos, retos y oportunidades en Sudamérica

Franco Troncoso
PhD en Ingeniería Química
Universidad Nacional del Sur
Power-to-X Engineer
troncosofr@gmail.com

El constante cambio en las condiciones de los mercados y la evolución en la personalización de los productos obligan a las industrias manufactureras a adaptarse rápidamente para mantener su competitividad. En este contexto, las fábricas modulares de manufactura han surgido como una solución innovadora para enfrentar los desafíos de flexibilidad, escalabilidad y eficiencia.

Las fábricas modulares son instalaciones diseñadas para ser construidas, modificadas y escaladas con rapidez mediante el uso de módulos prefabricados. Estos módulos, producidos en un entorno controlado fuera del sitio de producción final, se ensamblan en el lugar, lo que permite una construcción más rápida, menos costosa y menos disruptiva en comparación con las fábricas tradicionales. Este enfoque ofrece una gran flexibilidad, ya que los módulos pueden agregarse, retirarse o reconfigurarse según sea necesario para adaptarse a los cambios en la demanda del mercado o en los procesos de producción. Además, es posible instalar múltiples líneas modulares en paralelo para aumentar el volumen de producción. Entre las principales ventajas de la implementación de fábricas modulares se destacan:

Flexibilidad y adaptabilidad:

Las fábricas modulares pueden adaptarse rápidamente a cambios repentinos en la demanda de un producto. En las industrias manufactureras tradicionales, modificar las condiciones operativas de toda una línea de producción conlleva un elevado costo económico. Uno de los sectores con mayor auge en el uso de fábricas modulares es la industria automotriz, donde los productos pueden compartir características comunes (motor, chasis, carrocería), mientras que la personalización (color, accesorios)

es un atributo sumamente valorado. Mediante la integración de módulos específicos, como los de pintura y colocación de accesorios, es posible aumentar la producción de un vehículo en particular en respuesta a un incremento en las ventas. Esta adaptabilidad evita la necesidad de realizar grandes inversiones en infraestructura fija para responder a cambios temporales en la demanda. Un ejemplo notable es Pfizer en la industria farmacéutica, que ha utilizado la modularidad para acelerar la producción de medicamentos esenciales, permitiéndoles reaccionar ante cambios repentinos en la demanda sin comprometer la calidad ni la seguridad.

Reducción de costos y tiempos de construcción:

Las grandes plantas de manufactura a menudo requieren la construcción de instalaciones auxiliares que provean los servicios necesarios, lo que implica elevados costos en las etapas tempranas que pueden hacer inviable el proyecto. Los módulos de producción están diseñados para funcionar con un enfoque *plug and play*, donde las conexiones de los servicios necesarios pueden ser fácilmente instaladas. De esta manera, se reduce significativamente el tiempo necesario para la puesta en marcha del proceso productivo, incluso acortando plazos de varios años a meses, dependiendo de la escala.

Eficiencia energética y sostenibilidad:

Los módulos prefabricados suelen diseñarse con altos estándares de eficiencia energética y empleando las tecnologías más modernas disponibles en el mercado. La construcción de módulos con tecnologías de alta eficiencia térmica y mecánica se traduce en un menor consumo de potencia eléctrica y una mayor integración energética en corrientes calientes y frías. En contraste, equipos a gran escala (como reactores, intercambiadores de calor, hornos y motores) suelen ser reemplazados por versiones más eficientes solo después de varios años, generalmente décadas. Esto se debe al elevado costo de inversión necesario y al hecho de que su reemplazo implica la pérdida de producción durante varios días o semanas.

A pesar de las oportunidades mencionadas anteriormente, las fábricas modulares también enfrentan varios desafíos, entre los cuales se destacan:

Limitaciones logísticas e infraestructuras:

La diversidad geográfica y las variaciones en el nivel de infraestructura representan desafíos significativos. Un ejemplo común es la valorización de residuos agrícolas para la generación de energía (biogás, biometano, bioetanol) en Brasil. Las grandes industrias de procesamiento se concentran en polos productivos como São Paulo, Río de Janeiro y Santa Catarina, cerca de las ciudades costeras. Sin embargo, una gran cantidad de co-productos (residuos de biomasa) dispersos en zonas agrícolas del interior del país no se explotan debido a la limitada infraestructura de transporte y la falta de líneas de transmisión eléctrica. La implementación de fábricas modulares para aprovechar estos recursos se ve restringida por estas limitaciones. Un caso similar es la explotación de litio en el norte de Argentina, donde la difícil accesibilidad limita la implementación de fábricas modulares cerca de los yacimientos minerales.

