



Universidad Nacional Autónoma de México

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLÁN"**

**Optimización de un Sistema de
Producción.**

T E S I S :

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

I N G E N I E R O

MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

Fernando Francisco Reyes Castro

Asesor: Ing. EDUARDO SALAS CORDOVA

Cuautitlán, Izcalli, Edo. de Mex. 1985.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pag.
1.- INTRODUCCION	1
2.- SISTEMAS DE PRODUCCION	4
<p>¿Qué es la productividad?. Los objetivos de la producción. El concepto de un sistema de producción. Subsistemas y sistemas paralelos. Tipos de sistemas de producción. Problemas relativos a los sistemas de producción. Parámetros, relaciones y restricciones de los sistemas de producción. Control de los sistemas de producción. Relación de la producción con otras áreas de la empresa.</p>	
3.- INGENIERIA DE PLANTA	27
<p>Localización de Planta. Factores en la construcción de una planta. Factores que intervienen en la localización de planta. Costos determinantes en la localización de planta. Fases que intervienen en la localización de planta. Fuentes de información en el análisis de la localización de planta. Tendencias para la ubicación de la planta. Tamaño óptimo de una industria.</p> <p>Distribución de Planta. Objetivos de la distribución de planta. Tipos de distribución. Principios de la distribución. Factores que influyen en la distribución. Métodos para determinar la distribución. Etapas en un estudio de distribución de planta. Análisis cuantitativo en la distribución de planta.</p> <p>Manejo de Materiales. Problemas que plantea el movimiento de los materiales en las fábricas. Principios fundamentales de el manejo de materiales. Factores económicos y de ingeniería que afectan el manejo de materiales. Servicios que presta a la producción el manejo de materiales. Clasificaciones de los</p>	

aparatos que se utilizan en el manejo de materiales. Equipo de manejo de materiales. Factores que afectan la selección de equipo para el manejo de materiales.

Tiempos y Movimientos. Propósito del estudio de tiempos. Requisitos del estudio de tiempos. El tiempo estándar. Métodos para el estudio de tiempos. Tiempos sintéticos de los movimientos básicos. Sistema Work-Factor. Objetivos del estudio de movimientos. Técnicas para el estudio de movimientos. Leyes de la economía de movimientos.

4.- BALANCEO DE LINEAS 94

Metodología para el balanceo de la línea de producción. Mecánica del balanceo. Métodos para balancear las operaciones de conformación de material. Métodos para balancear las operaciones de montaje. Diseño del balanceo de líneas cuando se realiza la distribución de planta. Balanceo de la línea empleando la metodología. Balanceo de la línea utilizando adecuadamente las máquinas. Balanceo de una línea manual de producción. Balanceo de la línea de acuerdo a la distribución y capacidad de los operarios. Balanceo y programación global de un proceso continuo de producción. Balance heurístico de líneas.

5.- TECNICAS DE PLANEACION Y CONTROL DE PRODUCCION 132

Planeación de la producción: la ecuación básica. Funciones de la planeación y control de la producción. Tipos de control de la producción. Planeación y control de la producción en sistemas de producción intermitente. Planeación y control de la producción en los sistemas de producción continua. Pronóstico e Inventario dentro de la planeación y control de la producción. Modelos gráficos de planeación y programación de la producción. La investigación de operaciones dentro de la planeación y control de la producción.

6.- SEGURIDAD INDUSTRIAL 159

Fuentes y causas de daño. Factores de accidentes. Investigación del accidente-procedimiento. Análisis de las causas de los accidentes. Costos de los accidentes. Elementos de un programa eficaz de seguridad. Búsqueda y eliminación de los riesgos. Formación de una conducta segura. La seguridad en el manejo de materiales. Prevención de accidentes con herramientas. Prevención de accidentes con máquinas. Uso del equipo de protección personal. Análisis de seguridad de las operaciones. Primeros auxilios.

7.- CONCLUSIONES 182

8.- BIBLIOGRAFIA 184

1.- INTRODUCCION

Objetivo.- El objetivo principal de este trabajo es el de presentar en una forma general los factores principales a considerar para la optimización de un sistema de producción determinado, y como objetivo secundario se tendra el presentar cada uno de estos factores en la forma más completa posible.

Es innegable que en México sufrimos, muy particularmente en el D.F. y en sus zonas de influencia, de un problema grave éste se refiere a la sobre concentración industrial y por lo mismo a la concentración de población.

Este es un problema tangible que existe actualmente y es aún más importante, que se reconozca el problema adicional que de esta situación se puede agravar más en el futuro al continuar concentrando la industria y aparejada con ella, población en determinadas zonas.

Es necesario establecer una planeación de tipo urbano e industrial, para evitar que la población se desplace hacia zonas industriales y las industrias se desplacen hacia zonas habitacionales (como sucede actualmente en el Estado de México donde se ha marcado un límite para evitar este desplazamiento), originando a largo plazo, problemas similares a los ya

existentes.

El gobierno federal y las entidades estatales han emprendido campañas muy importantes en el sentido de promover la descentralización industrial, a continuar a través del otorgamiento de incentivos de diferente naturaleza.

Todo esto va encaminado a facilitar y motivar la creación de nuevas empresas, así como la descentralización de las ya existentes.

La creación de una nueva empresa o la ampliación de una ya existente, implica el tratar de encontrar solución a problemas como: ubicación de la nueva planta o sucursal; distribución de la nueva planta o redistribución de la ya existente; tipo de sistema de producción necesario; manejo adecuado de los materiales; tipo de control de producción; etc. , los cuales una vez resueltos darán como resultado un eficiente sistema de producción en la empresa de que se trate.

En el presente trabajo se presentan las alternativas de solución para algunos de estos problemas que afectan el desempeño de cualquier sistema de producción, además se trata el tema de la Seguridad Industrial cuyo fin es procurar la seguridad de las personas durante el desarrollo de sus actividades dentro de la empresa.

En el capítulo dos se presenta lo relacionado a los sistemas de producción, se define a un sistema de producción como la armazón que forma las actividades de la producción, además se presentan aspectos de la función productiva.

El capítulo tres contiene lo que se llama ingeniería de la planta, la cual es la ingeniería que se aplica directamente.

dentro de la planta productiva, dentro de esta ingeniería se presentan cuatro áreas principales como son: la localización de planta, la distribución de planta, el manejo de los materiales y el estudio de tiempos y movimientos.

Dentro del capítulo cuatro se presenta lo que se conoce como balanceo de líneas, que consiste en equilibrar las diferentes estaciones de trabajo existentes dentro de la planta productiva, se presentan varios ejemplos que tratan de dar una idea general sobre en lo que consiste el balanceo de líneas.

En el capítulo cinco se presenta lo relacionado a las técnicas de planeación y control de la producción, cuya finalidad es planear y controlar la producción de manera que se pueda satisfacer la demanda requerida en las fechas previstas. Para esto se presentan varias alternativas.

Finalmente en el capítulo seis se presenta el tema de la seguridad industrial, la cual trata de disminuir los riesgos de accidentes dentro de la empresa, se presenta además de las causas unas sencillas reglas encaminadas a contribuir con la seguridad dentro de la empresa.

Es importante hacer notar que el presente trabajo no está dirigido a optimizar un sistema de producción en particular como se pudiera pensar con el título del mismo, sino que como se menciono anteriormente se presentan los factores que se deben considerar para optimizar cualquier tipo de sistema de producción.

2.- SISTEMAS DE PRODUCCION

La función productiva está, enmarcada en una filosofía que acepta la premisa de que el único modo de estudiar la organización es estudiarla como sistema y el análisis de sistemas trata de la organización como sistema de variables, mutuamente dependientes.

El análisis debe integrar los conceptos correspondientes a qué, cómo y para quién producir y a su interrelación con las funciones: físicas, económicas y sociales, mismas que le dan un carácter tridimensional a la productividad.

a) ¿ Qué producir ? Con esto se establece la interrogante que no sólo abarca la fabricación de vestidos, la elaboración de un libro, la fabricación de autos, la producción de gasolina, la manufactura de hule sintético, etc., todos constituyen ejemplos de ¿qué producir?. Muchos de los objetos que nos rodean y que forman parte de la vida cotidiana no existían hace 25 años. Algunos de ellos son enteramente nuevos y satisfacen las necesidades que nos ha aportado el progreso, tales como la televisión, los antibióticos, los transistores, los plásticos, etc. Otros responden, en versión moderna, a las necesidades de siempre, pero han sido mejorados en su concepción, as-

pecto, modo de empleo y resultados, por ejemplo la alimentación elaborada y congelada, vehículos, etc.

Ahora bien: considerando la situación socioeconómica nacional, ¿qué podemos producir para acelerar nuestro desarrollo? ..¿cuales son los bienes que pueden producir los sectores subdesarrollados: marginal y tradicional para incorporarse al sector moderno del país y lograr con esto una economía integrada, que impulse a nuestro país hacia una actividad productiva más adecuada...?

b) ¿Cómo producir? Encierra una diversificación de tecnologías para desarrollar un sistema de producción y, a la vez, una planeación a veces compleja y al mismo tiempo concreta de los programas de producción. ¿Cómo producir? no comprende sólo los factores tecnológicos de la gama del conocimiento analítico y abstracto, sino también los lineamientos económicos y administrativos. El objetivo de ¿cómo producir? exige el equipo requerido, material, recursos humanos, mano de obra, tiempos de producción, ingeniería de métodos y sistemas, determinación de los costos correspondientes y establecer al mismo tiempo las normas adecuadas de control.

c) ¿Para quién producir? Esta pregunta es la base para la investigación y reconocimiento de las ideas convenientes para las posibilidades de la empresa y para las necesidades del mercado, ¿para quién producir? considera a la planeación de ventas como básica ya que de ella dependen todos los demás programas que pueden elaborarse, es de suma importancia para cualquier empresa conocer detalladamente a los clientes, dónde localizarlos, cuáles son sus necesidades y deseos, dónde y cómo compran, en que cantidad, y cuánto pagan, implica discri

minar con el máximo de precisión, quiénes van a ser los consumidores del producto a fabricarse, es decir, las categorías sobre las cuales deberá concentrarse el esfuerzo, y en función de las cuales habrá de estar especialmente concebido el producto.

¿ Qué es la productividad ?

La productividad es la relación que existe entre la producción obtenida y los recursos utilizados para obtenerla.

La función productiva debe enfocarse ambas actividades : la física y la económica. Es decir, aunque el valor físico de las actividades de fabricación, es el resultado de numerosas fuerzas que actúan recíprocamente, no hay duda de que el desempeño de las actividades en el medio ambiente económico, representa una influencia de importancia superior.

¿Cómo funciona la productividad? La función productiva puede explicarse analizando el propósito u objetivo de un sistema como el que se muestra en la figura 2.1 . En donde dicha función es contemplada como un sistema.

Los objetivos de la Producción

La función de la producción es la de proporcionar productos y servicios, en la figura 2.2 se indica el flujo esquemático de las actividades comprendidas en la producción en su forma más concisa.

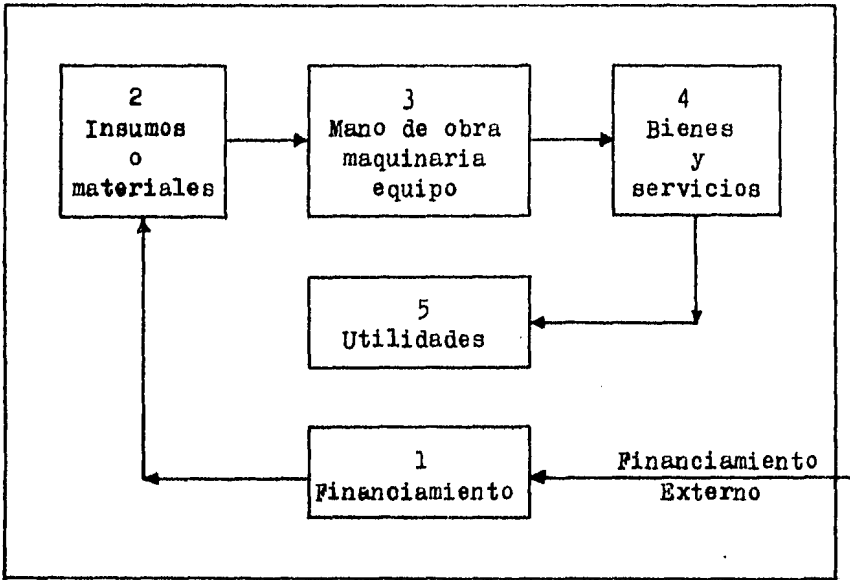


Fig. 2.1 La función productiva como un sistema.

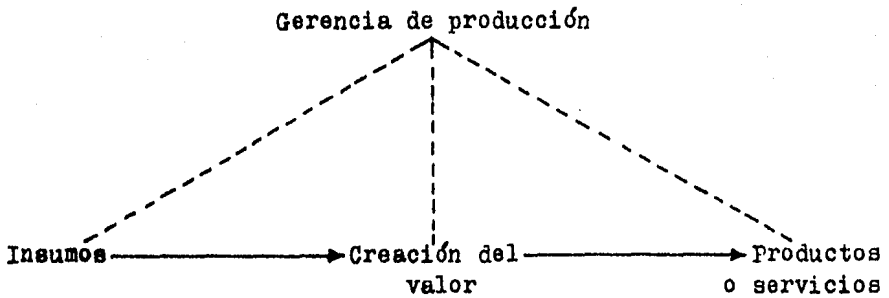


Figura 2.2

La preocupación principal de cualquier actividad de producción es la de proporcionar insumos, estos incluyen muchas cosas: materias primas, máquinas, productos semiterminados, edificios, energía y hombres.

Una vez que los insumos son conjuntados, ocurre la creación del valor (la diferencia del valor de lo que entra y el valor de lo que sale representa el valor creado mediante las actividades de la producción). Entre lo que debe cuidarse en tanto se fabrican los productos y servicios está la programación cronológica de los trabajos en las máquinas, la asignación de hombres para los distintos trabajos, el control de calidad en la producción, el mejoramiento de los métodos para ejecutar los trabajos y el manejo de los materiales dentro de la empresa. La etapa final del proceso de producción es la terminación de los productos o artículos terminados, o de los servicios.

El objetivo de la gerencia de producción y de las actividades de la producción es maximizar el valor creado, a la larga debe haber utilidades para la empresa, por lo que las actividades de la producción deben maximizar la creación del valor dentro de los límites creados por precios de venta competitivos y el costo de la producción, esto es, sueldos y salarios, costo de los materiales, etc.

El concepto de un Sistema de Producción

Se puede considerar a un sistema de producción como la armazón o esqueleto dentro de las actividades dentro del cual puede ocurrir la creación del valor. En un extremo del sistema

se encuentran los insumos o entradas, en el otro están los productos o salidas, conectando las entradas y las salidas existe una serie de operaciones o procesos, almacenamientos e inspecciones.

En la figura 2.3 se presenta un sistema de producción simplificado.

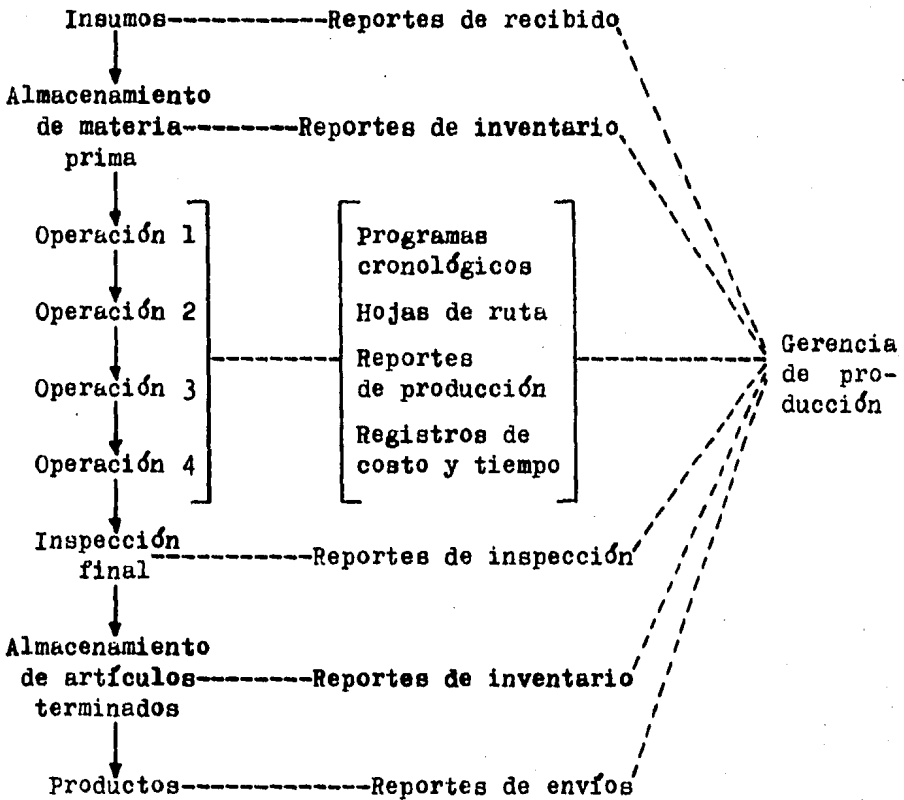


Fig. 2.3 Sistema simplificado de producción.

La producción de cualquier artículo o servicio puede observarse en términos de un sistema de producción, por ejemplo, un fabricante de muebles implica insumos, tales como madera, pegamento, tornillos, clavos, pintura, tintes, sierras, prensas, y trabajadores, así como otros factores de la producción. Una vez adquiridos estos insumos, deben almacenarse hasta que se necesiten, luego se presentan varias operaciones, tales como aserrar, clavar y pintar, mediante las cuales los insumos se convierten en productos tales como sillas, mesas, etc.

Después de las operaciones de acabado, se hace una inspección final, luego los productos se colocan en el almacén de artículos terminados, hasta que son enviados al cliente.

La producción y el concepto de sistemas de producción, también es aplicable a la producción de servicios. Por ejemplo, el barbero cuyo servicio comprende los conceptos de producción, los insumos incluyen al barbero, los suministros, las sillas y otras instalaciones del establecimiento, siendo los clientes lo más importante, la función de almacenamiento ocurre cuando el cliente está en espera de los servicios del barbero, las operaciones comprenden el corte del cabello y su arreglo, las inspecciones se presentan con frecuencia durante el proceso, en este caso no hay almacenamiento de artículos terminados, puesto que el producto, el cliente arreglado, abandona el establecimiento tan pronto como el proceso termina.

Como ejemplos más complejos de industrias de servicios que emplean los conceptos de producción, considerense los hospitales, ferrocarriles, líneas de aviación, restaurantes, etc.

En cada uno de estos casos hay clientes (insumos) que requieren determinado servicio, las operaciones comprenden cu-

rar a las personas, transportarlas, proporcionarles alimento, etcétera.

Aún cuando los sistemas de producción varían con las diferentes industrias y empresas, puede aplicarse el concepto de un sistema de producción a cualquier actividad cuyos resultados sean productos o servicios.

Subsistemas y sistemas paralelos

La mayoría de los sistemas completos, como los sistemas de producción, están formados por subsistemas y pueden incluir sistemas paralelos. Por ejemplo, en la figura 2.3, se describe un sistema de información como sistema paralelo al sistema de producción. Si el sistema de producción insumos, almacenamientos, operaciones, inspecciones y productos se considera como el esqueleto de la operación de la producción, en forma análoga puede considerarse el sistema de información como su sistema nervioso. Incluye los procedimientos, papeleo y dispositivos empleados para transmitir la información. Ejemplos de ello serían las cifras del inventario, los reportes de recibido, los reportes de producción, los resultados de las inspecciones y los reportes de envío.

La operación efectiva de un sistema de producción descansa en parte en el uso de un sistema de información paralelo, en el enlace necesario entre las gerencias y las operaciones de producción.

Los subsistemas son sistemas más pequeños que forman parte de los sistemas totales de producción. Por ejemplo, en muchas empresas existen subsistemas cuidadosamente diseñados, tales

como los sistemas para control de la producción, sistemas para control de inventarios y sistemas para control de calidad.

En algunas grandes empresas, el sistema de producción puede formar parte de un sistema más grande. Por ejemplo, un importante fabricante de automóviles tiene un sistema para extraer mineral de hierro en Minnesota, un sistema de distribución para el transporte del mineral por los grandes lagos, un sistema para la fabricación del acero, un sistema para hacer partes de automóviles, un sistema para ensamblar los automóviles, y un vasto sistema de distribución de automóviles que comprende a los distribuidores de todo el país.

Tipos de Sistemas de Producción

1.- Sistemas de producción continua.- Cuando se habla de producción continua, se enfocan las situaciones de fabricación en las cuales las instalaciones se adaptan a ciertos itinerarios y flujos de operación, que siguen una escala no afectada por interrupciones. En este tipo de sistemas, todas las operaciones se organizan para lograr una situación ideal, en la que éstas mismas operaciones, se combinan con el transporte de tal manera que los materiales son procesados mientras se mueven. Se utiliza este sistema cuando la economía de fabricación favorece a la producción continua, es decir, cuando la demanda de un producto determinado es elevada. Ejemplos de producción continua serían las refinerías de petróleo, las plantas de productos químicos, los ingenios azucareros, las fábricas de automóviles, etc.

2.- Sistemas de producción intermitente.- Este sistema se

caracteriza por el sistema productivo de "lotes" de fabricación. En estos casos, se trabaja con un lote determinado de productos que se limita a un nivel de producción, seguido por otro lote de un producto diferente. En este tipo de sistemas, la empresa generalmente fabrica una gran variedad de productos. Para la mayoría de ellos, los volúmenes de venta y, consecuentemente, los lotes de fabricación, son pequeños en relación con la producción total, los costos de producción son más altos que los de un sistema de producción continua. Ejemplos de este tipo de producción son los talleres mecánicos, industrias de partes automotrices, las fábricas de muebles, etcétera.

3.- Sistema de producción por pedido.- Este tipo de sistema de producción como su nombre lo indica se utiliza para satisfacer la producción que es pedida con anterioridad. En este tipo de producción se tienen pronósticos de producción, estos son en forma global y no por artículos. Emplean sus máquinas y puestos de trabajo para hacer diferentes operaciones de diferentes productos. Este tipo de producción rara vez se emplea también en su forma pura, ya que cuando menos las partes estándar se pueden fabricar en forma continua o por lote. Ejemplos de este tipo de producción son los talleres mecánicos y de reparación, las fábricas de estructuras metálicas, fabricación de reactivos químicos especiales, etc.

4.- Sistema de producción por proyectos.- Se puede considerar el nacimiento de un proyecto a raíz de una idea concebida acerca o alrededor del potencial de un producto o mercado. Para satisfacer una necesidad primordial de objetivos empresa-

riales, es necesario que se consideren todos los factores que deberán proyectarse con el fin de lograr que los objetivos se realicen óptimamente. En un proyecto el conocimiento de las bases de la ciencia de ingeniería y administración, la habilidad matemática y la experimentación, se conjugan para poder transformar los recursos naturales en sistemas y mecanismos que satisfagan las necesidades humanas. El sistema de producción por proyectos, corre, por decirlo así, a través de una serie de fases. Generalmente, una fase a seguir dentro de un proyecto, no se lleva a cabo hasta que la fase anterior a ésta queda resuelta.

PRODUCCION INTERMITENTE	PRODUCCION CONTINUA
- Costos por unidad altos.	- Costos por unidad bajos.
- Costos de almacenamiento por unidad altos.	- Costos por almacenamiento por unidad bajos.
- Costo de la mano de obra alto.	- Costo de la mano de obra bajo.
- Producción variada.	- Producción estandarizada.
- Tiempo requerido para la producción mayor.	- Tiempo requerido para la producción menor.
- Equipo de propósito general.	- Equipo para propósitos especiales.
- Menor inversión de capital.	- Mayor inversión de capital

Figura 2.4

Aun cuando se han considerado cuatro tipos de sistemas de producción, los que generalmente se consideran como tipos básicos son dos; el sistema de producción continua y el sistema de producción intermitente.

En la figura 2.4 se muestran las diferencias principales que existen entre estos dos sistemas de producción, tomando como referencia uno con respecto al otro y viceversa.

Problemas relativos a los sistemas de producción

Los problemas relativos a los sistemas de producción pueden dividirse en dos amplias áreas. Una de ellas comprende los problemas relacionados con el diseño del sistema de producción. La otra implica problemas relacionados con el análisis de día a día y con el control de las operaciones.

1a.- Problemas del diseño del sistema de producción.- El diseño del sistema de producción es una actividad que tiene lugar cuando la empresa inicia la producción y que vuelve a presentarse intermitentemente cuando es necesario rediseñarlo. Una de las principales decisiones que debe tomarse es respecto al sitio en que debe ubicarse la planta de producción (localización de planta).

Una vez que se ha tomado la decisión, que se ha construido la planta, que se hayan instalado las máquinas y que se haya contratado a los trabajadores, es muy difícil cambiar la ubicación, además, la ubicación tiene un efecto importante sobre los costos de producción, algunas empresas han descubierto que las malas ubicaciones las han puesto en desventaja compe-

titivas virtualmente imposible de vencer. Una vez que se ha decidido sobre la ubicación de la planta, la siguiente decisión relativa al diseño del sistema de producción se refiere al arreglo de las instalaciones (distribución de planta). En términos generales, los sistemas de producción continua utilizan lo que se conoce como arreglo por productos (distribución por producto). Los sistemas de producción intermitente emplean lo que se conoce como arreglo por procesos (distribución por proceso).

Estrechamente relacionados con los problemas de la disposición de la planta se encuentran los problemas relativos al manejo de los materiales. El tipo de arreglo que se use afectará al tipo de sistema para el manejo de materiales que se implante, y a su vez, la elección del sistema para el manejo de materiales repercute en el diseño de la disposición de las instalaciones.

Aparte de los tres factores antes mencionados, que afectan el diseño de un sistema de producción, en los últimos años se han considerado otros factores. Uno de los factores más importantes que se ha considerado es el factor humano, se ha visto que es necesario desarrollar un sistema eficiente para la producción, que minimice los costos de producción que estén concentrados en los trabajadores y sus capacidades, lo cual anteriormente no era tomado en cuenta.

Otro de los problemas o factores que afectan el diseño de los sistemas de producción se relaciona con la forma en que los productos son diseñados y fabricados. Hay muchas áreas en las que se ejecutan las actividades de investigación, en

tre éstas se encuentran la investigación del producto, investigación del proceso, análisis de métodos, investigación de operaciones, etc.

Otro factor que se ha presentado recientemente es resultado del uso de las computadoras en empresas industriales y las actividades implicadas en la automatización. Aún cuando las computadoras y la automatización pueden abrir el camino a los beneficios del sistema automático de producción, presentan algunos de los problemas más difíciles en el diseño de sistemas de producción.

2a.- Problemas de análisis y control de las operaciones de producción.- Una categoría general de problemas implica la de terminación de la ruta que deben seguir los productos por la planta, el programa cronológico que debe usarse, la forma en que deben aprovecharse las órdenes y la manera en que las actividades de producción deben mantenerse dentro del programa, estas actividades son básicas en la planeación y control de las operaciones de producción, para lo cual se pueden usar varios tipos de sistemas para el control de la producción, dependiendo del tipo de productos o servicios de que se trate. Estos incluyen control de órdenes, control de flujo, control por bloques, control de carga, control de lotes y control de los proyectos especiales, además se debe de desarrollar y mantener un sistema de comunicación efectivo y eficiente, ya que la eficiencia de la planeación y control descansa en las comunicaciones efectivas.

Otro problema relacionado con la planeación de la producción es la determinación del tamaño del lote óptimo de producción

ción, esto es, la cantidad que deba producirse en determinado tiempo para minimizar los costos de producción. Una técnica recientemente desarrollada, la programación lineal, proporciona soluciones óptimas al problema.

La compra de insumos es otro problema que afecta la planeación de la producción, para solucionar el problema de la compra de insumos con efectividad son útiles el análisis del valor y la técnica de Montecarlo, que entran en el campo de la investigación de operaciones. Intimamente relacionados con los problemas de compra se encuentran los problemas de control del inventario, el control efectivo de los inventarios se facilita mediante el uso de dispositivos analíticos, tales como puntos de pedido y fórmulas para la cantidad económica del pedido.

El control de calidad es otro problema que se presenta en la planeación y control de la producción, para resolverlo se hace uso de las técnicas del control de calidad estadístico.

En cualquier sistema de producción existe una forma mejor para hacer el trabajo requerido. El propósito del análisis de métodos es determinar la mejor forma. Se pueden emplear varias técnicas, la más generalizada de éstas es el uso de los principios del estudio de tiempos. Otro enfoque útil es el análisis de los tipos básicos de movimientos (therbligs). Para trabajos de corta duración que se hacen repetitivamente miles de veces por mes, puede utilizarse el estudio de micromovimientos.

Después que se hayan determinado las mejores formas de hacer un trabajo, se presenta otro problema, especialmente en

los sistemas de producción intermitente, este problema se refiere al tiempo que tomará hacer un trabajo determinado, esta información es necesaria para establecer sistemas eficaces de incentivos para sueldos y salarios. Se dispone de dos técnicas generales para resolver el problema de la medición del trabajo: una de ellas es el estudio de tiempos con cronómetro; la otra implica un estudio de tiempos sintéticos, o el método de datos estándar.

En cuanto al problema de salarios de incentivo y a la valuación de puestos, se usan varios sistemas de salarios en las diferentes compañías, en cuanto al uso de las técnicas para la valuación de puestos, depende en gran medida de la complejidad de cada una de las empresas.

Parámetros, relaciones y restricciones de los sistemas de producción

Las principales características de un sistema reciben el nombre genérico de parámetros; para ser más precisos, el insumo, el proceso, el producto, el dispositivo de control y las restricciones de un sistema, reciben el nombre de parámetros. Dichos parámetros describen al sistema.

La base de las relaciones entre parámetros la constituye la definición de funciones de las partes del sistema; esta definición muestra "lo que debe hacer" cada componente. El "cómo" deben hacerlo se encuentra (si los hay) en los instructivos de los procedimientos y en la mente de quienes los realizan.

La documentación adecuada, sencilla y fácil de mantener al

corriente los procedimientos del sistema es importante para la planeación y el control del propio sistema y juega un papel decisivo.

Las restricciones del sistema son los límites del funcionamiento del mismo. Se pueden agrupar en dos clases: los objetivos del sistema y las limitaciones de recursos. El objetivo principal impone las restricciones al sistema para enfocar todo su poder hacia la producción del artículo o servicio deseado, con las especificaciones deseadas; esto causa que otros objetivos sean secundarios y supeditados al principal para cada subsistema, y sean nuevas restricciones para los subsistemas. La segunda clase de restricciones la constituyen las limitaciones de los recursos del sistema total. Es obvio que todo sistema de producción cuenta con recursos: humanos, de equipo, materiales y financieros limitados. Esto constituye el marco de posibilidades de acción del sistema.

Control de los sistemas de producción

Es importante que se enfoque, a los elementos necesarios para mantener el funcionamiento adecuado de un sistema de producción, es decir, bajo control.

