

Distribución de Plantas con Planeación Sistemática de Layout

*Erick Eduardo Orozco Acosta*¹ _____

*Luis Eduardo Ortiz-Ospino*² _____

*Remberto Jesús De la Hoz Reyes*³ _____

1 Ingeniero Industrial, Magíster en Estadística Aplicada. Profesor de Planta Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
eorozco15@unisimonbolivar.edu.co
orcid.org/0000-0002-1170-667X

2 Ingeniero Industrial, Magíster en Desarrollo Social. Profesor de Planta Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
lortiz27@unisimonbolivar.edu.co
orcid.org/0000-0002-9334-4026

3 Ingeniero Industrial, Magíster en Desarrollo Social. Decano Facultad de Ingeniería Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.
lortiz27@unisimonbolivar.edu.co
orcid.org/0000-0003-3089-4976

RESUMEN

El presente trabajo es un modelo de operación en una línea de embotellado de bebidas carbonatadas como un caso de éxito en el estudio de la distribución y diseño de planta, específicamente en la implementación de SLP (Systematic Layout Planning) y un algoritmo de balanceo de líneas de producción. Inicia explicando las principales metodologías de planeación de layout, tomando como referencia el caso de estudio, aplica el SLP de una forma híbrida en una línea de producción y termina estableciendo la mejora del proceso con un balance de línea.

Palabras clave: Layout, Productividad, Flujo, Material, Toma de decisiones.

ABSTRACT

This work is a model of operation in a bottling line for carbonated drinks as a success in the study of the distribution and plant design, specifically in the implementation of SLP (Systematic Layout Planning) and a balancing algorithm lines of production. This paper begins by explaining the main methodologies layout planning, then by reference to the case study applies the SLP, a hybrid form in a production line and ends establishing process improvement with a balance line.

Keywords: Layout, Productivity, Flow, Material, Decision making.

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde el paradigma reinante es la globalización, donde las fronteras han desaparecido y el libre flujo de capital, tecnología e información son el día a día de las industrias, es vital que estas tengan una estructura interna operativa y física que las haga lo suficientemente flexibles ante la demanda incierta de la actualidad, rentables y sostenibles en el tiempo, todo esto encaminado a satisfacer a un mercado cada vez más dinámico.

De igual forma, es común observar empresas compitiendo por precios, portafolios de productos, tiempos de entregas, entre otras. Sin embargo, todas estas variables se han convertido en indicadores de gestión de las empresas hasta llegar a que la mayoría trabaja en función de los mismos. Por esto las industrias empiezan a buscar estrategias con el fin de hacer que las utilidades aumenten (incrementar la productividad dentro de una industria). Esto incluye revisar muy detenidamente el proceso de transformación de una materia prima, en donde entran a trabajar máquinas y hombres de una forma entrelazada, la disposición correcta de los recursos y máquinas, 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.

Seguidamente, cuando la industria entra a observar la parte interna del proceso productivo y del lugar donde se lleva a cabo; es donde esta evidencia 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 máquinas 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.

Para el caso de estudio de este trabajo, se observa que dentro del 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 los dos cuellos de botella en lugares vitales dentro del proceso. Esto lleva al empresario a cuestionarse: ¿En qué le agrega valor al producto estas pérdidas de tiempo en el proceso?

En concordancia con lo anterior, en las secciones siguientes se hace un recorrido muy puntual de los conceptos de distribución y localización de planta, para después mostrar una aplicación correspondiente en un caso real planteado.

PRELIMINARES

A continuación se repasan algunas bases conceptuales antes de pasar al caso de estudio.

Distribución de planta

Según Ortega (2003), un concepto de distribución de planta, es el proceso de ordenación física de los elementos industriales de modo que constituyan un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente posible. Esta ordenación ya practicada o en proyecto, incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de taller. (p.4)

Es decir, es un proceso netamente de organización industrial que genera respuestas a preguntas como: ¿Dónde se ubican las máquinas, almacén, áreas de tránsito, entre otras, de tal forma que el costo sea mínimo? En sus inicios, se aplicó en el terreno de la estrategia militar de la segunda guerra mundial, cuando se planeaban las operaciones en los portaaviones para optimizar el espacio en cubierta. Aquí nace lo que se hoy se conoce como *Layout*. En el entorno estudiado, esta palabra significa: disposición de elementos en un espacio. Aunque esto aplica al campo del diseño, el concepto puede variar un poco.

Por otro lado, Chase, Jacobs & Aquilano (2009), llegaron a la siguiente conclusión:

La distribución de las instalaciones es donde se ve la realidad de las cosas en lo que respecta al diseño y la operación de un sistema de producción. Una buena distribución de la fábrica (o la oficina) puede proporcionar una verdadera ventaja competitiva porque facilita los procesos de flujo de materiales e información. (p.240)

Por lo anterior, es claro que la ventaja competitiva de cualquier compañía es sensible al proceso de disposición física de las instalaciones. Por ejemplo: "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" (Aleisa, 2005). De igual manera, Ramakrishnan & Srihari (2008), exponen que:

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 adecuadamente. (p.2)

Importancia de la distribución de planta

Muchos son los autores que han abordado este tema en lo referente a la importancia de la distribución de planta. Pero la mayoría llega al consenso cuando se habla de mejoramiento en el funcionamiento de las instalaciones, que sirve para industrias y/o servicios, que genera una minimización en los costos totales de producción.

Según Ortega (2003), es claro que:

La incidencia de los factores de la producción es efectiva cuando los factores actúan en un lugar (espacio) adecuado, controlando y asegurando los procesos de fabricación. Por eso, se hace necesario adoptar un esquema de planta por puesto de trabajo y operación que permita minimizar los costos altos de producción, la

pérdida de tiempo y productividad que son comunes en el sector de la buena distribución de la planta. (p.5)

Una planta con estas características permite controlar los costos de producción, el desperdicio, el capital de trabajo, controlar la materia prima, la producción, la mano de obra y a su vez conocer la verdadera capacidad instalada para poder dar respuesta a la demanda de productos e ir mejorando la competitividad. Aunque lo anterior toma valor agregado cuando existe un marco de trabajo, se prioriza por el incremento de la productividad de la empresa mitigando los impactos ambientales en el entorno y una política de generación de bienestar en todos los grupos de interés, es decir, que desde lo económico se impacte en gran forma lo social.

