

# Design and Installations Distributions of Industrial Facilities Supported by the Use of Process Simulation

## Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales apoyado en el uso de la Simulación de Procesos

E. E. Orozco y J. E. Cervera

**Keywords:**

Balance, Competitividad, Distribución (Layout), Flujo, Material, Optimización, Productividad, Recurso.

**Abstract**

This paper presents the design and distribution of industrial facilities based on the use of process simulation, taking into account that companies worldwide have chosen to include within its strategic planning: the correct layout of the physical space available for their operations, because it is the nerve center that impacts business competitiveness. This means that the morphology of the production process is a highly complex handling aspect because, depending on the variables alters management decisions.

**Palabras clave:**

Balance, Competition, Distribution (Layout), Flow, Material, Optimization, Productivity, Resource.

**Resumen**

Este artículo trata sobre el diseño y la distribución de las instalaciones industriales basado en el uso de la simulación de procesos, teniendo en cuenta que las compañías a nivel mundial han optado por incluir, dentro de su planeación estratégica: la correcta disposición del espacio físico disponible para sus operaciones, debido a que es punto neurálgico que impacta la competitividad de los negocios. Esto hace, que la morfología de los procesos de producción sea un aspecto que maneje alta complejidad porque, dependiendo de las variables altera las decisiones gerenciales.

### I. INTRODUCCIÓN

En el mundo de hoy, es común que las empresas manufactureras traten de configurar todo su proceso productivo de tal forma que el desperdicio sea mínimo y que lo que salga de producción vaya camino al siguiente eslabón de la cadena. Esto, conlleva hacia un sistema de manufactura flexible usando la práctica del JIT (Just in Time; Justo a Tiempo) que se estudia en [1] (lo que en el mundo occidental se ha vuelto una utopía), y que fue una gran disciplina de los orientales. En esa búsqueda incesante por hacer más productivo el sistema, es donde verdaderamente se observa la envergadura que tiene la gestión de operaciones dentro de mundo real, ya que, los modelos y las teorías inmersos es esta rama de la ingeniería, que fue desarrollada después de la 2da guerra mundial, como se contempla en [2], dan una aproximación cercana al 100% de lo que está pasando dentro de una proceso productivo.

Al ver un sistema de productivo existen unos puntos de gran cuidado como los son: la incertidumbre de la demanda y la oferta, que la referencia [3] se explica, que la genera una tendencia espontánea del mercado, tanto que se hace casi que imposible poder predecirla. Y, el perfecto balance entre aprovisionamiento-producción-almacenaje. Lo primero, no es independiente de lo segundo, porque las pautas de las 5W + 1H que se muestran en [4] las pone el mercado y si las salidas de proceso son demasiadas crean un impacto en el comportamiento del consumidor. De ahí, su interdependencia.

Las naciones industrializadas han gastado mucho dinero en investigaciones que den como respuesta unos modelos integrales de planificación de labores como abastecimiento, producción y almacenamiento analizados en [5], pero la lista de los que realmente han satisfecho estas necesidades es muy corta. Y se vuelve más pequeña, cuando ninguno de estos modelos ha podido predecir el comportamiento de la demanda con el fin de ajustar el proceso productivo a inventario cero. De llegarse a lograr esto, se llegaría a incrementar el margen de contribución operacional por producto y por ende se llegaría a tener una herramienta, que a la hora de ponerle cifras concretas en la ecuación de Competitividad, este índice crecería enormemente.

Analizando otra variable dentro del sistema, encontramos que: si se ubica la lupa en las variables microeconómicas como la oferta y la demanda, se observa que son determinantes en la aparición de nuevos productos, diseño, precios, etc. Pero, estas son influenciadas por factores que están en cada ser humano. Estamos hablando de unos procesos que están en la dimensión psicológica de cada ser. Dentro de estos factores uno de los más importantes es la cultura ampliamente tratada en [6].