Primero hay que reconocer que un sistema esta sujeto a perturbaciones de muchos tipos que varían el rendimiento del sistema. Estas perturbaciones pueden clasificarse en dos grupos: perturbaciones que se pueden controlar y las que no se pueden controlar por imposibilidades físicas o económicas.

Nos referiremos a las primeras, ya que es obvio que las segundas quedan fuera de control.

Para tomar las decisiones de control convenientes, es necesario contar con la información, ya sea del medio (externa), como del sistema (interna); aunque, sólo una pequeña parte de la del medio es importante para el control, aquella que está íntimamente ligada con el insumo.

En consecuencia, dividiremos en dos partes la información y su manejo. En primer lugar, la información derivada del análisis del insumo necesario para la función del pronóstico y en segundo lugar, la información obtenida del análisis del producto para la función de realimentación. Es decir, para fines prácticos se ha simplificado el flujo de información para el control, observando únicamente lo que sucede a la entrada y a la salida del sistema. Esto no quiere decir que no se use otra información sino que, resulta conveniente hacerlo en forma continuada.

Así pues, el pronóstico (línea punteada en la figura 2.5) y la realimentación (línea continua en la figura 2.5) son las dos funciones que dan información adecuada para compararla con los patrones de comportamiento preestablecidos, los cuales nos permiten tomar las acciones correctivas necesarias.

En la figura 2.5 se presenta un sistema insumo-producto, en donde se puede observar el camino que sigue la información obtenida del pronóstico y la realimentación, y que es fundamental para el control del sistema de producción.

Por ejemplo, si en una empresa la demanda de su producto aumenta en forma apreciable, la función de pronóstico debe proveer la información para detectar este fenómeno oportunamente y para tomar la decisión de aumentar la producción con-

venientemente.

Por otra parte, la realimentación nos da información tanto de la cantidad que se está produciendo, como de la calidad y del servicio a clientes; con lo cual se pueden tomar las decisiones correctivas necesarias.

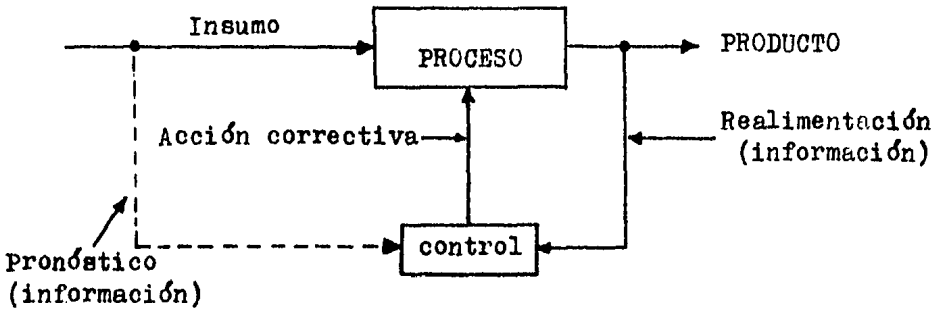


Figura 2.5 Sistema insumo-producto.

Aquí surge un concepto de sistemas muy importante: el tiempo de respuesta del dispositivo de control. Es decir, el tiempo comprendido entre el momento en que sucede un fenómeno "fuera de lo normal" y el momento en que se toma la decisión correctiva. Si el tiempo de respuesta es tan grande y las decisiones se toman fuera de tiempo, de nada sirvió el dispositivo de control.

Otro concepto importante en el control de sistemas es el relativo a su costo. Es evidente, que el costo de control del sistema no debe ser igual o mayor que el valor de lo que se controla o sus consecuencias, porque si así fuese, resultaría más económico no tener control. Sin embargo, esto se olvida en muchos casos aduciendo razones inválidas o válidas, pero

exageradas. Desgraciadamente no se pueden dar reglas generales y sólo se recomienda un análisis imparcial y profundo de cada caso, incluyendo un análisis cuantitativo y/o cualitativo de las consecuencias de la falta de control.

Relación de la producción con otras áreas

La relación que existe entre la producción y otras áreas de la empresa, es muy importante para el buen funcionamiento de la empresa en general.

En la figura 2.6 se muestra esta relación, la cual debe ser efectiva para la realización de los objetivos de la empresa. A continuación se describe cada una de estas áreas.

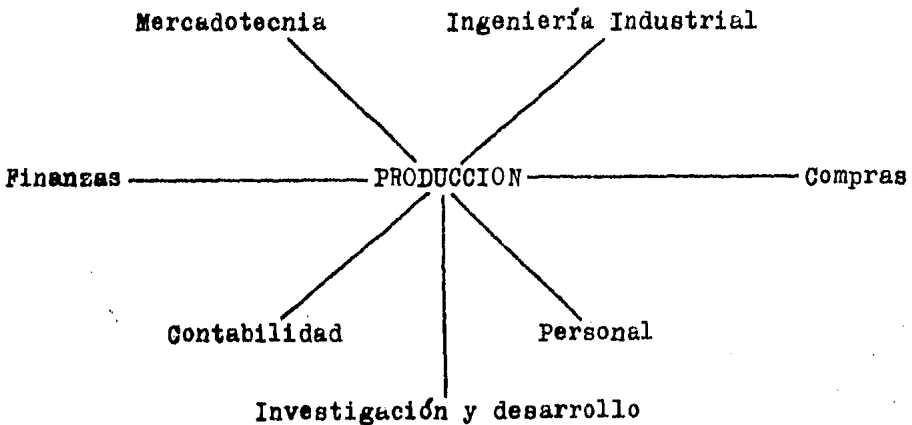


Fig. 2.6 La producción y otras áreas de la empresa.

Mercadotecnia.- Influye constantemente sobre la administración de la producción proporcionando información con relación a lo siguiente:

- 1.- Predicción de ventas a niveles de demanda futura.
- 2.- Datos pertinentes sobre órdenes de venta.
- 3.- Requisitos de calidad para el cliente.
- 4.- Nuevos productos y procesos.
- 5.- Retroalimentación en productos para el cliente.

Finanzas.- Con frecuencia, la gerencia de producción está implicada en la información de intercambio de los tipos siguientes:

- 1.- Información presupuestaria.
- 2.- Análisis de inversiones.
- 3.- Provisión de dinero para mejoras.
- 4.- Provisión de información sobre las condiciones generales de la empresa.

Contabilidad.- Desde el punto de vista de la gerencia de producción, la contabilidad proporciona informes con relación a lo siguiente:

- 1.- Datos de costos, incluyendo costos de materiales, mano de obra directa y gastos indirectos.
- 2.- Informes especiales sobre la operación del sistema de producción.
- 3.- Provisión de servicios para procesamiento de datos.

Compras.- Dicho brevemente, la gerencia de producción necesita intercambiar información con compras en relación a lo siguiente:

- 1.- Determinación de lo que debe comprarse.
- 2.- Determinación de las fechas de entrega.
- 3.- Descubrimiento de nuevos productos, materiales y procesos.
- 4.- Control de inventarios.

Personal.- Desde el punto de vista de la gerencia de producción, existe interés mutuo en lo siguiente:

- 1.- Reclutamiento.
- 2.- Entrenamiento.
- 3.- Relaciones laborales.
- 4.- Seguridad.

Investigación y desarrollo.- Se obtiene información referente a:

- 1.- Investigación.- Comprende el descubrimiento de lo que antes era desconocido.
- 2.- Desarrollo.- Comprende el desarrollo de los descubrimientos.

Ingeniería Industrial.- Proporciona la siguiente información:

- 1.- Información sobre análisis de métodos.
- 2.- Información sobre la medición del trabajo.

- 3.- Disposición de la planta e información sobre manejo de materiales.
- 4.- Información sobre el mantenimiento de la planta.

3.- INGENIERIA DE PLANTA

La Ingeniería de Planta como su nombre lo indica, es la ingeniería que se aplica dentro de la planta de producción, abarcando la localización y distribución de la planta, el manejo de los materiales y el estudio de tiempos y movimientos, cuyas áreas son fundamentales dentro del desarrollo de la planta, ya que la debida atención a cada una de estas áreas, repercute en el funcionamiento general de la empresa. A continuación se trata cada una de estas áreas.

I.- Localización de Planta

Localización de Planta.- Es el conjunto de estudios económicos de ciertos factores que se analizan científicamente y que están encaminados a ayudarnos en la toma de decisiones para la ubicación geográfica óptima de la planta para sus fines productivos.

Factores en la construcción de una Planta

Algunas veces la localización y construcción de la planta están relacionadas entre si, pero con frecuencia no lo están, de

cualquier manera presentaremos los factores que afectan la construcción de una planta, los cuales en algunos casos pueden ser de utilidad en la localización y posteriormente en la distribución de la planta.

¿Qué tipo de protección se requiere para albergar la instalación de producción?

Cada proceso requiere su propio tipo de protección. Una refinera de petróleo puede estar al aire libre. Una fábrica de automóviles debe estar encerrada para proteger el equipo y los inventarios en proceso que serían vulnerables a las condiciones ambientales. En el caso de la mayoría de los talleres de producción en serie existe poca incertidumbre en relación con la forma y tipo de edificios e instalaciones básicas. Los sistemas de producción intermitente tienen mayor flexibilidad y elegibilidades disponibles. Por lo tanto, los sistemas de producción en serie tienden a ser ubicados sin consideraciones de oportunidades de costos de alquiler mientras que la ubicación de sistemas de producción intermitente puede estar determinada por estos factores.

En términos generales, cuando se alquila o compra, entran en consideración una gran cantidad de elementos. Es importante contar con ayuda especializada para asegurar una evaluación adecuada de la estructura existente o con el fin de planear la construcción de una nueva. Entre los elementos a considerar están:

10.- ¿Existe suficiente área?

20.- ¿El espacio disponible es amplio, con luces adecuadas

entre columnas, de tal forma que puedan disponerse de manera efectiva los equipos, el personal y el equipo para manejo de materiales?

30.- ¿Cuántos pisos existen? Anteriormente las fábricas eran de varios pisos. Con el desarrollo de los medios de transporte, las plantas se han podido localizar fuera del centro de las ciudades en terrenos menos costosos. De ahí nacieron las edificaciones de un solo piso. Estas se prefieren especialmente cuando las cargas en los pisos son altas debido al peso de los equipos que deben soportar. En ciertas industrias, se utilizan bandas transportadoras alimentadas por gravedad. En tales casos, es posible que se prefieran edificios de varios pisos.

40.- ¿Qué tipo de techo debe utilizarse? La forma del techo permite al menos algún grado de control sobre la iluminación, la temperatura y la ventilación. De otro modo, si en el proceso se requieren grúas y malacates, sigue siendo una restricción importante la altura de los techos.

50.- ¿Qué tipo de construcción debería utilizarse? La respuesta en gran parte determina la factibilidad de transformar una vieja edificación con el fin de ajustarse a un nuevo conjunto de especificaciones. Esta respuesta será el principal factor determinante en los costos de la nueva construcción. Factores tales como cimientos, pisos, paredes y ventanas afectan la flexibilidad de la distribución y la versatilidad de la edificación.

60.- ¿Qué tipo de necesidades de mantenimiento existirán? Los edificios antiguos en general presentan mayores costos de mantenimiento de la estructura. En general, los edificios diseñados con un propósito especial para un proceso exclusivo requieren estructuras especiales y por consiguiente tienen un valor de reventa inferior que las estructuras en edificios de propósito general. Estos últimos son adecuados para procesos que no requieren edificaciones exclusivas y se ajustan en forma satisfactoria a las necesidades de muchos procesos diferentes.

70.- ¿Se debería alquilar, comprar o construir? La respuesta depende de lo que se disponga. Si existe un edificio adecuado, su costo debe compararse con el que se incurriría en el caso de construir un edificio nuevo. De tal manera que, cuando no existe nada disponible para cumplir con las necesidades, debemos construir. Los procesos de fabricación en sistemas de producción intermitente pueden en general ajustarse con facilidad a una gran variedad de tipos de edificaciones que se pueden alquilar y/o comprar. El problema de comprar, alquilar o construcción debe resolverse mediante una comparación de costos basados en análisis de valor presente.

80.- ¿Qué tipos de ventajas debería tener el edificio? Si la edificación se encuentra a distancia de la ciudad es de importancia disponer de un sitio adecuado para estacionamiento de vehículos, como también de instalaciones para cafetería. Muchas compañías requieren un consultorio para un médico o un hospital en sus dependencias. Deben existir instalacio-

nes sanitarias adecuadas. En algunas circunstancias se incluye un auditorio en los planos. Puede ser de importancia la existencia de terminales ferroviarias o facilidades para desembarque. Si este es el caso, deben tomarse estos factores en consideración para la construcción o el alquiler de una planta.

9o.- ¿Qué apariencia debería tener el edificio? Las actitudes y políticas de la administración afectan fuertemente este tipo de decisiones. Algunos ejecutivos consideran que la apariencia de la planta es algo superfluo, mientras que otros lo toman en forma tan seria que exigen iluminación del edificio durante la noche y una apariencia adecuada del mismo visto desde el aire. No existe duda que un edificio bien presentado favorece el orgullo de sus empleados por su compañía y puede influenciar la evaluación de los consumidores de la misma compañía. De otro lado, el cómo afectan estos factores la productividad y las utilidades de la compañía sigue siendo un factor intangible.

10o.- ¿Dónde debería estar ubicado el edificio? Posteriormente se considerara esta pregunta en forma detallada (localización de planta).

Factores que intervienen en la localización de planta

1.- Región.- Comprende una zona geográfica con características apropiadas sobre:

- a).- Mercado.- Se considera en este renglón la proximidad y amplitud del mercado, la rapidez del consumo del producto así como la competencia existente.
- b).- Materias primas.- Se consideran ventajas y desventajas por proximidad, calidad, situación y duración de las fuentes de abastecimiento.
- c).- Medios de transporte.- Se toma en cuenta la cantidad, diversidad y tarifas de los transportes existentes para la región así como las carreteras principales y ramales con que cuenta; asimismo deberá tenerse presente el peso y volumen de los materiales y productos terminados que se transporten.
- d).- Infraestructura de la región.- Se deben analizar para cada alternativa su situación respecto a:
- Combustible.- Diversidad, cantidad, reparto y costo.
 - Electricidad.- Potencia disponible, voltaje, frecuencia y tarifa.
 - Agua.- Cantidad, costo, restricciones para perforación de pozos, preferencias y composición.
- e).- Clima.- Considerar el costo de acondicionamiento de locales, ocurrencia de fenómenos climatológicos, efectos en la productividad del personal.

2.- Comunidad.- Se entiende como población o suburbios de la misma, se pretende escoger la mejor comunidad, que ubicada dentro de una región, satisfaga las necesidades de la empresa considerando los factores siguientes:

- a). Mano de obra.- Comprende tanto al personal de confianza como a la mano de obra directa y se refiere a determinar la cantidad disponible, diversidad, experiencia en la industria, relaciones sindicales, antecedentes sobre huelgas, ausentismo promedio de la región, etc.
- b). Servicios disponibles en la comunidad.- Considerar la disponibilidad de Instituciones Bancarias, disponibilidad de capital, costo de terrenos y rentas de locales, disponibilidad de parques industriales, etc.
- c). Niveles de salarios.- Investigar el Salario Mínimo, prestaciones y niveles reales de salarios en la comunidad así como el ingreso Per-capita.
- d). Empresas existentes en la comunidad.- Empresas complementarias, competidoras, el mismo ramo industrial, asesoría y servicios técnicos.
- e). Leyes e impuestos.- Investigación y análisis de los impuestos estatales y municipales.
- f). Condiciones y nivel de vida.- Nivel educativo de la comunidad, índice de viviendas, diversiones, transportación urbana.

3.- Terreno.- Es el lugar específico dentro de una comunidad en donde se ubicará la planta, su selección se hace en atención a los factores siguientes:

- a).- Superficie necesaria.- Se refiere al espacio necesario para el inicio de operaciones de la planta, sin olvidar la expansión futura.
- b).- Topografía del terreno.- Resistencia del suelo, con-

torno, desniveles, etc.

- c).- Costo del terreno.- Condiciones, valor catastrado, valor de reventa, etc.
- d).- Servicios disponibles.- Se refiere al agua, electricidad, drenaje, teléfono, cercanía, condiciones, etc.
- e).- Vías de acceso al terreno.- Como lo son: carreteras, entronques de ferrocarril, etc.
- f).- Limitaciones existentes.- En cuanto a construcción y contaminación.

Costos determinantes en la localización de planta

El problema de localización de planta es un problema de largo plazo y de tipo no repetitivo. Rara vez se pueden analizar los numerosos factores relevantes en forma adecuada. La decisión de localización de planta requiere una inversión considerable y ocasiona costos muertos que no se recuperan. Esta decisión involucra también otros costos. Consideremos dos factores fundamentales de costos, llamados costos tangibles y costos intangibles.

Los últimos se caracterizan por el hecho de que son casi imposibles de medir. Sólo pueden ser apreciados en forma intuitiva.

Aún cuando es difícil medir muchos de los costos tangibles; sin embargo, de alguna forma, todos ellos pueden ser medidos. Entre los costos tangibles están:

- 1.- El costo de la tierra.
- 2.- El costo de alquiler, compra o construcción.

- 3.- El costo de transporte de materias primas y combustibles.
- 4.- Costo de transporte para la distribución de los productos terminados en el mercado.
- 5.- Costos de fuerza y agua.
- 6.- El costo de los impuestos y los seguros.
- 7.- El costo de mano de obra.
- 8.- Los costos de trasladarse, incluyendo los costos de parada de producción incurridos durante el traslado.

En la determinación de una localización óptima, son los costos intangibles los que ocasionan mayor dificultad. Consideremos algunos de ellos.

1.- La competencia por mano de obra dentro de un mercado restringido de mano de obra introduce un costo que cambia a lo largo del tiempo. Este costo variará como una función del grado de atracción que tenga una región particular por parte de las industrias.

2.- Las actitudes de los sindicatos son extremadamente importantes, pero difíciles de evaluar. Los sindicatos beligerantes adquieren reputaciones que son ampliamente conocidas. Cambios en la economía y cambios en los resultados económicos de una industria en particular traerán consigo cambios rápidos en las actitudes de los sindicatos.

3.- Las actitudes de la comunidad no son medibles. No deben dejar de considerarse pequeños territorios con una actitud de resistencia hacia el desarrollo industrial especialmente cuando estos grupos que conforman la comunidad son dirigidos por

unos pocos individuos quienes son miembros influyentes de la comunidad. Pueden presentarse problemas también cuando la comunidad se siente disgustada con la compañía debido a los efectos de contaminación no esperados, ruido u otro tipo de deshechos indeseables en el proceso.

4.- Deben tomarse en cuenta las leyes locales y estatales. No existe una forma directa de asociar el costo a tales leyes. Cada alternativa de localización presenta sus propias consideraciones económicas en términos de tales costos, tales como pagos de compensación a trabajadores, seguros de desempleo, controles requeridos para contaminación y humos, reglas para combatir el ruido y otras regulaciones con respecto a estas molestias.

5.- Los costos por el clima y otros fenómenos naturales no deberían dejar de considerarse. Situaciones como huracanes, terremotos e inundaciones pueden ocasionar severas penalizaciones. Estos son fenómenos naturales y no pueden siempre ser evitados. Al mismo tiempo, son más esperados en ciertas áreas que en otras. Las condiciones normales ambientales también producen costos relacionados con localizaciones específicas. Las compañías que se localicen en el Norte deben estar preparadas para pagar por equipos de calefacción y consumo de combustible. Las industrias que se ubiquen en el Sur pueden necesitar grandes inversiones en equipos de aire acondicionado y los costos de energía asociados.

Fases que intervienen en la localización de planta

1a.- Fase del costo mínimo de producción.- Fase en la cual

interesa concentrarse sobre los factores de la localización y analizar bien los costos que afecten la producción.

2a.- Fase de cercanía de mercados.- En esta fase se introducen conceptos más reales; tales como los efectos de la población, su estandarización, distribución de los recursos, competencia inadecuada y la interferencia de formas que controlan el mercado.

3a.- Fase de la maximización de la ganancia.- Esta fase exige que las formas optimicen determinando la localización, por la diferencia entre los impuestos totales y el costo total del producto.

4a.- Fase del mínimo costo al cliente.- Esta fase se realiza analizando los transportes y la decisión relativa del costo de entrega al cliente o sea gran énfasis sobre modelos analíticos tales como programación lineal y modelos matemáticos del tiempo de entrega al cliente.

Fuentes de información en el análisis de la localización de la planta

La selección de la ubicación de la planta es una tarea muy compleja. Hay varios tipos de organizaciones que son de gran utilidad en el problema de dicha ubicación. Una de éstas es la organización regional o estatal para el desarrollo.

Las organizaciones para el desarrollo generalmente son agencias patrocinadas por el gobierno, llevan amplios registros de los sitios disponibles y estadísticas relativas a muchos de los factores utilizados en el análisis de las comunidades y sitios de la región.

Además de las agencias gubernamentales para desarrollo, otras organizaciones, tales como los ferrocarriles, bancos, compañías de energía eléctrica, y de gas natural, suelen contar con personal a cargo del desarrollo industrial. Aún cuando los servicios que prestan estas agencias son similares a los de las agencias gubernamentales para desarrollo, sus motivos son distintos. Los ferrocarriles están interesados en el desarrollo de sitios industriales que puedan utilizar sus servicios. Las compañías de energía eléctrica y también las de gas natural están interesadas en los desarrollos industriales que puedan utilizar sus productos. Los bancos están interesados en los servicios financieros potenciales que podrían ofrecer a una compañía que se estableciera en la zona.

A nivel local, las camaras de comercio, los bancos locales, las instituciones para desarrollo y las agencias de bienes raíces.

Otra fuente de ayuda para tomar decisiones sobre la ubicación de la planta son los asesores. Estas personas pueden mantener objetividad en la fase del análisis de la decisión.

Además de otras personas y organizaciones de las que se puede disponer como fuentes de información, la compañía tiene acceso a cientos de fuentes de información publicadas relativa a los factores que afectan a las decisiones sobre la ubicación de la planta. Referencias a estas fuentes se pueden encontrar en libros, que tratan sobre la localización de planta y desarrollo industrial.

Tendencias para la ubicación de la planta

Se han estado desarrollando dos importantes tendencias en el área de la ubicación de la planta y es probable que continúen desarrollandose en los años venideros. Una de ellas es el desarrollo de ciudades industriales, y la otra implica la ubicación de la planta en una ciudad extranjera.

La ciudad industrial es un concepto que crece rápidamente en el campo de la ubicación de la planta. El concepto implica el desarrollo de zonas especiales dentro de las cuales sólo están ubicadas empresas industriales. Los sitios para las plantas están planeados cuidadosamente y proporcionan los servicios públicos adecuados, facilidades de transporte y protección para la planta.

Es evidente que tales zonas planeadas son una garantía para la comunidad en términos del aspecto de la zona.

Debido a la naturaleza de una ciudad industrial, por lo general ésta está por plantas de armado pequeñas o de tamaño medio, plantas de fabricación ligera, bodegas de distribución, centros de servicio y laboratorios para investigaciones.

En los últimos años, muchas compañías estadounidenses han decidido ubicar sus plantas en ciudades extranjeras. Algunas compañías se evitan los problemas de la exportación estableciéndose en el extranjero. Otras encuentran que una ubicación europea les ofrece acceso al Mercomún. Aún otras esperan progresar con rapidez en naciones extranjeras de expansión rápida. La mayoría de las compañías citan los salarios bajos como la principal razón para establecerse en el extranjero.

Aún cuando puede haber ventajas en el costo para algunas

firmas si se establecen en un país extranjero, pueden presentarse otros problemas. Estos incluyen las leyes restrictivas, tarifas, gastos excesivos por los embarques, etc.

Tamaño óptimo de una industria

Los Ingenieros Industriales especializados en al área creen que es posible determinar el tamaño óptimo de las empresas aunque puede variar de una industria a otra. Una manera de conocer este tamaño es hallar cual es la magnitud de la organización que utilizando los recursos, las técnicas de fabricación y las habilidades organizadoras existentes, PRODUCE UN COSTO UNITARIO DE PRODUCCION MINIMO cuando se incluyen todos los costos comprendidos en su operación.

II.- Distribución de Planta

Distribución de Planta.- Es el medio por el cual se puede establecer la relación y la organización de hombres, materiales y maquinaria, así como la disposición de espacios necesarios para el movimiento y almacenaje de materiales, para obtener el máximo de producción con el mínimo costo posible.

Objetivos de la distribución de planta

El principal objetivo de la distribución de planta es optimizar la distribución de máquinas, hombres, materiales y servicios auxiliares de manera que el valor creado por el sistema

de producción sea elevado al máximo. Además, la distribución debe satisfacer las necesidades de los trabajadores, gerentes y demás personas asociadas con el sistema de producción. Después de estos objetivos generales, varios objetivos específicos son incluidos en el desarrollo de una buena distribución.

10.- Minimización del manejo de materiales.- Una buena distribución de planta debe minimizar tanto los costos como el tiempo requerido para mover los materiales a través de la planta. En algunas compañías, el uso de máquinas de transferencia sólo requiere que se alimente la materia prima por un extremo del sistema de producción y que los productos terminados sean retirados por el otro extremo. Ejemplos de esto incluyen el maquinado de monoblocks de motores, la fabricación de latas y el procesamiento de productos químicos y alimenticios.

20.- Reducción de los peligros que afectan a los empleados.
- En términos de salud, esto puede comprender el suministro de adecuados ductos de escape para eliminación del polvo, rocío de pintura, u otras partículas del aire. En términos de peligros para la seguridad, deben tomarse medidas para guardavías, espacios entre los trabajadores y la maquinaria en movimiento, protecciones para las herramientas de corte, etc.

30.- Equilibrio en el proceso de producción.- Distribuyendo el número de máquinas adecuado en la posición correcta en una planta, se puede lograr el equilibrio en el proceso de producción y evitar cuellos de botella.

40.- Minimización de interferencias de las máquinas.- Las interferencias de las máquinas asumen muchas formas en las

operaciones de producción. Incluyen ruido excesivo, polvo, vibraciones, emanaciones y calor. Estas interferencias afectan adversamente el desempeño de los trabajadores, por lo tanto se trata de minimizarlas.

50.- Incremento de la moral de los empleados.- Una buena distribución de planta debe crear un ambiente favorable para la formación de una moral elevada. En algunas ocasiones unos sencillos cambios en la distribución pueden lograrlo.

60.- Utilización del espacio disponible.- Los edificios de la planta representan una gran inversión. Así pues, debe usarse en su totalidad el espacio disponible para elevar al máximo el rendimiento sobre esa inversión.

70.- Utilización efectiva de la mano de obra.- Una buena distribución de planta debe proporcionar una efectiva utilización de la mano de obra. Los trabajadores no deberán tener excesivo tiempo ocioso, o tener que recorrer grandes distancias para obtener herramientas, plantillas, suministros, etc. El personal de mantenimiento debe tener fácil acceso a las máquinas para repararlas, limpiarlas, etc.

80.- Flexibilidad.- Se refiere a la flexibilidad para realizar una redistribución de la planta, ya que existen varias razones para revisar una distribución, como son la variación de la demanda, fabricación de nuevos productos, etc. Pueden disminuirse los costos de una redistribución si se diseña la distribución original teniendo en mente la flexibilidad.

Tipos de distribución

1.- Distribución por componente fijo.- Es aquella en que el

material o el mayor componente, permanecen fijos, sin ser movidos durante la elaboración, los hombres, herramientas, máquinas y otras piezas o componentes son llevados al lugar de trabajo. El hombre o la cuadrilla que hacen el trabajo, pueden moverse o no moverse de un punto de trabajo a otro (construcción de un edificio, armado de un acorazado, etc.).

2.- Distribución por proceso.- Es aquella en que se agrupan todas las operaciones o procesos similares, los materiales y los hombres van a las máquinas que están en situación fija (talleres mecánicos, fabricación de muebles metálicos, etc.).

3.- Distribución por producto.- Es aquella en la cual las máquinas o puntos de montaje se disponen según la secuencia de las operaciones, las cuales se ejecutan una después de la otra, a diferencia de la distribución por componente fijo, el material circula de un punto a otro, el equipo se alinea según el proceso, sin tener en cuenta la similitud de las operaciones (líneas de montaje de automóviles, fabricación de azúcar, etc.).

Principios de la distribución

1o.- Principio de la integración total.- La mejor distribución es aquella que integra a los hombres, materiales, equipo, servicios y demás actividades auxiliares, de tal manera que resulte la mejor ordenación.

2o.- Principio de la mínima distancia.- A igualdad de circunstancias, será mejor aquella distribución que permita mover el material el mínimo de distancia entre los diferentes puntos de trabajo.

30.- Principio de flujo.- El material debe caminar hacia su terminación, haciendo mínimas las interrupciones y mínimo el manejo y retrocesos a través de la planta.

40.- Principio de utilización de espacio.- Una distribución de planta debe buscar economías mediante el uso efectivo del espacio disponible, tanto vertical como horizontalmente.

50.- Principio de flexibilidad.- A igualdad de circunstancias, será mejor aquella distribución que pueda ser ajustada y vuelta a ordenar con el mínimo de inconvenientes y al costo más bajo.

60.- Principio de satisfacción y seguridad.- A igualdad de circunstancias, será mejor aquella distribución que haga el trabajo satisfactorio y seguro para los trabajadores.

Factores que influyen en la distribución

1.- Material.- Este factor incluye la materia prima, material en proceso, producto acabado, material saliente o empaquetado, material de suministro, materiales de rechazo, etc. Este es el factor más importante puesto que restringe al sistema de manejo empleado y los volúmenes por almacenar y mover. De cada tipo de material deberá determinarse las características del mismo de manera que se considere el tamaño, forma y volumen, cantidad, etc.

2.- Maquinaria.- Dentro de este factor se deben considerar: las máquinas de producción, el equipo de proceso o tratamiento, accesorios especiales, las herramientas, plantillas, dispositivos de fijación, matrices, modelos, controles o tableros de mando, etc. La forma de la máquina y sus dimensiones

afectan la distribución, para la máxima utilización de la maquinaria, lo mejor es la distribución por proceso.

3.- Hombre.- Como elemento de producción el hombre es más flexible que el material o la maquinaria. La seguridad de los trabajadores y de otro personal debe tomarse en cuenta en cualquier distribución y debe ser también cómoda, tomando en cuenta el calor, la iluminación, ventilación, ruidos, etc., aspectos que serán relacionados con el factor edificio.

4.- Movimiento.- El movimiento de por lo menos uno de los tres elementos de la producción es esencial; generalmente es el material. El movimiento de materiales es muy importante, se ha demostrado por medio de estadísticas que un 90% de los accidentes son ocasionados por manejo de materiales. La idea es mover el material tan poco como sea posible con relación a otros factores de la producción. Otro punto importante es la localización de la entrada y la salida del material, esto es clave para proyectar una distribución con un mínimo de movimientos para los materiales.

5.- Espera.- Siempre que un material está parado dentro del área de producción significa un costo para la fábrica, ya que al no continuar con la operación inmediata, ello significa retraso en lo programado. Este factor deberá analizarse en función de los costos a él asociados. Cualquier distribución que ocasione espera de material, debe justificar la inactividad del mismo.

