

21
2 es.

007740

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

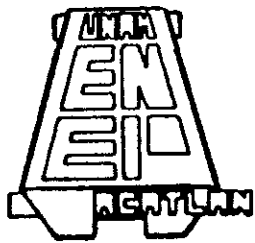
ACATLAN
'98 MZO 10 PM 12 30

"SIMULACION Y OPTIMIZACION DE LAS RUTAS DE
PRODUCCION EN UNA FABRICA DE CARBON"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADA EN MATEMATICAS
APLICADAS Y COMPUTACION
P R E S E N T A :
ANA RUIZ ALGABA

ASESOR: FIS. MAT. JORGE LUIS SUAREZ MADARIAGA.



MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

259281



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.

Dedico este trabajo a:

*Mis padres quienes confiaron en mí y me brindaron
siempre su apoyo incondicional.*

Muchas gracias.

A todos mis familiares y amigos por su ayuda y comprensión.

Los quiero mucho.

*Al Sr. Matthias Butte quien me brindó todas
las facilidades dentro de la empresa.*

Gracias.

**“SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS
RUTAS DE PRODUCCIÓN EN UNA FÁBRICA
DE CARBÓN”**

ÍNDICE

Introducción

I. El proceso de producción

1.1 Producción	3
1.2 Los costos en la producción	13
1.3 Expectativas	17
1.4 Planteamiento del problema	18
1.4.1 Panorama actual	19
1.4.2 Origen del problema	21

II. Análisis de factores y generación de la ecuación general de costos

2.1 Los costos y sus elementos	22
2.1.1 Clasificación de los costos	22
2.1.2 Costo de Producción	23
2.2 Materia Prima	30
2.3 Mano de Obra	32
2.4 Gastos Indirectos	33
2.5 Generación de la Ecuación de Costos	34
2.5.1 Definición de Variables	36
2.5.2 Generación de la Ecuación General de Costos	37

III. Simulación de Rutas de Producción

3.1 Rutas de Producción	40
3.1.1 Planteamiento matemático sobre el control de producción	41
3.1.2 Objetivos de las rutas de producción	43
3.1.3 Lay Out actual de la línea de producción en cuestión	48
3.2 Simulación	51
3.2.1 ¿Qué es la Simulación?	51
3.2.2 Herramienta de Simulación	56
3.2.2.1 "PROMODEL"	58
3.2.3 Diseño de los modelos de nuevas rutas de producción	60
3.2.4 Simulación de los modelos propuestos	61
3.3 Análisis y selección del resultado óptimo	95

Conclusiones

Apéndice

Bibliografía

Introducción.

Como en todas las actividades de la vida diaria, las matemáticas intervienen de manera tal que no se distingue muchas veces cuando se aplican; la producción, no es una excepción, aunque en éste caso en particular, durante más de treinta años se han aplicado en su forma básica, y ha llegado el momento de explotar las herramientas que nos brinda la tecnología actual.

El presente trabajo tiene como objetivo encontrar una ruta de producción que ayude a reducir los tiempos y los costos empleados en el proceso de elaboración de escobillas de carbón.

El proceso de producción es muy complejo ya que involucra factores que intervienen en cada fase del sistema que no se identifican fácilmente por sí solos, por esta razón el cálculo de éstos no se puede considerar sencillo. Más adelante se analizarán algunos de los factores que se deben tomar en cuenta antes, durante y después de la producción.

En este estudio se podrá apreciar como se reducen los tiempos de entrega del producto terminado a los clientes, es decir, se intentará minimizar el tiempo de elaboración de estos, con la definición de una ruta crítica que optimice tiempos entre actividades y costos de producción.

Con base en la "simulación", que es una técnica para representar situaciones diversas sin tener que hacer pruebas directamente en el sistema real, ahorrando así tiempo y dinero, se buscará encontrar una solución al problema.

El lograr esto permite reducir costos de inventario así como evitar cancelaciones de pedidos y las consecuencias de los retrasos.

El primer capítulo habla sobre el significado del proceso de producción, *cuáles son los principales factores que hay que tomar en consideración dentro de la planeación de ésta, así como en el control, al mismo tiempo se proponen algunos formatos que ayudan a llevar un mejor control y registro de los datos.*

Se hace referencia a los costos de producción y los elementos que intervienen en su cálculo, ya que contablemente son una gran cantidad y no se podría detallar y determinar cada uno de ellos específicamente, sin embargo se concluye en una fórmula estándar que generaliza estos factores, lo que se explica muy ampliamente en el capítulo dos.

En éste mismo capítulo se expone el origen del problema y las expectativas que se buscan con el desarrollo de ésta investigación.

En el capítulo dos se presentan los costos, diferentes métodos de costeo así como los elementos que deben ser tomados en cuenta para su cálculo según la información con que se cuente. La materia prima, la mano de obra y los gastos indirectos son en resumen la base para el cálculo de los costos, a partir de esto se generará la ecuación general que permitirá demostrar el resultado de las simulaciones.

Por último en el tercer capítulo se muestran las rutas de producción, cómo se simulan y los resultados obtenidos al ejecutarlas. Para esto se utiliza un software llamado "PROMODEL", de propósito específico, utilizado principalmente en el área de la manufactura.

Espero que el trabajo cumpla su objetivo y que sea de utilidad para los alumnos de la Universidad interesados en el tema.

CAPÍTULO I

“EL PROCESO DE PRODUCCIÓN”

FALTAN PAGINAS

De la: 1

A la: 2

CAPÍTULO I

EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

1.1 Producción

Actualmente todos los procesos que se establecen, tienen la ventaja de poderse definir en función de un sistema y éste se describe como el conjunto de elementos relacionados entre sí para procesar un insumo y convertirlo en el producto definido por un objetivo inicial. Por lo tanto, aquellos sistemas integrados por hombres y máquinas cuya combinación tiene por objeto la transformación de recursos naturales y de bienes en otros bienes que se adaptan a la creciente variedad de las necesidades humanas, conforman lo que llamaríamos un sistema de producción.

La función de administrar la producción, es la de planear, organizar, dirigir y controlar las actividades necesarias para proporcionar productos y servicios. El sistema de producción consiste básicamente en la transformación de materias primas, en él intervienen como elementos indispensables el hombre, los materiales, la dirección, el control y la toma de decisiones trabajando en conjunto, ya que no se puede crear un sistema que contemple cada uno de estos elementos como entidades individuales puesto que iría en contra de la definición de un sistema.

Los sistemas de producción se clasifican en 2 grupos, continuos e intermitentes. Los continuos, son aquellos en los que se tiene definido un itinerario de operación y no existen interrupciones entre el inicio y el final del proceso. Este sistema generalmente se presenta cuando la demanda del(los) producto(s) es elevada y se necesita trabajar continuamente, por lo que la producción debe ser en grandes cantidades. Otra característica del sistema

continuo es que trabaja bajo costos relativamente bajos y se definen trayectorias fijas para el manejo de los materiales.

Los sistemas intermitentes se caracterizan por la producción en lotes de fabricación, es decir, se produce por pedidos de cada producto una cantidad suficiente que quede dentro de los límites de costos de producción establecidos. En este tipo de sistemas se manejan pedidos individuales para diversos productos y se busca que los clientes acepten productos estandarizados los cuales se fabrican en el mayor volumen posible

Los sistemas de producción se analizan mediante el estudio de los materiales que se transforman en productos terminados. Se inicia por los materiales que son comprados a los proveedores, se guardan en un almacén y se abastecen al departamento de producción conforme a una programación establecida. Los materiales siguen distintas rutas a través de los diferentes procesos establecidos o centros de producción, en los que interviene la mano de obra y la maquinaria necesaria para hacer el proceso de transformación.

Existen diferentes tipos de industrias, pero en este proyecto, nos enfocaremos a la actividad productiva de transformación, cuyo objetivo es la mutación de las características físicas y/o químicas de recursos materiales. Podemos definir en tres actividades principales el proceso de producción:

- 1.- La compra de Materia Prima (M.P.).
- 2.- Transformación de ésta en productos elaborados.
- 3.- Distribución.

Los principales costos son; de compra, producción y distribución. Para que el proceso de producción genere buenos resultados o por lo menos los esperados, es necesario planear y controlar el proceso, así como, sus principales funciones.

La primera función está constituida por la compra de materia prima de la que, el costo es el precio neto de la factura del proveedor más los gastos indirectos, los cuales describiremos con detalle más adelante dentro de este mismo capítulo.

La segunda es la manufactura, que comprende el conjunto de erogaciones relacionadas con la guarda, custodia y conservación de materiales en el almacén, la transformación de éstos en productos terminados aunado al esfuerzo humano y mecánico y la suma de gastos relacionados con la planta en general.

La tercera función son los gastos financieros que implican gastos de venta y administrativos.

Por lo tanto, en cualquier actividad relacionada con la producción el objetivo es proporcionar insumos, como son materia prima, máquinas, suministros de operación, productos semiterminados, edificios, energía y hombres, que en su conjunto crean un valor.

Una actividad esencial es crear una programación cronológica de los trabajos en las máquinas, la asignación y selección de hombres para los distintos trabajos, el control de la calidad en la producción, el mejoramiento de los métodos para ejecutar los trabajos y el manejo de los materiales dentro de la compañía.

En resumen, un sistema de producción consta de insumos o entradas, una serie de operaciones o procesos, almacenamientos e inspecciones y como resultado los productos o salidas (Fig. 1-1.) Debemos tomar en cuenta que los sistemas a su vez están formados por subsistemas los cuales interactúan entre sí para alcanzar el objetivo inicial.

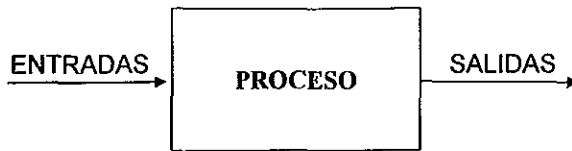


Fig. 1.1 Sistema simplificado de producción.

Las entradas se pueden definir como los elementos o energía que pone al sistema en operación.

El proceso es la actividad que transforma las entradas en salidas en sí son una serie de instrucciones que explican detalladamente qué, quién, cuándo y cómo se hará.

Las salidas son el propósito y el fin del sistema.

El control y planeación, son el punto de partida para obtener un buen sistema de producción que nos genere los resultados esperados.

Se parte por diseñar el sistema, que se define principalmente la ubicación de la planta, los procesos de fabricación mediante gráficas de los flujos de estos, diagramas de flujo, plantillas y modelos a escala, todo esto es necesario para obtener el mejor nivel de eficiencia del sistema de producción. También se debe tomar en cuenta el tipo de materiales a utilizar, ya que dependiendo del manejo que a estos se les vaya a dar, se deben definirán y ubicarán las instalaciones.

Para poder controlar un sistema de producción, se debe identificar sus elementos, considerando que todo sistema en movimiento esta sujeto a perturbaciones que lo afectan directamente, unas pueden ser controladas por el

gerente de producción y otras no. Dentro de las que podemos controlar están: la información, ya sea directa o indirecta, el tiempo de respuesta de cada subsistema y la interconexión entre estos. Primero debemos determinar la ruta que deben seguir los productos por la planta, el programa que se establecerá, la programación de las órdenes de trabajo y la planeación de las actividades.

Se deben analizar los costos para poder determinar el tamaño óptimo del lote de producción, esto es, *fijar la cantidad de piezas a fabricarse en determinado tiempo* y que minimice los costos. Estos problemas actualmente se solucionan por medio de la programación lineal que ayuda a determinar, cómo se elevan al máximo las utilidades y se reduce al mínimo el costo de producción, encontrando la cantidad óptima a elaborar en cada lote, tomando en cuenta las restricciones que pueda presentar el sistema.

Los parámetros del sistema son sus características, las relaciones son la definición de funciones de las partes de éste, como es "lo que debe hacer cada componente" y "cómo lo debe hacer". Esto debe estar establecido en *procedimientos previos*.

Las restricciones del sistema son los límites del funcionamiento del mismo, como son los objetivos y las limitaciones de recursos, la base es el objetivo principal, del cual a su vez surgen los particulares de cada subsistema y en conjunto definen las fronteras del sistema y las posibilidades de adquirir recursos humanos, materiales, financieros y equipo.

Por otro lado el mantenimiento y confiabilidad del sistema deben tomarse en cuenta, aunque en un momento dado, estos no puedan controlarse en un 100%, ya que *no se sabe cuando una máquina va a presentar una falla*, es decir, se debe saber que decisiones tomar al reconocimiento de la naturaleza aleatoria de la descompostura del equipo considerando el tiempo improductivo de la

máquina y lo que implican costos, sobre todo en tiempos de entrega establecidos. También, algunos desequilibrios que debemos considerar en el sistema, pueden ser además de las interrupciones graves en la maquinaria, la cancelación de los pedidos, la pérdida de los embarques enviados por los proveedores o a los clientes y las huelgas.

La programación de la producción se ha definido y representado gráficamente mediante diagramas de Gantt o de barras (Fig.1-2), ya que ilustra cuando se deben iniciar las actividades respetando las restricciones y los recursos con los que cuentan. El objetivo del control de la producción es el de aumentar la productividad, entendiendo ésta como la relación del valor del producto y servicio producidos y divididos entre el valor de los recursos utilizados en producción.

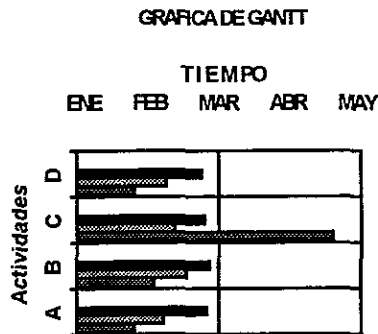


Fig. 1.2 Gráfica de Gantt

En todos los sistemas de producción siempre vamos a encontrar una mejor forma para realizar el trabajo, para ello se aplica el análisis de métodos empleando varias técnicas con el objeto de mantener la eficiencia en la elaboración de los productos así como para determinar la mejor forma de hacer nuevos trabajos.

La más usada es el empleo de los principios del estudio de tiempos y movimientos apoyándose en gráficas de proceso, como son las gráficas del flujo del proceso, gráficas para el operador del proceso, gráficas de movimientos simultáneos y gráficas máquina - hombre. Se utilizan también técnicas del estudio de tiempos con cronometro, tiempos sintéticos o el método de datos estándar, considerando tolerancias en la eficiencia de los elementos hombre - máquina así como demoras inevitables.

Para esto se manejan tres definiciones de tiempos; tiempo actual, es el tiempo requerido por unidad producida, y se determina considerando la eficiencia de trabajo y los retrasos inevitables; tiempo modelo o estándar, es el tiempo determinado tomando en cuenta la ocurrencia de retrasos inevitables, pero considerando que la eficiencia de trabajo u operación será del 100%; tiempo normal, es el tiempo supuesto requerido si la eficiencia u operación es de 100% y no hay retrasos inevitables.

En el control de procesos de producción se aplican algunas técnicas de investigación de operaciones como pueden ser:

- Programación lineal
- Programación cuadrática
- Programación no lineal
- Programación dinámica
- Teoría de juegos
- Teoría de Líneas de espera (colas)
- Simulación.

Esto significa, que se pueden tomar mejores decisiones administrativas mediante el uso de métodos analíticos.

En resumen, podemos agrupar los problemas de producción en 2 clases. La primera, son los relacionados con el diseño del sistema de producción como son, la ubicación, distribución de las instalaciones, nuevos métodos para el manejo de materiales, nuevos diseños de productos y procesos tecnológicos.

La segunda clase de problemas implica la planeación, el análisis y el control de las operaciones de producción.

El sistema de control de producción está diseñado principalmente para acelerar el ritmo de flujo de las órdenes a través de las operaciones de producción, con el objetivo final de alcanzar altos niveles de eficiencia a costos unitarios relativamente bajos. Sin embargo, controlar la calidad de los productos, es decir, producir pocos artículos defectuosos, rara vez se puede lograr a un costo bajo.

Dentro del control podemos distinguir 4 diferentes tipos de redes de flujo; Red de flujo de materiales, red de flujo de fuerza de trabajo, red de flujo de dinero y red de flujo de máquinas, instalaciones y energía, que se consideran insumos físicos que se combinan en el proceso de transformación.

Todos los insumos cumplen un ciclo completo, es decir, fluyen del ambiente externo del sistema al proceso de producción y como tales, están incluidos en la transformación, con el tiempo regresan de la planta productiva al ambiente, obviamente el tiempo en que se cumple el ciclo de cada insumo varía, ya que el flujo de las máquinas al ambiente puede tardar años, no así los materiales y mucho menos la energía. La administración de estos recursos puede dividirse en tres fases; compras, distribución y disposición, un ejemplo claro es el de los materiales. La red de flujo de los materiales principia con los proveedores que proporcionan estos a la empresa y convergen desde varias rutas hacia la planta productiva, posteriormente, cuando entran al proceso de transformación, estos siguen una variedad de rutas convergentes a medida que son convertidos en

productos terminados y por último, los productos salen de la planta y siguen rutas divergentes a través de múltiples canales de distribución a los clientes.

El ejemplo anterior es el que se manejará en el desarrollo de este trabajo.

En los siguientes diagramas se describen diferentes diagramas de convergencia y divergencia.

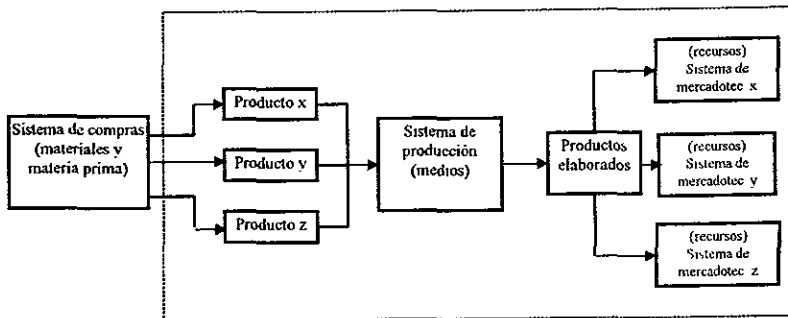


Fig. 1.3 Diagrama de convergencia - divergencia

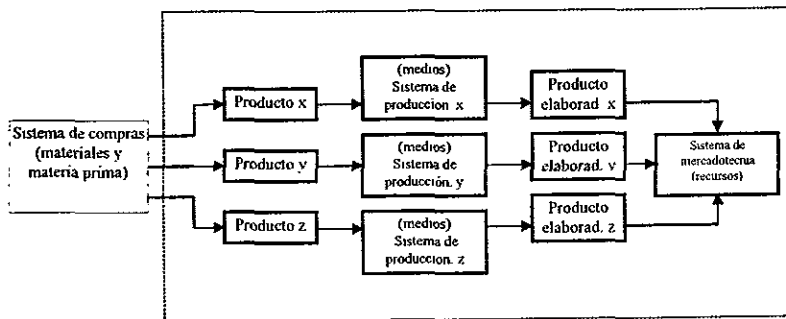


Fig. 1.4. Diagrama de divergencia - convergencia

La planeación es la etapa del sistema de producción que se define, como el conjunto de planes sistemáticos y acciones encaminadas a dirigir ésta

considerando los factores; cuánto, cuándo, dónde y a qué costo. Es la labor que establece límites o niveles para los operarios de fabricación en el futuro.

Esto es, qué cantidad de cada artículo se debe producir, en qué fecha se iniciará y terminará cada uno de los procesos y/o cada fase, qué máquina o máquinas y operarios harán el trabajo y por último, estimar cuánto costará a la empresa producir el artículo.

El subsistema de planeación de la producción es una actividad integrativa que intenta elevar al máximo la eficiencia de una empresa, el cual debe contemplar lo siguiente en cuanto al producto:

- Partes que lo componen
- Proceso de fabricación de cada parte y subensamble del ensamble
- Secuencia de operaciones
- Tiempo y tipo de producción
- Materiales necesarios
- Equipo y Herramientas necesarias

en cuanto al taller o la planta se debe tomar en cuenta:

- Equipos existentes y sus características
- Distribución de los insumos
- Carga actual de trabajo

en cuanto a los costos:

- Costos directos: materiales y mano de obra
- Costos indirectos: todos aquellos costos que no se pueden aplicar fácilmente a un producto y se prorratan por hora - máquina, hora - hombre, pieza - Kg de producto terminado u otra unidad seleccionada.

Una vez definida la lista de materiales por producto, se procede a elaborar una hoja de itinerario y tomando en cuenta los recursos de las instalaciones de la planta así como los costos, se elabora el plan de producción correspondiente.

Durante el desarrollo de este trabajo se emplean algunos de los términos y conceptos manejados en esta breve introducción del proceso de producción, que se aplicarán más adelante.

1.2 Los Costos en la Producción.

Los costos son un conjunto de pagos, obligaciones contraídas, consumos, depreciaciones, amortizaciones y aplicaciones atribuibles a un periodo determinado relacionadas con las funciones de producción, distribución, administración y financiamiento.

Los costos de producción están formados por la materia prima, por el trabajo para realizar la manufactura y un conjunto de erogaciones fabriles que intervienen en la transformación de la primera.

Los costos de fabricación se clasifican en tres principales grupos para su estudio:

- Costos de compra.- Formados por la factura del proveedor, erogaciones de compra y el almacenamiento de la materia prima.

$\text{costo de M.P.} = \$ \text{ neto de facturación del proveedor} + \text{gastos de traslado}$

- Costos de producción.- Mano de obra, gastos indirectos y el almacenaje del producto terminado.

- Costos de distribución.- Gastos de venta, gastos de administración y gastos de financiamiento.

Los tres elementos básicos que se deben tomar en cuenta para el cálculo de costos de producción son; la materia prima, la mano de obra o trabajo humano utilizado en la transformación de ésta y los gastos indirectos y aplicaciones de activos fijos, cargos diferidos y gastos pagados por adelantado de carácter fabril necesarios para efectuar dicha transformación.

La materia prima son materiales previamente adquiridos y almacenados que se convierten en costos en el momento en el que salen del almacén hacia la fábrica para utilizarse en la producción. También se conoce como Material Directo.

La mano de obra es el factor humano que interviene en la producción sin el cual sería imposible realizar la transformación, ésta la podemos dividir en Mano de Obra de la planta y Mano de Obra de organización y administrativa, o directa e indirecta respectivamente.

