

308923

43
2^{er}



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

APLICACION PRACTICA DE LA SIMULACION A UN SISTEMA DE INVENTARIOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: INGENIERIA INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

GERARDO SANCHEZ NAVA

Director: Ing. Rodolfo Bravo de la Parra

México, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- PANORAMA DE LA EMPRESA	
1.1 Fundación	6
1.2 Situación actual	8
CAPITULO II.- SITUACION PROBLEMÁTICA	
2.1 Línea de productos	14
2.2 Planta productora de pasta	15
2.3 Demanda de pasta	17
2.4 Planteamiento del problema	18
CAPITULO III.- ANALISIS DEL SISTEMA	
3.1 Capacidad de producción de la planta de pasta	21
3.2 Flujo de materiales	23
3.3 Análisis de la demanda	24
CAPITULO IV.- ANALISIS DE INVENTARIOS	
4.1 Existencia de inventarios	28
4.2 Costo de los inventarios	32
4.2.1 Costo del artículo	33
4.2.2 Costo de compra o adquisición	33
4.2.3 Costo por mantener los inventarios	34
4.2.4 Costo por no tener los elementos en inventarios	35
4.2.5 Costo de procesamiento de información	36
CAPITULO V.- PRONOSTICOS	
5.1 Definición de pronóstico	39
5.2 Interacción de los pronósticos	42
5.3 Enfoques de pronósticos	43
5.4 Elementos básicos de los pronósticos	43

	Página	
5.5	Balance costo precisión	46
5.6	Clasificaciones	47
5.7	Características del ejercicio del pronóstico	47
5.8	Realización de un pronóstico	48
5.9	Utilización del pronóstico	49
5.10	Selección del modelo	52
CAPITULO VI.- SIMULACION		
6.1	Definición de simulación	66
6.2	Clasificación de modelos	69
6.2.1	Modelos determinísticos	69
6.2.2	Modelos estocásticos	69
6.2.3	Modelos estáticos	70
6.2.4	Modelos dinámicos	70
6.3	Clasificación de variables	71
6.3.1	Variables exógenas	71
6.3.2	Variables de estado	71
6.3.3	Variables endógenas	72
6.4	Etapas para realizar un estudio de simulación	73
6.4.1	Definición del sistema o formulación del problema	74
6.4.2	Recolección y procesamiento de datos	76
6.4.3	Formulación del modelo	78
6.4.4	Evaluación del modelo	81
6.4.5	Implementación del modelo en la computadora	82
6.4.6	Validación	84
6.4.7	Experimentación	84
6.4.8	Interpretación	85
6.4.9	Documentación	85
6.5	Factores a considerar en el desarrollo de un modelo de simulación	85
6.5.1	Generación de variables aleatorias no uniformes	86
6.5.2	Lenguajes de programación	86
6.5.3	Condiciones iniciales	86
6.5.4	Tamaño de la muestra	87

	Página
6.6 Ventajas y desventajas del uso de la simulación	88
6.7 Ejemplos de usos de simulación	91
 CAPITULO VII.- DESARROLLO DEL MODELO	
7.1 Uso de la simulación	94
7.2 Elaboración del modelo	95
7.2.1 Definición del sistema o formulación del problema	95
7.2.2 Recolección y procesamiento de datos	95
7.2.3 Formulación del modelo	98
7.2.4 Evaluación del modelo	101
7.2.5 Implementación del modelo en la computadora	103
7.2.6 Validación del modelo	104
7.2.7 Experimentación	106
7.2.8 Interpretación	107
7.2.9 Documentación	110
7.3 Análisis de resultados	110
 CONCLUSIONES	 122
 ANEXOS	
Anexo 1	125
Anexo 2	128
Anexo 3	133

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION.

Por medio de las matemáticas se pueden pronosticar muchos fenómenos naturales, así como también el comportamiento de los mecanismos y estructuras hechos por el hombre. Empleando los convencionalismos de las matemáticas y asignando símbolos que representen las propiedades importantes de las cosas reales se pueden desarrollar expresiones matemáticas para hacer predicciones útiles acerca de lo que hay que esperar en condiciones determinadas.

Las matemáticas proporcionan un medio de representación muy potente, que sirve como un lenguaje conciso y de comprensión generalizada para la *comunicación*.

Una representación a escala se puede usar para predecir el comportamiento de su parte real. Cuando se trata de probar un modelo propuesto de avión se le somete a vientos de alta velocidad en un túnel de viento, con objeto de predecir como se comportará un avión de ese diseño en vuelo real. Al proceso de *experimentar* con una *representación* del objeto real se le llama *simulación*. Cuando se efectúan los experimentos en representaciones a escala, se dice que el proceso es una *simulación icónica*.

Hay otras formas de simulación en las que se efectúan los experimentos en representaciones que guardan una semejanza de comportamiento, aunque no física, con sus contrapartes de la vida real. A una de éstas se le llama *simulación analógica* y a otra *simulación digital*.

Un ejemplo de simulación analógica es el dispositivo electrónico que usan los ingenieros para diseñar un sistema de control de tránsito. En este dispositivo hay circuitos eléctricos especiales que representan las arterias de circulación de la ciudad, y se producen pulsaciones eléctricas que representan a los vehículos. Con ese simulador el ingeniero prueba diversos esquemas de control de tránsito. En este caso las pulsaciones eléctricas se comportan de forma análoga a los autos que se mueven por la ciudad, aún cuando las pulsaciones y los alambres no se parecen físicamente a los coches y a las calles.

La simulación digital es experimentación que se efectúa por medio de representación digital, y es un "proceso de realización" en función de números. Es sencilla y, sin embargo, notablemente poderosa. Como consiste en una serie de operaciones numéricas que se efectúan paso a paso, se pueden efectuar en una computadora, lo que es un hecho afortunado. Su ejecución mediante lápiz y papel es laboriosa, muy tardada y con alto riesgo de error. En realidad, la simulación digital sería prohibitivamente costosa en muchas aplicaciones potenciales si no se dispusiera de las computadoras para efectuar estas manipulaciones numéricas de alto grado de repetición. La simulación por computadora se ha vuelto muy popular en la ingeniería, como se muestra en las siguientes aplicaciones: simulación del comportamiento de partículas atómicas, de los vuelos espaciales, de los movimientos de los aviones en los aeropuertos, de los sistemas de líneas de espera, de todo tipo de fenómenos de tránsito y de los conflictos mundiales.