6.- Servicio.- El servicio tiene muchos significados en la industria. A efectos de la distribución, los servicios de una fábrica son las actividades, medios y personal que sirven a

la producción. El lugar de entrada, estacionamientos, son los puestos usuales de arranque del hombre; el lugar de trabajo es el punto final. Entre estos puntos debe haber pasillos, lavabos, relojes, casilleros, etc.

7.- Edificio.- El edificio es básicamente la coraza que aloja al hombre, materiales, maquinaria, producto y actividades auxiliares, el edificio influirá más en la distribución, si ya está construido, lo cual viene a ser una limitación. Algunas industrias pueden funcionar en casi cualquier edificio que tenga el número usual de nuevas instalaciones, techo y suelo, unas cuantas se arreglan sin edificio siquiera, mientras que otras requieren estructuras industriales proyectadas expresamente para alojar todas sus operaciones.

8.- Cambios.- Se debe planear la distribución de tal manera que se adapte a cualquier cambio de los elementos básicos de producción, hombres, materiales y maquinaria. Esto quiere decir que debe proyectarse una distribución flexible para efectuar cualquier ordenación. La normalización del equipo como bastidores, bancos de montaje, secciones de transportadores, etc., traen consigo economías al planear una nueva distribución y al realizar el cambio.

Métodos para determinar la distribución

a).- Método espiral.- El objetivo de este método consiste en disponer las áreas individuales de tal manera que se obtenga el movimiento más directo de materiales de un paso a otro en la tabla de secuencias, el espacio requerido dentro del área de una unidad variará tan solo levemente al cambiar la

disposición siempre que ésta haya sido inicialmente lógica.

b).- Método de disposición en línea recta.- El objetivo consiste en reducir al mínimo, en cuanto a distancia y volumen por manejarse, la totalidad de productos y materiales que, atraviesan el área de fabricación, si los departamentos se disponen en forma tal que cada producto o productos que circulan por los departamentos puedan moverse en línea recta desde el comienzo hasta el fin de las operaciones, la distancia total de manejo se acercara al mínimo.

c).- Método Travel Charting (gráfica de flujos).- Este método puede utilizarse para toda disposición de planta en la cual las características del producto no admiten el establecimiento de líneas de producción para productos individuales o tipos de productos.

Etapas en un estudio de distribución de planta

1a.- Situación actual y de información básica.- Esta etapa incluye desde la definición del problema, el planteo de objetivos y reconocimientos de la situación y el constar con un mínimo de información clave para poder hacer un buen estudio.

2a.- Localización.- Se refiere a la localización de la planta o áreas por distribuir, ello no representa un problema de nueva planta, ya que una redistribución de planta siempre presenta el traslado como una viabilidad de solución, en un problema de expansión siempre será necesario decidir dentro de la misma planta el lugar apropiado para el crecimiento, si es que se tiene la posibilidad de seguir en la misma planta.

3a.- Solución general a través de distribución a bloques.-

Se realiza con la idea de integración y en las cuales se plantea el funcionamiento general de la alternativa propuesta; por ello, es que en ésta etapa las áreas y formas de la misma son dispuestas someramente. Puesto que en ésta etapa se recomienda presentar cuando menos tres alternativas, ello da lugar a mezclar, modificar, eliminar, etc., las mismas, lo que al final definirá los puntos sobre los cuales debe establecerse la solución aceptada.

4a.- Desarrollo a detalle de la alternativa seleccionada.- En ésta etapa se llegará a definir la localización específica de cada máquina y equipo, sobre el área definida en tamaño y forma, así como de las características y servicios que debe incluir; habitualmente se realiza en un plano a escala o bien mediante una maqueta si el caso lo requiere.

5a.- Instalación de la distribución aprobada.- En esta etapa se incluye la realización de todos los planos que sean necesarios y se requiere un completo conocimiento del total de productos que se fabrican en la empresa así como la tendencia que han tenido en cuenta a cambios de diseño tanto en el presente como en el pasado, además se requiere una investigación de los nuevos productos, tanto de los que están por lanzarse como de los proyectados, de manera que sea previsible su incorporación a la fábrica.

Análisis cuantitativo de la distribución de planta

Varios de los problemas asociados con la distribución de la planta se prestan al análisis cuantitativo. A continuación se presentan estas técnicas.

1.- Programación lineal.- En los últimos años se ha aplicado la programación lineal a los problemas asociados con la distribución de la planta. La programación lineal es una técnica matemática útil para encontrar soluciones óptimas a problemas. A diferencia de muchas técnicas cuantitativas que proporcionan buenos resultados, la programación lineal está diseñada para dar la mejor solución posible.

Las técnicas de la programación lineal están diseñadas bien a maximizar o a minimizar alguna función objetiva. Por ejemplo, en una distribución de planta puede desearse solucionar el problema en términos de la minimización de los costos de la mano de obra, costos de máquina, distancia que los materiales recorren por la planta, el tiempo ocioso de máquina; o maximizar las utilidades o el uso del espacio disponible.

Otra característica de los problemas de la programación lineal es que están limitados por restricciones llamadas parámetros. En el área de los problemas de la distribución de planta, los parámetros para un problema en particular podrían ser la cantidad máxima del espacio disponible, el número de máquinas disponibles, las necesidades mínimas de espacio para ciertas máquinas o materiales, y el número máximo de horas-hombre de que se dispone para el sistema de producción.

a). Método gráfico.- Este método implica la construcción de una gráfica que describe las relaciones de las variables y de los parámetros comprendidos en el problema. Mediante el análisis de la función objetiva relacionada a las variables y parámetros, es posible encontrar el punto, línea o plano que proporcionen la solución óptima para el problema.

b). Método simplex.- Implica establecer relaciones entre variables, parámetros y la función objetiva en términos de ecuaciones. Estas ecuaciones se manejan matemáticamente en una serie de operaciones repetitivas con el fin de que la función objetiva sea minimizada o maximizada. Es un método tardado cuando se hace manualmente, sin embargo, este problema desaparece cuando se utilizan las computadoras para el método.

c). Método de transportación.- Este método se refiere al análisis de cierto número de variables y parámetros en la forma de una rejilla, este método como los anteriores proporciona la solución óptima en términos de minimizar o maximizar la función objetiva. Igual que el método simplex, también implica varios ciclos de análisis repetitivos o iteraciones, antes de que se llegue a la solución óptima. Hay programas de computadoras para este método que facilitan su aplicación.

2.- Teoría de colas (líneas de espera).- Muchos tipos de problemas de distribución comprenden el análisis de las líneas de espera, o colas. Preguntas tales como las que se dan a continuación están relacionadas con el problema de las colas. ¿Cuántos muelles de embarque y de recibo deberán construirse para los embarques de entrada y de salida? ¿Cuántos camiones deberán proporcionarse para mover los productos? ¿Con cuántos empleados para atender el almacén de herramientas debe contarse para proporcionar herramientas a los trabajadores? ¿Cómo deberán distribuirse las máquinas para reducir las colas a un mínimo en los productos en proceso? ¿Cómo debe distribuirse el tránsito en el interior o en el exterior de la planta para minimizar las colas?

Existen cuatro tipos básicos de situaciones de espera que afectan al tiempo de espera de los clientes:

- a).- Un solo canal, caso de servicio de una fase.
- b).- Canal múltiple, caso de fase sencilla.
- c).- Un solo canal, caso de fases múltiples.
- d).- Canal múltiple, caso de fases múltiples.

La razón de dividir las varias situaciones de espera en cuatro tipos básicos, es que el enfoque analítico de que se dispone para su estudio difiere en cada tipo. También difiere con la naturaleza de las distribuciones de llegada y con las distribuciones de tiempo de servicio. Además, los enfoques analíticos difieren si la línea de espera puede alcanzar una longitud máxima definida (líneas de espera finitas), y si en teoría la línea de espera puede resultar extremadamente larga, aproximándose al infinito (líneas de espera infinitas).

3.- Enfoque de computadora al análisis de la distribución.- En la mayoría de los problemas de distribución de la planta, en especial los que se refieren a distribución por proceso, el número de las alternativas para la distribución de los departamentos es sumamente grande. Por lo general, sólo se prueban unas cuantas distribuciones alternativas en diagramas de flujo, plantillas o modelos antes que se elija la distribución final. En tales casos, muchas distribuciones adecuadas pueden ser pasadas por alto. Se ha desarrollado un programa llamado CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), el cual en menos de un minuto de tiempo de compu-

tadora, hará lo siguiente:

- 1o.- Determina la mejor ubicación de los departamentos en una nueva planta.
- 2o.- Analiza las alternativas de una redistribución.
- 3o.- Ayuda a determinar si los edificios deben estar en complejos grandes, integrados, de grandes edificios, y que actividades deben alojarse en tales edificios.
- 4o.- Analiza si las funciones tales como mantenimiento, embarque, recibo, almacenamiento de materias primas, y otras funciones, deben ser centralizadas o descentralizadas.

Esta técnica por computadora para la distribución relativa de las instalaciones es similar a los enfoques de la programación lineal descritos con anterioridad, pero no necesariamente conduce a una solución óptima. Sin embargo, conduce a muy buenas soluciones.

III.- Manejo de Materiales

Manejo de materiales.- Consiste en recoger y depositar, mover en un plano horizontal o vertical, o ambas cosas a la vez y por cualquier medio, materiales o productos de cualquier clase en estado bruto, semiacabado o completamente acabado.

Aparatos de manejo.- Término que se refiere a todos los mecanismos utilizados en el manejo de los materiales, junto con los dispositivos auxiliares que pueden ser necesarios para

completar las unidades de trabajo.

Material de embalaje.- Es una expresión en la que se incluyen las cajas de madera o cartón, las canastas, las barricas, los sacos o costales, y también los recipientes descubiertos que contengan material a granel o fabricado.

Unidades.- Pueden ser paquetes embalados, definidos como más arriba, o partes o piezas individuales.

Problemas que plantea el movimiento de los materiales en las fábricas

Es muy importante que dentro de una fábrica se disponga de los mejores medios disponibles para el manejo de los materiales, debido al costo que implica el enorme peso total de materiales manejados diariamente para hacer los productos que se fabrican. Algunos casos concretos han mostrado, por ejemplo, que en una fundición de tubos de hierro se manejan 67 toneladas de materiales por cada tonelada de tubos producida, y en una fábrica de maquinaria agrícola, se movían 180 toneladas de materiales por cada tonelada de producto acabado.

Las conclusiones a que se llega cuando se busca la manera de reducir el costo es que:

- 1.- Siempre que sea posible debe eliminarse el manejo y, si es necesario, el trabajo debe hacerse por medios mecánicos y no por labor manual.
- 2.- La rutina de el manejo debe hacerse lo más automática posible para reducir al mínimo los costos de este trau

bajo.

Estos objetivos exigen el uso de maquinaria para el manejo de materiales y de maquinaria automática en los procesos y en el movimiento del producto.

En resumen el objetivo de el manejo de materiales es transportar éstos de un punto a otro, sin retroceder, con un mínimo de transbordos, y entregarlos en los lugares de trabajo o los centros de producción apropiados con el fin de evitar atascos, los retrasos y los manejos innecesarios. Hay que tener siempre presente que el manejo no añade valor al producto sino que lo que hace es aumentar su costo.

"Se consigue la mayor economía en el progreso de los materiales en una fábrica, cuando éstos se mueven una distancia mínima al pasar de una operación a otra".

Principios fundamentales de el manejo de materiales

1.- Eliminación de los métodos antieconómicos.- Se refiere a la realización de las operaciones de manejo realmente necesarias, eliminando las que sean innecesarias, siempre que sea posible debe utilizarse la gravedad, cuando la gravedad no baste, deben manejarse los materiales con ayuda de elementos mecánicos en el mayor grado posible.

2.- Planeamiento de la disposición.- Provéase una circulación continua, o intermitente, pero apropiada, de los materiales. Dispongase la maquinaria de fabricación de manera que reduzca al mínimo el manejo y que sean lo mas corto posible los transportes entre las operaciones y sin movimientos retrógra-

dos de los materiales. Téngase siempre presente el problema global de el manejo y hágase que todas las instalaciones encajen en el programa para toda la fábrica.

3.- Aplicación de los aparatos de manejo.- Antes de adquirir aparatos nuevos hay que asegurarse de que se están utilizando con la máxima eficacia posible los existentes. Elijase, en general, los aparatos de manejo más sencillos que puedan encontrarse y que sean aplicables al problema entre manos. Siempre que sea posible, deben instalarse aparatos estándar que hayan demostrado su eficacia, sólo en circunstancias extraordinarias debe emplearse un aparato especial.

4.- Reducción de los costos.- Los aparatos deben comprarse teniendo en cuenta las economías totales que permitirán realizar, no su costo inicial. Todas las operaciones de manejo, tanto las manuales como las mecánicas, deben hacerse con el costo más bajo posible.

5.- Coordinación y facilitación de las operaciones.- Cuando se empleen dos o más aparatos para el manejo de materiales debe coordinarse su funcionamiento. Deben evitarse las transferencias desde el suelo a un recipiente, o viceversa, o desde un recipiente a otro. Deben proporcionarse los espacios necesarios para la circulación de los aparatos de manejo automotores.

6.- Uso y conservación.- Tómense las medidas adecuadas para instruir a los operarios en la manera más eficaz de utilizar los aparatos para el manejo de los materiales. Formúlese y llévase a la práctica un programa apropiado para la conservación de todos los aparatos utilizados para el manejo de mate-

riales.

Factores económicos y de ingeniería que afectan el
manejo de materiales

10.- Disposición correcta de la fábrica.- La disposición tiene que ser buena antes de que se pueda aplicar eficazmente el equipo de aparatos para el manejo de materiales.

20.- Clase correcta del equipo de aparatos de manejo.- Este factor abarca la elección del tipo de equipo más adecuado para cada aplicación individual. Hay que tener en cuenta la adaptabilidad, la capacidad, la flexibilidad, etc.

30.- El uso correcto de los aparatos de manejo.- Es esencial instruir a los capataces y los operarios en los métodos que deben seguirse para obtener el mejor servicio de los aparatos.

40.- Medidas para establecer una conservación apropiada.- Es importante tomar las medidas adecuadas para inspeccionar, limpiar, engrasar, ajustar y reparar los aparatos, de no ser así es probable que ocurran averías costosas.

50.- Medidas para comprobar con regularidad los resultados.
- Si la dirección no inspecciona periódicamente los métodos de manejo, o no exige informes periódicos sobre su funcionamiento, pocas veces se obtendrán los mejores resultados.

60.- Planes para repasar por completo a intervalos determinados los estudios de los métodos seguidos.- Este factor implica un estudio de ingeniería para ver si se está obteniendo el beneficio máximo posible con el equipo de aparatos y los métodos existentes; los métodos de manejo están relaciona

dos con los procesos de fabricación, los sistemas de almacenamiento, etc. ; las capacidades de los aparatos de manejo son adecuadas para el servicio exigido; etc.

Servicios que presta a la producción el manejo de
Materiales

1.- Se mecanizan las operaciones de manejo, evitándose así muchos acarreos por carretillas o mucha mano de obra.

2.- Se fija mecánicamente la ruta y no se descarrián los materiales ni las piezas.

3.- La entrega y la remoción de las piezas son instantáneas, evitándose la acumulación del trabajo y los retrasos en la entrega.

4.- No son necesarias etiquetas de identificación ni ordenes de trabajo independientes; tampoco se precisa llevar un registro de las diferentes operaciones.

5.- Se elimina la inspección y la atención minuciosa del transporte y del movimiento del trabajo.

6.- El trabajo sigue el programa previamente trazado. Se considera mucho más importante sostener el movimiento de la línea de producción que mantener ocupadas las máquinas independientes, ya que ello puede obstruccionar toda una cadena de procesos.

7.- Es más fácil seguir la pista a los trabajos por el enlace entre la cadena de operaciones.

8.- Basándose en los métodos y en los estudios de tiempos y movimientos, pueden equilibrarse los trabajos que hay que realizar en cada estación de la línea.

9.- Puesto que el trabajo sólo está sometido a una inspección y no se hace en departamentos esparcidos, pueden eliminarse muchas de las inspecciones, que de otra manera serían necesarias, sin perjudicar por ello a la calidad.

Clasificaciones de los aparatos que se utilizan
en el manejo de materiales

Los aparatos para el manejo de materiales pueden clasificarse de varias maneras, pero muchas inducen a confusión. Las cinco maneras principales para hacer la clasificación son las siguientes:

1a.- Por las clases de aparatos, como grúas, cabrias, transportadores, carretillas elevadoras, etc.

2a.- Por la naturaleza del material manejado, como suelto o a granel, partes o piezas, paquetes, bultos, cajas, etc.

3a.- Por la naturaleza del servicio realizado: elevar, transportar, bajar, etc.

4a.- Por los sectores de la industria servidos, como minería, fabricación, transportes, construcción, etc.

5a.- Por la movilidad relativa de los aparatos: trayectoria fija, movimiento en área limitada, recorridos sobre áreas extensas, etc.

En la figura 3.1 se presenta un cuadro con la mayoría de los diferentes tipos de aparatos que se emplean en el manejo de los materiales dentro de las fábricas, además se encuentran cuatro de las clasificaciones mencionadas anteriormente.

Clase de aparato	Tipo de aparato	Clases de materiales			Naturaleza de los movimientos					
		Paquetes	Sultos	Semi-fluido	Horizontal	Descendente por ranja	Ascendente por ranja	Subir	Bajar	
A. Trayectoria fija	1. Aparatos por	Banpas	X	X	X			X		X
		Transportadores de ruedas	X					X		
		Transportadores de rodillos	X					X		X
2. Transportadores mecánicos		Transportadores de rodillos activos	X			X	X	X		
	Transportadores de banda plana	X	X		X	X	X			
	Transportadores de banda cóncava	X	X	X	X	X	X			
	Transportadores de listones	X		X	X	X	X			
	Transportadores de placas o mandiles	X	X		X	X	X			
	Transportadores de tela metálica	X	X		X	X	X			
	Transportadores de arrastre por cadena	X	X		X	X	X			
	Transportadores de cadena con eslabón giratorio	X			X	X	X			
	Transportadores de rodillos volantes	X			X					
	Transportadores de barras transversales	X			X	X	X			
	Transportadores de cadena y trolés	X			X	X	X	X	X	
	Elevadores de brazo	X				X	X	X	X	
	Elevadores verticales de listones	X					X	X	X	
	Elevadores de bateas suspendidas	X					X	X	X	
	Elevadores de movimiento alternativo	X					X	X	X	
	Elevadores industriales	X					X	X	X	
	De paletas o rascadores		X			X	X	X	X	
	Transportadores Rodler		X			X	X	X	X	
	Transportadores de tornillo sin fin		X	X		X	X	X	X	
	Transportadores de cinta			X		X				
Transportadores de cangilones			X		X	X	X	X		
Gabrias			X				X			
Rascadores de arrastre			X		X	X				
Vías para vagones y cables elevados transportadores	X				X	X	X			
3. Aparatos neumáticos o hidráulicos		Sistemas neumáticos de tubo	X			X	X	X	X	
	Transportadores neumáticos		X			X	X	X	X	
	Transportadores hidráulicos		X	X		X	X	X	X	
B. Área limitada	1. Ordas	De botadón	X			X	X	X	X	
		Elevada, móvil	X	X		X	X	X	X	
		Móvil, a mano	X			X	X	X		
		Ruente-grúa	X	X		X	X	X		
		Cantilever	X	X		X	X	X		
2. Sistemas de carriles		Sistemas monorriel	X			X	X	X	X	
	Ferrocarriles industriales	X	X		X	X	X			
	Locomotora	X	X		X	X	X	X		
C. Área extensa (aparatos móviles)	1. Portátiles	Transportadores portátiles (casi todos los tipos caen dentro del grupo A-2)								
		Carretillas de mano con dos ruedas	X			X	X	X		
		Carretillas de mano con cuatro ruedas	X	X	X	X	X			
		Carretilla elevadora a mano, sistema de plataformas con patines	X			X	X			
		Carretilla elevadora a mano, sistema de candelas	X			X	X			
		Gato con ruedas, sistema de patín activo	X			X	X			
2. Automotores		Carretilla elevadora mecánica, sistema de patines	X			X	X			
	Carretillas elevadoras de gran altura	X			X	X	X	X		
	Carretilla horquilla, sistema de caxilla	X			X	X	X	X		
	Sistema de tractor y resolque	X			X	X	X	X		

Fig. 3.1 Tipos estándares de aparatos clasificados por la amplitud de sus servicios.

Equipo de manejo de materiales

Otro autor considera que el equipo para el manejo de materiales se puede clasificar en tres categorías principales, las cuales se describen a continuación.

a).- Transportadores.- Un transportador es un aparato que mueve materiales en dirección vertical u horizontal entre dos puntos fijos; este movimiento puede ocurrir continua o intermitentemente. Una de las características distintivas de los transportadores es que crean una ruta relativamente fija. En consecuencia, se emplean principalmente en sistemas de fabricación continua en el cual los materiales que salen de una estación de trabajo invariablemente van a alguna otra estación de trabajo específica de la línea de producción; por lo tanto, es posible conectar dos de estas estaciones de trabajo con equipo de manejo de materiales que pueda mover materiales únicamente entre dos puntos fijos. En un sistema de producción intermitente no se puede emplear este tipo de aparatos ya que no se cuenta con rutas relativamente fijas. Una segunda característica de los transportadores es que, a menos que sea del tipo portátil, ocupan espacio continuamente. Como resultado deben instalarse en sitios en donde no interfieran el flujo de otro tráfico.

En cuanto se refiere a la lista de los diferentes tipos de transportadores, los que se encuentran más frecuentemente son los siguientes:

De rodillo

De tornillo

De correa	Neumático
De ruedas	De cangilones
De banda	Extractor
De barra de empuje	Colgante
De listones	

b).- Carros industriales.- Son vehículos movidos a mano, por gasolina o por electricidad y que pueden transportar materiales horizontalmente entre dos puntos cualesquiera. En contraposición con el transportador, un carro puede moverse de un lugar a otro siempre que se disponga de superficies de tránsito adecuadas y que el trayecto no esté obstruido. Por esta razón, se emplean principalmente en sistemas de producción intermitente. El recorrido variable que pueden seguir éstos permite transportar materiales de una estación de trabajo a cualquiera de varias estaciones de trabajo diferentes en las cuales se ha de efectuar, según el programa una operación posterior. Una segunda característica deseable para los carros es que ocupen una cantidad determinada de espacio intermitentemente, esto significa que se necesita cierta cantidad de espacio en un sitio dado para dar cabida a un carro únicamente mientras éste permanezca en ese sitio. Tan pronto como se mueve el vehículo el espacio queda libre para otros usos. Por lo tanto, este equipo puede usarse ya sea que exista o no tráfico transversal. Como en el caso de los transportadores, hay muchos tipos de carros y cada uno de éstos puede estar equipado con una gran variedad de aditamentos. Pero los más importantes son los siguientes:

Vehículos operados a mano	Montacargas de horquilla
Tractores	Transportadores de caballete
Montacargas de plataforma	

C).- Grúas y malacates.- Este equipo puede mover materiales vertical y lateralmente en cualquier área de longitud, ancho y altura limitados. Se usa principalmente cuando los materiales se deben elevar antes de moverse de un punto a otro. Tales puntos pueden representar diferentes estaciones de trabajo o diferentes lugares de una sola estación de trabajo. Por ejemplo, si una pieza es grande o pesada, el operario puede encontrar necesario usar un malacate como ayuda para cargar o descargar la máquina. Posteriormente se puede usar una grúa para mover la pieza a otra estación de trabajo. Una de las ventajas de las grúas y malacates es que pueden mover o transportar objetos a lo largo del espacio superior de la planta. Por consiguiente, se utiliza espacio que de otra manera no sería usado y se libera espacio de piso para otros usos. Sin embargo, al considerar las grúas y malacates, es importante tener en cuenta que cualquier unidad de este tipo puede prestar servicio únicamente a un área limitada. El tamaño y forma del área varía con la clase de malacate o grúa que se use. Sin embargo, el equipo es algo más flexible en este aspecto de lo que son los transportadores, pero no tan flexible como lo son los carros industriales.

También se encontrará que las grúas y los malacates pueden usarse tanto en sistemas de producción continua como intermitente.

Nuevamente, hay muchos tipos de equipo que pueden situarse

en la categoría de grúas y malacates. Sin embargo, los más co
munes son los siguientes:

Puentes-grúas	Malacates de cadena
Grúas de caballete	Malacates de aire
Grúas de brazo giratorio	Malacates eléctricos
Ascensores	

**Factores que afectan la selección de equipo
para el manejo de materiales**

Debido a las muchas clases y tipos disponibles de equipo de manejo de materiales, no es sencilla la tarea de seleccionar el equipo específico que debe usarse para manejar un material en particular. Sin embargo, un análisis puede reducir considerablemente el número de alternativas teniendo en cuenta ciertos factores.

Antes de considerar estos factores se debe mencionar que los puntos en los cuales es necesario el manejo de materiales, serán evidentes para el análisis en el momento en que se este haciendo la distribución detallada de la planta.

Los factores que afectan la selección de equipo para el ma
nejo de materiales son los siguientes:

1o.- Requerimientos de ruta.- El primer factor que se debe considerar es la ruta que deben seguir los materiales que salen de un sitio en particular. Si todos los materiales que sa
len de una estación de trabajo siempre van a otra estación de trabajo específica, el análisis considerará seriamente el uso

de equipo que se caracteriza por la falta de variabilidad en su ruta. Los ductos, transportadores de correa, elevadores y tuberías son ejemplo de este tipo de equipo. Dado que es en la fabricación continua en donde los materiales siguen, usualmente, una ruta fija, el equipo de trayectoria fija tiene su aplicación más amplia en este tipo de fabricación.

En ocasiones, el análisis encontrará que aunque los materiales salen de un sitio dado no todos van a un mismo sitio: pueden ir a uno de dos o tres sitios diferentes. Por ejemplo, una estación de trabajo puede ser parte integral de dos líneas de producción diferentes. En donde esto sucede, el análisis selecciona equipo que tenga variabilidad limitada en su ruta. Los transportadores con sistemas de conmutación son un ejemplo de este tipo de equipo.

Finalmente, el análisis puede encontrar casos en los cuales los materiales que están en un punto particular se deben mover a cualquiera de un gran número de ubicaciones diferentes y ampliamente diseminadas. Esta es, frecuentemente la situación en la fabricación intermitente. En tales casos se requerirá equipo que tenga una variabilidad ilimitada en su ruta; por consiguiente el análisis considerará carretillas de mano, montacargas de horquilla, trenes de tractores y equipo semejante.

Es claro que si varía la ruta necesaria se debe emplear equipo de trayecto variable. Sin embargo, puede no ser claro que si la ruta no varía se debe emplear equipo de trayecto fijo. en el último caso, el equipo de trayecto variable también podría prestar el servicio requerido. No obstante, en donde

no se requiere variabilidad hay una tendencia a usar equipo de ruta fija por diferentes razones como por ejemplo el costo.

20.- Naturaleza de los materiales.- Un segundo factor que afecta la selección del equipo de manejo de materiales es la naturaleza de los materiales que deben transportarse. Hay varias maneras de clasificar los materiales y una de ellas requiere la diferenciación entre materiales a granel y materiales empacados. Si el análisis se ve enfrentado a la necesidad de manejar materiales a granel en forma de líquidos, considerará tuberías más bien que transportadores de rodillo. De manera semejante, los materiales a granel en polvo suponen el uso de transportadores de correa, transportadores de tornillo o transportadores de cangilones más bien que grúas, malacates o montacargas de horquilla. Por otro lado, los materiales empacados se prestan al manejo mediante equipo tal como transportadores de rodillo, trenes de tractores y montacargas de horquilla, cuando los materiales se apilan adecuadamente sobre patines.

Los materiales pueden clasificarse también de acuerdo con su tamaño, forma y peso. Considerando estas características, el análisis probablemente decidirá que elementos de forma pequeña e irregular pueden transportarse más efectivamente en transportadores de correa que en transportadores de rodillos. Pero si estos elementos son más bien grandes y planos se consideraría seriamente un transportador de rodillos de tamaño apropiado. Más aún, si el material es bastante grande y pesado, puede ser apropiado el uso de una grúa elevada.

Finalmente, la durabilidad de los materiales que deben manejarse tiene algún efecto en el método de manejo. Por un lado, los objetos frágiles de vidrio pueden moverse a mano de una ubicación a otra. Pero si el material es lámina metálica o fundición de hierro, habría poco peligro de rotura y por consiguiente se consideraría cualquier tipo de manejo mecánico.

3o.- Características físicas del edificio.- El análisis también considerará el factor de las características del edificio. La capacidad de carga del piso tendrá algún efecto en el peso del equipo de manejo de materiales que pueda usarse en ciertas áreas. Las alturas de los techos y la fortaleza de las armazones pueden permitir o impedir la instalación de un puente-grúa de recorrido aéreo. El distanciamiento de las columnas y el tamaño de las puertas limitará, generalmente, el tamaño del equipo que puede usarse. La localización de las columnas afectará el recorrido que pueden seguir los transportes. El grado al cual pueden ser ventiladas ciertas áreas, puede determinar si se usan vehículos movidos por gasolina que producen humo o si se emplean vehículos movidos por baterías eléctricas. Si el edificio tiene varios pisos y los varios niveles están conectados por rampas, es posible que se puedan usar montacargas; de otra manera, puede confiarse en ascensores y conductos en canal. Estas pocas ilustraciones de muestran el papel que desempeñarán las características del edificio en la selección del equipo para el manejo de los materiales.

4o.- Requisitos de espacio.- Se ha mencionado que cierto

equipo requiere espacio de piso, mientras que otro requiere espacio aéreo. También, cierto equipo usa un determinado espacio continuamente, mientras otro equipo lo usa intermitentemente. Por ejemplo, un transportador de rodillos usa continuamente un área dada de espacio de piso mientras que un montacarga lo usa intermitentemente. Se deduce que la clase y cantidad de espacio disponible en la planta se deberá tener en consideración por el análisis al seleccionar el equipo de manejo de materiales.

Si aparece que el espacio de piso es escaso y hay espacio aéreo disponible, se debe tratar de recomendar equipo que no requiera el uso de espacio de piso. Por otro lado, si el techo bajo o el equipo alto impiden el uso de espacio aéreo en ciertas áreas, un equipo aéreo de equipo de materiales no sería una alternativa real.

50.- Capacidad de manejo necesaria.- Después que se a elegido el tipo de equipo que debe usarse para el manejo de los materiales, ahora se considerará cuál debe ser la capacidad total de manejo de dicho equipo. Al hacerlo, se podrá determinar cuántas unidades de equipo de cada tipo específico serán necesarias. Como esto lo sugiere, no es suficiente concluir con base en otros factores que, por ejemplo, se debe usar un montacargas de horquilla. También es necesario describir el tipo de montacargas de horquilla requerido en términos de la capacidad de rendimiento que posee y calcular el número de unidades que serán necesarias. La capacidad de rendimiento por unidad de cualquier tipo de equipo de manejo de materiales depende de dos cosas. Una es la capacidad de carga del

equipo; la otra, la velocidad a la cual puede transportar . Por lo tanto, el análisis debe especificar la capacidad de carga que tendrá el equipo y la velocidad a la cual puede hacerse funcionar. Esto, junto con la información acerca de la cantidad de material que debe manejarse y las distancias a lo largo de las cuales debe ser transportado, permitirán determinar el número de unidades de equipo necesarias.