Dentro de los gastos indirectos podemos considerar la renta, (en caso de no ser propia la planta), energía eléctrica, agua, calefacción, papelería, servicio telefónico y telegráfico, correos, transportes, materia prima indirecta, mano de obra indirecta, depreciación de los activos fijos, amortizaciones de cargos diferidos y las aplicaciones de gastos pagados por anticipado.

Producción	Materias primas	Materia prima incorporada física o químicamente al producto elaborado Materia prima consumida al elaborarse el producto, sin formar parte del mismo		
	Mano de Obra	Salarios devengados por operarios que lleven a cabo la transformación de los productos	Que materialmente los fabrican cuya actividad puede relacionarse con la fabricación de los productos, aun cuando no los fabriquen materialmente.	
	Cargos Indirectos	M.P. Indirectas		Sueldos y prestaciones de el personal que no interviene directamente en la elaboración del producto
		M.O. Indirecta		Renta, alumbrado, calefacción erogaciones de troqueles, erogaciones de herramientas, conservación y mantenimiento, reparaciones exteriores, diversas erogaciones fabriles
		Erogaciones indirectas fabriles		Del edificio, de maquinaria y equipo, de transporte, mobiliario y equipo de oficina, de troqueles
		Depreciaciones de activos fijos		Gastos de instalación y gastos de adaptación
	Amortización de cargos diferidos		Papelería, predial y renta anticipados, seguros, activos, pasivos y trabajadores.	
	Aplicación de gastos fabriles pagados por anticipado			

Tabla 1.1 Elementos de los costos de Producción.

Por experiencia se sabe que la fabricación de unos pocos artículos tiene un costo mayor por unidad producida que si se produce una cantidad más grande de ellos, sin embargo, también se ha comprobado que pasando el punto máximo aumentan nuevamente los costos y es por lo que se debe definir una cantidad óptima del lote de productos a fabricar, es decir, que no sea ni muy pequeña ni muy grande.

Como este problema y muchos otros referentes a los costos de producción se enfrenta todo gerente de producción, pero poco a poco se han ido resolviendo con base en métodos analíticos y contables cada vez más exactos y eficientes.

Se explica ampliamente en el siguiente capítulo los costos de producción, ya que se pretende generar una ecuación general que sea aplicable al cálculo de costos de los productos de la línea de producción GB V, en donde hasta el momento se necesita calcular los costos de los productos de cierto cliente muy importante, con el objeto de mejorar los tiempos de entrega al identificar y definir la ruta crítica dentro de los procesos de producción, manteniendo ante todo la calidad de nuestros productos.

Existen diferentes sistemas de costos los cuales se explican brevemente para poder seleccionar el que más se adapte a las características y necesidades de la planta y las técnicas actuales de costos. Entre los más conocidos se encuentran; el sistema de costos por procesos, sistema de costos estimados, primeras entradas, primeras salidas, últimas entradas primeras salidas, costo de compra prevaleciente en el mercado y el sistema de costos estándar.

Para identificar los elementos que intervienen en el costo de producción tenemos que mencionar los siguientes costos:

- costo de la fuerza de trabajo
- costo de producción
- costo de mantenimiento de inventario
- costo de contratación
- costo de despido
- costos de deficiencia de inventario.
- costo de tiempo extra
- costo de tiempo incompleto
- costo de subcontratación

El método de la ruta crítica es una técnica sistemática de planeación, con el que se puede garantizar que la utilización de recursos, como el tiempo extra,

fuerza de trabajo, diseño y equipo, se logrará de una manera lo más cercana a la óptima sino es que la óptima. El objetivo de aplicar este método en la planeación de un proyecto, es encontrar el camino más corto dentro del proceso de producción que minimice el costo total esperado. Por esto aplicando el método y apoyándose en la simulación, se demostrará la reducción de los costos al encontrar la ruta crítica o la que dé como resultado un menor tiempo total del proceso de producción.

1.3 Expectativas

Lo que se pretende en este proyecto, es demostrar que haciendo un estudio de la ubicación de la maquinaria, de los procesos establecidos y el tiempo en que se realiza el ciclo de cada uno de ellos, se puede encontrar una ruta crítica que minimice los tiempos y por lo tanto los costos de producción. Para ello se partirá por generar una ecuación de costos, la que contemple los elementos básicos para el cálculo de los costos de producción, dependiendo de las características de la fábrica y sobre todo de los productos pertenecientes a la línea seleccionada GB V automotriz.

Desgraciadamente, en esta empresa no se ha tenido un sistema de costos, ni de inventarios y no se han hecho análisis previos para la implantación de nuevos procesos ya que todo se ha basado en el conocimiento empírico de las personas que han crecido con la compañía.

Como se mencionó anteriormente, se ha trabajado con un software de simulación con el que se harán los diseños de los modelos propuestos y las pruebas directamente utilizando la computadora, sin tener que hacer movimientos físicos de equipos, materiales o personas, ahorrando dinero y recursos en general a corto y largo plazo.

La situación actual del país, nos está obligando a cambiar y actualizar los métodos y sistemas empleados por tanto tiempo en la fábrica, ya que si no se hace llegará el momento que nos quedaremos atrás y otras empresas nos ocuparán el lugar que actualmente la compañía tiene en el mercado y si los precios no son competitivos, el mercado extranjero terminará por tomar ventaja, lo cual afecta, no sólo a la empresa, sino al país directamente.

1.4 Planteamiento del problema

Actualmente, la empresa elabora principalmente escobillas de carbón para diferentes aplicaciones entre ellas se fabrican escobillas de uso automotor, como son las marchas, generadores, alternadores e infinidad de productos de carbón para artículos de uso doméstico así como para transportes públicos.

Obviamente la situación económica del país ha afectado este mercado igual que otros, ya que existe una interrelación muy estrecha entre cliente - proveedor.

Debido a esto, una de las soluciones que se ha decidido implantar, es la de mejorar el servicio que se le da a los clientes y el principal punto es reducir los tiempos de entrega manteniendo ante todo la calidad de nuestros productos

1.4.1 Panorama Actual

La compañía. está dividida en 5 líneas de producción las que se conocen como GB's, éstas a su vez están formadas por diferentes procesos según las características de los productos que se fabrican en ella. En este trabajo se hace referencia a los productos pertenecientes al GB V, ya que la línea automotriz ha sido una de las más afectadas con la situación actual y por lo tanto, en la que urge tomar una solución inmediata para recuperar el mercado.

Se tomará un grupo de productos de un cliente en específico, ya que es uno de los procesos más completos que se elaboran debido a que necesita estudios post-fabricación para poder ser liberados por el departamento de calidad antes de enviarlos a su destino final. Por lo tanto, el proceso mencionado en el capítulo 3 referente a la Simulación, empezará desde que se pide la materia prima al almacén, ya sea para hacer la mezcla pertinente y obtener el grado requerido por el producto, o emplear una placa de carbón ya manufacturada, hasta el momento en que el área de calidad libera y el almacén empaca, es obvio que también se deben que considerar los trámites administrativos y los embarques, hasta que el cliente tiene el producto en su almacén.

A continuación se enumeran los procesos, las máquinas que los forman y las partes o subproductos que componen las escobillas, con el objeto de tener una idea más clara del seguimiento del proceso de fabricación.

Prensado.- Proceso de compactación de la pastilla o placa, bajo determinada presión, para obtener la densidad deseada o el peso específico característico de las escobillas.

Punteado.- Inserción o sujeción del cable conductor, por medio de polvo de cobre retacado a presión o aprisionado. Si no se cumple con una buena extracción soguilla/carbón requerida, provoca calentamiento y a veces, desprendimiento de soguilla, ya que ÉSTE es el punto por donde va a fluir la corriente.

Rectificado.- Proceso de pulir y ajustar las medidas finales de la escobilla.

Sinterizado.- Proceso de homogeneización de todos los componentes de una escobilla y destrucción y/o eliminación de aglutinantes o sustancias no útiles al producto. Según el grado de carbón del producto, es la temperatura del horno en dónde se hace el proceso.

Máquinas

Prensas

Hornos

Punteadoras

Rectificadoras

Subproductos

Tapas

Resortes

Terminales

1.4.2 Origen del Problema

Siempre se ha tratado de reducir los costos de producción de los artículos fabricados, pero no se ha implantado un sistema de costos que contemple cada elemento que afecta el costo de producción en cada producto. Lo que se ha venido haciendo es lo más sencillo, obtener un promedio de los gastos indirectos y sumarlo a los gastos directos.

El sistema que se ha empleado hasta ahora, es:

(Costo de la Materia Prima + Impuestos de Importación + Costo de Mano de Obra) * N, siendo N el porcentaje que se calcula a priori, que cubriría los gastos indirectos, en este caso se ha estipulado un número fijo que se maneja independientemente del proceso de producción.

Conforme se han ido automatizando los procesos, se han encontrado deficiencias en estos ya que hay máquinas que están paradas mientras esperan material y otras que no intervienen en "x" proceso y por lo tanto están fuera de operación, en lugar de asignarlas a la elaboración de otros productos independientes, o sincronizar los tiempos y movimientos de cada etapa de la fabricación. Por esto que al estar el área de análisis y diseño de sistemas encargada de la automatización de los procesos administrativos de la empresa y llegar a la etapa de los costos, se encontró con el problema que no existía un método de costeo científico y se propuso la teoría de encontrar la ruta crítica de los procesos, para reducir los costos que se generan en ésta parte de los gastos de fabricación, y al mismo tiempo comprobarlo con una ecuación general, que se pueda aplicar en todos los casos y poder controlar las variables hasta donde sea posible.

Otro problema existente, es que dentro de los inventarios tampoco se tiene un sistema de costos, pero en coordinación con el área contable se creará uno de que se partirá para la obtención de dicha ecuación.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE FACTORES Y GENERACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DE COSTOS.

2.1 Los costos y sus elementos

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen varios métodos para el cálculo de costos, por lo que se partirá por definir los elementos básicos de los costos y sus características, así como la clasificación que se les ha dado según los requerimientos del sistema.

2.1.1 Clasificación de los costos

Se ha visto que los costos se han clasificado en tres grandes grupos. Los gastos o costos de compra, de fabricación y de distribución.

Los costos de compra, son aquellos que se generan al obtener de diversos proveedores las materias primas directas o indirectas, con las que vamos a fabricar los productos, estos costos son generalmente el valor neto de la factura del proveedor, más los gastos de fletes e impuestos que se puedan generar hasta el momento en que los materiales llegan al almacén.

El costo de producción, se puede definir como un componente variable, no-laboral asociado con cada unidad producida. Éste incluye los costos de materiales, inventario durante el proceso, desperdicio y material sobrante o de

desperdicio. Los costos de producción, se forman básicamente de tres elementos fundamentales, 1) la materia prima, 2) la mano de obra, y 3) los gastos indirectos.

Los costos de distribución, o también llamados gastos, se dividen en tres principales grupos; gastos de distribución.- todos aquellos gastos correspondientes, al almacenamiento, empaque, despacho y entrega de los productos terminados, publicidad y todos los gastos de ventas y su personal. Gastos de administración.- aquellos relacionados con la dirección y manejo de todas las actividades generales de la empresa, gastos departamentales. Gastos de financiamiento.- son aquellos relacionados con la obtención de recursos ajenos que la empresa necesita para su funcionamiento, como son intereses sobre préstamos y obligaciones.

Por ello la clasificación que aplica, es la de costos de producción, ya que es la que se tomará como punto de partida para la generación de la ecuación general.

2.1.2.- Costo de producción.

Todo cuanto ocurre en la industria en general, implica costos; a través de su registro, análisis, interpretación y proyección sistemática, se conoce como se está comportando la actividad productiva.

En toda empresa, los costos de producción deben involucrar, los costos que genera la compra de materiales, costos fijos, costos variables y el costo marginal, que es la cantidad que se incrementa al costo cuando se produce una unidad más de fabricación.

En resumen, el costo de producción, es la suma total de aquellos gastos que se generan para realizar la transformación de materia prima en productos terminados.

Para el análisis y el cálculo de costos, se han considerado cuatro agrupaciones principales:

1. Por la naturaleza del artículo o servicio adquirido.
2. Por unidad de costeo.
3. Por departamento, proceso, operación o centro de costos.
4. Por su comportamiento, es decir, variaciones que presente el artículo.

Por la naturaleza del artículo.- es la clasificación o agrupamiento que se le da al artículo o servicio para poder definir su costo, sin mezclarlo con otras erogaciones.

Por unidad de costeo.- son los factores o unidades de medida en función de los cuales se expresan los costos, (toneladas, litros, metros, kilos, etc.)

Centros de costos.- Estos se crean para cargar los costos directos y los gastos generales o indirectos. Los centros de costos son de dos tipos; los directos o los que producen directamente los artículos, y los departamentos administrativos o de servicios.

Por su comportamiento.- La relación entre los costos y la variación en el volumen de producción, depende del comportamiento de los elementos del costo.

Otros elementos que se deben considerar para calcular los costos de producción, es el valor del inventario de productos terminados y en proceso, conocer el costo de los artículos vendidos y determinar la utilidad que generan, y finalmente obtener una base para la fijación de precios de venta.

Los costos se pueden clasificar por su precisión, en:

Costos directos.- Son aquellos que genera la mano de obra directa y los gastos de materia prima directa.

Costos indirectos.- Son los concernientes a los materiales indirectos, mano de obra indirecta y los gastos generales de fabricación.

de acuerdo a su prioridad, en:

Costos fijos.- Son aquellos que no varían en su importe total, al modificarse la producción, ya sea que ésta aumente o disminuya. La depreciación, los seguros, los impuestos, son ejemplos de costos fijos.

Costos variables.- Los costos variables, como su nombre lo dice, tienden a variar su importe total en proporción directa con la intensidad de la producción, es decir, varían proporcionalmente a los aumentos o disminuciones de la producción registrados en el volumen de ésta. Los seguros contra accidentes, las regalías, etc.

de acuerdo al tiempo en que se obtienen:

Costos históricos, costos predeterminados, costos estimados y costos estándar

Los costos de inventarios de materiales, son los costos que se generan al obtener las materias primas y los materiales, llevarlos al almacén hasta que sean requeridos para su transformación en productos terminados. Estos gastos incluyen el precio de la factura, los gastos del departamento de compras, gastos de transporte, gastos de recepción, almacenamiento y manipulación. Los costos de los materiales, se cargan directamente al producto o si no es posible,

se prorratean y se aplican al producto como cuotas que han sido fijadas anteriormente.

Existen diferentes métodos de costeo, entre los más usados, se tienen:

1. Método de costos históricos.- El sistema de costeo por costos históricos, involucra las órdenes de producción que se generan con el objeto de darle seguimiento a un lote de producción.

2. Primeras entradas primeras salidas.- El método de primeras entradas primeras salidas, consiste en que el material que primero entra al almacén, es el que primero sale, los cuales se manejarán con el costo que se hayan recibido.

3. Promedios.- El procedimiento del costeo promedio es el siguiente:

a) Se suma la cantidad total recibida al total en existencia.

b) Se suma el costo de los materiales recibidos al de los que hay en existencia.

c) Se dividen los valores totales por las cantidades totales.

4. Costo estándar.- En el método del costeo estándar, se toma como base un costo previamente fijado, esto se hace con base en las entradas y salidas.

Últimas entradas primeras salidas.- En las últimas entradas primeras salidas, significa que los últimos materiales que han sido comprados, serán los primeros en salir a producción, tomando el costo más antiguo para valuar las existencias en el almacén.

6. Existencias de base.- En las existencias de base, siempre se debe mantener un stock mínimo de materias primas y materiales en el almacén. Éstas se valúan a los precios normales de mayoreo tomándolo como un activo fijo y el excedente se valúa a el costo del mercado o el más bajo.

7. Costo de mercado o el más bajo.

En estos métodos, se debe contar con un buen control previo de los datos, desde que se compran los materiales, hasta la fecha en que entran o salen al o del almacén, saber exactamente como se prorratan los costos y el tiempo de los movimientos. Desgraciadamente no se cuenta con esta información, por lo que al parecer **el método más adecuado es el de los costos históricos por medio de órdenes de producción**, ya que en la fábrica, lo que más controlado se tiene hasta el momento son los costos de cada orden de trabajo con un número de lote óptimo de 10,000 piezas por orden.

Este método considera las siguientes cuentas de costos para su estudio.

- a) Materias primas en tránsito
- b) Almacén de materias primas
- c) Mano de obra
- d) Cargos indirectos
- e) Producción en proceso
- f) Almacén de productos terminados
- g) Costos de ventas

El método de costos históricos, se caracteriza por emitir las ordenes de producción, donde se determina, el número y especificaciones de los productos a fabricar, sin importar el cliente para el que se elaboren o si son para stock. En este documento, se van anotando los costos de materia prima, mano de obra y cargos indirectos, para que al cerrarse ésta, determinar el costo unitario relativo de cada unidad producida, dividiendo el costo de la orden entre el total de unidades producidas.

Los costos de materias primas en tránsito son aquellos que contemplan el valor de la factura más gastos de compra nacionales o extranjeros, como

seguros, fletes, impuestos de importación, gastos aduanales, acarreo, descarga y entrega, de aquellos proveedores foráneos, que aún no estén disponibles para su utilización, aunque se encuentren dentro del almacén de materias primas.

Elementos necesarios para su cálculo:

COSTOS =

- + costo inicial de materiales en tránsito
- + importe de facturas de proveedores foráneos
- + fletes de compras
- + seguros de materiales en tránsito
- + impuestos de importación
- + gastos aduanales
- + acarreo, descarga y entrega
- descuentos

Los costos del almacén de materias primas son los costos de compra de éstas que ya se encuentran disponibles en el almacén, listas para se utilizadas en la producción.

Elementos necesarios para su cálculo:

COSTOS DEL ALMACÉN =

- + inventario inicial
- + materias primas directas utilizadas
- + materias primas indirectas utilizadas
- materiales devueltos
- faltantes
- + sobrantes

La mano de obra considera los sueldos y salarios relacionados directamente con la producción.

Los cargos indirectos están formados por las materias primas indirectas consumidas, la mano de obra indirecta, erogaciones fabriles indirectas, pagadas

o devengadas por pagar, depreciación de activos fijos, amortización de cargos diferidos, aplicación de gastos pagados por anticipado, faltantes normales en el almacén de materias primas.

Los costos de la producción en proceso se calculan con base en las órdenes de producción, de las que se entrega una copia al departamento de costos para su seguimiento contable.

Los costos del almacén de productos terminados, representan el costo de producción de estos, que se encuentran disponibles para su venta en el almacén.

El costo de ventas, es el costo neto de producción de artículos terminados vendidos.

Una vez definidos los elementos que se consideran para calcular los costos, aplicando el método de costos históricos, se hace referencia a los costos de almacén de producto terminado, ya que no se busca realizar todos los pasos del método, puesto que sólo se comprobará como se reduce el costo de producción referente a mano de obra, y gastos indirectos (específicamente tiempos y movimientos), debido a que el hecho de encontrar la ruta crítica de producción, afecta directamente éstos factores, por lo que los otros valores se obtendrán del departamento de contabilidad.

2.2 MATERIA PRIMA

La materia prima es el primer elemento básico para el cálculo de costos de producción, por lo que se debe identificar exactamente los factores que componen la materia prima indirecta y la materia prima directa.

La materia prima son los materiales a partir de los cuales se elaboran los productos terminados. En general, ésta se compra en grandes cantidades las cuales deben programarse según los pronósticos de ventas, con el objeto de no retrasar la producción por el hecho de no contar con la materia prima suficiente *para la elaboración de los productos*.

La compra de la materia prima debe estar basada en las especificaciones químicas y físicas que han sido previamente analizadas y que cumplen con las características requeridas para la elaboración de los productos terminados. También se debe considerar que los gastos de transporte y manipulación, constituyen una parte importante de los costos de la materia prima.

La materia prima se divide en dos clases principalmente, en *materia prima directa* y *materia prima indirecta*. La primera es aquella que forma parte del producto terminado directamente, o que se consume para su transformación, *aunque no forme parte de él*, como por ejemplo las placas de carbón, los polvos, los anillos, la resina, etc.

La materia prima indirecta es aquella que no interviene directamente en la transformación del producto, pero más sin embargo, es un material de apoyo para su elaboración, como son los tornillos, pegamentos y demás artículos que se aplican en reparaciones o mantenimiento de maquinarias, etc.

Los costos de materia prima están constituidos por *la materia prima directa y la materia prima indirecta* se contempla en los costos diversos.

Dentro del sistema de costos históricos, lo que corresponde a materia prima, se puede definir automáticamente en cada orden de producción que se elabore, así como la mano de obra directa.

Existen diferentes formatos para llevar el control de las materias primas empleadas en cada orden de trabajo, ésta es la correspondiente al almacén y a las ordenes de producción.

Clave del material										Unidad	
Descripción del material											
Fecha	Refs.	ENTRADAS				SALIDAS				EXIST	
		Cant	Costo/u	Importe	Cant	Costo/u	Importe	Cant	Costo/u	Importe	

TARJETA DEL ALMACÉN DE MATERIAS PRIMAS

FECHAS								
De expedición	De iniciación	Probable terminación	Real terminación					
PRODUCTO								
Clave	Descripción	Cantidad						
Especificaciones								
MATERIAS PRIMAS								
Fecha	C. Costo	Referen.	Clave	Descripción	Unid	Cant	Costo/u	Importe

ORDEN DE PRODUCCIÓN CON COSTOS DE MATERIA PRIMA

2.3 Mano de Obra.

Como ya se ha mencionado, la mano de obra, representa el factor humano que interviene en la producción, sin el cual, sería imposible realizar la transformación de las materias primas en productos terminados. La mano de obra se compone desde el director de la fábrica hasta el mozo más modesto de la misma.

La mano de obra se divide en dos grupos principales, la mano de obra directa y la indirecta. La primera es aquella que interviene directamente en la producción, en la fábrica específicamente y el segundo son los gastos de sueldos, salarios y prestaciones del personal administrativo y de ventas. Se pretende que las personas que laboran en ambos grupos trabajen conjuntamente combinando sus esfuerzos, cada uno en forma y grado diferentes, pero todos con un mismo fin, el lograr transformar la materia prima en productos terminados para su venta.