Principios de distribución de planta

Según Muther (1961), estos objetivos pueden resumirse y plantearse en forma de principios, sirviendo de base para establecer una metodología que permita abordar el problema de la distribución en planta de forma ordenada y sistemática. Tomando como referencia el trabajo de Diego-Más (2006), se pueden resumir los principios de distribución de planta en la Tabla 1-1:

Tabla 1-1.
Principios de la distribución de planta

Principio	Descripción
Principio de la integración de conjunto	"la mejor distribución es la que integra a los operarios, los materiales, la maquinaria, las actividades, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes".
Principio de la mínima distancia recorrida	"en igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones será la más corta".
Principio de la circulación o flujo de materiales	"en igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se tratan, elaboran, o montan los materiales".
Principio del espacio cúbico	"la economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en vertical como en horizontal".
Principio de la satisfacción y de la seguridad (confort)	"en igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los operarios, los materiales y la maquinaria".
Principio de la flexibilidad	"en igualdad de condiciones, siempre será más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costos o inconvenientes".

Fuente: Diego-Más, José Antonio (2006)

En la Tabla 1-1 se puede observar que en el mundo de hoy se valora el espacio de una instalación. Esto es clave a la hora de hacer proyecciones en la capacidad instalada y real que se tiene debido a muchas tendencias que se vienen presentando en el mercado. Por ejemplo: En la ciudad de Barranquilla, el sector servicios y comercio ocupa un 76 % de las empresas totales. De estas, muchas son relacionadas con servicios logísticos donde la función almacenamiento en estantería de varios metros hacia arriba es vital en sus operaciones. Como parte de esta tendencia, Botero (2016) establece que:

Las exigencias de los clientes se han centrado en asuntos como la reducción de los tiempos de respuesta, ampliación de la gama de productos, aumento de la personalización, mayor complejidad de los pedidos debido a una reducción en la cantidad y el aumento en el número de líneas. Esta nueva coyuntura está llevando a las empresas a generar propuestas de valor que requieren nuevas configuraciones de cadenas de suministro multi-escalón, donde los almacenes resultan vitales.

Lo anterior es la causa, la concepción que se tiene hoy de las cadenas de suministro como sistemas complejos. Sin embargo, ante esto Chackelson-Lurner, Errasti-Opacua, & Santos-García (2013), presentan cuatro resultados que contribuyen al dimensionamiento de almacenes:

- 1) El desarrollo de un sistema experto denominado IRES.
- 2) La propuesta de una herramienta para la selección.
- 3) La propuesta de una metodología de diseño de almacenes, y
- 4) La recopilación de diseños de almacenes de referencia.

Tipos de distribución de planta

Existen varios tipos de distribución de planta. Los que se enuncian en las secciones 1.4.1 a 1.4.5, se encuentran en Kumar & Suresh (2009); aunque muchos autores de libros clásicos de administración de operaciones han abordado esta temática, a continuación se encuentra un breve resumen:

Distribución por procesos

La distribución por procesos es recomendada para producción por lotes. Todas las máquinas que realizan un tipo similar de operaciones se agrupan en un solo lugar, en el diseño del proceso por ejemplo, todos los tornos, fresadoras, etc. se agrupan en la sección en grupos similares.

Por lo tanto, en la distribución por procesos la disposición de las instalaciones se agrupa de acuerdo a sus funciones. Las trayectorias de flujo de material a través de las instalaciones de un área funcional a otra varían de un producto a otro (ver Figura. 1-1). Por lo general, los caminos son largos y no habrá posibilidad de dar marcha atrás.

Esta se utiliza normalmente cuando el volumen de producción no es suficiente para justificar un diseño de producto. Por lo general, los talleres de trabajo emplean diseños de proceso debido a la variedad de los productos fabricados y sus volúmenes bajos de producción.

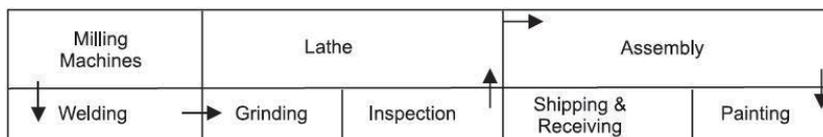


Figura 1-1.
Distribución por procesos
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Distribución por productos

En este tipo de distribución, máquinas y servicios auxiliares están ubicados de acuerdo a la secuencia de procesamiento del producto. Si el volumen de producción de uno o más productos es grande, las instalaciones se pueden organizar para conseguir un flujo eficiente de los materiales y el costo más bajo por unidad. El propósito espacial es que máquinas especiales realicen la función deseada de forma rápida y fiable (ver Figura. 1-2).

La distribución por producto se selecciona cuando el volumen de

producción es tan alto, que la separación de una línea de producción para fabricar se puede justificar. En un diseño de producto estricto, las máquinas no son compartidas por diferentes productos. Por lo tanto, el volumen de producción debe ser suficiente para lograr una utilización satisfactoria de los equipos.

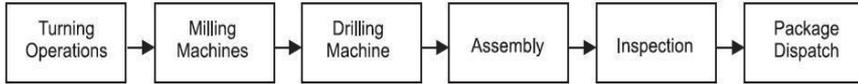


Figura.1-2.
Distribución por productos
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Distribución combinada

Una combinación de distribuciones por productos y procesos combina las ventajas de ambos tipos de distribución. Esta es posible cuando una entidad es hecha en diferentes tipos y tamaños. Aquí la maquinaria está dispuesta en una distribución por procesos, pero el proceso completo sigue una secuencia de operaciones (ver Figura. 1-3).

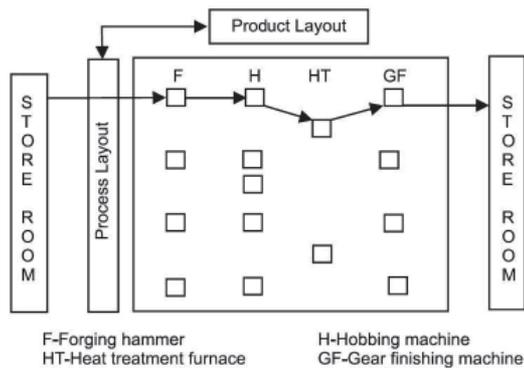


Figura.1-3.
Distribución combinada
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Distribución de posición fija

Esta también es llamada distribución tipo proyecto. En este tipo de distribución, el material o componentes principales se mantienen en

un lugar fijo y las herramientas, las máquinas, los hombres y otros materiales son traídos a este lugar. Este tipo de distribución es adecuado cuando una o unas pocas piezas de productos pesadas idénticas se van a fabricar y cuando el conjunto se compone de gran número de piezas pesadas, donde el costo de transporte de estas piezas es muy alto, como se puede ver en la Figura 1-4.