60.- Consideraciones de costos.- Con frecuencia se tiene que decidir si la compañía deberá continuar usando el equipo actual o si dicho equipo deberá reemplazarse por uno nuevo de diseño más eficiente. En estos casos, la única forma en que puede tomarse una decisión es por medio de una comparación de costos. Dicha comparación considerará la inversión que se requiere y el costo de interés asociado con esta inversión para cada alternativa, además la vida útil probable del equipo, su valor de salvamento futuro y sus costos de funcionamiento. Dichos costos incluirán, entre otras cosas, mano de obra, mantenimiento, impuestos, seguro, energía y supervisión

IV.- Tiempos y Movimientos

Estudio de Tiempos.- Es un análisis científico minucioso de los métodos y los aparatos utilizados o planeados para realizar un trabajo, el desarrollo de los detalles prácticos de la mejor manera de hacerlo y la determinación del tiempo necesario.

Propósito del estudio de tiempos

Existen muchas razones por las cuales se usa el estudio de tiempos en las empresas. Por ejemplo, un sistema de incentivos a destajo, que paga a sus empleados cierta cantidad de dinero por unidad arriba de cierto estándar, requiere algún método para determinar el estándar. Dicho método, debe obtener estándares justos que reflejen los tiempos estándar para ejecutar determinados trabajos.

Otra de las razones del estudio de tiempos es determinar cuántas unidades por hora pueden producir los trabajadores empleando determinados métodos, de manera que pueda fijarse una ruta y programación cronológica efectiva.

La determinación del costo de la mano de obra directa, incluida en el costo de un producto, es función de dos factores. Uno de ellos es la tarifa de pago por hora o por unidad producida. El otro es el tiempo requerido para producir una unidad del producto. Para una determinación precisa del costo, debe usarse el estudio de tiempos.

Otro de los usos de los estudios de tiempos es mejorar la forma en que se hacen los trabajos. Al hacer el análisis del estudio de tiempos, el analista tiene oportunidad de evaluar los métodos usados al ejecutar los trabajos. Quizá pueda sugerir mejoras. Además, mediante el uso del estudio de tiempos, puede determinar lo mejor que pueda ser el método mejorado.

Los analistas de los estudios de tiempos también tienen oportunidad de ver la forma en que los mejores trabajadores ejecutan sus trabajos. Con esto pueden enterarse de cuál es la mejor forma de hacer el trabajo. Si la mejor forma de eje-

cutar un trabajo es cosa de seguir un procedimiento en particular, más bien que de poseer un elevado grado de destreza, el procedimiento puede ser recomendado o exigido a otros trabajadores. Esto puede aumentar marcadamente el nivel de la producción en la empresa.

Requisitos del estudio de tiempos

Hay que dar cumplimiento a ciertos requisitos fundamentales antes de emprender el estudio de tiempos. Si se requiere el estándar para una nueva labor, o se necesita el estándar en un trabajo existente cuyo método se ha cambiado en todo o en parte, es preciso que el operario domine perfectamente la técnica de la operación en estudio. También es importante que el método que va a estudiarse se haya estandarizado en todos los puntos donde se va a utilizar.

El tiempo estándar

El tiempo estándar para una operación dada es el tiempo requerido para que un operario de tipo medio, plenamente calificado y adiestrado, y trabajando a un ritmo normal, lleve a cabo la operación. Se determina sumando el tiempo asignado a todos los elementos comprendidos en el estudio de tiempos.

Los tiempos elementales permitidos o asignados se evalúan multiplicando el tiempo elemental medio transcurrido, por un factor de conversión. Por lo tanto, se tiene la expresión:

$$T_a = (M_t) (C)$$

T_a = Tiempo elemental asignado.

M_t = Tiempo elemental medio transcurrido.

C = Factor de conversión que se obtiene multiplicando el factor de calificación de actuación por la suma de la unidad y la tolerancia o margen aplicable.

Métodos para el estudio de tiempos

Existen tres métodos generales para determinar el tiempo que toma ejecutar un trabajo. A continuación se describe cada uno de estos métodos:

1o.- Estudio de tiempos con base en la experiencia y el criterio.- El uso de la experiencia y del criterio es el método más antiguo para estimar el tiempo requerido para hacer un trabajo dado. En su aplicación más generalizada, se le puede pedir a un supervisor, o a un trabajador qué tiempo tomará hacer un determinado trabajo. Sin embargo, existen varios problemas asociados con este enfoque. Diferencia de criterios en cuanto a la estimación de cuánto tiempo toma hacer un trabajo. Otro problema se presenta al fijar tiempos estándar para nuevos trabajos que no se han hecho antes. En este caso, no hay experiencia directa en qué basarse y, por lo tanto, la estimación puede ser incorrecta.

Para solucionar algunos de los problemas antes descritos, algunos estimadores descomponen los trabajos en partes o elementos para mejorar el análisis. Primero pueden estimar el tiempo que toma obtener las materias primas. Luego pueden esti-

mar el tiempo necesario para hacer cada uno de los elementos del trabajo. Finalmente, estimarán el tiempo requerido para depositar los trabajos terminados y agregar cualquiera de las tolerancias que se estimen necesarias para demoras personales y por demoras inevitables en la producción.

Un refinamiento más es reunir datos sobre la producción pasada. A medida que el trabajador produce artículos para una orden, se le pide que registre el tiempo en que inicia su trabajo y el tiempo en que lo termina, además de registrar el número de unidades producidas en ese periodo de tiempo.

El uso de la experiencia, del criterio y de los registros pasados no son representativos de un método científico para la determinación de los tiempos estándar. Tanto el estudio de tiempos con cronómetro como el uso del estudio de tiempos sintéticos son más analíticos y científicos.

20.- Estudio de tiempos con cronómetro.- En términos generales, el estudio de tiempos con cronómetro comprende la observación de un trabajador ejecutando un trabajo, el registro de los tiempos reales necesarios para ejecutar cada uno de los elementos del trabajo por varios ciclos, hacer ajustes relativos a la eficiencia del trabajador, por demoras personales y por demoras de producción inevitables; finalmente, calcular el tiempo estándar requerido para el trabajo. Antes de tomar los tiempos requeridos por los elementos con un cronómetro, deben tomarse varias decisiones preliminares.

La primera decisión es si se estudia a los trabajadores promedio o a los trabajadores muy eficientes. El argumento a favor de estudiar al trabajador promedio es que los tiempos

registrados por sus actividades no estarán sujetos a muchas críticas cuando haya que ajustarlos por eficiencia. El argumento en contra de la selección del trabajador promedio descansa en dos bases. Primera, no hay un acuerdo sobre lo que represente al trabajador promedio. Segunda, presumiblemente no utilice los métodos más eficientes. Aún cuando estos son argumentos fuertes contra el empleo del trabajador promedio, suele ser elegido como tipo de persona para estudiarla.

Hay una buena razón para elegir para el estudio a los trabajadores más eficientes. Poseen destreza y métodos que pueden ser útiles en el rediseño del trabajo. El principal argumento en contra de estudiar a los trabajadores más eficientes está en el ajuste que debe hacerse por eficiencia.

La segunda de las decisiones preliminares que deben tomarse en cuenta es si se debe estudiar el método existente o revisar el método y luego hacer el estudio de tiempos. Si el método para hacer el trabajo es tan eficiente como debiera ser, por lo general, el analista lo aceptará e iniciará su estudio. Sin embargo, si la ineficiencia es evidente, el analista puede tomar tiempo para sugerir un cambio en el método para hacer el trabajo.

Una tercera decisión preliminar se relaciona con el tipo de cronómetro que se emplee para el estudio de tiempos. Existen dos tipos básicos, y la elección afecta el resultado del estudio. Con frecuencia ambas alternativas se incorporan en un cronómetro.

Un método es el uso del cronómetro de regreso a cero para el estudio de movimientos. Existen varias ventajas en el uso

del cronómetro de regreso a cero. Se registra directamente el tiempo que requiere cada elemento; el analista puede ver de inmediato si existen desviaciones importantes en los tiempos de los elementos reunidos de un ciclo al siguiente; etc. La principal desventaja del uso del método de regreso a cero es la cantidad de tiempo que requiere el analista para regresar a cero la manecilla y para reiniciar la marcha del reloj para el siguiente elemento. Aún cuando esto representa un tiempo muy corto, algunos piensan que esto crea un estándar más rígido que el que resultaría del uso del método continuo.

El método continuo para el estudio de tiempos se presenta en la siguiente forma; el analista coloca el reloj en cero y lo hace funcionar al principio del primer elemento. Al final de este primer elemento, registra el tiempo en el reloj. Al final del segundo elemento, vuelve a observar el reloj y registra el tiempo, etc. Esto se repite una y otra vez, elemento por elemento, en los distintos ciclos de trabajo. El registro que resulta es un registro acumulado del tiempo dividido en elementos. Para obtener los tiempos elementales del registro acumulado, deben hacerse sustracciones. Este método tiene una ventaja importante. No se pierde tiempo, ya que la manecilla no es regresada a cero después de cada elemento.

Aunque esta tercera decisión preliminar también asume la forma de un dilema, existe una salida. Esto implica el uso de tres cronómetros. Uno de ellos funciona de continuo y proporciona información sobre el tiempo total transcurrido en el trabajo. Los otros dos relojes (de regreso a cero) operan en forma alterna por medio de un dispositivo mecánico. Cuando un

reloj esta caminando, el otro esta parado. Con lo anterior se obtienen las ventajas del método de regreso a cero como las del método continuo.

Existe una práctica casi universal de usar cronómetros para propósitos del estudio de tiempos. Están calibrados en minutos decimales. Esto es, la carátula del reloj normal con doce divisiones se reemplaza con una de diez divisiones. Es más fácil trabajar con decimales que con las medidas estándares de tiempo y, por lo tanto, se usan para el estudio de tiempos.

30.- Estudio de tiempos sintéticos.— La preparación de los tiempos estándar no siempre requiere el largo procedimiento implicado en el estudio de tiempos con cronómetro. En algunos casos es posible desarrollar tiempos estándar en forma sintética, esto es, sin el uso del cronómetro. Existen dos métodos generales para el estudio sintético de tiempos. Uno implica el uso de los tiempos estándar de los elementos previamente desarrollados por el analista para los elementos comunes. El segundo implica el uso de tiempos estándar predeterminados. Existen varios sistemas que en forma general pueden ser aplicados a muchos tipos de situaciones del estudio de tiempos. Los más comunes están basados en el estudio de movimientos básicos, en el análisis de tiempos y movimientos, en los métodos de medición de tiempos y en el sistema Work-Factor.

Tiempos sintéticos de los movimientos básicos

Los tiempos sintéticos de los movimientos básicos son una colección de estándares de tiempo válidos, asignados a movimient

tos y a grupos de movimientos fundamentales, que no pueden ser evaluados, con exactitud, con el procedimiento ordinario del estudio cronométrico de tiempos.

Son el resultado del estudio de un gran número de muestras de operaciones diversificadas, con un dispositivo para tomar el tiempo, tal como la cámara de cine, que es capaz de medir elementos muy cortos. Los valores de tiempo son sintéticos, en cuanto que, son el resultado de combinaciones lógicas de Therbligs. Por ejemplo, una serie de valores de tiempo pueden establecerse para diferentes categorías de sujetar, en el tiempo de sujetar, pueden incluirse los therbligs de buscar, seleccionar y sujetar.

Sistema Work-Factor

La Work-Factor Company, Inc., es una de las instituciones primeras en el establecimiento de estándares sintéticos con valores de movimiento-tiempo. Los datos Work-Factor se dieron a conocer, después de cuatro años de reunir valores por medio de la técnica de micromovimientos, procedimientos por cronómetro y el uso de máquinas de tiempo fotoeléctricas especialmente construidas.

El sistema Work-Factor ha logrado su flexibilidad gracias al desarrollo de cuatro procedimientos diferentes de aplicación, que dependen de los objetivos del análisis y la exactitud requerida. Los procedimientos se conocen bajo los nombres de: técnicas de detalle, simplificada, abreviada y fácil.

1.- Sistema Work-Factor detallado.- Este sistema está dise-

ñado para proporcionar tiempos estándar precisos, ya sea para la medición del trabajo por día, o para planes de incentivos. También proporciona un instrumento de precisión para el análisis de métodos. Se aplica, en primer lugar, en operaciones de ciclos cortos, en trabajos repetitivos, y también, para desarrollar datos estándar.

2.- Sistema Work-Factor simplificado.- Esta diseñado para medir el trabajo en donde los ciclos son de más de 15 minutos y donde no se requiera máxima exactitud. En vez de anotar movimientos y tiempos individuales, como en el análisis detallado, el análisis simplificado emplea unidades de tiempo mayores. Esto proporciona un instrumento, con una ventaja considerable de velocidad, cuando se aplica a trabajos de ciclos largos.

3.- Sistema Work-Factor abreviado.- Es una técnica de rápida aplicación para determinar el tiempo aproximado que se requiere para efectuar la porción manual de un trabajo. Es igualmente aplicable a tareas domésticas, del campo, la oficina o la fábrica, y particularmente ventajoso para estimar costos de mano de obra en el avance de la producción real en todos los tipos de trabajo. Se puede utilizar para establecer tasas de incentivo sobre operaciones de pequeño volumen no repetitivas o de ciclo largo.

4.- Sistema Work-Factor fácil.- Este sistema se desarrollo para satisfacer la necesidad de un instrumento de evaluación simple, para que el trabajo manual pueda enseñarse, fácilmente, a personas que se dedican a otras funciones diferentes al estudio de tiempos, tales como: diseño de productos, estimaciones, métodos de fabricación, etc.

Estudio de Movimientos.— Es el análisis cuidadoso de los diversos movimientos que efectúa el cuerpo al ejecutar un trabajo. Su objeto es eliminar o reducir los movimientos ineficientes, y facilitar y acelerar los eficientes. Por medio del estudio de movimientos, el trabajo se lleva a cabo con mayor facilidad y aumenta el índice de producción.

Objetivos del estudio de movimientos

El principal objetivo del estudio de movimientos es crear los procedimientos y condiciones óptimas para el trabajo. Para alcanzar este objetivo fundamental, se persiguen varios otros objetivos específicos. El análisis del estudio de movimientos intenta:

- 1.- Eliminar tantos movimientos innecesarios como sea posible.
- 2.- Combinar las actividades relacionadas.
- 3.- Cambiar la secuencia de las actividades.
- 4.- Aumentar la eficiencia de las actividades.
- 5.- Reducir la fatiga física.
- 6.- Mejorar el arreglo del sitio de trabajo.
- 7.- Mejorar el proceso del manejo de materiales.
- 8.- Hacer que haya mayor seguridad en la actividad.
- 9.- Mejorar el diseño del producto.
- 10.- Mejorar el diseño de herramientas, implementos y otros auxiliares.
- 11.- Estándarizar los procedimientos y condiciones de trabajo óptimo para que los trabajadores puedan usar con uni

formidad la mejor forma posible de ejecutar una actividad.

Técnicas para el estudio de movimientos

El logro de los muchos objetivos del estudio de movimientos no puede ser dejado a la aplicación de reglas empíricas. Para desarrollar procedimientos y condiciones de trabajo óptimos, el analista del estudio de movimientos debe utilizar técnicas analíticas especiales. Muchas de tales técnicas han sido creadas en las últimas décadas, y algunas más están ahora en la etapa de desarrollo. Las cuatro técnicas más comúnmente usadas son las que se presentan a continuación:

- 1a.- Principios del estudio de movimientos.
- 2a.- Análisis de therbligs.
- 3a.- Estudio de micromovimientos.
- 4a.- Diagramas de proceso.

Principios del estudio de movimientos

Los principios se dividen en tres categorías: (a) principios relacionados al uso del cuerpo humano, (b) principios relacionados a la disposición y estado del lugar de trabajo y (c) principios relacionados con el diseño de las herramientas y los aparatos.

a).- Uso del cuerpo humano

- 1.- Ambas manos deben comenzar y terminar en el mismo ins

tante.

- 2.- Las manos no deben estar ociosas en un mismo instante, salvo durante los periodos de descanso.
- 3.- Los movimientos de los brazos deben ser simétricos y, por lo general, en sentidos opuestos, y deben hacerse simultáneamente.
- 4.- Los movimientos deben limitarse a las clasificaciones más bajas posibles con el fin de reducir la fatiga.
- 5.- Debe emplearse el impulso, siempre que sea posible, para ayudar al trabajador, y debe reducirse al mínimo cuando haya que refrenarlo por un esfuerzo muscular.
- 6.- Los movimientos continuos curvados son preferibles a los movimientos en línea recta que impliquen cambios súbitos y bruscos de dirección.
- 7.- Los movimientos balísticos son más rápidos, más fáciles y más precisos que los restringidos o controlados.
- 8.- Debe establecerse un orden de sucesión de los movimientos para introducir en la operación el ritmo y el automatismo.
- 9.- Debe evitarse hacer con las manos todos los trabajos que puedan realizarse con los pies o con otras partes del cuerpo.

b).- Disposición y estado del lugar de trabajo

- 1.- Deben proporcionarse sitios definidos y fijos para todas las herramientas y todos los materiales.
- 2.- Siempre que sea posible, deben situarse previamente

las herramientas y los materiales en sitios determinados.

- 3.- Deben emplearse casilleros o depósitos con alimentación por gravedad para entregar el material cerca del punto en que se utiliza.
- 4.- Todos los materiales y todas las herramientas deben situarse dentro del área normal alcanzada por el operario.
- 5.- Todas las herramientas y todos los materiales deben situarse de manera que permitan el mejor orden de sucesión de los therbligs.
- 6.- Usense expulsores o entrega por caída, con objeto de que el operario pueda entregar el artículo acabado soltándolo en la posición en que se terminó.
- 7.- La altura del lugar de trabajo y la de la silla deben disponerse de manera que sea fácil estar sentado o de pie alternativamente mientras se trabaja.
- 8.- Debe proporcionarse a cada operario una silla de un tipo que le permita adoptar una postura correcta.
- 9.- Debe proporcionarse una iluminación de la intensidad y la calidad apropiadas.
- 10.- Siempre que sea posible, debe elegirse el color del lugar de trabajo, de modo que facilite la percepción visual y reduzca la fatiga de la vista.
- 11.- Para contribuir a la comodidad y a la salud del operario debe proveerse una ventilación adecuada por aire acondicionado en cuanto a temperatura y humedad.

c).- Diseño de las herramientas y los aparatos

- 1.- Siempre que sea posible, deben combinarse dos o más herramientas en una.
- 2.- Las máquinas que se hacen funcionar con los dedos deben estar diseñadas de manera que distribuyan la carga entre éstos de acuerdo con su capacidad para realizar el trabajo.
- 3.- Los mangos, como los que se ponen a las manivelas y los atornilladores grandes, con los que haya que ejercer una fuerza considerable, deben diseñarse de manera que se ponga en contacto con ellos la mayor superficie posible de la mano.
- 4.- Las palancas, las manivelas y los volantes de mano deben situarse de manera que el operario pueda manipularlos con el menor cambio posible en la posición de su cuerpo y con la mayor ventaja mecánica.

Análisis de los therbligs

Un therblig es un movimiento básico elemental. La mayor parte de los trabajos manuales pueden realizarse con un número relativamente pequeño de movimientos elementales que se repiten una y otra vez. Los movimientos están divididos en 17 clases, la mayoría de éstas son movimientos de las manos, algunas son la ausencia de movimiento y otras son reacciones mentales. Se denominan como movimientos básicos o elementos básicos de Gilbreth.

En la figura 3.2 se muestran las 17 clases de movimientos básicos necesarios para ejecutar cualquier trabajo. A continuación se explica cada uno de estos movimientos.


















ELEMENTO	SIMBOLO ADOPTADO	SIMBOLO GRAFICO	COLOR
<u>PRODUCTIVOS</u>			
1.- ALCANZAR	AL		VERDE OLIVO
2.- MOVER	M		VERDE
3.- TOMAR	T		ROJO DE LACA
4.- POSICION	P		AZUL
5.- DESENSAMBLAR	DE		VIOLETA CLARO
6.- SOLTAR	SL		ROJO CARMIN
7.- INSPECCIONAR	I		OCRE QUEMADO
8.- UTILIZAR	U		PURPURA
9.- ENSAMBLAR	E		VIOLETA OSCURO
<u>RETARDANTES</u>			
10.- POSICION PREVIA	PP		AZUL CIELO
11.- BUSCAR	B		NEGRO
12.- SELECCIONAR	SE		GRIS CLARO
13.- PLANEAR	PL		CAFE PARDO
<u>IMPRODUCTIVOS</u>			
14.- SOSTENER	SO		OCRE DORADO
15.- RETRASO EVITABLE	RE		AMARILLO LIMON
16.- RETRASO INEVITABLE	RI		AMARILLO OCRE
17.- DESCANSO	DES		NARANJA

Fig. 3.2 Movimientos Fundamentales.

De las numerosas definiciones e interpretaciones de estos therbligs se han derivado las siguientes explicaciones para aclarar los significados de sus respectivos términos.

1.- Alcanzar.- Es el elemento básico empleado cuando la intención predominante es mover la mano hacia un destino o lugar general, el alcanzar se inicia con el primer movimiento perceptible y termina cuando el movimiento ha cesado, los factores que afectan este therblig son: distancia, destino y tipo de movimiento.

2.- Mover.- Es el elemento básico empleado con el fin predominante de transportar un objeto a un destino, los factores que afectan a este therblig son: distancia, destino, tipo de movimiento y peso.

3.- Tomar.- Este es el movimiento elemental que hace la mano al cerrar los dedos rodeando una pieza o parte para asirla en una operación, el tomar es un therblig eficiente y, por lo general, no puede ser eliminado, aunque en muchos casos se puede mejorar, los factores que afectan este therblig son: tamaño del objeto, forma del objeto y situación en que se encuentra.

4.- Posición.- Es el elemento básico que se emplea para alinear, orientar y montar un objeto en otro, cuando los movimientos que se hacen son tan pequeños que no justifique el clasificarlos como otros elementos básicos, muchas veces la posición puede eliminarse usando guías y topes que ponen en posición automáticamente la pieza cuando termina el elemento mover.

5.- Desensamblar.- Ocurre cuando se separan piezas embonan-

tes unidas, el desensamblaje comienza en el momento en que una o ambas manos tienen control del objeto después de cogerlo, y termina una vez que finaliza el desensamblaje, los factores que afectan este therblig son: ajuste, facilidad de manejo y cuidado.

6.- Soltar.- Es el elemento básico que se emplea para abandonar el control que los dedos o la mano ejercen sobre un objeto, el movimiento empleado es abrir los dedos de la mano.

7.- Inspeccionar.- Es el elemento básico empleado para examinar con fines de identificación o para comparar con un patrón la calidad de un objeto, utilizando para ello cualquiera de los sentidos, puede realizarse con los ojos, con los dedos o con cualquiera de los otros órganos de los sentidos.

8.- Utilizar.- Consiste en usar un objeto puesto en una posición disponiéndole sobre o en otro objeto del cual forma parte integrante, o en manipular una herramienta o un dispositivo de la manera para la cual se construye, avanza siempre la operación hacia el objetivo final.

9.- Ensamblar.- Es la división básica que ocurre cuando se reúnen dos piezas embonantes, el ensamble ir precedido de colocar en posición o mover, y generalmente va seguido de soltar, comienza en el instante en que las dos piezas a unir se ponen en contacto, y termina al completarse la unión.

10.- Posición previa.- Prepara el dispositivo transportador o el objeto de transportar para el elemento básico siguiente que, casi siempre, es Posición, casi nunca se efectúa como movimiento independiente, pero se hace habitualmente al mismo tiempo que otro movimiento.

11.- Buscar.- Es el elemento básico que se emplea para localizar cualquier objeto, buscar implica la necesidad de encontrar, y puede eliminarse con una colocación previa exacta al hacer la preparación y al establecer el orden de sucesión de movimientos.

12.- Seleccionar.- Es el elemento básico empleado al escoger entre varios objetos que han sido encontrados como resultado de buscar, si se han normalizado las condiciones de trabajo, no debe haber necesidad de escoger.

13.- Planear.- Es el retraso o vacilación para decidir el método a seguir, este elemento básico no puede eliminarse del todo, pero el orden de sucesión de movimientos debe disponerse de forma que todo el planeamiento se haga en determinado momento del ciclo.

14.- Sostener.- Es el elemento básico utilizado para sostener con la mano un control estático sobre un objeto mientras se ejecuta un trabajo en él, y su naturaleza es tal que la sustitución por un soporte no perjudicará el trabajo.

15.- Retraso evitable.- Es aquel que se produce cuando el orden de sucesión de movimientos no reconoce como necesario ningún retraso, casi siempre lo origina el operario, y puede ser cualquier cosa, desde una simple inactividad hasta un retraso personal involuntario.

16.- Retraso inevitable.- Es la interrupción de trabajo debida a la disposición del orden de los movimientos, corresponde al tiempo muerto en el ciclo de trabajo experimentado por una o ambas manos, según la naturaleza del proceso.

17.- Descanso.- Esta clase de retraso suele aparecer periódicamente como necesidad que experimenta el operario de reponer

se de la fatiga, la duración del descanso variará, como es natural, según la clase de trabajo y según las características del operario que lo ejecuta.

Estudio de micromovimientos

El estudio de los micromovimientos es un método muy detallado para el análisis de los therbligs. Se refiere a la subdivisión de una operación en sus elementos básicos y a la medida cuantitativa de sus tiempos. Este estudio se realiza registrando la operación en una película fotográfica y empleando un procedimiento para medir el tiempo que ocupa cada therblig. Para registrar el tiempo que toma cada elemento de trabajo se usan dos métodos:

- 1.- Con uno de ellos, se usa un microcronómetro. Esencialmente es un reloj que se coloca dentro del radio de alcance de la cámara y que funciona de continuo mientras el operario ejecuta su trabajo.
- 2.- Con el otro método, no se emplea ningún reloj. Como la película cinematográfica se toma a una velocidad constante por la cámara, el número de marcos, que se usan para tomar a un elemento en particular, es proporcional al tiempo que se requirió para terminar el elemento.

Dos variantes del método de micromovimientos son el estudio de memomovimientos y las gráficas cronocíclicas.

El estudio de memomovimientos implica tomar película cinematográfica a baja velocidad, por lo general de un cuadro por

segundo, y después analizarla.

El uso de gráficas cronocíclicas, aún cuando se encuentra rara vez en la industria, es una técnica interesante del estudio de movimientos. Se colocan pequeñas luces en las manos del trabajador y se toma una sola foto de sus movimientos con el obturador de la cámara abierto durante el ciclo de trabajo. El resultado es una fotografía un tanto borrosa, pero que muestra con claridad los movimientos de las manos como rayos luminosos.

El costo de un estudio de micromovimientos es muy alto en comparación con el costo de un estudio visual de movimientos para la misma operación.

Existen varias ventajas en el uso del estudio de micromovimientos. Revela detalles de los movimientos muy rápidos que escapan a la visión normal, proporciona un registro permanente de la forma en que se ejecuta un trabajo, etc.

Diagramas de proceso

Los diagramas de proceso son métodos gráficos para describir un trabajo en particular. En el estudio de movimientos, estos diagramas se emplean para describir un proceso en la forma en que corrientemente se ejecuta. Una vez que se han construido los diagramas para el proceso, el analista del estudio de movimientos los examina y trata de mejorar el proceso. Una vez que se ha concluido su investigación, hace la propuesta del proceso mejorado en diagramas de proceso. Este es el método general para usar cualquier tipo de diagrama de proceso. Los tipos especiales de diagramas que por lo común se emplean son

los que siguen:

- 1.- Diagramas de flujo del proceso.
- 2.- Diagramas de proceso del operador.
- 3.- Diagramas de movimientos simultáneos.
- 4.- Diagramas hombre-máquina.

Diagramas de flujo del proceso

El diagrama de flujo del proceso es un método gráfico para describir la secuencia de actividades comprendidas en un trabajo. Las actividades se ponen en categorías como operaciones, almacenamientos, transportes, inspecciones o demoras.

Cuando se emplea un diagrama de flujo del proceso, el analista del estudio de movimientos observa la forma en que un operador ejecuta un trabajo y registra la información que proporciona la descripción de ese trabajo. El diagrama cuenta con espacios para la descripción de cada una de las actividades del trabajo. Hay una columna para los símbolos de cada actividad.

El uso de estos símbolos hace que el analista del estudio de tiempos ponga varias actividades de los trabajos en unas cuantas categorías para su análisis. Los símbolos pueden definirse en la forma siguiente:

Una operación (○).- Es un cambio en un producto, un ensamble de partes, o la preparación de un producto para otra operación, almacenamiento, transportación o inspección.

Un almacenamiento (▽).- Es cuando un producto se guarda

en un lugar determinado sin estar sujeto a operaciones, transportaciones o inspecciones.

Una transportación (\Rightarrow).- Implica movimiento de un producto de un lugar a otro.





Una inspección (\square).- Implica la revisión de un producto en términos de sus características.

La demora (D).- Se presenta cuando no se puede ejecutar ninguna otra actividad.

Además de los símbolos, se anotan los tiempos para la mayoría de las actividades, lo mismo que las distancias cuando hay transportación.

Diagrama de proceso del operador

El diagrama de proceso del operador enfoca la atención sobre las actividades de la mano derecha e izquierda del operador. En este respecto, es más detallado que muchos diagramas de proceso. Este diagrama usa los siguientes símbolos:

-  indica una operación
-  indica una retención
-  indica una transportación
-  indica una demora

Como en el caso de los diagramas de flujo del proceso, el analista del estudio de movimientos examina primeramente el trabajo como se efectúa actualmente y lo asienta en un diagrama

ma. Luego analiza el trabajo para ver si se puede hacer mejoras. Finalmente prepara un nuevo diagrama de proceso del operador mostrando el método mejorado.

Diagramas de movimientos simultáneos

El diagrama de movimientos simultáneos, o diagrama "simo", como generalmente se le llama, es un método gráfico similar al diagrama de proceso del operador. Se usa en la misma forma y sólo se diferencia en que entra en muchos más detalles. Con frecuencia estos diagramas se construyen para describir las actividades de las manos derecha e izquierda del operador. En algunos casos se emplean estos diagramas para describir al detalle las operaciones de los dedos del operador. Como el objetivo es un mayor detalle, tales diagramas no emplean los símbolos para operación, retener, transportación y demora. En vez de ellos se emplean los símbolos para los therbligs implicados en el trabajo.

Diagramas hombre-máquina

El diagrama hombre máquina es un método gráfico para describir las actividades combinadas de un operador y de su máquina. Tales diagramas pueden usarse para mostrar las actividades combinadas de un hombre y una máquina.