La mano de obra directa está formada por los salarios de los trabajadores cuya actividad está ligada con la elaboración de los productos plenamente y se puede calcular directamente en cada orden de trabajo. Este grupo abarca primas especiales, seguros, pensiones, etc.

Dentro del costo de producción, es la mano de obra directa el segundo elemento básico para el cálculo de éste y la mano de obra indirecta se incluye en los gastos indirectos.

Los sueldos y salarios devengados del director, de su secretaria, del personal administrativo en general, el personal de intendencia, etc., componen lo que es la mano de obra indirecta, ya que no hay manera de identificar y relacionar cada uno de ellos con una orden de trabajo en particular, o un proceso específico.

El tiempo está íntimamente ligado a la mano de obra directa, ya que es la manera para determinar los costos, comparando tiempos de asistencia y tiempo de trabajo. Existen diferentes registros para controlar el tiempo, como son tarjetas de tiempo, lectores automáticos, contadores, etc., todos ordenados y clasificados por departamento o proceso de producción. Cuando no se tiene identificados los tiempos de cada operación, se establecen tiempos estándares por el método de tiempos y movimientos, promedio de los resultados anteriores ó cálculo previo aproximado, o simplemente por métodos empíricos que ayudan a definir un tiempo de operación.

2.4 Gastos Indirectos

El tercer factor indispensable que se debe tomar en cuenta son los gastos indirectos, en donde se consideran las diversas erogaciones, depreciaciones, consumos, amortizaciones y aplicaciones fabriles, así como la materia prima y mano de obra indirectas.

Son aquellos gastos que no pueden cargarse directamente a un producto específico. Para los gastos de fabricación o indirectos se han hecho diferentes clasificaciones debido a la complejidad para su identificación.

Se han creado hojas para controlar la asignación, distribución y prorrateo de los gastos indirectos. Estos términos, se pueden considerar como sinónimos, aunque literalmente tienen diferentes significados, contablemente, tienen la misma función. Para prorratear los costos, es necesario hacerlo con base en el área de piso, esto es principalmente para depreciaciones, seguros, impuestos sobre edificios, calefacción, luz, etc., también se puede tomar como base, el volumen de la planta, la cantidad de máquinas, los kilowatts / hora, las horas de máquina, etc., es decir, se debe contar con un coeficiente material expresado en un costo unitario, ya que para obtener el costo y poder distribuirlo entre los departamentos, es necesario multiplicar el número estimado de unidades consumidas por el costo unitario.

Como ejemplo de algunas cuentas de gastos que se deben manejar, son:

Herramientas pequeñas
Suministros de fábrica
Suministros de oficina
Combustible
Agua
Pérdidas por trabajos defectuosos
Materiales para reparación de maquinaria
Mano de obra para reparación de maquinaria
Gastos varios de fábrica
Seguros contra accidentes
Impuestos de previsión social
Manipuladores de materiales
Ayudantes
Auxiliares de servicio
Empleados de oficina
Depreciaciones
Reparaciones

Entre otras cuentas que se pueden agrupar en un menor número para su manipulación.

2.5 Generación de la Ecuación General de Costos.

Finalmente no se busca estudiar a fondo como se obtienen los costos de producción en general, sino, poder identificar dentro de los gastos indirectos, los factores que son afectados en el momento de reducir el tiempo de elaboración de los productos, los cuales serían directamente, la mano de obra directa y el tiempo de máquina y para costos, la materia prima. Para el cálculo de otros

factores, se solicitará la información directamente al departamento de contabilidad, haciendo referencia a sus contenidos en general.

Existen diferentes métodos para obtener las fórmulas de gastos indirectos como son los que se presentan en la siguiente tabla (Fig. 2.1), de los cuales se seleccionarán los más adecuados para nuestro sistema.

METODO	FORMULA	CUANDO SE PUEDE UTILIZAR
Mano de obra directa en \$	$\frac{\text{Gastos indirectos}}{\$ \text{ de M.O directa}} = \frac{\% \text{ de gastos ind. por } \$ \text{ de M.O. directa}}{\text{M.O. directa}}$	La M.O. es el elemento productivo principal; no existen diferencias grandes en las tarifas de salarios.
Mano de obra directa en horas	$\frac{\text{Gastos indirectos}}{\text{Horas de M.O directa}} = \frac{\text{Cuota por hora}}{\text{de M.O. directa}}$	La M.O. es el elemento productivo principal, y hay diferencias en las tarifas de los salarios.
Hora-máquina	$\frac{\text{Gastos Ind. máquina}}{\text{Horas de la máquina}} = \frac{\text{Costo por hora máquina}}{\text{hora máquina}}$	Las máquinas son el elemento productivo principal, no hay relación entre el tiempo de máquina y el del obrero
Unidad-producto	$\frac{\text{Gastos indirectos}}{\text{unidad/prod}} = \frac{\text{Costo de los gastos ind. por unidad de Num producto}}{\text{producto}}$	Producción en masa de un producto, o varios con las mismas características
Costo de los materiales	$\frac{\text{Gastos indirectos}}{\text{Costo de la M.P}} = \frac{\% \text{ de gastos indirectos por } \$ \text{ de materiales directos (M P)}}{\text{directos (M P)}}$	Para aplicar recargos al material por gastos indirectos y para tratamientos especiales de materiales
Método del costo primo (o de materiales y mano de obra)	$\frac{\text{Gastos Indirectos}}{\text{Costo de M P + MOD}} = \frac{\% \text{ de los gastos indirectos por } \$ \text{ de costo primo}}{\text{de costo primo}}$	Los costos de materiales y de mano de obra juntos, deben seguir una pauta uniforme
Del valor del mercado	$\frac{\text{Valor del mercado de } x \text{ producto}}{\text{Valor total del mercado todos los productos}} = \frac{\% \text{ de gast teados al product. } x}{\text{ind. prorra}}$	Para productos conjuntos
Cuotas generales	$\frac{\text{Total de gastos generales}}{\text{Total de Hr, $, unidades}} = \text{cuota general}$	Cuando se fabrica un producto por un proceso continuo; cuando se fabrican algunos productos semejantes, que implica el mismo tiempo y M.O.

Fig. 2.1 Métodos para cálculo de costos

2.5.1. Definición de variables.

Como se ha mencionado, la fábrica trabaja bajo el método de ordenes de trabajo ya que por lo general se realiza la producción con base en pedidos previamente autorizados. Una ventaja de controlar los costos vía ordenes de trabajo, es que cuando se necesite fabricar un nuevo producto, se podrá tomar como base las ordenes formadas por procesos semejantes para poder realizar las cotizaciones del costo de producción y el precio de venta, así como poder hacer comparaciones entre estos.

Cada orden de trabajo debe tener una hoja anexa, en la que se anotarán los costos reales de:

- Materiales directos
- Mano de obra directa
- Gastos generales

Estos costos totales se deben dividir entre la cantidad de unidades producidas para obtener el costo unitario de los productos.

Los costos de los materiales se obtienen con base en los vales de salida del almacén, es decir, cuando se solicitan los materiales al almacén y se trasladan a la planta productiva, el documento que respalda esta transacción es un vale de salida, que siempre debe tener como referencia un número de orden de trabajo.

Los costos de mano de obra se deberían manejar por medio de registros de tiempo, apuntando el tiempo utilizado en cada proceso y el costo, así como la referencia de la orden de trabajo, actualmente esto se puede controlar por código de barras para automatizar cada vez más las actividades.

Los gastos indirectos de fabricación por el método de ordenes de trabajo se relacionan a ésta mediante cuotas. Éstas se solicitan al departamento de costos, quien las fija con base en los gastos efectivamente realizados o cálculos mensuales.

También existen cargos directos, como los realizados por el departamento de ingeniería específicamente para una orden de trabajo, así como las herramientas, los moldes, etc.

2.5.2. Generación de la ecuación General.

HOJA DE COSTOS Orden de trabajo No _____											
Material						Gastos de Taller					
Fecha	Salida #	Importe	Fecha	Salida #	Importe	Fecha	Salida #	Importe	Fecha	Salida #	Importe

Operaciones				Presupuesto			Efectivo			
	Dpto.	Horas	Importe	Depto	Horas	Importe	Depto	horas	Importe	Dif
1	Mezc									
2	Almac									
3	Prensa									
4	Sinter									
5	Rect									
6	Inspec									
7	Empaq			M O			M.O.			
8				G.I.			G.I.			
9				Mater..			Mater.			
				Total			Total			
				Costo/u calculado						
				Costo/u efectivo						
				Diferencia						

Fig. 2.2 Hoja de costos

Por lo tanto sabemos que los costos de la materia prima se identifican fácilmente, así también la mano de obra directa, entonces llamaremos el elemento **A** el costo de materia prima de una orden de trabajo, **B** a la mano de obra y **C** a los costos indirectos.

Cada elemento se desglosa de la siguiente manera

A Costos de Materia Prima

- 1.- Costo neto de la factura del proveedor.
- 2.- *Gastos de importación (en caso de ser nacional, se coloca un cero en la ecuación)*
- 3.- Gastos de traslado a la fábrica

B Costo de Mano de Obra

- 1.- Salario de los trabajadores directos por hora
- 2.- Otros pagos (horas extras, premios, etc.)

C Gastos Indirectos

- 1.- Todos aquellos gastos no relacionados directamente con la fabricación directa (cantidad proporcionada por contabilidad)

Ecuación General

$$A=a+b+c$$

$$B=d+e$$

$$C=f$$

$$N=\text{unidades producidas}$$

$$a+b+c+d+e+f = \text{Costo de producción}$$

N

el costo de producción de las piezas 1 a 4 es actualmente:

$$500+345+100+700+198+296=2139/10000 = 0.2139$$

el costo de la 5 a 8 es:

$$615+400+100+700+175+315 = 0.2305$$

el costo de la 9 y 10 es:

$$615+400+100+750+210+376 = 0.2451$$

En estos ejemplos no se podrá distinguir de inmediato como se afecta el costo, al disminuir el tiempo, pero en los gastos indirectos se podrá hacer la comparación entre la cifra proporcionada por contabilidad y la obtenida después del estudio.

CAPÍTULO III

“SIMULACIÓN DE LAS RUTAS DE PRODUCCIÓN”

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN DE RUTAS DE PRODUCCIÓN

3.1 Rutas de Producción.

Dentro de la etapa de planeación de la producción se deberá definir la mejor forma de elaborar los productos, como seleccionar el mejor método, los procesos, los materiales, las máquinas y las herramientas, así como el orden que deberá seguir paso a paso la fabricación de cada producto.

Existen hojas de instrucciones donde se lleva el control del tiempo utilizado en cada operación del proceso, de las que se puede partir para determinar las rutas de producción y seleccionar la crítica

La ruta crítica puede ser una o varias que reduzcan el tiempo total de elaboración de los productos y aumenten la utilidad, es decir, también minimicen los costos, ya que si el tiempo es menor pero los costos aumentan no se puede considerar como una ruta crítica.

El registro y control de operaciones por pieza y máquina es muy importante en el análisis de las rutas de producción para determinar cuales son las más adecuadas según los requerimientos de cada producto. El tiempo ocupado en la fabricación de cada producto por máquina se divide en dos etapas; la preparación de la misma para lograr que la pieza a maquinar cumpla con los requisitos específicos y la etapa de operación como tal.

Es necesario calcular la capacidad total de las máquinas en función del tiempo según el tipo de escobillas a elaborar.

3.1.1 Planteamiento matemático sobre control de la producción.

El objetivo de resolver un problema de control de la producción, es programar ésta en un horizonte de planeación de múltiples periodos y satisfacer la demanda al mínimo costo. Este problema es determinístico ya que se asume que la demanda se conoce a la hora de planear.

Se define *un período* el intervalo de tiempo y *una época* es el tiempo en el que el período inicio. Particularmente la época "*n*" el tiempo en el cual inicia el período "*n*".

La forma básica del modelo de control de la producción es:

*La demanda de un solo producto ocurre dentro de cada uno de los *N* periodos de tiempo consecutivos que son numerados de 1 a *N*.

*La demanda que ocurre durante un período dado puede ser satisfecha por la producción realizada durante ese período o los períodos anteriores, por inventario.

*No se permite acumulación: la demanda no puede acumularse y ser satisfecha con producción futura.

*El inventario en la época 1 (inicio de planeación) es cero y al final del período *N* (fin de la planeación) debe ser cero.

* El modelo incluye costos de producción y costos de inventario.

El objetivo es programar la producción satisfaciendo la demanda al mínimo costo. Los datos para este modelo son:

d_n = demanda para el periodo *n*

$C_n(x)$ = costo de producir *X* unidades de producto durante el período *n*

$hm(y)$ = Costo de mantener *Y* unidades de inventario en la época *n*

para $n=1, \dots, N$.

Las variables de decisión son:

X_n = Producción durante el periodo *n*

I_n = inventario a la mano en la época *n*

para $n=1, \dots, N$.

La producción y la demanda ocurren en cantidades enteras y el problema se representa matemáticamente de la siguiente manera:

Programa

$$\text{Min } \sum_{n=1}^N [C_n(X_n) + h_n(I_n)]$$

s.a.

$$1) \quad I_1 = I_{N+1} = 0$$

$$2) \quad I_n + X_n = d_n + I_{n+1} \quad n=1, \dots, N$$

$$3) \quad X_n \geq 0 \quad X_n \in \mathbb{Z}^+ \quad n=1, \dots, N$$

$$4) \quad I_n \geq 0 \quad I_n \in \mathbb{Z}^+ \quad n=2, \dots, N$$

La restricción 1) asegura que los inventarios inicial y final sean 0.

La restricción 2) requiere que la suma del inventario al inicio de un período y la producción durante ese periodo sea igual a la suma de la demanda en tal período y al inicio del período siguiente.

Las últimas dos restricciones condicionan que la producción y el inventario, tomen valores enteros no negativos.

Si se conocen los niveles de inventarios de todas las épocas, se pueden determinar los niveles de producción usando la segunda restricción. O si se conocen los niveles de producción, es posible determinar los niveles de inventario de:

$$(X_1 + \dots + X_{n-1}) = I_n + (d_1 + \dots + d_{n-1})$$

El inventario I_n en la época n es igual a la producción total durante los períodos 1 a $n-1$ menos la demanda total durante esos períodos.

Un plan de producción de $(X_1 + \dots + X_n)$ es factible, si junto con los niveles de inventario derivados de éste, cumplen con las restricciones del programa. Un plan de producción $(X_1 + \dots + X_n)$ es óptimo si es factible y además minimiza la función objetivo del programa.

3.1.2 Objetivos de las Rutas de Producción.

Una red es una gráfica dirigida (Fig. 3.1) sin loops, en la que cada línea G , tiene asociado un tiempo T y un costo C , la cual se reduce a encontrar un árbol que produzca el mínimo costo.

Se tiene definida una lista de actividades A_1, A_2, \dots, A_n , respetando la precedencia de cada una con respecto a las demás, se le asigna a cada actividad un tiempo de duración esperado y un costo. La ruta más larga a través de la red desde el inicio de las operaciones hasta el final del proceso, compone la ruta crítica, siempre que sea la óptima del proyecto. Para este tipo de estudios, existe el método llamado CPM o de la ruta crítica, que consiste en desarrollar un programa que minimice el costo total esperado.

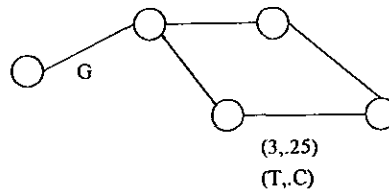


Fig. 3.1

Definición.- Se tiene una lista de actividades $A_1 \dots A_n$, la que se ordena de la siguiente manera:
Si la actividad i , requiere de una actividad precedente k , se tiene que k antecede a i .

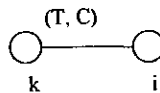


Fig. 3.2

Se le asigna a cada actividad un tiempo T de duración esperada y un costo C donde el camino de mayor duración en tiempo y el mínimo costo forma la ruta crítica.

El representar un proyecto en forma de red, permite analizar fácilmente todas las etapas que lo componen así como encontrar cuellos de botella y preverlos o eliminarlos antes de hacerlo físicamente en el modelo real. Es necesario determinar los márgenes de tiempos y costos para encontrar la solución factible más rápidamente, esto dentro de las condiciones denominadas como normales. El costo directo normal se compone sumando los costos y tiempos de cada actividad.

La definición de una ruta de producción debe incluir cada una de las operaciones por donde pasa el producto, desde que se examina para decidir si se elabora, hasta que es entregado al almacén y ser distribuido. Algunas de estas operaciones pueden ser:

- 1.- Realización del dibujo con el último nivel de cambio, su despiece y características específicas y técnicas.
- 2.- Estudio de los procedimientos y operaciones necesarias para la elaboración del producto.
- 3.- Tiempo que llevará cada operación.

Para poder estudiar las diferentes rutas de fabricación en donde se pueden elaborar determinados productos, se tiene que contar por lo menos con los siguientes datos:

- 1.- Número de la orden de producción
- 2.- Cantidad de piezas a elaborar
- 3.- Clave del cliente
- 4.- Fecha de confirmación (esta fecha es con base en un tiempo estándar establecido)
- 5.- Código del Producto
- 6.- Nombre del producto
- 7.- Grado del producto
- 8.- Línea de producción
- 9.- Observaciones

10.-Lista y orden de las operaciones

11.-Departamentos de operación involucrados

12.-Máquinas involucradas.

El establecimiento de las rutas de producción comienza cuando se determina el orden de las operaciones, esto posteriormente al análisis de las máquinas y selección de los métodos de trabajo. La definición acertada de las rutas de producción, puede ejercer una reducción notable en el tiempo necesario para la fabricación y el costo de los productos terminados.

El tiempo necesario de fabricación por lote, se obtiene multiplicando el tiempo por pieza por la cantidad total de estas más el tiempo de preparación o montaje de la maquinaria.

Para calcular el tiempo de cada operación, se suma el tiempo empleado en trasladar los materiales entre una y otra, al tiempo total de la segunda.

Todos estos datos deben registrarse en hojas de trabajo y para los procesos específicos del GB V, se tienen establecidos los siguientes:

Tipos de pastilla .- B49, O1H, X28, H47, Perkins, M41

Para 10 diferentes escobillas.

Se cuenta con: Prensas, Punteadoras, Hornos y Rectificadoras.

A continuación, se presentan los procesos de las piezas a estudiar para definir el un estándar, que contemple todas las actividades y poder simular las diferentes rutas de fabricación.

Código del Producto: 032.00013				Lote: 10,000 pzas.	
# Op.	Operación	Depto	Máquina	Tiempo	Cantidad/ud/dist
1	preparar la mezcla	mezclas	Mezcladora		95 32 kg
2	solicitar la soguilla	almacén	N/A		17 64 mts
3	transp. Mezclas-prensas	prensado		1.75 min.	35 mts
4	colocación en prensas	prensado	PRE-01	0 75 min	15 mts
5	prensado	prensado	PRE-01	1153.84 min	
6	puntear la soguilla	prensado	PRE-01	300.00 min	
7	transp. sinterizado	sinterizado		0.75 min.	15 mts.
8	sinterizado	sinterizado	HOR-05	300.00 min.	
9	inspección	calidad			
10	transp. rectificado	rectificado		2.5 min.	55 mts
11	rectificado	rectificado	REA-01	750 00 min.	
12	transp. empaque	empaque		2.5 min.	7.5 mts
13	inspección y liberación	calidad			
14	empaque	empaque		15.00 min.	
15	transp. almacén	almacén		0.95 min.	19 mts.

Tabla 3.1

Código del Producto: 032.00005				Lote: 10,000 pzas.	
# Op.	Operación	Depto	Máquina	Tiempo	Cantidad/ud/dist
1	preparar la mezcla	mezclas	Mezcladora		95.32 kg
2	solicitar la soguilla	almacén	N/A		17.64 mts
3	transp. Mezclas-prensas	prensado		1.75 min.	35 mts
4	colocación en prensas	prensado	PRE-01	0.75 min.	15 mts
5	prensado	prensado	PRE-01	1111.11 min.	
6	puntear la soguilla	prensado	PRE-01	750.00 min.	
7	transp. sinterizado	sintenzado		0 75 min	15 mts
8	sinterizado	sinterizado	HOR-05	300.00 min.	
9	inspección	calidad			
10	transp. rectificado	rectificado		2.5 min.	50 mts
11	rectificado	rectificado	REA-01	750.00 min.	
12	transp. empaque	empaque		0 375 min.	7.5 mts
13	inspección y liberación	calidad			
14	empaque	empaque		15.00 min.	
15	transp. almacén	almacén		0.95 min.	19 mts.

Tabla 3.2

Código del Producto: 033.00021			Lote: 10,000 pzas.		
# Op.	Operación	Depto	Máquina	Tiempo	Cantidad/ud/dist
1	preparar la mezcla	mezclas	Mezcladora		95.32 kg
2	solicitar la soguilla	almacén	N/A		17.64 mts
3	transp. mezclas-prensas	prensado		1.75 min.	35 mts
4	colocación en prensas	prensado	PRE-01	0.30 min.	6 mts
5	prensado	prensado	PRE-01	1111.11 min	
6	puntear la soguilla	prensado	PRE-01	750.00 min	
7	transp. sinterizado	sinterizado		0.85 min.	17 mts.
8	sinterizado	sinterizado	HOR-05	240.00 min	
9	inspección	calidad			
10	transp. rectificado	rectificado		2.75 min.	55 mts
11	rectificado	rectificado	REA-01	600.00 min	
12	transp. mor	mor	MOR-01	0.35 min.	7 mts
13	elaboración de radio	mor	MOR-01	500.00 min	
14	transp. empaque	empaque		0.7 min.	14 mts
15	inspección y liberación	calidad			
16	empaque	empaque		15.00 min.	
17	transp. almacén	almacén		0.95 min.	19 mts.