Retomando el componente logístico, el almacenaje es un paso obligado en cualquier proceso productivo ya que, de este dependen aspectos tales como: tiempo de ciclo, nivel de servicio, punto de reorden, stock de seguridad, tamaño del lote, disciplinas de entradas y salidas, niveles de existencias, entre otros, que el final son determinantes en la satisfacción de la demanda. De igual manera, los modelos de inventarios han sido muy influyentes en los modelos de planeación de la producción, porque existen modelos con demanda conocida y otras con demanda incierta explicados en [5], [7]. La pregunta es siendo el mundo real tan complejo ¿existirán demandas conocidas? O ¿Por qué estudiar los modelos de inventario con demanda conocida? Si lo que realmente se percibe son fenómenos microeconómicos con tendencias inciertas y poco medibles. En esta parte de la variación de la demanda es donde todos los modelos han perdido puntos en el nivel de confiabilidad o en su defecto han tenido que recibir información de un humano para poder acercarse a lo óptimo, como se aborda en [8].

Por otro lado, si se observa el sistema productivo desde otra perspectiva, la pregunta que se están haciendo ahora las industrias es ¿Cómo se organiza el espacio físico para ser más productivo? Todos estos componentes de un sistema productivo tienen que estar dentro de un espacio geográfico. Este espacio geográfico, expuesto en [9], tiene que estar dispuesto de tal forma que las actividades interrelacionadas que se lleven a cabo en el sistema, sean óptimas, con el fin de que no afecten la productividad de la empresa. Es aquí, donde surge un término que inicialmente fue asociado a la disposición del espacio en las cubiertas de los portaaviones de la guerra del la mitad del siglo pasado, Layout.

A éste término, con el tiempo, fueron dándole la forma hasta convertirlo en lo que hoy se conoce como el diseño y la distribución de planta, cuyo principal aporte es de Richard Muther con el SLP (Systematic Layout Planning), cuyos componentes se analizan en [10].

Partiendo que el paradigma reinante es la globalización, que se aborda en [11], las fronteras son cosa del pasado y donde libre flujo de capital, tecnología y información son el día a día de las industrias, es vital que éstas tengan una estructura interna operativa y física que las haga lo suficientemente flexible ante la demanda incierta de la actualidad, rentable y sostenible en el tiempo, todo esto encaminado a satisfacer a un mercado cada vez más dinámico.

Lo anterior es la causa para que sea común observar empresas compitiendo por precios, gamas de productos, tiempos de entregas, etc. todas estas variables se han convertido en indicadores de gestión de las empresas hasta llegar a que la mayoría trabaja en función de las mismas. Por esto, es que las industrias empiezan a buscar estrategias con el fin de hacer que las utilidades aumenten. Esto, no es más que aumentar la productividad dentro de una industria. Esto incluye revisar muy detenidamente el proceso de transformación de una materias primas, en donde entran a trabajar maquinas y hombres de una forma entrelazada, la disposición correcta de los recursos y maquinas, la estandarización de los procesos y demás aspectos internos del lugar de transformación (en este caso una línea de producción) asociados con la productividad que conllevan a que el aumento de la misma sea el norte de las empresas de la región y el mundo como se puntualiza en [12].

Cuando la industria entra a ver la parte interna del proceso productivo y del lugar donde se lleva a cabo el mismo, es donde ésta, cae en cuenta que la materia prima que adquiere de los proveedores no la emplea a un 100%, las horas-hombre no las usa de una manera correcta, los despachos de la producción son lentos, los inventarios son un caos, por la planta no es posible caminar por la existencia de congestión, los tiempos entre una operación y otra son largos, el camino que tiene que recorrer un trabajador entre un

lugar y otro es largo, los constantes accidentes laborales, las maquinas a la espera de material para procesar, los cuellos de botella, etc. son variables que llevan a unas erogaciones operativas ociosas que van en detrimento del patrimonio y de las utilidades, que se analizan con las rigor en [13]