La simulación participativa es donde es posible hacer intervenir a los seres humanos directamente en una simulación. En muchas simulaciones intervienen directamente personas como tomadores de decisiones.

El poder experimentar en representaciones icónicas, analógicas o digitales nos permiten hacer predicciones acerca de las contrapartes del mundo real. Este proceso, el de simulación, representa un medio de sintetizar la experiencia, trabajando con una representación durante un período dado, para aprender cómo se comportará el objeto real. A menudo, ese procedimiento sobrepasa, en ventajas, al de experimentar con el objeto real en varios aspectos: cuesta menos, toma menos tiempo, permite a los Ingenieros ejercitar un mejor control de sus experimentos y es menos peligroso (sobre todo cuando en el sistema a simular interviene de manera activa el ser humano).

Mediante la manipulación de los modelos matemáticos y de los de simulación es posible evaluar soluciones en menos tiempo, a menor costo y con menor riesgo que los que requiere ordinariamente la experimentación con los objetos reales y, sin embargo, con mayor exactitud que los que puede lograr de ordinario cuando sólo se aplica el juicio puro.

La simulación digital por computadora puede desempeñar en el futuro un papel más importante en las ciencias biológicas y sociales que el que desempeña hasta ahora en las ciencias físicas y en la Ingeniería. La casualidad es un factor de gran significado en el comportamiento de las cosas vivientes y de los elementos de cualquier sistema. Este tipo de simulación digital nos permitiría contestar satisfactoriamente una multitud de preguntas del tipo "¿qué pasaría si...?", en un lapso pequeño de tiempo y con un margen de error bajo. Esta útil

herramienta viene a reemplazar la *intuición* que usan las personas que toman decisiones.

La mayor esperanza de lograr mejores pronósticos radica en los modelos, particularmente en los no tradicionales, como la simulación por computadora.

Existen discrepancias pequeñas entre los modelos y su contraparte con la vida real que son inevitables y se encuentran en todo modelo. No tiene mucha importancia el hecho de que algunas suposiciones que se hagan para un modelo no concuerden exactamente con la realidad. En la elaboración de modelos para pronósticos lo que importa es si el resultado final es satisfactorio para el objetivo particular que se intenta lograr.

Las suposiciones que sirven para simplificar un modelo se hacen por una buena razón. Si no se excluyen del modelo algunos de los factores que lo complican, prácticamente resultaría imposible desarrollar un pronosticador utilizable. Además, muchas de las discrepancias entre el modelo y la realidad son de consecuencias mínimas en la práctica; su incorporación harían que el modelo fuera más complicado y costoso, y, además, contribuiría poco a mejorar la exactitud del modelo.

En la presente tesis se hace uso de la simulación digital por computadora. Con el desarrollo de un modelo computacional se pretende adquirir una experiencia acelerada acerca de un proceso de manufactura determinado. Para este estudio en particular, se entiende como *modelo* todo lo que se emplea para describir la estructura o comportamiento de una contraparte en la vida real.

Los objetivos específicos que se persiguen son:

- **Determinar la capacidad de almacenamiento en tanques para tres materiales.**
- **Determinar la localización óptima de dichos tanques.**
- **Determinar el tamaño de cada tanque dependiendo del material.**
- **Detectar qué variables tienen mayor impacto sobre el sistema.**

Gracias a la experiencia acelerada que esta herramienta ofrece, se pueden tomar decisiones de mayor calidad y más confiables. Las aplicaciones que tiene la técnica de simulación son cada vez mayores y la industria en México apenas está entendiendo los verdaderos beneficios que esta herramienta ofrece.

CAPITULO I

PANORAMA DE LA EMPRESA

1.1 FUNDACION

El desarrollo de Gesamex forma parte de una historia que se inició en México, D.F. Fue el 8 de marzo de 1957 cuando los señores Gonzalo Estrada y Sergio Alcántara combinaron sus esfuerzos e iniciaron la producción de productos químicos, formalizando sus operaciones el 18 de Julio de ese mismo año.

Tratando siempre de satisfacer de la mejor manera las necesidades de los consumidores, el negocio fue creciendo rápidamente y sus productos diversificándose. Hoy en día cuentan con más de 2,000 colaboradores y manejan 6 categorías de productos, de los cuales algunos son líderes del mercado.

Gesamex es una empresa donde las cosas se hacen bien desde la primera vez. Sus valores corporativos están orientados hacia la integridad, el respeto al individuo, hacer siempre lo que es correcto para el largo plazo y ser los mejores en lo que hacen.

La declaración de objetivos de Gesamex es la siguiente:

" Proporcionar productos de calidad y valor que mejor satisfagan las necesidades del consumidor. Lograremos este propósito a través de una organización y un ambiente de trabajo que atraiga a los mejores colaboradores; que estimule nuestra libre colaboración inspirada a llevar hacia adelante nuestro negocio y de siempre hacer lo que es correcto. Al cumplir exitosamente con nuestro compromiso, esperamos que nuestros productos logren posiciones de liderazgo en el mercado y en utilidades, y que, como resultado, prospere nuestro negocio, nuestra gente y las comunidades en que vivimos y trabajamos. "

Los productos que Gesamex produce son bien aceptados por los consumidores y son considerados de alta calidad; son de uso doméstico, pero no tienen venta directa. Su política de ventas es a través de grandes mayoristas (principalmente tiendas de autoservicio), los cuales hacen llegar el producto a los consumidores finales. El alcance de los productos de Gesamex es a nivel nacional.

Actualmente, Gesamex es una empresa consolidada; ocupa un lugar importante en el sector de productos químicos especializados a nivel nacional. Su crecimiento ha sido firme y constante, lo que le ha permitido incursionar en nuevos proyectos exitosamente. Ha logrado alcanzar economías de escala, teniendo como resultado lógico grandes ventajas competitivas: bajos costos de operación, estandarización y automatización de procesos, poder de negociación con clientes y proveedores, influencia directa en el mercado.

1.2 SITUACION ACTUAL

Los accionistas mayoritarios de Gesamex son gente dinámica y emprendedora. Estudian constantemente las variables internas y externas que influyen y afectan directamente a su empresa y a sus productos. Analizan las fuerzas y debilidades que tienen sus productos así como las oportunidades y riesgos que el mercado les presenta. Bajo esta política, la dirección que ha seguido la empresa es la de modernizar sus instalaciones, reducir sus costos y mejorar sus productos y el servicio a clientes. La empresa sabe que sus productos cuentan con la calidad que los consumidores requieren y que son comparables con los productos de compañías extranjeras. Sin embargo, la única ventaja que Gesamex tiene actualmente sobre sus competidores extranjeros es que las barreras arancelarias encarecen los productos importados y los saca del mercado.