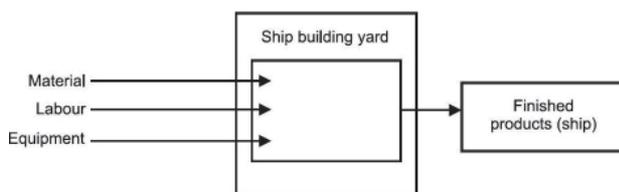


Figura 1-4.
Distribución de posición fija
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Distribución grupal

Es una combinación de la distribución por productos y por procesos. Esta combina las ventajas de ambos sistemas. Si hay m —máquinas y n —componentes componentes en una distribución grupal (Distribución de tecnología de grupos), las m —máquinas y n —componentes serán divididas internamente en un número de células máquina-componentes (grupo) de manera que todos los componentes asignados a una celda casi se procesen dentro de esa célula misma. Aquí el objetivo es reducir al mínimo los movimientos entre celdas.

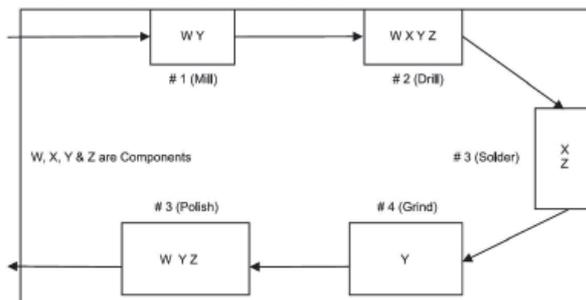


Figura. 1-5.
Celda de manufactura.
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Comparaciones entre tipos de distribución de planta

En esta sección se hace una comparación entre los distintos tipos de distribución de planta y algunos aspectos relevantes en sus operaciones. Por ejemplo: si se observa la Tabla 1-2, en lo referente a producto, en una distribución por producto, se debe tener una estandarización de productos, es decir, que sean iguales o muy similares. Pero en la distribución por procesos los productos no necesariamente deben ser iguales, pero, deben tener operaciones comunes. De esta forma se interpreta la tabla a continuación:

Tabla 1-2.
Comparaciones entre tipos de distribución por algunos aspectos

Atendiendo a	Por producto	Por proceso	Posición fija	Sistemas flexibles
Producto	<ul style="list-style-type: none"> • Productos estándar. • Alto volumen de producción. • Demanda estable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Varios productos con operaciones comunes. • Volumen de producción variable. • Demanda variable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo pedido. • Bajo volumen de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Series pequeñas y medianas (lotes). • Flexibilidad.
Líneas flujo de material	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos lineales. • Secuencias iguales para todos los productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas retorciadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No definidas. • Material estático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cortas y sencillas.
Cualificación del trabajador	<ul style="list-style-type: none"> • Rutinario y repetitivo. • Especializado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intermedia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran flexibilidad. • Alta cualificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • No hacen falta trabajadores.
Necesidad de personal	<ul style="list-style-type: none"> • Gran cantidad. • Planificación de material-operarios. • Trabajo de control y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Personal de planificación, manejo de materiales, producción y control de inventarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para programación y coordinación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente nula, solo supervisión.
Manejo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Predecible. • Flujo sistemático y automatizable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo variable. • Sistemas de manejo duplicados a veces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo variable. • Equipos de manejo generales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Síncrono totalmente automático.
Inventarios	<ul style="list-style-type: none"> • Mucha rotación de materiales, inventarios reducidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Largos. • Mucho trabajo en curso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variables, continuas modificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mucha rotación de materiales, inventarios reducidos.
Uso de espacios	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco efectivo. • Mucho requerimiento por trabajo en curso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja producción por unidad de espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy efectiva.
Inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada en equipos especializados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos y procesos flexibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos y procesos móviles de propósito general. 	
Costo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos elevados. • Costos variables bajos (mano de obra y materiales). 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos bajos. • Costos variables elevados (material y transporte). 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos fijos. • Elevados costos variables (mano de obra y materiales). 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos fijos elevados. • Costos variables bajos.

Fuente: Diego-Más, José Antonio (2006)

Métodos para planeación de distribución de planta

En la literatura existen muchos métodos para planeación de distribución de planta. Algunos más complejos que otros, pero lo que es de resaltar, es que cada vez son más híbridos a cada entorno donde se aplica. Es decir, que dependiendo del campo así se hace el debido acoplamiento de lo existente; se agrega lo particular y se valida. En esta sección, se explican algunos de los más usados.

Planeación sistemática de layout (Systematic Layout Planning, SLP)

El SLP fue desarrollado por Richard Muther en 1968 como un procedimiento sistemático multicriterio y relativamente simple, para la resolución de problemas de distribución en planta de diversa naturaleza. El método es aplicable a problemas de distribución en instalaciones industriales, locales comerciales, hospitales, etc. Establece una serie de fases y técnicas que, como el propio Muther (1961) describe, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos.

EL SLP se asienta sobre la base de la información referente al problema a resolver para, a través de un proceso de cuatro etapas, obtener una distribución válida como solución al problema planteado. Además de las relaciones entre los diferentes departamentos, cinco tipos de datos son necesarios como entradas del método:

- Producto (P): Considerándose aquí también a los materiales (materias primas, piezas adquiridas a terceros, productos en curso, producto terminado, etc.).
- Cantidad (Q): Definida como la cantidad de producto o material tratado, transformado, transportado, montado o utilizado durante el proceso.
- Recorrido (R): Entendiéndose como la secuencia y el orden de las operaciones a las que deben someterse los productos.

- Servicios (S): Los servicios auxiliares de producción, servicios para el personal, etc.
- Tiempo (T): Utilizado como unidad de medida para determinar las cantidades de producto o material, dado que estos se miden habitualmente en unidades de masa o volumen por unidad de tiempo.