Para el caso de estudio de este trabajo, se nota que dentro de programa de producción de una línea de producción, cuando se cambia entre un producto y otro, se pierden muchas horas y también se ve alterado el flujo de productos, lo que retrasa el proceso productivo dejando al descubierto cuellos de botella en lugares vitales dentro proceso. Esto lleva al empresario a cuestionarse ¿En qué lo agrega valor al producto estas pérdidas de tiempo y los cuellos de botella en el proceso? Y también, existe una segregación en los procesos de toma de decisiones en materia conceptual entre la ingeniería de procesos con la dirigencia de embotellado a la hora de tomar las decisiones de mejoramiento de Layout y muchas veces la responsabilidad se delega. Este proceso de decisiones, requiere el uso de herramientas como WinQsb, un potente simulador como Arena Rockwell, QFDesigners y Microsoft Office Excel, que proporcionan datos de las variables de salida (tiempos, costos, volúmenes de producción, capacidad ociosa, capacidad utilizada, entre otros.) que en conjunto con las experiencias y factores externos percibidos y son los que fundamentan las directrices a tomar en la planta. Esto acompañado de una visión integral al interior de la empresa.

Solo por dar algunos datos, la distribución de planta es ampliamente reconocida por tener un gran impacto en los costos globales, la eficiencia y el funcionamiento de una instalación. Se dice que el 50% de los gastos totales de funcionamiento puede reducirse si se ha diseñado el Layout de la instalación de adecuadamente, que se profundiza en [14].

En los Estados Unidos las instalaciones de fabricación se están esforzando por mejorar su distribución de la planta, lo que contribuye a por lo menos una reducción del 30% en costos netamente operacionales, tratados en [15].

Por las razones expuestas, es necesario la implementación de una metodología de distribución

de planta, que inicie su proceso haciendo una relación entre dos aristas tales como: la voz del cliente (¿Que quiere el cliente?) y características técnicas actuales del proceso (Quality Function Deployment; Despliegue de la Función Calidad) que se recopila en [16]. Seguidamente, aplicar los conceptos del S. L. P, pero en la etapa de selección y evaluación de las alternativas se debe tener como base los resultados que proporcionan los arboles de decisión, indicadores financieros con el fin de observar en el futuro el ROI (Retorno de la Inversión), las proyecciones de producción y la simulación de las alternativas. Aplicado de esta manera, el SLP deber ser la principal herramienta de competitividad en el mundo de la industria de la presente época globalizada, ya que, esta es una de los medios para optimizar instalaciones y trae consigo reducciones de gastos generan una variación positiva en la utilidad de los estados financieros de la empresa, lo cual aumenta la productividad y la rentabilidad de la misma, siendo fiel al objetivo básico financiero, que la referencia [17] cataloga como la base epistemológica de los negocios.

### II. DESARROLLO

Los algoritmos computacionales son herramientas que pueden incrementar significativamente la productividad del planeador de la distribución y la calidad de la solución final gracias a la generación y evaluación numérica de un gran número de alternativas de distribución en un corto tiempo. Cabe anotar que los algoritmos que se encuentran actualmente no reemplazan el juicio ni la experiencia humana, y por lo general no capturan las características cualitativas de la distribución que explícitamente se explican en [18].

La mayoría de los algoritmos pueden ser clasificados por el tipo de datos de entrada que requieren, algunos pueden recibir solamente datos de tipo cualitativo, mientras que otros aceptan datos de tipo cuantitativo.

#### A. *La Época contemporánea de la DP*

Es difícil encontrar un equilibrio entre el número de ejecuciones, el tamaño de las poblaciones y las generaciones a computar cuando se utiliza un

Algoritmo Evolutivo y se precisa ahorrar recursos de computación. Podemos encontrar en la literatura del dominio trabajos que estudian el tamaño de las poblaciones y el número de éstas, pero es difícil encontrar artículos que estudien los tres parámetros anteriores simultáneamente. En este artículo estudiamos todos ellos a la vez. Consideramos el esfuerzo de computación para evaluar diferentes alternativas. Los resultados experimentales confirman algunas de las conclusiones descritas en trabajos previos que consideraban dos de los tres componentes que aquí se consideran. A la vez ofrecemos algunas ideas para distribuir adecuadamente los recursos de computación al diseñar implementaciones paralelas de los Algoritmos Genéticos.