Los diagramas por lo general se dividen en tres categorías: actividades independientes del hombre y de la máquina; actividades combinadas del hombre y de la máquina; y tiempo ocioso, ya sea del hombre o de la máquina. La escala que se em-

plea es una escala vertical de tiempo con espacios de la longitud correspondiente a las longitudes de tiempo requeridas para las actividades.

Leyes de la economía de movimientos

- 1.- Ambas manos deben iniciar y finalizar simultáneamente sus divisiones básicas de trabajo y no deben estar inactivas al mismo tiempo, salvo durante los periodos de descanso.
- 2.- Los movimientos de las manos deben ser simétricos y alejándose del cuerpo y acercándose a este simultáneamente.
- 3.- El impulso e ímpetu físico de una acción debe ser aprovechado en ayuda del trabajador siempre que sea posible, y reducirse al mínimo cuando haya que ser contrarrestado por esfuerzo muscular.
- 4.- Los movimientos continuos en línea curva son preferibles a los realizables en línea recta con cambios de dirección repentinos y bruscos.
- 5.- Debe emplearse el menor número posible de divisiones básicas de trabajo y éstas deben limitarse a las de las clasificaciones del orden más bajo posible.
- 6.- Debe procurarse que todo trabajo que pueda hacerse con los pies se ejecute al mismo tiempo que el que se realice con las manos.
- 7.- Los dedos pulgar y medio pueden efectuar trabajo más pesado. El índice, el anular y el meñique no son capaces de manejar cargas considerables por largo tiempo.

- 8.- Los movimientos de torsión deben hacerse con los codos flexionados.
- 9.- Para asir o tomar las herramientas deben usarse las falanges de los dedos más cercanas a la palma de la mano.
- 10.- Deben destinarse sitios fijos para guardar toda herramienta y material, a fin de permitir que haya la mejor secuencia de operaciones y eliminar o reducir los therbligs de buscar y seleccionar.

4.- BALANCEO DE LINEAS

Balanceo de líneas.- El balanceo de líneas es agrupar o dividir actividades de tal forma que cada estación de trabajo tenga igual trabajo.

Estación de trabajo.- Una estación de trabajo es el área ocupada por el operario u operarios y el equipo con el cual se trabaja.

Metodología para el balanceo de la línea de producción

- 1.- Tomar tiempos de cada actividad.
- 2.- Elaborar la secuencia del proceso.
- 3.- Calcular el tiempo total para que sea elaborada una pieza.
- 4.- Calcular las variaciones de las tasas o ritmo de trabajo.
- 5.- Calcular el número de estaciones de trabajo.
- 6.- Balancear la línea según los ritmos de trabajo.

Mecánica del balanceo

Balancear una línea supone establecer una relación entre:

- 1.- El ritmo de producción.
- 2.- Las operaciones necesarias y su adecuada sucesión.
- 3.- El tiempo necesario para realizar cada operación y, preferentemente, cada elemento de operación.

Estos constituyen los requisitos previos. Para establecer la línea, ésta debe ser planeada con un ritmo dado de producción; para que funcione como una unidad, los tiempos de las operaciones deben ser tales que el material circule uniformemente. El estudio de tiempos, los tiempos de movimiento previamente determinados, los datos tipo y la capacidad de las máquinas, desempeñan ahora su misión. Sirven especialmente para establecer una línea balanceada, excepto en los casos en que se estima el tiempo total y se deja a los operarios que equilibren las operaciones por sí mismos. Esto último puede hacerse en operaciones sencillas, cuyo ritmo es marcado por el operario, si hay espacio para formar bancas (acumulación de material en espera de una operación) de material entre las operaciones y si existe algún tipo de incentivo colectivo. Si bien esto da resultado en algunos casos, generalmente tiene como inconveniente el establecimiento de bancas de seguridad demasiado grandes, y no puede considerarse como un método preciso de organización de la línea.

Las etapas para el balanceo comprenden lo siguiente:

- 1.- Relacionar las operaciones necesarias o los elementos de las mismas.
- 2.- Ponerlas en orden, anotando junto a cada una la operación o elemento de operación inmediato al que debe prece-

der o seguir.

- 3.- Indicar el tiempo elemental para cada operación, señalando cuál es la operación determinante o "cuello de botella".
- 4.- Ajustar las operaciones, combinándolas, dividiéndolas o cambiando los métodos previamente indicados, para obtener un tiempo total en cada operación igual al factor de equilibrado o tiempo por estación.
- 5.- Dibujar, hacer una gráfica o bien representar de cualquier otra forma sobre el papel las operaciones, tiempo y mano de obra de la línea equilibrada.

El problema más relevante de un sistema de producción en serie es lograr un buen balance de las capacidades y flujos del proceso. El problema del balanceo de líneas surge en el sistema de producción en serie debido a que los trabajos deben dividirse en unidades de igual trabajo (estaciones) para evitar tiempos ociosos.

Existen grados de continuidad en el proceso en los sistemas de producción en serie. Varían desde sistemas completamente automáticos de flujo continuo hasta situaciones en las cuales la demanda por un grupo de artículos similares es relativamente continua, variando en cantidad a lo largo del tiempo.

El balanceo de líneas es un asunto de agrupar equipos y trabajadores en una forma eficiente. Para la producción en altos volúmenes de artículos idénticos, pueden justificarse estudios matemáticos costosos, usando programación lineal o dinámica, para lograr el balanceo de la línea. De otro lado, los

sistemas de flujo intermitentes son diseñados con frecuencia utilizando procedimientos heurísticos y técnicas apropiadas para la solución de problemas de programación de trabajos, asignación de trabajos a los departamentos y secuenciación de equipo.

Métodos para balancear las operaciones de conformación de material

1.- Mejorar la operación.- Para el buen balanceo de las líneas de conformación de material es necesario concentrar la atención en las operaciones "cuello de botella", cambiando el método se pueden reducir los tiempos de máquina al ritmo deseado de producción.

2.- Cambiar las velocidades de las máquinas.- A veces es fácil y práctico cambiar las velocidades de las máquinas. También puede ser práctico reducir la velocidad de alguna máquina para igualar su ritmo con otras operaciones.

3.- Apilar material y hacer trabajar las máquinas lentas durante horas extras.- Esto sacrifica espacio en el taller y aumenta la cantidad de material en proceso en las operaciones "cuello de botella". Es un procedimiento sencillo cuando se tienen sólo una o dos máquinas desbalanceadas a causa de su lentitud. No es posible cuando se trabaja en tres turnos.

4.- Llevar las piezas en exceso a otras máquinas fuera de la línea.- Esto es también práctico cuando se tienen uno o pocos puntos de contracción en la línea. Estas piezas se llevan a otra máquina, devolviéndolas a la línea una vez terminadas. Frecuentemente, una máquina cara puede colocarse de forma que

sea común a dos o tres líneas, siempre que sea suficientemente rápida.

5.- Productos diversos o líneas combinadas.- A veces es posible agrupar productos semejantes y producirlos en una línea combinada. La teoría de este proceso consiste en absorber el tiempo inactivo de máquina de un producto a otro.

Métodos para balancear las operaciones de montaje

1.- Dividir las operaciones y repartir sus elementos.- Este es el sistema más corriente para equiparar las operaciones de montaje. Puesto que las operaciones de montaje pueden dividirse fácilmente, se obtiene un alto grado de balanceo con poco tiempo inactivo.

2.- Combinar las operaciones balanceando los grupos.- Algunas veces no es práctico dividir demasiado una operación. Esto es especialmente cierto en líneas cortas. En este caso se pueden asignar tres operaciones a un grupo de cinco operarios y hacerles alternar en las operaciones comprendidas en el sistema. Esto implica balancear el tiempo inactivo de cada operación con los de las demás, sin subdividir ninguna. Algunos operarios habrán de cambiar de puesto para cubrir dos operaciones.

3.- Mover a los operarios.- Cuando las operaciones absorben un tiempo menor que el de balance, o tiempo por estación, un operario puede moverse con su trabajo, haciendo varias operaciones. A veces puede incluso trabajar en dos líneas diferentes. También puede ir a estaciones con exceso de trabajo y ayudar en ellas.

4.- Mejorar las operaciones.- Cuando una operación es más larga que el tiempo por estación, se puede balancear mejorando el método. Si no se puede dividir la operación, es conveniente estudiarla mejor para reducir su tiempo.

5.- Formar bancas de material y realizar las operaciones más lentas en horas extras.- Esto sacrifica espacio en el taller y aumenta el material en proceso en las operaciones "cuello de botella". Requiere horas extras de supervisión, no es posible cuando se trabaja en tres turnos.

6.- Mejorar el rendimiento del operario.- A veces puede balancearse una estación localizando su operación "cuello de botella", se puede escoger al operario más rápido o hábil para realizarla, se puede asignar una ayuda especial, un operario auxiliar durante el periodo de descanso, o un manipulador de materiales que coloque el trabajo en posición adecuada.

El problema que se presenta al balancear una línea de producción determinada, depende de las características y necesidades que se presenten en la empresa de que se trate. Debido a la gran cantidad y variedad de empresas existentes, es obvio que el problema del balanceo de líneas que se presente en cada una de ellas va a ser diferente y va a presentar diferentes grados de dificultad, mientras que en algunas va a ser relativamente fácil el balanceo de las líneas, en algunas otras se va a presentar mayor dificultad.

Para entender lo anterior se presentan algunos ejemplos que contemplan diferentes formas de balancear las líneas, de acuerdo a las características del sistema de producción, maquinaria utilizada, capacidad de los operarios, necesidades de

producción, etc. Dichos ejemplos van desde el balanceo de líneas diseñado cuando se esta realizando la distribución de planta, hasta ejemplos de problemas que se presentan cuando la empresa esta en plena marcha y requiere un adecuado balanceo de sus líneas.

Diseño del balanceo de líneas cuando se realiza la distribución de planta

Para balancear las líneas se aplica la técnica que utiliza gráficas de precedencia y matrices de precedencia. Con esta técnica, la secuencia de las operaciones se expresa gráficamente en términos que muestren todas las operaciones necesarias y sus relaciones. La figura 4.1 es una representación de tal gráfica.

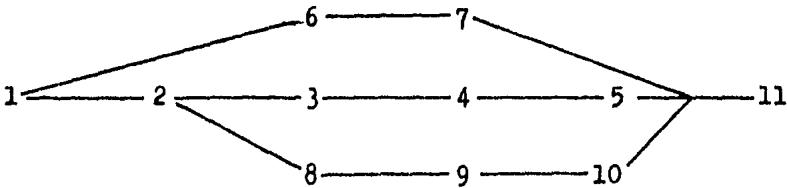


Fig. 4.1 Gráfica de precedencia

La gráfica de precedencia en la figura 4.1 indica que la operación uno va seguida por las operaciones 6 o 2. La operación 7 debe seguir a la operación 6. La operación 2 es seguida ya sea por las operaciones 3 u 8. Las operaciones 4 y 5 deben seguir a la operación 3. Las operaciones 9 y 10 deben se-

guir a la operación 8. Finalmente, las operaciones 7, 5 y 10 deben ser terminadas antes de la operación 11. La gráfica de precedencia es muy similar a la gráfica de PERT. Una vez que se establecen las relaciones de precedencia, se puede formar una matriz de precedencia. Un ejemplo de dicha matriz, basado en la figura 4.1, se presenta en la figura 4.2 .

Operación	Operación siguiente	Operación precedente
1	2-6	Ninguna
2	3-8	1
3	4	2
4	5	3
5	11	4
6	7	1
7	11	6
8	9	2
9	10	8
10	11	9
11	Ninguna	5-7-10

Fig. 4.2 Matriz de precedencia.

Una vez que se han establecido las pautas de preferencia entre estas once operaciones es posible intentar balancear la línea de producción. Para propósitos ilustrativos supondremos que el sistema de producción será balanceado para producir 72 unidades por hora. Considerando la gráfica de precedencia se puede elegir diseñar la distribución a lo largo de tres lí-

neas de producción, las cuales designaremos A, B y C en la figura 4.3 .

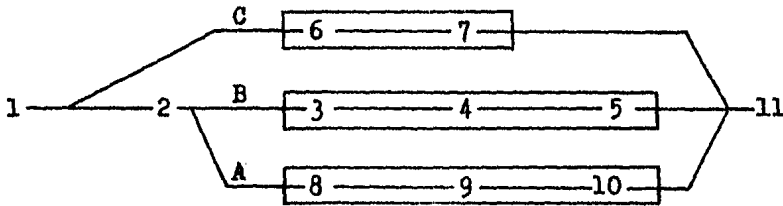


Fig. 4.3 Determinación de las líneas de producción

Regresando desde la operación 11 en la figura 4.3 y reconociendo que se necesitarán 72 unidades por hora de estas 3 líneas, podríamos determinar que deseamos balancear la producción de manera que las líneas de producción A, B y C alimentarán cada una de ellas a la operación 11, 24 unidades por hora. Así, la línea A, que comprende a las operaciones 8, 9 y 10 debe balancearse a 24 unidades por hora; la línea B, que comprende las operaciones 3, 4 y 5, debe balancearse a 24 unidades por hora; y la línea C, compuesta de las operaciones 6 y 7 también debe balancearse a 24 unidades por hora.

Ambas líneas A y B requieren una entrada de 24 unidades por hora de la operación 2, por lo que se tiene que diseñar para que proporcione 48 unidades por hora. La operación 1 debe de proporcionar 72 unidades por hora, como la entrada de 24 unidades que va a la operación 6 y 48 unidades a la operación 2, la que a su vez dividirá esa cantidad en partes iguales para alimentar a las líneas A y B.

La lista de las capacidades asociadas con cada una de las once operaciones, tal como la que sigue, es la información necesaria para desarrollar una distribución.

<u>Operación</u>	<u>Capacidad</u> <u>(unid./hr/máq.)</u>	<u>Número de</u> <u>máquinas</u>	<u>Cantidades de</u> <u>producción</u>		
			<u>Línea A</u>	<u>Línea B</u>	<u>Línea C</u>
1	24	3	24	24	24
2	8	6	24	24	
3	4	6		24	
4	12	2		24	
5	6	4		24	
6	8	3			24
7	4	6			24
8	4	6	24		
9	12	2	24		
10	6	4	24		
11	24	3	24	24	24

En este punto la gráfica de precedencia ha sido reducida a una serie de líneas de producción y ya ha sido determinado el número de máquinas requeridas para cada operación. También es conocida la secuencia. El siguiente requisito es programar un modelo detallado de flujo de máquinas en una gráfica de precedencia ampliada. Este modelo se describe en la figura 4.4 .

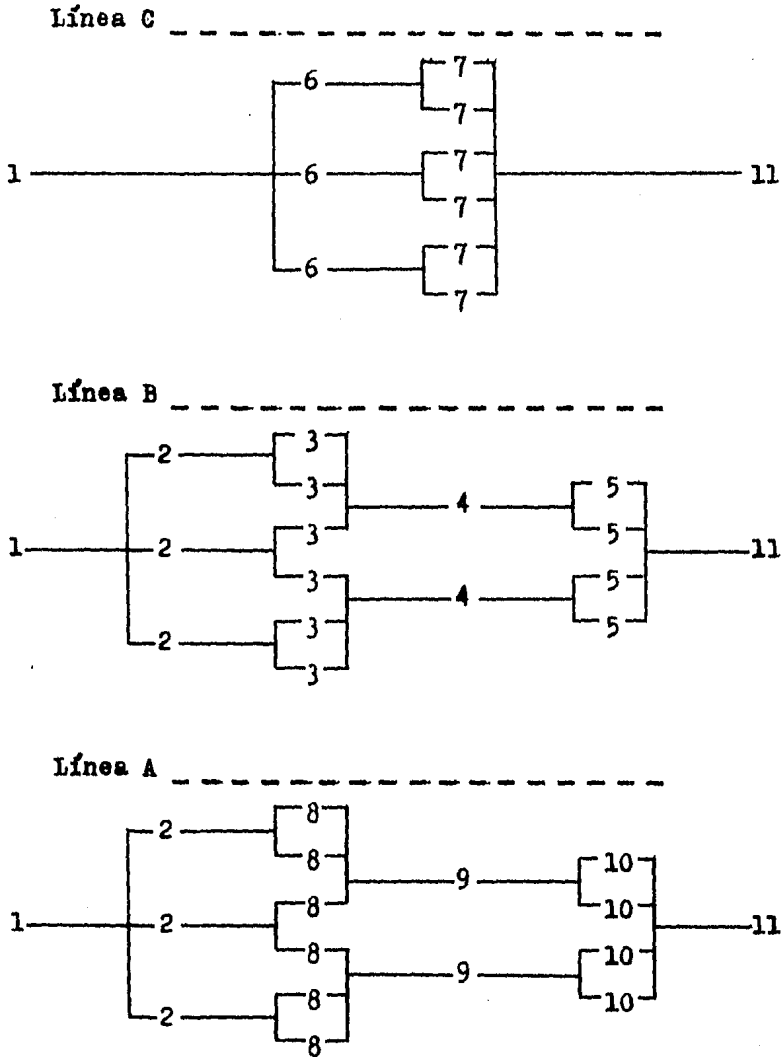


Fig. 4.4 Gráfica de precedencia de máquina

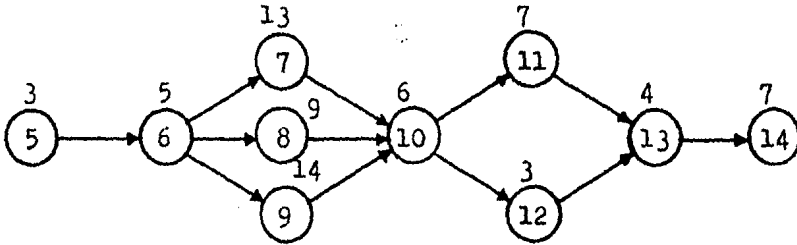
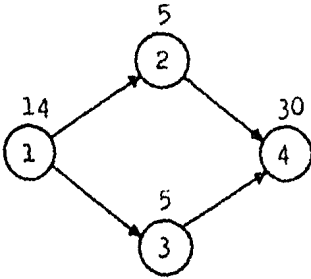
Balanceo de la línea empleando la metodología

Supóngase que después de un estudio previo se obtuvo la siguiente información, balancear la línea productiva con 4 pzas/hr y 2 pzas/hr, utilizando la metodología general, en la siguiente tabla se muestra la información obtenida:

Operación	Duración (min.)	Operación precedente
1	14	Ninguna
2	5	1
3	5	1
4	30	2,3
5	3	Ninguna
6	5	5
7	13	6
8	9	6
9	14	6
10	6	7,8,9
11	7	10
12	3	10
13	4	11,12
14	7	13

Ahora se aplica la metodología general:

- 1.- Ya se tienen los tiempos de cada actividad.
- 2.- Se elabora la secuencia del proceso.



3.- Se calcula el tiempo total: $\sum_{i=1}^m X_i = 125 \text{ min.}$

4.- Las variaciones son: 4 pzas/hr y 2 pzas/hr.

5.- Se calcula el número de estaciones de trabajo (N), para los dos ritmos de trabajo.

$$N_{4 \text{ pzas/hr}} = \frac{\text{Tiempo total}}{15 \text{ min}} = \frac{125 \text{ min}}{15 \text{ min}} = 8.33$$

$$N_{4 \text{ pzas/hr}} = 8 \text{ ó } 9 \text{ estaciones de trabajo.}$$

$$N_{2 \text{ pzas/hr}} = \frac{\text{Tiempo total}}{30 \text{ min}} = \frac{125 \text{ min}}{30 \text{ min}} = 4.16$$

$$N_{2 \text{ pzas/hr}} = 4 \text{ ó } 5 \text{ estaciones de trabajo.}$$

6.- Se balancea la línea de acuerdo a las estaciones de trabajo que se obtuvieron.

Balanceo de la línea utilizando adecuadamente las máquinas

Suponiendo que se tiene una línea que consta de cuatro máquinas cada una de las cuales ejecuta una sola operación. Los tiempos de funcionamiento de la unidad pueden ser como sigue:

Número de operación	Tiempo requerido por unidad de producción, min.	Producción por hora, unidades
1	10	6
2	20	3
3	10	6
4	20	3

Examinando estos tiempos de funcionamiento se puede deducir claramente que si se asigna una máquina de operación, la línea no estará equilibrada. La razón es que la primera y la tercera máquinas producen dos veces más unidades por hora que la segunda y la cuarta máquinas. Como consecuencia, los materiales comenzarán a acumularse en la segunda estación y, con el tiempo, la tercera estación estará funcionando al 50% de su capacidad.

Para corregir esta situación se pueden hacer varias cosas. Primero, sería posible asignar dos máquinas a cada una de las operaciones en las que se presenta obstrucción. Lo anterior duplicaría la producción de estas estaciones y la línea estaría ahora balanceada. Si se hace esto la capacidad de producción de la línea sería de 6 unidades por hora.

Sin embargo es factible que no se requiera una capacidad de 6 unidades por hora. Por ejemplo, supongamos que la línea puede hacerse funcionar a un máximo de 150 horas al mes. Con una capacidad de producción de 6 unidades por hora, la capacidad mensual sería de 900 unidades al mes. Pero si el programa de producción sólo exige 450 unidades, la línea estaría inactiva el 50% del tiempo, lo cual no es económico. Por lo tanto, una mejor alternativa sería asignar una sola máquina a cada operación, pero logrando que las máquinas que ejecutan la segunda y cuarta operaciones funcionen el doble de horas que las otras dos máquinas.

El exceso de producción podría almacenarse temporalmente en las estaciones segunda y cuarta. Aunque la primera y tercera máquinas estarían inactivas el 50% del tiempo, las otras dos estarían funcionando a plena capacidad y como resultado la línea se utilizaría en forma más completa que en la primera alternativa.

Sin embargo, el hecho de que continua existiendo alguna capacidad inactiva sugiere que podría haber otra alternativa más atractiva. Esta exige tomar medidas para cambiar las necesidades de tiempo de las distintas operaciones. Por ejemplo, es posible obtener máquinas cuya capacidad de producción individual sea tal que se pueda lograr un mejor balanceo. O si algunos elementos de las operaciones son manuales, puede ser factible redistribuir el trabajo o variar el número de operarios de tal manera que se elimine la falta de balance o por lo menos se reduzca al mínimo.

Finalmente, siempre hay casos en los cuales la única forma de obtener un grado satisfactorio es establecer una sola esta

ción de trabajo como parte integral de más de una línea de producción. Por ejemplo, una firma puede estar planeando producir dos piezas en dos líneas de producción diferentes. Cada una de estas piezas es sometida a una operación que es común a ambas. Sin embargo, supóngase que se ha encontrado que si se instalara una máquina separada en cada una de las líneas para llevar a cabo esta operación, este equipo se usaría solamente el 50% del tiempo. Bajo estas circunstancias es factible tener una unidad del tiempo al servicio de ambas líneas, como se muestra en la figura 4.5 .

Estas, entonces son las formas más importantes en las cuales las líneas de producción pueden balancearse para dar la capacidad deseada de producción. Es posible que nunca se logre un equilibrio perfecto, no importa las alternativas o la combinación de las mismas que se escoja.

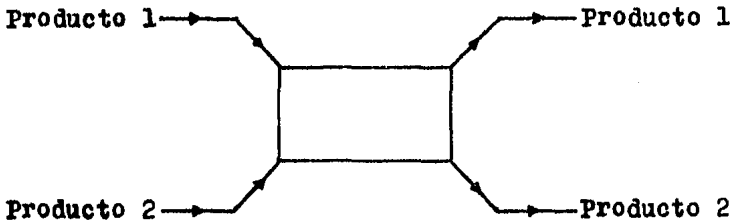


Fig. 4.5 Máquina que forma parte de más de una línea

Balanceo de una línea manual de producción

Una compañía desea satisfacer ventas de 2000 piezas por semana. Mediante estudio de tiempos adopta las siguientes normas

de tiempo para cada operación:

Operación (1).....	0.75 min.
Operación (2).....	1.25 min.
Operación (3).....	0.65 min.
Operación (4).....	1.50 min.
TIEMPO TOTAL.....	<u>4.15 min.</u>

Para una semana de 40 horas sería necesario producir 50 piezas por hora para obtener 2000 por semana. Esto implica un ritmo de una pieza por cada 1.2 minutos (60/50).

La norma de tiempo o tiempo estándar para la producción es de 4.15 minutos por pieza. Por consiguiente, el número de personas necesarias será:

$$4.15/20 = 3.46, \text{ aproximadamente } 4 \text{ personas}$$

Esto significa que la línea necesita cuatro personas para producir una pieza cada 1.2 minutos. A fin de lograr nivelar la línea, los ingenieros de métodos aplicarían el siguiente procedimiento: combinarían los elementos de las operaciones (1) y (2) -basándose en el estudio de movimientos- para obtener una nueva operación (1) que dure 1.2 minutos. Con el tiempo sobrante de la antigua operación (2) tratarían de combinarlo con la operación (3) y así sucesivamente a lo largo de la línea. Como deben utilizarse cuatro personas, una trabajará menos que los 1.2 minutos cada vez. Cuando así sucede, el tiempo corto se convierte en operación (1) y este operario puede acumular producción o hacer alguna otra cosa durante el tiempo

empo sobrante. En el ejemplo que estamos viendo, el tiempo para la operación (1) sería de 0.55, y las operaciones (2), (3) y (4) se recompondrían para equilibrarse mutuamente a 1.2 minutos cada una. Las nuevas operaciones podrían ser como sigue:

Operación (1).....	0.55 min.
Operación (2).....	1.20 min.
Operación (3).....	1.20 min.
Operación (4).....	1.20 min.
	<hr/>
TIEMPO TOTAL.....	4.15 min.

Se hacen entonces instructivos que describan cada una de las nuevas operaciones, y se distribuyen a los cuatro trabajadores antes de comenzar el trabajo. La instrucción es entonces realizada por el supervisor.

Balanceo de la línea de acuerdo a la distribución y capacidad de los operarios

El problema de determinar el número ideal de obreros a asignar a una línea de producción, es análogo al problema de determinar el número de operarios que deberán asignarse a una máquina o instalación de producción. Quizá el caso más elemental de balanceo de líneas, y uno que se encuentra con frecuencia, es aquel en el que varios operarios, que ejecutan cada uno operaciones consecutivas, trabajan como una unidad. En tal circunstancia es obvio que la tasa de producción dependerá

del operario más lento. Por ejemplo, se puede tener una línea de cinco operarios que ensamblan unas montaduras de caucho o hule mediante un adhesivo, antes del proceso de curado. Las asignaciones de trabajo específicas podrían ser como sigue: operario 1, 0.52 min.; operario 2, 0.48 min.; operario 3, 0.65 min.; operario 4, 0.41 min.; operario 5, 0.55 min. Observe que el operario 3 establece el ritmo o compás de trabajo como lo evidencia la siguiente tabla.

Operario	No. de min. estándares para ejecutar la operación	Tiempo de espera basado en el operario más lento	No. de min. estándares permitidos
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	-	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65

La eficiencia de esta línea se puede calcular como la relación del número total de minutos estándares permitidos, o sea:

$$E = \frac{\sum_1^5 M. E.}{\sum_1^5 M.E.P.} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

donde:

E = eficiencia

M.E. = minutos estándares por
operación

M.E.P. = minutos estándares per-
mitidos por operación

Es claro que una situación de la vida real, semejante al ejemplo anterior, proporcionará la oportunidad de lograr ahorros significativos por parte del analista de métodos. Si puede economizar 0.10 min. con el operario 3, la economía neta por ciclo no será de 0.10 min. sino de 0.10×5 , o sea 0.50 minutos.

La cantidad de minutos estándares permitidos para producir una unidad de producto será igual a la suma de los minutos estándares requeridos multiplicada por el recíproco de la eficiencia. Así pues,

$$\sum M.E.P. = \sum M.E. \times \frac{1}{E}$$

Es evidente entonces que el número de operarios que se necesita es igual a la tasa de producción requerida multiplicada por el total de minutos permitidos:

N = número de operarios que se necesitan en la línea

R = tasa de producción deseada

$$N = R \times \sum M.E.P.$$

Por ejemplo, supóngase que se tiene un nuevo diseño para el que se está estableciendo una línea de ensamble. Aquí intervienen ocho operaciones. La línea debe producir 700 unidades por día, y como es conveniente minimizar el almacenamien-

to, no se desea producir mucho más de 700 unidades por día. Las ocho operaciones comprenden los siguientes valores de minutos estándares, basados en datos de tasa de producción requerida multiplicada por el total de minutos permitidos: operación 1, 1.25 min ; operación 2, 1.38 min; operación 3, 2.58 min; operación 4, 3.84 min ; operación 5, 1.27 min; operación 6, 1.29 min; operación 7, 2.48 min y operación 8, 1.28 min.

Operación	Minutos estándares	Minutos estándares	
		Minutos/unidad	Número de operarios
No. 1	1.25	1.82	2
No. 2	1.38	2.01	2
No. 3	2.58	3.77	4
No. 4	3.84	5.61	6
No. 5	1.27	1.85	2
No. 6	1.29	1.88	2
No. 7	2.48	3.62	4
No. 8	<u>1.28</u>	1.87	<u>2</u>
Total	15.37		24

El analista desea planear esta línea de ensamble para el ajuste más económico. Puede estimar el número de operarios requerido con 100% de eficiencia como sigue:

$$\sum_{1}^{8} \text{M.E.} = 15.37 \text{ min}$$

$$N = \frac{700}{480} \times \frac{15.37}{E} = \frac{22.4}{E}$$

Si el analista planea según una eficiencia de 95%, estimaría que el número de operarios es $\frac{22.4}{0.95} = 23.6$

Puesto que es imposible tener seis décimos de obrero, se procurará establecer la línea utilizando 24 operarios.

Como se requieren 700 unidades de trabajo al día será necesario producir una unidad en unos 0.685 min (480/700). El analista estimará cuantos obreros serán necesarios en cada operación dividiendo el número de minutos estándares de cada operación entre el número de minutos en que es necesario hacer una pieza.

Para determinar cuál es la operación más lenta, se dividen los minutos estándares para cada una de las ocho operaciones entre el número estimado de operarios.

Operación 1.....	1.25/2 = 0.625
Operación 2.....	1.38/2 = 0.690
Operación 3.....	2.58/4 = 0.645
Operación 4.....	3.84/6 = 0.640
Operación 5.....	1.27/2 = 0.635
Operación 6.....	1.29/2 = 0.645
Operación 7.....	2.48/4 = 0.620
Operación 8.....	1.28/2 = 0.640

Por lo tanto, la operación 2 determinará la producción de la línea. En este caso será:

$$\frac{2 \text{ hombres} \times 60 \text{ min}}{1.38 \text{ min. estándares}} = 87 \text{ piezas por hora, o sea, } 696 \text{ piezas por día}$$

Si esta tasa de producción fuera inadecuada, el analista debe incrementar la del operario 2. Esto se puede lograr:

- 1.- Haciendo que uno o los dos operarios que intervienen en la segunda operación trabajen tiempo extra, acumulando así un pequeño grupo de existencias en esta estación de trabajo.
- 2.- Utilizando los servicios de una tercera persona en la estación de trabajo de la operación 2.
- 3.- Asignando parte del trabajo de la operación 2 a la operación 1 o a la operación 3.
- 4.- Mejorando el método en la operación No. 2 para disminuir el tiempo de ciclo de esta operación.