Tabla 3.3

Código del Producto: 032.00006			Lote: 10,000 pzas.		
# Op.	Operación	Depto	Máquina	Tiempo	Cantidad/ud/dist
1	preparar la mezcla	mezclas	Mezcladora		95.32 kg
2	solicitar la soguilla	almacén	N/A		17.64 mts
3	transp. mezclas-prensas	prensado		1.75 min	35 mts
4	colocación en prensas	prensado	PRE-01	0.30 min.	6 mts
5	prensado	prensado	PRE-01	1153.4 min.	
6	transp. sinterizado	sinterizado		0.55 min	11 mts
7	sinterizado	sinterizado	HOR-05	300.00 min.	
8	inspección	calidad			
9	transp. rectificado	rectificado		2.6 min	52 mts
10	rectificado	rectificado	REA-01	750.00 min	
11	transp. mesa ensamble			1.15 min.	23 mts
12	ensamble			1000.00 min	
13	transp. punteado	punteado	PUN-01	0.3 min.	6 mts
14	punteado	punteado	PUN-01	750.00 min	
15	transp. empaque	empaque		0.2 min.	4 mts
16	inspección y liberación	calidad			
17	empaque	empaque		100.00 min.	
18	transp. almacén	almacén		0.95 min	19 mts

Tabla 3.4

Código del Producto: 031.00003				Lote: 10,000 pzas.	
# Op.	Operación	Depto	Máquina	Tiempo	Cantidad/ud/dist
1	preparar la mezcla	mezclas	mezcladora		95.32 kg
2	solicitar la soguilla	almacén	N/A		17.64 mts
3	transp. mezclas-prensas	prensado		1.75 min	35 mts
4	colocación en prensas	prensado	PRE-01	0 30 min.	6 mts
5	prensado	prensado	PRE-01	1111.11 min.	
6	transp sinterizado	sinterizado		0.55 min.	11 mts
7	sinterizado	sinterizado	HOR-05	300 00 min.	
8	inspección	calidad			
9	transp. rectificado	rectificado		2 6 min.	52 mts
10	rectificado	rectificado	REA-01	750.00 min.	
13	transp punteado	punteado	PUN-01	0.3 min.	6 mts
14	punteado	punteado	PUN-01	750.00 min	
15	transp empaque	empaque		0 2 min	4 mts
16	inspección y liberación	calidad			
17	empaque	empaque		100.00 min.	
18	transp. almacén	almacén		0 95 min.	19 mts.

Tabla 3.5

3.1.3. Lay Out actual.

Para la elaboración de las piezas, actualmente se cuenta con:

12 prensas

4 punteadoras

3 hornos

2 rectificadoras

y la capacidad de producción neta de cada uno es:

Máquina	Capacidad	Velocidad
PRENSA 01	15 Toneladas	450 gph
PRENSA 02	15 Toneladas	450 gph
PRENSA 04	15 Toneladas	450 gph
PRENSA 05	15 Toneladas	450 gph
PRENSA 06	50 Toneladas	900 gph
PRENSA 07	300 Toneladas	15 pzas /hora
PRENSA 08	200 Toneladas	15 pzas /hora
PRENSA 10	200 Toneladas	15 pzas/hora
PRENSA 11	5 Toneladas	1000 gph
PRENSA 12	5 Toneladas	1000 gph
PUNTEADORA 03	30 Toneladas	800-1000 gph
PUNTEADORA 02	30 Toneladas	800-1000 gph
PUNTEADORA 09	30 Toneladas	800-1000 gph
HORNO 03		
HORNO 04		
HORNO 05		
RECTIFICADORA 01		
RECTIFICADORA 02		
MOREADORA 03		
MOREADORA 04		
MOREADORA 05		

Tabla 3.6

El siguiente Lay Out muestra la forma en que se encuentran actualmente colocadas las máquinas y las áreas por dónde deben pasar los productos.

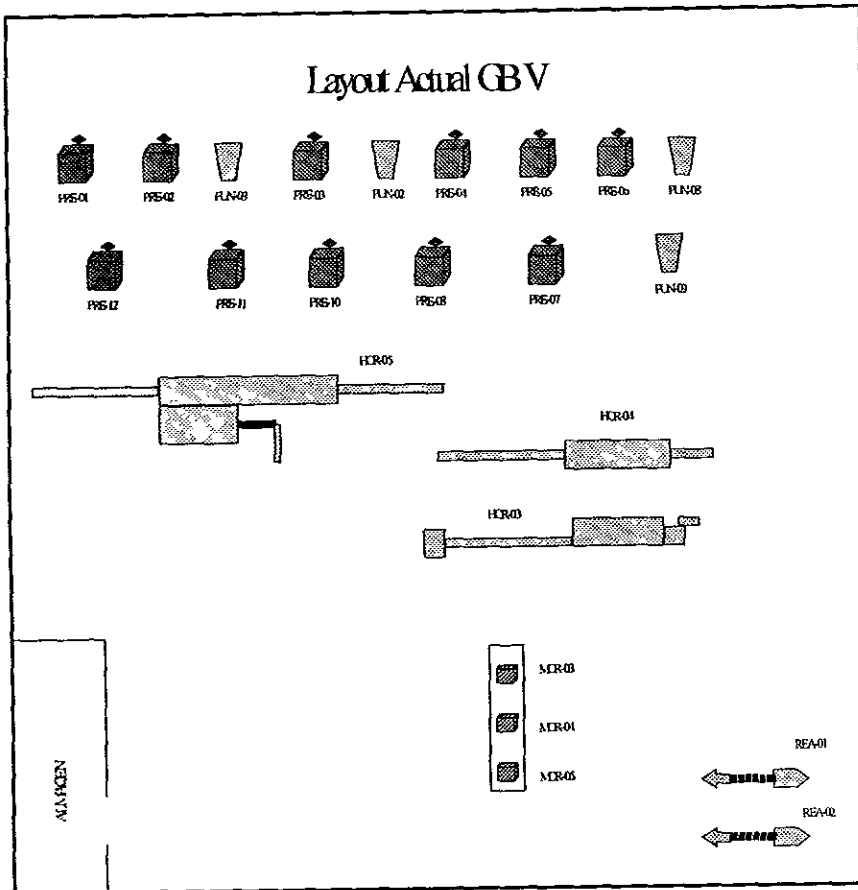


Fig. 3.1

3.2. Simulación.

3.2.1 ¿Qué es la Simulación?

La simulación es una técnica matemática utilizada en la solución de problemas de forma analítica, sin la necesidad de realizar experimentos directamente con el sujeto u objeto en cuestión.

Es una técnica de investigación que permite reproducir los eventos reales y los procesa bajo ciertas condiciones definidas previamente.¹

Actualmente con las computadoras es muy sencillo simular cualquier situación *por compleja que parezca*, ahorrando tiempo y dinero, para ello es necesario crear un modelo compuesto de reglas, parámetros y procedimientos que permitan diseñar la forma en que se comportaría el proceso a resolver, variando en cada prueba, estas reglas y parámetros por medio de iteraciones diversas.

La definición estricta de C. West Churchman de simulación es:

“x simula a y “ es verdadero si y sólo si:

(a) x y son sistemas formales

(b) y es el sistema real

(c) x es una aproximación al sistema real

(d) las reglas de validez no están libres de error

Una de las ventajas de la simulación, es que se pueden comprimir largos periodos de tiempo y obtener los resultados de forma inmediata, por ejemplo, en el caso de la producción de alguno de nuestros productos se requieren hasta 3

¹ Modelos y simulación MaryCarmen González

y 4 semanas para la fabricación de un lote de escobillas, el cual se puede simular en minutos o hasta segundos.

En el diagrama de flujo de un sistema de simulación se menciona la utilización de un modelo matemático para poder explicar los sistemas reales de forma simplificada.

Existen diferentes tipos de modelos según el objetivo que se persigue, o el tipo de análisis requerido, su aleatoriedad y su aplicación.

De esta clasificación general se puede hacer una nueva subdivisión más detallada:

- Modelos descriptivos: como su nombre lo dice describen como se comporta el fenómeno en cuestión.
- Modelos explicativos: explican la relación causa - efecto del problema.
- Modelos de pronóstico: estos se utilizan para predecir como se presentará el fenómeno, según las características preestablecidas.
- Modelos de optimización: cuando se necesita lograr el valor óptimo de una función, ya sea de costos o ganancias.
- Modelos de control: cuando hay que controlar el fenómeno dentro de ciertos límites.

De acuerdo al segundo grupo, al análisis, pueden ser: analíticos o numéricos, lineales o no lineales, discretos o continuos, estáticos o dinámicos, determinísticos o estocásticos.

Existen otros tipos de métodos similares a la simulación, como la teoría de juegos, el método de Monte Carlo, aunque aquí no interviene el tiempo al igual que los sistemas expertos.

Los pasos que se deben seguir para una simulación en general, son los siguientes:

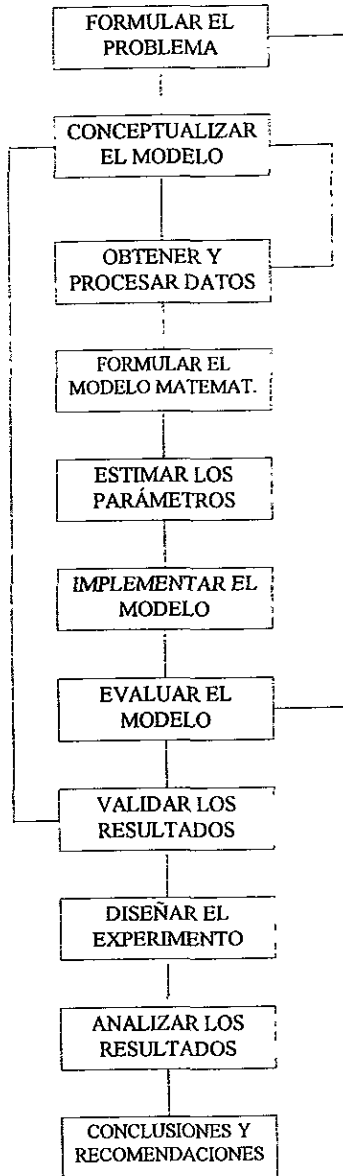


Fig. 3.2

Diagrama de Flujo para un modelo de simulación.

- 1.- Formular el problema.- El problema ya ha sido planteado así como una hipótesis la cual se comprobará.
- 2.- Conceptualizar el problema.- Esto es, definir el problema de forma matemática, haciendo énfasis en los objetivos que se desean alcanzar, saber si se puede expresar en forma cuantitativa, así como identificar las variables y parámetros que lo afectan, se establecerán las relaciones causa efecto y elaborar una lista de los recursos con los que se cuenta.
- 3.- Obtener y procesar los datos.- Esta etapa y la anterior son complementarias ya que contando con datos se puede dar un mejor enfoque al modelo y sin éste, no se puede saber el tipo y cantidad de datos que requiere el experimento.
- 4.- Formular el modelo matemático.- Consiste en especificar los componentes, las variables, parámetros y las relaciones funcionales.
- 5.- Estimación de los parámetros.- Aplicar algún método estadístico para su determinación.
- 6.- Implementar el modelo.- Es el momento de crear el programa o implementarlo en la herramienta computacional que se ha seleccionado, hacer pruebas y detectar errores.
- 7.- Evaluar el modelo.- Es la etapa de evaluar estadísticamente el problema por medio de pruebas de bondad de ajuste sobre las distribuciones obtenidas.
- 8.- Validar los resultados.- Es necesario comprobar si los datos obtenidos no son muy alejados de la realidad, cotejando con los datos históricos que existen.
- 9.- Diseñar el experimento. Consiste en llevar la simulación al cabo en el programa de simulación y reducir los errores aleatorios al máximo.
- 10.- Analizar los resultados.- Comprobar que si pueden ser aplicables los datos obtenidos al proceso real de producción tomando todas las variables en cuenta.
- 11.- Conclusiones y recomendaciones.- Si los objetivos planteados se cumplen, se deberán hacer las recomendaciones sobre las nuevas rutas encontradas para su implantación directamente en la planta.

El ejecutar simulaciones ayuda a entender procesos físicos que pueden ser modelados. En todos estos procesos se variará una misma situación de

distintas formas, en donde las combinaciones de sus variables, pueden ser infinitas, tal es el caso del problema de los misiles, en donde se combina la velocidad, la distancia y los ángulos las trayectorias. La siguiente tabla muestra las etapas por las que pasa un modelo para poder generar una simulación, tomando como ejemplo el modelo de un misil.:

Diseño del Modelo	Modelo Físico	Modelo a escala	Modelo análogo	Descripción análoga	Modelo Digital
Ejecución del Modelo	El vuelo de un misil	El vuelo de la bala	La Bala en el aire	Circuito Análogo	Programa de una comp. digital.

Más exacto ←—————→ Más abstracto

Tabla. 3.7

Primero se parte por diseñar el modelo, el cual es recomendable crear uno más pequeño o a escala del sistema real, (en este caso la bala sería el misil en miniatura).

Después se deberá crear un modelo análogo en donde se podrán tomar ciertas libertades con respecto al modelo físico, siempre y cuando el sustituir los componentes o las variable, no se aleje mucho del objetivo que se busca.

Se crea entonces el modelo análogo con ecuaciones diferenciales.

El siguiente paso sería crear un programa de computadora, el cual representaría el modelo digital.

La simulación por computadora es la disciplina de diseñar un modelo actual o teórico de un sistema físico ejecutándolo en un ordenador digital y analizando los resultados de la ejecución. La simulación cumple con el principio de "aprenda haciéndolo". La simulación es un campo interdisciplinario que esta siendo ampliamente usado en la industria, gobierno y en el sector educativo.

3.2.2. Herramientas de Simulación.

Día a día la tecnología computacional le ha ido haciendo más sencillo el trabajo al ser humano, ayudándole a obtener resultados con la inversión de menor tiempo y esfuerzo.

Conforme la simulación ha ido tomando más fuerza se ha desarrollado software específico para ello ya que anteriormente se generaban los algoritmos de simulación con lenguajes de propósito general, como C, Pascal, Fortran, etc., o se usaba otro tipo de software que sirve para el manejo de datos.

Algunas de las ventajas que se pueden obtener de los sistemas de simulación es el movimiento automático del modelo a través del tiempo, el poder obtener automáticamente estadísticas para toma de decisiones posteriores y los resultados sustituirlos en el modelo original, manipulación de gráficas y diagramas con animación.

Con todas estas características que presentan los nuevos sistemas de simulación, se ahorra tiempo en la programación ya que ésta se facilita, así como otras ventajas en la programación y generación de variables.

Finalmente no existe (aún) un software que sea el que sirva para todas las aplicaciones que requieran de una simulación, ya que como se comentó anteriormente los modelos que se originan pueden ser de diferentes tipos, por ello es muy importante elegir el software mas adecuado según las necesidades que se tengan, para lo cual se realizan preguntas como: ¿Existe un manual del software?, ¿Cuento con el hardware necesario?, ¿Tiene diagnósticos adecuados de errores?, ¿Qué tanto tiempo debemos invertir en el sistema?, ¿Cuál es el costo de instalación, mantenimiento y actualización?, ¿Es sencillo de aprender?, ¿Es compatible con otros tipos de software?, ¿Para qué tipo de problemas es más adecuado? ¿Qué tan abierto es el sistema? ¿Qué reportes y estadísticas genera?.

Existen catálogos de software de simulación en donde incluye los lenguajes, con su descripción, qué compañía los desarrolló, cuáles son sus requerimientos, su costo y en dónde se consigue.

Como software de propósito específico, se tiene entre los más conocidos, el GPSS, SPSS, SLAM, PROMODEL, THE FACTORY MODEL, AUTOFORCAST, entre otros. En el Apéndice A, se presenta una lista actualizada de software existente en el mercado relacionado con simulación.

Para este trabajo se seleccionó el software de "PROMODEL", ya que después de haber contestado a todas las preguntas anteriores, es el que parece ser el más adecuado.

3.2.2.1 "PROMODEL"

El software "PROMODEL" ha sido diseñado especialmente para simular situaciones reales de diferentes ámbitos, con la definición de variables, entradas, tiempos, etc. y el manejo de distribuciones de probabilidad a la que se ajusten los resultados, esto bajo un ambiente gráfico de Windows y con la facilidad de poder cambiar las variables cuantas veces sea necesario y generar las pruebas respectivas a estos cambios en tiempos relativamente cortos.

PROMODEL es una poderosa (pero fácil de usar) herramienta de simulación, desarrollada específicamente, para ingenieros y gerentes de producción de todos tipos y tamaños, que les ayuda a improvisar los diseños y operaciones de los sistemas de manufactura. También es empleado para la asignación de recursos, capacidad de producción, productividad y niveles de inventario, como un simulador de eventos discretos, El PROMODEL fue diseñado específicamente para modelar partes de sistemas de manufactura

Los requerimientos del PROMODEL: DOS 5 o mayor, Microsoft Windows 3.1 o mayor, Win 32s, en hardware se necesita como mínimo, computadora 386 o superior con 8 Mb en RAM. 16 Mb espacio en disco, monitor VGA, Mouse.

Los principales beneficios que PROMODEL ofrece son:

- Eliminación de cuellos de botella.
- Elevar la eficiencia operativa.
- Reducción de tiempos de operación.
- Describir los recursos a utilizar.
- Reducción de Inventarios.

Dentro de PROMODEL, un sistema de producción, es visto como un conjunto de **locaciones de proceso**, tales como máquinas o estaciones de trabajo a través de las cuales, las **entidades** (partes o productos) son procesadas. El sistema de producción también puede tener **recursos**, que son, los operadores, equipo para manejo de materiales y el movimiento de las entidades.

PROMODEL genera eventos, llegadas y fallas aleatorias. Procesamientos y decisiones lógicas pueden ser basadas en reglas de construcción y modelos que se ajustan a las distribuciones.

Cuenta con representaciones animadas de los procesos y la elaboración automática de resultados y estadísticas de cada simulación.

Las aplicaciones típicas del PROMODEL son entre otras:

- Los sistemas flexibles de manufactura

- Líneas de ensamble y producción

- Estaciones de trabajo

- Líneas de transferencia

- Sistemas de Justo a Tiempo

Diferentes procesos de las industrias pueden ser modelados usando variables o convirtiendo los materiales en unidades discretas tales como galones o barriles.

3.2.3 Diseño de los modelos de nuevas rutas de producción.

Partiendo del layout, se genera como primera ruta, la que existe actualmente con sus respectivos tiempos previamente establecidos; para los otros modelos se harán modificaciones sobre este mismo.

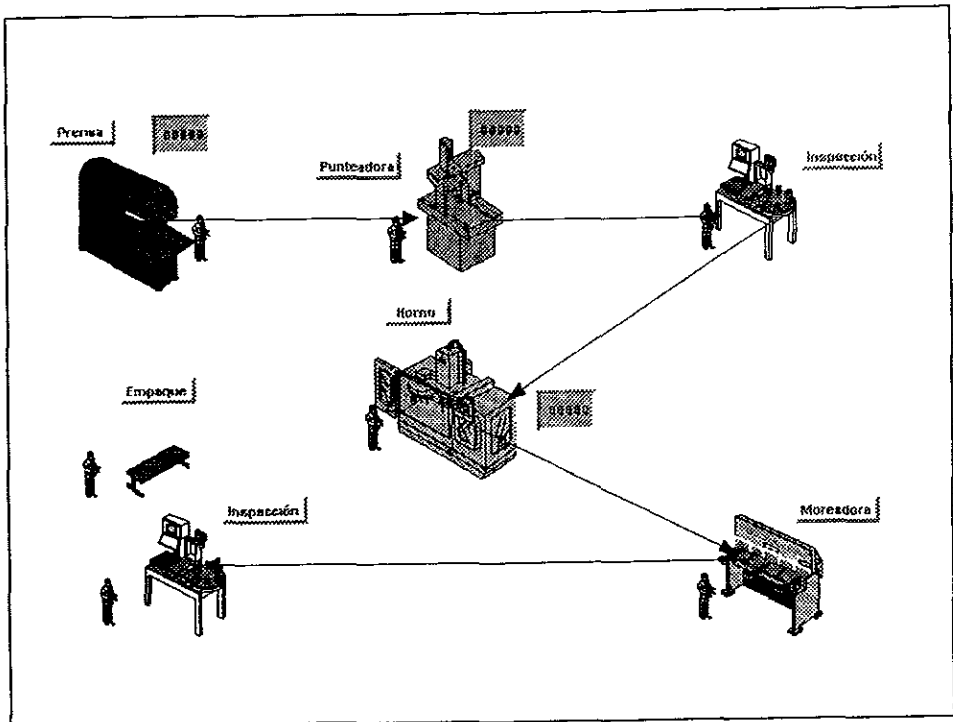


Fig. 3.3

Se muestra en la Fig. 3.3 la forma en que están colocadas las máquinas, sus nombres y la ruta que siguen para la fabricación de las escobillas.

El proceso comienza en la *Prensa* donde el polvo se comprime en un bloque rectangular con dimensiones previamente definidas, *pasa a la Punteadora* para insertar el cable o soguilla dentro éste, en el módulo de *inspección* se verifica que al final de esta etapa el material cumpla con los requerimientos de calidad solicitados, en el *Horno* se sinterizan las piezas a temperaturas elevadas para que el material adquiera las características físicas y químicas deseadas, al salir

del horno las piezas deben rectificarse y/o elaborar los radios necesarios en la *Moreadora*, nuevamente se *inspeccionan* las piezas y se *empaca* el material listo para su distribución.

3.2.4 Simulación de los modelos propuestos.

De los cuatro modelos presentados, los dos primeros siguen el mismo proceso de producción pero se han modificado las distancias y por lo tanto los tiempos de traslado de una locación a otra varían.

Las últimas dos rutas intercambian la tercera y la cuarta locación, las distancias y los tiempos.

A continuación se presentan las simulaciones de las cuatro rutas propuestas teniendo como datos fijos para todas ellas los siguientes que también se especifican en cada simulación:

Locación	Capacidad	Unidades	Estadísticas	Reglas
Prensa	1	1	Básicas	FIFO
Punteadora	1	1	Básicas	FIFO
Inspección 1	1	1	Básicas	FIFO
Horno	100	1	Básicas	FIFO
Moreadora	1	1	Básicas	FIFO, Última locación
Inspección 2	1	1	Básicas	FIFO
Empaque	1	1	Básicas	FIFO
Banda 1	infinita	1	Ser. de tiempo	FIFO
Banda 2	infinita	1	Ser. de tiempo	FIFO
Gear	150		Básicas	

Las **locaciones** son las máquinas en sí y pueden tener en operación sólo una **gear** (escobilla o producto que se fabrica) excepto el horno que tiene que acumular 100 piezas para su operación. Las bandas son líneas de espera para que el producto pase al siguiente proceso y las máquinas se bloqueen el menor

tiempo posible, es decir permanezcan el menor tiempo ocupadas por las escobillas en espera del siguiente proceso.