Con la inminente firma del Tratado Trilateral de Libre Comercio entre Canadá, Estados Unidos y México, que tiene como finalidad una apertura comercial sin barreras arancelarias, Gesamex tendrá que competir con los nuevos productos que ingresen al mercado. Debido a la cultura laboral, a la tecnología de punta y a los recursos financieros que Canadá y Estados Unidos tienen en su sector industrial, Gesamex considera que los productos que vengan a competir con los suyos tendrán la calidad necesaria y un precio competitivo. Los directores de Gesamex quieren prepararse para poder afrontar esta amenaza latente y reducir el riesgo de perder parte de su mercado. Han analizado la situación actual de la empresa y tras un estudio de factibilidad financiero deciden lanzar como estrategia de defensa una integración vertical hacia atrás.

Esta integración vertical consiste en producir una de las materias primas que usan sus productos para reducir el costo de fabricación y así poder enfrentarse exitosamente a una posible guerra de precios.

Muchas decisiones de integración vertical están enmarcadas en términos de la decisión de "*fabricar o comprar*", es decir, están centradas en la estimación del ahorro en costos por concepto de la integración y su equilibrio con la inversión requerida. Sin embargo, la decisión debe de ir más allá de un análisis de costos y de las necesidades en cuanto a la inversión para considerar los aspectos estratégicos más amplios de la integración, frente a las operaciones de mercado, así como algunos problemas confusos al administrar una entidad verticalmente integrada, que pueden afectar el éxito de la empresa. Es la magnitud y la importancia estratégica de los beneficios y costos de la integración vertical, lo que forman la esencia de la decisión, tanto en términos económicos directos como indirectos por medio de su efecto sobre la organización.

Los beneficios de la integración vertical dependen en primer término, del volumen de productos que la empresa compra o vende a la etapa subsecuente, en función al tamaño de las instalaciones para alcanzar una producción eficiente en esa etapa. El volumen de compras de pasta de Gesamex es lo suficientemente grande para soportar una unidad interna proveedora de pasta capaz de alcanzar las economías de escala al producir el insumo. Con el diseño de capacidad de la planta productora de pasta se cumple con las necesidades actuales de los productos de Gesamex y existe la posibilidad de incrementar la capacidad productiva para necesidades futuras.

Con este diseño se tendrá un suministro confiable de pasta y se evitará tener capacidad ociosa o producto excedente que se tenga que vender a otras compañías o a la competencia.

Los beneficios y aspectos importantes que Gesamex ha encontrado con esta nueva estrategia son:

Economías del producto: El costo del material necesario para producir la pasta, los costos operativos de la planta, los costos de transportación y los costos de mano de obra y personal administrativo son menores que el costo de la pasta en el mercado. A Gesamex le resulta más barato producir que comprar.

Economías de control interno y coordinación: Los costos de programar, coordinar y responder a emergencias son menores; se facilita la coordinación y el control; es probable que se tenga más confianza a un ejecutivo de Gesamex ya que tiene en mente las necesidades de la empresa; el aprovisionamiento de pasta es fluida y uniforme, teniendo mejor control sobre los programas de producción, de entrega y de las operaciones de mantenimiento; los cambios de estilo, el rediseño del producto o la introducción de nuevos productos puede ser más fácil de coordinar internamente, o la coordinación puede hacerse con mayor rapidez. Tales economías de control pueden reducir el tiempo ocioso, el nivel de inventario y la necesidad de personal en la función de control.

Economías de información: Gesamex considera que se reducirán las necesidades de obtener algún tipo de información respecto al mercado y con

esto reducir el costo total de obtener información, costos que no siempre son fáciles de detectar, pero sin embargo existen.

Economías por concepto de relaciones estables: Gesamex pretende crear procedimientos más eficientes y especializados en sus tratos mutuos, lo que no sería factible con un proveedor independiente -- donde el vendedor como el comprador en la transacción se enfrentan al riesgo competitivo de ser abandonados o exprimidos por la parte contraria --. Los procedimientos especializados pueden incluir sistemas logísticos especializados, arreglos exclusivos para el mantenimiento y control de registros, y otras formas de interactuar que potencialmente ahorren costos. También es posible que la planta de Gesamex conforme su producto (en calidad, cantidad, especificaciones, etc.) a los requerimientos exactos. La integración vertical asegura a Gesamex el suministro de pasta en períodos críticos.

Aumento de la rentabilidad general: Gesamex considera que su rendimiento general sobre la inversión se aumentará con el hecho de integrarse verticalmente. La producción de pasta tiene una estructura que ofrece un rendimiento sobre la inversión mayor que el costo de oportunidad del capital para la empresa.

Defensa contra la exclusión: Viendo a futuro, Gesamex piensa en la posible integración de las compañías con las cuales compete. Si esto sucediera, se pueden limitar muchas de las fuentes de insumo representando un fuerte problema a las empresas no integradas, ya que tendrían que rebuscar nuevos

proveedores y correr el riesgo de que sean inferiores a los capturados por las empresas integradas.

Incremento del apalancamiento operativo: Al integrarse verticalmente, Gesamex está aumentando la proporción de los costos fijos. El comprar la pasta representa un costo variable para Gesamex; sin embargo, con la integración vertical, el costo de producción de la pasta representará un costo fijo, haciendo aumentar los costos fijos totales de Gesamex.

Riesgo de encarecer: Existen aspectos que pueden hacer que producir un producto sea más caro que comprarlo. Gesamex está consciente de esto y pondrá especial cuidado en las situaciones que más frecuentemente ocasionan este fenómeno: cambios tecnológicos, cambios de diseño del producto, entrenamiento del personal, manejo de nuevos materiales, etc. El grado de este riesgo depende de una evaluación realista de la probabilidad de que el proveedor interno (planta productora de pasta) tenga dificultades y de la probabilidad de cambios externos o internos que requerirán una adaptación a los procesos productivos.

Requisitos de la inversión de capital: El hecho de instalar una nueva planta consumirá parte de los recursos de capital de Gesamex y tiene un costo de oportunidad. Cuando se compra la pasta se requiere de capital de terceros. Esta integración arroja rendimientos mayores que el costo de oportunidad del capital de Gesamex. El inconveniente puede ser que este capital podría drenar el capital necesitado en otra parte de la compañía; actualmente no se tiene una necesidad de capital fuerte en otra área de Gesamex.

