

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Introducción al diseño de plantas industriales, conceptos y métodos cuantitativos para la toma de decisiones

Universidad Nacional de Colombia
David C. Bravo S. Carlos H. Sánchez L.

Contenido

Contenido.....	1
Introducción.....	5
Definición.....	6
Objetivos.....	6
Generalidades	8
Principios a considerar	8
Tipos de distribución	9
Distribución por posición fija.....	9
Distribución por proceso	9
Distribución por producto	10
Distribución por células de trabajo	11
Definiendo la distribución.....	12
Factores que intervienen en la distribución	12
Material	12
Maquinaria.....	12
Hombres.....	12
Movimiento	12
Espera (Almacenamiento Y Retrasos).....	12
Servicios	13
Características Del Edificio Y De La Localización.....	13
Cambio.....	13
Planeación Layout.....	15
Fases de planeación de localización.....	15
Elementos Básicos de la Planeación Layout	17
Procedimiento	18
Diagrama de Relaciones de Actividades.....	23
Ejemplo del diagrama de relación de actividades	25

Almacenamiento y bodegas.....	29
Propiedad de la bodega.....	30
Ubicación de almacenes y bodegas.....	30
Funciones del almacenamiento y las bodegas.....	31
Operaciones en el almacenamiento y en la bodega.....	32
Políticas de almacenamiento.....	32
Ejemplo: distribución de una bodega.....	34
Manejo de material: principios y descripción.....	37
Definición del manejo de material.....	37
Objetivos del manejo de material.....	38
Tipos de equipo de manejo de material.....	39
Transportadores.....	39
Grúas Y Montacargas.....	40
Carros de carga.....	42
Grados de mecanización.....	42
El concepto de carga unitaria.....	44
Principios del manejo de material.....	44
Compatibilidad de los principios.....	48
Dificultades en las aplicaciones de los principios.....	48
Costo del manejo de material.....	48
Relación entre el manejo de material y la distribución de la planta.....	49
Equipos que se usa para el manejo de material.....	50
Tipos de equipo.....	50
Descripción del equipo.....	51
Métodos Cuantitativos para realizar la distribución en planta.....	63
Algunos Métodos Cuantitativos Para La Localización.....	63
Gráficos de volúmenes, ingresos y costes: análisis del punto de equilibrio.....	64
Método del centro de gravedad.....	65
Métodos cuantitativos de distribución orientados al proceso y producto.....	67
Método triangular.....	67
Método Húngaro.....	73
Balanceo de línea.....	77
Método de carga-distancia.....	82
Preguntas y ejercicios propuestos.....	86
Tipos de distribución.....	86

Métodos cuantitativos de distribución orientados al proceso y producto.....	86
Índice de tablas e ilustraciones	90
Ilustraciones.....	90
Tablas	91
Bibliografía	93

Introducción

Las empresas desarrollan sus operaciones en instalaciones de diverso tipo: plantas de transformación y/o ensamble, almacenes para materiales y componentes o para productos terminados, puntos de ventas y/o de asistencia postventa, oficinas, etc.

En la configuración de los diferentes elementos, mencionados anteriormente, convergen un conjunto de decisiones distintas pero a la vez muy relacionadas que han de ser adoptadas en las diferentes fases de la estrategia de operaciones. Entre estas, las decisiones de distribución en planta son un elemento fundamental del plan estratégico general de cualquier empresa y a su vez presentan un desafío sustancial para la administración, pues muchas de ellas tienen efectos a largo plazo que no se pueden revertir con facilidad. Estas decisiones determinan la eficiencia de las operaciones, así como el diseño de los puestos de trabajo, por lo tanto, resulta importante mejorar la práctica del diseño utilizando los mejores enfoques disponibles.

La ordenación de las áreas de trabajo, el personal y los medios de producción debe ser la más económica para el trabajo, al mismo tiempo que la más segura y satisfactoria para los empleados, pero en el pasado no se tenía un procedimiento que fuera sistemático o aplicable a diferentes situaciones.

Muther en 1961, fue el primero en desarrollar un procedimiento verdaderamente sistemático, el Systematic Layout Planning (SLP) que establece una metodología aplicable a la resolución del problema independientemente de su naturaleza.

Los métodos precedentes al SLP son simples e incompletos y los desarrollados con posterioridad son en muchos casos variantes de éste, más o menos ampliadas, siendo este método el más difundido entre la bibliografía consultada. De tal forma, es posible afirmar que el SLP ha sentado precedentes y ha marcado un antes y un después en el diseño de instalaciones de producción y servicios como área del conocimiento de la investigación de operaciones.

Definición

La distribución en planta implica la ordenación física de los elementos industriales. 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 del taller.

Cuando se usa el término de distribución en planta, se alude algunas veces a la disposición física ya existente, y a veces, a una nueva distribución proyectada, o solamente nos referimos al área de estudio o simplemente a la realización de una distribución completamente nueva (Muther, 1977).

Objetivos

El objetivo general de la distribución en planta es el de reducir los costos y tiempos de producción, sin dejar de lado la seguridad de los empleados.

Pero este objetivo general es muy amplio, por lo cual se puede desglosar de una manera más específica:

- *Incremento de la producción:* Cuando se hace una buena distribución, hay una mayor producción sin tener más costos o incluso reduciéndolos.
- *Disminución de los retrasos en la producción:* Cuando los tiempos de operación y las cargas de cada área de trabajo se encuentran equilibradas se reducen al mínimo las ocasiones en las que el material en proceso debe detenerse.
- *Ahorro de área ocupada:* Lo que se busca es utilizar al máximo el área con la que se dispone, reduciendo las distancias excesivas entre maquinas, pasillos innecesarios, disposición de las instalaciones eléctricas, de agua y gas, así como de las áreas de almacenamiento, tanto de materia prima, como de producto terminado o de material en proceso (WIP).
- *Acortamiento del tiempo de fabricación:* Una vez que se reducen las distancias, las esperas y los almacenamientos innecesarios, el tiempo de ciclo del producto se reducirá de un modo significativo.
- *Disminución de la congestión y confusión:* Lo que se quiere es que la planta tenga un adecuado espacio para todas las operaciones necesarias y un método de producción fácil y apropiado.

- *Mayor facilidad de ajuste a los cambios:* Debido a los constantes cambios en el entorno, así como de las necesidades de los consumidores, las plantas de hoy en día deben adaptarse a dichos cambios para mantener la competitividad, y no verse forzada a incurrir en gastos como la compra, adecuación e instalación en una nueva locación.
- *Mayor utilización de la maquinaria, mano de obra y/o los servicios:* Este tema siempre influye directamente en el factor costo, por eso se debe pensar siempre en la forma para hacer que estos elementos se estén utilizando de la manera más eficiente y apropiada.
- *Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores:* La distribución que se dé a una planta debe evitar que los trabajadores tengan que exponerse a lesiones solo porque una maquina o equipo quedo mal ubicado o las zonas no están debidamente demarcadas.

Generalidades

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 es precisamente a lo que se le conoce por Distribución en Planta. Pero para lograr esto hay que tener en cuenta principios y tipologías, que se han sido creadas con el propósito de realizar una buena distribución en planta.

Principios a considerar

Los siguientes principios son las bases que sirven de cimiento a cualquier distribución, el ignorar o hacer un mal análisis que afecte a alguno de estos fundamentos repercutirá en una mal diseño y posteriormente a problemas en las operaciones del proceso natural de producción.

- *Principio de la integración de conjunto:* La mejor distribución es la que integra a los hombres, los materiales, la maquinaria, las actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte un mejor compromiso entre las partes.
- *Principio de la mínima distancia recorrida:* A igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea la más corta.
- *Principio de circulación o flujo de materiales:* Es mejor la distribución en la que se ordenan las áreas de trabajo de modo que cada operación se encuentre en el mismo orden en el que se transforma, trata o maneja el material.
- *Principio del espacio cubico:* La economía se obtiene utilizando de un modo eficiente todo el espacio disponible, tanto horizontal como verticalmente.
- *Principio de la satisfacción y de la seguridad:* Se debe hacer una distribución en la cual el trabajo sea más satisfactorio y seguro para los trabajadores

- *Principio de la flexibilidad:* La distribución en planta más efectiva es aquella que puede ser ajustada y/o reordenada con el menor costo y en el menor tiempo posible.

Tipos de distribución

Debido a naturaleza diversa de todos los procesos productivos no es acertado decir que existe una única distribución óptima de planta. Es por esto que de acuerdo

Distribución por posición fija

El producto se fabrica en un solo lugar y los trabajadores y equipos acuden a esa área específica. Es apropiada cuando no es posible mover el producto final debido a su peso, tamaño, forma, volumen o alguna característica particular que lo impida.

Se emplea en procesos productivos por proyectos. Ejemplos: construcción de casas, barcos, obras de ingeniería (puentes, túneles, etc.), aeronáutica, vehículos espaciales, etc.

Ventajas:

- Se logra una mejor utilización de la maquinaria
- Se adapta a gran variedad de productos
- Se adapta fácilmente a una demanda intermitente
- Presenta un mejor incentivo al trabajador
- Se mantiene más fácil la continuidad de la producción

Desventajas:

- Funciona de manera correcta si las operaciones de valor agregado son simples y requieren poca maquinaria o herramientas.
- La calidad del producto depende directamente de la habilidad del trabajador y su efectividad en el proceso.

Distribución por proceso

Está indicada para la manufactura de piezas en pequeños grupos o lotes, y para la producción de una gran variedad de piezas de diferentes tamaños o formas.

El personal y los equipos que realizan una misma función se agrupan en una misma área. Los distintos ítems tienen que moverse de un área a otra, de acuerdo con la secuencia de operaciones establecida para su obtención.

Ventajas:

- Flexibilidad en el proceso vía versatilidad de equipos y personal calificado.
- Mayor fiabilidad en el sentido de que las averías de una máquina no tienen por qué detener todo el proceso.
- La diversidad de tareas asignadas a los trabajadores reduce la insatisfacción y desmotivación.

Desventajas:

- Los pedidos se mueven más lentamente a través del sistema, debido a la dificultad de programación, reajuste de los equipos, manejo de materiales.
- Los inventarios del proceso de fabricación son mayores debido al desequilibrio de los procesos de producción (el trabajo suele quedar en espera entre las distintas tareas del proceso).
- Baja productividad dado que cada trabajo o pedido puede ser diferente, requiriendo distinta organización y aprendizaje por parte de los operarios.

Distribución por producto

Está relacionada con procesos productivos de flujo lineal.

Las máquinas se colocan unas junto a otras a lo largo de una línea en la secuencia en que cada una de ellas ha de ser utilizada; el producto sobre el que se trabaja recorre la línea de producción de una estación a otra a medida que sufre las modificaciones necesarias.

El flujo de trabajo puede adoptar diversas formas.

Ventajas:

- Reducción de tiempos de fabricación, simplificación de tareas, menor cantidad de trabajo en proceso, se reduce el manejo de materiales.

Desventajas:

- Poca flexibilidad en el proceso, la parada de alguna máquina puede parar la línea completa, trabajos muy monótonos, inversión elevada.

Distribución por células de trabajo

Es un híbrido de las distribuciones en planta por proceso y por producto.

Se basa en la agrupación de productos con las mismas características en familias y asigna grupos de máquinas y trabajadores para la producción de cada familia (célula).

Para formar células de trabajo es necesario:

- Identificar productos que pertenecen a una misma familia (similitudes en la fabricación, formas, tamaños).
- Definir máquinas y trabajadores que formarán la célula de trabajo.
- Definir la distribución interna de cada célula.

Ventajas:

- Mejora de las relaciones de trabajo, disminución de los tiempos de fabricación y preparación, simplificación de la planificación, se facilita la supervisión y el control visual.

Desventajas:

- Incremento de los costos por la reorganización, reducción de la flexibilidad, incremento de los tiempos inactivos de las máquinas.

Definiendo la distribución

Factores que intervienen en la distribución

Existen ciertos factores que afectan cualquier distribución de planta y estos se mencionan a continuación:

Material

Se considera como el factor más importante para la distribución e incluye el diseño, características, variedad, cantidad, operaciones necesarias y su secuencia.

Maquinaria

Después del material, el equipo de proceso y la maquinaria son factores que influyen en orden de importancia. La información que obtengamos de éste factor es de gran importancia para efectuar la distribución apropiada.

Hombres

Como factor que afecta de alguna manera a la distribución de planta, el hombre es el elemento más flexible y que se adapta a cualquier tipo de distribución con un mínimo de problemas, aquí es muy importante tomar en consideración las condiciones de trabajo.

Movimiento

El movimiento de materiales es tan importante que la mayoría de industrias tienen un departamento especializado de manejo de materiales.

Espera (Almacenamiento Y Retrasos)

Nuestro objetivo principal será siempre reducir los circuitos de flujo de material a un costo mínimo. Cuando se detiene un material, se tendrá una demora que cuesta dinero, aquí el costo es un factor preponderante.

Servicios

Los servicios de una planta son las actividades, elementos y personal que sirven y auxilian a la producción. Podemos clasificar los servicios en:

- Servicios al personal
- Servicios al material
- Servicios a la maquinaria

Características Del Edificio Y De La Localización

El edificio influirá en la distribución de planta sobre todo si ya existe en el momento de proyectarla. Algunas empresas funcionan en cualquier tipo de edificios, otras funcionan sin edificio alguno, pero la mayoría de las empresas requieren estructuras industriales expresamente diseñadas de acuerdo con sus procesos específicos de producción.

Cambio

Cualquier cambio que suceda, es una parte básica del concepto de mejora. De esta manera debemos de planear la distribución de tal forma que se adapte a cualquier cambio de los elementos básicos de la producción y evitar la sorpresa de que nuestra distribución ya resulta obsoleta. Los elementos a analizar para realizar cambios con:

- Identificar imponderables
- Definir límites de influencia de los cambios sobre la distribución en planta

Diseñar la distribución de acuerdo con el principio de la flexibilidad



Ilustración 1. Factores que inciden en la distribución

Planeación Layout

Este método fue desarrollado por un especialista reconocido internacionalmente en materia de planeación de fábricas, quién ha recopilado los distintos elementos utilizados por los Ingenieros Industriales para preparar y sistematizar los proyectos de distribución, además de que ha desarrollado sus propios métodos entre los que se encuentran:

- SLP, Systematic Layout Planning.
- SPIF, Systematic Planning of Industrial Facilities.
- SHA, Systematic Handling Analysis.
- MHA, Material Handling Analysis.

El método SLP, es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución y está constituida por cuatro fases, en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas de la mencionada planeación.

Esta técnica, incluyendo el método simplificado, puede aplicarse a oficinas, laboratorios, áreas de servicio, almacén u operaciones manufactureras y es igualmente aplicable a mayores o menores readaptaciones que existan, nuevos edificios o en el nuevo sitio de planta planeado.

El método SLP (en español, Planeación sistemática de la distribución en planta), consiste en un esqueleto de pasos, un patrón de procedimientos de la Planeación Sistemática de la Distribución en Planta y un juego de conveniencias.

Fases de planeación de localización

Como cualquier proyecto de organización, arranca desde un objetivo inicial establecido hasta la realidad física instalada, pasa a través de cuatro pasos de plan de organización.

Paso I: Localización	Aquí debe decidirse donde va a estar el área que va a ser organizada, este no es necesariamente un problema de nuevo físico. Muy comúnmente es uno de los determinados, si la nueva organización o reorganización es en el mismo lugar que está ahora, en un área de almacenamiento actual que puede estar hecha gratis para el propósito, en un edificio recientemente adquirido o en un tipo similar de un área potencialmente disponible.
Paso II: Planear la organización	Esta establece el patrón o patrones básicos de flujo para el área que va a ser organizada. Esto también indica el tamaño, relación y configuración de cada actividad mayor, departamento o área.
Paso III: Preparar el detalle	En este paso se prepara el detalle del plan de organización e incluye planear donde va a ser localizada cada pieza de maquinaria o equipo.
Paso IV: Instalar	Esto envuelve ambas partes, planear la instalación y hacer físicamente los movimientos necesarios. Indica los detalles de la distribución y se realizan los ajustes necesarios conforme se van colocando los equipos.

Estos pasos vienen en secuencia y para mejores resultados, deben traslaparse una a otra, es decir, que todas pueden iniciarse antes de que termine la anterior, ya que son complementarias.

Pasos I y IV son frecuentemente, no una parte del proyecto específico de organización de la planeación de los ingenieros, aunque su proyecto debe pasar en cada caso por estos primeros y los últimos pasos. Por lo tanto, el planeador de la organización se concentra en los estrictos pasos del plan de organización: II, organización general total y III plan de organización detallada.

Todo proyecto de distribución en planta debe pasar por estas fases que deben ser analizadas por un grupo interdisciplinario que sea al mismo

tiempo responsable de todas ellas. A pesar de lo anterior el ingeniero o encargado de la distribución debe conocerlas para integrar en forma racional el proyecto total.

Elementos Básicos de la Planeación Layout

Los elementos básicos de consumo o factores en cuales hecho e información serán necesarios, deben ser reconocidos. Esto es fácil de recordar con la clave de "alfabeto de las facilidades de ingeniería de planeación" (PQRST). Por lo que existen cinco elementos básicos en los que se funda todo problema de distribución y forman la base del procedimiento S.L.P. simplificado.

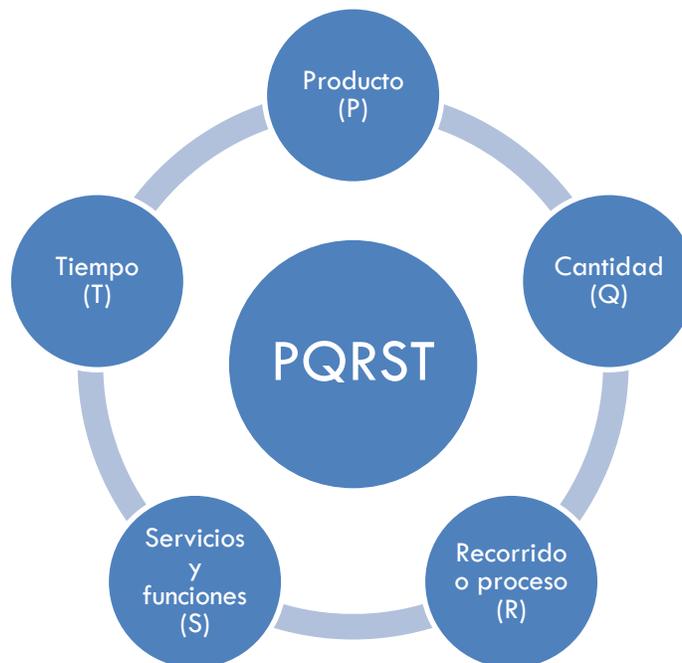


Ilustración 2. Elementos de planeación Layout

P: El producto o material que debe fabricarse, incluyendo variaciones y características.

Q: La cantidad o volumen de cada variedad de productos o artículos que deben ser fabricados.

R: el recorrido o proceso, es decir, las operaciones, su secuencia o el orden en el que se realizan las operaciones.

S: *Servicios, actividades de soporte y funciones* que son necesarios en los diferentes departamentos para que puedan cumplir las mismas que se les han encomendado.