A continuación se presenta el Modelo 1, que se refiere a la primera simulación realizada con las locaciones como se encuentran actualmente, presentando la diferencia en cuanto a las dos bandas de espera, antes de la prensa y después del horno.

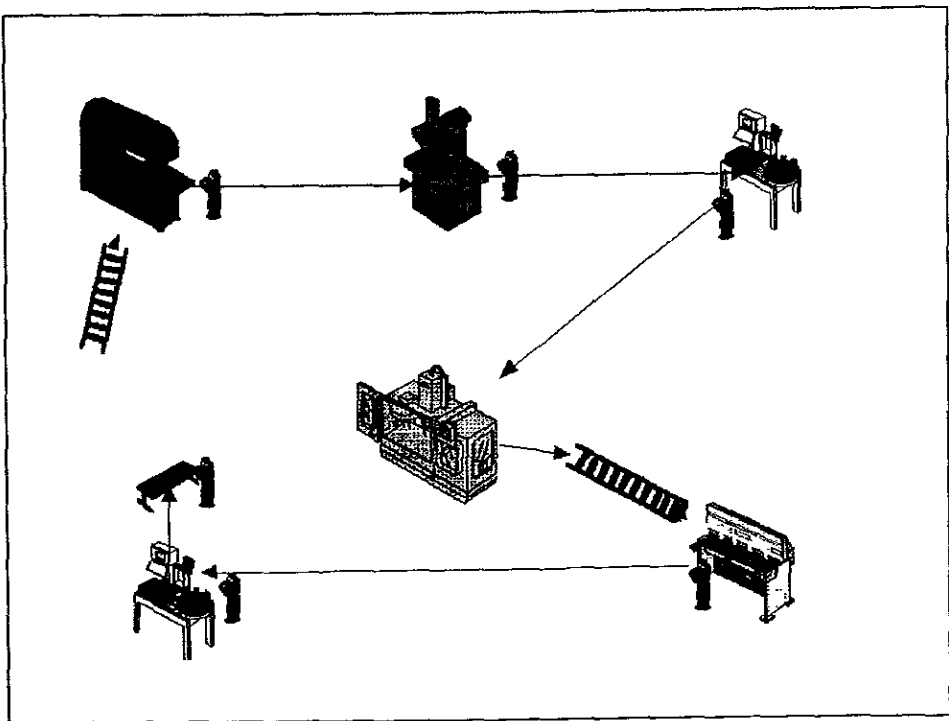


Fig. 3.4

La siguiente tabla muestra las características del modelo, que en las cuatro simulaciones resulta igual sólo varía en los tiempos de los procesos.

Formatted Listing of Model:
PRIMER2.MOD

Locations

Name	Cap	Units	Stats	Rules
<i>Función.- En las prensas se prensa el polvo en forma de escobilla</i>				
Prensa	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- En las punteadoras se inserta la soguilla con tapas y terminales si así lo requiere la pieza</i>				
Punteadora	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Primera inspección de calidad</i>				
Inspect1	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Horno donde se sinterizan las piezas de acuerdo con sus especificaciones</i>				
Horno	100	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Aquí se terminan algunas piezas para ser rectificadas</i>				
Moreadora	1	1	Basic	Last Loc, FIFO, First
<i>Función.- Es la ultima inspección antes de ser empacadas</i>				
Inspect2	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Aquí se empaqa el producto según sus dimensiones y requerimientos del cliente</i>				
Empaque	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Las entitis se esperan para su proceso</i>				
banda1	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,
banda2	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,

Entities

Name	Speed (fpm)	Stats
------	-------------	-------

Descripción.- Producto que se fabrica

Gear	150	Basic
------	-----	-------

Processing

Process				Routing					
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move	Logic	
Gear	Prensa	WAIT .60 min	1	Gear	Punteadora	FIRST 1	MOVE FOR.20 MIN		
Gear	Puntead	WAIT .60 min	1	Gear	Inspect1	FIRST 1	MOVE FOR.05 MIN		
Gear	Insp1	WAIT .80 min	1	Gear	Horno	FIRST 1	MOVE FOR.25 MIN		
Gear	Horno	WAIT .40 MIN	1	Gear	banda2	FIRST 1	MOVE FOR.30 MIN		
		accum 100							
Gear	banda2		1	Gear	Moreadora	FIRST 1			
Gear	Moread	WAIT .55 min	1	Gear	Inspect2	FIRST 1	MOVE FOR .10 MIN		
Gear	Insp2	WAIT .80 min	1	Gear	Empaque	FIRST 1	MOVE FOR .10 MIN		
Gear	Empaq	WAIT .60 min	1	Gear	EXIT	FIRST 1			
Gear	banda1		1	Gear	Prensa	FIRST 1			
Gear	banda2		1	Gear	Moreadora	FIRST 1			

Arrivals

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
Gear	banda1	1	0	INF	1 min	

General Report
 Output from Primer.Mod
 Date: Sep/01/1997
 Time 03:37:26 PM

Scenario: Normal Run
 Replication:3 of 3
 Simulation Time:12 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
Prensa	12	1	720	0.60	0.60	1	0	60.00
Punteadora	12	1	720	0.599444	0.599444	1	1	59.94
Inspect1	12	1	719	0.799722	0.798611	1	1	79.86
Horno	12	100	718	71.213603	71.0158	100	73	71.02
Moreadora	12	1	624	0.795939	0.689814	1	1	68.98
Inspect2	12	1	623	0.798742	0.691133	1	1	69.11
Empaque	12	1	622	0.599061	0.517522	1	1	51.75
banda1	12	999999	721	0.199723	0.20	1	1	1.10
banda2	12	999999	645	14.475967	12.9681	21	21	61.48

▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ ▲

Nombre de la máquina o proceso *Horas de trabajo* *Capacidad simultanea de la máquina* *Total de piezas que cumplieron el proceso* *Promedio de tiempo en proceso* *Promedio de piezas contenidas* *Máximo de Piezas simultanea-mente* *Piezas en máquina al término del proceso* *Porcentaje de utilización de la máquina*

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	%Partially Occupied	% Full % Down
Horno	12	0.31	99.31	0.39 0.00
banda1	12	80.00	20.00	0.00 0.00
banda2	12	31.46	68.54	0.00 0.00

▲ ▲ ▲ ▲ ▲

Nombre de la máquina o proceso con capacidad multiple *Horas de trabajo* *Porcentaje de tiempo en que la maquina está vacia* *Porcentaje de tiempo en que la máquina está parcialmente ocupada* *Porcentaje de tiempo en que la maquina está llena o detenida*

LOCATION STATE BY PERCENTAGE (Single Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Prensa	12	60.00	0.00	40.00	0.00	00.00	0.00
Punteadora	12	59.94	0.00	40.06	0.00	00.00	0.00
Inspect1	12	79.86	0.00	20.14	0.00	00.00	0.00
Moreadora	12	47.59	0.00	31.02	0.00	21.39	0.00
Inspect2	12	69.11	0.00	30.89	0.00	00.00	0.00
Empaque	12	51.75	0.00	48.25	0.00	00.00	0.00

▲ *Nombre de la máquina o proceso con capacidad multiple*
 ▲ *Horas de trabajo*
 ▲ *Porcentaje de tiempo en operación de las maquinas de capacidad simple*
 ▲ *Porcentaje de tiempo ocupado en actualizar la maq.*
 ▲ *Porcentaj e de tiempo del proceso*
 ▲ *Porcentaje de tiempo en espera*
 ▲ *Porcentaje de tiempo bloqueada y detenida*

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
Gear	banda1	0

▲ *Pieza* ▲ *Máquina* ▲ *Fallas*

ENTITY ACTIVITY

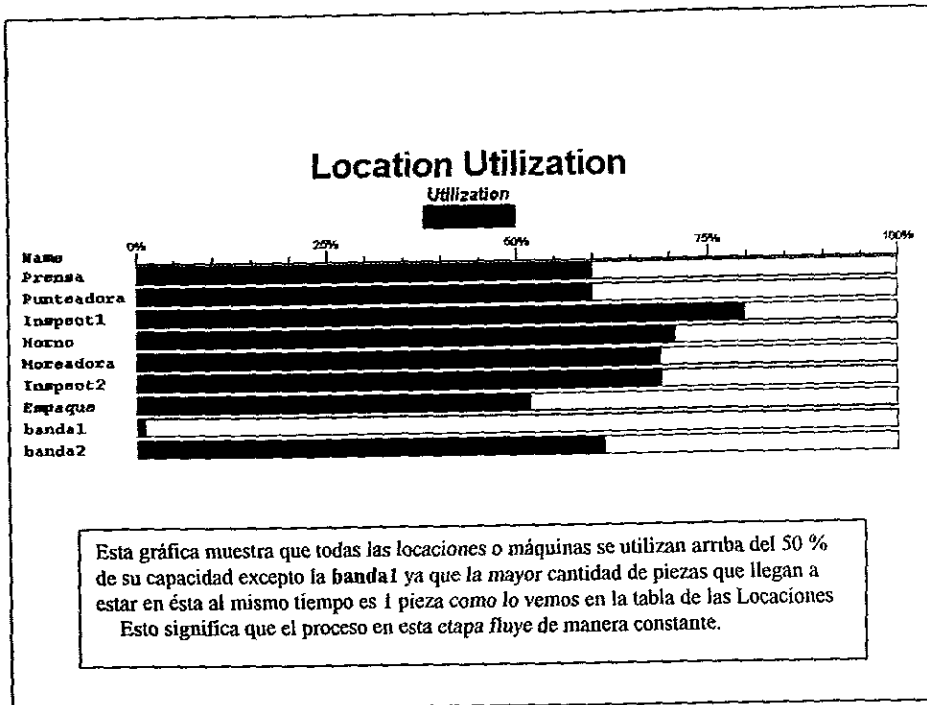
Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked
Gear	621	100	94.151150	0.000000	74.067037	18.457145	1.6626988

▲ *Pieza* ▲ *Total* ▲ *Cantidad actual en el sistema*
 ▲ *Promedio en MIN. En el sistema* ▲ *Promedio en MIN. En Movimiento*
 ▲ *Promedio en MIN. En espera* ▲ *Promedio en MIN. En operación*
 ▲ *Promedio en MIN. Bloqueada*

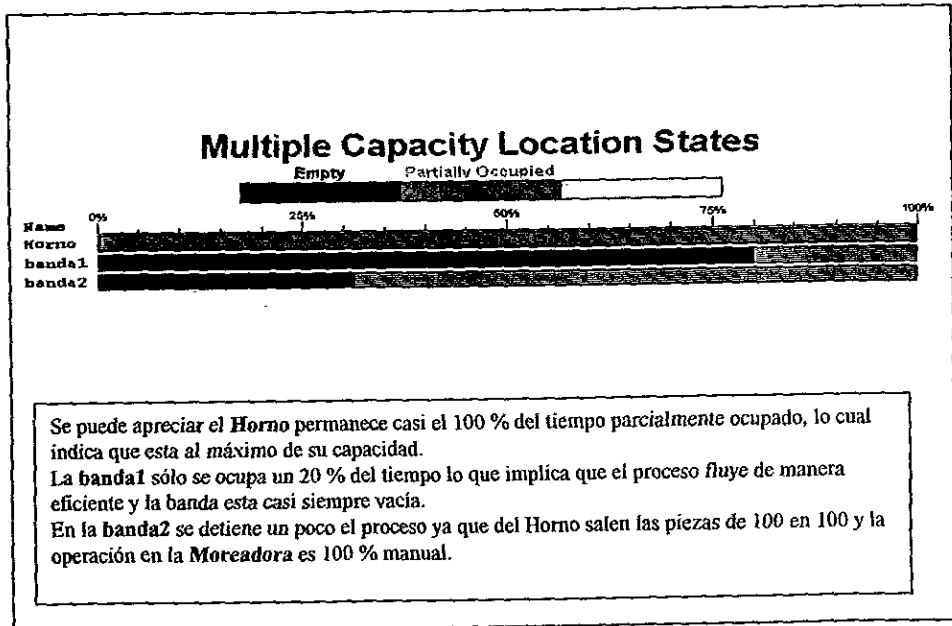
ENTITY STATES BY PERCENTAGE

Entity Name	% In Move Logic	% Wait For Res, etc.	% In Operation	% Blocked
Gear	0	78.67	19.6	1.73

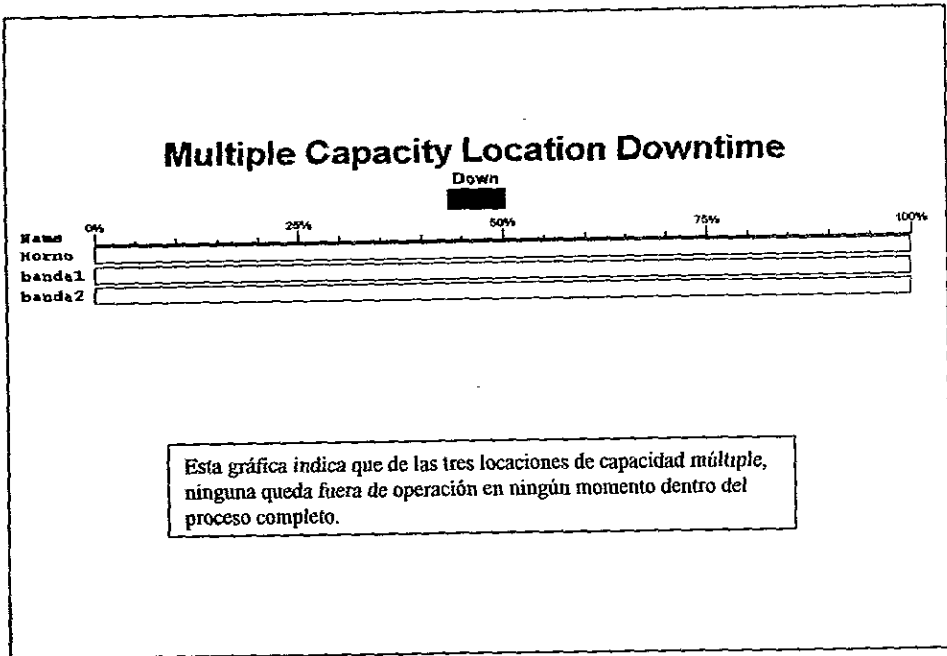
▲ ▲ ▲ ▲ ▲
Pieza *Pieza* *Porcentaje* *Porcentaje de* *Porcentaje de* *Porcentaje*
 de tiempo en *tiempo en espera* *Tiempo en* *de Tiempo*
 movimiento Lógico *del sig. proceso.* *Operación* *bloqueada*



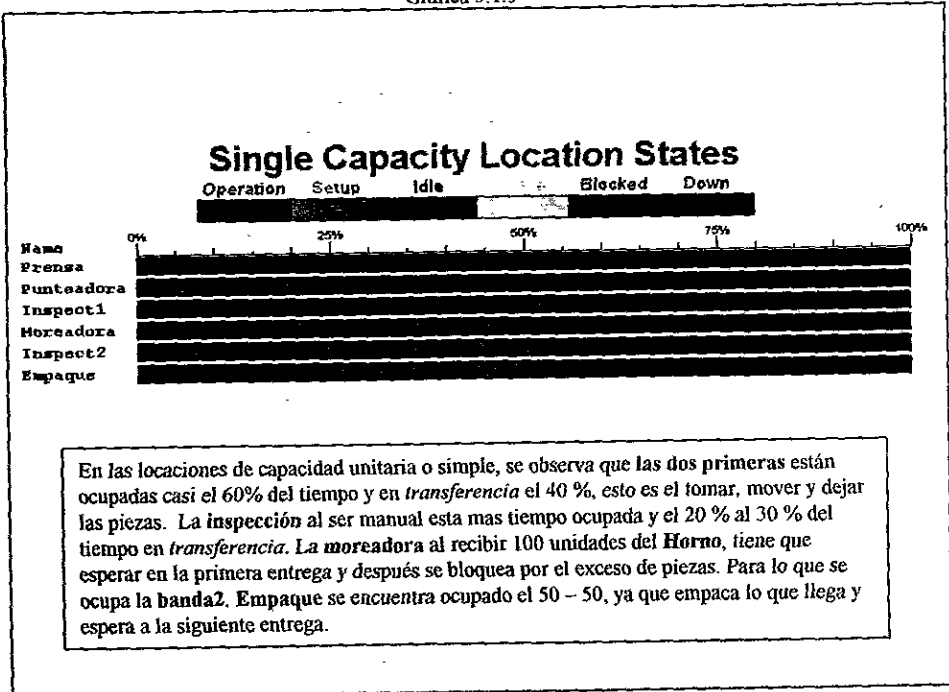
Gráfica 3.1.1



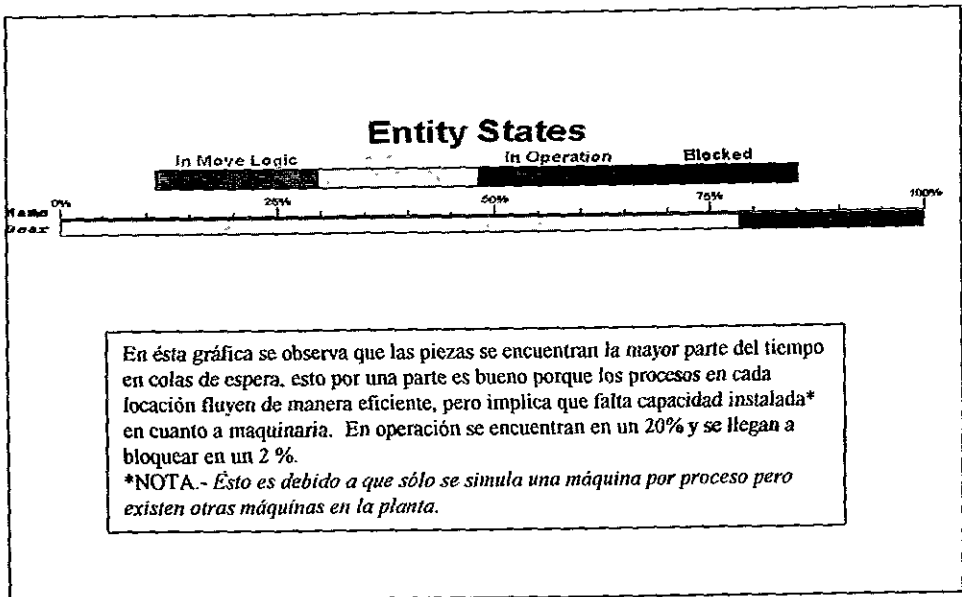
Gráfica 3.1.2



Gráfica 3.1.3



Gráfica 3.1.4



Gráfica 3.1.5

En la segunda simulación se cambia la ubicación de las máquinas así como las distancias entre ellas.