De igual manera, tenemos que para el uso de herramientas informáticas para el desarrollo del SLP y la posterior toma de decisión sobre las alternativas seleccionadas, tenemos que la evaluación multicriterio y multiobjetivo son un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones se expone en [19]. Mientras que la toma de decisiones multicriterio debe ser entendida como un "mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios, establecidos en [20].

#### B. *Algunas Herramientas Adicionales*

La simulación de procesos hace viable la disposición final del layout global y específico de las instalaciones industriales, la distribución de células de fabricación, la logística física de materiales y permite tener un mayor control y un mejor proceso de toma de decisiones al implementar las acciones de la planeación establecida a través del SLP.

Asimismo, permite mejorar en el suministro de la cadena de abastecimiento, enfocado en la filosofía del Justo a Tiempo (JIT); esto debido a que se puede identificar plenamente los puntos críticos de control, como cuellos de botellas al interior del proceso,

especialmente en los momentos de preparación, los cuales se pueden optimizar a través de la reducción del tiempo muerto mediante la aplicación de las técnicas SMED, y poder evaluar la mejor manera de poner en marcha estas mejoras, evaluando la factibilidad y la flexibilidad de las diversas alternativas, mucho antes de iniciar el proceso de ejecución.

Asimismo, los procesos de simulación que apoyan el S.L.P., permiten evaluar el costo-beneficio al tomar una decisión de mejoramiento del Layout de una Planta Productiva o cualquier instalación industrial, ya que puede ayudar a prever los niveles de productividad basado en el Lean Manufacturing. Lo que provee a las organizaciones un alcance en la definición y diseño de layout, más adecuado a los requerimientos de las organizaciones empresariales como dimensionamiento de áreas productivas, de almacén, demás instalaciones principales y auxiliares y verificación del cumplimiento eficaz de los principios y objetivos de la distribución de planta, que se ve en primera instancia en una optimización de la logística interna y se ve reflejado inmediatamente, en un mejor nivel financiero de dichas empresas.

### C. *El SLP y la Simulación*

De igual manera, la simulación permite tomar la mejor decisión, con respeto a la necesidad de descentralizar algunos procesos o actividades como por ejemplo: el mantenimiento, a través de la tercerización, lo que permite gestionar diversos contratos sin ampliar recursos indirectos.

Es por esto, que la simulación de las diversas alternativas escogidas por el SLP, tienen como propósito el “organizar algunos elementos (departamentos, grupos de trabajo, puestos de trabajo, maquinarias y equipos, entre otros), de manera tal que garantice un flujo de trabajo uniforme (en una fabrica) o un patrón de tráfico determinado (en una organización de servicios), que conlleve alcanzar un determinado nivel de producción, manteniendo niveles aceptables en costos de inventarios, salarios, capacidad y gastos generales.

Recordemos que el arreglo y ordenación de todas las áreas de trabajo de una organización empresarial

pretende una instalación de producción que elabore el producto especificado a la tasa estipulada de producción a un costo mínimo, como lo detalla [21]. El SLP desarrollado por Muther, profundizado en [22], se fundamenta en la tabla de relación de actividades. Este método se divide en tres etapas: análisis, búsqueda y selección.

#### 1. *Análisis*

La etapa de análisis consiste en cinco pasos en los cuales se llega a determinar la relación entre áreas funcionales o basadas en procesos, así como los espacios requeridos para ello, comparando con la disponibilidad de ese espacio. Se debe tener en cuenta, el flujo de materiales, la relación entre actividades, el diagrama de relaciones, requerimiento y espacio disponible.