T: *El tiempo o toma de tiempos* que relaciona PQRS con cuando, cuanto tiempo, que tan pronto y que tan seguido, además de que influye de manera directa sobre los otros cuatro elementos, ya que nos permite precisar cuándo deben fabricarse los productos, en qué cantidades. De acuerdo a lo anterior, cuánto durará el proceso y que tipo de máquinas lo acelerarán que servicios son necesarios y su situación, ya que de ellos depende la velocidad a la que el personal se desplace de un punto de trabajo a otro.

Por similitud, estos cinco elementos podrían ser los componentes de una llave, una llave que abra la puerta en donde se encuentra la solución a nuestro problema de distribución en planta.

El elemento más importante para las personas que preparan una distribución en planta es el tiempo, planeado para evitar costos excesivos en la instalación de los activos.

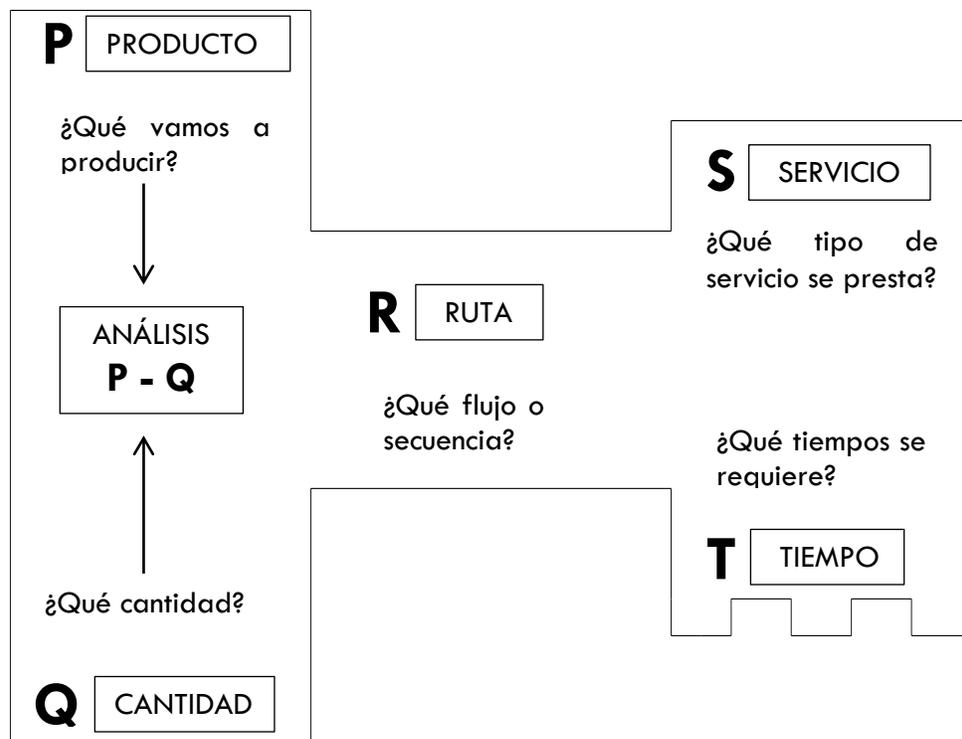


Ilustración 3, Elementos de la planeación Layout

Procedimiento

La parte analítica de planear la organización general total empieza con el estudio de los datos de consumo, ya que primero viene un análisis del flujo de los materiales, pero, en adición a las áreas de producción, las muchas áreas de servicio de soporte deben estar completamente integradas y

planeadas. Es un hecho, que muchas organizaciones como oficinas y laboratorios y plantas que producen pequeños artículos, no tienen un tradicional flujo de materiales el cual un análisis significativo del mismo puede hacer que como resultado, se desarrollen o generen los diagramas de la relación entre actividades de servicio u otras razones del flujo de materiales es frecuentemente de igual importancia.

Estas dos investigaciones, están después combinadas en un diagrama de flujo de relación de actividades. En este proceso, las variadas áreas de actividades o departamentos están geográficamente esquematizadas sin consideración al espacio de piso actual que cada una requiere. Para llegar a los requerimientos de espacio, el análisis debe de ser hecho de procesos de maquinado y equipo necesario y las facilidades de servicio incluidas. Estos requerimientos de área deben ser balanceados de acuerdo al espacio disponible, luego, el área permitida para cada actividad "sostendrá" la relación de actividades esquemática para formar un diagrama de relación de espacio.

Toda distribución de planta se base en tres parámetros:

Relaciones	Que indican el grado relativo de proximidad deseado o requerido entre máquinas, departamentos o áreas en cuestión.
Espacio	Indicado por la cantidad, clase y forma o configuración de los equipos a distribuir.
Ajuste	Que será el arreglo físico de los equipos, maquinaria, servicios, en condiciones reales.

Por lo tanto, estos tres parámetros siempre constituyen la parte medular de cualquier proyecto de distribución de planta en su fase de planeación. Por lo que, el modelo de planeación correspondiente a sus procedimientos se basan directamente en éstos parámetros. Relaciones y espacio están esencialmente "casadas" en este punto. El diagrama de relación de espacios es casi una organización, pero, no es una organización tan efectiva hasta que está ajustado y manipulado para integrar con las consideraciones de arreglo y modificación que también lo afectan, esto incluye algunas consideraciones básicas como métodos de manipulación, prácticas operativas, consideraciones de seguridad y otros aspectos. Como toda buena idea potencial y

concerniendo estas características ya inventadas, deberá enfrentarse al cambio en lo práctico.

Como la integración y el ajuste de las consideraciones de modificación y las limitaciones prácticas del trabajo, una idea después de otra es probada y examinada. Las ideas que tienen valor práctico son retenidas y aquellas que no pasan el examen son descartadas. Finalmente, después de abandonar esos planes que no sirven, dos, tres, cuatro o tal vez cinco alternativas propuestas de organización pueden permanecer, cada una de ellas se podrá trabajar y cada una de ellas tiene un valor, el problema cae en decidir cuál de estas alternativas de planes deberá ser seleccionada.

Estas alternativas de planes pueden llamarse plan X, plan Y y Plan Z, en este punto, el costo de algunos análisis de este tipo pueden hacerse junto con una evaluación de factores intangibles, como resultado de esta evaluación, una opción es hacerlo a favor de una alternativa o de otra, aunque en muchos casos el proceso de evaluación por sí mismo sugiere una nueva, aún la mejor organización puede ser una combinación de dos o más de las alternativas de organización que se evaluaron.

El siguiente paso, la organización detallada, envuelve el reconocimiento de cada pieza específica de la maquinaria y equipo, cada uno aislado, en cada uno de los estantes del almacén y hacer para cada una de estas actividades, áreas o departamentos, conocer cual está obstruido en el análisis general total previo.

Como se mencionó con anterioridad, el paso III traslapa al paso II, esto significa que antes de finalizar actualmente la organización general total, ciertos detalles tendrán que ser analizados, por ejemplo, la actual orientación de un transportador pudo haber sido analizada antes y determinada en la organización general detallada, este es el tipo de investigación traslapada que toma la ingeniería de planeación en la planificación de la organización detallada en ciertas áreas antes de que el paso II esté completo.

Nótese que el plan detallado de organización debe ser hecha para cada área departamental envuelta, esto significa, que probablemente algunos ajustes deban ser hechos entre bloques departamentales como el detallado de las áreas que han sido planeadas, esto es, algunos reajustes de la organización general pueden ser llamados, claro, esto es importante no para ser gobernado por una muy rígida aplicación de la organización total general trabajada en el paso II.

Esta puede ser ajustada y cambiada dentro de los límites, como los detalles dentro de cada área que esté trabajando. En la planeación de la organización detallada, el mismo patrón de procedimientos que es utilizado en el paso se repite, sin embargo, el flujo de los materiales ahora se vuelve el movimiento de los materiales dentro del departamento.

Las relaciones del departamento se vuelven ahora relaciones del equipo dentro del departamento, similarmente, el espacio requerido ahora se vuelve el espacio requerido para cada pieza específica de maquinaria y equipo y es el área de soporte inmediato, además el diagrama de relaciones de espacio ahora se vuelve un áspero arreglo de temple u otras réplicas de maquinaria y equipo, hombres y materiales o productos.

Como en el paso II, algunas alternativas de organización pueden resultar, esto avanza hacia una evaluación para seleccionar la organización departamental más satisfactoria. Este patrón de procedimientos SLP provee una disciplina básica de planificación mientras al mismo tiempo por diferentes contenidos lógicos de los datos de consumo PQRST.

Y justo como el análisis de flujo de materiales se vuelve menos importante y la actividad del patrón entero tiene la flexibilidad de ser modificado para las necesidades de cualquier proyecto de organización, esto, se vuelve un asunto de ajuste de importancia de cada caja más que cambiar la secuencia del arreglo de cajas.

Es importante planear la distribución de planta antes de llevarla a la práctica, ya que hacerlo físicamente resulta excesivamente caro y más aún cuando se detectan los errores de los medios conocidos, de una manera racional, lógica y organizada.

MODELO DE PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO SLP

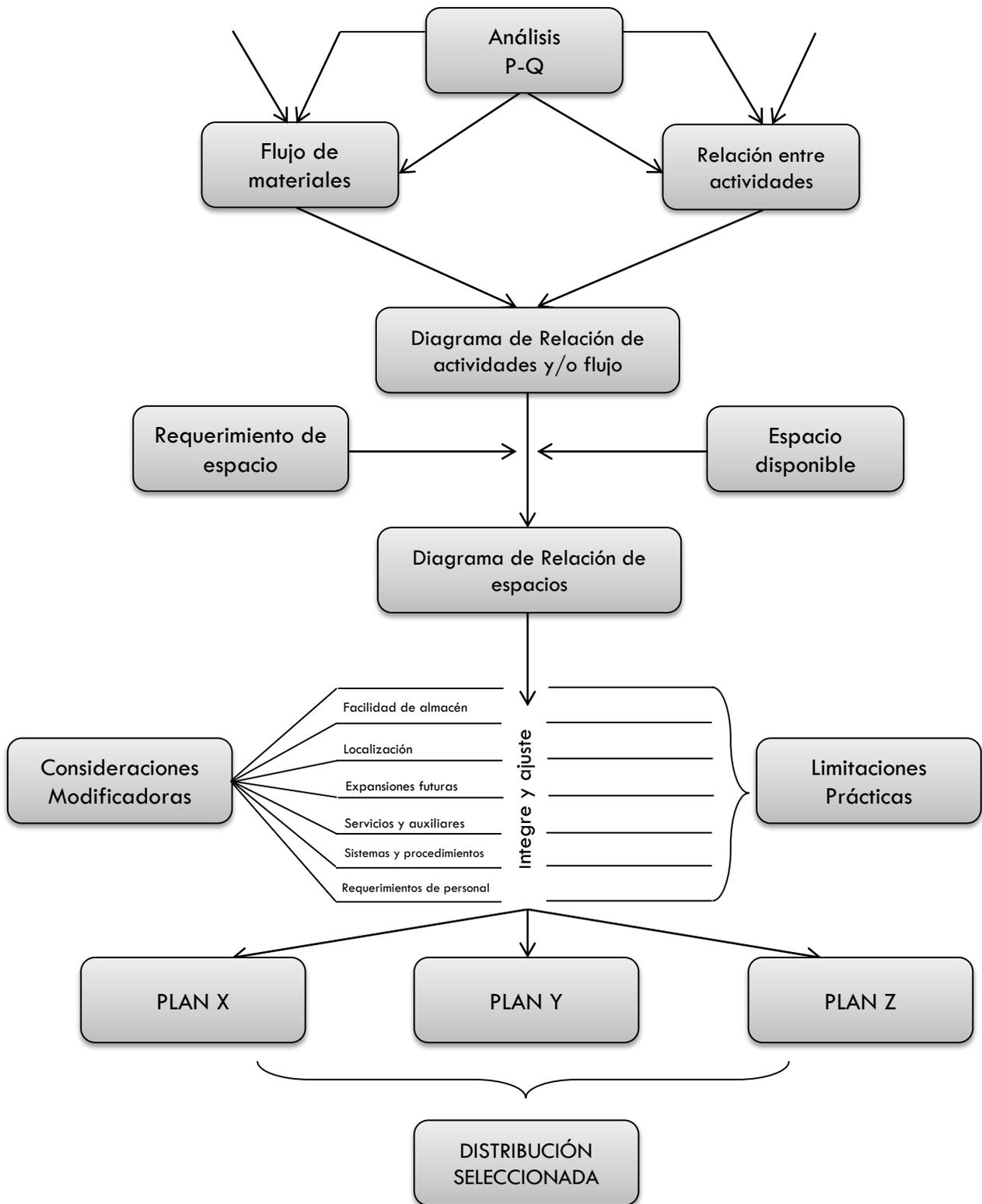


Ilustración 4, Procedimiento SLP

Diagrama de Relaciones de Actividades

Son representaciones graficas que permiten establecer relaciones de proximidad y los motivos mediante los cuales se justifica esta proximidad. A demás de realizar relaciones entre dos operaciones utilizamos las letras (vocales) a las cuales se le asigna una calificación y se puede representar mediante signos. (Sarache Castro, 1998)

Tabla 1, Códigos de proximidad

Código	Proximidad	Símbolo
A	Altamente necesaria	=====
E	Especialmente necesaria	=====
I	Importante necesaria	=====
O	Ordinaria necesaria	=====
U	Ninguna	No Aplica
X	Indeseable	ΛΛΛΛΛΛΛΛΛΛ
XX	Especialmente indeseable	ΛΛΛΛΛΛΛΛΛΛ ΛΛΛΛΛΛΛΛΛΛ

Tabla 2, Códigos de motivos de proximidad

Código	Motivos de proximidad
1	Comparten Tecnología y/o bancos de trabajo
2	Fácil Supervisión
3	Riesgos físicos y químicos
4	Control y supervisión común
5	Altas temperaturas, gases tóxicos

Estos motivos solo son para un caso específico, usted puede utilizar los que considere necesarios siempre y cuando presente la tabla relacionando los motivos con sus códigos.

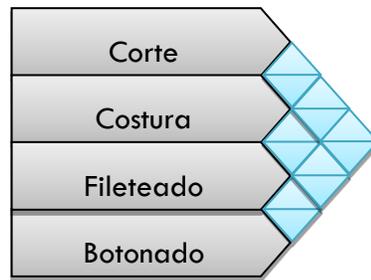
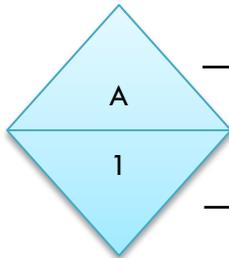


Ilustración 5, Ejemplo de operaciones en una empresa textil



→ En esta parte se coloca la relación de proximidad

→ En esta parte se colocan los motivos (justificación de la proximidad)

A continuación se presenta la otra representación del diagrama de relación de actividades

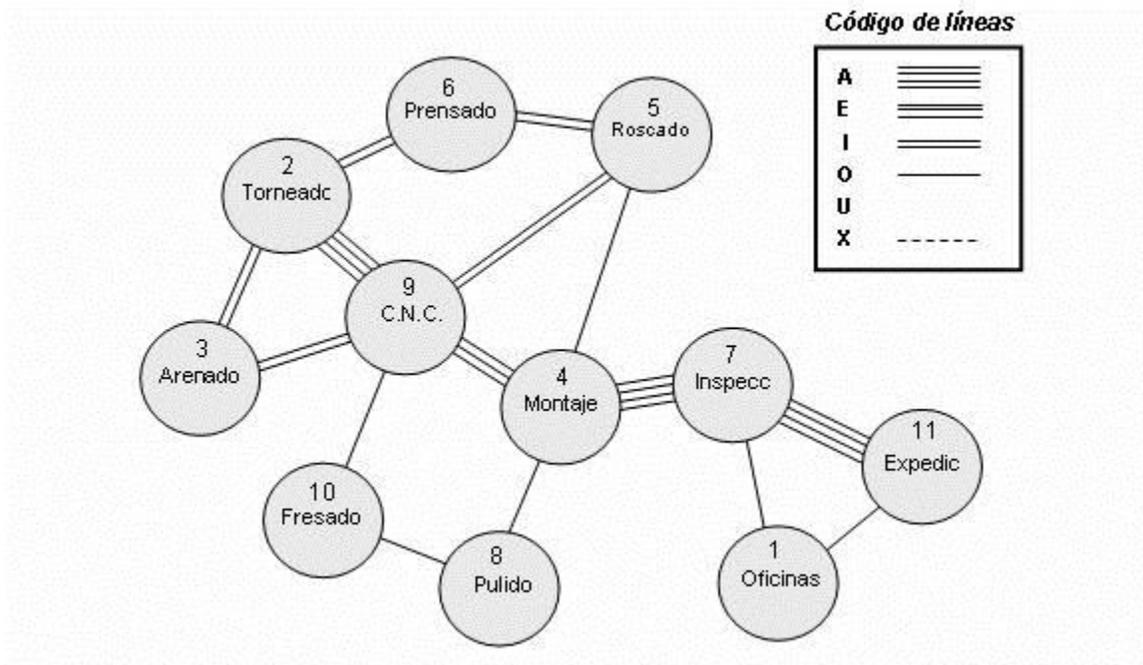


Ilustración 6, Relación de proximidad entre las operaciones (Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta, 2008)

Ejemplo del diagrama de relación de actividades

Para construir el diagrama se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

Primero	Se establecen las áreas, departamentos, sectores, operaciones o maquinas para los cuales se van a establecer los factores cualitativos de proximidad
Segundo	Realizar entrevistas, cuestionarios o encuestas a los jefes, supervisores y demás trabajadores de los departamentos o áreas previamente establecido.
Tercero	De acuerdo a los análisis del paso anterior se determinan o definen los criterios de proximidad, que suelen ser: flujo de materiales, grado de contacto personal, uso del mismo material, supervisión, uso de las mismas instalaciones y equipo, etcétera.
Cuarto	Ahora se asigna un valor a la relación y la razón del valor, se debe relacionar en la tabla.

A continuación se va a realizar el diagrama para una empresa textil.