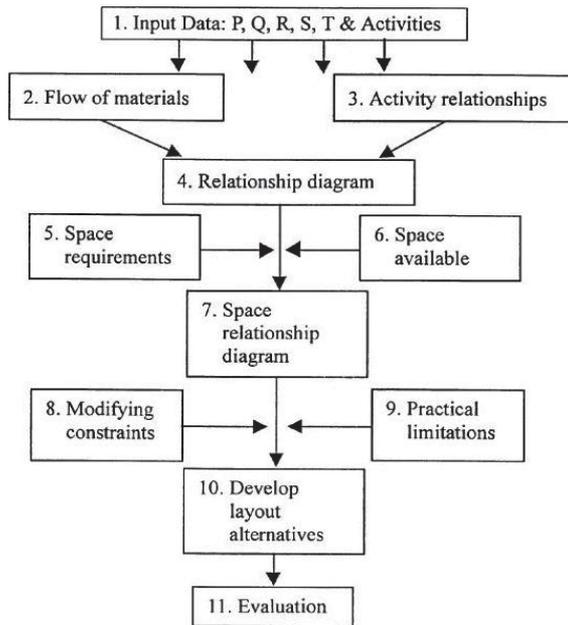


Figura 1-6.
Esquema de la planeación sistemática de layout
Fuente: Kumar & Suresh (2009)

Esta información es el punto de partida del proceso (ver Figura. 1-6), y de la calidad de la misma depende el éxito en la búsqueda de soluciones al problema de distribución. Por tanto, debe dedicarse el tiempo y los recursos necesarios a su obtención.

En trabajos como el de Taho Yang, Su Chao-Ton, y Hsu Yuan-Ru (2000), se puede encontrar que el SLP en conjunto con el proceso de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés), han sido exitosos en diseño de

procesos de fabricación en la industria de los semiconductores. Asimismo, Van Donk y Gaalman (2004), ilustran un modelo híbrido de SLP para una planta procesadora de alimentos. Seguidamente, Ye Mu-jing y Zhou Gen-gui (2005), parten de la tabla de relaciones del departamento por el método de la planificación clásica distribución sistemática (SLP); en este trabajo se adapta un algoritmo genético para averiguar los planos de las instalaciones adecuadas. El método propuesto, la combinación de SLP y el algoritmo genético, puede derivar resultados visuales aceptables de forma eficiente. Yujie y Fang (2009), de conformidad con los procedimientos operacionales de patio y la información relacionada, y una combinación de la provincia de Heilongjiang, tratan de aplicar el método SLP a la disposición general de depósitos de troncos de madera.

A continuación, se explican brevemente las etapas del SLP

Análisis P-Q

El análisis de la información referente a los productos y cantidades a producir es el punto de partida del método. A partir de este análisis es posible determinar el tipo de distribución adecuado para el proceso objeto de estudio. Muther (1961) recomienda la elaboración de una gráfica en forma de histograma de frecuencias, en la que se representen en abscisas los diferentes productos a elaborar y en ordenadas las cantidades de cada uno. Los productos deben ser representados en la gráfica en orden decreciente de cantidad producida. En función del tipo de histograma resultante es recomendable la implantación de un tipo u otro de distribución.

Análisis del recorrido de producto

Se trata en esta fase de determinar la secuencia, la cantidad y el coste de los movimientos de los productos por las diferentes operaciones durante su procesado. A partir de la información del proceso productivo y de los volúmenes de producción, se elaboran gráficas y diagramas descriptivos del flujo de materiales. Estos pueden ser principalmente de tres tipos:

- Diagramas de recorrido sencillo.
- Diagramas multiproducto.
- Tablas matriciales.

Cuando se producen muy pocos productos (o uno solo) en cantidades pequeñas, se emplean diagramas de recorrido sencillo, en los que quedan reflejados con exactitud los recorridos de cada producto por cada proceso. Los diagramas multiproducto son adecuados cuando se producen pocos productos. En ellos se indica únicamente la secuencia de operaciones a la que se somete cada pieza o producto. Las Tablas matriciales se emplean en el caso de producir gran cantidad de productos. Esta representación es una matriz cuadrada en la que tanto en filas como en columnas figuran las diferentes operaciones del proceso productivo. En las casillas se indica el número de veces que un producto circula desde la operación fila a la operación columna.

Análisis de las relaciones entre actividades

Conocido el recorrido de los productos, el proyectista debe plantearse el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de mantenimiento y los diferentes servicios de la planta. Estas relaciones no se limitan a la circulación de materiales, pudiendo ser esta irrelevante o incluso inexistente entre determinadas actividades; por ejemplo, no suele existir circulación entre los medios auxiliares de producción. La no existencia de flujo material entre dos actividades no implica que no pueda existir otro tipo de relaciones que determinen, por ejemplo, la necesidad de proximidad entre ellas o que las características de determinado proceso requieran una determinada posición en relación a determinado servicio auxiliar.

Entre otros aspectos, el proyectista debe considerar en esta etapa las exigencias constructivas, ambientales, de seguridad e higiene, los siste-

mas de manutención necesarios, el abastecimiento de energía y la evacuación de residuos, la organización de la mano de obra, los sistemas de control del proceso, los sistemas de información, entre otros.

Diagrama relacional de recorridos y/o actividades

La información recogida hasta el momento, referente tanto a las relaciones entre las actividades como a la importancia relativa de la proximidad entre ellas, es recogida en un diagrama que Muther denomina "Diagrama relacional de recorridos y/o actividades". Este pretende recoger la ordenación topológica de las actividades con base en la información de la que se dispone.

Diagrama relacional de espacios

La topología del diagrama relacional de recorridos y/o actividades recoge información sobre las necesidades de proximidad y las ubicaciones preferibles de cada actividad. Sin embargo, en dicho grafo los departamentos que deben acoger las actividades son adimensionales y no poseen una forma definida. El siguiente paso hacia la obtención de alternativas factibles de distribución es la introducción en el proceso de diseño, de información referida al área requerida por cada actividad para su normal desempeño. El planificador debe hacer una previsión, tanto de la cantidad de superficie, como de la forma del área destinada a cada actividad.

No existe un procedimiento general ideal para el cálculo de las necesidades de espacio. El proyectista debe emplear el método más adecuado al nivel de detalle con el que se está trabajando, a la cantidad y exactitud de la información que se posee y a su propia experiencia previa. El espacio requerido por una actividad no depende únicamente de factores inherentes a sí misma, sino que puede verse condicionado por las características del proceso productivo global, de la gestión de dicho proceso o del mercado. Por ejemplo, el volumen de producción estimado, la variabilidad de la demanda o el tipo de gestión de almacenes previsto pueden afectar al área necesaria para el desarrollo de

una actividad. En cualquier caso, hay que considerar que los resultados obtenidos son siempre previsiones, con base más o menos sólida, pero en general con cierto margen de error.

Otras metodologías de planeación de distribución de planta se encuentran con más detalle en trabajos como: Buffa, Armour y Vollman (1964), Bozer, Meller y Erlebacher (1994) y Ballou (2004) Modelo de Distribución de Planta.