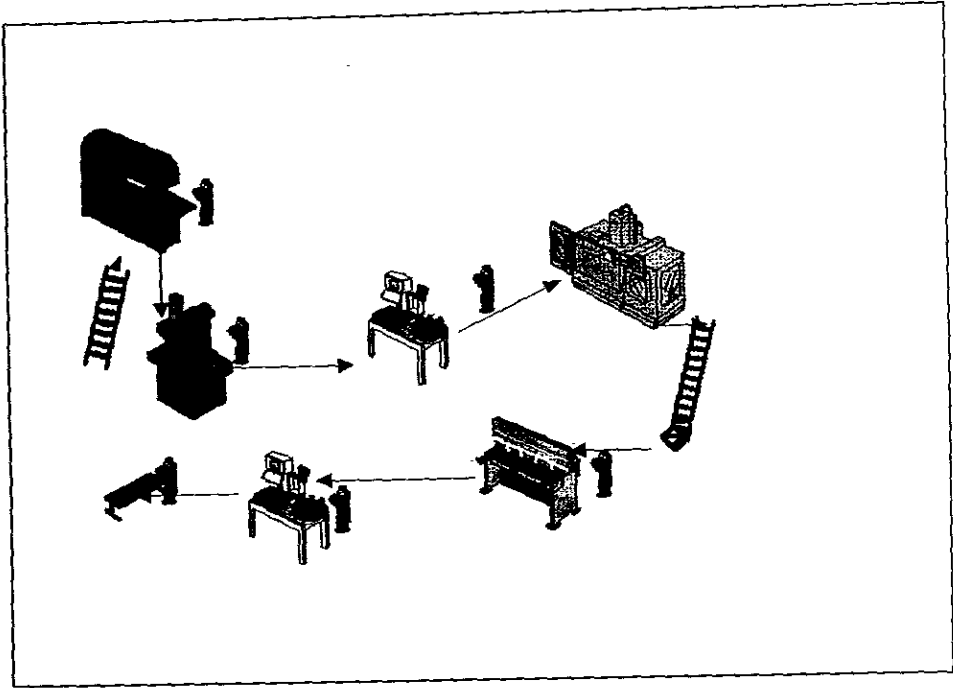


Fig. 3.5

Formatted Listing of Model:
Segundo.mod

Locations

Name	Cap	Units	Stats	Rules
<i>Función.- En las prensas se prensa el polvo en forma de escobilla</i>				
Prensa	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- En las punteadoras se inserta la soguilla con tapas y terminales si así lo requiere la pieza</i>				
Punteadora	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
<i>Función.- Primera inspección de calidad</i>				
Inspect1	1	1	Basic	Oldest, FIFO,

Name	Cap	Units	Stats	Rules
------	-----	-------	-------	-------

Función.- Horno donde se sinterizan las piezas de acuerdo con sus especificaciones

Horno	100	1	Basic	Oldest, FIFO,
-------	-----	---	-------	---------------

Función.- Aquí se terminan algunas piezas para ser rectificadas

Moreadora	1	1	Basic	Last Loc, FIFO, First
-----------	---	---	-------	-----------------------

Función.- Es la ultima inspección antes de ser empacadas

Inspect2	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
----------	---	---	-------	---------------

Función.- Aquí se empaqa el producto sugun sus dimensiones y requerimientos del cliente

Empaque	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
---------	---	---	-------	---------------

Función.- Las entitis se esperan para su proceso

banda1	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,
--------	----------	---	-------------	---------------

Función.- Las escobillas salen del horno y esperan para entrar a la moreadora

banda2	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,
--------	----------	---	-------------	---------------

Entities

Name	Speed (fpm)	Stats
------	-------------	-------

Descripción.- Producto que se fabrica

Gear	150	Time Series
------	-----	-------------

Processing

Process			Routing				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Gear	Prensa	WAIT .60 min	1	Gear	Punteadora	FIRST 1	MOVE FOR 0
Gear	Punteadora	WAIT .60 min	1	Gear	Inspect1	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect1	WAIT .80 min	1	Gear	Horno	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Horno	WAIT.40 MIN	1	Gear	banda2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Moreadora	WAIT .55 min	1	Gear	Inspect2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect2	WAIT .80 min	1	Gear	Empaque	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Empaque	WAIT .60 min	1	Gear	EXIT	FIRST 1	
Gear	banda1		1	Gear	Prensa	FIRST 1	
Gear	banda2		1	Gear	Moreadora	FIRST 1	MOVE FOR 0

Arrivals

<u>Entity</u>	<u>Location</u>	<u>Qty each</u>	<u>First Time</u>	<u>Occurrences</u>	<u>Frequency</u>	<u>Logic</u>
Gear	bandal	1	0	INF	1 min	

Attributes

<u>ID</u>	<u>Type</u>	<u>Classification</u>
Att1	Integer	Entity

General Report
 Output from: Segundo.Mod
 Date: Sep/01/1997 Time:04:23:56 PM

Scenario : Normal Run
 Replication : 3 of 3
 Simulation Time : 12 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
Prensa	12	1	720	0.60	0.60	1	0	60.00
Punteadora	12	1	720	0.599444	0.599444	1	1	59.94
Inspect1	12	1	719	0.799722	0.798611	1	1	79.86
Homo	12	100	718	69.624854	69.4315	100	71	69.43
Moreadora	12	1	623	0.797152	0.689758	1	1	68.98
Inspect2	12	1	622	0.799961	0.691078	1	1	69.11
Empaque	12	1	621	0.60	0.5175	1	0	51.75
banda1	12	999999	721	0.199723	0.20	1	1	1 10
banda2	12	999999	647	16.232855	14.587	24	24	59.47

LOCATION STATISTICS BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down
Homo	12	0.31	99.31	0.39	0.00
banda1	12	80.00	20.00	0.00	0.00
banda2	12	31.42	68.58	0.00	0.00

LOCATION STA TES BY PE RCENTAGE (Single Ca pacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Prensa	12	60.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
Punteadora	12	59.94	0.00	40.06	0.00	0.00	0.00
Inspect1	12	79.86	0.00	20.14	0.00	0.00	0.00
Moreadora	12	47.59	0.00	31.02	0.00	21.39	0.00
Inspect2	12	69.11	0.00	30.89	0.00	0.00	0.00
Empaque	12	1.75	0.00	48.25	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

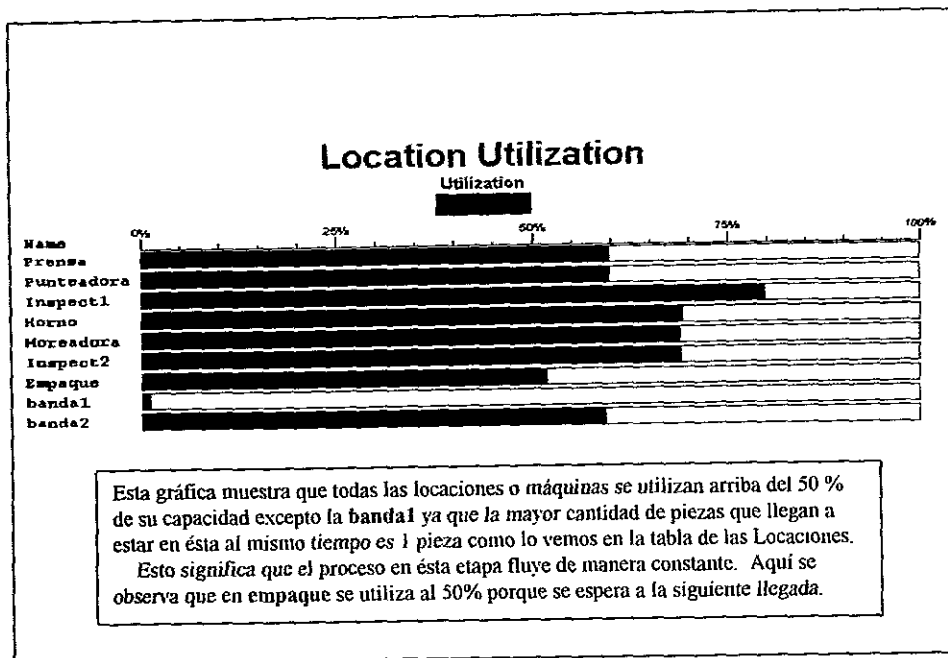
Entity Name	Location Name	Total Failed
Gear	banda1	0

ENTITY ACTIVITY

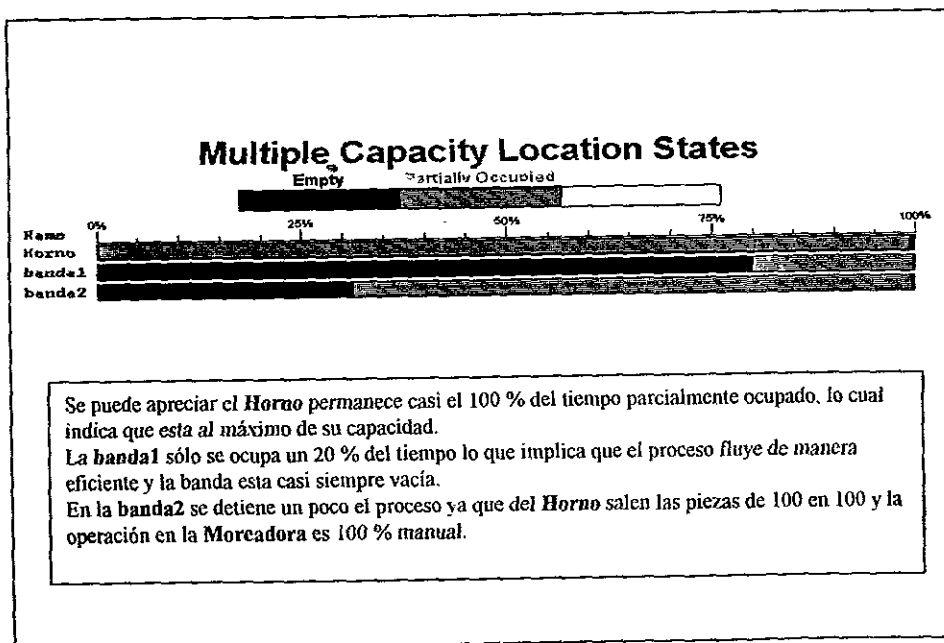
Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes in System	Average Minutes in Move Logic Res.	Average Minutes Wait For etc. Ope	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked
Gear	621	100	94.191150	0.000000	72.339250	20.247734	1.604166

ENTITY STATES BY PERCENTAGE

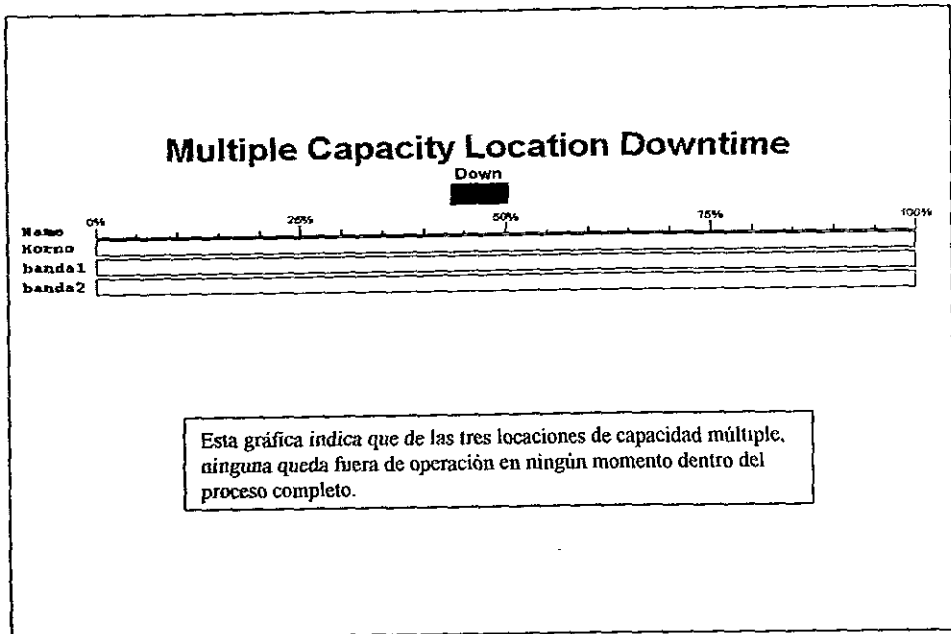
Entity Name	% In Move Logic	% Wait For Res. etc.	% Operation	% Blocked
Gear	0.00	76.80	21.50	1.70



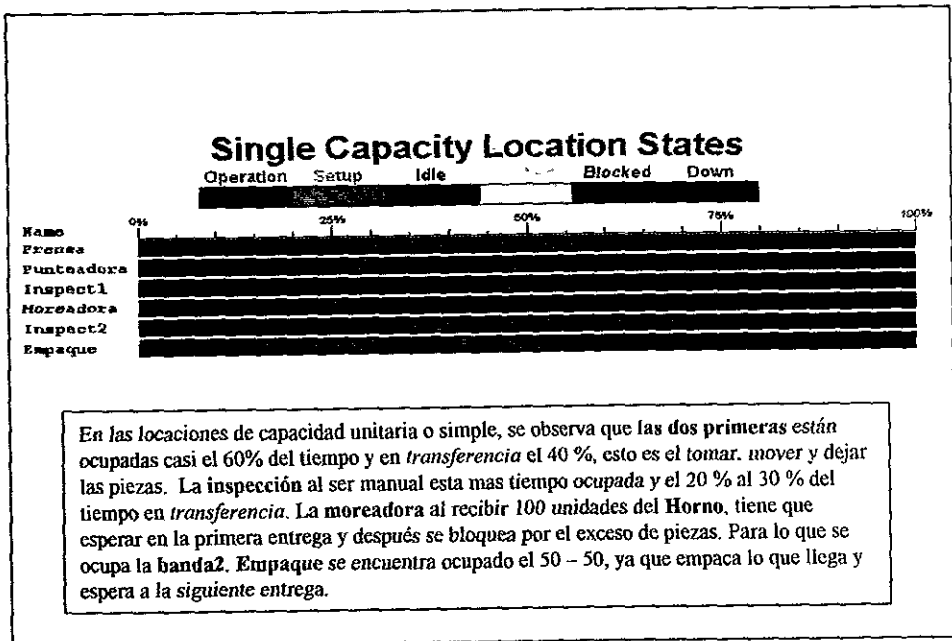
Gráfica 3.2.1



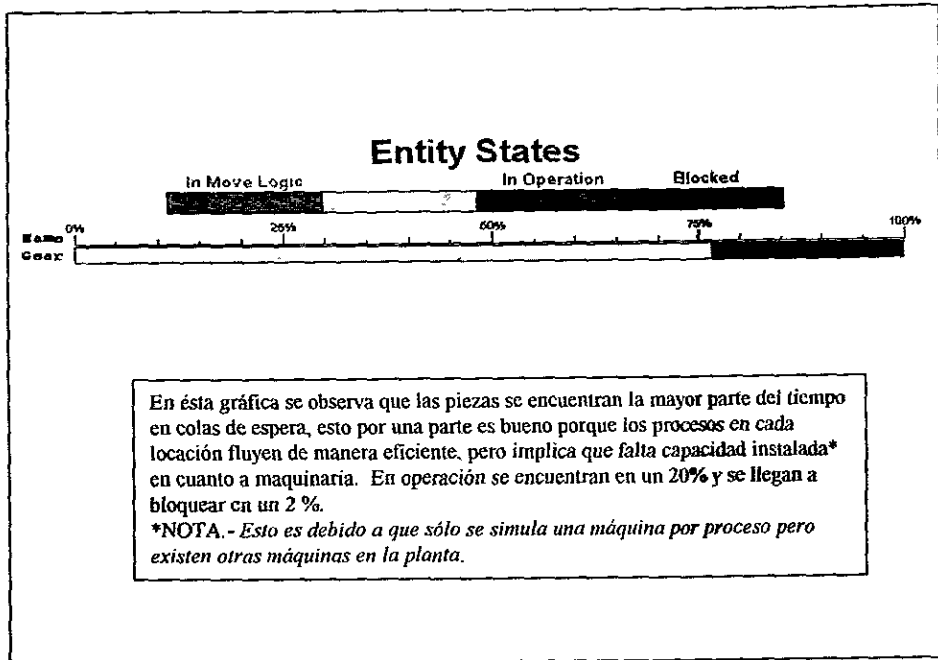
Gráfica 3.2.2



Gráfica 3.2.3



Gráfica 3.2.4



Gráfica 3.2.5

Hasta el momento se observa que el resultado que se obtiene tanto del primer modelo como del segundo, las cifras varían en cantidades insignificantes por lo que seguiremos con la tercera simulación.

En el tercer modelo las variaciones fueron en el orden de la inspección, ésta se hace después del sinterizado.

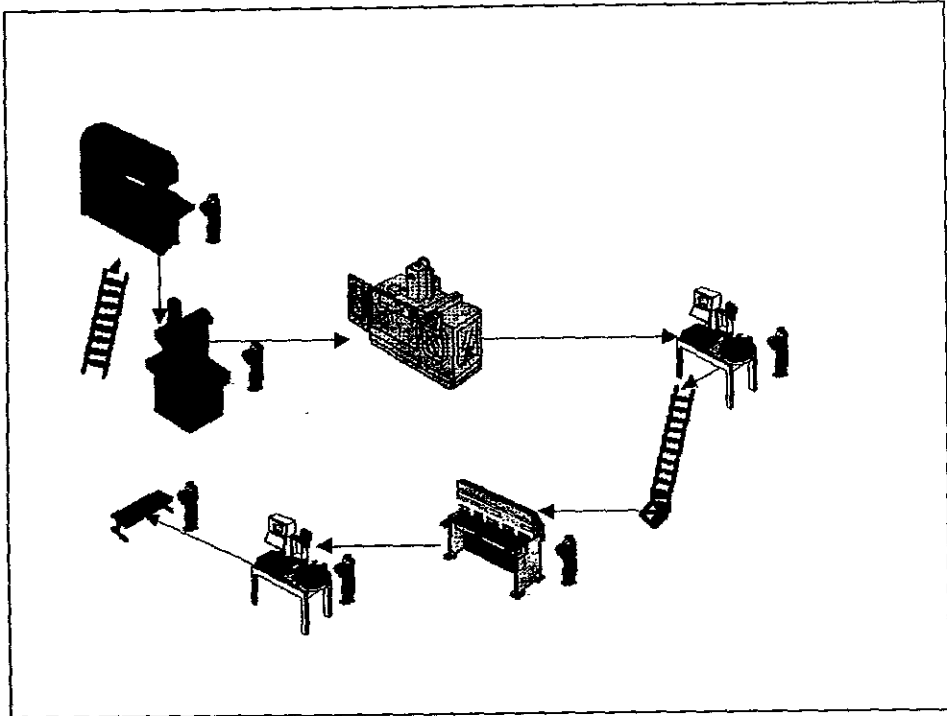


Fig. 3.6

Formatted Listing of Model:
Tercera.mod

Locations

Name	Cap	Units	Stats	Rules
------	-----	-------	-------	-------

Función.- En las prensas se prensa el polvo en forma de escobilla

Prensa	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
--------	---	---	-------	---------------

Función.- En las punteadoras se inserta la siguilla con tapas y terminales si asi lo requiere la pieza

Punteadora	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
------------	---	---	-------	---------------

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Name	Cap	Units	Stats	Rules
------	-----	-------	-------	-------

Función.- Primera inspección de calidad

Inspect1	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
----------	---	---	-------	---------------

Función.- Horno donde se sinterizan las piezas de acuerdo con sus especificaciones

Horno	100	1	Basic	Oldest, FIFO,
-------	-----	---	-------	---------------

Función.- Aquí se terminan algunas piezas para ser rectificadas

Moreadora	1	1	Basic	Last Loc, FIFO, First
-----------	---	---	-------	-----------------------

Función.- Es la última inspección antes de ser empacadas

Inspect2	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
----------	---	---	-------	---------------

Función.- Aquí se empaqa el producto sugun sus dimensiones y requerimientos del cliente

Empaque	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
---------	---	---	-------	---------------

Función.- Las entitis se esperan para su proceso

banda1	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,
--------	----------	---	-------------	---------------

Función.- Las escobillas salen del horno y esperan para entrar a la moreadora

banda2	INFINITE	1	Time Series	Oldest, FIFO,
--------	----------	---	-------------	---------------

Entities

Name	Speed (fpm)	Stats
------	-------------	-------

Definición.-Producto que se fabrica

Gear	150	Time Series
------	-----	-------------

Processing

Entity	Location	Operation	Process		Routing		
			Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Gear	Prensa	WAIT .60 min	1	Gear	Punteadora	FIRST 1	MOVE FOR 0
Gear	Punteadora	WAIT .60 min	1	Gear	Horno	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect1	WAIT .80 min	1	Gear	banda2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Horno	WAIT .40 MIN	1	Gear	Inspect1	FIRST 1	MOVE for 0
		Accum 100					
Gear	Moreadora	WAIT .55 min	1	Gear	Inspect2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect2	WAIT .80 min	1	Gear	Empaque	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Empaque	WAIT .60 min	1	Gear	EXIT	FIRST 1	
Gear	banda1		1	Gear	Prensa	FIRST 1	
Gear	banda2		1	Gear	Moreadora	FIRST 1	MOVE FOR 0

Arrivals

<u>Entity</u>	<u>Location</u>	<u>Qty each</u>	<u>First Time</u>	<u>Occurrences</u>	<u>Frequency</u>	<u>Logic</u>
Gear	bandal	1	0	INF	1 min	

Attributes

<u>ID</u>	<u>Type</u>	<u>Classification</u>
Att1	Integer	Entity

General Report

Output from : Tercer .Mod

Date: Sep/01/1997 Time:04:49.15 PM

Scenario : Normal Run

Replication : 3 of 3

Simulation Time : 12 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
Prensa	12	1	720	0.60	0.60	1	0	60.00
Punteadora	12	1	720	0.599444	0.599444	1	1	59.94
Inspect1	12	1	625	0.79872	0.693333	1	1	69.33
Horno	12	100	719	84.217524	84.1006	100	94	84.10
Moreadora	12	1	623	0.549961	0.475869	1	1	47.59
Inspect2	12	1	622	0.799961	0.691078	1	1	69.11
Empaque	12	1	621	0.60	0.5175	1	0	51.75
banda1	12	999999	721	0.199723	0.20	1	1	1.10
banda2	12	999999	624	0.273561	0.237086	1	1	0.97

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full % Down
Horno	12	0.19	99.22	0.58 0.00
banda1	12	80.00	20.00	0.00 0.00
banda2	12	76.29	23.71	0.00 0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Prensa	12	60.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
Punteadora	12	59.94	0.00	40.06	0.00	0.00	0.00
Inspect1	12	69.33	0.00	30.67	0.00	0.00	0.00
Moreadora	12	47.59	0.00	52.41	0.00	0.00	0.00
Inspect2	12	69.11	0.00	30.89	0.00	0.00	0.00
Empaque	12	51.75	0.00	48.25	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

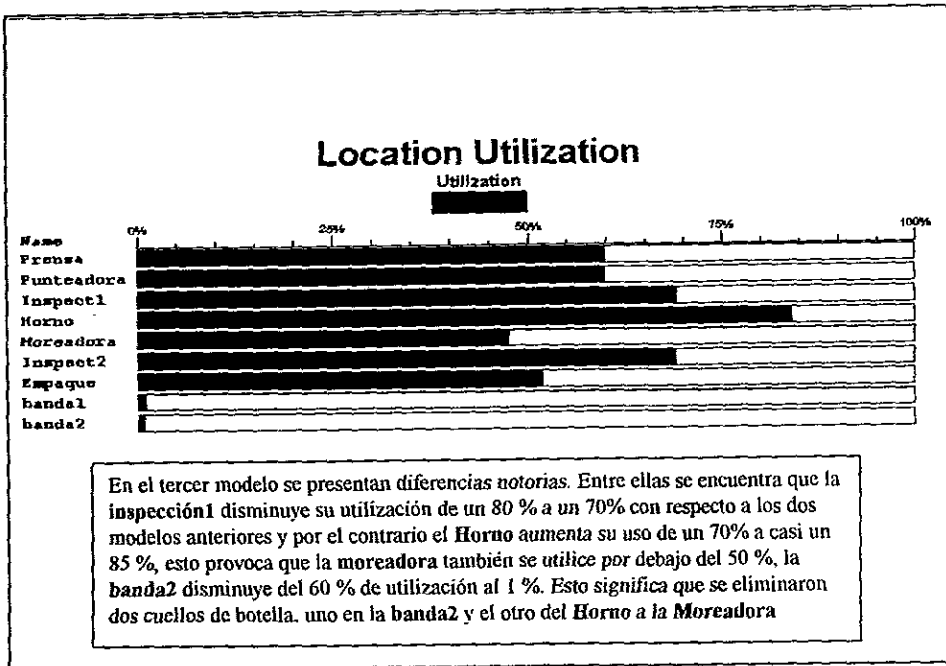
Entity Name	Location Name	Total Failed
Gear	banda1	0