Balanceo y programación global de un proceso continuo de producción

Para este tipo de balanceo se tiene el siguiente ejemplo: Una empresa de productos farmacéuticos, hace el llenado y empaque de sus productos en líneas de producción continuas. En una de ellas hace el envase de un producto en diferentes tamaños. El proceso completo, se muestra en el diagrama adjunto. El producto se hace en dos tamaños de 25 y 50 cápsulas y el diagrama representa el producto de 25 cápsulas. El tamaño de 50 se procesa igual, pero el lavado, transporte, etc., de los frascos se hace en lotes de 250, por lo que el tiempo por frasco para estas operaciones será el doble. Los tiempos para el envase y empaque de ambos tamaños, se muestran en el diagrama.

El problema para programar la producción, esta en balance-

Diagrama del proceso

Nombre del Proceso: Envase y empaque continuo de cápsula.

Plano No. _____ Pieza: Cápsulas A-25 Diagrama No. 37



Hombres



Material

Depto: Empaque

Se inicia en: Almacén de materiales.

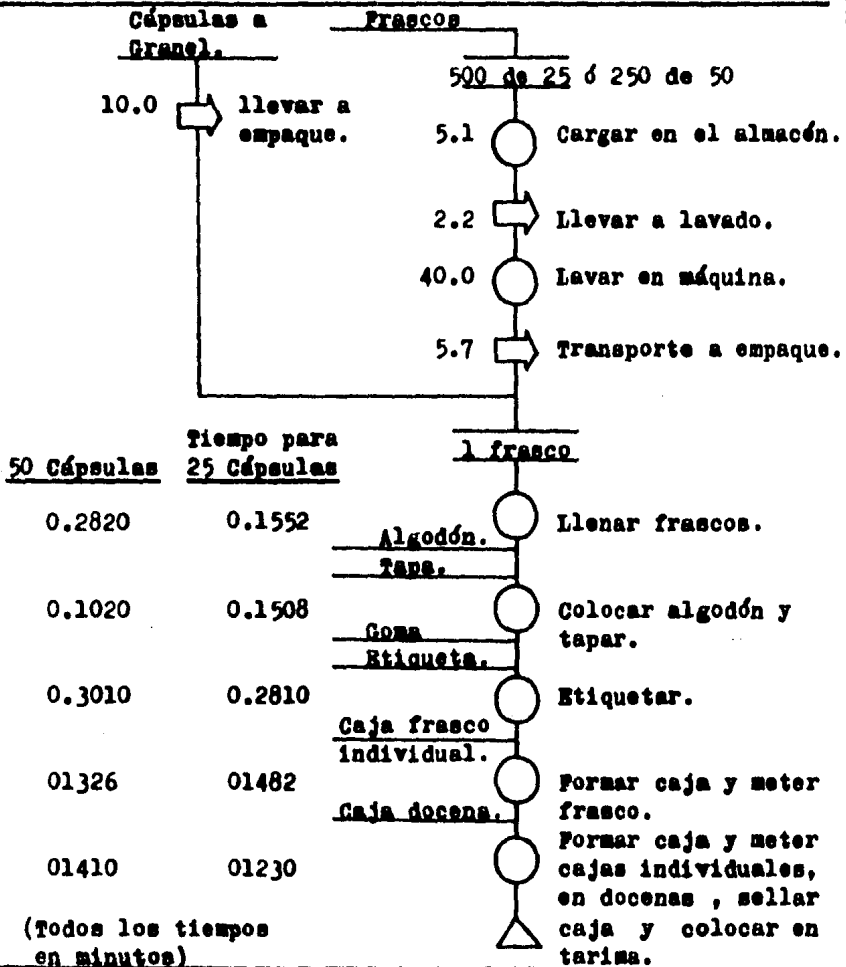
Termina en: Tarimas de producto terminado.

Hecho por: J. R. C.

fecha: 5/IV/74

Unidad de costo: 1 frasco

Prod. Anual: 3550000 frascos



ar las operaciones para permitir el flujo continuo de la producción.

Se observa que, para el frasco chico (25 cápsulas) la operación más desalineada es la de etiquetado, que puede ponerse en orden de magnitud semejante a las demás de la línea, poniendo dos personas a etiquetar en vez de una sola.

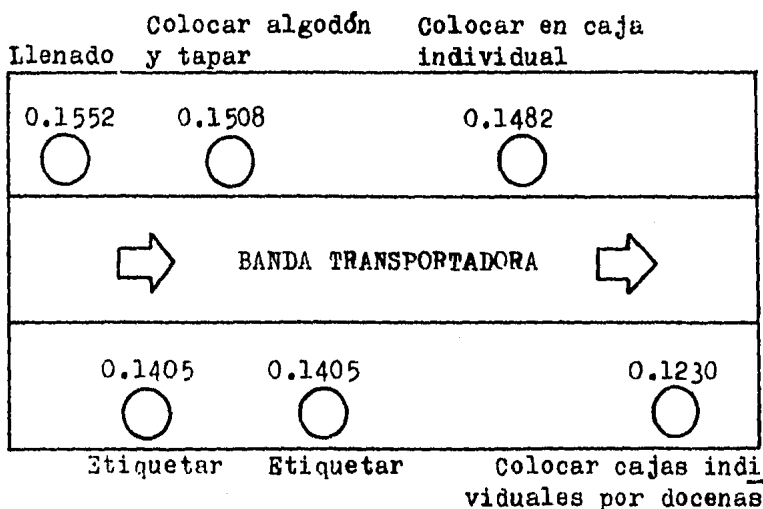
Respecto al frasco grande (50 cápsulas) se ve que hay dos operaciones desalineadas en tiempo, el llenado y el etiquetado; en cada una de ellas se pondrán también dos personas para alinear mejor los tiempos de las distintas operaciones de la línea.

Hecho esto se tiene que la operación limitante en el frasco chico es la de llenado. En el frasco grande, la operación más lenta es la de etiquetado.

Balanceo de la línea de empaque

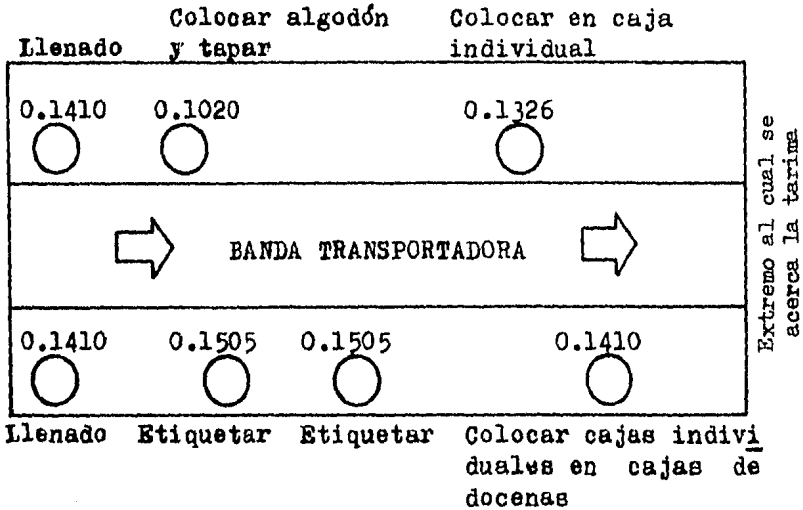
(Esquema de la mesa; cada círculo representa una persona)

a).- Para 25 Cápsulas



Extremo al cual se acerca la tarima

b).- Para 50 Cápsulas



a).- Para 25 Cápsulas, la producción teórica de la línea por hora será:

$$\frac{60.00}{0.1552} = 387 \text{ frascos por hora}$$

La eficiencia promedio es de 90% por lo que la producción real de la línea será:

$$387 \times 0.9 = 348 \text{ frascos por hora}$$

El lavado, transporte, etc., de frascos toma un total de 53.00 minutos para 500 frascos, o sea que se puede surtir a la línea:

$$\frac{60}{53} \times 500 = 566 \text{ frascos por hora}$$

Entonces el programa, consistirá en establecer que la operación de lavado de frascos, se inicie una hora antes de que empiece la línea de empaque. Esto se puede hacer sólo al comienzo de la corrida y conservando siempre el inventario de una hora de lavado de frascos, el resto del tiempo el lavado y el empaque podrán trabajar el mismo horario.

Se establece que en dicha línea deberá haber las siguientes personas:

Una llenando
Una colocando tapón y algodón
Dos etiquetando
Una colocando en caja individual
Una empacando por docenas
Seis en total

Además, como en la tarima caben 40 cajas con una docena de frascos o sea 480 frascos, el transportista deberá poner una tarima vacía y llevarsela llena cada $\frac{480}{348} \times 60 = 83$ minutos aproximadamente.

b).- Para 50 Cápsulas, el tiempo que limita la operación es el etiquetado (0.1505 minutos) y la producción teórica de la línea por hora será:

$$\frac{60.0}{0.1505} = 399 \text{ frascos por hora}$$

La eficiencia promedio es también de 90% por lo que la producción real será:

$$399 \times 0.9 = 359 \text{ frascos por hora}$$

El lavado y transporte de frascos, lleva los mismos 53 minutos para 250 frascos o sea que se podrá surtir a la línea de:

$$\frac{60}{53} \times 250 = 283 \text{ frascos por hora}$$

Como esto no es suficiente, y no se dispone de otra lavadora, esta operación requerirá tiempo extra para acumular frascos antes del turno de la línea. Para encontrarlo, se puede hacer el siguiente cálculo:

Por cada hora de operación se tiene un déficit de $359 - 283 = 76$ frascos, que equivalen a:

$$\frac{76}{283} = 0.269 \text{ horas ó 16 minutos aproximadamente}$$

Cada día de 8 horas que se trabajó en la producción del tamaño de 50 cápsulas, se requirieron:

$$8 \times 0.269 = 2.15 \text{ horas extras en el lavado}$$

Además se deberá tener en existencia en la línea de empaque antes de que ésta empiece a trabajar, la producción de estas horas extras más la de una hora de trabajo de la lavadora o sea que se tendrán:

$$3.15 \times 283 = 891 \text{ frascos}$$

Esto se puede lograr empezando la lavadora de frascos 3.2 horas antes de que empiece a operar la línea de ensamble y terminando una hora antes que ella, o bien con 891 frascos en

existencia anterior al mismo tiempo que la línea de empaque y terminando 2.2 horas después de ella, lo que dejará los mismos 891 frascos en existencia para el día siguiente.

El programa de producción para este producto, se establecerá diciendo que el lavado trabajará 2.2 horas extras cada día en cualquiera de las formas descritas y que la línea de empaque tendrá el siguiente personal:

Dos llenando
Una colocando tapón y algodón
Dos etiquetando
Una colocando caja individual
Seis en total

Además como en una tarima caben 25 cajas con una docena de frascos de 50, o sean 300 frascos, el transportista deberá poner una tarima vacía y llevarse una llena cada:

$$\frac{300}{359} \times 60 = 50 \text{ minutos aproximadamente}$$

Estos datos son la base para la programación global de cada producto. La programación global de toda la operación deberá tomar en cuenta la producción requerida de cada producto en el período que se considere.

En nuestro ejemplo, el programa de producción se elabora cada mes y se manufactura todo el tamaño 25 en una corrida y el 50 en otra.

Entonces el programa indicara la sincronización de operaciones al cambio de tamaños.

Al iniciar la producción de frascos de 25, se indicó que se crea un inventario de una hora el primer día y se lleva durante toda la corrida.

Al terminar la producción de 25's, el lavado termina una hora antes que la línea y empieza a lavar frascos de 50 cápsulas durante 3 horas.

La línea en consecuencia deberá quedar parada 2 horas mientras se reúne el inventario de 3 horas que se había calculado necesario. Se tendrán que trabajar 2.1 horas extras diarias durante la producción del tamaño 50 y tener 1 persona más en la línea.

Al terminar la producción de este tamaño (50), se detiene el lavado 1 hora antes que la línea y se empieza a lavar frascos de 25, de forma que al terminar la línea de empacar 50's empieza con el tamaño 25, reduciendo una persona.

Resumiendo en una tabla:

Primer día (25)	Segundo día y siguientes (25)	Ultimo día (25)	Primer día y siguientes (50)	Ultimo día (50)	Primer día (25)
--------------------	----------------------------------	--------------------	---------------------------------	--------------------	--------------------

Lava do (ho- ras)	1(25)						Hrs.ext. antes
	8(25)	8(25)	7(25)+1(50) 2(50)	8(50)7(50)+1(25) 2(50)	8(25)		Turno
							Hrs.ext. despues
L I N E A { hrs per so nas	8(25)	8(25)	8(25)	8(50)	8(50)	8(25)	Turno
	6	6	6	7	7	7	

Balance heurístico de líneas

El procedimiento se puede describir mejor mediante un ejemplo como el que define el diagrama de precedencia de la figura 4.6, que resume los requerimientos tecnológicos de la secuencia. Los números dentro de los círculos representan las operaciones, y los números que se ven fuera de los círculos, los tiempos de las operaciones en centésimas de minuto.

En seguida se describe el procedimiento: en la columna I del diagrama se anotan todas las operaciones de trabajo que no necesitan seguir a otras operaciones, las operaciones que siguen inmediatamente se anotan en las columnas II, III, etc., observando las relaciones de precedencia. Adviértase que todas las operaciones se encuentran situadas hacia la izquierda tan lejos como lo permiten las restricciones de secuencia. La suma de todos los tiempos de las operaciones es 552, y teóricamente se puede obtener un balance perfecto con un tiempo de ciclo de $c=552/3=184$, o sea 3 estaciones (figura 4.7).

Describiremos el procedimiento suponiendo que el objetivo es balancear la línea perfectamente con 3 estaciones y un tiempo de ciclo de 184.

En el cuadro I se ha resumido la figura 4.6 en una forma tabular más útil. La información nueva más importante del cuadro I se encuentra en la columna (C), que resume la flexibilidad de asignación de las operaciones a las columnas del diagrama de precedencia. Por ejemplo, la tarea 39 podría moverse a la derecha, a cualquiera de las columnas del diagrama de precedencia hasta la columna XI, sin cambiar la precedencia

básica de las relaciones. Esta flexibilidad para mover las tareas horizontalmente será útil en el procedimiento que sigue. Adviértase que algunas tareas, como la No. 3, aparece en la columna (B) del cuadro I con la notación (w. 5, 9 u otros números de tareas). Con esto se quiere indicar que la tarea en cuestión puede moverse horizontalmente por el diagrama de precedencia, solo si la tarea asociada se mueve delante de ella. Otros datos importantes del cuadro I son las duraciones de las operaciones por columnas del diagrama de precedencia original que aparecen en la columna (E) y las sumas de tiempos acumulados que aparecen en la columna (F). Dados todos estos datos, se procedera como sigue:

Paso 1. Dado que $c=184$, examine la columna (F) del cuadro I, para encontrar la suma acumulada que se aproxime a 184. La suma acumulada de la columna III, de 173, se aproxima. Los tiempos de las operaciones de las columnas I, II y III no satisfacen las necesidades de la estación 1 por sólo $184-173 = 11$ unidades de tiempo.

Paso 2. Examine los tiempos de las operaciones de la columna IV del diagrama de precedencia. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones que sume exactamente 11? Si; las operaciones 31 y 32 tienen tiempos de 7 y 4, respectivamente.

Paso 3. Mueva las operaciones 31 y 32 a la parte superior de la lista de la columna IV, asignándolas así a la estación 1. Ahora todas las operaciones de las columnas I, II y III, más las tareas 31 y 32 de la columna IV, están asignadas a la estación 1. Como aparece en el cuadro 2.

Paso 4. Examine la columna (F) del cuadro 2, para encontrar la suma acumulada que se aproxime a $2 \times 184 = 368$. La suma acu-

mulada de la columna VI es 371.

Paso 5. Examine la lista de operaciones no asignadas que se pueden mover horizontalmente más allá del total de 368 en la columna VI o a la columna VII. Son las operaciones 9,10,29, 30 y 25 (w. 26).

Paso 6. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones que se pueda mover y totalice $371-368=3$? No.

Paso 7. Aumente el número de la columna del paso 4 y repita la operación. La suma acumulada de la columna VII del diagrama de precedencia es 441.

Paso 8. Examine la lista de las operaciones no asignadas que se pueden mover horizontalmente más allá del total de 368 en la columna VI o a la columna VII. Son las operaciones 9,10, 29,30,25(w. 26) y 33(w. 35,36,38).

Paso 9. ¿Hay alguna combinación de tiempos de las operaciones movibles que totalice $441-368=73$? No.

Paso 10. Aumente el número de columna del diagrama de precedencia y repita el procedimiento. La suma acumulada de la columna VIII es 474.

Paso 11. Examine la lista de las operaciones no asignadas que se pueden mover horizontalmente más allá del total de 368 en la columna VIII o a la columna IX. Son las tareas 9,10,29, 30,25(w. 26), y 33(w. 35,36,38).

Paso 12. ¿Hay alguna combinación de elementos movibles que totalice $474-368=106$; o a la inversa, dado que el tiempo de las operaciones del conjunto movable suma 115?, ¿hay alguna combinación en el conjunto movable que totalice $115-106=9$ y que pueda ser conservada en la estación 2? Sí la hay; los tiempos de las operaciones 29 y 30 son $4 + 5 = 9$ y el resto

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Número de columna del diagrama	Número de identificación de la operación	Observaciones	Duración de la operación	Suma de las duraciones	Suma de los tiempos acumulados
I	1		9		
	2		9		
	11		10		
	12		11		
	39	II, ..., XI	5	44	44
II	3(w. 5,9)	III, ..., IX	10		
	7		13		
	4(w. 6,10)	III, ..., IX	10		
	8		13		
	13		6		
	37(w. 43)	III, ..., XIII	4	56	100
III	5(w. 9)	IV, ..., X	17		
	6(w. 10)	IV, ..., X	17		
	14		22		
	15		11		
	43	IV, ..., XIV	6	73	173
IV	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	31	V, ..., XI	7		
	32	V, ..., XI	4		
	25	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	164	337
V	17		12		
	20		7	19	356
VI	26	VII, ..., IX	6		
	27		5		
	18		4	15	371
VII	21		55		
	33(w. 35, 36, 38)	VIII	15	70	441
VIII	22		14		
	35	IX, X	7		
	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7	7	505
XI	40		4	4	509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

Cuadro I

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Número de columna del diagrama	Número de identificación de la operación	Observaciones	Duración de la operación	Suma de las duraciones	Suma de los tiempos acumulados
I	1		9		
	2		9		
	11		10		
	12		11		
	39		5		
II	3		10		
	7		13		
	4		10		
	8		13		
	13		6		
III	37		4		
	5		17		
	6		17		
	14		22		
	15		11		
IV	43		6		
	31		7		
	32		4	184	184
	9	V, ..., XI	20		
	10	V, ..., XI	20		
	29	V, ..., XI	4		
	30	V, ..., XI	5		
	25(w. 26)	V, ..., VIII	26		
	16		19		
	19		3		
	23	V, VI	27		
	24	V, VI	29	153	337
V	17		12		
	20		7	19	356
VI	26	VII, ..., IX	6		
	27		5		
	18		4	15	371
VII	21		55		
	33(w. 35, 36, 38)	VIII	15	70	441
VIII	22		14		
	35	IX, X	7		
	36	IX	9		
	38	IX	3	33	474
IX	28		24	24	498
X	34		7	7	505
XI	40		4	4	509
XII	41		21	21	530
XIII	42		12	12	542
XIV	44		5		
	45		5	10	552

Cuadro 2

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Número de columna del diagrama	Número de identificación de la operación	Observaciones	Duración de la operación	Suma de las duraciones	Suma de los tiempos acumulados
I	1		9		
	2		8		
	11		10		
	12		11		
	39		5		
II	3		10		
	7		13		
	4		10		
	8		13		
	13		6		
	37		4		
III	5		17		
	6		17		
	14		22		
	15		11		
	43		6		
IV	31		7		
	32		4	184	184
	29		4		
	30		5		
	16		19		
	19		3		
	23		27		
	24		29		
V	17		12		
	20		7		
VI	27		5		
	18		4		
VII	21		55		
VIII	22		14	184	368
	9		20		
	10		20		
	25		26		
	33		15		
IX	28		24		
	26		6		
	35		7		
	36		9		
	38		3		
X	34		7		
XI	40		4		
XII	41		21		
XIII	42		12		
XIV	44		5		
	45		5	184	552

Cuadro 3

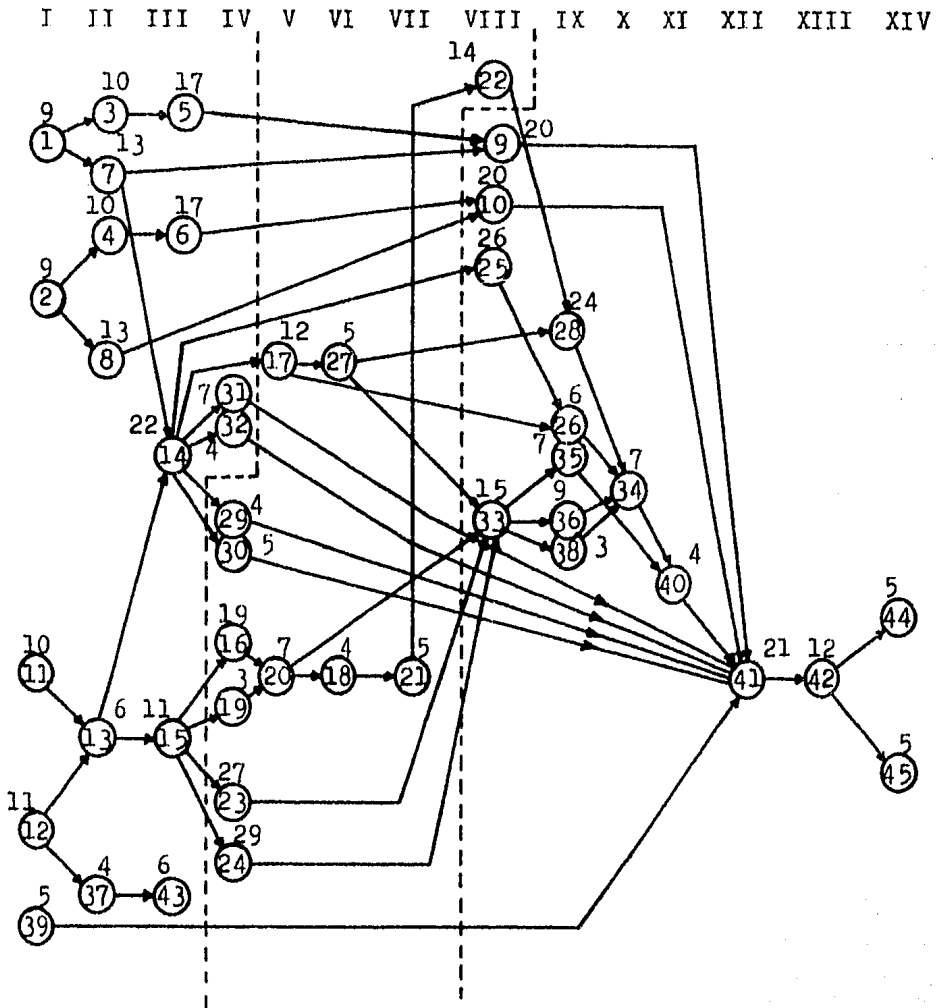


Figura 4.7

5.- TECNICAS DE PLANEACION Y CONTROL DE PRODUCCION

Planeación y control de producción.- Es el conjunto de planes y actos sistemáticos encaminados a dirigir la producción de forma que los elementos del programa de fabricación esten relacionados entre sí y con la totalidad ; o sea, se trata de controlar los hombres, las máquinas y los materiales, para producir artículos, en la cantidad correcta, de la calidad adecuada y en el tiempo preciso que permitirá fijar a la sección de ventas el plazo exacto en que estarán terminados y disponibles.

La planeación de la producción tiene por objetivo preparar la formulación y facilitar la realización, de programas de fabricación eficientes, oportunos, coordinados y económicos, a fin de acumular productos en la cantidad, de la calidad y en las fechas programadas para lo cual se necesita un sistema eficaz de control de la producción adaptado a la índole del trabajo, el método de fabricación, y el tamaño de la planta, de modo que se cuente con canales regulares para la circulación del trabajo y procedimientos estándar de tramitación, para evitar interrupciones, resolver las demoras y mantener el movimiento de la producción.

Planeación de la producción: la ecuación básica

Entre las ventas, la producción y los inventarios de productos terminados, existe una relación básica para un período cualquiera, y esta relación es importante para la planeación de la producción, ya que se pueden preparar los pronósticos de producción en base a las necesidades previstas de ventas.

INVENTARIO INICIAL + PRODUCCION - VENTAS = INVENTARIO FINAL
PRODUCCION - VENTAS = INVENTARIO FINAL - INVENTARIO INICIAL
INVENTARIO FINAL - INVENTARIO INICIAL = VARIACION DE INVENTOS.

PRODUCCION = VENTAS + VARIACION DE INVENTARIOS

La cifra de ventas, para el período a pronosticar, es un resultado del mecanismo que elabora los pronósticos de ventas, no se pueden preparar pronósticos de producción si no se tienen los estimados anticipados de las ventas del período y tampoco si no se cuenta además con cifras concretas sobre la variación que se desea efectuar en los inventarios terminados.

Los inventarios son el adaptador entre la planeación de ventas y la planeación de producción. Si no se tuviesen inventarios de productos terminados, la producción tendría que experimentar variaciones idénticas a las ventas. Además, como las posibilidades de variación de producción son más limitadas, las ventas tendrían que esperar a que producción terminara se las cantidades ordenadas. La acumulación y decrecimiento de inventarios, inteligentemente planeados, permite a la mayoría de las empresas satisfacer demandas de elevada variación estacional, mayores incluso que su capacidad mensual de pro-

ducción, y también les permite lograr un objetivo importante de la producción: nivelar en lo posible sus actividades.

Funciones de la planeación y control de producción

1a.- Planear

- Cuánto:** Qué cantidad es necesario producir de cada artículo.
- Cuándo:** En que fecha se iniciará y se terminará el trabajo y cada una de sus fases.
- Dónde:** Qué máquina, grupo de máquinas y operarios se encargará de realizar el trabajo.
- A qué costo:** Estimar cuánto costará a la empresa producir el producto o lote deseado.

2a.- Ejecutar

- Aprovisiomi** Ordenes para que se entreguen a su
ento: debido tiempo al operario los materiales y herramientas necesarias, para que éste realice su trabajo.
- Trabajo:** Ordenar al supervisor u operario la iniciación del trabajo en la fecha prevista.

3a.- Controlar

- Registro de** Estar al tanto sobre el desarrollo de
avance: los trabajos en cuanto a tiempo y cantidad producida.
- Activación:** Tomar las acciones necesarias para con

rregir el desarrollo del proceso de tal manera que se apegue al plan trazado.

Ajuste o Cuando sea necesario, modificar los
reprograma planes y programas establecidos reg
ción: poniendo a situaciones cambiantes o
no previstas.

Como debe proyectarse un sistema de planeación y control de la producción

Al proyectar el sistema de planeación y control de la producción no debemos olvidar que es un medio y no un fin. Es el sistema eléctrico que permitirá que ande el motor del automóvil, es el conjunto de procedimientos que harán posible que el producto se manufacture y se venda de la manera más eficiente.

La organización se establece para este fin, y el o los sistemas como medios para asegurar la coordinación en los trabajos de la organización.

El sistema ha de proyectarse considerando fundamentalmente:

a). El proceso de operación de la empresa considerando fundamentalmente el tipo de manufactura, número y variabilidad de las operaciones.

b). La organización o sea la forma como están distribuidas las funciones entre el personal de la empresa y las relaciones de coordinación que son necesarias entre ellos, considerando también las personas que actualmente desempeñan los pu-

estos.

c). El volumen de información que es necesario procesar. Cualquiera que sea el proceso de manufactura.

d). La velocidad que se requiere en la tramitación y el proceso de datos.

e). El costo del sistema. Si partimos de la hipótesis de que el sistema es necesario cualquiera que éste sea, el riterio para seleccionar un sistema entre varios que llenen los requisitos básicos será su costo relativo a las ventajas adicionales que cada uno dé a la empresa. Tales como flexibilidad, velocidad, usos adicionales que puedan darse al sistema para decisiones de la gerencia, etc.

Al establecer los procedimientos que se han de seguir con la información o sea al instalar un sistema, hemos de procurar aprovechar hasta donde nos resulte práctico y económico, todos los adelantos de la técnica a nuestro alcance para ha-cer que la información fluya rápida y económicamente.

No es raro encontrar en la industria métodos ineficientes de comunicación que pueden ser mejorados y otros que son necesarios y ni siquiera existen.

Tipos de control de la producción

Los factores básicos que hacen que un sistema de control sea más conveniente que otro, incluye el tamaño de la compañía, la cantidad de detalles requeridos para el control, la naturaleza del proceso de producción, la naturaleza de los artículos que se producen, y los tipos de mercados en los cuales la em-

presa suministra sus productos. Puesto que existe tanta varia
bilidad, se han desarrollado varios tipos generales de siste-
mas para el control de la producción.

1o.- Control de órdenes.- Este tipo de control se usa por lo general en compañías con sistemas de producción intermitente, los llamados talleres de trabajo por lote. Los pedidos llegan al taller en diferentes cantidades por diferentes productos. Debido a esto, la planeación y control de la producción deben basarse en órdenes individuales.

2o.- Control del flujo.- Este tipo de control es aplicable a industrias tales como la química, la petrolera, la de vidrio, y también a algunas áreas del procesamiento de alimentos. En este tipo de sistema se traza la ruta y se hace la programación cuando se hace la distribución de la planta. Esto es, la línea de producción que se establece está equilibra
da y, en secuencia, antes de principiar a toda escala las operaciones de producción, la planeación y control de la producción controla el ritmo del flujo de trabajo al sistema y lo comprueba cuando sale del sistema. Este tipo de control se encuentra con más frecuencia en los sistemas de producción continua.

3o.- Control de bloques.- Este se encuentra en la industria textil y, ocasionalmente, en la impresión de libros y revistas. La razón básica para el control por bloques es que en las industrias mencionadas existe la necesidad de mantener las cosas separadas. Por ejemplo, en la industria de la ropa se puede estar interesado en una talla y estilo determinados. Es esencial que las partes componentes que deben unirse se

mantengan juntas en grupo o bloques.

40.- Control por carga.- Este se encuentra típicamente en donde existe un cuello de botella de máquina en el proceso. Por ejemplo, en la industria periodística, las prensas son unidades muy costosas que corren a una velocidad fija determinada. Toda la actividad está engranada a estas máquinas en particular. El objetivo crucial del tiempo es cuando las prensas comienzan a funcionar. Aun cuando se puede variar la publicidad que va en el formato de un periódico, o los artículos, encabezado o subtítulos, y cosas similares, todas estas variables deben ser manipuladas antes del tiempo de entrar a prensa. Una vez que el periódico entra a la máquina crucial, en este caso la prensa, todo queda fijo y debe continuar así durante el proceso desde ese punto en adelante, al ritmo de la máquina.