Exclusión del acceso a la investigación: Con el hecho de dejar de comprar pasta, Gesamex pierde una fuente de investigación -- proveedores --. Sin embargo, la empresa decide aceptar la responsabilidad de crear su propia capacidad tecnológica, en lugar de ir sobre los hombros de otros.

CAPITULO II

SITUACION PROBLEMATICA

2.1 LINEA DE PRODUCTOS

La empresa Gesamex, situada en la Ciudad de México (zona metropolitana) fabrica seis tipos de productos:

- 1.- Astro**
- 2.- Super**
- 3.- Rayo**
- 4.- Bóldo**
- 5.- Ultra**
- 6.- Ultra X**

Estos productos son de consumo doméstico y tienen gran demanda. Para elaborar estos productos se requieren de diferentes materias primas, las cuales se compran a distintos proveedores (locales o extranjeros). Todos estos productos utilizan como materia prima principal una pasta, la cual es comprada actualmente a una empresa local. Estos productos, principalmente Astro, están perfectamente posicionados en el mercado. Tienen una muy buena imagen en los consumidores finales y se comportan de una manera estable dentro del

mercado. Las estrategias de mercadotecnia se enfocan a destacar el desempeño y el valor que sus productos ofrecen. Sus campañas publicitarias se centran principalmente en anuncios de televisión, algunos anuncios de radio y realmente pocos espectaculares.

2.2 PLANTA PRODUCTORA DE PASTA

Debido a la gran cantidad de pasta demandada por los seis productos, Gesamex ha decidido como estrategia de defensa ante la inminente entrada de productos del extranjero al mercado nacional, fabricar su propia pasta para consumo interno. La iniciativa es instalar una planta nueva que produzca esta pasta, buscando que:

- * Los costos de producir sean menores que los de comprar.
- * La calidad sea controlada por Gesamex.
- * Se cumpla el abastecimiento de la pasta requerida.
- * Se coordine internamente el suministro de pasta (mayor confiabilidad).

Una de las principales restricciones para producir la pasta es que no hay espacio para colocar el equipo necesario para la producción de pasta. Este problema se resolvió con la compra de un terreno destinado para la planta de pasta ubicado a 250 km. de la planta de producto terminado.

La producción de pasta comenzará a principios de 1993. El equipo para la producción de pasta llegará a su sitio a principios de 1992; el proceso de instalación, prueba y puesta a punto durará aproximadamente 10 meses para así tener el arranque de la planta para principios de 1993.

El diseño de esta planta tiene una capacidad nominal de 18 toneladas de pasta por hora. Tiene la opción de disminuir la producción hasta un 50% de la capacidad nominal sin necesidad de parar la producción (parar la producción tiene un costo elevado).

Para la fabricación de la pasta se requieren, a su vez, de 2 materiales: GOMA y SILICÓN, los cuales se usan en las siguientes cantidades, como se muestra en la figura 1:

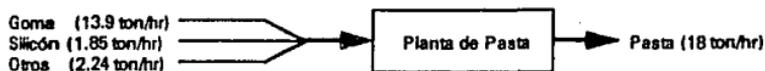


Figura 1

No se considera el uso de "otros" componentes debido a que el principal de ellos es aire, el cual será obtenido del ambiente por medio de equipo especial.

El proveedor de la goma y del silicón es PECTRA, y es el único proveedor local que entrega los materiales de acuerdo a las necesidades. Sus precios son bajos respecto a los precios de material de Importación. La confiabilidad de entrega para la goma es de 70%, mientras que para el silicón es de 80%. Estos materiales serán llevados a la planta de pasta por medio de camiones especializados, que tienen una capacidad de 35 toneladas. Debido a las cantidades de goma requeridas, si el proveedor local no pudiese satisfacer la demanda en algún momento, se tendría que hacer una importación de emergencia para no parar la planta de pasta. Para las importaciones de goma, la confiabilidad de entrega es de 98%.

2.3 DEMANDA DE PASTA

La demanda de la pasta es variable, ya que cada producto utiliza diferente cantidad de pasta, como se muestra en la tabla 1:

<u>Producto</u>	<u>Uso (Kg/UPT*)</u>
Astro	2.3724
Super	3.6898
Rayo	3.1657
Bólido	2.3724
Ultra	2.2727
Ultra X	1.0838

* UPT: Unidad de Producto Terminado

Tabla 1

Por otro lado, la producción de estos productos no es uniforme, es decir, se puede producir mas.de un(os) producto(s) que de otro(s). Si se produce más de Super (es el que más pasta requiere) la demanda de pasta para ese período será mayor; por el otro lado, si se produce mas de Ultra X, la demanda de pasta para ese período será menor. También es importante considerar que la planta tiene una capacidad productiva diferente para cada producto, es decir, tienen distintas velocidades de operación dependiendo del producto en cuestión, lo cual ocasiona una variación en la demanda de pasta. La producción de un producto depende de la demanda del mercado. Otra variable que hace que fluctúe la demanda de pasta es que el nivel de producción de producto terminado no es constante, ya que se presentan picos de producción.

Esta variabilidad en la demanda de pasta, el aprovisionamiento de materia prima (goma y silicón) poco confiable y la distancia entre las dos plantas (250 km) hacen pensar en la existencia de inventarios, tanto de materia prima como de pasta.

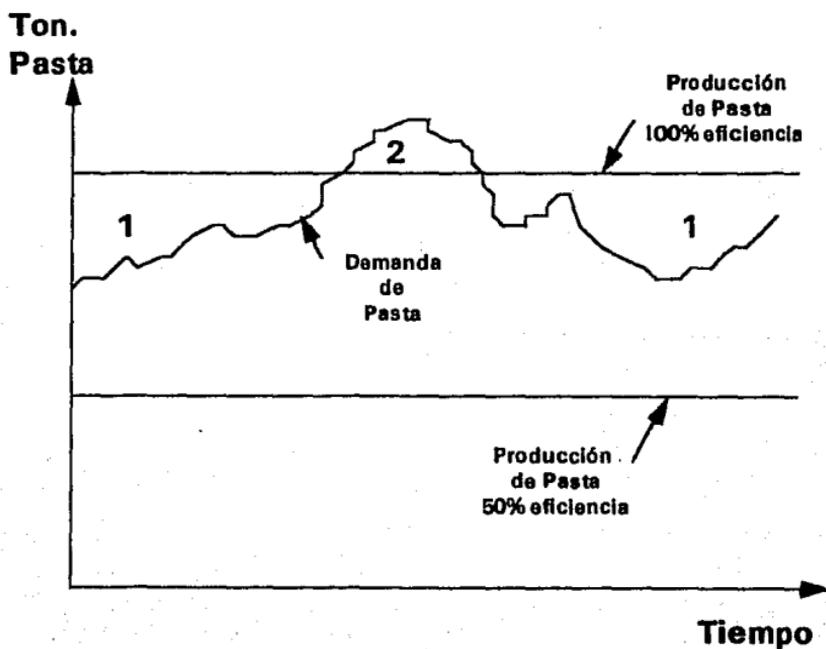
2.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que aquí se plantea es determinar qué capacidad se requiere para inventariar la goma y el silicón (número y tamaño de tanques de almacenamiento), y la capacidad requerida para inventariar la pasta (número y tamaño de tanques) así como la localización de las mismas (en cual de las dos plantas instalarlos), ya que se pudieran utilizar dos de los cinco tanques de pasta actuales (los otros tres están muy deteriorados).