Tabla 3, departamentos a distribuir

RELACIÓN DE DEPARTAMENTOS A DISTRIBUIR

1. Almacén de Hilados
2. Enconado – Bobinado – Retorcido
3. Tejeduría circular
4. Tejeduría rectilíneos
5. Almacén de tela cruda
6. Tintorería de telas
7. Tintorería de hilados
8. Almacén de tela acabada
9. Tenido y corte
10. Bordados
11. Costura
12. Acabados
13. Almacén de avíos
14. Almacén de productos terminados

Tabla 4, clasificación de proximidad

Departamentos	Clasificación de proximidad entre departamentos												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Almacén de Hilados	E(1)	A(1)	I(1)	U	X(5)	X(5)	U	U	U	U	U	U	U
2. E – B – R	-	I(1)	I(1)	U	U	E(1)	U	U	U	U	U	U	U
3. Tejeduría circular		-	O(2,3)	E(1,5)	X(5)	X(5)	U	U	U	U	U	U	X(5)
4. Tejeduría rectilíneos			-	E(1,5)	X(5)	X(5)	U	U	U	U	U	U	U
5. Alm. de tela cruda				-	I(1)	U	U	U	U	U	U	U	U
6. Tintorería de telas					-	A(4,3)	O(1)	X(5)	U	X(5)	U	U	X(5)
7. Tintorería de hilados						-	U	X(5)	U	X(5)	U	U	X(5)
8. Alm. de tela acabada							-	E(1)	U	U	U	U	U
9. Tenido y corte								-	O(1)	E(1)	U	O(1)	U
10. Bordados									-	O(4)	U	O(1)	U
11. Costura										-	E(1)	E(1)	U
12. Acabados											-	U	A(1)
13. Almacén de avíos												-	U
14. A. P. T.													-

Tabla 5, Códigos de proximidad y motivos

Código	Proximidad
A	Altamente necesaria
E	Especialmente necesaria
I	Importante necesaria
O	Ordinaria necesaria
U	Ninguna
X	Indeseable

Código	Motivos de proximidad
1	Flujo de materiales
2	Fácil Supervisión
3	Uso del mismo personal
4	Uso de mismas instalaciones
5	Emisiones, contaminación y polvo

Diagrama de relación de actividades

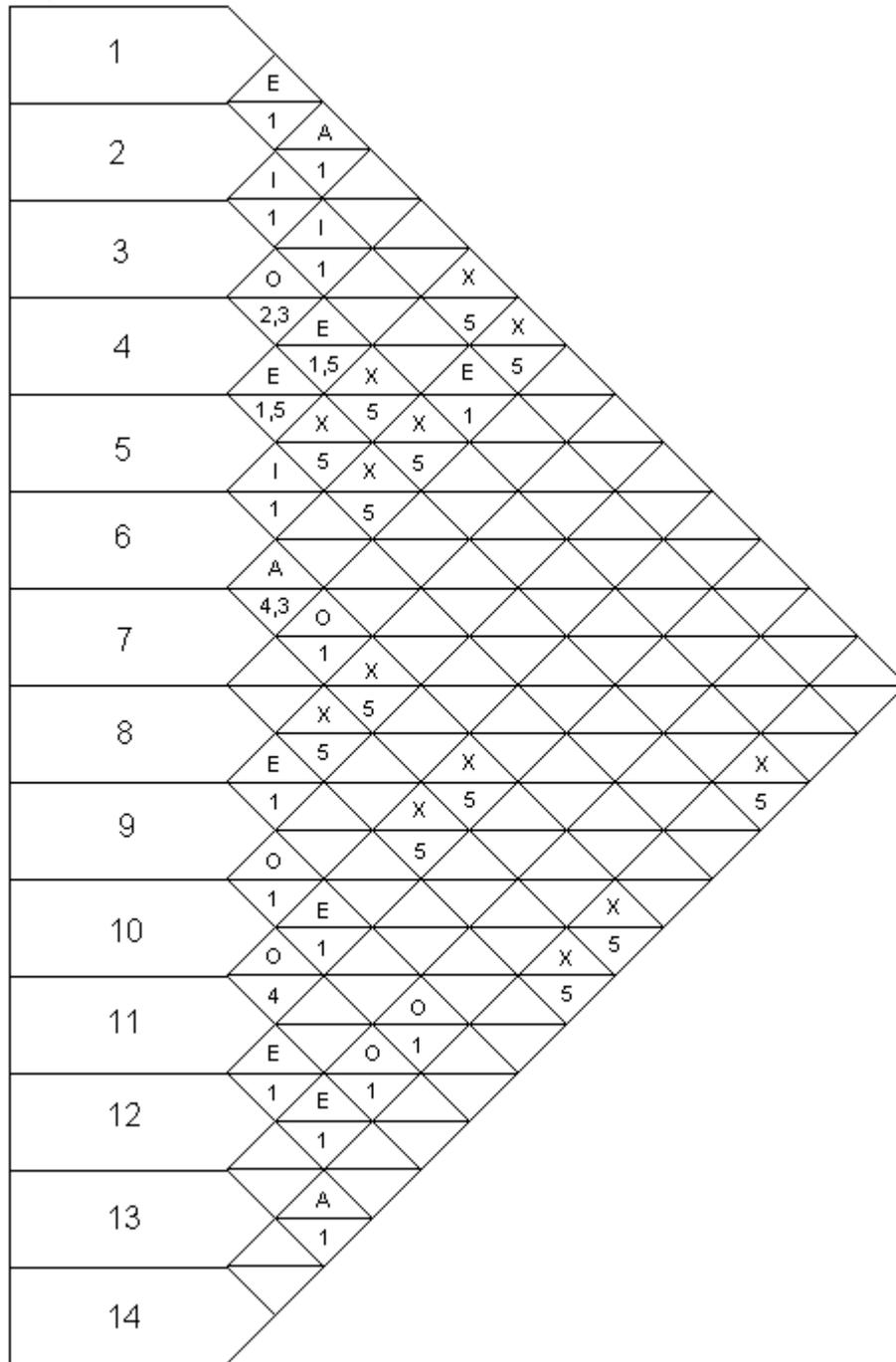


Ilustración 7. Diagrama relacional de actividades

Nota: Las casillas en blanco son relaciones de proximidad (U), esto quiere decir, no existe relación.

La planeación layout es un método de tipo cualitativo por el cual se puede determinar la distribución en planta, esta es utilizada principalmente para la oficinas o áreas en las cuales priman las decisiones cualitativas. En el último capítulo se verán algunos métodos cuantitativos para determinar la distribución en planta.

Almacenamiento y bodegas

(DOMÍNGUEZ MACHUCA, 1995)

Los administradores siempre han buscado un método para obtener un flujo continuo de producción en sus plantas. En el caso ideal. La materia prima que entra debería procesarse de inmediato y los productos finales se deberían embarcar pronto, eliminando toda necesidad de almacenamiento en ambos extremos. Este concepto teórico se llama, con propiedad, justo a tiempo (JIT. just in time). La idea se puede ampliar dentro de una planta, a medida que el producto se mueva de una estación de trabajo a otra. Una estación debería recibir el artículo y las partes necesarias justo cuando se debe procesar la unidad; y al terminar la tarea requerida, la estación debería transferir la unidad de inmediato a la siguiente estación, la que a su vez está programada para recibir el ensamble justo en ese momento.

En JIT, una fábrica o produce sólo lo que se necesita, y sólo cuando se requiere. Con JIT se reduce en forma drástica la necesidad de almacenamiento de materias primas, ensambles semiterminados y productos terminados. Sin embargo, en un grado apreciable, el uso de JIT sólo es práctico con los fabricantes grandes y estables. La empresa debe poder predecir con anterioridad sus requisitos de materias primas, para coordinar las actividades de todos sus proveedores. Para eso se requiere el pronóstico exacto de la demanda, que por lo general se traduce en un programa firme de producción y en la confianza de que todos los artículos producidos se venderán de inmediato. Los proveedores también tratan de implementar sus propios JIT, pero sea que lo logren en sus propias plantas o no, de todos modos tratan de entregar los pedidos del fabricante a tiempo y la razón principal es que es probable que los clientes puedan ir a otra parte si las entregas no se hacen cuando se prometieron.

Aunque se debe tratar de lograr el JIT, no es posible la implementación perfecta de ese sistema. Se pueden aplicar las técnicas de planeación de requisitos de material para reducir el inventario, y seguir logrando un calendario específico de producción. Pero los fabricantes siempre tendrán algunas necesidades de almacenamiento, por pequeñas que sean. La necesidad de almacenar materias primas, productos parcialmente terminados y artículos terminados, por lo que debe contemplarse la utilización de almacenes y bodegas. Por lo general, pero no siempre, el

término almacenamiento o almacenes, se asocia con materias primas y bienes en proceso, mientras que las bodegas, o embodegado, se refiere al guardado de productos terminados. Una empresa puede tener una o más instalaciones de almacén y/o de bodegas. En algunos casos, el almacén y la bodega están en el mismo edificio: en otros, el almacén se ubica cerca de las instalaciones productivas, y las bodegas podrían construirse por separado, para funcionar como centros de distribución. Sin embargo, dentro de una planta, con frecuencia se usan los términos almacén y bodega en forma indistinta para indicar cualquiera de estas instalaciones.

Propiedad de la bodega

Ya establecida la necesidad de una bodega, el siguiente paso es decidir si es necesaria una bodega propiedad de la empresa o si es mejor utilizar una bodega comercial. Las bodegas comerciales son para dar servicio a muchos clientes distintos, y por lo general cuentan con personal, equipo y espacio de almacenamiento suficientes para satisfacer las necesidades de un cliente, tanto a largo como a corto plazo. Tienen dos ventajas importantes: la flexibilidad y la administración profesional. El fabricante no está ligado a un lugar específico de bodega: a medida que cambia la pauta de distribución, la empresa tiene la opción de relocalizar sus centros de distribución. Las demandas inestables o estacionales pueden hacer más atractiva la renta de espacio de acuerdo con las necesidades en comparación con construir una bodega grande para dar cabida a la demanda máxima esperada. Si se espera que la demanda del o de los productos de la empresa continúe durante largo tiempo y si sus compromisos en el lugar actual son grandes, podría ser adecuada una bodega privada. (DOMÍNGUEZ MACHUCA, 1995)

Ubicación de almacenes y bodegas

Como en el caso de la ubicación de la planta, es muy importante la selección de los lugares de almacenamiento y bodegas. Son obvias algunas de las conclusiones básicas. Si la bodega contendrá principalmente productos terminados, debe estar cerca de los clientes. Si el material guardado se va a usar en la manufactura, la instalación de almacenamiento deberá estar cerca de la planta de producción. El lugar debe tener terreno suficiente y un buen medio de transporte. No debe estar apartado de proveedores y de mercados por barreras geográficas, como ríos, montañas y lagos. El sitio debe estar en una zona adecuada, de acuerdo con las autoridades locales, y tener buena protección de policía y bomberos. La empresa debe poder obtener también, los servicios necesarios y la mano de obra requerida para el funcionamiento de la instalación. El lugar debe tener el tamaño suficiente como para dar cabida a cualquier expansión en el futuro; como regla general debe ser unas 5 veces mayor que lo que dicten las necesidades actuales.

Como primer paso, se debe formar una tabla parecida a la que se mostrará acerca de la selección del sitio de la planta, para seleccionar el sitio de la bodega, siempre y cuando sea factible colocarla alejada de la planta. Se asignan los factores de aprobación adecuados y se hace la evaluación en forma parecida a la que se indica en el procedimiento para seleccionar el emplazamiento de la planta.

Funciones del almacenamiento y las bodegas

Al administrar una instalación de almacenamiento o de bodega se deben efectuar muchas actividades distintas relacionadas con el procesamiento de materias primas, productos semiterminados y bienes terminados. Las tareas abarcan desde recibir, inspeccionar y almacenar materias primas, hasta empacar, etiquetar y remitir los pedidos. A continuación se da una breve descripción de las actividades comunes.

- **Recepción:** La bodega recibe el material de un proveedor externo y acepta la responsabilidad sobre él. La operación consiste en descargar los bienes de los camiones y/o vagones de ferrocarril, y en desempacarlos de sus contenedores.
- **Identificación y clasificación:** Se identifica el material y a continuación se anota con etiquetas, códigos u otros medios. Se clasifican los artículos, para tratar de encontrar fallos o daños y se determinan los faltantes, comprobando lo recibido contra las guías de embarque. Se toman las acciones adecuadas para informar a los transportistas y proveedores las diferencias que se presenten.
- **Despacho al almacén:** Los artículos se transfieren a las áreas adecuadas para su almacenamiento.
- **Almacenamiento.** Las unidades se mantienen en inventario hasta que se necesiten.
- **Escoger pedido:** Los artículos necesarios para un pedido se recuperan del almacén. Esto lo pueden hacer una o más personas, dependiendo de la cantidad de artículos y de su ubicación en la bodega.
- **Armado del pedido:** Se agrupan todos los artículos de un solo pedido. Todo faltante, rotura o artículo defectuoso se anotan, y se reemplazan, o se modifica el pedido.
- **Empaque:** Se empacan juntas todas las unidades en un pedido.

- Despacho del embarque: Se preparan los pedidos y documentos adecuados de embarque, y el pedido se manda a los vehículos de transporte.
- Mantenimiento de registros: Para cada artículo se llevan registros como el siguiente: cantidad recibida, en existencia, pedidos recibidos y pedidos procesados. Esos registros son críticos para tener una buena administración de inventarios.

Operaciones en el almacenamiento y en la bodega

Dentro de una planta, la gerencia debe decidir si construir una bodega centralizada o varias instalaciones de almacén, cada una cerca de su lugar de uso: por ejemplo, cerca de cada estación de ensamble en la línea. Este último método reduce el manejo de materiales y los paros de producción debidos a demoras en la entrega desde una bodega centralizada. También permite tener un control más estricto de inventario. Muchas veces se pueden construir esas instalaciones de almacenamiento para aprovechar espacios que, de otro modo, no se usarían.

Políticas de almacenamiento

Dentro de un almacén hay diversas políticas que influyen sobre su distribución, lugares de las celdas de almacenamiento, y asignación de los artículos a esas celdas. Esas políticas se describen en forma breve a continuación.

- *Semejanza física*: Los artículos con características físicas parecidas se agrupan en un área. Por ejemplo, los artículos grandes se almacenan en una zona, y los pequeños en otra. Esto permite usar equipo similar de manejo de materiales, y tener cuidados físicos parecidos para cada área. También se deben concentrar los controles ambientales especiales, como refrigeración, humedad y seguridad contra incendios, en una zona, tal como dicten las necesidades de los artículos (vea la ilustración 8)
- *Semejanza funcional*: Se pueden guardar juntos los artículos relacionados funcionalmente. Por ejemplo, los artículos operados con electricidad, hidráulica o mecánicamente, en áreas separadas de almacenamiento. El sistema es bastante cómodo en instalaciones operadas manualmente, en las que cada trabajador de almacén se especializa en determinada área funcional (vea la ilustración 8).
- *Demanda*: Toda bodega tiene artículos que se piden con más frecuencia que los demás. En este sistema, los artículos con movimiento intenso se guardan cerca de las áreas de recepción y

de embarque. y a los que tienen movimiento lento se les asignan espacios más alejados. Con este arreglo se minimiza la distancia recorrida por los trabajadores del almacén cuando surten pedidos. Con estudios reales se ha demostrado que, en promedio, 15 de los artículos tienen 85% del movimiento (o el trabajo) en una bodega (vea la Ilustración 9).

- *Separación de las existencias de reserva:* Podría resultar beneficioso separar las existencias de reserva de las existencias de trabajo. Todas las existencias de trabajo se mantienen juntas, en una zona compacta, de donde sea fácil tomarlas. Las existencias de reserva, de zonas exteriores, reabastecen las existencias de trabajo cuando haya necesidad.
- *Almacenamiento aleatorizado:* Hoy, con los sistemas modernos de procesamiento de información (sistemas computarizados de control de inventario) ya no es necesario asignar un lugar fijo y único a determinada clase de artículo. El cambio de un almacenamiento dedicado a uno aleatorizado podría dar como resultado ahorros considerables en las necesidades de espacio en la bodega. Los artículos se guardan en espacios que estén disponibles cuando se necesite, sin reservar espacio alguno para artículos que en la actualidad no estén en existencia.
- *Almacenamiento de alta seguridad:* Si hay artículos muy valiosos, y sujetos a robos frecuentes, como oro o relojes, se podría necesitar un área que esté bajo llave y/u otras medidas de seguridad.

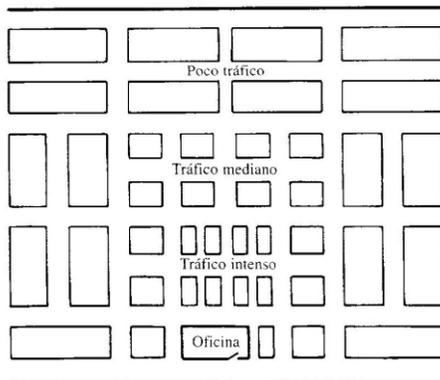


Ilustración 8. Distribuciones de almacenamiento (la distribución se basa en la semejanza, ya sea física o funcional)

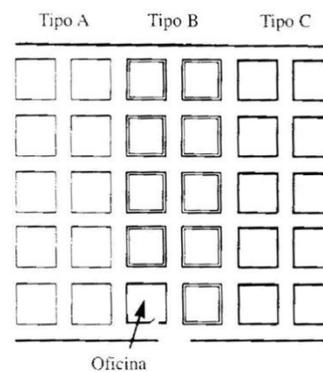


Ilustración 9. Distribuciones de almacenamiento (la distribución se basa en la semejanza, ya sea física o funcional)

Ejemplo: distribución de una bodega

Se deben guardar cuatro artículos distintos en la bodega de la ilustración 10. La tabla 6 muestra la cantidad de estibas que se reciben cada semana, la de viajes de recepción a almacenamiento, el tamaño promedio de cada pedido embarcado, y la cantidad de viajes pres del almacenamiento al embarque. Cada una de las 16 secciones de la bodega guarda 100 estibas. La distancia rectilínea de una sección a otra es 10 unidades. Calcular la distribución de almacenamiento más eficiente para esa bodega.

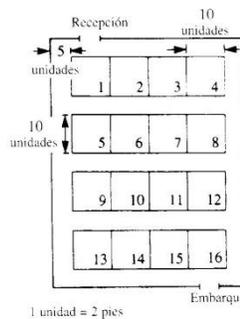


Ilustración 10. Distribución inicial de la bodega

Artículo	Estibas recibidas	Viajes semanales promedio recibidos	Estibas embarcadas semanales promedio, por embarque	Viajes semanales embarcados	Secciones necesarias
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)/(4)	(6)=(2)/100
A	275	138	2.7	102	3
B	425	213	2.0	213	5
C	150	75	0.4	375	2
D	550	275	1.2	459	6

Tabla 6. Datos del movimiento de carga

Solución

Primero determinaremos la relación de los viajes de recepción a los viajes de embarque, que se ve en la tabla 7. Los artículos con relaciones mayores tienen más viajes de recepción a almacenamiento que al revés. Por consiguiente, esos artículos deben estar tan cerca de la recepción como sea posible. Los artículos con relaciones menores que 1 tienen más viajes al embarque, y deben estar tan cerca del embarque como sea posible: esto es, el artículo A debe estar cerca de la recepción, y los artículos C y D debe estar cerca del embarque, en ese orden. El artículo B, que tiene una relación igual a 1.0, se puede colocar en cualquier espacio disponible.

Artículo	Recepción / Embarque
A	$138/102=1.35$
B	$213/213=1.00$
C	$75/375=0.20$
D	$275/459=0.60$

Tabla 7. Cálculo de la relación de recepción/embarque para cada artículo

Esta solución se basa en una idea implícita de las actividades de la bodega. Por ejemplo, en caso del artículo A para cierto pedido, se podrían llevar dos estibas desde el almacén, para embarcarse; en otro pedido, se podrían llevar y embarcar tres estibas, haciendo un promedio de 2.7 por viaje. Si, por algún motivo, sólo se pudieran transportar dos tarimas a la vez, los viajes promedio necesarios se deberían modificar a $275/2 = 135$, y se obtiene una nueva solución al problema.

Sección	Distancia rectilínea a recepción	Distancia rectilínea a embarque
1	10	95
2	20	85
3	30	75
4	40	65
5	35	80
6	45	70
7	55	60
8	65	50
9	50	65
10	60	55
11	70	45
12	80	35
13	65	40
14	75	30
15	85	20
16	95	10

Tabla 8. Cálculos de los datos para cada sección

La tabla 8 muestra las distancias calculadas para recorrido rectilíneo a cada sección, desde los departamentos de recepción y embarque. La asignación de los artículos se puede hacer, entonces, como sigue. El artículo A requiere tres secciones muy próximas a la recepción: la 1, 2 y 3. El artículo C requiere las dos secciones más cercanas al embarque: la 15 y la 16. El artículo D requiere las seis secciones siguientes más cercanas al embarque: la 8, 10, 12, 13 y 14. Las secciones 4, 5, 6, 7 y 9 quedan para el artículo B. La ilustración 11 muestra la distribución final de la bodega.