50.- Control por lotes.- Este tipo de control es muy común en la industria procesadora de alimentos. Por ejemplo, en la industria lechera, un producto común que implica el control por lotes, es la elaboración de los helados. Para hacer cierto tipo de helados se debe tener una fórmula que contenga las cantidades de leche, emulsificante, estabilizador, azúcar, sabor y color requeridos. Las proporciones de los ingredientes están predeterminadas y uno se debe apegar a ello. Por lo tanto, el control de la producción sólo se ajusta a estas recetas o proporciones de ingredientes para que se ajuste al lote necesario. El control de la producción en un sistema de control por lotes, por lo general opera con un conjunto de ingredientes que están relacionados y manejados proporcionalmente lote por lote a la vez.

60.- Control de proyectos especiales.- Si existen proyectos que sean especialmente costosos o laboriosos para terminarlos, tales como la construcción de un puente, de un edificio de oficinas, o de un edificio escolar, se instituye el control de proyecto especial. En vez de tener conjuntos de formas elaboradas para la ruta y la programación, un hombre o un grupo de hombres se mantienen en estrecho contacto con el trabajo. Si es necesario expedir el trabajo para concluir una fase antes que otra pueda principiar, la gente a cargo del control del proyecto especial se encargará de ello.

Planeación y control de la producción
en sistemas de producción intermitente

Los sistemas de producción intermitente están orientados a los pedidos, el tipo de planeación y control de la producción que se usa es el control por órdenes.

Cada pedido individual tiene su propio número de orden, la que se le asigna cuando se recibe el pedido del cliente.

Cuando se recibe el pedido, el departamento de planeación y control de la producción puede enviarlo a ingeniería o en algunos casos puede utilizar su propio personal para determinar (1) la materia prima y las partes necesarias para cumplir el pedido, y (2) las operaciones que se requerirán para completar el proceso de producción sobre esa orden.

Una vez que se ha terminado el análisis, se presenta una orden para una lista de materiales a planeación y control de la producción. La lista de materiales debe incluir la información siguiente:

- 1.- El nombre del producto.
- 2.- El número del modelo, si es aplicable.
- 3.- Las materias primas requeridas y sus cantidades.
- 4.- Las partes que se requieran y sus cantidades.
- 5.- Referencias a dibujos, especificaciones, heliografías y otras fuentes de información pertinentes.
- 6.- El número de la orden y la cantidad que debe producirse.

El segundo elemento de información que se recibe de ingeniería es la hoja de ruta. La hoja de ruta contiene el orden de los pasos u operaciones que se requieren para completar la orden. Además de esto, la hoja de ruta indica el tipo de máquina en la cual deberá hacerse cada faceta del trabajo, las herramientas necesarias y el tiempo requerido para cada operación.

Una vez que se dispone de una lista de materiales y de la hoja de ruta, el siguiente paso en la planeación de la producción puede iniciarse, esto se conoce como programación cronológica.

La programación cronológica implica la determinación de los requisitos de tiempo para terminar un trabajo. Responde a las preguntas sobre cuándo deberán ejecutarse determinadas operaciones. Las respuestas a estas preguntas proporcionan la información respecto a la secuencia general de las principales fases de la operación.

Para formular un programa cronológico o itinerario detallado es necesario encontrar respuestas a preguntas adicionales.

Una vez que se tenga la respuesta para todas estas preguntas, es posible establecer el programa en cuanto a las fechas

en las cuales deben colocarse los pedidos para la compra de partes, materias primas y herramientas, cuándo debe iniciarse la fabricación de partes, cuándo deben principiar las operaciones de submontaje y cuándo deberá principiar el montaje final. El procedimiento para hacer todo esto se realiza empleando las gráficas de Gantt.

El paso siguiente en la planeación de la producción se refiere a la expedición. Esta puede definirse como la emisión de las órdenes de trabajo, estas órdenes contienen la siguiente información:

- 1.- Nombre del producto.
- 2.- Nombre de la parte que se va a producir , submontaje o montaje final.
- 3.- Número de la orden.
- 4.- La cantidad que debe producirse.
- 5.- Descripciones y números de las operaciones requeridas y su secuencia.
- 6.- Los departamentos involucrados en cada operación.
- 7.- Las herramientas requeridas para las operaciones en particular.
- 8.- Las máquinas necesarias para cada operación.
- 9.- Las fechas de iniciación de las operaciones.

Las órdenes de trabajo representan la autoridad para iniciar la producción, la cual es ejercida por el departamento de planeación y control de la producción.

Hasta este punto, todas las actividades que se han presentado pueden clasificarse como planeación de la producción. Una

vez emitidas las órdenes, principia la producción, y se presenta la necesidad del control de la misma. Las actividades de control se conocen como continuidad, la continuidad implica comprobaciones para cerciorarse de que se está ejecutando el trabajo de acuerdo con los planes originales. Si se presentan desviaciones de éstos, debe aplicarse una acción correctiva.

Por lo general, se diseña un sistema de comunicaciones como parte de la planeación y control de la producción para facilitar el reporte de las desviaciones de los planes originales. Estas comunicaciones incluyen reportes sobre las órdenes terminadas, interrupciones, ausentismo, desperdicios, inspección, registros de inventarios a la fecha, y registros de movimientos hechos.

En resumen, la planeación y control de la producción en los sistemas de producción intermitente, requieren primeramente el análisis de las órdenes desde el punto de vista de ingeniería para determinar la lista de materiales y las hojas de ruta para las órdenes. A continuación debe reunirse información de manera que puedan formularse los programas cronológicos de producción.

Con base en esta información, se despachan las órdenes de trabajo y se inician las actividades de la producción. Deben ejecutarse las actividades de continuidad para ver que los planes se lleven a cabo. En caso contrario, deberán aplicarse medidas correctivas.

Planeación y control de la producción
en los sistemas de producción continua

El tipo de control de la producción adecuado para los sistemas de producción continua se conoce como control del flujo.

Las actividades de la planeación y control de la producción asociadas con los sistemas de producción continua son mucho más sencillas que las asociadas con los sistemas de producción intermitente. No hay necesidad de preocuparse acerca de la ruta, puesto que la ruta que sigue el producto estandarizado está predeterminada en el diseño de la planta. El arreglo del equipo está basado en productos estandarizados, y las máquinas se colocan en secuencia. Están equilibradas, lo que elimina muchos de los problemas de la programación.

Las máquinas están conectadas con dispositivos de trayectoria fija para el manejo de materiales, como transportadores, tuberías y alimentadores, de manera que no hay necesidad de órdenes de cambio.

Ahora como trabaja el control del flujo. Básicamente la función de la planeación de la producción comprende la determinación de cuántas unidades producir de los artículos estandarizados, para almacenamiento o para pedidos futuros.

Una vez que se han hecho estas estimaciones, la planeación de la producción se enfrenta al problema de mantener suficiente materia prima y suministros para mantener funcionando al sistema de producción.

La función del control de la producción está dirigida hacia el mantenimiento del ritmo del flujo de la producción, de manera que se produzca el número requerido de artículos.

Como los sistemas de producción continua se caracterizan por un gran volumen de producción, el control del inventario adquiere mucha importancia y puede ser responsabilidad del departamento de planeación y control de la producción. Si este es el caso, los de planeación y control dedican una gran cantidad de tiempo en mantener el inventario de materia prima y suministros, para que esté siempre listo para entrar al proceso de producción, y también mantener a un nivel mínimo la inversión en materia prima y suministros.

En resumen, la planeación y control de la producción en los sistemas de producción continua es mucho más sencillo que la planeación y control de la producción en los sistemas intermitentes de producción. Básicamente comprende dos actividades: primera, que se dispone de existencias de materia prima y suministros para mantener abastecido al sistema de producción, y asegurarse de que los productos terminados sean movidos del sistema de producción; segundo, mantener el ritmo del flujo en el sistema de producción de manera que el sistema pueda funcionar hasta casi cerca de su capacidad en algunos casos, o que cubra los requisitos mínimos de la producción deseada, para satisfacer la demanda.

Pronóstico e inventario dentro de la planeación y control de la producción

Es muy importante que dentro de la organización de una empresa se cuente con las técnicas adecuadas de pronóstico e inventario, las cuales son fundamentales en la planeación y con-

trol de la producción. A continuación se describe cada uno de los diferentes tipos de técnicas de pronóstico e inventario con que se cuenta, y que son adaptables a cualquier actividad de producción, dependiendo de las características y necesidades de la empresa.

I.- Pronóstico.- Se define como una predicción de los cambios de la demanda que influye directamente en la planeación de la producción.

A continuación se presentan las diferentes técnicas con que se cuenta para pronosticar la demanda futura.

1a.- Técnica del promedio móvil.- Esta técnica consiste en aplicar a los datos conocidos de la demanda un movimiento medio (por ejemplo, 5 períodos), para obtener diferentes promedios, con los cuales se obtendrá un promedio final que será el pronóstico para el periodo siguiente. Es una técnica sencilla y de fácil aplicación, pero tiene baja precisión.

2a.- Técnica de promedio pesado.- En la aplicación de esta técnica se utiliza una fórmula que contiene unos coeficientes llamados índices de peso, estos índices se suponen, con la única condición de que al sumarlos nos den la unidad, después se aplica la fórmula a los datos conocidos de la demanda anterior y el resultado será el pronóstico para el siguiente período.

3a.- Técnica de ajuste exponencial.- Como su nombre lo indica esta técnica utiliza en su aplicación una fórmula de ajuste exponencial, la cual utiliza una constante exponencial al

fa (α), que por experiencia oscila entre $0.1 \leq \alpha \leq 0.25$. Dicha fórmula es aplicada a los datos de la demanda real de los periodos anteriores conocidos, dándole un valor a α entre el rango anterior y desarrollandolos estadísticamente hasta obtener su desviación estándar. A continuación se hace lo mismo variando unicamente el valor de α , hasta obtener la nueva desviación estándar, y así sucesivamente se pueden ir obteniendo nuevas desviaciones estándar mientras más precisión se quiera, al final se comparan todas las desviaciones estándar obtenidas y la que tenga el valor mas pequeño será la que nos dara la mejor α , con la cual se calcula finalmente el pronóstico para el siguiente periodo.

4a.- Técnica de regresión lineal.- Para la aplicación de esta técnica se utiliza el método de los mínimos cuadrados, el cual se encarga de ajustar los datos anteriores conocidos de la demanda a la ecuación de una línea recta. Para obtener el valor de los coeficientes de la ecuación, es necesario resolver un sistema de ecuaciones de dos ecuaciones con dos incógnitas, que se obtiene al trabajar con los datos conocidos de la demanda. Una vez obtenidos los coeficientes requeridos, se procede a calcular el pronóstico para el periodo siguiente. Se utiliza esta técnica cuando se hacen ajustes a corto plazo en niveles de producción e inventarios.

5a.- Técnica de regresión no lineal.- Esta técnica es de una aplicación más difícil si se quiere realizar manualmente ya que debido a su complejidad (no lineal) se enfrenta a un grado mayor de dificultad con respecto a las ecuaciones (ecuaciones desde tres ecuaciones con tres incógnitas hacia arri-

ba) que hay que resolver para obtener el valor de los coeficientes de la ecuación a la que se ajustan los datos conocidos de la demanda, para facilitar su aplicación se puede utilizar un programa de computadora que facilite la solución de el sistema de ecuaciones resultante.

6a.- Técnica de series de tiempo.- En esta técnica se analizan las ventas pasadas para determinar si hay una tendencia. Esta tendencia puede proyectarse después hacia el futuro y las ventas resultantes indicadas se toman como base para un pronóstico. Se utiliza el método de los mínimos cuadrados para obtener los índices de tendencia, después se obtienen los índices estacionarios, se elimina el error y se obtienen los índices cíclicos, los cuales se gráficán y evalúan, para finalmente obtener el pronóstico para el siguiente periodo.

II.- Inventario.- Se define como el medio que sirve de amortiguador para las variaciones de la demanda en un sistema de producción.

A continuación se presentan los diferentes tipos de inventario con que se cuenta para amortiguar la demanda.

1o.- Inventario bajo riesgo.- Este tipo de inventario se aplica cuando se conoce la distribución probabilística de la demanda, con la cual se construye la tabla de utilidad, después se obtiene la esperanza matemática de cada alternativa, obteniéndose con esto la utilidad para cada una de éstas y se escogerá la alternativa que máximice la utilidad.

2o.- Inventario con incertidumbre.- Para aplicar este tipo de inventario se cuenta con tres métodos:

- a) Método de Wald ó Mínimax.- Este método aconseja construir la tabla de utilidad, obtener de cada alternativa lo peor que puede suceder y de esos peores escoger el máximo.
- b) Método de Savage.- Este método sugiere construir la tabla de penalización, escoger de cada alternativa lo peor que puede suceder y de esos peores escoger el mínimo valor.
- c) Método de Bayes.- Este método nos dice que a partir de la tabla de utilidad, asignar igual probabilidad a cada alternativa con lo cual se tiene un problema mencionado anteriormente (bajo riesgo), que se resolviera conforme a este tipo de inventario.

30.- Inventario bajo certidumbre.- Esta tipo de inventario se aplica cuando la demanda es fija y conocida, aquí se toma en cuenta el costo de mantener un producto en el almacén durante un año y el costo de pedir al proveedor. Aplicando las fórmulas para este tipo de inventario se obtiene el lote óptimo y el tiempo de cada cuando se debe pedir.

40.- Modelo con escasez.- Como su nombre lo indica este modelo se aplica cuando existe escasez de productos. Para este modelo se toma en cuenta el costo de mantener un producto en el almacén durante un año, el costo de pedir al proveedor y el costo de negar el producto. Aplicando las fórmulas para este modelo se obtiene el lote óptimo y el tiempo de cada cuando pedir.

50.- Modelo de alternativas de descuento.- Este modelo se aplica cuando se tienen alternativas de descuento en cuanto a

la compra. Se toma en cuenta el precio de cada alternativa, el requerimiento anual, el costo de hacer el pedido y el costo de conservación del inventario. Aplicando las fórmulas para este modelo se obtiene la cantidad de productos que se deben pedir de acuerdo al costo de los diferentes planes de trabajo (se escogerá el más barato).

60.- Tamaño del lote en corridas de producción.- En este tipo de inventario se toma en cuenta, los requerimientos anuales, la tasa de producción por día (p), la tasa de consumo por día (r), el costo de adaptar las máquinas y el costo de mantener un producto en inventario por un año. Aplicando las fórmulas para este modelo se obtiene la cantidad que se debe fabricar y cada cuando, el tiempo que se va a tener ocupada determinada máquina y el costo del plan de trabajo. La condición para aplicar este modelo es que $p \geq r$.

70.- Tamaño óptimo del lote en corridas de producción cuando existen productos múltiples.- Este modelo se aplica cuando se tienen m productos producidos por un equipo o una máquina, se trata de optimizar la producción y evitar la interferencia entre la fabricación. En este modelo se toma en cuenta los requerimientos anuales, la tasa de consumo diaria, la tasa de fabricación diaria, el costo de mantener un producto en inventario y el costo de adaptar la máquina. Tomando las fórmulas para este modelo se obtiene el lote óptimo a fabricar de cada producto, el número óptimo de cambios, el tiempo de producción para cada lote de productos, el tiempo de agotamiento para cada lote y el costo total del plan.

80.- Inventario de un sólo producto con revisión conti-

na.- Como su nombre lo indica este modelo se aplica cuando se tiene un solo producto y se revisa continuamente. En este modelo se toma en cuenta el costo de mantener un producto en inventario por día, el costo de preparar la maquinaria, el costo de escasez por producto, la tasa de consumo por día y la tasa de producción por día. Aplicando las fórmulas para este modelo se obtiene el lote óptimo y la frecuencia con que debe producirse (tiempo).

9o.- Inventario de diferentes productos con revisión continua y restricción de almacenamiento.- Este modelo se utiliza cuando se tienen m productos con restricción de almacenamiento (m^3), este modelo supone que la tasa de producción diaria (p) es instantánea. En este modelo se toma en cuenta el costo de pedido por tonelada, la demanda constante por tonelada, el costo por almacenamiento y el espacio ocupado por cada producto. Las fórmulas para este modelo nos proporcionan la política óptima a seguir en este tipo de inventario.

Modelos gráficos de planeación y programación de la producción

Para lograr una buena planeación es necesario considerar el factor que lleva implícito ésta misma. A este factor se le llama programación, y programar significa establecer un horario destinado a las actividades que requieren las instalaciones productivas. En este caso nos interesa elaborar horarios para órdenes de fabricación, utilizando los medios de producción disponibles en la fábrica.

1.- Diagrama de carga.- Este diagrama relaciona el programa referido al tiempo y la cantidad o carga de trabajo que debe llevarse a cabo. El diagrama de carga nos ayuda a preveer con anticipación la carga de trabajo de una máquina, un departamento de fabricación o toda la planta. La carga suele especificarse en función de horas de trabajo.

En la figura 5.1 se muestra un típico diagrama de carga. Observece que el diagrama no indica cuando debe hacerse un trabajo, sino únicamente cuánto trabajo tiene asignado cada máquina.

El diagrama de carga es representado generalmente mediante la gráfica de Gantt, llamada también gráfica de barras. El diagrama de carga nos ayuda a planear la carga correcta y preveer las instalaciones desocupadas, esto nos permite programar el mantenimiento de las máquinas, trasladar personal, planificar vacaciones, etc.

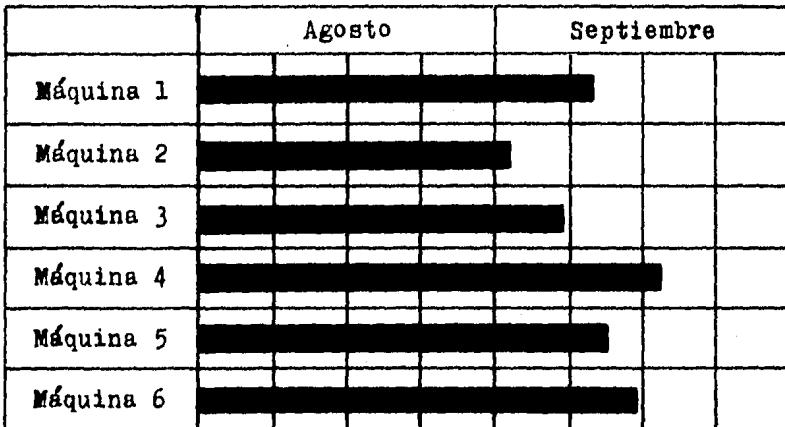


Figura 5.1 Diagrama de carga

2.- Diagrama de Gantt.- Este diagrama es la técnica de planeación y control de mas uso actualmente. Este diagrama se vale de un lenguaje abreviado. Los símbolos generalmente usuales se presentan en la figura 5.2 . Un ejemplo del diagrama de Gantt aparece en la figura 5.3 .

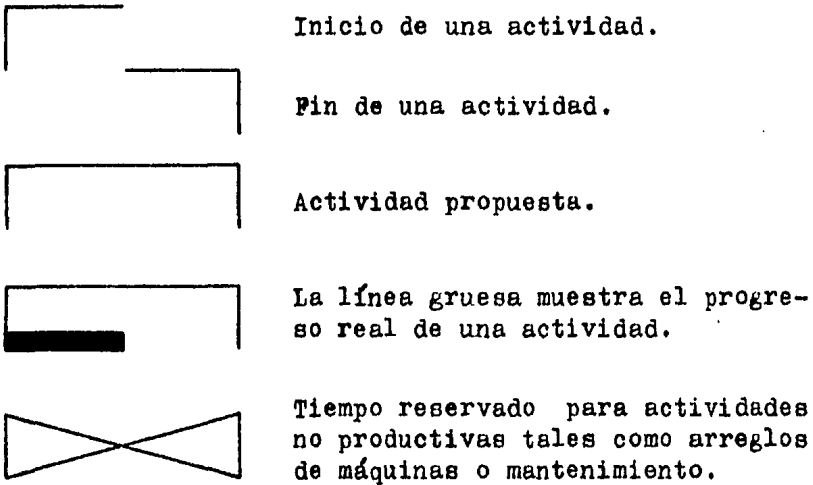


Fig. 5.2 Símbolos de el diagrama de Gantt

Orden	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
No. 1	X				
No. 2					
No. 3			X		

Figura 5.3 Diagrama de Gantt.

Las distancias a lo largo del eje horizontal de la gráfica, representa tiempo o producción. Paralela a la línea delgada corre otra gruesa que representa el grado de avance de la producción, la diferencia entre ambas líneas representa cuánto falta aún para que la producción llegue a su término.

3.- Programación secuencial.- La programación secuencial se basa en la identificación, ordenamiento y determinación de los tiempos de realización de las distintas actividades que comprende un plan de acción.

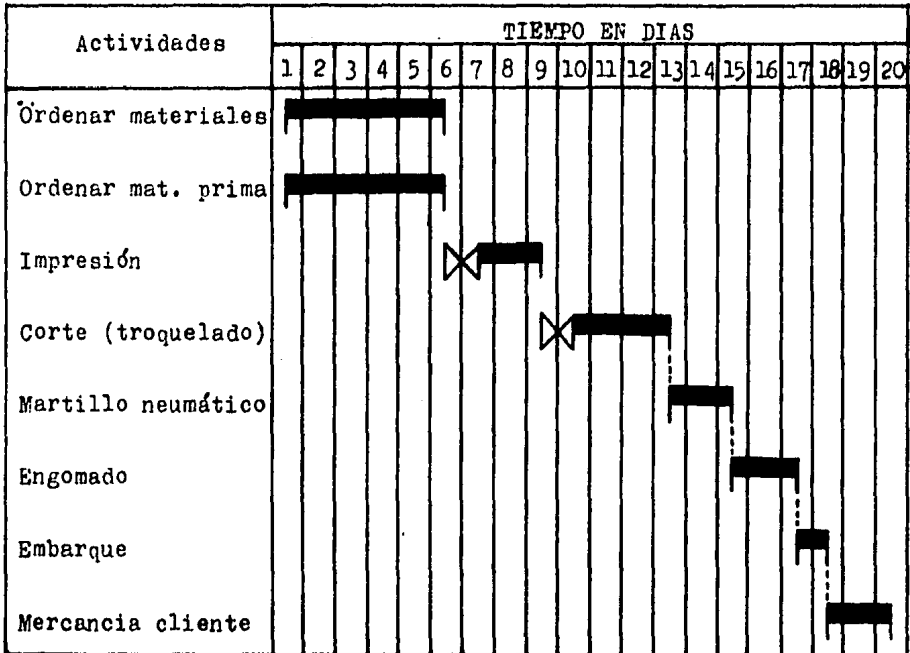


Figura 5.4 Programación secuencial.
Fabricación empaque para cereales.

Dicho de otra manera, es la secuencia lógica del conjunto de operaciones necesarias para procesar un producto. En la figura 5.4 se presenta un ejemplo de la programación secuencial.

4.- Calendarización de la producción en un sistema de alto volumen (serie).- Este método consiste en graficar los requerimientos de producción esperados. En dicha gráfica se puede observar la variación de la tasa de producción diaria, así como los días necesarios para satisfacer la demanda total. A partir de esta gráfica se pueden proponer varias alternativas encaminadas a satisfacer la demanda de producción, con el mínimo de cambios posibles en la tasa de producción diaria.

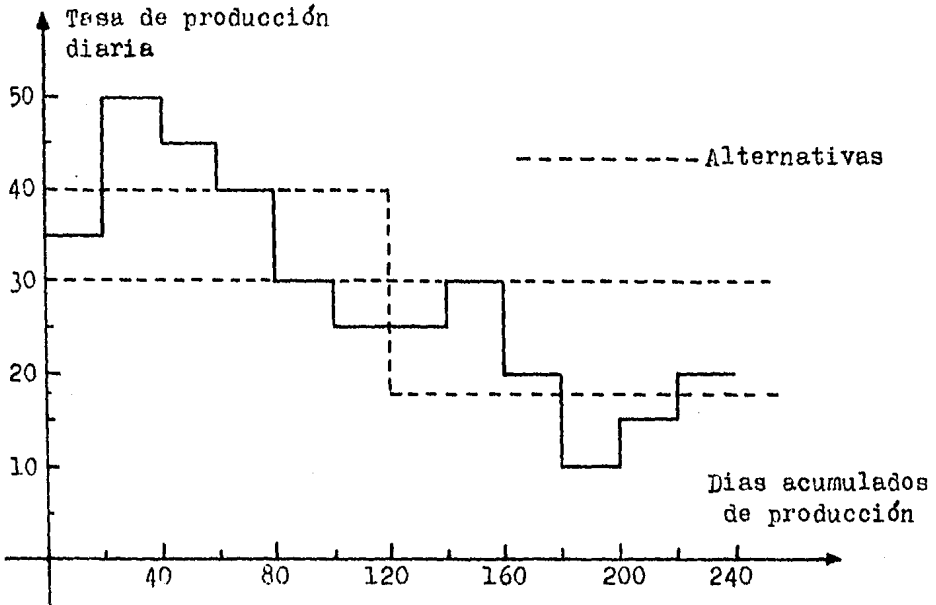


Figura 5.5 Calendarización de la producción.

Se escogerá la mejor alternativa, que será la que se ponga en practica en el proceso de producción. El objetivo de la calendarización es maximizar el aprovechamiento de las instalaciones, mano de obra, inversión de capital (aumento de utilidades), etc. En la figura 5.5 se presenta una gráfica de la producción calendarizada.

La investigación de operaciones dentro de la planeación y control de la producción

La investigación de operaciones es un área muy importante dentro de la ingeniería, ya que nos permite la aplicación de diferentes técnicas matemáticas que son de gran utilidad dentro de la planeación y control de la producción . A continuación se describe cada una de estas técnicas.

1a.- Programación lineal.- Es una técnica matemática que ayuda a resolver los problemas de producción, derivados principalmente de la escasez de recursos humanos y materiales con los que se cuenta para el proceso de transformación. Se trata de seleccionar la combinación de recursos que produzca la mayor cantidad de productos al costo más bajo posible. El asignar trabajos a hombres y máquinas constituye un ejemplo de este tipo de problemas. Otro ejemplo es el caso de determinar la mezcla óptima de elementos alimenticios de modo tal que satisfagan estándares mínimos de requerimientos nutritivos al costo más bajo.

Las condiciones bajo las cuales se puede usar la programa-

ción lineal son la linealidad y la certeza. La linealidad significa que todas las variables estén relacionadas a través de relaciones lineales. Por ejemplo, si dos de las variables son costos de producción y manufactura, tendría que existir una relación lineal entre estas variables. Por certeza se entiende que no ocurrirán variaciones en los valores numéricos esperados de los factores relevantes o bien, que tales variaciones serán insignificantes. Dentro de la programación lineal se cuenta con los siguientes métodos:

a).- Método gráfico.- Se utiliza cuando el problema tiene un máximo de tres variables, como su nombre lo indica este método implica la construcción de una gráfica que proporcionará la solución óptima para el problema analizado.

b).- Método simplex.- Este método se utiliza para problemas que involucran más de tres variables. Se maneja por medio de ecuaciones, las cuales se resuelven matemáticamente en una serie de iteraciones hasta llegar a la solución óptima (maximizar o minimizar) del problema.

c).- Método MODI.- Este método se utiliza para determinar en que máquina debe hacerse cada uno de los productos, cuando cada producto puede hacerse en más de dos máquinas o familia de máquinas; y determinar cuáles deben ser las cantidades de cada uno de los artículos que deben producirse durante un periodo determinado. Este método se resuelve, formando un cuadro, rejilla o matriz, en donde se relacionan todos los datos registrados, después se resuelve la matriz, utilizando como guía índices, que indiquen cuál es el beneficio o el castigo que se tendrá con las distintas soluciones posibles.

d).- Método INDEX.- Es un procedimiento para calcular índices para cada orden u operación y asignar la sobrecarga de las máquinas "ideales" a las otras máquinas, usando el índice para minimizar el exceso de tiempo o de costo que toma producir la orden.

2a.- Ruta crítica.- Es un documento en el cual se plasma un proyecto desde su inicio hasta su terminación, contemplando todas las actividades para su realización, así como las fechas de terminación, el tiempo necesario para realizarlas, su interdependencia y la secuencia u orden de ejecución. Para obtener la ruta crítica se cuenta con dos métodos:

a).- Método CPM.- Este método toma en cuenta el tiempo para llevar a cabo cada actividad y poder determinar las actividades críticas, dichas actividades son la cadena que determina la duración del proyecto.

b).- Método PERT.- Este método es un perfeccionamiento del método del camino crítico, en este enfoque para determinar la ruta crítica el análisis comienza con una descripción del proyecto en términos de actividades y eventos. Esta técnica es útil para la planeación y el control de proyectos complejos que pueden presentarse una sola vez o muy pocas veces.

3a.- Transporte.- Este método se diseñó con el propósito de minimizar el costo de enviar mercancías, de fábricas a almacenes de distribución. Mediante este método se determinan las rutas más económicas. Se requiere conocer la localización y cantidades disponibles en los centros de producción, las demandas en los centros de distribución. El algoritmo satisface

las relaciones entre oferta y demanda con un costo mínimo.

4a.- Simulación.- La simulación consiste en desarrollar un modelo lógico de la situación o sistema que se desea estudiar observando el comportamiento del sistema a lo largo de una sucesión de eventos. Es deseable utilizar este enfoque cuando el problema es de tal complejidad, por su número de variables y relaciones, que no es posible atacarlos por los métodos analíticos de la investigación de operaciones. La simulación no persigue obtener soluciones óptimas, sino evaluar, a través de estadísticas el efecto de políticas alternas. Las computadoras permiten que, en minutos u horas, se simulen meses o años de operaciones. Dentro de la producción se han desarrollado simulaciones para problemas de programación de la producción, mantenimiento, políticas de inventario, etc.

5a.- Asignación.- La asignación como su nombre lo indica consiste en asignar, y se aplica cuando se cuenta con un plan de programación de la producción, ya que el siguiente paso es asignar trabajos específicos a centros de máquinas. Los trabajos compiten entre ellos por los tiempos disponibles en esas máquinas para las cuales se ajustan mejor con respecto a productividad y a costo. Una máquina puede ser superior a otra (para un trabajo dado) con respecto a la tasa de producción; pero inferior cuando se trata de costo por unidad. Estas anomalías se hacen más importantes a medida que los requisitos de la demanda crecen en comparación con las capacidades de los recursos.

6.- SEGURIDAD INDUSTRIAL

Seguridad Industrial.- La seguridad industrial es una rama de la ingeniería que se encarga como su nombre lo indica de la seguridad de las personas en el desarrollo de sus labores dentro de la empresa, disminuyendo los riesgos de accidentes o de enfermedad mediante la implantación de programas eficaces de seguridad.

Los accidentes no son nada nuevos, nos han acompañado siempre y han sido causados por condiciones y actos inseguros. En la prehistoria el hombre primitivo se encontraba expuesto a ciertos riesgos, pero conforme fue avanzando en su desarrollo estos riesgos crecieron, por ejemplo la introducción del fuego introdujo nuevos peligros.