ENTITY ACTIVITY

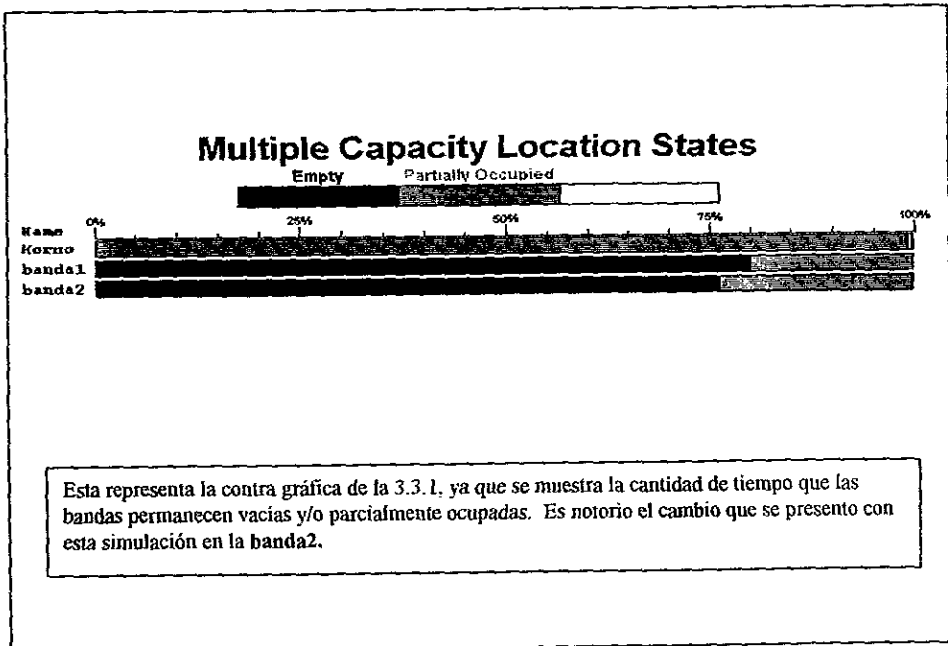
Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes Wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked
Gear	621	100	94.191150	0.000000	88.576167	4.824000	0.790982

ENTITY STATES BY PERCENTAGE

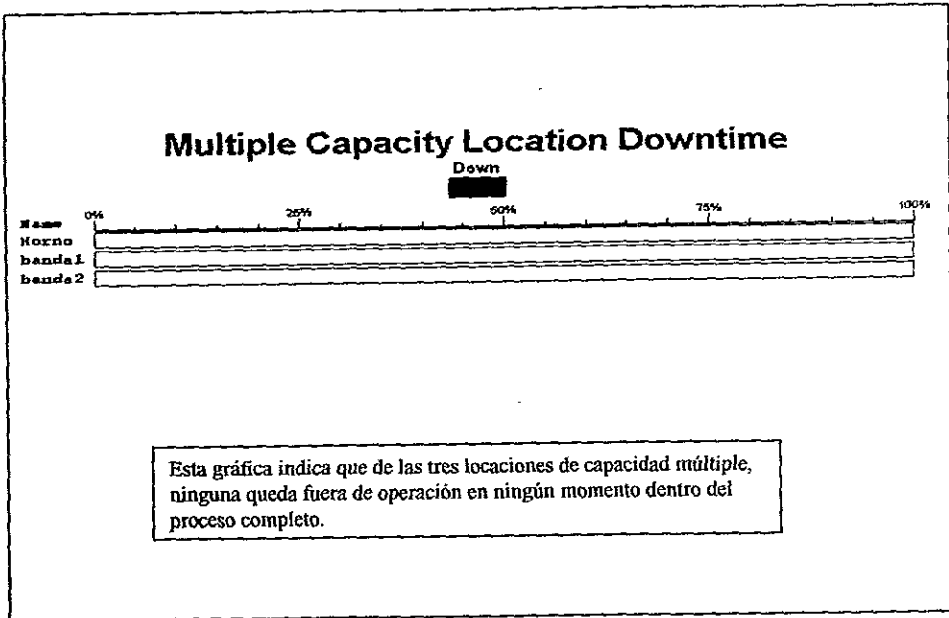
Entity Name	% In Move Logic	% Wait For Res, etc.	% In Operation	% Blocked
Gear	0.00	94.04	5.12	0.84



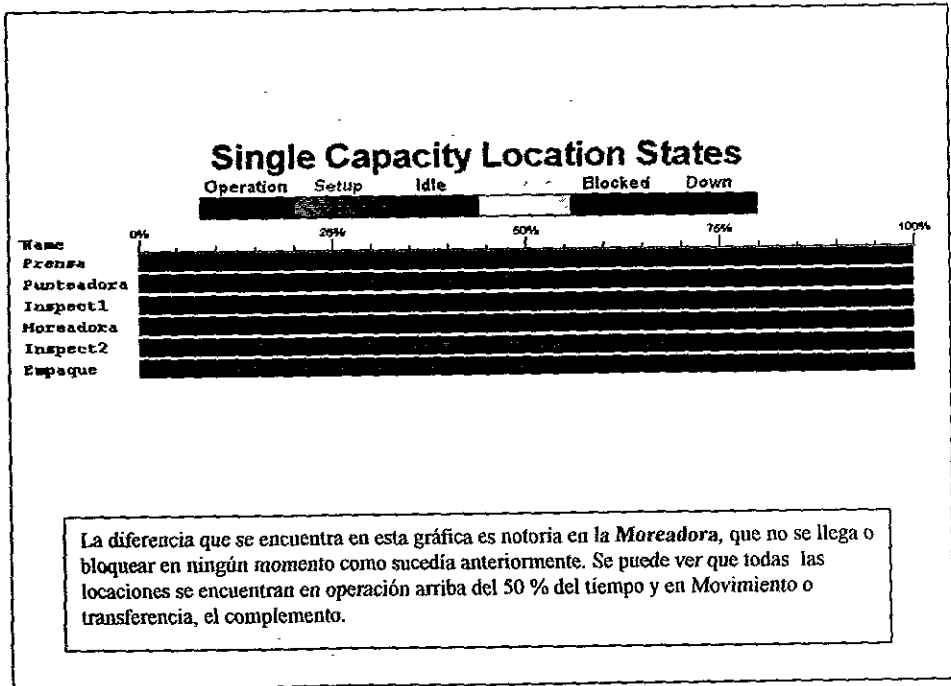
Gráfica 3.3.1



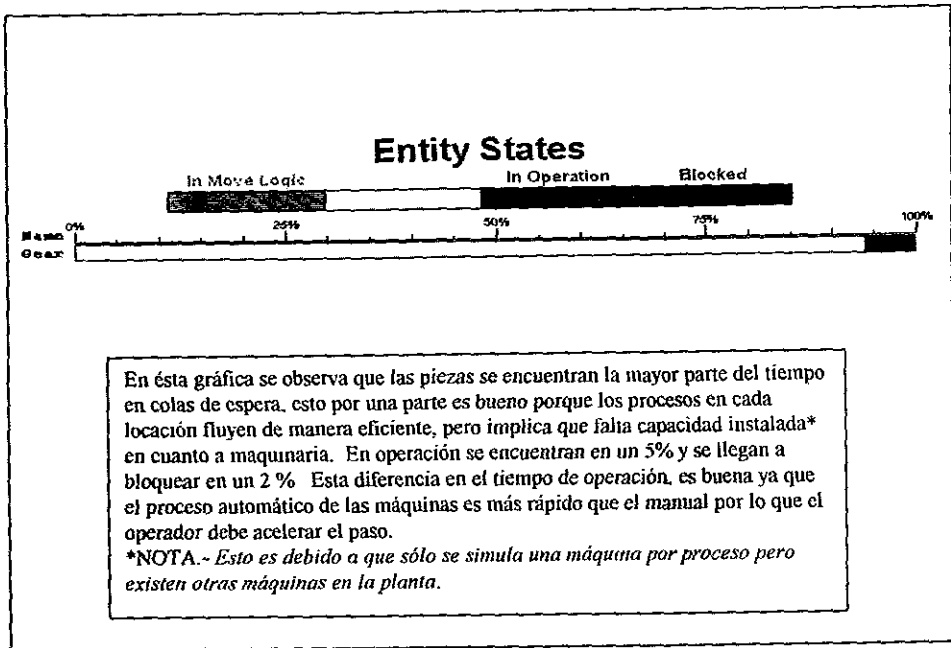
Gráfica 3.3.2



Gráfica 3.3.3



Gráfica 3.3.4



Gráfica 3.3.5

El último modelo simulado se basa en el anterior con la diferencia en las posiciones de las máquinas.

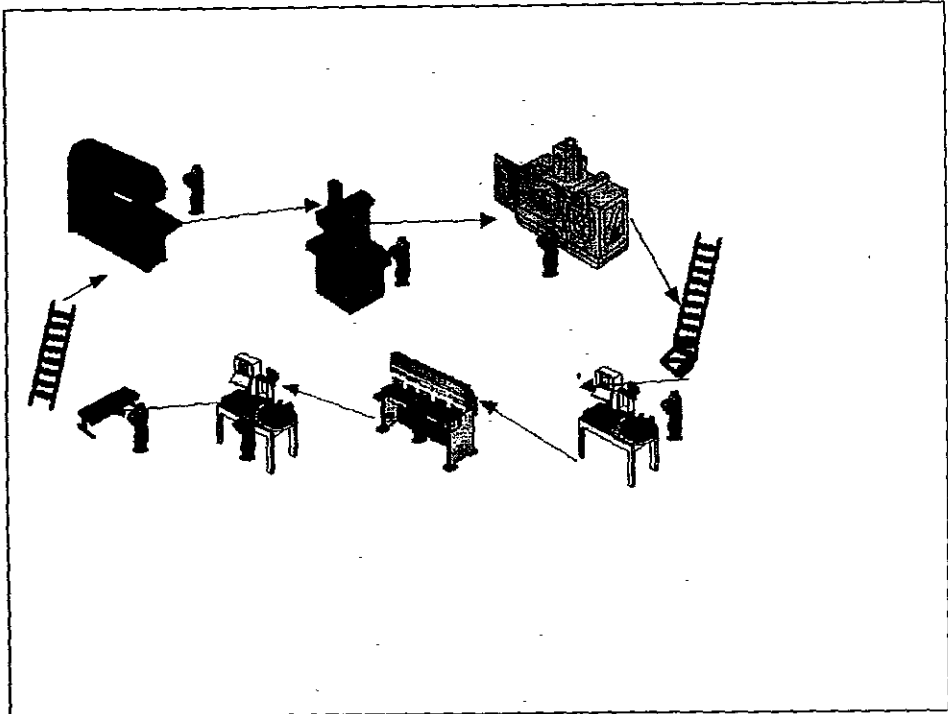


Fig. 3.7

Formatted Listing of Model:
Cuarto.mod

Locations

Name	Cap	Units	Stats	Rules
------	-----	-------	-------	-------

Función.- En las prensas se prensa el polvo en forma de escobilla

Prensa	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
--------	---	---	-------	---------------

Función.- En las punteadoras se inserta la siguilla con tapas y terminales si así lo requiere la pieza

Punteadora	1	1	Basic	Oldest, FIFO,
------------	---	---	-------	---------------

Name Cap Units Stats Rules

Función.- Primera inspección de calidad

Inspect1 1 1 Basic Oldest, FIFO,

Función.- Horno donde se sinterizan las piezas de acuerdo con sus especificaciones

Horno 100 1 Basic Oldest, FIFO,

Función.- Aquí se terminan algunas piezas para ser rectificadas

Moreadora 1 1 Basic Last Loc, FIFO, First

Función.- Es la ultima inspección antes de ser empacadas

Inspect2 1 1 Basic Oldest, FIFO,

Función.- Aquí se empaque el producto según sus dimensiones y requerimientos del cliente

Empaque 1 1 Basic Oldest, FIFO,

Función.- Las entitís se esperan para su proceso

bandal INFINITE 1 Time Series Oldest, FIFO,

Función.- Las escobillas salen del horno y esperan para entrar a la moreadora

banda2 INFINITE 1 Time Series Oldest, FIFO,

Entities

Name Speed (fpm) Stats

Definición.- Producto que se fabrica

Gear 150 Time Series

Processing

Process

Routing

Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Gear	Prensa	WAIT .60 min	1	Gear	Punteadora	FIRST 1	MOVE FOR 0
Gear	Punteadora	WAIT .60 min	1	Gear	Horno	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect1	WAIT .80 min	1	Gear	Moreadora	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Horno	WAIT .40 MIN	1	Gear	banda2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Moreadora	WAIT .55 min	1	Gear	Inspect2	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Inspect2	WAIT .80 min	1	Gear	Empaque	FIRST 1	MOVE for 0
Gear	Empaque	WAIT .60 min	1	Gear	EXIT	FIRST 1	
Gear	bandal		1	Gear	Prensa	FIRST 1	
Gear	banda2		1	Gear	Inspect1	FIRST 1	MOVE FOR 0

Arrivals

<u>Entity</u>	<u>Location</u>	<u>Qty each</u>	<u>First Time</u>	<u>Occurrences</u>	<u>Frequency</u>	<u>Logic</u>
Gear	bandal	1	0	INF	1 min	

Attributes

<u>ID</u>	<u>Type</u>	<u>Classification</u>
Att1	Integer	Entity

General Report
 Output from cuarto.mod
 Date: Sep/02/1997
 Time: 11:7:40 AM

Scenario : Normal Run
 Replication : 3 of 3
 Simulation Time : 12 hr

LOCATIONS

Average

Location	Scheduled		Total	Minutes	Average	Maximum	Current	
Name	Hours	Capacity	Entries	Per Entry	Contents	Contents	Contents	% Util
Prensa	12	1	720	0.6	0.6	1	0	60.00
Punteadora	12	1	720	0.599444	0.599444	1	1	59.94
Inspect1	12	1	624	0.799561	0.692953	1	1	69.30
Homo	12	100	719	69.771145	69.6742	100	71	69.67
Moreadora	12	1	623	0.549961	0.475869	1	1	47.59
Inspect2	12	1	622	0.799961	0.691078	1	1	69.11
Empaque	12	1	621	0.6	0.5175	1	0	51.75
banda1	12	999999	721	0.199723	0.2	1	1	1.10
banda2	12	999999	648	16.293091	14.6638	24	24	59.78

LOCATION STATISTICS BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location	Scheduled	%		
		% Empty	% Partially Occupied	% Full/Down
Name	Hours	Empty	Occupied	Full/Down
Homo	12	0.19	99.42	0.39 0.00
banda1	12	80.00	20.00	0.00 0.00
banda2	12	31.11	68.89	0.00 0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity)

Location	Scheduled	%	%	%	%	%	%
Name	Hours	Operation	Setup	Idle	Waiting	Blocked	Down
Prensa	12	60.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
Punteadora	12	59.94	0.00	40.06	0.00	0.00	0.00
Inspect1	12	69.30	0.00	30.70	0.00	0.00	0.00
Moreadora	12	47.59	0.00	52.41	0.00	0.00	0.00
Inspect2	12	69.11	0.00	30.89	0.00	0.00	0.00
Empaque	12	51.75	0.00	48.25	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

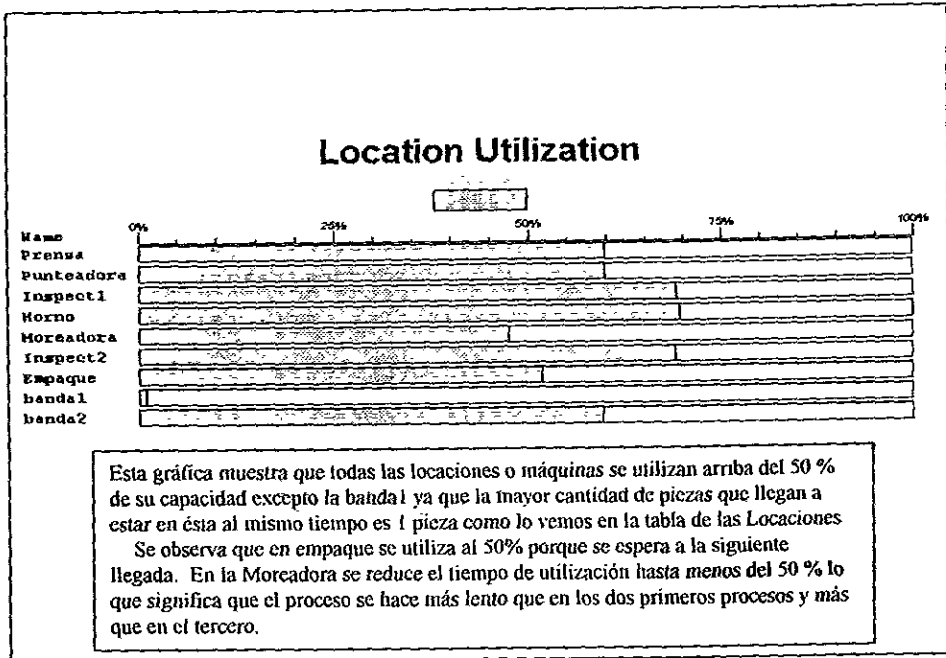
Entity Location	Total
Name Name	Failed
Gear banda1	0

ENTITY ACTIVITY

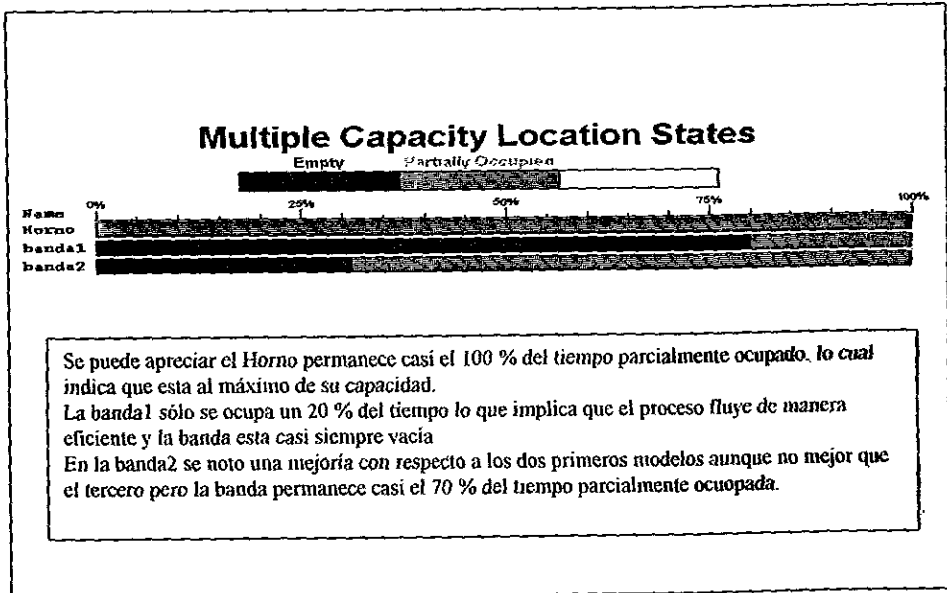
Entity Total	Current	Average	Average	Average	Average	Average	
Name Exits	Quantity	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes	Minutes	
	In System	In	In Move	Wait For	In	Blocked	
		System	Logic	Res, etc.	Operation		
Gear	621	100	94.191150	0.000000	72.517907	20.311045	1.362198

ENTITY STATES BY PERCENTAGE

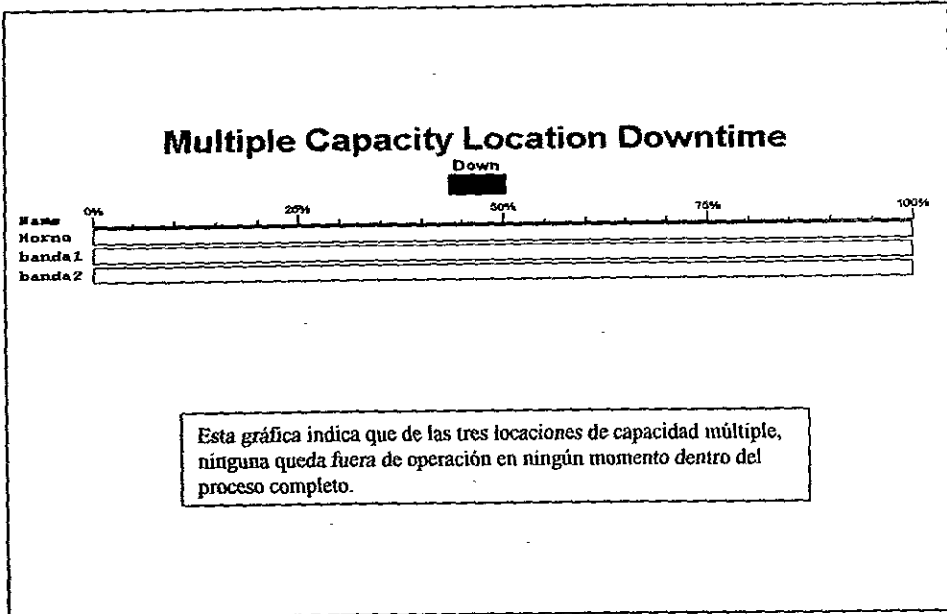
Entity	%	%	%	%
Name	In Move	Wait For	In Operation	Blocked
	Logic	Res, etc		
Gear	0.00	76.99	21.56	1.45



Gráfica 3.4.1



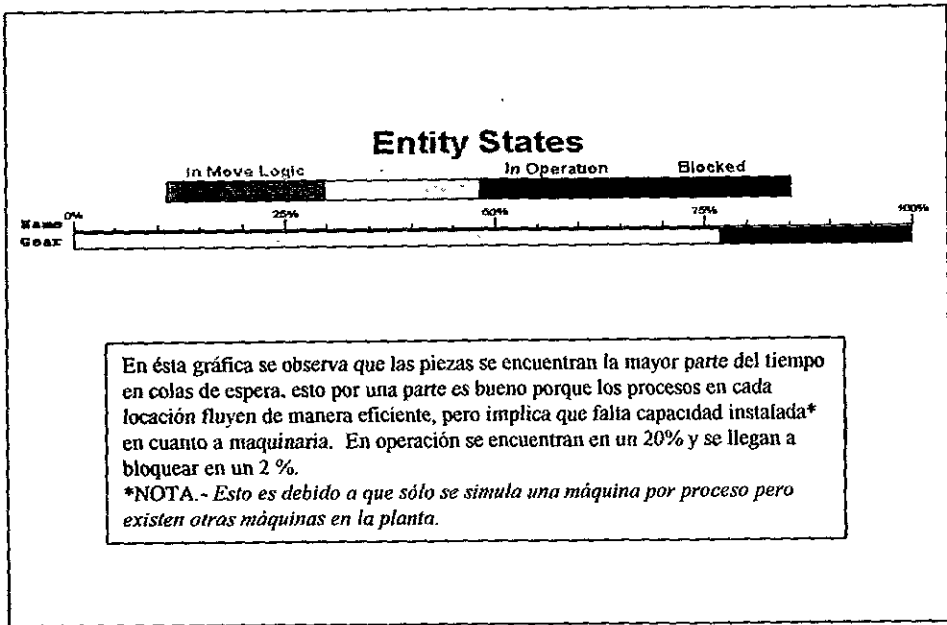
Gráfica 3.4.2



Gráfica 3.4.3



Gráfica 3.4.4



Gráfica 3.4.5

3.3 Análisis y selección del resultado óptimo.

Al haber ejecutado tres simulaciones de cada una de las cuatro rutas propuestas el promedio que resultó es la presentada en el inciso anterior. Sin embargo se pueden hacer diversas combinaciones de la posición de las máquinas, no así de los procesos ya que sólo un cambio puede hacerse porque el seguimiento debe ser de esta forma debido a que son funciones continuas y sucesivas y no se puede hornear antes de pensar por ejemplo.