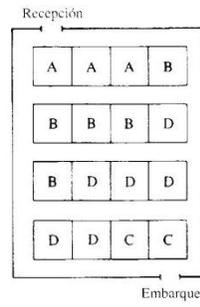


Ilustración 11. Distribución final de la bodega

Manejo de material: principios y descripción (DOMÍNGUEZ MACHUCA, 1995)

Uno de los aspectos más importantes en la integración de una fábrica nueva o en la modificación de una que ya existe es el análisis a fondo del sistema de manejo de material. Este manejo puede dar cuenta del 30 al 75 por ciento del costo total y realizado con eficiencia es responsable primordialmente de la reducción del costo de operación de una fábrica del 15 al 30 por ciento. Cómo se maneje el material puede determinar algunos de los requerimientos del local, la distribución de departamentos y el tiempo necesario para producir una unidad. Cuando un empleado maneja un elemento no agrega nada al valor del producto pero sí a su costo. Planear el manejo, almacenamiento y transportación asociados con la manufactura puede reducir considerablemente el costo del manejo de material. En un sistema de línea de montaje, por ejemplo, el equipo designado apropiadamente espaciará la producción a lo largo de las líneas de montaje llevando el material al operario a ritmo fijo y enviando la pieza o submontaje a la siguiente estación luego de que el operario ha ya terminado la tarea.

Definición del manejo de material

Para explicar lo que es el manejo de material, pueden utilizarse varias definiciones. La más completa es la proporcionada por el Material Handling Institute (MHI. Instituto de Manejo de Material), que declara: “El manejo de material comprende todas las operaciones básicas relacionadas con el movimiento de los productos a granel, empaçados y unitarios en estado semisólido o sólido por medio de maquinaria y dentro de los límites de un lugar de comercio”.

Incluso un somero examen de esta formulación revela que el manejo de material comprende mucho más que sólo mover el material usando maquinaria: van implícitas funciones adicionales en el sistema.

Primero, el manejo de material implica el movimiento de éste en dirección horizontal (traslado) y vertical (izamiento), así como la carga y descarga de cosas. Segundo, especificar que el movimiento de material se efectúa “dentro de un lugar de la planta” implica que el movimiento incluye materias primas a estaciones de trabajo productos semiterminados entre estaciones y traslado de los productos terminados a sus lugares de almacenamiento. Distingue también el manejo de material de la transportación: ésta última implica mover materiales de los proveedores a los lugares de comercio o de éstos a los clientes.

Tercero, la selección del equipo de manejo es otra actividad en los sistemas diseñados de manejo de material. Cuarto, el término a granel indica que los materiales se van a mover en grandes volúmenes desempacados, como arena, aserrín o carbón. Y quinto, aunque el uso de maquinaria para manejar el material es el método preferido, el costo inicial puede ser alto. El empleo de seres humanos de manera continua no es eficiente y puede ser costoso: el equipo de manejo de material se paga pronto, especialmente en sociedades en las que el costo de la mano de obra puede ser alto.

Objetivos del manejo de material

La necesidad del estudio y la planeación cuidadosa del sistema de manejo de material (MHS. material-handling system) se puede atribuir a dos factores. Primero, como se mencionó antes, los costos del manejo de material representan una gran parte del costo de producción. Segundo, el manejo de material afecta a la operación y diseño de las instalaciones en las cuales se lleva a cabo. Estos factores, pues nos llevan al objetivo principal del diseño del MHS, que es el de reducir el costo de producción mediante un eficiente manejo o, de manera más específica:

- Aumentar la eficiencia del flujo de material asegurando la disponibilidad de materiales cuando y donde se necesitan.
- Reducir el costo del manejo de material.
- Mejorar la utilización de las instalaciones.
- Mejorar las condiciones de seguridad y de trabajo.
- Facilitar el proceso de manufactura.
- Incrementar la productividad.

Tipos de equipo de manejo de material

La parte medular del MHS es el equipo de manejo. Hay una gran variedad de equipo cuyos elementos tienen características y costo que los distinguen de los demás. Sin embargo, todo ese equipo se puede clasificar en tres tipos principales: transportadores, grúas y transportes. Cada tipo tiene sus propias ventajas y desventajas, y parte del equipo es más adecuado para ciertas tareas que para otras. Esto se basa principalmente en las características del material, las características físicas del lugar de trabajo y la naturaleza del proceso en que se usa el equipo.

Aquí se presenta una breve exposición de los principales tipos de equipo.

Transportadores

Los transportadores se usan para mover materiales en forma continua sobre una ruta fija.

Ejemplos de diferentes tipos de estos aparatos son los transportadores de rodillos de banda y de tobogán.

Ventajas de los transportadores

- Su alta capacidad permite mover gran número de objetos.
- Su velocidad es ajustable.
- Es posible combinar su manejo con otras actividades como el procesamiento y la inspección.
- Son versátiles y pueden ser de piso o en alto.
- Es posible el almacenamiento temporal de cargas entre estaciones (en particular, para los transportadores en alto).
- El traslado de la carga es automático y no requiere la asistencia de muchos operarios.
- No se requieren rutas en línea recta o pasillos.
- Con el uso de transportadores en alto es viable la utilización del cubo (el volumen interior entero del lugar de trabajo).

Desventajas de los transportadores

- Siguen una ruta fija: sirven sólo a áreas limitadas.
- Se pueden crear cuellos de botella en el sistema.
- Una falla en cualquier parte del transportador detiene la línea entera.
- Como los transportadores están fijos en su posición, obstaculizan el movimiento del equipo móvil de piso.

Grúas Y Montacargas

Las grúas y montacargas son aparatos de equipo en alto para mover cargas en forma intermitente dentro de un área limitada. Las grúas de puente, de pescante y de monorraíl, así como los montacargas, son ejemplos de este tipo de equipo básico.

Ventajas de las grúas y montacargas

- Es posible el izamiento y el traslado del material
- Se minimiza la interferencia con el trabajo de piso
- Se ahorra valioso espacio de piso para el trabajo en lugar de que sea utilizado para instalación de equipo de manejo de material.
- El equipo tiene capacidad para el manejo de cargas pesadas.
- El equipo se puede utilizar para la carga y descarga de material.



Ilustración 12. Grúa de puente



Ilustración 13. Montacargas



Ilustración 14. Grúas de uso específico

Desventajas de las grúas y montacargas

- Requieren una fuerte inversión (en especial, las grúas de puente).
- Sirven a un área limitada.
- Algunas grúas se mueven sólo en línea recta y, en consecuencia, no pueden virar.
- La utilización no puede ser tan grande como fuera de desearse, toda vez que las grúas se usan sólo un corto tiempo durante el trabajo diario.
- Para operar ciertos tipos de grúas, como las de puente, se tiene que contar con un operario.

Carros de carga

Los carros de carga de mano o motorizados mueven cargas siguiendo rutas variables. Ejemplos de tales carros incluyen los carros con grúa, carros o carretones de mano: los montacargas de horquilla, los trenes de remolques o tráiler y los vehículos guiados automáticamente.

Ventajas de los transportes

- No se requiere que sigan una ruta fija y, en consecuencia, se pueden emplear en cualquier parte del piso en que el espacio lo permita.
- Son capaces de cargar descargar y levantar además de trasladar el material.
- Por su movilidad irrestricta, que les permite servir a diferentes áreas, con los transportes se puede lograr una gran utilización.

Desventajas de los transportes

- No pueden manejar cargas demasiado pesadas.
- Tienen capacidad limitada por viaje.
- Se requieren pasillos; de otro modo, los transportes interferirán con el trabajo de piso.
- En su mayoría, los transportes tienen que ser guiados por un operario.

No permiten que el manejo se combine con procesamiento e inspección, lo que sí hacen otros tipos de equipo.

Grados de mecanización

Un sistema de manejo de material puede ser completamente manual o por completo automatizado: también hay diferentes grados de mecanización entre estos dos extremos. La clasificación de un sistema de manejo de material, de acuerdo con su nivel de mecanización, se basa en la fuente de poder para el manejo y el grado de intervención de seres humanos y computadoras en la operación del equipo. Los niveles de mecanización pueden clasificarse como sigue:

1. *Manual y dependiente del esfuerzo físico:* Este nivel abarca el equipo operado manualmente, como los transportes de mano.
2. *Mecanizado:* Para impulsar el equipo se usa fuerza motriz en lugar de esfuerzo físico. Algunos transportes, transportadores y grúas entran en este nivel. Aquí los operarios se necesitan para manejar el equipo en lugar de proveer la fuerza impulsora.

3. *Mecanizado complementado con computadoras* (una extensión del segundo nivel): La función de las computadoras es generar comandos que especifiquen movimientos y operaciones.
4. *Automatizado*: Se emplea una intervención humana mínima para guiar y operar el equipo, y en su mayor parte estas funciones son efectuadas por computadoras. Entre los ejemplos hay transportadores, vehículos autoguiados y AS/RS (sistema de almacenamiento y/o retiro automatizados). El equipo recibe usualmente instrucciones procedentes de teclados, botones y lectoras de cinta o tarjeta.
5. *Completamente automatizados*: Este nivel es similar al cuarto, sólo que las computadoras realizan la tarea adicional del control en línea, eliminando así la necesidad de intervención humana.

El costo y la complejidad de diseñar el sistema aumentan a la par que lo hace el grado de mecanización. Sin embargo, el resultado puede ser la eficiencia en las operaciones y el ahorro en mano de obra.

Las ventajas de usar sistemas mecanizados y de nivel más alto incluyen un aumento en la velocidad de las operaciones de manejo, las que a su vez pueden disminuir el tiempo de producción de conjunto; una reducción en la fatiga y un aumento en la seguridad; mejor control del flujo de material; costo de mano de obra más bajo; y mejor trabajo de registros relativos a la situación del inventario del material.

Hay también algunas desventajas al tiempo que aumenta el grado de mecanización. Por ejemplo, ésta requiere un alto costo de inversión, capacitación de operarios y de personal de mantenimiento, y equipo y personal especializados, lo cual reduce la flexibilidad. Por ello, es necesario sopesar cuidadosamente las ventajas y desventajas antes de decidir cuál sistema se va a utilizar. Cambiar de un modo de operación a otro es siempre costoso en dinero y en tiempo.

Las cargas unitarias que se utilicen en la planta tienen mucho que ver con la definición de los objetos a mover. El grado de mecanización afecta a la carga unitaria; a la inversa, la carga unitaria definida influye también en el grado de mecanización asequible.

El concepto de carga unitaria

El concepto de carga unitaria depende del hecho de que es más económico mover elementos y material en grupos que hacerlo por pieza. Una carga unitaria se define como el número de objetos dispuesto de forma que pueden ser manejados como un solo objeto.

Esto se puede hacer mediante el uso de estibas, de cargas unitarias y de contenedores (también llamados “tarimización”, “unitización” y “contenedorización”).

El uso de estibas es la disposición y aseguramiento de elementos individuales sobre una estiba o plataforma que puede ser movida por un transporte o una grúa. El uso de cargas unitarias es también la disposición de artículos, pero como cargas compactas. A diferencia del uso de estibas, los materiales adicionales se usan para empacar y envolver los artículos como una unidad completa. La carga unitaria puede ser manejada por transportes, transportadores o grúas, de acuerdo con su tamaño y peso. El uso de contenedores es el montaje de elementos en un recipiente o caja. Esto es más conveniente en el uso de transportadores, especialmente para objetos pequeños.

Cada tipo de carga unitaria es más conveniente para ciertas situaciones. Por ejemplo, una estiba es más adecuada para apilar elementos semejantes que tienen formas regulares. Los elementos que tienen formas tamaños diferentes se pueden agrupar dentro de un contenedor. En general, los factores que influyen en la selección del tipo de carga unitaria son el peso, el tamaño y la forma del material; la compatibilidad con el equipo de manejo de material; el costo de la carga unitaria y las funciones adicionales proporcionadas por la carga unitaria, como el apilamiento la protección del material.

El uso de cargas unitarias tiene tanto ventajas como desventajas. Entre las primeras se cuentan las siguientes: el uso de estas cargas permite mover grandes cantidades de material, lo cual reduce la frecuencia de movimiento y por ende, el costo de manejo; y la facilidad del apilamiento ayuda a lograr mejor utilización del espacio y el cubo, y promueve un buen mantenimiento y preparación.

Las desventajas del empleo de cargas unitarias son las siguientes: los costos de la carga unitaria pueden ser altos si se requiere un gran número, en especial si los contenedores no son reutilizables; podría requerirse equipo de carga y descarga diferente del disponible; y cuando se emplea en embarque a proveedores, hay el problema de devolver las estibas y los contenedores vacíos si son reutilizables.

Principios del manejo de material

Diseñar y operar un sistema de manejo de material es una tarea compleja por las muchas cuestiones que implica. No hay reglas definidas que puedan seguirse para lograr un sistema de manejo de material que dé buenos resultados. Sin embargo, hay varias pautas que pueden dar por resultado

que se reduzca el costo del sistema y mejore su eficiencia. Estas pautas se conocen como principios del manejo de material. Representan la experiencia de diseñadores que han trabajado en el diseño y operaciones de los sistemas de manejo. Los veinte principios del manejo de material se presentan en la lista de la tabla 9.

Principio	Descripción
1. Planeación	Planee todas las actividades de manejo de material y almacenamiento para obtener la máxima eficiencia de operación de conjunto.
2. Flujo de sistemas	Integre tantas actividades de manejo como sea práctico en un sistema coordinado de operaciones que abarque vendedor (proveedor), recepción, almacenamiento, producción, inspección, empaque, almacenamiento de productos procesados, embarque, transportación y cliente.
3. Flujo de material	Proporcione una secuencia de operación y un esquema de equipo que optimicen el flujo de material.
4. Simplificación	Simplifique el manejo reduciendo, eliminando o combinando los movimientos y/o el equipo innecesarios.
5. Uso de la gravedad	Aproveche la gravedad para mover el material siempre que sea práctico.
6. Utilización del espacio	Utilice de manera óptima el cubo del edificio.
7. Tamaño unitario	Aumente la cantidad, el tamaño o el peso de las cargas unitarias o el ritmo de flujo.
8. Mecanización	Mecanice las operaciones de manejo.
9. Automatización	Provea una automatización que abarque las funciones de producción, manejo de material y almacenamiento.

Principio	Descripción
10. Selección del equipo	Al seleccionar equipo de manejo, considere todos los aspectos del material manejado, el movimiento y el método que se va a emplear.
11. Estandarización	Estandarice los métodos de manejo, así como el tipo y los tamaños del equipo de manejo.
12. Adaptabilidad	Utilice los métodos y el equipo que puedan realizar mejor diversas tareas y aplicaciones cuando no se justifique el empleo de equipo de propósito especial
13. Peso muerto	Reduzca la proporción del peso muerto del equipo de manejo móvil respecto de la carga acarreada
14. Utilización	Planee la utilización óptima del equipo de manejo de material y la mano de obra.
15. Mantenimiento	Planee el mantenimiento preventivo y las reparaciones programadas de todo el equipo de manejo de material.
16. Obsolescencia	Reemplace los métodos y equipo de manejo de materiales obsoletos cuando haya otros métodos y equipo más eficientes que mejoren las operaciones.
17. Control	Lleve a cabo actividades de manejo de material que mejoren el control de producción, el inventario y el manejo del orden.
18. Capacidad	Emplee equipo de manejo de material para contribuir al logro de la capacidad de producción deseada.

Principio	Descripción
19. Desempeño	Determine la efectividad del desempeño del manejo de material en términos de gasto por unidad manejada.
20. Seguridad	Provea métodos y equipo adecuados para el manejo de material con seguridad

Tabla 9. Principios del manejo de material, Cortesía de The Material Handling Institute. Inc.

Estos principios también se pueden compilar de manera ligeramente diferente para sugerir en qué forma se van a alcanzar los objetivos. Por ejemplo, para aminorar el costo del manejo de material se debe reducir el manejo innecesario planeando en forma apropiada el movimiento de material; entregando las unidades en el lugar requerido a primera oportunidad sin detenimiento posterior; utilizando equipo de manejo de material apropiado como los transportes montacargas, estibas, cajas y transportadores; reemplazando el equipo obsoleto con sistemas nuevos y más eficientes cuando los ahorros lo justifiquen; y reduciendo la proporción de peso muerto (estibas, cajas) respecto de la carga total. También se pueden usar cargas unitarias y mover tantas piezas a la vez como sea posible.

Se puede incrementar la productividad minimizando el tiempo de espera de los operarios de máquinas al entregar materias primas y submontajes cuando se necesitan y mantener un movimiento fijo de trabajo a un ritmo comparable al del operario de la máquina.

Puede hacerse a los trabajadores más productivos eliminando actividades innecesarias asociadas con el manejo de material apropiado, quitando las piezas dañadas de las líneas de montaje antes de que lleguen a la estación de trabajo, usando equipo estándar y único, y coordinando el movimiento del material en toda la planta.

Se puede reducir el uso del espacio de piso utilizando equipo de manejo de material y programas de producción que requieran una cantidad mínima de provisión en el piso; almacenando material en espacios que no obstaculicen la producción (por ejemplo, el material de provisión no debe apilarse tan cerca de la máquina que interfiera con la capacidad del operario para su labor); y disponiendo el esquema de la planta de modo que permita el flujo sin tropiezos del material entre estaciones.

Los accidentes pueden disminuir si se usa equipo de manejo de material que tenga características de seguridad apropiadas para levantar y mover materiales pesados y utilizando la gravitación para mover el material siempre que sea posible.

¿Cómo aplicamos estos principios? Algunas aplicaciones se reconocen fácilmente. Por ejemplo, para aplicar el principio de gravitación use toboganes. Para aplicar el principio de seguridad, reduzca o elimine el manejo manual que cause lesiones. Para el principio de utilización del espacio, apile elementos y use equipo de trabajo en alto. De acuerdo con el principio del tamaño unitario, use contenedores y estibas para mover grupos de elementos. Para aplicar el principio de utilización, seleccione equipo capaz de efectuar varias tareas de manejo de material en diferentes áreas, para evitar que este equipo esté inactivo.

Compatibilidad de los principios

Los principios del manejo de material son compatibles entre sí y con los objetivos del manejo. Lograr el cumplimiento de algunos de los principios ayudará a lograr otros. Como ejemplos, se pueden citar los siguientes.

Aplicados de manera apropiada, los principios de selección de equipo y de adaptabilidad ayudarán a lograr el cumplimiento del principio de utilización, ya que en este caso sólo se adquirirá el equipo necesario y, por consiguiente, rara vez estará inactivo.

El principio de mecanización reducirá el manejo de material, lo que minimizará las lesiones y ayudará a cumplir el principio de seguridad.

Los principios de tamaño unitario y selección de equipo ayudan a cumplir con el principio de utilización del espacio. El uso de una carga unitaria permitirá apilar elementos, reducir así el espacio de piso requerido. La selección del equipo en alto liberará algún espacio de piso para otros propósitos.