#### 2. *Búsqueda*

En la etapa de Búsqueda, se basa en el análisis anterior para desarrollar por lo menos tres alternativas de layout, a través de un diagrama de relación de espacio, en los cuales se deben tener en cuenta tanto las restricciones y posibles modificaciones al momento de ejecutar cada una de las propuestas.

#### 3. *Selección y Consideraciones finales*

La Selección, evalúa las diversas propuestas y selecciona la que obtenga el mejor resultado; por lo que se podría tomar como criterios de evaluación el cumplimiento de adyacencia entre departamentos, la forma de los departamentos, el costo de manejo de materiales,. La distancia total entre departamentos, entre otros que se considere pertinente. Es en esta etapa donde se hace evidente el uso de la simulación que permita la optimización del proceso de toma de decisiones.

En la referencia [23] se explica que la simulación se refiere a una amplia colección de métodos y aplicaciones para imitar el comportamiento de sistemas reales, usualmente en computadora con el software apropiado. La simulación es un método de análisis que involucra sistemas y modelos de ellos. Esta simulación busca optimizar el estudio de una variedad vasta de alternativas de modelos a través de la imitación de las operaciones y sus flujos por un período de tiempo determinado, que permite la eficiencia del sistema productivo.

Es de gran importancia que se lleve a cabo una tarea de verificación o depuración, que asegure que el modelo se comporta como debería comportarse en la realidad. Luego, se ejecuta una validación, que compara estadísticamente los resultados del modelo con los resultados del sistema real.

Cabe destacar, que al hacer una distribución de planta, se hace el uso de diversos software, tales como: ALDEP (Automated Layout Design Procedure), CORELAP (Computarized Relationship Layout Planning), CRAFT (Computarized Relative Allocation of Facilities Techniques), ARENA, entre otros.

Estos software se destacan porque permiten la planeación de una distribución de planta a través de diversos métodos como pueden ser: el método CRAFT, introducido por Armour, Buffa y Vollman, como un algoritmo Craft, BlocPlan, Multiple, el diagrama de relación de actividades y el Systematic Layout Planning (SLP).

Y por último, todo esto, ha venido evolucionando hasta llegar a herramientas potentes como Flexsim que hace más robusto el proceso de simulación de instalaciones industriales teniendo en cuenta las distancias físicas exactas de los elementos del modelo y además de eso permite llevar a cabo análisis de datos de múltiples escenarios con dominio total de variables. Esto lleva a aumentar la confiabilidad de las decisiones que se toman antes la existencia de una modelo de simulación.

### III. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones de H Madrid y R Osio (Colombia) por las ayudas en la búsqueda de fuentes de información y correcciones de estilo.

### Referencias

- [1] SHINGO, S., & DILLON, A. P. (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint (Produce What Is Needed, When It's Needed)*. Tokyo: Japan Management Association.
- [2] HILLIER, F., & LIEBERMAN, G. (2006). *Investigación de Operaciones*. Mexico: McGraw-Hill.
- [3] BERNANKE, B. S., & FRANK, R. H. (2007). *Microeconomía*. México: McGraw-Hill.