Los resultados obtenidos se pueden analizar más claramente en la siguiente tabla comparativa la que indica que la tercera ruta es la mejor debido a que hace el proceso más estable y continuo. Se deja a los gerentes de producción en caso de decidir aplicar los cambios el hacer modificaciones sobre este mismo y analizarlo según su experiencia y conocimientos.

Los cuatro modelos han sido simulados para 12 horas de trabajo continuo.

<i>Concepto</i>	<i>Primero</i>	<i>Segundo</i>	<i>Tercero</i>	<i>Cuarto</i>	<i>Observaciones</i>
Piezas que entran	720	720	720	720	
Piezas que se empaacan	622	621	621	621	Se quedan 100 en el horno
Entradas en la banda 2	645	647	624*	648	
Cantidad máx en espera para la banda 2	21	24	1*	24	
Tiempo Horno vacío	.31%	.31%	.19%	.19%	
Tiempo Banda 2 vacía	31.46%	31.42%	76.29%	31.11%	
Tiempo Banda 1 vacía	80%	80%	80%	80%	Es ideal que esté vacía
Parcialmente ocupado el horno	99.31%	99.31%	99.22%	99.42%	
Parcialmente Ocupada la banda 2	68.54%	68.58%	23.71%*	68.89%	
Moreadora Bloqueada	21.39%	21.39%	0	0	
Prom. de tiempo de las piezas en sistema	94.15	94.19	94.19	94.19	
Prom. de tiempo en proceso por locación	18.46	20.25	4.82	20.31	
Prom. de bloqueo de maquinas	1.63	1.60	.79	1.36	
Piezas bloqueadas	1.73	1.70	.84	1.45	

En la tabla anterior, se registran los datos más importantes en donde se ve que el modelo más adecuado es el **tercer modelo**, ya que el cuello de botella que existe entre el horno y la moreadora se elimina, por lo que ésta ya no se bloquea, el tiempo de proceso disminuye considerablemente así como el bloqueo de piezas, entonces las máquinas quedan más desahogadas, en este caso se podrían programar nuevas ordenes ya que el tiempo de proceso es menor con esta nueva ruta.

Se puede hacer una comparación entre los cuatro modelos de utilización de locaciones y el estado de las escobillas. Si en algún momento los gerentes desean hacer otro tipo de comparaciones es cuestión de manipular datos y simular nuevos procesos.

Retomando entonces la ecuación propuesta en el capítulo 2 es muy notorio que los gastos indirectos se reducen en un 20 % aproximadamente, ya que el tiempo de producción de una orden de trabajo y lo que ésta conlleva se minimizan, así como el almacenaje de la materia prima por lo que los inventarios también se ajustan.

Estos cálculos los hace el departamento de contabilidad por lo que los datos obtenidos son los siguientes:

$$(a+b+c+d+e+i)/N = \text{Costo de producción}$$

Retomando los datos presentados en la página 39 del capítulo 2:

El costo de producción de las piezas 1 a 4 es actualmente:

$$500+345+100+700+198+296=2139/10000 = 0.2139$$

$$500+345+100+**420+150+178**=1693/10000 = 0.1693$$

el costo de la 5 a 8 es:

$$615+400+100+700+175+315 = 0.2305$$

$$615+400+100+**435+150+190** = 0.1890$$

el costo de la 9 y 10 es:

$$615+400+100+750+210+376 = 0.2451$$

$$615+400+100+**450+173+235** = 0.1973$$

Se puede observar de manera clara que los costos de mano de obra directa y los gastos indirectos son los que disminuyen, no así la materia prima porque su costo no se ve afectado por los cambios de rutas, es decir, ésta es totalmente independiente.

Conclusiones.

Durante el desarrollo del presente trabajo, se habló acerca del sistema de producción y los elementos que lo conforman. Por otro lado se observó que existen diferentes métodos de costeo que se pueden aplicar, según las características que el sistema presente.

La idea principal consistió en realizar simulaciones sobre diferentes modelos propuestos, partiendo del actual, con el fin de obtener una ruta crítica, es decir el camino más largo en el que cumpliendo con todas las fases del proceso como tal, se reducirá el tiempo de producción y por consecuencia los costos.

Se realizaron 4 simulaciones en "PROMODEL" y se concluye finalmente que con cambiar de lugar las máquinas de manera que la primera etapa por la que pasa la escobilla esté más cerca del almacén y así mismo las máquinas entre sí.

Se invierte el proceso de inspección y el de horneado o sinterizado sin afectar el ciclo de la pieza. Se crea una cola de espera entre la inspección y la *moreadora*, donde se elimina el cuello de botella que se tenía anteriormente.

Moviendo también el punto final cerca del almacén en donde se da por terminado el proceso.

A continuación se presenta un resumen con los datos relevantes obtenidos de la simulación del modelo #1 y el #3, ya que este último resultó ser el óptimo y el #1 es el modelo instalado actualmente en la planta con la diferencia de haber colocado las dos bandas de capacidad múltiple, en donde se acumulan las piezas para evitar el bloqueo de alguna de las locaciones.

Modelo 1 Modelo 3 Modelo 1 Modelo 3

Location Name	Average Minutes Per Entry	Average Minutes Per Entry	% Util	% Util
Prensa	0.600000	0.600000	60.00	60.00
Punteadora	0.599444	0.599444	59.94	59.94
Inspect1	0.799722	0.798720	79.86	69.33
Horno	71.213603	84.217524	71.02	84.10
Moreadora	0.795939	0.549961	68.98	47.59
Inspect2	0.798742	0.799961	69.11	69.11
Empaque	0.599061	0.600000	51.75	51.75
banda1	0.199723	0.199723	1.10	1.10
banda2	14.475967	0.273561	61.48	0.97

Se observa que en el **Horno** aumenta en promedio la cantidad de piezas por minuto de 71 a 84.

En la **banda 2** con el modelo 1 entran en promedio 14 piezas por minuto y en el modelo 3 llega a tener máximo 1 pieza la cual no permanece mas de 0.27 segundos. Esta operación es contraria al horno ya que lo ideal es que estas bandas se encuentren el mayor tiempo posible vacías.

En la utilización de las máquinas, las **inspecciones** debido a que son manuales el proceso es más lento pero en el modelo 3 se agiliza y el tiempo de uso de la locación baja de 79 % a 69 %. Este mismo efecto presenta la **Moreadora** de 68% a 47% y se puede ver que en el caso del **Horno** nuevamente es inverso y aumenta su utilización por lo que se aprovecha mejor su capacidad.

El caso de la **banda 2** es eminente que se elimina por completo el cuello de botella y por ello ésta permanece parcialmente vacía.

Modelo 1 Modelo 3 Modelo 1 Modelo 3 Modelo 1 Modelo 3

Location Name	% Empty	% Empty	% Partially Occupied	% Partially Occupied	% Full Down	% Full Down
Horno	0.31	0.19	99.31	99.22	0.39 0.00	0.58 0.00
banda1	80.00	80.00	20.00	20.00	0.00 0.00	0.00 0.00
banda2	31.46	76.29	68.54	23.71	0.00 0.00	0.00 0.00

Aquí se muestra como aumenta el tiempo en que la **banda 2** está vacía.

Con respecto al Horno se obtiene que en el modelo 3 se encuentra un 58% completamente lleno, a diferencia del modelo 1 con un 39%.

Modelo 1 Modelo 3 Mod 1 Mod 3 Modelo 1 Modelo 3

Location Name	% Operation	% Operation	% Idle	% Idle	% Blocked	% Down	% Blocked	% Down
Prensa	60.00	60.00	40.00	40.00	00.00	0.00	0.00	0.00
Punteadora	59.94	59.94	40.06	40.06	00.00	0.00	0.00	0.00
Inspect1	79.86	69.33	20.14	30.67	00.00	0.00	0.00	0.00
Moreadora	47.59	47.59	31.02	52.41	21.39	0.00	0.00	0.00
Inspect2	69.11	69.11	30.89	30.89	00.00	0.00	0.00	0.00
Empaque	51.75	51.75	48.25	48.25	00.00	0.00	0.00	0.00

El porcentaje de tiempo de operación en la **inspección**, se reduce ya que la actividad es más rápida debido a que se eliminan tiempos muertos en el proceso precedente. Por lo tanto el % de tiempo que se encuentra en movimiento o transferencia aumenta de un 20 % a un 30 %. Lo mismo sucede con la **moreadora** a pesar que el tiempo de operación no baja. Esta locación se desbloquea en el modelo 3 de 21 % a 0 %.

Con las comparaciones anteriores que en un momento dado son las más significativas, se llega finalmente a la conclusión que los resultados obtenidos en el **modelo 3**, minimizan el costo y el tiempo de producción empleado en las escobillas de carbón. Lo anterior implica la reducción de tiempos de entrega y satisfacción del cliente.

Además los recursos utilizados, la mano de obra directa y gastos indirectos se reducen considerablemente.

La distribución de planta descrita en el **modelo 3**, permite un mejor control de tiempos, distancias y de recursos humanos, ya que una persona puede operar más de una máquina a la vez sin tener que descuidar alguno de los procesos involucrados. Este proceso no está estadísticamente especificado ya que no se consideraron los tiempos y movimientos de los operadores.

Finalmente queda convencer a los gerentes de producción sobre esta distribución de planta e implantarla, donde apoyándose en este trabajo podrían ver que los resultados podrían ser positivos.

Conceptos y Definiciones.

Sistema.- Es un conjunto de elementos que forman o crean un procedimiento, que buscan cumplir objetivos comunes mediante la manipulación de datos, energía o materia, todo esto en un lapso de tiempo predeterminado para cumplir las metas establecidas.

Línea de Producción.- Es un subsistema del sistema que cumple con ciertas características que los hace diferentes entre sí. Es la ruta de fabricación que siguen los productos pertenecientes a ésta según sus características particulares.

GB.- Línea de producción donde se fabrican productos, que requieren de un proceso de producción, con características semejantes, según el número que se especifique.

GB I Y II.- Línea de producción I y II, o Cuerpos Especiales.

GB III.- Línea de producción III , o Escobilla Fraccionaria, para artículos como licuadoras, procesadores de alimentos, batidoras, rasuradoras, secadoras, así como taladros, rotomartillos, pulidoras, sierras, ventiladores, etc.

GB IV.- Línea de producción IV , o Escobilla Industrial y de Tracción, utilizadas en transportes públicos ya que manejan grados de carbón electrografitados.

GB V.- Línea de producción V, o Escobilla automotriz, utilizada en marchas, generadores, alternadores, etc.

Maquinado.- Proceso de rectificación en una máquina automática, de los 4 lados de la escobilla (ancho y espesor) y algunas veces el largo.

Grabado.- Dato, clave o alguna especificación del cliente, para identificar el producto, algunas veces el grabado es automático y otras manual con algún sello según las dimensiones de la escobilla.

Radio.- Un radio, es el punto de contacto entre el carbón y el colector o anillo (área con la que hace contacto directamente la escobilla). Los radios con ranuras ayudan a que la escobilla asiente mejor en el colector.

Codos.- Inclinaciones donde puede o no ir la soguilla.

Declives.- Inclinaciones en la cara superior o inferior de acuerdo al colector donde va a trabajar la escobilla (en el área automotriz, sirven para evitar el ruido).

Ruta Crítica.- Es la ruta más larga definida dentro de un proceso de producción, la cual minimiza los tiempos y costos de producción, maximizando las utilidades de cada producto.

Manufactura.- Actividad que involucra la guarda, custodia y conservación de los materiales en el almacén, la transformación de estos en productos terminados, mediante la incorporación del esfuerzo humano, del mecánico y de erogaciones relacionadas con la planta fabril y finalmente el almacenaje.

Control de Producción.- Es la toma de decisiones y acciones que son necesarias para dirigir un proceso con el objeto que siga el plan creado inicialmente.

Recursos.- Instalaciones, trabajo y materiales que son necesarios para efectuar la producción.

Restricciones.- Es la disponibilidad de los recursos, los tiempos de entrega en los productos y las políticas administrativas.

Escobilla de Carbón.- Es un conductor eléctrico, la cual normalmente se encuentra entre un cuerpo estático y un cuerpo en movimiento. Éstas son un elemento muy importante en la transmisión de corriente en máquinas eléctricas. Las características de sus componentes como el grafito y el carbono son, en cuanto a frotamiento, conductividad eléctrica y térmica, y en cuanto a su comportamiento, admite temperaturas elevadas.

Grado.- Al conjunto de características que debe de reunir cada mezcla para crear una escobilla, según la aplicación que vaya a tener.

Numero de Parte.- Es la codificación con la que se identifica la escobilla. También se codifican las materias primas y los materiales.

Simulación.- Es la operación de un modelo el cual es la representación de un sistema u organismo. El modelo puede ser manipulado de cualquier forma, si necesidad de hacerlo en la entidad real, ya que esto sería además de impráctico, caro.

Cuellos de botella.- Son aquellos lugares donde se encuentran los problemas dentro del proceso, y los que debemos arreglar primero.

Optimización.- Reducir al máximo los costos y los trabajos, para aumentar las ganancias en cualquier proceso.

Software de Simulación.

En el mercado existen actualmente infinidad de programas para hacer simulaciones, entre los que se encuentran:

- 20-sim
- ACSL
- Amber
- APROS
- Arena
- AUTO
- AutoMod
- Awesime
- BSIM
- C++SIM (simulaciones en C++)
- CAFTA
- CARMS
- CellSim
- cncI
- cocoa
- COMBUSEM
- CPL
- CPN
- CPSim
- CSIM
- CSMP
- DelphiSim
- DQDB
- DynRisk
- EUROSIM (federación de sociedades europeas de simulación)

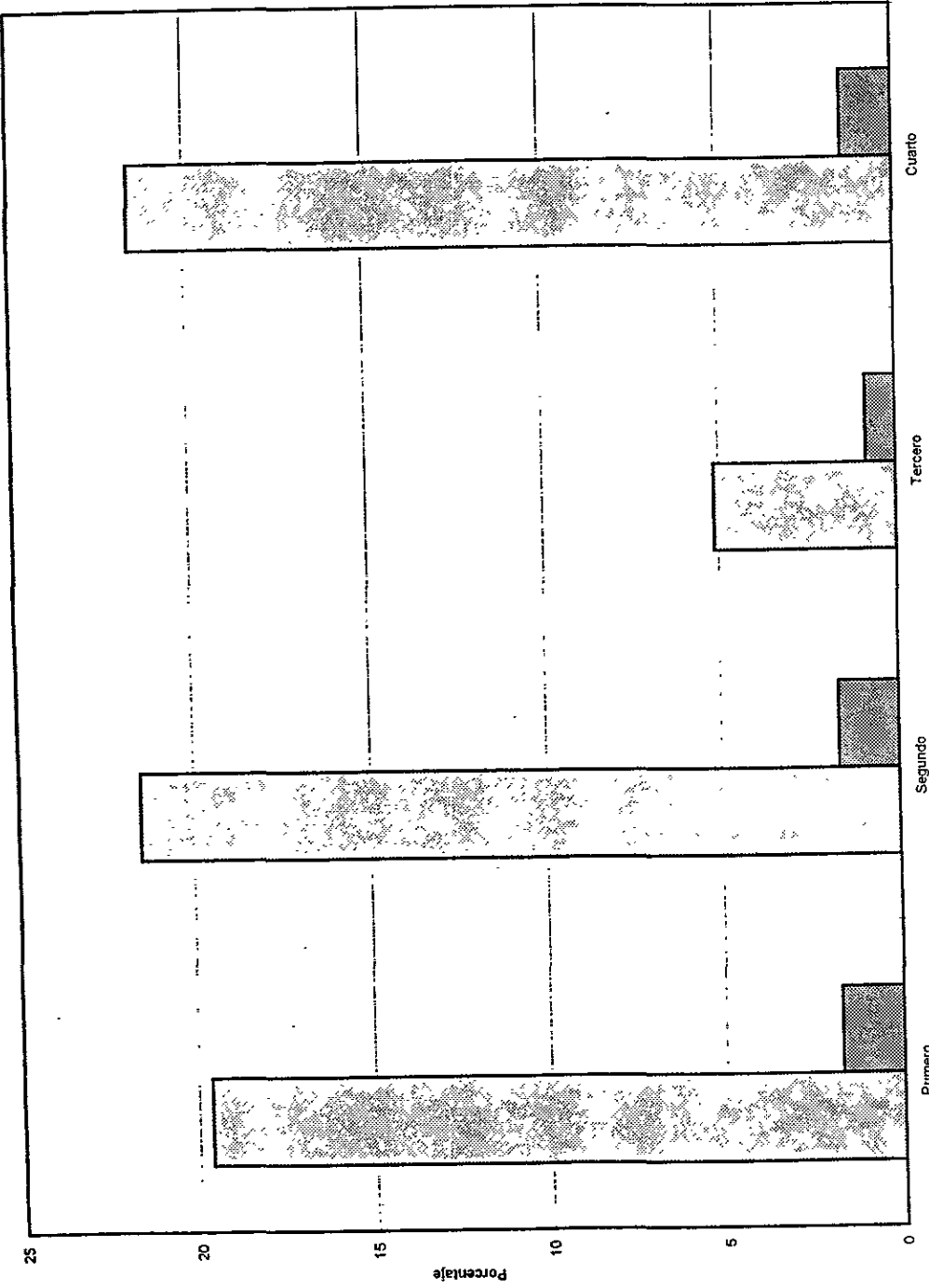
- Gepasi
- gnans
- GPSS
- GSPN
- HIRES
- hush-sim
- JavaSim
- Kameleon
- LM-OPT (propósito general estimación de parámetros no lineales)
- logos
- MATRIXx
- MCSim
- MedModel
- mist
- MJX
- ModelMaker
- MODSIM
- Mollier
- MOSYS
- Must
- NEST
- NETWORK
- OPNET-Modeler
- Optimal Networks Tool Kit
- ORC_sim
- PADE
- PARALLAXIS
- PDP++
- PEST (estimación de parámetros para cualquier modelo)
- POPULUS

- POSES++
- posese
- Powersim
- profiSEE
- ProModel
- Prophesy
- PSCSMP
- Ptolemy
- QASE
- QNAP2
- QSIM
- QUEST
- RAMAS (ecología)
- REAL
- ROSS
- SES-Woekbench
- SIGMA (gráficar proyectos con modelos inteligentes)
- Sim++
- SIMEX
- SIMIC
- SIMNET II
- SimPack
- SIMPLE++
- SIMPLEX II (software de introducción a la simulación)
- SimPlusPlus
- SIMSCRIPT
- SIMSCRIPTII.5
- SIMUL8
- SIMULA
- SINA

- SLAM
- SMPL
- SNNS
- spice
- Stella
- Stella II
- STROBOSCOPE
- Swarm (software de propósito general)
- SYSL
- Taylor-II
- TEMPEST (ecología)
- TIERRA
- TOOP
- TWOS
- uC++
- UltraSAN
- Vensim
- VHDL
- visim
- VSE
- VSS (Virtual System Simulator, simulador de sistemas virtuales)
- WARPED
- Witness
- YacSim

Estado de las escobillas

Operación
Bloqueadas



BIBLIOGRAFÍA

C.P. JAIME A. ACOSTA ALTAMIRANO

Contabilidad de costos II, III y IV
3º, 4º y 5º semestre

A. ORTEGA PÉREZ DE LEÓN

Contabilidad de costos
Biblioteca de altos estudios comerciales
Ed. Hispano-americana.

LEVIN, R. Y C. KIRKPATRICK.

Quantitative approaches to management,
3ª de. Nueva York
Mcgraw-hill book company

BIERMAN. H., C.P. BONINI Y W.H. HAUSMAN.

Quantitative analysis for for business decisions
4ª de. Homewood
Richard d. Irwin, inc.

LAPIN L

Quantitative methods for business decisions.
Nueva York
Harcout Brace Jovanovich.

L.P. ALFORD J.R. BANGS

Manual de la producción
Ed. Uteha 1953

VELAZQUEZ MASTRETA

Administración de los sistemas de producción
Ed. Limusa Noriega editores 1994 5ª edición

RICHARD J. HOPEMAN

Biblioteca de administración de la producción
Tomo i,ii y iii
De. Cecsca 1986 11^a edición

DAVID D. BEDWORTH - JAMES E. BAILEY

Sistemas integrados de control de producción
Administración , análisis y diseño.
Ed. Limusa 1^a edición 1988

MARICARMEN GONZALEZ VIDEGARAY

Modelos y simulación
"un enfoque computacional con aplicaciones actuariales y de optimización"
1^a edición 1993.

AVERILL M. LAW AND DAVID W. KELTON

Simulation modeling & analysis.
Mcgraw Hill, 1991
2^a. Edición.

ROBERT E. SHANNON

Systems simulation. The art and science
Prentice Hall 1975

BERNARD P. ZEIGLER

Theory of modelling and simulation
John wiley and sons, 1976.

TAHA

Investigación de operaciones 5^a de.
Alfaomega 1994

HILLER & LIBERMAN

Introducción a la investigación de Operaciones
McGRAW-HILL, 1997