Disponibilidad de proveedores y materiales:

Todo proceso productivo requiere insumos y materiales. Si bien las fábricas modulares pueden instalarse en lugares remotos con una inversión menor en comparación con las industrias tradicionales, esto implica mayores costos de mantenimiento y operación. Otro aspecto importante es el tiempo de respuesta para el mantenimiento por parte de personal calificado. Los proveedores de equipos industriales suelen tener sus oficinas en capitales de países o en ciudades cercanas a grandes polos productivos, lo que genera demoras considerables en el asesoramiento y soporte para ubicaciones más remotas o industrias con menores volúmenes de producción.

Economía de escala:

A medida que aumenta el volumen de producción, el costo por unidad disminuye. Este parámetro es especialmente importante en la producción de *commodities*, donde no hay diferenciación en los productos. En estos casos, los equipos industriales de mayor capacidad presentan una mejor relación beneficio-costos que las unidades modulares; por ejemplo, un horno con una capacidad de 10 toneladas es más productivo que diez hornos modulares de 1 tonelada cada uno.

Control:

En las fábricas modulares, aumentar el volumen de producción comúnmente requiere la disposición de múltiples líneas modulares en paralelo. Desde el punto de vista del control de procesos, este enfoque plantea una mayor complejidad y un costo elevado en instrumentación e integración de interfaces, en comparación con una sola unidad de procesamiento de gran capacidad. Sin embargo, estos desafíos no han disuadido a líderes industriales como Embraer, uno de los principales fabricantes de aviones a nivel mundial y un símbolo de innovación en Brasil, de adaptar este enfoque.

En sus instalaciones en São José dos Campos, Embraer ha implementado el concepto de fábricas modulares para optimizar sus procesos de manufactura. La compañía ha utilizado módulos prefabricados para configurar áreas de ensamblaje especializadas que pueden ser rápidamente reconfiguradas según el modelo de avión en producción. Por ejemplo, cuando lanzaron su nueva línea de *jets* ejecutivos, se introdujeron módulos específicos diseñados para la instalación de sistemas electrónicos y acabados interiores de alta gama, que podían instalarse o retirarse en cuestión de días, comparado con los meses que tomaría realizar estos cambios en una planta tradicional.

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), la mayor empresa cuprífera del mundo, ha adoptado el enfoque modular en sus operaciones mineras para enfrentar los desafíos de mantenimiento y gestión de equipos en entornos difíciles. Un ejemplo concreto de esta aplicación se encuentra en la mina de Chuquicamata, una de las minas a cielo abierto más grandes del mundo. En este lugar, CODELCO ha instalado módulos para la gestión de residuos y al procesamiento inicial del mineral extraído, lo que permite una manipulación más eficiente de los recursos desde el punto de extracción.

Los casos de Embraer y CODELCO demuestran cómo las fábricas modulares de manufactura pueden ofrecer soluciones prácticas y efectivas en diferentes industrias de Sudamérica, desde la aeroespacial hasta la minera. Aunque cada sector enfrenta sus propios desafíos únicos, el enfoque modular ha demostrado ser una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia, reducir costos y adaptarse a un mercado en constante evolución.

Invito a los lectores a profundizar en este tema y descubrir las múltiples facetas de las fábricas modulares en esta edición de la *Revista Virtualpro*, donde continuaremos analizando las últimas tendencias y tecnologías que están dando forma al futuro de la manufactura en nuestra región.

Referencias

- Arribasplata Vásquez, P. A., y Vargas Duran, K. G. (2023). *Planta Industrial de Fabricación Modular y Villa Modelo en el distrito de Lurín–Lima* [Tesis de pregrado]. Universidad Ricardo Palma.
- Bhosekar, A., y Ierapetritou, M. (2021). A framework for supply chain optimization for modular manufacturing with production feasibility analysis. *Computers & Chemical Engineering*, 145, 107175.
- Gonçalves, L., Moura, A., y Xambre, A. R. (2024). Otimização de Processos: Balanceamento e Afetação de Recursos em Linhas de Produção Modulares em Tempo Real. *Research summit 2024-Book of abstracts*, 405.
- Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., y Breslin, J. G. (2021). Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 481-506.
- Venanzi, D. (2020). As implicações e vantagens do uso do modelo de consórcio modular na indústria automobilística en *Gestão da Produção: Organização e Planejamento*. Editora científica.