A continuación se muestra en un caso de estudio derivado del proyecto "Validación de un layout actual de una empresa de embotellado de la ciudad de Barranquilla" un modelo híbrido de aplicación del SLP

Descripción general del proceso

El proceso en la Línea de Embotellado inicia cuando un transporte lleva el lote de canastas de envases a la entrada de la línea (Figura. 1-7). Estos envases son desempacados en un lugar donde seguidamente son conducidos a una extractora de pipetas (pitillos si es Pony Malta), aquí el envase está listo para entrar a la máquina lavadora de botellas. Seguido de una pequeña espera de acumulación de botellas, estas entran a la máquina lavadora para recibir un tratamiento con sustancias alcalinas como las bases (NaOH), y así eliminar los microorganismos del anterior uso del envase. Al salir de la lavadora, en su paso a la llenadora, son inspeccionados con el fin de asegurarse que la parte interna de la botella esté vacía y en buen estado, y lista para el vertido de la bebida.

Posteriormente, el envase hace su entrada a la máquina llenadora, que casi de manera simultánea tapa la botella, para ir a la pasteurizadora. No sin antes pasar por un inspector automático para determinar la cantidad exacta de líquido (con sus tolerancias); ahora sí está listo el producto para pasteurizarse. En la pasteurizadora, el producto se vuelve apto para el consumo humano debido a un tratamiento térmico al producto, para después ir a etiquetado y embalaje, y su posterior almacenaje.

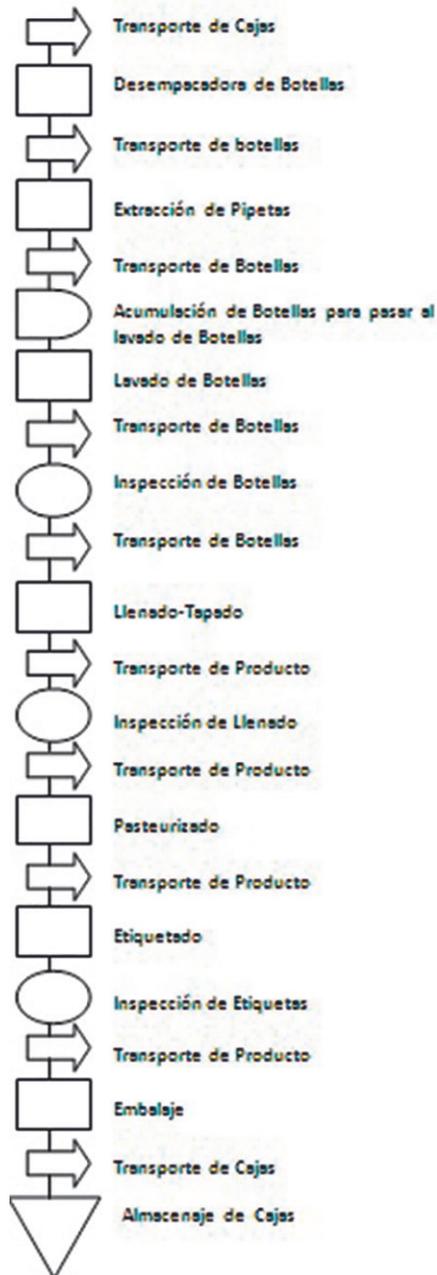


Figura 1-7.
Descripción general del proceso
Fuente: Elaboración propia

Despliegue de la función Calidad (QFD)

En la Figura. 1-8, se observa que hay tres prioridades que son: el sabor de la bebida, la variación en el proceso y la búsqueda de un producto 100 % apto para el consumo humano. En las comparaciones de los clientes existen dos puntos fuertes que son el precio asequible y la limpieza del producto, pero hay grandes debilidades en la cantidad exacta y en el sabor tradicional de la bebida. Sin embargo, en las comparaciones técnicas hay fortalezas en la presentación del producto, en la composición química y en las condiciones de envasado, pero hay incógnitas en las condiciones higiénicas del producto y en la variación del proceso.

Análisis producto cantidad (P-Q)

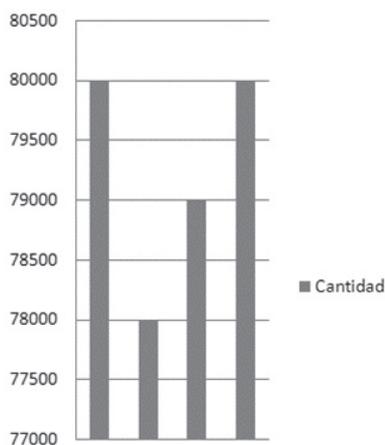


Figura 1-9.
Análisis producto cantidad
Fuente: Elaboración propia

En la Figura. 1-9, se observa que en la línea de producción solo se producen cuatro productos. Estos cuentan con características muy homogéneas de tales como el tamaño del envase, que hace que a la hora de hacer cambios la línea de sufra muchos. Es solo cuestión de cambiar materiales. Pero las maquinarias son las mismas. Y también se producen en cantidades parecidas.