El principal objetivo, en este caso, de tener inventarios es asegurar que ninguna de las dos plantas pare, ya que la planta principal puede parar por falta de pasta, mientras que la planta de pasta puede parar por falta de materia prima o parar por no tener donde almacenar la pasta que sale de producción. Se sabe que el costo por parar cualquiera de las dos plantas es muy elevado, ya que se pierde producción y se incurre en costos de arranque. La solución más fácil sería levantar una capacidad de almacenamiento excesiva y así se asegura que ninguna de las dos plantas pare, pero se tiene que minimizar el número de tanques de almacenamiento ya que la construcción de cada uno de éstos es aproximadamente de \$ 500,000 USD, más el costo de inventariar, lo cual va en contra del objetivo inicial que es el de reducir los costos de producción.

La planta de pasta está diseñada para satisfacer la demanda de la planta Gesamex de manera global, pero existen picos de producción temporales en la elaboración de productos que rebasan la capacidad de producción de pasta, por lo cual se requiere tener un inventario de seguridad de pasta para poder cumplir con la demanda y así no parar la planta.

La Gráfica 1 muestra la forma en que la planta Gesamex demanda pasta y la capacidad de producción de la planta nueva:



Gráfica 1

Existen ciertos períodos en donde la capacidad de la planta de pasta es mayor que su demanda, y que se ilustra en la figura 2 con las zonas con el número 1; sin embargo, también existen períodos en donde la demanda de pasta es mayor que la capacidad productiva, zona con el número 2. Para estas ocasiones se requiere de cierto nivel de inventario de pasta para poder cubrir los faltantes. Se pudiera pensar que una solución fácil sería aumentar la capacidad de la planta de pasta y tener en cualquier período una capacidad productiva holgada, es decir, que la capacidad de producción al 100% de eficiencia esté siempre por encima de los picos más altos de producción. Pero esta posible solución tiene dos grandes inconvenientes que no la hacen factible:

- 1.- Se necesitaría una inversión extra de \$ 12 millones de dólares, la cual haría que la inversión inicial se disparara y no sería rentable este negocio.
- 2.- Se tendría una capacidad demasiado holgada lo cual disminuiría la productividad total de la planta.

La manera en que se resolverá este problema es aplicando y aprovechando las ventajas que brinda un modelo de simulación. Se construirá un modelo que simule el movimiento de inventarios, donde se tienen las siguientes variables:

- Confiabilidad de entrega de la goma.
- Confiabilidad de entrega del silicón.
- Demanda de pasta: picos de producción, marcas que se producen.
- Fallas mecánicas en ambas plantas.
- Mantenimientos.
- Días festivos.

CAPITULO III

ANALISIS DEL SISTEMA

3.1 CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LA PLANTA DE PASTA

La planta de pasta que Gesamex decide instalar deberá satisfacer las demandas actuales y futuras de sus productos colocados en el mercado. Para el año de 1993, se tiene proyectado producir el total de la producción anual, como se muestra en la tabla 2:

<u>Producto</u>	<u>% a producir</u>	<u>Uso (kg. pasta/UPT)</u>
Astro	63.91	2.3724
Super	10.56	3.6898
Rayo	3.20	3.1657
Bóldo	4.33	2.3724
Ultra	14.55	2.2727
Ultra X	3.45	1.0838

Tabla 2

La columna "% a producir" se obtuvo en base a pronósticos, los cuales se detallarán en el capítulo V. La base de producción para 1993 son 47.134 millones de Unidades de Producto Terminado (UPT). Con este dato y la tabla 2,

se obtiene la tabla 3:

<u>Producto</u>	<u>UPT a producir</u>	<u>Total de pasta requerida</u>
	(miles)	(ton)
Astro	30,123	71,464
Super	4,977	18,364
Rayo	1,508	4,774
Bólido	2,041	4,842
Ultra	6,858	15,586
Ultra X	1,627	1,763
	<hr/>	<hr/>
	47,134	116,793

Tabla 3

Los valores de la columna "UPT a producir", se obtuvieron de multiplicar la columna "% a producir" por 47.134 millones; el "total de pasta requerida" se obtiene de multiplicar la columna "UPT a producir" por la columna "Uso (kg pasta/UPT)".

Si se considera que el diseño nominal de la planta de pasta es de 18 toneladas de pasta/hr, que se trabajará las 24 horas del día (se trabajarán tres turnos por día, formándose cuadrillas que se rolarán dichos turnos cada semana), que serán 340 días de operación al año (considerando días festivos y mantenimientos programados) y si consideramos una eficiencia de la planta de 90%, tenemos que la capacidad de pasta anual es:

$(18 \text{ ton pasta/hr}) \cdot (24 \text{ hr/día}) \cdot (340 \text{ día/año}) \cdot (0.9 \text{ eficiencia}) = 132,192 \text{ ton de pasta/año}$

Comparando este número contra el total de pasta requerida, se ve que la capacidad diseñada para esta planta cumple de manera global para satisfacer la demanda; sin embargo, es preciso analizar esta capacidad de manera puntual, es decir, verificar la capacidad de la planta contra la demanda de pasta día con día. Este análisis se realizará por medio de un modelo de simulación, el cual se verá posteriormente. El fabricante de la planta de pasta (compañía extranjera localizada en Estados Unidos) garantiza una eficiencia mínima de 90 %, ya que el proceso de fabricación de pasta es un proceso continuo. Así mismo, esta compañía ya ha fabricado e instalado este tipo de plantas en varias partes del mundo y en ninguna ha tenido problemas de conseguir una eficiencia mínima de 90%.