Siguiendo el desarrollo de la historia llegamos a los inicios de la industria los cuales se caracterizan por la formación de talleres caseros y artesanos, en los cuales la fuente de energía usada era la fuerza animal, ya fuese del propio hombre o del caballo. Generalmente, los accidentes graves se debían a caídas, objetos que caían, quemaduras, asfixia por inmersión (ahogados) y lesiones infligidas por animales domésticos.

Con la aparición de la fábrica, se llevo la fuerza hidráulica a la fabricación, y muy pronto le siguió el vapor y, más tarde, la electricidad. Se inventó y mejoró la maquinaria para que se mantuviera al ritmo de la industrialización en expansión. Esto trajo consigo nuevos riesgos. Las máquinas nuevas se proyectaban sin tomar para nada en cuenta ni la seguridad ni la comodidad de los operarios. Los trabajadores no estaban preparados ni habituados al uso de las nuevas máquinas, y tampoco a la producción ni al uso de la nueva energía. Como resultado de estos riesgos nuevos y más grandes los accidentes multiplicáronse y las lesiones se hicieron más graves.

Fue en Estados Unidos en el año de 1912 donde se inició el movimiento organizado para la seguridad industrial, dicho movimiento surge debido a las condiciones existentes para los trabajadores dentro de las fábricas, como por ejemplo la falta de instalaciones, máquinas sin resguardo, bajas indemnizaciones a los trabajadores accidentados, etc.

Por lo tanto la seguridad industrial se ha desarrollado para mejorar dichas condiciones, que benefician tanto a los trabajadores como a los dueños de la empresa.

Fuentes y causas de daño

Fuentes más comunes de accidentes industriales:

1.- Sustancias dañinas y materiales peligrosos.--Explosivos, ácidos, solventes, polvos, gases, tubería, madera, varillas, planchas metálicas, vidrio, etc.

2.- Equipo para el manejo de materiales.- Montacargas, elevadores, palas mecánicas, grúas y malacates, bandas transportadoras, etc.

3.- Herramientas para manejo manual de materiales y recipientes.- Ganchos, palas, barretas, carros de mano, diferenciales, barriles, cajas, tambores, etc.

4.- Equipo de transporte.- Camiones, trenes, autovías, etc.

5.- Maquinaria.- Tornos, prensas, esmeriles, troqueles, etc.

6.- Tuberías y equipos que trabajan a presión.- Calderas, compresoras, ventiladores, bandas, líneas de tubería, etc.

7.- Equipo y aparatos eléctricos.- Motores, transformadores, tableros de control, cables de extensión, etc.

8.- Equipo de transmisión.- Flechas, bandas, cables, volantes, engranes, etc.

9.- Herramientas para producción y mantenimiento.- Taladros, sierras eléctricas, martillos neumáticos, llaves de tuercas, martillos, etc.

10.- Edificios y estructuras.- Tanques, depósitos, armazones para almacenamiento, etc.

11.- Superficies de trabajo.- Pisos, escaleras, rampas, patios, plataformas, caminos, pasillos, andamios, etc.

La causa de un accidente es una situación o acto inseguros, o cualquier otra acción defectuosa que se necesita corregir para evitar que el caso se repita.

Accidente.- El accidente es un acontecimiento imprevisto que interrumpe o trastorna el desarrollo ordenado de la actividad que se realiza en un lugar de trabajo, siempre afecta a

uno o más de los elementos de la producción.

Accidente y lesión no es la misma cosa, la lesión es consecuencia del accidente y primero debe ocurrir éste, para que se produzca la lesión.

Se debe tratar de eliminar los accidentes y automáticamente, se estará protegiendo a la persona contra una lesión.

No todos los accidentes causan lesión, pero siempre afectan a uno o más de los elementos de la producción.

En la producción sea de objetos o servicios, generalmente intervienen 5 elementos; hombres, maquinaria, equipo, materia prima y tiempo.

Los accidentes no son obra del azar. La gran mayoría de los accidentes obedecen a dos causas: actos inseguros y condiciones de inseguridad.

Actos inseguros.- Son los actos que comete la persona, los cuales por ser contrarios a los que la experiencia nos ha señalado como seguros la exponen a un accidente.

Condiciones inseguras.- Son las condiciones de la herramienta, maquinaria, material, tipo de equipo y lugar de trabajo, que exponen a la persona a un accidente.

Factores de accidentes

Estos factores se agrupan en seis grupos principales:

1.- El agente.- Es el objeto o sustancia más íntimamente relacionado con el daño y el cual, en términos generales, po-

dría haber sido debidamente protegido o corregido. A continuación se dan algunos ejemplos de agentes: máquinas (tornos, taladros, troqueladoras), fuerza motriz (motores, bombas, compresoras), animales (domésticos, insectos, reptiles), herramientas manuales (hachas, cinceles, limas, martillos), etc.

2.- La parte del agente.— Es aquella parte del agente que está más íntimamente relacionada con el daño y la cual, en general, podría haber sido debidamente protegida o corregida. La lista de partes de agente, como es fácil suponer, resulta casi interminable. En una máquina sencilla como sería una fresadora, dichas partes estarían representadas por sujetador, taladro, mesa, eje, banda, engranes, etc.

3.- La condición insegura.—Trátase de la condición del agente que podría haber sido protegida o corregida. Este tipo de condiciones suelen agruparse de la manera siguiente: agentes impropriamente protegidos (no protegidos por completo, o protegidos en forma inadecuada), agentes defectuosos (ásperos, resbaladizos, agudos), arreglos o procedimientos riesgos dentro, encima o alrededor del agente (almacenamiento inseguro, congestión, sobrecarga), iluminación impropia (luz insuficiente, destellos deslumbrantes), ventilación impropia (insuficiente cambio de aire, fuente de aire impura), vestidos inseguros (guantes defectuosos o carencia de ellos, de zapatos, mascarillas), condiciones físicas o mecánicas inseguras no clasificadas, y agente no defectuoso.

4.- Tipo de accidente.— Es la forma de contacto de la persona dañada con el objeto o sustancia o la exposición o movimiento de dicha persona que dio por resultado el daño. Los ti-

pos de accidente se clasifican como sigue: golpearse contra; ser golpeado por; ser cogido en, sobre o entre; caer en el mismo nivel; caer a otro nivel; resbalar o esfuerzo exagerado; exposición a extremos de temperatura; inhalación, absorción, ingestión; contacto con corriente eléctrica; y tipos de accidentes no clasificados.

5.- El acto inseguro.— Es la violación de un procedimiento de seguridad comúnmente aceptado, que causa el tipo de accidente. Algunos ejemplos son; obrar sin autoridad, trabajar en equipo en movimiento o peligroso, utilizar equipo no seguro, asumir una posición o postura no segura, etc.

6.- El factor personal de inseguridad.— Trátase de la característica mental o física que permite o causa el acto inseguro. A continuación se nombran algunos ejemplos: actitud impropia, falta de conocimiento o de habilidad, defectos físicos, factores no clasificados.

Investigación del accidente-procedimiento

- a).— Acudir al lugar del accidente lo más pronto posible.
- b).— Recoger la información necesaria y anotarla.

Pregúntese:

- (1) ¿A QUIEN le ocurrió?
- (2) ¿QUE le ocurrió?
- (3) ¿DONDE sucedió?
- (4) ¿CUANDO ocurrió?
- (5) ¿COMO sucedió?
- (6) ¿POR QUE ocurrió?

- c).- Determinar qué debe hacerse para prevenir un accidente semejante en el lugar donde ocurrió y en lugares similares.
- d).- Empezar la acción necesaria.
- e).- Comprobar el resultado de las medidas.

Análisis de las causas de los accidentes

Siempre que ocurra un accidente, aun cuando nadie resulte dañado, es de suma importancia investigarlo con mucho cuidado y los resultados analizados para que sirvan como guía de acción a efecto de evitar que vuelva a ocurrir. El hecho de que todo accidente, cualquiera que sea su tipo, en cualquier tiempo, lleva consigo un potencial de daño, es algo que no debería ser pasado por alto. El enfoque adecuado será muy parecido al de un médico al que se llama para que diagnostique una enfermedad posiblemente seria, pero elusiva. No prescribirá un remedio sino hasta haber examinado cuidadosamente al enfermo, analizando todos los síntomas, efectuado las debidas pruebas de laboratorio, hurgando en la historia clínica del paciente, reunido todos los datos y hasta entonces, con toda la información en mano, procederá a diagnosticar. De un modo semejante, el ingeniero de seguridad al analizar las causas de accidentes deberá regirse por los pasos siguientes:

1. Obtener el informe del accidente elaborado por el supervisor.
2. Contar con el informe del trabajador dañado (o que haya sufrido el accidente aunque no haya resentido ningún daño).

3. Contar con los informes de los testigos si los hubo.
4. Obtener el informe de la enfermera o doctor (si hubo daño).
5. Investigar el accidente.
6. Registrar los hechos.
7. Tabular los hechos esenciales del accidente de que se trate, junto con los de otros accidentes.
8. Estudiar todos los hechos.
9. Decidir qué acción seguir.
10. Conferir responsabilidad (o cuidar de que sea conferida) para que se lleve a la práctica la acción planeada.

Costo de los accidentes

Se considera que el costo total de un accidente se compone de dos partes: el costo directo y el costo indirecto.

El costo directo está representado por los salarios de la persona lesionada durante el período de su incapacitación, su atención médica e indemnización en casos de incapacidad permanente. Este costo ordinariamente es cubierto por el Seguro Social o por compañías aseguradoras.

El costo indirecto está representado por diversos perjuicios, entre ellos: interrupciones en la producción, daños a la maquinaria, materia prima, producto o instalaciones, costo de adiestramiento del personal sustituto, etc. Este costo indirecto es absorbido por la empresa. Las estadísticas y los estudios contables que se han hecho revelan que el costo indirecto suele ser 4, 5 y más veces mayor que el costo directo.

Renglones de costo indirecto

- 1.- Costo del tiempo perdido por el trabajador accidentado.
- 2.- Costo del tiempo perdido por otros trabajadores que tienen que suspender su labor.
- 3.- Costo del tiempo perdido por los supervisores u otros ejecutivos.
- 4.- Costo del tiempo empleado por el encargado de primeros auxilios y el personal del departamento médico, cuando no es pagado por la compañía de seguros.
- 5.- Costo del daño causado a la máquina, herramientas u demás útiles, o bien del material desperdiciado.
- 6.- Costo incidental debido a interferencia en la producción, falta de cumplimiento en la fecha de entrega de los pedidos, pérdida de primas, pago de indemnizaciones por incumplimiento y otras causas semejantes.
- 7.- Costo que tiene que desembolsar el patrón de acuerdo con los sistemas de bienestar y beneficio a los trabajadores.
- 8.- Costo de continuar pagando los salarios íntegros del trabajador accidentado a su regreso al trabajo, aún cuando todavía su rendimiento no sea pleno por no estar suficientemente recuperado.
- 9.- Costo por concepto de la pérdida de utilidades en la productividad del accidentado y de las máquinas ociosas.
- 10.- Costo de los daños subsecuentes como resultado de un estado emocional, o moral debilitada por culpa del accidente ocurrido.
- 11.- Desembolso por concepto de los gastos generales fijos correspondientes al lesionado, a saber: luz, calefacción, ren

te y otros renglones, los cuales siguen corriendo durante el tiempo en que el trabajador no produce.

Elementos de un programa eficaz de seguridad

Los aspectos esenciales de un desempeño de seguridad de primera clase en una empresa, pueden ser resumidos como sigue:

1. Debe haber una dirección ejecutiva continua y enérgica.
2. El equipo y la fábrica deben ser seguros.
3. La supervisión debe ser competente y tener un ferviente espíritu de seguridad.
4. Es menester mantener y cuidar de que exista una plena cooperación en la prevención de accidentes por parte del empleado.

Búsqueda y eliminación de los riesgos

Las actividades cuya principal finalidad es eliminar riesgos, son:

- 1.- Planeación.
- 2.- Atender a la seguridad en las compras.
- 3.- Inspección.
- 4.- Análisis de la seguridad (o riesgo) en la tarea.
- 5.- Investigación de los accidentes.

La planeación para evitar accidentes debe ser parte fundamental de todo proyecto de seguridad. Si se observa este aspecto, todo nuevo proyecto o fábrica ostentará un tan reduci-

do elemento de riesgo que, con una administración razonablemente buena y una conveniente atención a crear un comportamiento seguro, cabrá esperar una casi total eliminación de todo daño humano. Sin embargo, conviene aclarar que cuando se trata de una fábrica ya en operación, sigue siendo importante la planeación, debido a los casi continuos cambios en proceso, procedimientos, etc., y también a las constantes modificaciones que es necesario realizar para mantener las funciones y el equipo al ritmo del progreso industrial. Cada nueva modificación, operación o cambio necesita ser planeado con cuidado, a efecto de eliminar de los mismos el mayor número de riesgos.

Debe establecerse un sistema definido de inspección para cubrir la totalidad de la fábrica y todo lo contenido en ella. No sólo pueden haber pasado inadvertidos riesgos en la planeación, instalación y montaje de la fábrica, sino que lo que es más importante, el diario uso y desgaste, así como los cambios pueden hacer que surjan otros riesgos, los cuales, al faltar una inspección adecuada pueden salir a luz sólo al ocasionar daños. Por tanto, toda administración debe hacer lo posible por crear un sistema de inspección adecuado a sus necesidades.

La investigación de accidentes, es una especie de autopsia mediante la cual el investigador busca descubrir información que le servirá para evitar que el accidente se repita.

Formación de una conducta segura

La técnica que ha demostrado ser eficaz para la eliminación

de los actos no seguros, tal vez no sea tan precisa como la que sirve para detectar riesgos, ya que consiste, en forma principal, en una mera adaptación de métodos ampliamente usados en publicidad, educación y adiestramiento.

Un programa adecuado para formar y sostener una conducta segura, necesita incluir la continuación de una publicidad en pro de la seguridad, con la finalidad de que los empleados estén dispuestos a recibir ideas específicas y participen con empeño en actividades bien definidas de seguridad.

Las actividades específicas cuyo propósito primordial es producir una conducta segura y adecuada son:

Colocación. El análisis de seguridad en la tarea determina las cualidades humanas necesarias para el trabajo de que se trate. Las pruebas físicas y de aptitudes, y en algunos casos el análisis psicológico, realizados antes de otorgar un empleo, hacen posible el colocar al solicitante del mismo en el lugar más adecuado a su capacidad. Una colocación al azar es, sin duda, fuente de numerosos daños.

Adiestramiento. El análisis de la tarea determina los métodos de seguridad en el trabajo y suministra la información que el trabajador necesita. Sin embargo, al adiestrar a éste para que actúe debidamente, el método detallado de adiestramiento tan bien expresado por la fórmula: "Dígale, muéstrelo, póngalo a hacerlo, corríjalo hasta que lo capte, supervíselo para cerciorarse de que sigue haciéndolo bien", expone las bases del entrenamiento correcto.

Supervisión. Salta a la vista que si es verdad que el supervisor es el hombre clave en materia de seguridad, necesita

prestarse la mayor atención a la selección y adiestramiento de los supervisores, a efecto de que puedan operar en debida forma y de acuerdo con su importante responsabilidad. Por tanto, cualquier programa bien elaborado de preparación de supervisores en el renglón de seguridad, debe formar parte de todo proyecto bien concebido de seguridad.

Educación. Entre la educación y el adiestramiento debe hacerse una clara distinción. Por educación se entiende el aumento del conocimiento que posee un individuo respecto al campo de trabajo en que se desenvuelve así como todo cuanto se relaciona con el mismo. Por entrenamiento se entiende el desarrollo de su habilidad en la ejecución de tareas especiales o tipos de su trabajo. La seguridad en la educación está relacionada con el trabajo que los obreros realizan y se presenta de forma que estimule su mente.

Participación del empleado. La mayoría de las personas aprenden "haciendo" y de ahí su interés principal en alistarse como personal participante; el grado máximo en la participación personal es la seguridad en las actividades y todo cuanto se relaciona con la empresa. Ello es posible cuando se cuenta con un bien organizado y adecuado programa de seguridad que asigne alguna parte específica a cada empleado de la organización.

Mantener alto el programa. Una cuidadosa vigilancia debe ser llevada a cabo en el cumplimiento de las actividades, aunque la supervisión pueda ser difícil; aunque sus directrices o puntos de referencia son en su mayor parte casi impracticables, deben tomarse en consideración las circunstancias de cada caso individual. El punto más importante es que el direc-

tor de seguridad, u otro ejecutivo ejerciendo la responsabilidad del programa de seguridad, debe establecer fines adecuados y adoptar medidas convenientes para que conduzcan como un todo y en cada una de sus partes al cabal cumplimiento del programa.

La seguridad en el manejo de materiales

- a). El manejo de materiales tiene mucha importancia en la seguridad porque aproximadamente la cuarta parte de los accidentes con incapacidad los produce el manejo de materiales.
- b). Las principales causas de los accidentes en el manejo de materiales son:
 - (1) Levantar pesos en forma inadecuada.
 - (2) Levantar pesos excesivos y
 - (3) No usar equipo adecuado.
- c). Los principales sintomas de malos métodos de manejo de materiales son:
 - (1) Confusión y falta de orden de los materiales.
 - (2) Excesivo manejo manual.
 - (3) Manejo de objetos muy pesados por medio de carros impulsados a mano.
 - (4) Corredores de tránsito y de almacenamiento congestionados, no marcados o con demasiado movimiento.
 - (5) Camiones, vagones y otros vehículos sobrecargados.

(6) Mala conservación del equipo.

d). El problema de la seguridad en el manejo de materiales puede atacarse:

(1) Inspeccionando en busca de riesgos en el manejo de materiales.

(2) Planeando y analizando las operaciones.

(3) Mecanizando lo más posible el manejo manual.

(4) Seleccionando y adiestrando al personal encargado del manejo.

(5) Supervisando adecuadamente a los trabajadores.

(6) Usando equipo auxiliar y protector conveniente.

e). Al levantar manualmente un peso, deben flexionarse las rodillas, mantener la espalda recta y hacer el esfuerzo con los músculos de las piernas, no con la espalda.

Prevención de accidentes con herramientas

a).- El manejo de las herramientas de mano, representa una fuente importante de accidentes, porque produce numerosos casos de accidente con lesiones leves.

b).- Las causas principales de los accidentes con herramientas son:

(1) Estado defectuoso de la herramienta.

(2) Usar una herramienta que no es la indicada.

(3) Manejo incorrecto de la herramienta.

(4) Portarla peligrosamente y guardarla en lugar inadecuado.

cuado.

- c).- Entre las medidas importantes para prevenir accidentes con herramientas están: revisión periódica, adiestramiento; encargar a alguien su mantenimiento y analizar la operación; proporcionar el equipo de protección personal necesario.

- d).- A los trabajadores que emplean herramienta y deben llevarla a varios sitios, debe proporcionárseles cinturones porta-herramientas, bolsas de lona o cajas metálicas para su transporte.

- e).- El tener gavetas, casilleros, tableros o armarios para herramienta, contribuye a disminuir los accidentes.

- f).- Al trabajar cerca de líquidos, sólidos o gases altamente inflamables, debe usarse herramientas anti-chispas. Estas deben revisarse periódicamente para remover rebabas de metal que pudieran quedar adheridas.

- g).- Algunos accidentes con herramientas portátiles eléctricas son: falta de conexión a tierra; falta de protección en las partes móviles peligrosas como sierras, esmeriles, pulidoras, etc.

Prevención de accidentes con máquinas

- a). El problema del accidente con máquinas es de suma importancia por las incapacidades permanentes que produce.

- b). Los accidentes con máquinas obedecen principalmente a actos peligrosos de la persona, de aquí la importancia de las protecciones, que resguardan al individuo contra movimientos involuntarios o irreflexivos.
- c). Las principales zonas de peligro en una máquina son las transmisiones y el punto de operación.
- d). El punto de operación es la parte precisa, de la máquina donde el material u objeto que se trabaja sufre una operación que le da una nueva forma.
- e). Las especificaciones para los resguardos de transmisiones, están contenidas en el Reglamento de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo.
- f). El punto de operación puede protegerse mediante cubiertas, pantallas, barreras, frenos eléctricos, dispositivos electrónicos, botones o palancas de arranque, etc.
- g). En labores de mantenimiento y engrasado, es importante proteger también los sitios visitados por ese personal y establecer un sistema para evitar que durante las reparaciones se ponga a funcionar, sin previo aviso la maquinaria o el equipo.

Uso del equipo de protección personal

- a).- El equipo de protección personal es el último recurso al que hay que acudir.

- b).- Entre los materiales empleados para el vestuario protector, se cuentan los siguientes: asbesto, lana, cuero, hule, plástico, fibras sintéticas, acero, etc.
- c).- Los principales riesgos a que están expuestos los ojos son impactos, salpicaduras de sustancias corrosivas, radiaciones dañinas, gases o humos nocivos.
- d).- Los principales tipos de protectores para los ojos son: monogafas o goggles; anteojos de tipo común, con cristales endurecidos al calor; gafas con protección lateral; monogafas planas, viseras, lentes filtrantes de radiaciones nocivas, casco de soldador.
- e).- Para proteger la cara se utilizan viseras de plástico y de tela metálica; capuchas de hule, plástico y telas impregnadas de hule y plástico, cuando hay el riesgo de salpicaduras de sustancias químicas corrosivas.
- f).- La protección de la cabeza contra caída de objetos y contra colisión con un objeto, se logra con cascos de plástico laminado y de fibra de vidrio con resina. También se utiliza el de aluminio, cuando hay peligro de contacto con corriente eléctrica. Para los electricistas debe emplearse cascos con alta resistencia al paso de corriente.
- g).- Los principales tipos de guante protector son: de lana, contra suciedad, astillas y raspones; de lona, revestidos de plástico, protegen contra concentraciones modera

das de sustancias químicas. Los guantes de cuero resguardan contra chispas, calor moderado y superficies ásperas. Los de metal contra cortadas, contusiones, etc.

h).- Los contaminantes del aire, contra los cuales hay que proteger a la persona son: polvos, gases, vapores, nieblas y humos metálicos y de combustión.

i).- Los principales tipos de equipo protector respiratorio son: respiradores con filtro mecánico o de cartucho mecánico; mascarillas con tanque purificador y mascarillas con dotación propia de aire u oxígeno.

Análisis de seguridad de las operaciones

Procedimiento:

1o.- Dividir la operación en sus detalles componentes.

- (1) Anticipar a los interesados el análisis que se va a hacer.
- (2) Observar la operación varias veces y determinar dónde va a comenzar y terminar el análisis.
- (3) Anotar los detalles; pesos, distancias, condiciones del material u objeto, condiciones del local, etc.

2o.- Localizar los riesgos.

- (1) Obtener la colaboración de los trabajadores y demás personas afectadas.

- (2) Determinar en cada detalle el riesgo presente.
- (3) Consultar la experiencia de accidentes anteriores.

30.- Determinar el método seguro.

- (1) Primero tratar de eliminar el riesgo; si no puede eliminarse, determinar como puede protegerse la máquina o el equipo involucrado.
- (2) Si no puede protegerse la máquina o el equipo; ¿cómo puede protegerse al trabajador? ¿qué instrucciones deben dársele?
- (3) Poner por escrito el método seguro.

40.- Aplicar el método seguro.

- (1) Obtener la aprobación del jefe, subordinados y demás personas y reconocer la colaboración recibida.
- (2) Adiestrar al personal en el método seguro.
- (3) Comprobar resultados (siempre hay un método más seguro).

Primeros Auxilios

La finalidad de un programa de prevención de accidentes bien llevado, es poner por término a los accidentes (y exposiciones) que puedan ocasionar daños, eliminando para ello los riesgos, protegiendo al trabajador y promoviendo las prácticas seguras. Sin embargo, ningún programa ha tenido éxito en cuanto a eliminar por completo los accidentes. Por tanto, aún aquellas empresas que se han acercado más a la meta de una to

tal eliminación, han hallado necesario y benéfico el proporcionar el mejor tratamiento posible a las víctimas. Esto supone instalaciones para primeros auxilios y adiestramiento en lo mismo.

Instalaciones para el suministro de primeros auxilios

Toda empresa debería tener un lugar adecuado para esta clase de servicio. Su extensión, como es natural, varía mucho. Muchas fábricas grandes sostienen instalaciones que se acercan a las encontradas en un hospital moderno y proporcionan amplios servicios preservadores de la salud, especialmente dentales, examen de la vista y adaptación de anteojos, análisis de sangre y orina, así como consejos sobre nutrición. Empero, la práctica usual es limitar este renglón exclusivamente a lo que pueden ser los primeros auxilios y proporcionar los demás servicios a través de médicos que ejercen su profesión en sus propios consultorios.

El propósito primario de las instalaciones de primeros auxilios en una fábrica, es precisamente lo que la denominación implica: dar un tratamiento inmediato a quienes han resultado heridos en el curso de sus labores. Cualquier otra consideración es secundaria a esto. El propósito es doble: proporcionar una atención médica pronta en el caso de una herida grave, y evitar la infección de lesiones menores. De fundamental importancia para una satisfactoria operación del servicio de primeros auxilios, son los siguientes puntos:

10.- Personal adecuado y competente.- El requerimiento míni

mo en este renglón, es el representado por una enfermera titulada y de planta, o sea de tiempo completo. Claro que en las fábricas muy pequeñas esto no sería práctico. La alternativa sería escoger un par de trabajadores que, tras de estudiar un curso normal de primeros auxilios, realizaran esta labor bajo la supervisión general de una enfermera titulada o de un médico.

2o.- Local y equipo.— Toda fábrica debe contar con un local para primeros auxilios, el cual debe estar acondicionado en forma atractiva, tener buena iluminación, mantenido en un estado de perfecta limpieza y orden, y estar ubicado cerca de las instalaciones higiénicas.

3o.- Organización y registros.— La importancia de dar el debido tratamiento a los daños menores debe ser bien entendida por los supervisores y éstos deberán dedicar el esfuerzo necesario para transmitir esa idea a sus subalternos y lograr que informen de todo daño menor que sufran. Es necesario que se lleven registros definidos, los cuales deberán ser tan sencillos como sea posible y al mismo tiempo contener la información esencial.

4o.- Cooperación de los trabajadores.— El problema de hacer que los trabajadores entiendan bien el peligro de una infección y que por consiguiente no dejen de acudir a tratarse todo daño menor, es dificultoso. Sólo podrá resolverse atendiendo a los siguientes aspectos: insistente presión por parte de la administración, continua supervisión, constante campaña informativa y empleo persistente de carteles, literatura, juntas de seguridad y otros medios educativos.

Adiestramiento en primeros auxilios

Este adiestramiento tiene por objeto principal el instruir al personal de la fábrica a fin de que, cuando tenga lugar un accidente, su gravedad pueda ser controlada mediante una atención apropiada al empleado lesionado. Un buen programa de entrenamiento tiene, desde el punto de vista de el ingeniero de seguridad, un segundo y quizá más importante objetivo que el del simple tratamiento de los daños. El hecho mismo de que los trabajadores sean preparados para atender accidentes, acarreará una reacción beneficiosa de su parte, consistente en un mayor interés en evitar que ocurran.

Una de las condiciones fundamentales de todo programa de seguridad, es el mantenimiento del interés activo de cada trabajador en su propia seguridad, así como en la de sus compañeros. Siempre que ese interés decae, aumenta el índice de frecuencia. Se ha demostrado que un buen programa de adiestramiento en primeros auxilios sirve, en muchos casos, para mejorar el espíritu de seguridad en el grupo. Un programa así ministra conocimientos respecto a los distintos tipos de daños, el efecto de éstos en la persona y el tratamiento requerido para cada clase de daño.

7.- CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo presentado, puedo concluir que el objetivo planteado al principio del mismo ha sido alcanzado en gran medida, aunque no totalmente, puesto que dentro de la investigación realizada pudieron haber sido pasados por alto algunos otros factores que también repercuten directamente en el desempeño de un sistema de producción.

A pesar de que puedan faltar de ser considerados dentro de este trabajo dichos factores, considero que los expuestos en el mismo nos pueden dar la suficiente información que se necesita cuando se trata de optimizar un sistema de producción.

En cuanto al objetivo secundario, de presentar cada uno de estos factores en la forma más completa posible, creo que ha sido alcanzado totalmente, puesto que cada uno de los factores mencionados en este trabajo se presentan muy completos, abarcando sus aspectos más importantes.

Dentro de la aportación personal que he recibido al realizar este trabajo, considero que ésta ha sido muy importante dentro de mi formación como ingeniero, puesto que durante el desarrollo del mismo he adquirido nuevos conocimientos, además de ampliar y reafirmar los adquiridos en la escuela.

Finalmente, espero que este trabajo pueda contribuir de alguna manera en el desarrollo de los compañeros estudiantes, permitiéndoles como a mi ampliar y reafirmar sus conocimien-tos en algunas materias relacionadas con los temas tratados en el presente trabajo. Además de servir como material de con-sulta para los propios estudiantes, espero que también pueda servir de alguna manera a las personas que se encuentren inte-resadas en trabajos de esta naturaleza, o bien les interese algún o algunos de los temas tratados en el mismo.

8.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- ADMINISTRACION DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION.
VELAZQUEZ MASTRETTA GUSTAVO.
LIMUSA.
- 2.- ADMINISTRACION DE PRODUCCION.
K. STARR MARTIN.
PRENTICE/HALL INTERNACIONAL.
- 3.- GERENCIA DE PRODUCCION Y OPERACIONES.
R. MAYER RAYMOND.
McGRAW-HILL.
- 4.- PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION.
H. BOCK ROBERT.
LIMUSA.
- 5.- SISTEMAS DE PRODUCCION E INVENTARIO.
BUFFA ELWOOD Y TAUBERT WILLIAM.
LIMUSA.
- 6.- INGENIERIA INDUSTRIAL.
NIEBEL BENJAMIN.

REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA.

- 7.- SEGURIDAD INDUSTRIAL.
BLAKE ROLAND.
DIANA.
- 8.- DISTRIBUCION EN PLANTA.
MICHEL PIERRE.
DEUSTO.
- 9.- MANUAL DE INGENIERIA DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL.
H. MAYNARD.
REVERTE.
- 10.- MANUAL DE LA PRODUCCION.
ALFORD L. Y BANGS J.
UTEHA.
- 11.- PRODUCCION.
HOPEMAN RICHARD.
CONTINENTAL.
- 12.- SISTEMAS DE PRODUCCION.
RIGGS JAMES.
LIMUSA.
- 13.- SEGURIDAD INDUSTRIAL
MANUAL DE ADIESTRAMIENTO No. 73 (SERIE A).
HERRERO HERMANOS.
- 14.- PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION.

CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD.

15.- SEGURIDAD INDUSTRIAL.

CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD.

16.- DISTRIBUCION DE PLANTA Y MANEJO DE MATERIALES.

CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD.

17.- INTRODUCCION A LA DISTRIBUCION DE PLANTA Y MANEJO DE
MATERIALES.

CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD.

18.- DISTRIBUCION DE PLANTA.

ING. MARIO CONTRERAS.