Análisis de Relaciones
Tabla relacional de actividades

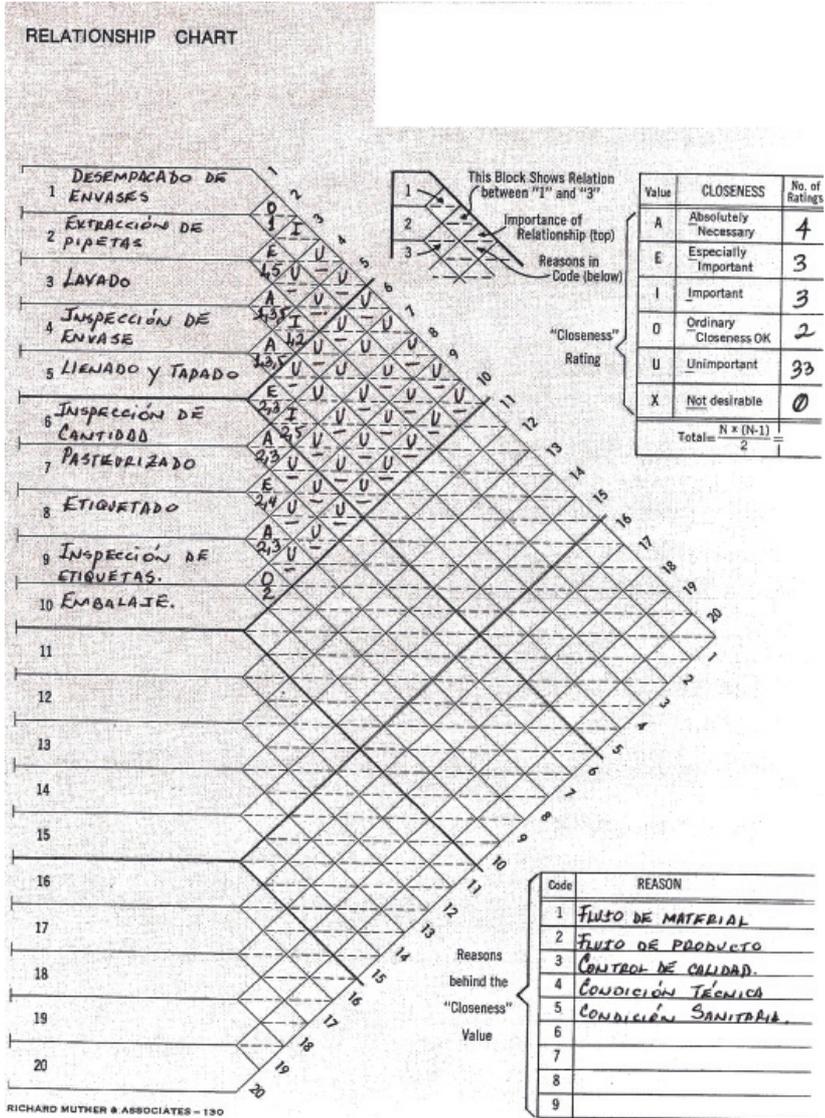


Figura 1-10.
Tabla relacional de actividades
Fuente: Elaboración propia

Los rasgos antes mencionados son peculiares de distribuciones de planta por producto, en cadena o serie, donde es normal que las unidades producidas se expresen en miles y sean casi iguales, salvo ciertas variaciones en el proceso; y también, que se vaya secuencialmente de una estación a otra hasta llegar a un producto terminado.

En la tabla de relaciones (ver Figura. 1-10) se muestran las relaciones lógicas entre una tarea y otra dentro del proceso. Estas tareas son valoradas de acuerdo con la importancia que tengan entre ellas, justificadas por una razón. Las razones que fueron tenidas en cuenta son: flujo de material y producto, control de calidad, condición técnica y condición sanitaria. Dentro de la matriz de relaciones se observa que de la actividad 2 a la 9 se encuentran relaciones muy estrechas entre pares de actividades consecutivas, es decir, cada actividad subsiguiente guarda una estrecha relación con la anterior. Y existen dos actividades con relaciones ordinarias que se limitan a un paso obligado de producto o material. Las relaciones planteadas en las líneas anteriores, muestran que entre de las actividades 2 a la 9 necesitan gran proximidad entre ellas.

Diagrama relacional de actividades

Usando el mismo esquema de convenciones de la Fig. 10, surge el diagrama de relaciones (ver Figura. 1-11).

En este diagrama se observan muchos aspectos que al final son los criterios que se toman una considerable ponderación para decidir cómo hacer la disposición de un espacio físico.

En este diagrama se observa que las actividades 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, deben contar con una gran integración y comunicación dentro del proceso productivo y da la visión de una posible ordenación topológica dentro del proceso, es decir, de pasar a denotar relaciones de proximidad con la tabla relacional se pasa a tener una posible ordenación espacial del proceso de producción.

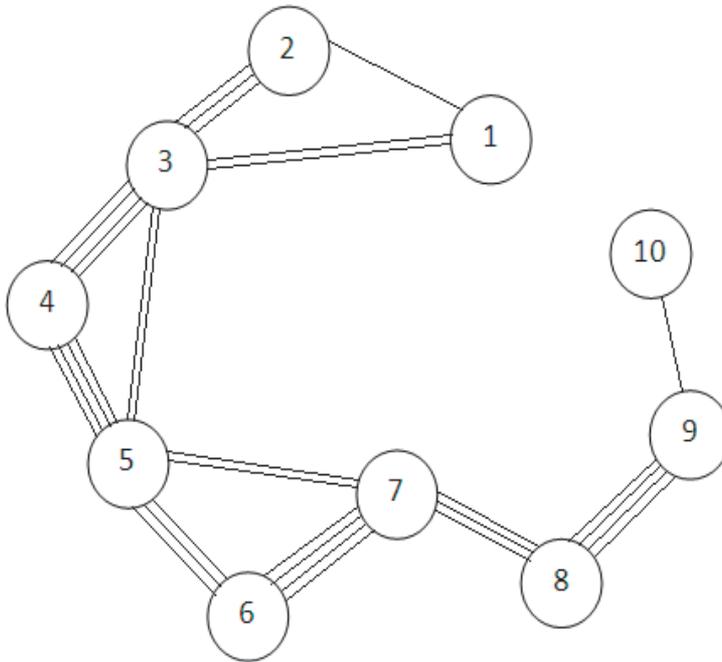


Figura 1-11.
Diagrama relacional de actividades
Fuente: Elaboración propia

Análisis de los ocho factores de distribución de planta

Factor material

Dentro de la industria gran parte de los flujos a lo largo de los procesos de producción son de materiales o materias primas. Para este caso, la industria es de bebidas con envases de vidrio. Aquí está el primer material del proceso. Este material es a base de silicio y posee unas características muy puntuales tales como su alta fragilidad y dureza. Esto hace que su manipulación a través de la línea de producción sea de gran cuidado, ya que su fractura es muy fácil y más en el proceso en cuestión (embotellado), donde el envase sufre muchas operaciones de transporte y otras en donde es sometido a altas presiones y a cambios repentinos de temperatura (ver procesos en la Figura. 1-7). De ahí que las bandas transportadoras, por las que se mueven los envases en la línea sean tan

especiales ya que si un envase se cae al andar la banda del transporte no se rompe, salvo si cae bajo las laderas. Además, la ubicación de las bandas debe ajustarse a la geometría de un triángulo para que cuando entren a las distintas máquinas las operaciones no se vean afectadas.

Por otro lado, en la fase de llenado entra a jugar otro material. Este es el líquido, es decir, la bebida. Dependiendo del tipo de bebida vienen de la fermentación de cereales a distintos porcentajes de alcohol por mililitro de volumen y también difieren en su tiempo de maduración. De esta manera, cabe resaltar, que la bebida es el producto de un minucioso proceso que va desde la consolidación de un mosto hasta que se vuelve bebida. En esta parte hay cereales, agua, entre otros, los cuales se están mezclando y luego se reposan. Es por esto que el agua usada en el proceso se trata en la misma planta, y los cereales pasan por unas pruebas de control de calidad rigurosa. Esto sin dejar de lado las tuberías especialmente orientadas y construidas para el paso de la bebida entre el lugar donde se encuentra hasta la línea de producción. Este diseño se hace bajo el uso de las operaciones unitarias para que el producto no sufra alteraciones en el transporte por el ducto. De esta manera está diseñado el transporte de la bebida a la línea de producción. Por último, la tapa del envase es hecha de hojalata, esta es aplicada con una máquina neumática al envase lleno y no es tan determinante en el proceso como los dos materiales anteriores.