Dificultades en las aplicaciones de los principios

A los diseñadores de MHS se les suele aconsejar que sigan estos principios. No obstante, en algunos casos tal vez no pudieran aplicarlos integralmente a causa de factores como la limitación de capital, las características físicas del edificio y la capacidad del equipo.

La falta del capital deseado podría impedir la instalación de un alto grado de mecanización o de la aplicación del principio de mantenimiento. Las características del edificio, como la altura del techo, la localización de las columnas, y el número y ancho de pasillos pueden influir en el principio de gravitación, así como en los principios de utilización del espacio y flujo de material. La capacidad y el tipo de equipo pueden afectar la aplicación de los principios de utilización del espacio, así como la asignación del tamaño unitario, y su utilización.

Costo del manejo de material

Los costos principales relacionados con el diseño y la operación de un sistema de manejo de material son:

- El costo del equipo, que comprende la compra de éste y los componentes auxiliares y su instalación.
- El costo de operación, que abarca el costo del mantenimiento, el del combustible y el de la mano de obra, que consiste tanto en salarios como en compensación por lesiones.
- El costo de compra unitaria, que se asocia con la compra de las estibas y contenedores.
- El costo debido al empaque y el material dañado.

Reducir tal costo es uno de los objetivos primarios de un sistema de manejo de material. Hay varias formas de lograr este objetivo. Por ejemplo, se puede minimizar el tiempo inactivo del equipo. Una mejor utilización del equipo eliminará la necesidad de adquirir unidades extra. Se puede minimizar el remanejo del material y el retroceso, con lo que se reduciría el costo de operación. Los departamentos estrechamente relacionados se pueden poner cerca unos de otros con el resultado de que el material sólo se mueva distancias cortas. Uno puede prevenir las reparaciones excesivas planeando las actividades de mantenimiento por adelantado. Es preciso emplear el equipo apropiado para aminorar el daño del material y utilizar cargas unitarias siempre que se pueda. Se ha de aprovechar el principio de la gravitación en lo posible, toda vez que puede reducir el costo de operación. Sería conveniente eliminar las prácticas inseguras de los empleados, como la de levantar objetos pesados; con ello disminuirían las lesiones y las consecuentes compensaciones a los trabajadores. Es posible reducir al mínimo las variaciones en los tipos de equipo, eliminando así la necesidad de un inventario de una variedad de piezas de reserva y sus costos asociados. Uno puede reemplazar el equipo obsoleto con equipos nuevos y más eficientes cuando los ahorros lo justifiquen.

Relación entre el manejo de material y la distribución de la planta

En un sistema de manufactura no hay dos actividades que se afecten tanto una a otra como el esquema o proyecto de la planta el manejo de material. La relación entre las dos implica los datos requeridos para diseñar cada actividad, sus objetivos comunes, el efecto en el espacio y el patrón de flujo. De manera específica, los problemas del esquema de la planta requieren el conocimiento del costo operativo del equipo con el fin de ubicar los departamentos, de manera que se minimice el costo total de manejo de material. Al mismo tiempo, en el diseño de un sistema de manejo de material se debe conocer el esquema para tener los datos de longitud, tiempo, origen y destino del movimiento. A causa de esta relación, muchos diseñadores subrayan la necesidad de resolver los dos problemas en forma conjunta. Sin embargo, la única manera viable es empezar con un problema, utilizar su solución para resolver el otro, luego volver y modificar el primer problema

sobre la base de la nueva información obtenida del segundo y así sucesivamente hasta obtener un diseño satisfactorio.

El esquema de la planta y el manejo de material tienen el objetivo común de la minimización del costo. El costo del manejo de material se puede minimizar disponiendo los departamentos estrechamente relacionados de modo que el material se mueva sólo distancias cortas.

Además, el manejo de material y esquema de la planta influyen uno en otro en términos de los requerimientos y utilización del espacio. Los transportes que son compactos en tamaño y tienen la capacidad de carga lateral no requieren pasillos anchos. El equipo en alto no ocupa espacio alguno sobre el piso del esquema. El apilamiento de los elementos lo más alto posible utilizando la carga unitaria apropiada ayudará a reducir el espacio ocupado por estas actividades y a utilizar de manera eficiente el cubo. Los transportes con capacidad elevadora de cargas a alto nivel ayudarán a lograr la utilización del cubo. Esto puede lograrse también utilizando entrepisos, carruseles y almacenamiento elevado para guardar el material.

Por último, las características físicas del edificio, como el ancho de pasillo, la altura del cielorraso y las columnas, afectarán a la selección del equipo y su enrutamiento.

Equipos que se usa para el manejo de material

Hay una gran variedad de equipo para el manejo de material. Cuál equipo se usa en qué condiciones depende del juicio de la persona responsable y de su conocimiento de las máquinas y costos relacionados con la tarea de mover los materiales. Se puede llevar a cabo un análisis económico para justificarla selección de una máquina particular.

Tipos de equipo

Este equipo se caracteriza por el área a la que intenta servir:

1. Entre puntos fijos de una ruta fija
 - a. Transportador de banda (o banda transportadora)
 - b. Transportador de rodillos
 - c. Transportador de tobogán
 - d. Transportador de costillas
 - e. Transportador de tomillo o espiral
 - f. Transportador de cadena
 - g. Transportador de monorriel en alto
 - h. Transportador teleférico o trole
 - i. Transportador de ruedas

- j. Transportador de remolque
 - k. Transportador de cubetas
 - l. Transportador de vagonetas encarriladas
 - m. Transportador de tubo neumático
2. Sobre áreas limitadas
- a. Cabrias
 - b. Grúas en alto
 - c. Montacargas de tijeras hidráulicas
3. Sobre áreas grandes
- a. Transporte o carro manual
 - b. Transporte anaquelero
 - c. Transporte montacargas manual o gato de estiba
 - d. Transporte manual motorizado
 - e. Transporte de plataforma motorizado
 - f. Transporte montacargas de horquilla
 - g. Transporte de pasillo angosto
 - h. Tren de remolques o de tractor-tráiler
 - i. Ascensor de material
 - j. Transporte de bidones (cilindros o recipientes cilíndricos)
 - k. Transporte montacargas de bidones
 - l. Plataforma rodante (Dolly)
 - m. Sistema de vehículos guiados automáticamente

Descripción del equipo

Varios los tipos de equipo de la lista anterior se tratarán con cierto detalle en esta sección. Se proporciona una breve descripción, seguida de una lista de las principales características y/o aplicaciones del equipo.

Transportador de banda

Este es una banda sinfín movida por rodillos o tambores motorizados en uno o ambos extremos y sostenida por lechos planos o rodillos. Estos rodillos pueden servir para una banda transportadora plana o un transportador de tolva. La banda puede estar hecha de caucho, tela metálica, metal o tela, dependiendo de la carga que se va a acarrear. En casos especiales, para transportar metales ferrosos o para separar éstos de otro tipo de metales, la banda puede tener un lecho magnético. Se puede hacer que el lecho se sacuda para que despidan piezas de montaje y elementos de posición, y para que entregue pequeñas cantidades de material a granel.

Características y/o aplicaciones

- La banda puede operar horizontalmente o sobre una inclinación de hasta 30 grados.
- Se puede usar una banda de lecho plano para transportar objetos ligeros en líneas de montaje.

- Las bandas de rodillos se utilizan para llevar cajas pesadas, bolsas u otros recipientes en operaciones de almacenamiento de productos terminados y de materia prima.
- Los transportadores de tolva sobre rodillos pueden usarse para acarrear material a granel, como carbón y materias primas.
- La velocidad de banda se puede ajustar de 0.61 a 91.44 m por minuto.
- El ancho de banda puede ir de 30.4 a 91.4cm con una capacidad de 136 a 680 kg por 0.3048 metros lineales (pie lineal).

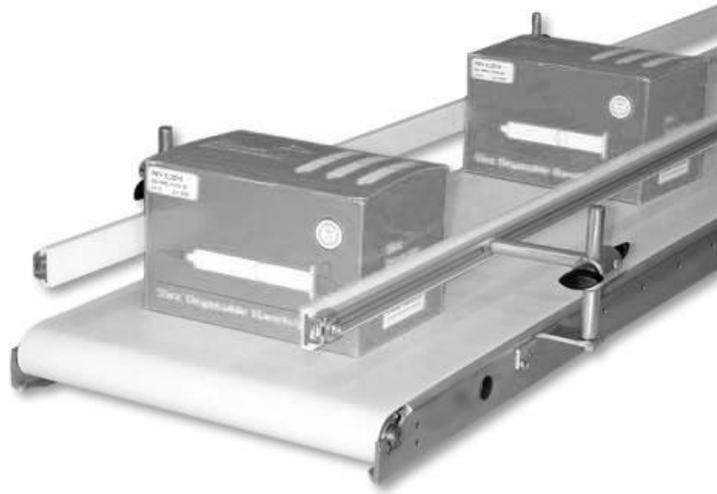


Ilustración 15. Transportador de banda

Transportador de rodillos

Este transportador se compone de rodillos unidos a rieles laterales sostenidos por una estructura de acero. La carga es transportada sobre los rodillos, cada uno de los cuales gira alrededor de un eje fijo. El tipo del rodillo (de acero, caucho o madera), su forma (cilíndrica o de rueda, la que a veces da lugar al nombre de transportador de ruedas) y su espaciado dependen de la carga que se esté transportando. El transportador puede operar por gravitación o por fuerza motriz. El transportador operado por gravitación tiene una pendiente ligeramente descendente, que permite que el material se mueva impulsado por la fuerza de la gravitación. En el transportador motorizado, algunos de los rodillos son movidos por cadenas o bandas para proveer la moción para el material sobre el aparato.

Características y/o aplicaciones

- El material se puede mover entre estaciones de trabajo.
- La altura se puede ajustar al nivel del área de trabajo.
- Las cargas deben tener una base firme, pareja.

- Se pueden acarrear objetos frágiles y desiguales en cajas, contenedores o plataformas puestas sobre el transportador.
- El ancho puede ser entre 0.17 y 1.29 m. con una capacidad de 208.6 a 11 340 kg por pie lineal. Los transportadores se pueden comprar por secciones de 1.52 a 3.05 m

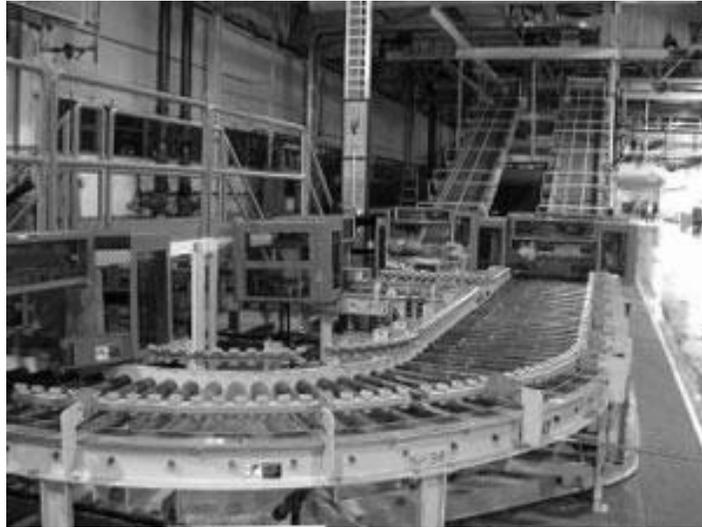


Ilustración 16. Transportador de rodillos

Transportador de tobogán

El transportador de tobogán es un plano inclinado de deslizamiento, por lo común hecho de metal, que guía los materiales a los que se hace descender de una estación de trabajo de nivel alto a otra de nivel bajo. La forma del tobogán puede ser recta o en espiral, para ahorrar espacio.

Características y/o aplicaciones

- Los materiales (cajas, paquetes) son movidos a corta distancia por la fuerza de gravitación.
- El tobogán puede tener una puerta que controle el flujo de los elementos de trabajo (habitualmente, por lotes)
- Este tipo de transportador es muy barato y ofrece una forma eficiente de conectar transportadores a niveles diferentes.
- El tobogán puede atascarse ocasionalmente si el diseño no es apropiado para el tamaño y la forma de los objetos que se transportan.
- El diámetro de la espiral puede ser de entre 0.46 y 1.22 m y la longitud puede hacerse a la orden.

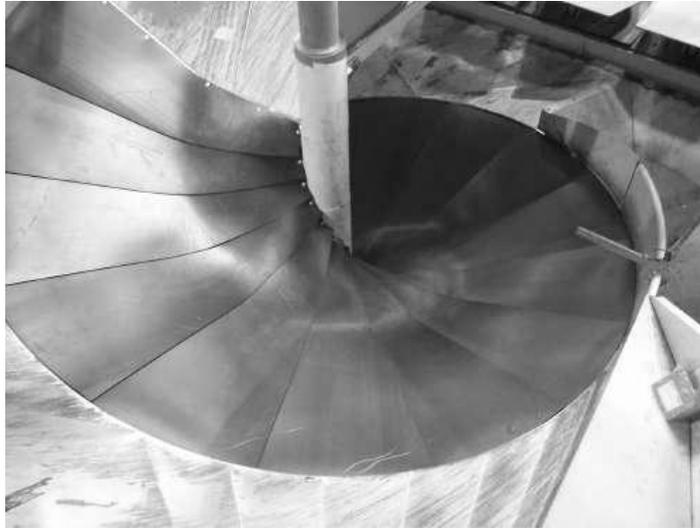


Ilustración 17. Transportador de tobogán

Transportador de costillas

Este transportador es una superficie móvil hecha de costillas o tiras unidas a cadenas impulsadas por fuerza motriz. Las costillas se mueven sobre rodillos a cada extremo del transportador para formar un lazo cerrado.

Características y/o aplicaciones

- Se pueden colocar cargas pesadas y desiguales directamente sobre las costillas.
- La operación puede ser horizontal o inclinarse hasta 40 grados.
- La higienización es mejor que para otros transportadores. Los transportadores de costillas se emplean principalmente para las embotelladoras y enlatadoras, por la facilidad de su limpieza.
- El tamaño de costilla puede ser de 8.26 a 19.05 cm en costillas de plástico y de 8.26 a 30.48 cm en costillas de acero, con una separación de 1.27 a 2.22 cm.

Transportador de tornillo o espiral

Un transportador de tornillo es una gran espiral o un gran tornillo contenido dentro de una tolva o tubo. El movimiento de rotación del tornillo hace que el material se mueva en espiral a lo largo de la ruta de la tolva o a través del tubo.

Características y/o aplicaciones

- Se puede usar horizontalmente o sobre una inclinación.
- Por su volumen pequeño se puede utilizar en espacio estrecho.



Ilustración 18. Transportador de tornillo

Transportador de cadena

Este transportador es una cadena sinfín que acarrea cargas directamente, colocadas a veces en el fondo de una tolva.

Características y/o aplicaciones

- Es útil para mover cajas de transporte y plataformas.
- Un transportador de cadena puede jalar material a lo largo de una tolva.
- En general, la longitud puede ser de entre 3.05 y 30.48 m, con una capacidad de 111.9 a 1119.6 kg por 0.3048 m lineales.



Ilustración 19. Transportador de cadena

Monorriel en alto

Un monorriel en alto es una vía alta de deslizamiento para transportar aparatos de acarreo como barquillas o ganchos. La vía en sí puede formar un lazo cerrado, y cada barquilla puede ser operada por fuerza motriz o manual.

Características y/o aplicaciones

- Las barquillas pueden ser movidas y controladas independientemente por fuerza motriz o por dispositivo manual
- El monorriel puede diseñarse para el acarreo de objetos pesados
- Los monorrieles se usan a menudo para transportar unidades a un recinto de pintura por rocío o un horno de cocción o de secado, donde es necesario un ritmo uniforme de viaje con la unidad entera suspendida en el aire. Los transportadores en alto están generalmente a 2.44 o 2.74 m (8 o 9 pies) del piso.



Ilustración 20. Monorriel alto

Transportador teleférico o trole

Un transportador teleférico o trole es un carril en alto de lazo cerrado con una cadena sinfín que transporta barquillas uniformemente espaciadas que sostienen las cargas.

Características y/o aplicaciones

- Las cargas se pueden mover horizontalmente o con una inclinación considerable
- Este tipo de transportador se puede usar para almacenamiento en alto, con lo que se ahorra espacio de piso

- Las aplicaciones más comunes son el desengrasado, la pintura por rocío, el montaje y el empaclado
- El transportador puede tener un carril libre, no motorizado, al que pueden pasarse las barquillas cuando la acumulación es importante
- Los transportadores en alto están generalmente a 2.44 o 2.74 m (8 o 9 pies) del piso y pueden ser funcionales en posiciones verticales, horizontales o inclinadas



Ilustración 21. Transportador teleférico o Trole

Transportador de ruedas

El transportador de ruedas es semejante en función al de rodillos, pero en lugar de rodillos largos tiene ruedas montadas en ejes.

Características y/o aplicaciones

- El espaciado de las ruedas depende de la carga que se va a transportar
- Los transportadores de ruedas son más económicos que los de rodillos
- Este tipo de transportador se usa para cargas ligeras.



Ilustración 22. Transportador de ruedas

Transportador de remolque

El transportador de remolque consiste en una línea de tracción y las barquillas, transportes o plataformas (dollies) que arrastra por una ruta fija.

Características y/o aplicaciones

- La hilera de arrastre puede estar en alto o en el suelo
- Las líneas pueden instalarse de manera que permitan el cambio automático de una línea a otra.
- Este tipo de transportador se usa por lo general en viajes frecuentes de largas distancias
- Los remolques son de 0.91 x 1.52 m (3 X 5 pies) o más grandes

Grúa corrediza o grúa de puente en alto

Ésta es una unidad de manejo de material en alto que semeja un puente y va montada sobre un par de vías, a lo largo de las cuales viaja. Dentro del puente hay un cable y una cabria que puede colocarse en cualquier punto a lo largo del puente.

Características y/o aplicaciones

- Esta grúa cubre toda el área dentro del rectángulo sobre el cual viaja. Proporciona cobertura tridimensional al moverse arriba, abajo, lateralmente y a lo largo
- Con diversos accesorios, como cubos, discos electromagnéticos y cadenas, puede manejar casi cualquier material, desde herramientas ligeras hasta pesadas planchas planas de metal
- Tales grúas pueden tener capacidades de 0.23 a 45.39 toneladas métricas y puede izarlas de 3.05 a 9.14 m

He aquí unas variaciones de las grúas de puente:

- *Grúa apiladora:* Una grúa que, en lugar de izar, usa plataformas con horquillas. Se utiliza principalmente para almacenar y retirar una carga unitaria (materiales en estiba, cajas u otras cargas en contenedor)
- *Grúa de torre (o pluma):* Grúa que se usa principalmente en grandes proyectos de construcción. Consiste en una cabria que corre sobre un aguilón horizontal unido por un extremo a un poste vertical. El otro extremo del aguilón está soportado por una línea tensora en lo alto del poste. El pescante mismo puede girar 360 grados sobre su poste
- *Grúa de pórtico:* Una gran grúa móvil soportada por torres o estructuras laterales que corren sobre vías paralelas. Se utiliza principalmente en actividades pesadas en el exterior, como la carga y descarga en muelles de embarque, astilleros y trabajos semejantes
- *Grúa de pescante:* Una grúa que puede correr sobre un aguilón horizontal, el cual puede estar montado sobre una columna o mástil. El mástil puede afianzarse al piso o al techo, o bien, el mástil puede fijarse directamente a los castillos o armaduras de muros o a rieles en éstos.