- [4] MEDIA AWARENESS NETWORK. (2010). Media Awareness Network. Recuperado el Mayo de 2011, de [http://www.media-awareness.ca/english/resources/special\\_initiatives/wa\\_resources/wa\\_shared/tipsheets/5Ws\\_of\\_cyberspace.cfm?RenderForPrint=1](http://www.media-awareness.ca/english/resources/special_initiatives/wa_resources/wa_shared/tipsheets/5Ws_of_cyberspace.cfm?RenderForPrint=1)
- [5] BALLOU, R. H. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. Mexico D.F: Editorial Pearson.
- [6] KOTLER, P., & ARMSTRONG, G. (2006). *Fundamentos de Marketing*. Ciudad de México: Editorial Pearson.
- [7] NAHMIAS, S. (2007). *Análisis De La Producción Y Las Operaciones*. México: McGraw-Hill
- [8] GAITHER, N., & FRAZIER, G. (2000). *Administración de Producción y Operaciones*. Mexico: Cengage Learning Editores
- [9] CHASE, R., JACOBS, R., & AQUILANO, N. (2006). *Operations Management For Competitive Advantage*. New York: McGraw-Hill.
- [10] MUTHER, R., & HALES, L. (1977). *Office Layout Planning: A manual based on a simplified version of Systematic Layout Planning*. Kansas City, Missouri: Management And Industrial Research Publications.
- [11] SOCIETAS. (18 de Agosto de 2008). *La globalización pendiente*. El Tiempo
- [12] NIEBEL, B. W. (1996). *Ingeniería industrial: Métodos, Tiempos y Movimientos*. Mexico D.F: Alfaomega.
- [13] MUÑOZ CABANILLAS, M. (2004). *Diseño de distribución en planta de una empresa textil*. Lima, Lima, Peru: UNMSM.
- [14] RAMAKRISHNAN, S., & SRIHARI, K. (2008). *Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference. A Novel Method to Re-Layout Facilities Using Industrial Engineering Concepts* (págs. 1-7). New York: J. Fowler and S. Mason.
- [15] ALEISA, E. E. (Junio de 2005). *Multilevel Integration of Simulation And Facilities Planning For Large-Scale Systems*. USA: UMI.
- [16] REVELLE, J., MORAN, J., & COX, C. (1998). *The QFD Handbook*. New York: John Wiley & Sons
- [17] GARCIA, O. L. (1999). *Administración financiera Fundamentos y aplicaciones*. Cali: Prensa Moderna.
- [18] G.S. ROJAS, J.F. TORRES (2005). 19th International Conference on Production Research "Genetic Algorithms For Designing Bank Offices Layouts". Industrial Engineering Department, Los Andes University
- [19] MONTSERRAT GOMEZ y JOSE I. BARREDO CANO: *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* Ed. RA-MA, 2005, 2ª edición, MADRID
- [20] COLSON (1999): "Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment". *Geographical Systems*, n°5, 1999, pp. 313-327
- [21] HICKS PHILIP (1999). *Ingeniería Industrial y Administración: Una Nueva Perspectiva*. Segunda Edición, México: Editorial Cecsca, Págs. 90, 91, 99, 110-112

[22] TOMPKINS A. JAMES (1996), Facilities Planning, Second Edition, New York: John Wiley and Sons, Inc. Págs. 286, 327, 331-355, 362

[23] KELTON, D. (2008). Simulación con Arena. 4ED, México: Editorial McGraw-Hill.

**Erick Orozco** (1989- ) nació en Barranquilla, Colombia, el 2 de Mayo de 1989. Se graduó en la Corporación Educativa Cepeda Samudio y estudió en la Universidad Simón Bolívar.

Ha Ejercido profesionalmente en la Rectificadora Latinoamericana, Litoplas S. A, Tuboplast S. A. y Universidad Simón Bolívar. Entre sus campos de interés están los métodos cuantitativos para la toma de decisiones, la planeación la producción y docencia Investigativa.

El ingeniero Orozco ha recibido títulos honoríficos como tres ponencias meritorias de carácter internacional, reconocimiento meritoria por parte de Gemas (Grupo Estratégico para el Mejoramiento

Aplicado), Mejor Ecaes de la Promoción, y segundo mejor promedio académico de la Promoción.

**Jorge Cervera** (1976- ) nació en Barranquilla, Colombia, el 3 de Dic. De 1976. Se graduó en el Colegio Nuestra Señora del Carmen y estudió en la Universidad del Atlántico.

Ha Ejercido profesionalmente en la Rectificadora Latinoamericana, Copín Ltda., Electricaribe, Ecopetrol, Drummond y Universidad Simón Bolívar. Entre sus campos de interés están los métodos cuantitativos para la toma de decisiones, la planeación la producción, sistemas integrados de gestión y docencia Investigativa.

El ingeniero Cervera ha recibido títulos honoríficos como múltiples ponencias meritorias de carácter internacional, y tiene en su haber varios libros escritos.