3.2 FLUJO DE MATERIALES

El esquema del flujo de materiales se ve en la figura 2:

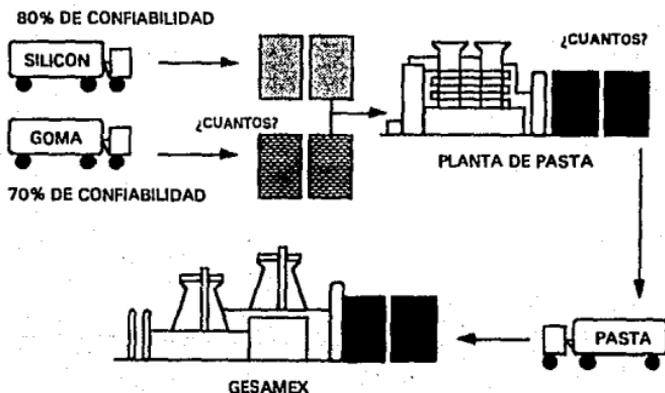


Figura 2

Como se puede observar en la figura 3, la planta de pasta recibe como principales materias primas Goma y Silicón. Los requerimientos de estos materiales dependerán directamente de la producción de pasta, la cual depende a su vez de la producción de los productos terminados de Gesamex (Astro, Super, Rayo, Bóldo, Ultra y Ultra X).

3.3 ANALISIS DE DEMANDA

En 1965, J.A. Orlicky presentó una muy útil distinción entre dos tipos de demanda de artículos en un medio de fabricación. Utilizó la palabra "independiente para describir toda la demanda de productos terminados o componentes no relacionados con la demanda de productos terminados o componentes no relacionados con la demanda de otros artículos en el inventario de una compañía"⁽¹⁾. Característicos de éste son los pedidos de los clientes por artículos terminados, intermedios o partes de servicio. Utilizó la palabra "dependiente para describir toda la demanda de artículos determinados en forma directa por programas para producir artículos relacionados (lista secuencial de materiales) u otros asociados."⁽²⁾ Típicos de éstos son materias primas, partes o ingredientes fabricados o comprados y subensambles, aditamentos o accesorios fabricados.

Orlicky propuso esto como regla para determinar la selección de la técnica de pedido que se ha de aplicar. "La demanda independiente debe ser pronosticada. La demanda dependiente puede ser calculada y la planeación de requerimiento

(1) cfr Plowal, George W., Control de la Producción y de Inventarios, México, Prentice-Hall, 1987, (2a ed.), pp. 144-145.

(2) *Ibidem*

de materiales es la técnica adecuada."⁽³⁾

Para el caso que se está analizando, se sabe que la pasta tiene una demanda dependiente en función de la producción de Astro, Super, Rayo, Bólido, Ultra y Ultra X, los cuales a su vez tienen una demanda independiente ya que se venden en el mercado libre. A su vez, la pasta genera una demanda dependiente de Goma y de Silicón ya que se utilizan en función directa de la producción de pasta. La figura 3 permite tener una mejor visualización de los tipos de demanda existentes en el sistema.

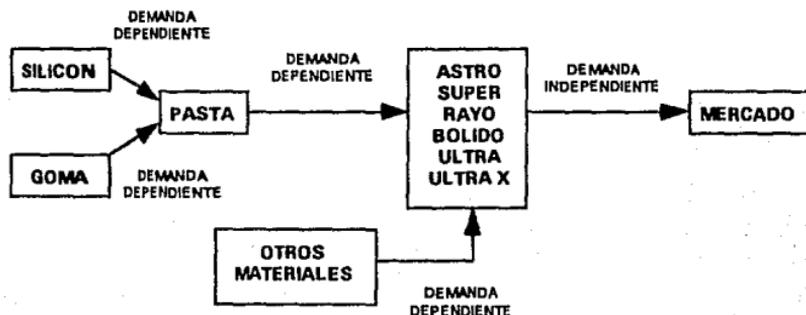


Figura 3

La relación de uso de pasta por UPT dependerá del producto en cuestión y ya ha sido analizado. La relación de uso de goma y de silicón por tonelada de pasta que se produce es:

⁽³⁾ *Ibidem*

Una tonelada de pasta requiere: { 772.2 kg. de goma
103.2 kg. de silicón
124.6 kg. de otros materiales (aire).

Un aspecto importante a considerar es la comunicación fluida y la perfecta coordinación entre ambas plantas, ya que la planta de pasta deberá saber exactamente cual será el plan de producción de la planta de producto terminado para planear en función de esto su producción y poder cumplir con la cuota demandada; esto le ayudará también para hacer los pedidos correspondiente (en tiempo y cantidad) de goma y de silicón para asegurar su abastecimiento adecuado de materias primas.

Esta coordinación interplantas permitirá contestar preguntas como:

- ¿ Cuándo y cuánto se quiere fabricar de este producto específico ?
- ¿ Qué componentes (Ingredientes) se requieren ?
- ¿Cuál es el nivel de inventarios actual ?
- ¿ Cuántos se han pedido además y cuándo llegarán ?
- ¿ Cuándo se necesitan más y cuánto ?
- ¿ Cuándo deben éstos pedirse ?

Contestando estas preguntas se puede controlar el sistema de abastecimiento de materiales y disminuir en gran medida el riesgo de parar alguna de las dos plantas por falta de materia prima.

En este momento, se puede empezar a vislumbrar la necesidad de inventariar cierta cantidad de cada uno de estos materiales, ya que el flujo de éstos será continuo, en diferentes cantidades pero en grandes volúmenes. El

medio de transporte de estos tres materiales (silicón, goma y pasta) serán pipas especializadas, con sistemas de calentamiento interno para poder descargar el producto en caso de solidificación o posibles problemas de bombeo debido a la alta viscosidad de la goma y el silicón. La capacidad de estas pipas es de 35 toneladas como máximo, las cuales deberán ser descargadas en tanques de almacenamiento, para de ahí mandarlos posteriormente a producción. Aquí se detecta otra razón para inventariar estos materiales, ya que sería poco práctico descargar directamente el producto de la pipa al proceso productivo. Cada pipa se vaciaría en unas cuantas horas y se tendrían que estar cambiando continuamente las válvulas y bombas de descarga al proceso, situación que no es conveniente en cuanto operabilidad y en aumento del riesgo de parar la planta debido a una mala sincronización; aunado a esta situación, la logística y movimiento de pipas dentro del patio y andenes de descarga se complicaría enormemente.