Factor maquinaria

El proceso maneja gran cantidad de productos y materiales. Es por esto que dentro de sus partes tienen máquinas de distintos tipos, las cuales están organizadas en un proceso en cadena o en serie. Estas distribuciones cuentan con una desventaja y es que la parada de una máquina puede parar toda la cadena. Esto quiere decir que la confiabilidad asociada a esta maquinaria es muy estudiada, hasta el punto que los ingenieros de la compañía están trabajando en el mantenimiento pre-

dictivo de las máquinas, es decir, “predecir” con un nivel de confianza superior del 95 % cuándo fallará una máquina. Por otra parte, las máquinas usadas en la línea tienen una gran capacidad a enfrentar los cambios de producto. Estamos hablando de la flexibilidad que más adelante se abordará más al detalle.

En el layout actual fue de vital importancia la identificación de las dos máquinas más grandes, las que sus instalaciones son más complejas y las que desprenden gran cantidad de calor. Es por eso que las dos máquinas más grandes que son la pasteurizadora y la lavadora de botellas está en los extremos de la distribución con entradas de ventilación en ambas, con el fin de no traumatizar tanto la temperatura de trabajo dentro de la línea de producción. Y también facilidad para las tomas de corriente y demás aditamentos que llevan estas máquinas.

Factor hombre

El hombre es el complemento de las máquinas en el proceso de producción. Es así como el recurso humano es tenido en cuenta de gran forma en el layout. Es por esto que las temperatura de trabajo no pasan los 40 °C, porque las máquinas que generan más calor fueron dispuestas en lugares estratégicos para no afectar esta variable.

En las líneas de producción, normalmente los operarios están sometidos a trabajos repetitivos que con el tiempo terminan afectando las capacidades motrices. En esta línea, es muy diferente, porque el operario no está sometido a trabajos de gran repetición, pero son un poco más calificados a la hora de operar algunas máquinas que vienen asistidas por computador. Esto da un aviso de cómo están cambiando las condiciones laborales dentro de las grandes industrias del mundo, en donde ya los tiempos modernos que protagonizó Chaplin son un asunto netamente pasado. También, la distribución es cabal a que el operario no camine largos trayectos entre un lugar y otro.

Factor movimiento

La literatura habla de eliminar en lo posible la cantidad de operaciones de transporte, ya que no agregan valor, pero en este proceso es casi imposible eliminar las operaciones de transporte, porque de estas depende el flujo requerido de los productos y materiales. Lo que es posible alterar es la geometría o morfología de los transportes por requerimiento técnicos de las alteraciones que le han hecho a las máquinas. En esta parte, muchas veces se ven esperas ociosas porque el flujo de los productos se ve estacionario.

Factor espera

En teoría, las esperas no agregan valor a un proceso, pero en este resulta paradójico. Es necesario que los envases se acumulen para entrar a la lavadora de botellas, y también a la pasteurizadora porque esto trae reducciones de costos energéticos y mejoramiento del flujo del proceso, es decir, que el esperar en esta parte en vez de generar pérdidas ocasiona reducción de costos y de tiempos en producción, debido a las características de las máquinas y a la distribución adoptada.

Factor servicio

La distribución de la línea facilita que labores como aseo, inspecciones, seguridad industrial y mantenimiento se lleven a cabo de una forma rápida. Las inspecciones de cantidad de líquido, lavado y etiqueta hace muchos años eran llevadas a cabo por personas, que terminaban siendo víctimas de trabajos nocivos para la salud. En la actualidad los inspectores con automáticos, regulados desde algún lugar de la planta, esto hace que la línea no tenga muchos operarios.

Otro servicio es el de mantenimiento, que ya se están dando a buen paso las tareas de predicción de tiempos de fallos en las máquinas para que los costos por este concepto bajen. Esto hará la vida más tranquila

de los jefes de las divisiones de mantenimiento de las empresas, ya que se les facilitará su labor y se mantendrán los presupuestos. Es por esto que estas operaciones solo se demoran 2 turnos, es decir, 16 horas, cada 16 turnos.

Factor edificio

La forma de la línea (en U), la determinó el espacio en el que fue distribuida. Este espacio es reducido, ya que tiene a pocos metros la línea 4 y la 1, pero es el necesario para que se lleven a cabo las operaciones de una manera óptima. Por otro lado, existen pocos desagües en la línea que evita que los derrames sean rápidamente superados. También se tuvo en cuenta, que la temperatura de trabajo no sea tan alta (36 °C) en comparación con la ambiente en la ciudad que es de 28 °C. De ahí, que presente entradas de aire y ventilaciones en las máquinas que desprenden calor en grandes cantidades. En fin, la línea y el edificio se interrelacionan en gran manera para hacer una distribución acorde con el espacio.

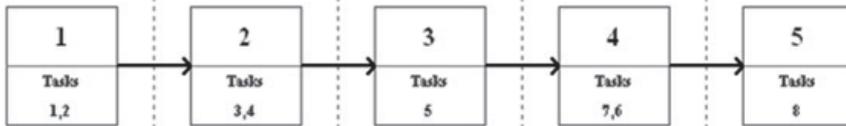
Factor cambio

Las líneas de producción organizadas en forma de cadena se caracterizan por falta de flexibilidad, pero esta se encuentra diseñada para que si es necesario mover los transportes, etiquetadoras, llenadoras-tapadoras y bandas transportadores, se muevan. Solo hay dos máquinas que le quitan flexibilidad a la línea, que son: la pasteurizadora y la lavadora de botellas.

Por lo general, la línea es muy flexible para hacer cambios en la geometría de los transportes y en la rata de las máquinas, para alterar el flujo de producto y material a través de la línea, pero este cambio genera una gran pérdida de horas y eso se traduce en elementos que no le agregan valor al producto.