Las grúas de pescante pueden girar 360 grados, son versátiles y poco costosas, y se emplean en la carga y descarga de estaciones de trabajo individuales o portadores de manejo de material.



Ilustración 23. Variaciones de grúas puente

Equipo elevador de tijeras hidráulicas

Este equipo consiste en extremidades de tijera y cilindros hidráulicos con una plataforma encima que se levanta verticalmente del piso a unos 3.05 m (10 pies).

Características y/o aplicaciones

- Este equipo se usa para levantar, bajar y sostener cargas pesadas durante la carga y descarga
- En principio está ubicado de modo permanente, pero puede moverse distancias cortas
- Está diseñado para servir en operaciones de traslado en que se emplean montacargas de horquilla u otro equipo motorizado, o como un colocador de trabajo pesado industrial
- Se puede usar también como un andén de carga ajustable



Ilustración 24. Elevador de tijeras

Carro o transporte manual

Un carro o transporte manual es una plataforma montada sobre ruedas con manubrio para empujarla o tirar manualmente de ella.

Características y/o aplicaciones

- Es el método más simple y barato para transportar una carga
- Se usa para mover material a corta distancia con paradas frecuentes para cargar y descargar
- Sirve para almacenar materiales entre operaciones
- Requiere pisos lisos y bastante nivelados
- La plataforma puede tener capacidad de carga de 90 a 4536 kg (200 a 10000 libras).



Ilustración 25. Transportador manual

Los esquemas de una amplia variedad de transportes industriales se muestran en la tabla 10. Los transportes tienen funciones, capacidades y alcances diferentes. Son movidos por baterías o gas e incluso pueden ser convertidos en vehículos autoguiados (lo que se explica a continuación). Los transportes pequeños requieren que el operario camine o esté de pie atrás cuando el vehículo está en movimiento, mientras que los transportes más grandes cuentan con un asiento cómodo para el operario que los conduce.

Sistema de vehículo guiado automáticamente

El uso de los controles de computadora se ha extendido a las labores de manejo de material. Un operario de sistema en una estación puede controlar los vehículos haciendo que se muevan por una ruta predeterminada y realicen ciertas tareas. A este dispositivo se lo conoce como sistema de vehículo guiado automáticamente (AGV, automated guided vehicle).

Hay dos tipos básicos de vehículos autoguiados: el “tonto” y el “inteligente”. Se categorizan sobre la base de cuánto control se da a las rutas guías y a otros elementos ajenos al vehículo y cuánto reside en este mismo. Un sistema que tiene el control entero fuera del vehículo está construido en una disposición de zonas. Las rutas se dividen en zonas y al vehículo no se le permite entrar en una región a menos que esté despejada de otro tránsito. Puede hacerse inteligente a un vehículo utilizando microprocesadores en tarjeta y transmisores de radio. Es posible crear diferentes niveles de comunicación entre el control exterior y los vehículos. Por ejemplo, se puede asignar el destino en el microprocesador del vehículo, y éste marchará por su ruta, comunicándose con otros vehículos por radio para evitar colisiones. Un sistema más avanzado puede tener una computadora anfitriona que controla el movimiento de todos los vehículos. Se instruye a la computadora sobre qué es lo que se va a mover, y ella elige entonces el vehículo disponible más cercano a la labor y le emite órdenes a éste para que lleve a cabo la tarea. El resultado neto es una buena coordinación y utilización de los vehículos, así como un buen registro del movimiento de los artículos.

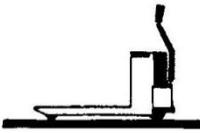
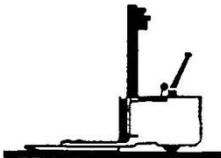
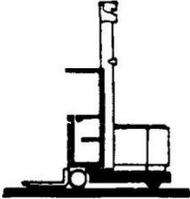
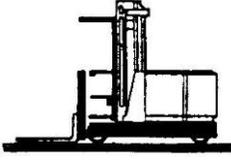
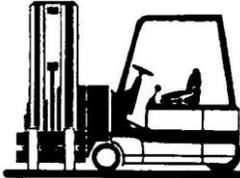
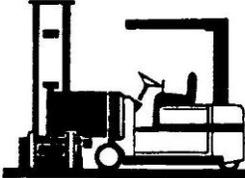
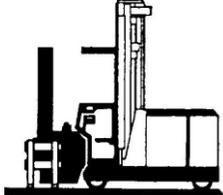
			
Electric Pallet Truck [transporte de paleta eléctrica], de 5500 libras de capacidad disponible como AGVS)	Electric Pallet Truck Man Ride [transporte de paleta eléctrico de conducción humana], de 4400 libras de capacidad (disponible como AGVS)	Electric Straddle Stacker Man Ride [apilador montado eléctrico de conducción humana], de 3300 libras de capacidad (disponible como AGVS)	Electric Pallet Stacker Man Ride [apilador de paleta de conducción humana], de 2750 y 3500 libras de capacidad (disponible como AGVS)
			
Low Level Order Selector [selector de orden de nivel bajo], de 9 pulg de altura de recolección u 4400 libras de capacidad (disponible como AGVS)	High Productivity Order Selector [selector de orden de alta productividad], con capacidad para levantar 3300 libras a 30 pulg de altura y Secondary Lift Mast (mástil montacargas secundario)	High Productivity Order Selector with walk through platform option [selector de orden de alta productividad con opción de paso por la plataforma], con capacidad para levantar 3300 libras a 45 pulg de altura	Electric Reach Truck [transporte de alcance eléctrico], de 3000 a 3500 libras de capacidad], Reach Mast Truck [transporte de mástil de alcance]
			
Three Wheel Electric [eléctrico de tres ruedas], de 2100 libras de capacidad, con Cushion or Pneumatic Tires [de ruedas acolchadas o con neumáticos] (disponible como AGVS)	Three Wheel Electric [eléctrico de tres ruedas], de 24V o 38V y 2500 y 3200 libras de capacidad, con Cushion or Pneumatic Tires [de ruedas acolchadas o con neumáticos]	Four Wheel Electric [eléctrico de cuatro ruedas], de 3000 y 1000 libras de capacidad, con Cushion or Pneumatic Tires [de ruedas acolchadas o con neumáticos]	Four Wheel Electric [eléctrico de cuatro ruedas], de 3200 y 6000 libras de capacidad, con Cushion or Pneumatic Tires [de ruedas acolchadas o con neumáticos]
			
Turret Truck [transporte de torreta] de 2200 libras de capacidad: de conducción por rieles, cable o manual	Turret Truck [transporte de torreta], de 2750 libras de capacidad, de conducción por rieles, cable o manual	Turret Truck [transporte de torreta] de 2200 a 3300 libras de capacidad, de conducción por rieles, cable o manual (disponible como AGVS)	Turret Truck / Order Selector [transporte de torreta o selector de orden] de 2200 a 3300 libras de capacidad, de conducción por rieles, cable o manual (disponible como AGVS)

Tabla 10. Algunos transportes industriales (Cortesía de Professional Materials Handling Co., Inc., Orlando, Florida)

Métodos Cuantitativos para realizar la distribución en planta

Estos consideran la medición de las distancias, las cargas, las áreas, tiempos y demás aspectos cuantitativos, es decir, lo que buscan es minimizar los costos de transporte y producción para maximizar la rentabilidad

Algunos Métodos Cuantitativos Para La Localización

En este apartado nos centraremos en algunas técnicas de tipo matemático que pueden ser utilizadas en la comparación de alternativas y selección de la localización. La característica fundamental de todas ellas es su sencillez y, al mismo tiempo, su generalidad, lo cual las hace aptas para un gran número de situaciones diferentes. Sin embargo, esto no debe llevar a pensar que no sean válidas: sencillez no significa inutilidad, al igual que complejidad y sofisticación no siempre conllevan precisión y rigor. Por el contrario, estas cualidades las hacen muy útiles para realizar una primera evaluación o para acotar la búsqueda de soluciones: pueden ser utilizadas de forma complementaria ya que suelen centrarse en aspectos parciales del problema de decisión. Aunque nos ceñiremos, fundamentalmente, a aquellas que emplean datos cuantitativos, también abordaremos las técnicas multicriterio: éstas últimas permiten incorporar juicios subjetivos y combinarlos con factores

cuantitativos, mejorando, por tanto, la decisión y haciéndola más realista. (DOMÍNGUEZ MACHUCA, 1995)

Gráficos de volúmenes, ingresos y costes: análisis del punto de equilibrio

Hemos visto que la localización puede afectar tanto a los costes como a los ingresos. El análisis de las gráficas de punto muerto puede ayudar a establecer comparaciones entre diversas alternativas, considerando ambos factores para diferentes volúmenes de producción y venta.

Los ingresos pueden verse afectados por la localización cuando la capacidad para atraer clientes dependa de la proximidad a los mismos, lo cual suele suceder con las empresas de servicios, mientras que en las empresas industriales suele ser menos frecuente (muchas veces el cliente no conoce, ni le importa, donde han sido fabricados los productos que consume).

En cuanto a los costos, el análisis del punto muerto distingue entre costos fijos y variables, pudiendo variar ambos según el sitio elegido. Los costos fijos incluyen el costo de adquisición de la instalación, los del suelo, los de construcción de los edificios o el alquiler, que pueden cambiar considerablemente entre lugares distintos (no es lo mismo ubicarse en algún punto de Madrid que hacerlo en Huelva o en Badajoz). Del mismo modo, los costes variables, que incluyen la mano de obra, las materias primas o los costes de transporte, entre otros, también dependen del lugar en que se instale la actividad.

Pocas veces se encontrará una alternativa que sea simultáneamente, mejor que las demás en términos de ingresos y costos, tantos fijos como variables. Podrá ocurrir que unas permitan obtener mayores ingresos pero ocasionando mayores costos, o que los costes fijos de una opción sean reducidos pero los variables sean mucho más altos, etc. Los gráficos objeto del presente apartado pueden ayudar en la comparación de alternativas de localización basándonos en estas cuestiones

Ejemplo, aplicación del análisis del punto de equilibrio a la localización. Caso de ingresos dependientes de la ubicación.

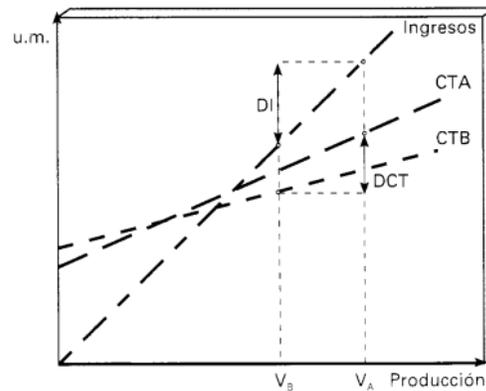


Ilustración 26. Ejemplo de análisis de punto de equilibrio

Una empresa de servicios está analizando dos alternativas de localización. A B. desde el punto de vista de los beneficios potenciales de cada ubicación, puede observarse que la primera ubicación ofrece menores costos fijos que la segunda, pero que tiene un mayor costo variable unitario. La función de ingresos se supone la misma para las dos opciones, sin embargo, por tratarse de una empresa de servicios, el volumen de ventas variará con la localización, siendo el esperado en A (V_A) mayor que el de B (V_B), de tal forma que, en el presente caso, su diferencia ($DI = IA - IB$) supera a la diferencia de sus respectivos costes totales ($DCT = CT - CTB$). Ello hace preferible la alternativa A, pues reporta un mayor beneficio.

Método del centro de gravedad

Es un método simple y parcial que se limita a analizar un único factor de localización: el coste de transporte. Puede ser utilizado, principalmente, para la ubicación de plantas de fabricación o almacenes de distribución respecto a unos puntos de origen, desde donde se reciben productos o materias primas, a otros de destino, a los cuales se dirigen sus salidas. Dado ese conjunto de puntos, el problema a resolver consiste en encontrar una localización central que minimice el costo total de transporte (CTT). Este se supone proporcional a la distancia recorrida y al volumen o peso de los materiales trasladados hacia o desde la instalación, por lo que puede expresarse como $CTT = \sum c_i r_i d_i$, donde c_i es el costo unitario de transporte correspondiente al punto i (éste puede diferir o no con el tipo de material y con i), r_i es el volumen o peso de los materiales movidos desde o hacia i , y d_i es la distancia entre el punto i y el lugar donde se encuentra la instalación.

Para calcular CTT se deberán estimar las cantidades movidas entre cada punto y la instalación para un determinado horizonte temporal (un mes, un año, etc). El producto $c_i r_i$ constituye el peso, w_i , o importancia que cada punto, i , tiene en el emplazamiento de la instalación, de forma que a mayor w_i más cercana se habrá de encontrar la instalación del punto correspondiente.

Para medir las distancias se puede trabajar sobre un mapa o plano a escala; así, al superponerle un sistema de ejes coordenados, cada punto geográfico vendrá identificado por un par de valores, el de su ordenada y

el de su abscisa, lo cual permitirá calcular las distancias entre cada punto y la instalación. Aunque existen otras, las dos medidas más utilizadas son las siguientes:

- La distancia rectangular: cuando los desplazamientos se hacen a través de giros de 9°, es decir, siguiendo movimientos en dos direcciones, horizontales y verticales. Esta medida podría utilizarse para el caso de analizar una localización dentro de una ciudad. Llamando K al factor de escala y siendo (x, y) el lugar donde ésta se encuentra, su valor vendría dado por:

$$d_i = K(|x - x_i| + |y - y_i|) \quad [1]$$

- La distancia euclídea: es la línea recta que une el punto i con el lugar ocupado por la instalación. La distancia sería:

$$d_i = K [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2] \quad [2]$$

En realidad, ambas son sólo aproximaciones a la distancia real pero, al resolver el problema, se incurre en errores similares para todas las localizaciones, con lo que la distorsión global de la solución suele ser pequeña.

Para llegar a la localización «óptima» puede partirse de una buena solución inicial calculando el centro de gravedad dentro del área marcada por las distintas localizaciones. Las coordenadas que definen ese punto central vendrían dadas por las expresiones:

$$x^* = \frac{\sum c_i r_i x_i}{\sum c_i r_i} \quad y^* = \frac{\sum c_i r_i y_i}{\sum c_i r_i} \quad [3]$$

Este punto no se corresponde necesariamente con el óptimo para ninguna de las medidas de distancia anteriores, pero es una aproximación bastante buena, por lo que podría aceptarse como solución al problema. En caso de desear mayor precisión, se podrían realizar cálculos incrementales de la siguiente forma: se desplaza la solución una pequeña distancia en todas las direcciones (norte, sur, este y oeste) y se comprueba si el costo decrece en alguna de ellas; si esto no ocurre, se estaría en el óptimo, pero, en caso contrario, habría que seguir moviéndose en aquella dirección en la que disminuye el costo, repitiéndose el proceso tantas veces como sea necesario.

Para el **caso de utilizar distancias rectangulares**, puede encontrarse directamente la solución óptima a través del **modelo de la mediana simple**.

Métodos cuantitativos de distribución orientados al proceso y producto

Estos métodos tienen en común en que están pensados para analizar la distribución de una planta que debe ser flexible en cuanto al tránsito de diversos productos que no necesariamente tengan las mismas características.

Es aquí donde vale la pena analizar los procesos y los productos para poder hacer una distribución óptima que reduzca los costos y aumente la productividad.

Método triangular

Es un método heurístico orientado al proceso utilizado para encontrar las mejores posiciones de los distintos departamentos o áreas dentro de un determinado espacio. Estas posiciones se obtienen de tal forma que se reduzca la distancia en el recorrido de los materiales y personas que intervienen en el proceso productivo.

A continuación se describe el procedimiento que se utiliza en la aplicación de este método, mediante el desarrollo del siguiente ejemplo:

Un taller de ebanistería produce 4 tipos de artículos A, B, C y D cuyos datos de demanda anual y secuencias de fabricación se resume en la siguiente tabla:

			Secuencias de Fabricación								
			Máquinas del proceso								
Producto	Demanda Anual	Peso Kg/Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	Total a Transportar
A	1000	2,8	○	○	○	○	○	○	○	○	2,8 Ton/año
B	1200	1,5	○	○	○	○	○	○	○	○	1,8 Ton/año
C	800	1	○	○	○	○	○	○	○	○	0,8 Ton/año
D	1600	1,5	○	○	○	○	○	○	○	○	0,8 Ton/año

Tabla 11, Rutas de fabricación

En este caso el objetivo es tratar de obtener el mejor arreglo de distribución que minimice el gasto de transporte teniendo en cuenta el peso a transportar entre los distintos departamentos. Para realizar la distribución se deben seguir 5 pasos, que se explicaran a continuación.

Paso 1: Determinación de las intensidades a transportar entre equipos.

Consiste en analizar la cantidad o peso a transportar desde un departamento o máquina origen hasta el departamento o máquina destino, para lo cual es necesario analizar el recorrido que hace cada producto entre departamentos.

		PRODUCTOS				Total
Desde	Hasta	A	B	C	D	(Ton/año)
1	2	2		0,8		2,8
	3		1,8			1,8
	4				0,8	0,8
2	3				2	2
	5		1,8			1,8
	4			0,8		0,8
3	4	2				2
	2		1,8			1,8
	5			0,8		0,8
4	5	2				2
	6		1,8		0,8	2,6
	3			0,8		0,8
5	6	2				2
	4		1,8			1,8
	7			0,8		0,8
6	8	2	1,8	0,8		4,6
	7				0,8	0,8
7	6			0,8		0,8
	8				0,8	0,8

Tabla 12, Cargas a transportar entre departamentos

Con esta tabla se obtienen las cantidades a transportar entre departamentos.

Paso 2: Elaboración de la matriz cuadrada orientada de relaciones entre equipos o departamentos.

En este paso se toman los resultados totales obtenidos en el paso 1 y se registran en una matriz de doble entrada de la siguiente manera.

DE \ A	1	2	3	4	5	6	7	8
1		2,8	1,8	0,8				
2			2,0	0,8	1,8			
3			1,8	2,0	0,8			
4				0,8	2,0	2,6		
5					1,8	2,0	0,8	
6							0,8	4,6
7							0,8	0,8
8								

Tabla 13, resultados del paso 1

Paso 3: Elaboración de la matriz triangular no orientada de relación entre equipos o departamentos.

En este paso se suman los valores a transportar obtenidos en la matriz del paso 2, sin importar la dirección u orientación. Con este procedimiento los valores obtenidos nos permiten construir la siguiente matriz.

1								
2	2,8							
3	1,8	3,8						
4	0,8	0,8	2,8					
5	0	1,8	0,8	3,8				
6	0	0	0	2,6	2			
7	0	0	0	0	0,8	1,6		
8	0	0	0	0	0	4,6	0,8	

Tabla 14, Resultados del paso 2

Paso 4: Elaboración de la matriz cuadrada no orientada y determinación del plan de asignación de las maquinas.

En este paso los datos obtenidos en la matriz triangular se pasan a la matriz cuadrada, en la cual los valores por encima y por debajo son los mismos de la matriz triangular obtenida en el paso 3. Seguidamente se determina el orden de asignación de los equipos.

Para realizar la asignación de los equipos primero se debe buscar el mayor valor de la matriz cuadrada, que para nuestro ejemplo es 4,6, que corresponde a la relación entre las máquinas 6 y 8.