Una vez analizado cuales son los materiales involucrados y cual es su interacción, se estudiará detalladamente lo referente a inventarios.

CAPITULO IV

ANALISIS DE INVENTARIOS

4.1 EXISTENCIA DE INVENTARIOS

Desde el punto de vista de la empresa, los inventarios representan una inversión; se requiere de capital para tener los materiales a la mano en cualquier etapa de su elaboración. Los inventarios deben de evaluarse de la misma manera que se evalúan otras inversiones que la empresa tiene a su disposición y deben retenerse o aumentarse únicamente en la medida en que ofrezcan un retorno favorable sobre el capital invertido.

Los inventarios son acopios de bienes y de existencias. En el campo de la manufactura, los inventarios se conocen con el nombre de elementos de existencia y son guardados en un lugar de almacenamiento (bodega). Una de las principales funciones de los inventarios consiste en el desacople o en la separación de etapas en las operaciones. Para Gesamex este desacople es muy notorio, teniendo en cuenta la distancia física existente entre una etapa y la subsecuente (planta de pasta y planta de producto terminado).

Las existencias almacenadas están representadas, generalmente, en:

- Materias primas
- Trabajos en proceso
- Productos terminados

El control de inventarios es la técnica diseñada para mantener los elementos en existencia a unos niveles deseados. El concepto básico de la administración de producción se centra en la conversión de Insumos para la producción de bienes o servicios. Este proceso de conversión se examina en la figura 4. Nótese que pueden tenerse existencias en las etapas de insumo (materia prima), de conversión (trabajos en proceso) y resultados (productos).

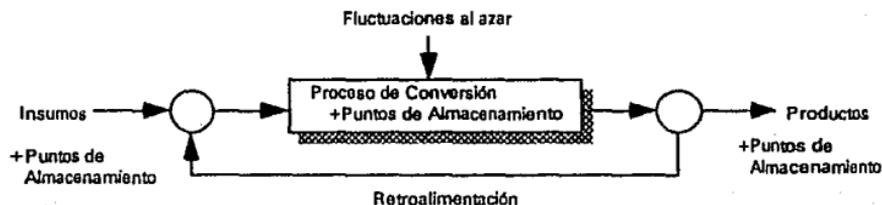


Figura 4

La razón fundamental para mantener inventarios radica en el hecho de ser sumamente difícil y generalmente muy caro que cada elemento llegue con precisión al lugar en el cual se requiere y lo haga exactamente en el momento en que se necesita. Otras razones para mantener inventarios son:

- Obtener un retorno favorable sobre la inversión.
- Contar con un amortiguador para reducir la incertidumbre.
- Desacoplar las operaciones.

- Nivelar o suavizar la producción.
- Reducir los costos ocasionados por el manejo de materiales.
- Permitir la producción de familias de partes.
- Obtener ventaja de los cambios de precio (puede ser desventaja).
- Hacer adquisiciones a granel.
- Exhibir los materiales a los clientes.

Los inventarios pueden emplearse para "amortiguar" incertidumbres en la demanda (una de las principales inquietudes de Gesamex con respecto a la demanda de pasta). De la misma manera, el tiempo de aprovisionamiento o de espera - tiempo transcurrido entre el momento en que se coloca el pedido y aquel en el cual se reciben los bienes - no es siempre constante (Gesamex considera que el tiempo de aprovisionamiento puede ser una variable controlable, ya que la comunicación será entre dos plantas de la misma Compañía y se espera una excelente coordinación de pedidos y de envíos). Las existencias de seguridad o de amortiguación se justifican si la empresa tiene una demanda incierta o si el tiempo de aprovisionamiento varía.

Los inventarios también son útiles cuando sirven para interrumpir o desacoplar operaciones, cuando se dividen las operaciones de manera que el suministro de una sea dependiente del suministro de otra. Se necesitan inventarios para reducir la dependencia entre etapas sucesivas de las operaciones de manera que los daños, la carencia de materiales u otras fluctuaciones en la producción en una etapa no sean causa del cierre de las operaciones en etapas posteriores (en el caso en cuestión, la pasta depende directamente de la producción de producto terminado en sus diferentes marcas).

Los inventarios pueden ser de suprema utilidad para nivelar la producción. Podrían producirse productos en períodos de baja demanda y emplearse en aquellos de alta demanda. Podrían en esta forma evitarse los altos costos ocasionados por los cambios en las tasas de producción y en los niveles de la fuerza de trabajo (esta situación se le presenta a Gesamex como se pudo observar en la gráfica 1.

Dos axiomas fundamentales que justifican la existencia de inventarios:

- 1.- "Los pronósticos de demanda siempre serán una ciencia inexacta, por lo cual la existencia de inventarios es necesaria para poder satisfacer las necesidades del cliente a tiempo."⁽⁴⁾
- 2.- "La eficiencia productiva nos guía a cierto nivel de inversión en inventarios para optimizar los costos totales."⁽⁵⁾

Debido a estos dos axiomas, se deduce que los inventarios son necesarios en todo proceso productivo.

Cabe mencionar que la forma de almacenar puede cambiar sus características: probablemente en un futuro existan menos almacenes por fábrica pero pudiendo almacenar mayor UPT. La tecnología seguirá mejorando las operaciones de inventariar, ahorrando espacio e intercomunicando las diferentes áreas funcionales. Por otro lado, el almacén tendrá que surtir a una demanda creciente de pequeños pedidos y de distintos productos. Se tendrán que optimizar procesos preconstruidos, como: bandas transportadoras,

⁽⁴⁾ Hall, Jim, "The warehouse of the future is still a warehouse", *Industrial Engineering*, Atlanta, Institute of Industrial Engineering, ISSN 0019.8234, 1992, No. 1, volumen 24

⁽⁵⁾ *Ibidem*

paletizadoras, código de barras, etc. Estos mejoramientos físicos contribuirán a optimizar el proceso de satisfacción y abastecimiento al cliente.

Los costos ocasionados por el manejo de materiales pueden reducirse (lo ideal sería eliminarlos), en algunas operaciones de manufactura y servicios, acumulando partes entre las operaciones.

Cuando se hacen compras a granel se pueden acordar descuentos por cantidad obteniendo así otra ventaja por mantener inventarios altos. Dichos descuentos por cantidad se pueden ofrecer cuando la empresa busca economías de escala o si los costos de transporte son menores por despacho a granel.