Alternativa de solución

El layout propuesto tiene el siguiente funcionamiento:



Total Available Time in minute = 480 Total Task Time in minute = 385,70
Total Idle Time in minute = 94,30 Balance Delay = 19,65 %
Optimal Solution by Best Bud Search

Figura 1-12.
Métricas el Layout propuesto con la salida de la herramienta WINQSB
Fuente: Elaboración propia

Evaluación de las alternativas

FACTOR/CONSIDERATION	WT.	RATINGS AND WEIGHTED RATINGS					COMMENTS
		A	B	C	D	E	
1 CANTIDAD DE OPERARIOS	10	A 50	C 30	/	/	/	
2 REDUCCION DE COSTOS	9	B 36	B 36	/	/	/	
3 FLUJO DE PRODUCTOS	5	B 20	B 20	/	/	/	
4 FLUJO DE MATERIAL	5	B 20	B 20	/	/	/	
5 REDUCCION DE TIEMPO	8	A 40	C 24	/	/	/	
6		/	/	/	/	/	
7		/	/	/	/	/	

Figura 1-13.
Evaluación de las alternativas
Fuente: Elaboración propia

En este momento se comparan las dos alternativas teniendo en cuenta las consideraciones de la Figura. 1-12. Al realizar las ponderaciones correspondientes, se observa que en los valores de reducción de tiempo y de cantidad de operarios hubo una variación significativa que es la que hace que el layout actual tenga una mejor calificación que el anterior. Esta variación tiene su causa asignable en la disposición espacial de los aditamentos de la máquina llenadora en conexión con la tapadora.

CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

- Si el layout actual excede en la ponderación final al layout anterior es síntoma de que existe una diferencia significativa entre ambos. Esta diferencia se deriva en una calificación más favorable en materia de costos y reducción de operarios.
- La empresa lleva un manejo de los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos del proceso muy equilibrado.
- La línea está distribuida de tal forma que el espacio disponible en ella es aprovechada en un gran porcentaje, conservando la capacidad de hacer cambios y de mantener la temperatura de trabajo adecuada para el personal.
- Los métodos y tiempos son una herramienta muy viable para el caso en cuestión, ya que se actualizaron los nuevos tiempos estándar de esta línea productiva.
- La línea de producción 2 actual de la planta de embotellado incrementó sus niveles de productividad en un 12 %.
- Los desperdicios al interior del proceso se disminuyeron en un 62,7 % en comparación al anterior.
- En términos de Capacidad de Proceso se mejoró en un porcentaje mucho mayor al esperado. Al iniciar estaba en un $Cpk=1,8$ y se deja un $Cpk=2,1$.
- Con las consideraciones anteriores la disposición de los recursos físicos en el layout actual destinado para la línea 2 fue validado de manera positiva.
- Esto demostró que la inversión realizada excedió los resultados esperados, y que apoyará el desarrollo del programa Seis Sigma al interior de los procesos productivos.

Para futuras investigaciones sería muy interesante replicar trabajos de localización de plantas como los hechos por Guimarães y Almada-Lobo (2012), Montoya, Vélez-Gallego y Villegas (2012).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleisa, E. (2005). *Multilevel integration of simulation and facilities planning for large-scale systems*. Thesis (Ph.D.). New York, USA: State University of New York at Buffalo.
- Ballou, R. (2004). *Logística* (Tercera edición ed.). México: Pearson.
- Botero, A. (2016). Dimensionamiento de almacenes. *Revista de logística*. Bogotá. Link: <http://revistadelogistica.com/almacenamiento/dimensionamiento-de-almacenes/>
- Bozer, Y., Meller, R. & Erlebacher, S. (1994). An improvement-type layout algorithm for single and multiple-floor facilities. *Management Science*, 40(7), 918-932. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2632922>
- Buffa, E., Armour, G. & Vollman, T. (1964). Allocating facilities with CRAFT. *Harvard business review*, 42, p.136. Boston, USA.
- Chackelson-Lurner, C., Errasti-Opacua, A. & Santos-García, J. (2013). *Metodología de diseño de almacenes: fases, herramientas y mejores prácticas*. Pamplona: Editorial Universidad de Navarra. Obtenido de: dadun.unav.edu/handle/10171/28159
- Chase, R. B., Jacobs, F. R. & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministro* (Duodécima Edición ed.). (E. Zúñiga, Ed.). México DF, México: McGraw-Hill.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro, Estrategia, Planeación y Operación* (Tercera Edición ed.). (L. M. Cruz, Ed., A. Fernández & V. Carril, Trads.). México: Pearson Educación.
- Diego Mas, J. (Enero de 2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos*. Valencia, Catalunya, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Djokovic, D. & Souitaris, V. (2008). Spinouts from academic institutions: A literature review with suggestions for further research. *Journal of Technology Transfer*. doi: [org/10.1007/s10961-006-9000-4](https://doi.org/10.1007/s10961-006-9000-4)
- Guimarães, L. & Almada-Lobo, B. (2012). *Planeamento de longo prazo da cadeia de abastecimento na indústria de bebidas*. Annals XVI CLAIO -

- XLIV SBPO - Workshop LIA-SGT, 1705-1717, Rio de Janeiro: Sociedad Brasileira de Investigación de Operaciones.
- Kumar, S. A. & Suresh, N. (2009). *Operations Management*. New Delhi: New Age International Limited Publishers.
- Montoya, J., Vélez, M. & Villegas, J. (2012). *Capacitated facility location problem with general operating and buiding cost*. Annals XVI CLAIO - XLIV SBPO - Workshop LIA-SGT, 1628-1637, Rio de Janeiro: Sociedad Brasileira de Investigación de Operaciones.
- Muther, R. (1961). *Systematic Layout Planning*. Boston: CBI Publishing Company. Inc.
- Ortega, R. (2003). *Distribucción de plata a través de un algoritmo genético*. Puebla, México: Universidad de las Américas.
- Ramakrishnan, S. & Srihari, K. (2008). *A novel method to re-layout facilities using industrial engineering concepts*. *Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference*, 1-7. New York: J. Fowler and S. Mason.
- Van Donk, D. & Gaalman, G. (2004). Food Safety and Hygiene: Systematic Layout Planning of Food Processes. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(11), 1485-1493. doi: 10.1205/cerd.82.11.1485.52037
- Yang, T., Su, C. & Hsu Y. (2000). Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(11), 1359-1371. doi: 10.1108/01443570010348299
- Ye, M. & Zhon, G. (2005). Method of Systematic Layout Planning Improved by Genetic Algorithm and Its Application to Plant Layout Design. *Journal of East China University of Science and Technology*, 31(3), 371-375. Obtenido de: www.scopus.com
- Yujie, Z. & Fang, W. (2009). *Study on the General Plane of Log Yards Based on Systematic Layout Planning*. (IEEE, Ed.) 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 92-95.