Luego se coloca una fila llamada S_0 que corresponde a la primera iteración cuyos valores son cero (0). Seguidamente se escoge entre la maquina 6 y 8

para la primera asignación. Para este caso se utilizó la máquina 6, por esto se pasan los valores que se encuentran en la matriz cuadrada, dichos valores se suman a la fila S_0 dando como resultado la fila S_1 . De esta fila se toma el mayor valor que en este caso es 4,6 que corresponde a la maquina 8, cuyos valores se suman a la fila S_1 obteniéndose así S_2 , nuevamente se toma el mayor valor que corresponde a 2,6 el cual está ubicado en la columna de la máquina 4, siendo esta la siguiente en la asignación. Este procedimiento se debe repetir iterativamente hasta obtener el orden de asignación completo.

DE \ A	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		2,8	1,8	0,8	0	0	0	0	
2	2,8		3,8	0,8	1,8	0	0	0	
3	1,8	3,8		2,8	0,8	0	0	0	
4	0,8	0,8	2,8		3,8	2,6	0	0	
5	0	1,8	0,8	3,8		2,0	0,8	0	
6	0	0	0	2,6	2,0		1,6	4,6	
7	0	0	0	0	0,8	1,6		0,8	
8	0	0	0	0	0	4,6	0,8		
S_0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	2,6	2,0	X	1,6	4,6	
S_1	0	0	0	2,6	2,0	X	1,6	4,6	$S_0 + 6 = S_1$
8	0	0	0	0	0	X	0,8	X	
S_2	0	0	0	2,6	2,0	X	2,4	X	$S_1 + 8 = S_2$
4	0,8	0,8	2,8	X	3,8	X	0	X	
S_3	0,8	0,8	2,8	X	5,8	X	2,4	X	$S_2 + 4 = S_3$
5	0	1,8	0,8	X	X	X	0,8	X	
S_4	0,8	2,6	3,6	X	X	X	3,2	X	$S_3 + 5 = S_4$
3	1,8	3,8	X	X	X	X	0	X	
S_5	2,6	6,4	X	X	X	X	3,2	X	$S_4 + 3 = S_5$
2	2,8	X	X	X	X	X	0	X	
S_6	5,4	X	X	X	X	X	3,2	X	$S_5 + 2 = S_6$
1	X	X	X	X	X	X	0	X	
S_7	X	X	X	X	X	X	3,2	X	$S_6 + 1 = S_7$
7	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabla 15, resultado del paso 4

De acuerdo a los resultados obtenidos, el orden de asignación es el siguiente:

6 – 8 – 4 – 5 – 3 – 2 – 1 – 7

Paso 5: Ubicación de los equipos o departamentos en una red triangular considerando las intensidades de transporte.

Se inicia ubicando las 3 primeras máquinas en un triángulo.

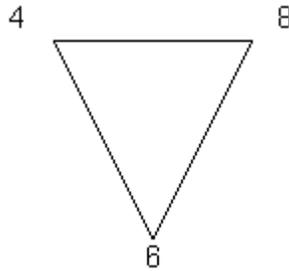


Ilustración 27. Ubicación de las 3 primeras máquinas

Luego se decide la ubicación de la máquina 5, la cual tiene 3 posibilidades:

- A: Formar un triángulo con 4 y 6,
- B: Formar un triángulo con 6 y 8, y
- C: Formar un triángulo con 4 y 8.

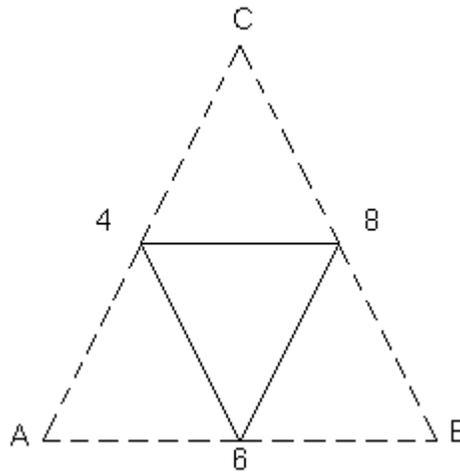


Ilustración 28. Posibilidades de ubicación de la máquina 5

Para tomar la decisión se deben evaluar las posibilidades en función de la intensidad de tráfico.

$$A = I_{45} + I_{65} = 3,8 + 2,0 = 5,8$$

$$B = I_{65} + I_{85} = 2,0 + 0 = 2,0$$

$$C = I_{45} + I_{85} = 3,8 + 0 = 3,8$$

Se elige la opción de mayor valor que en este caso es A, lo que quiere decir, hay más tráfico entre 4,6 y 5 que con las demás.

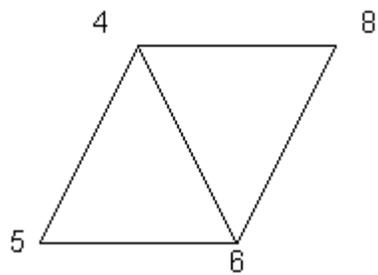


Ilustración 29. Ubicación de la máquina 5

Ahora se continúa con las demás máquinas hasta ubicarlas todas.

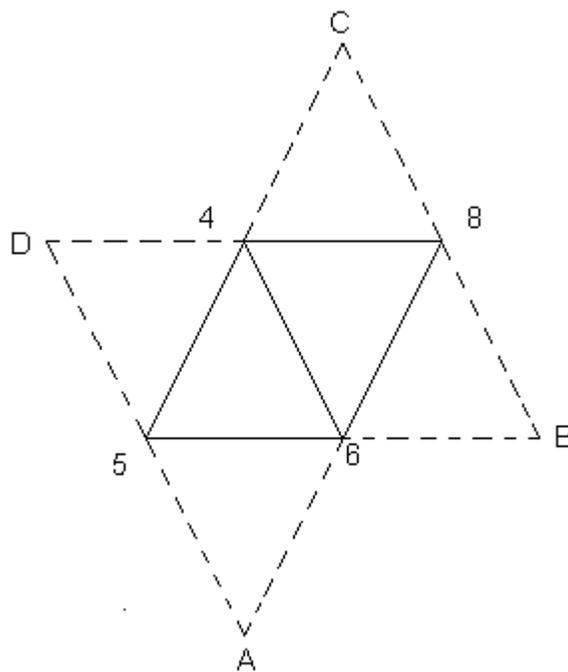


Ilustración 30. Posibilidades de ubicación de la máquina 5

$$A = I_{53} + I_{63} = 0,8 + 0 = 0,8$$

$$B = I_{63} + I_{83} = 0 + 0 = 0$$

$$C = I_{83} + I_{43} = 0 + 2,8 = 2,8$$

$$D = I_{43} + I_{53} = 2,8 + 0,8 = 3,6$$

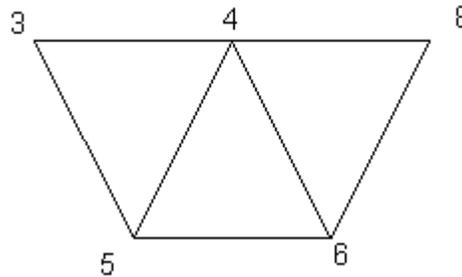


Ilustración 31. Ubicación de la máquina 3

Y así seguimos con las maquinas restantes. Como resultado final tenemos el siguiente arreglo:

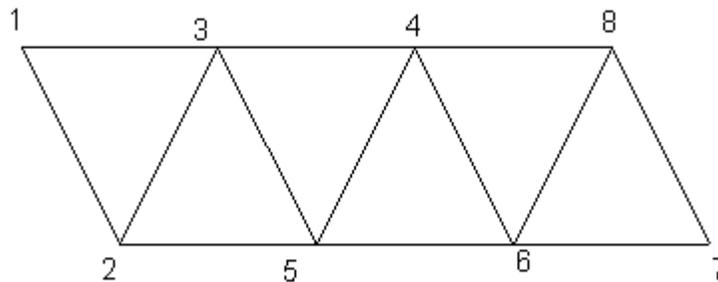


Ilustración 32. Disposición final

Método Húngaro

El método húngaro (MH) es un algoritmo de optimización publicado originalmente por Harold Kuhn y posteriormente revisado por James Munkres, por lo cual también es conocido como el algoritmo de Kuhn-Munkres.

Éste algoritmo tiene complejidad computacional de $O(n^3)$, lo cual quiere decir que a n entradas del problema a solucionar se necesitarán mínimo n^3 pasos para resolverse.

El MH está diseñado para modelar problemas de asignación de muchos tipos los cuales se caracterizan por tener una matriz $n \times m$ (en muchos casos $n=m$) en la cual se definen los costos y las alternativas a asignar, a este arreglo se le denomina Matriz de costos.

Debido a que se trata con costos el objetivo principal es minimizar usando el método de eliminación de Gauss-Jordan, eliminando filas hasta obtener una solución óptima.

Aplicando el método

Para mostrar la lógica del algoritmo se procederá a usar un ejemplo. Se desea minimizar el costo de trabajo de 4 tipos de producto en 4 centros de trabajo asignando cada producto a uno y sólo un centro de trabajo.

La matriz de costo es la siguiente:

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	4	7	6	9
Producto 2	10	8	3	3
Producto 3	6	5	2	4
Producto 4	4	7	2	2

Tabla 16. Matriz inicial de costos

1. **Primer paso:** Ubicar los costos menores por fila y restarlos a los demás elementos de la fila.

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	4	7	6	9
Producto 2	10	8	3	3
Producto 3	6	5	2	4
Producto 4	4	7	2	2

Tabla 17. Matriz de costos seleccionando los valores menores por fila

Lo siguiente entonces es hacer la resta:

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	3	2	5
Producto 2	7	5	0	0
Producto 3	4	3	0	2
Producto 4	2	5	0	0

Tabla 18. Matriz resultante luego de restar los mínimos

2. **Paso dos:** Se seleccionan de las columnas que no tengan 0 los menores y se restan a los otros datos de la columna.

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	3	2	5
Producto 2	7	5	0	0
Producto 3	4	3	0	2
Producto 4	2	5	0	0

Tabla 19. Seleccionando los menores en la columnas resultantes

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	2	5
Producto 2	7	2	0	0
Producto 3	4	0	0	2
Producto 4	2	2	0	0

Tabla 20. Matriz resultante de la resta en columnas

3. **Paso tres:** Resaltamos las filas y columnas que contengan al menos un 0 en su interior, por ejemplo con líneas. Esto lo hacemos para no tenerlas en cuenta.

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	2	5
Producto 2	7	2	0	0
Producto 3	4	0	0	2
Producto 4	2	2	0	0

Tabla 21. Dejando los datos que no tengan ceros

4. **Paso cuatro:** De los valores que no fueron resaltados tomamos el menor y hacemos dos cosas: lo restamos a los visibles y lo sumamos a las intersecciones de las filas y columnas que hemos resaltado.

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	2	5
Producto 2	7	2	0	0
Producto 3	4	0	0	2
Producto 4	2	2	0	0

Tabla 22. Seleccionando el menor valor de los resultantes

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	4	7
Producto 2	5	0	0	0
Producto 3	4	0	2	4
Producto 4	0	0	0	0

Tabla 23. Sumando y restando

5. **Paso cinco:** Si no se obtiene que se pueda resaltar todas las filas (es decir, que el número de líneas resaltadas sea igual al número de filas), se deben repetir los pasos 3 y 4 hasta lograrlo. Luego cuando ya se obtiene una matriz de tales características, se asigna según los ceros que hayan

quedado en la matriz luego de haber vuelto a resaltar las filas y columnas que hubieran quedado con ceros.

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	4	7
Producto 2	5	0	0	0
Producto 3	4	0	2	4
Producto 4	0	0	0	0

Tabla 24. Matriz final de asignación

6. **Paso final:** En este paso asignaremos y elegiremos un cero por columna y por fila para finalmente evaluar el costo total teniendo en cuenta la matriz de costos original. En nuestro ejemplo, según los resultados finales la asignación quedará así:

	Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4
Producto 1	0	0	4	7
Producto 2	5	0	0	0
Producto 3	4	0	2	4
Producto 4	0	0	0	0

Tabla 25. Matriz final de asignación

Entonces las tareas asignadas serían:

1. El producto 1 al centro 1, costo \$4
2. El producto 2 al centro 3, costo \$3
3. El producto 3 al centro 2, costo \$5
4. El producto 4 al centro 4, costo \$2

Sumando todos los costos tenemos que el costo total de este plan de trabajo es de \$14.

Balanceo de línea

El balanceo de línea es un método orientado al producto que nace como respuesta a uno de los más grandes problemas que se tienen a la hora de

administrar las operaciones de producción, garantizar el flujo continuo de material sin retrasos, buscando tener en 0 el inventario de producto en proceso, todo esto maximizando la eficiencia del personal operativo para que el costo directo de mano de obra sea siempre el mínimo.

El balanceo de línea en sí es una metodología que trata el proceso de fabricación y/o ensamble como una agrupación física de tareas que se llevan a cabo en bloques llamados estaciones de trabajo.

Para entender esto es necesario seguir viendo algunas definiciones.

Tiempo de ciclo, es la medida de desempeño que permite establecer el menor tiempo de permanencia de un producto dentro de la línea de ensamble o producción. Matemáticamente está definido como:

$$T_{ci} = \frac{T_d - T_{pnp}}{U_{ph}}$$

Siendo T_{ci} el tiempo de ciclo, T_d el tiempo disponible de trabajo, U_{ph} la tasa de producción teórica (en unidades por hora) y T_{pnp} el tiempo de pérdida no planeado.

Número mínimo de estaciones de trabajo, es el número de estaciones en las que las tareas estarán distribuidas y como lo dice su nombre, es el mínimo y cuándo el cociente calculado no dé un número entero se aproximará al entero superior.

$$NW = \frac{\sum t_i}{T_{ci}}$$

Siendo NW el número mínimo de estaciones de trabajo (WS), t_i el tiempo de operación de la tarea i , y T_{ci} el tiempo de ciclo.

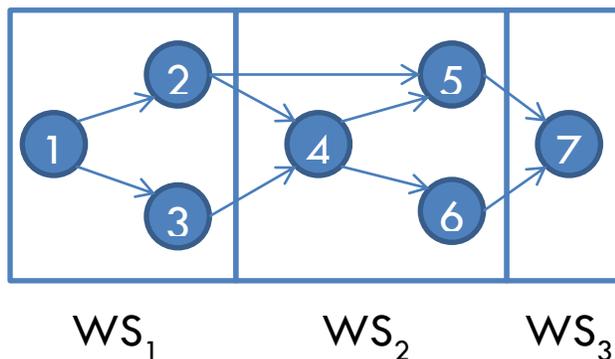


Ilustración 33. Estaciones de trabajo (WS)

Eficiencia de la línea, es la medida del desempeño del trabajo hecho en la línea de ensamble y/o producción. Eficiencia de la estación de trabajo, mide

el desempeño de la estación de trabajo. Los dos indicadores anteriores se miden en porcentaje.

$$E_L = 100\% \cdot \left(\frac{\sum t_i}{NW \cdot T_{ci}} \right)$$

$$E_{wi} = \frac{\sum t_{wsi}}{T_{ci}}$$

Siendo t_i y t_{wsi} los tiempos de la tarea i y de la tarea i en el centro de trabajo que se está analizando respectivamente.

Capacidad de línea, es la capacidad de tiene la línea según su eficiencia y a tasa de producción que tiene.

$$C_s = UPh/E_L$$

Siendo C_i la capacidad de la línea y UPh la tasa de producción teórica de la misma en unidades por hora.

Improductividad de línea, es la medida de pérdida de eficiencia de la línea, se mide como una rata de producción.

$$I_L = C_s - UPh$$

Siendo I_L la improductividad de línea.

Tiempo ocioso, es el tiempo que una estación de trabajo presenta una espera debido a que la estación anterior no ha terminado el trabajo con un producto, se mide en unidades de tiempo.

$$T_o = T_{ci} - \sum t_i * WS_i$$

Siendo T_o el tiempo ocioso.

Para realizar de mejor manera el balanceo de línea se debe registrar los datos y cálculos hechos para poder tomarlo como base en procesos posteriores. A este registro se le llama Memoria de Cálculo.

WS	Tareas	T_{ci}	T_o	E_{ws}	$\%T_o$
WS₁	1, 2, 3	T_{c1}	T_{O1}	E_{ws1}	$\%T_{O1}$
WS₂	4, 5, 6	T_{c2}	T_{O2}	E_{ws2}	$\%T_{O2}$
WS₃	7	T_{c3}	T_{O3}	E_{ws3}	$\%T_{O3}$

Tabla 26. Esquema básico de Memoria de Cálculo

Para ver cómo se aplica realizaremos un ejemplo, se tienen los siguientes datos para la ruta de fabricación de un producto:

Tarea	t_i (s)	Precedencia
A	20	--
B	15	A
C	25	A
D	18	A
E	19	B, C
F	21	D
G	19	E, F

Y se tiene que el tiempo total programado por día son 2 turnos de 8 horas, con pérdidas no planeadas estimadas en 3 minutos por turno y una tasa de producción teórica de 600 uph. El objetivo es realizar la memoria de cálculo del balanceo de línea.

Lo primero que se hará es calcular el tiempo de ciclo y el número mínimo de estaciones de trabajo.

$$T_{ci} = \frac{(2 \text{ turnos} \cdot 8h) \cdot 3600s - (3\text{min} \cdot 60 \frac{s}{\text{min}})}{600 \text{ uph}} = \frac{95,7s}{ud}$$

$$NW = \frac{132s}{95,7} \approx 2WS$$

Ahora se calcula la eficiencia de la línea y las estaciones de trabajo.

$$E_L = \frac{132}{2 \cdot 95,7} = 68,9\%$$

Para hallar las eficiencias de las estaciones de trabajo hay que saber primero cómo están dispuestas. El siguiente gráfico muestra un esquema de distribución:

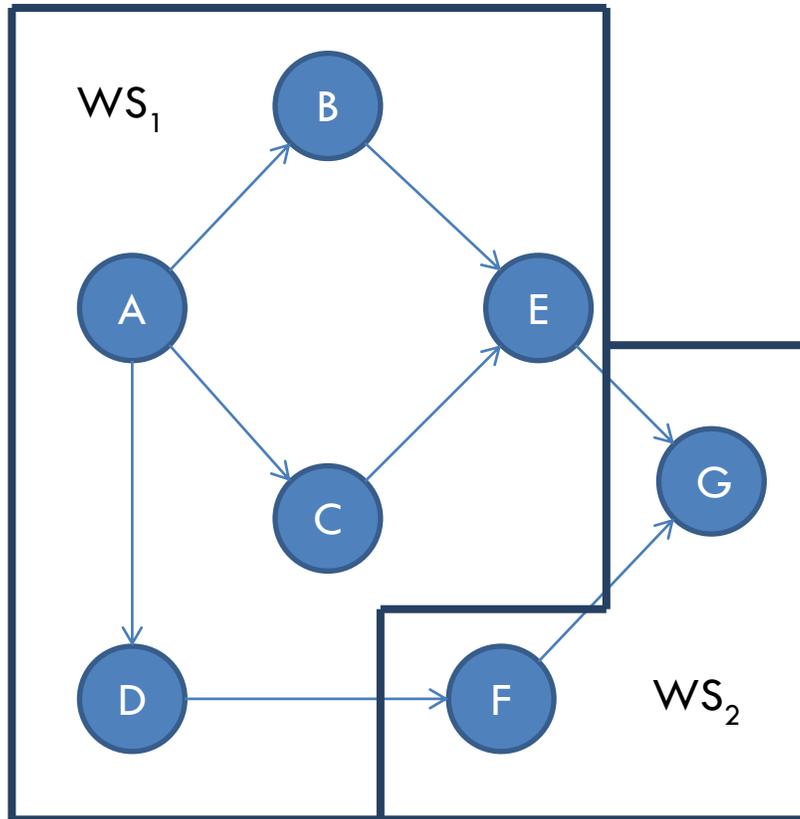


Ilustración 34. Esquema espacial de estaciones de trabajo

Así las cosas las eficiencias de las estaciones de trabajo son:

$$E_{WS1} = \frac{92}{95,7} = 96,1\%$$

$$E_{WS2} = \frac{49}{95,7} = 41,8\%$$

Por último se calcularán la capacidad, improductividad de la línea y los tiempos ociosos.

$$C_s = \frac{600}{68,9\%} \approx 870 \text{ uph}$$

$$I_L = 870 - 600 = 270 \text{ uph}$$

$$T_{O1} = 95,7 - 92 = 3,7s$$

$$T_{O1} = 95,7 - 40 = 55,7s$$

Ahora ya con todos los cálculos realizados, ya se puede registrar la memoria de cálculo:

WS	Tareas	T _{ci} (s)	T _o (s)	E _{ws}	%T _o
WS ₁	A B C D E	95,7	3,7	96,1%	3,9%
WS ₂	F G	95,7	55,7	41,8%	58,2%

Tabla 27. Memoria de cálculo para el ejemplo

Método de carga-distancia

El método de carga-distancia es un modelo de distribución orientado al proceso muy usado que procura reducir al mínimo el transporte teniendo en cuenta aspectos como los traslado entre áreas, las distancias que se recorren y la cantidad de material que se transporta.

El modelo está basado en minimizar el costo (C), el cual es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} D_{ij}$$

Siendo L_{ij} el número de cargas o movimientos realizados entre los centros de trabajo i y j y D_{ij} = la distancia entre los centros de trabajo i y j .

Vale la pena aclarar que se asume que los costos de traslado son los mismos sin importar que tipo de traslado sea ni de dónde a dónde se haga el movimiento. Si ese no es el caso a la ecuación se le debe agregar un nuevo parámetro de costo unitario (C_{ij}) por transporte que multiplique a L y D.

La implementación del método es simple, lo primero que hay que hacer es calcular todas las cargas o cantidades a desplazar entre las estaciones de trabajo, luego hay que hacer lo propio con las distancias (y de ser necesario los costos también), luego que ya se tengan los datos se ejecuta la ecuación para hallar el costo total. Después de esto se debe modificar la distribución de las áreas según sea necesario para reducir los costos y volver a calcular haciendo de éste un proceso iterativo que terminará dependiendo del criterio del diseñador o en el momento en que éste encuentre una solución óptima.

Como ejemplo tomaremos el siguiente, se tienen 6 estaciones de trabajo dispuestas como lo muestra el siguiente diagrama de bloques (las áreas resaltadas con gris no son usables):

	3	
6	1	2
	5	4

Ilustración 35. Diagrama de bloques

Y para ver las interacciones entre las estaciones se tiene el siguiente grafo:

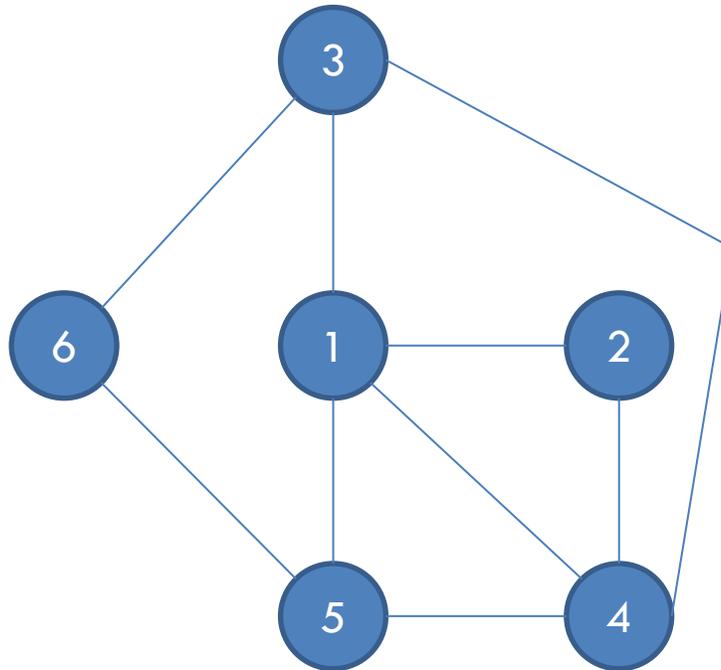


Ilustración 36. Grafo relacional de las estaciones de trabajo

De acuerdo a lo anterior se calculan las cargas y las distancias que se tendrán en las áreas:

Movimiento $i - j$	L	D
1 - 2	600	10
1 - 3	270	10
1 - 4	80	20
1 - 5	250	10

Movimiento $i - j$	L	D
1 - 6	350	10
2 - 3	0	10
2 - 4	350	10
2 - 5	0	0
2 - 6	0	0
3 - 4	195	30
3 - 5	0	0
3 - 6	125	20
4 - 5	200	10
4 - 6	0	0
5 - 6	110	20

Tabla 28. Lista de cargas (L) y distancias (D) para el ejemplo

Se debe calcular ahora C, esto lo haremos agregando una columna a la tabla anterior con el resultado de $L_i D_{ij}$.

Movimiento $i - j$	L	D	$L_i D_{ij}$
1 - 2	600	10	6000
1 - 3	270	10	2700
1 - 4	80	20	1600
1 - 5	250	10	2500
1 - 6	350	10	3500

Movimiento $i - j$	L	D	$L_{ij}D_{ij}$
2 – 3	0	10	0
2 – 4	350	10	3500
2 – 5	0	0	0
2 – 6	0	0	0
3 – 4	195	30	5850
3 – 5	0	0	0
3 – 6	125	20	2500
4 – 5	200	10	2000
4 – 6	0	0	0
5 – 6	110	20	2200

Tabla 29. Calculando las cargas por las distancias

Ahora se suman todos los resultados de la columna que se acaba de poner y lo que dé como resultado será el costo de los movimientos en la distribución.

$$C = 32350$$

Lo que resta es variar las áreas de posición para poder obtener una mejor solución.

Preguntas y ejercicios propuestos

Tipos de distribución

1. En el caso de construcción de barcos y aviones, ¿cuál sería el tipo de distribución más aconsejada?
2. Se tiene la siguiente distribución de planta:

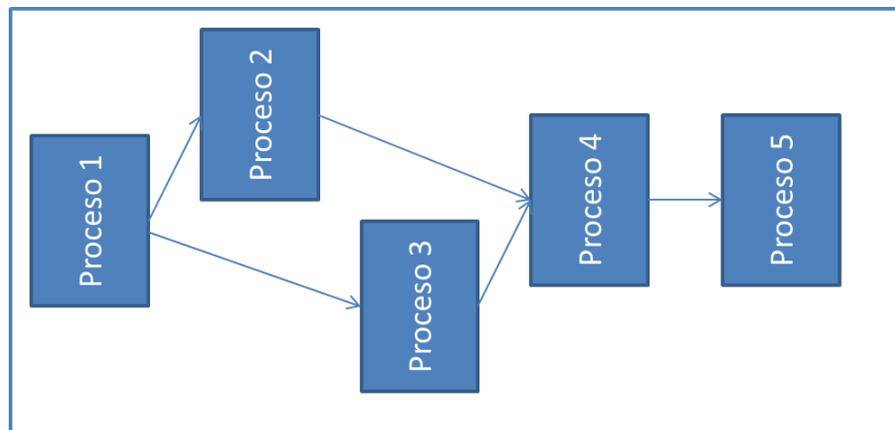


Ilustración 37. Esquema para la pregunta 2

¿A qué tipo de distribución se refiere?

Métodos cuantitativos de distribución orientados al proceso y producto

1. Una fábrica de artículos para aseo general tiene cinco modelos ABCDE para la fabricación de una familia de productos. La planta dónde tiene

lugar la producción cuenta con 70 m de largo por 30 m de ancho distribuidos en espacios modulares de 10 m x 10 m. Se parte de una distribución que va a ser sometida a un rediseño. El objetivo principal es minimizar los recorridos entre las áreas de proceso teniendo en cuenta las siguientes rutas de fabricación:

Centros de proceso de 1 al 9.

Producto A: 2-3-4-6-8-9

Producto B: 1-2-3-5-6-8

Producto C: 1-2-4-5-7-8

Producto D: 2-4-5-7-8

Producto E: 2-3-6-7-8-9

La matriz de incidencia entre centros de proceso es la siguiente:

Centro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		2500	1200		2500			1560	1900
2				1350				540	
3	800					1600			
4		1500				650	1450		
5						850			
6		1100		1600			1500	650	
7			1050						
8		390				1250			1550
9	1400						1000		

Tabla 30. Matriz de incidencia para el ejercicio 1

El diagrama de bloques de la distribución actual es el siguiente:

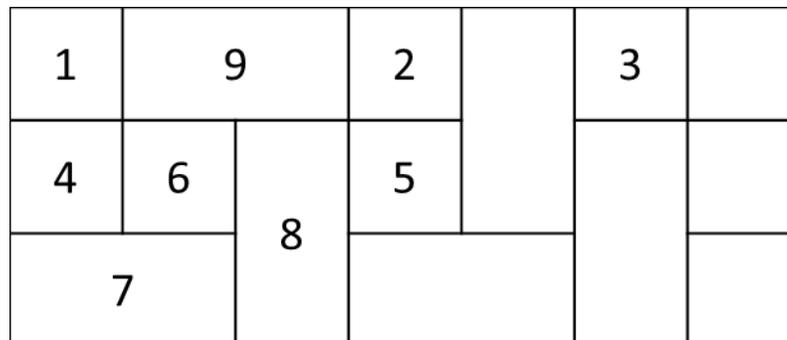


Ilustración 38. Diagrama de bloques para la distribución del ejercicio 1.

Según las rutas de fabricación, teniendo en cuenta que pueden moverse todas las áreas y usarse todo el espacio, usando un

diagrama de bloques y método triangular desarrolle una propuesta que reduzca como mínimo un 20% la cantidad de recorridos entre áreas.

Para el mismo caso anterior, si los centros de proceso número 1 y 6 no pueden reubicarse establezca una nueva y diferente propuesta que cumpla con el requerimiento anterior.

2. La empresa Cards & Johnson ha adquirido una nueva nave para disponer allí los procesos de su familia de sus productos ASR. La nueva instalación tiene dimensiones de 50 m de largo por 20 m de ancho y la mínima unidad de construcción es de 10 m x 10 m. Teniendo en cuenta que la familia ASR pasa por 4 de 6 procesos el ingeniero de diseño teniendo en cuenta esta y otras restricciones ha desarrollado las siguientes distribuciones como propuesta:

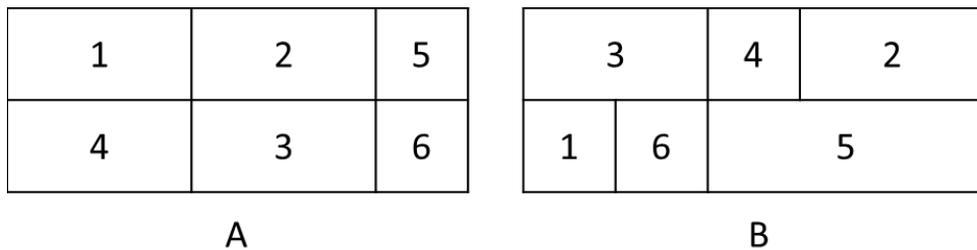


Ilustración 39. Propuestas a evaluar para el ejercicio 2

Luego de presentar la propuesta al Ingeniero de diseño le han presentado la siguiente tabla que resume la demanda esperada de cada producto en el año.

Producto	Ruta de fabricación	Cantidad a fabricar
ASR-1	1-5-6-4	300000
ASR-1 PLUS	1-2-5-4	210000
ASR-2	1-2-6-4	95000
ASR-3	1-3-5-4	50000
ASR-PREMIUM	3-5-6-4	24000

Tabla 31. Producto, ruta y cantidad a trabajar para el ejercicio 2

Teniendo en cuenta lo anterior, como ingeniero de diseño ¿cuál de las dos propuestas presentaría? Justifique su respuesta mediante el método de carga distancia. Si pudiera reformular otra propuesta ¿cuál sería y cuánto sería en % la reducción del costo de movimientos con respecto a la presentó anteriormente?

Para este ejercicio para calcular las distancias por favor tome mida solamente las que haya entre los puntos centrales de cada centro de proceso.

3. Una planta de producción programa su producción para 24 horas diarias divididas en 3 turnos de 8, se calculan pérdidas no planeadas por 30 min/turno y se tiene una tasa de producción estándar de 2100 uph. Los productos pueden pasar por 10 diferentes tareas:

Tarea	Precedencia	Tiempo (s)
A	G H	70
B	F J E	25
C	--	15
D	H I	62
E	A	45
F	A D	69
G	C	52
H	C	48
I	C	39
J	D I	49

Tabla 32. Tabla de actividades de la línea para el ejercicio 3

De acuerdo a los datos, realice el grafo que represente el proceso, defina las estaciones de trabajo, determine la eficiencia de la línea, la capacidad real, los tiempos ociosos y la improductividad y registre los resultados en una memoria de cálculo.

Si se implementan mejoras en los métodos de producción y la tasa de producción estándar sube a 2500 uph y las pérdidas por turno se reducen a 20 min/turno, ¿cómo sería la nueva memoria de cálculo?

Índice de tablas e ilustraciones

Ilustraciones

Ilustración 1. Factores que inciden en la distribución	14
Ilustración 2. Elementos de planeación Layout.....	17
Ilustración 3. Elementos de la planeación Layout	18
Ilustración 4. Procedimiento SLP	22
Ilustración 5. Ejemplo de operaciones en una empresa textil	24
Ilustración 6. Relación de proximidad entre las operaciones (Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta, 2008).....	24
Ilustración 7. Diagrama relacional de actividades	27
Ilustración 8. Distribuciones de almacenamiento (la distribución se basa en la semejanza, ya sea física o funcional)	33
Ilustración 9. Distribuciones de almacenamiento (la distribución se basa en la semejanza, ya sea física o funcional)	33
Ilustración 10. Distribución inicial de la bodega.....	34
Ilustración 11. Distribución final de la bodega.....	36
Ilustración 12. Grúa de puente	40
Ilustración 13. Montacargas	41
Ilustración 14. Grúas de uso específico	41
Ilustración 15. Transportador de banda	52
Ilustración 16. Transportador de rodillos.....	53
Ilustración 17. Transportador de tobogán.....	54
Ilustración 18. Transportador de tornillo.....	55
Ilustración 19. Transportador de cadena.....	55
Ilustración 20. Monorriel alto.....	56

Ilustración 21. Transportador teleférico o Trole	57
Ilustración 22. Transportador de ruedas.....	58
Ilustración 23. Variaciones de grúas puente	59
Ilustración 24. Elevador de tijeras.....	60
Ilustración 25. Transportador manual	61
Ilustración 26. Ejemplo de análisis de punto de equilibrio	65
Ilustración 27. Ubicación de las 3 primeras máquinas	71
Ilustración 28. Posibilidades de ubicación de la máquina 5	71
Ilustración 29. Ubicación de la máquina 5	72
Ilustración 30. Posibilidades de ubicación de la máquina 5	72
Ilustración 31. Ubicación de la máquina 3	73
Ilustración 32. Disposición final	73
Ilustración 33. Estaciones de trabajo (WS).....	78
Ilustración 34. Esquema espacial de estaciones de trabajo.....	81
Ilustración 35. Diagrama de bloques.....	83
Ilustración 36. Grafo relacional de las estaciones de trabajo	83
Ilustración 37. Esquema para la pregunta 2.....	86
Ilustración 38. Diagrama de bloques para la distribución del ejercicio 1	87
Ilustración 39. Propuestas a evaluar para el ejercicio 2	88

Tablas

Tabla 1, Códigos de proximidad.....	23
Tabla 2, Códigos de motivos de proximidad	23
Tabla 3, departamentos a distribuir	25
Tabla 4, clasificación de proximidad	26
Tabla 5, Códigos de proximidad y motivos.....	26
Tabla 6. Datos del movimiento de carga	34
Tabla 7. Calculo de la relación de recepción/embarque para cada articulo	35
Tabla 8. Cálculos de los datos para cada sección	35
Tabla 9. Principios del manejo de material, Cortesía de The Material Handling Institute. Inc.....	47
Tabla 10. Algunos transportes industriales (Cortesía de Professional Materials Handling Co., Inc., Orlando, Florida)	62

Tabla 11, Rutas de fabricación	67
Tabla 12, Cargas a transportar entre departamentos.....	68
Tabla 13, resultados del paso 1	69
Tabla 14, Resultados del paso 2.....	69
Tabla 15, resultado del paso 4.....	70
Tabla 16. Matriz inicial de costos	74
Tabla 17. Matriz de costos seleccionando los valores menores por fila	74
Tabla 18. Matriz resultante luego de restar los mínimos.....	75
Tabla 19. Seleccionando los menores en la columnas resultantes.....	75
Tabla 20. Matriz resultante de la resta en columnas	75
Tabla 21. Dejando los datos que no tengan ceros.....	76
Tabla 22. Seleccionando el menor valor de los resultantes.....	76
Tabla 23. Sumando y restando	76
Tabla 24. Matriz final de asignación	77
Tabla 25. Matriz final de asignación	77
Tabla 26. Esquema básico de Memoria de Cálculo.....	80
Tabla 27. Memoria de cálculo para el ejemplo	82
Tabla 28. Lista de cargas (L) y distancias (D) para el ejemplo	84
Tabla 29. Calculando las cargas por las distancias.....	85
Tabla 30. Matriz de incidencia para el ejercicio 1	87
Tabla 31. Producto, ruta y cantidad a trabajar para el ejercicio 2	88
Tabla 32. Tabla de actividades de la línea para el ejercicio 3	89

Bibliografía

Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta. (10 de diciembre de 2008). Recuperado el 5 de abril de 2011, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos65/resolucion-distribucion-planta/resolucion-distribucion-planta2.shtml>

Arreche, L. M. (s.f.). *Dirección de producción.* CEPADE.

DOMÍNGUEZ MACHUCA, J. A. (1995). *Dirección de Operaciones: Aspectos Estratégicos en la Producción y los Servicios.* Madrid: McGraw-Hill.

Gutiérrez, G. C., & Prida, B. R. (1999). *Logística y Distribución física.* Madrid: Mc. Graw Hill.

Muther, R. (1977). *Distribución en planta.* Barcelona: Hispano Europea.

Sarache Castro, W. A. (1998). *Localización y Distribución de Instalaciones.* Ibagué, Colombia: El Poira Editores e Impresores S.A.

Tompkins, J. (2006). *Planeación de instalaciones* (3ra ed.). Mexico D.F.: International Thomson Editores.

Vallhonrat, J. M., & Corominas, A. (1991). *Localización, distribución en planta y mantenimiento.* Barcelona: Marcombo.