Las firmas de comercialización emplean, a menudo, los inventarios para la exhibición de los productos a los clientes. Como los clientes de los minoristas hacen sus compras, generalmente, de bienes exhibidos, este mercado emplea los inventarios con este fin.

4.2 COSTOS DE LOS INVENTARIOS

Las decisiones de *cuándo* y *cuánto* ordenar para restablecer las existencias se conocen como la *doctrina de operación del control de inventarios*.

"Los administradores deben considerar, en la operación de un sistema de inventarios, *únicamente aquellos costos que varían cuando se cambia la doctrina de operación*, ya que son los únicos costos relevantes para tomar las decisiones de cuándo y cuánto ordenar; los costos que sean independientes a la doctrina de operación son irrelevantes."⁽⁶⁾

⁽⁶⁾ cfr Adam, Everett E., Ebert, Ronald J., Administración de la producción y las operaciones, México, Prentice-Hall, 1985, pp. 541

Hay básicamente cinco clases de costos relevantes:

4.2.1 Costos de artículo

Es la suma pagada al proveedor por el artículo recibido y es normalmente igual al precio de la compra. Los costos de transporte, recibo e inspección podrían incluirse como parte de los costos asociados con el artículo. Si el costo unitario del artículo es constante, independientemente del tamaño del pedido, el costo total de los bienes adquiridos durante el horizonte de planeación es irrelevante para la doctrina de operación. Pero si el costo unitario varía de acuerdo con el tamaño del pedido, es relevante y se conoce como descuento por cantidad. Para el caso en cuestión, el costo del artículo es el costo de producción de la pasta, que resulta menor que el costo de la pasta en el mercado. Se pueden reducir o eliminar los costos por inspección.

4.2.2 Costos de compra o adquisición

Es el costo asociado con el suministro de las existencias o costo de colocación del pedido. Los costos de adquisición incluyen el envío, llamadas telefónicas al vendedor, costos en mano de obra en adquisición y contabilidad, tiempo de computadora para mantener los registros e implementos para la orden de compra. Gesamex considera que este tipo de operaciones pueden ser coordinadas adecuadamente (teniendo la ventaja de que es una comunicación interna) y reducir dichos costos.

4.2.3 Costos por mantener los inventarios

Son desembolsos reales asociados con tener inventarios a la mano. Estos costos incluyen todos los gastos en que incurre la compañía por el volumen de inventario que se lleva. Se incluyen generalmente en el costo de tenencia de inventario, lo siguiente:

- + Por obsolescencia: el artículo ya no es vendible debido a patrones de venta cambiantes y a deseos del cliente. Este problema es agudo en los artículos de moda y de alta tecnología.

- + Por deterioro: el material que se tiene en inventario puede secarse, humedecerse, ser ensuciado por el manejo o deteriorado de muchas otras maneras, por lo que ya no se puede vender o usar. Para este caso, la pasta debe almacenarse en tanques con condiciones de presión y temperatura muy controladas, ya que puede decolorarse fácilmente en condiciones no controladas. También requiere el tanque de una atmósfera inerte (aire seco) para evitar otro tipo de problemas.

- + Por impuestos: muchos estados y municipios tienen impuestos por inventarios. Algunos se basan en la inversión en inventario en un momento particular del año, mientras que otros se basan en la inversión promedio de todo el año.

- + De garantía: los inventarios son protegidos con un seguro generalmente llevado como parte de otras políticas de seguros de la Compañía. Gesamex lleva este tipo de política.

- + De almacenamiento: el almacenamiento de inventario requiere de una bodega con personal de supervisión y operativo, de equipo de manejo de material, de registros necesarios, etc. No se incurriría en los costos de estos

medios si no hubiera inventarios. Los tanques de almacenamiento de pasta y de silicón requieren de condiciones especiales para su almacenamiento, lo cual implica un costo de inventario.

+ De capital: el dinero invertido en inventarios no está disponible para ser usado en otras actividades de la compañía y, de hecho, puede ser un préstamo bancario. El costo de pedir prestado el dinero o el costo de la oportunidad de inversión perdida por usar este capital en otras áreas debe cargarse a la inversión en inventario como el costo de capital.

La cuantía de todos estos costos de mantenimiento generalmente aumenta o disminuye en proporción con el volumen de inventarios que se tenga. Este punto es la cuestión principal de esta tesis, ya que el costo de mantener inventarios es muy elevado, pero el costo de parar la producción en cualquiera de las plantas es también considerable, por lo cual se necesita hacer un análisis detallado que determine cuál es la capacidad de almacenamiento óptima involucrando estos dos tipos de costos (de inventariar y de parar por falta de material).

4.2.4 Costos por no tener los elementos en inventario

Toman la forma de costos por pérdidas de ventas o por incumplimiento en los pedidos. Cuando se pierden ventas por carecer de los elementos demandados, la empresa deja de percibir el margen de utilidad actual en las ventas no realizadas y pierde prestigio ante los clientes. Si los clientes trasladan sus negocios a otra parte se pueden perder también los márgenes futuros de utilidad. Las pérdidas asociadas con órdenes insatisfechas son muy

difíciles de evaluar. El hecho de que Gesamex pare alguna de las dos plantas por falta de material es muy elevado, ya que por la magnitud de éstas el costo de arranque es muy alto; además, parar la planta de producto terminado implica la posibilidad de no cumplir con la demanda proyectada. Otra agravante de parar sería el tratar de recuperar el tiempo perdido (saltándose mantenimientos programados) lo cual provocaría picos de producción que, como ya vimos, no son deseables por los problemas que acarrearán.

4.2.5 Costos de procesamiento de información

Alguien, a mano o con ayuda de una computadora, debe mantener al día los registros a medida que cambian los niveles de existencias. En los sistemas donde no se verifica diariamente los niveles de inventario, este costo operativo se presenta principalmente al hacer verificaciones físicas para obtener los volúmenes precisos de los inventarios.

Para Gesamex, el costo de inventariar no es tan elevado. Lo que sí es caro es la inversión inicial en la construcción de los tanques de almacenamiento para la goma, el silicón y la pasta. Sin embargo, Gesamex detectó que parar cualquiera de las plantas tiene un costo mucho mayor, por lo que solo ocurrirá esto cuando se tengan mantenimientos programados, fallas mecánicas (no deseables), pérdida de mercado de sus productos o baja general del sector en el mercado (no deseable). Para lograr este propósito, la planta de pasta contará con un suministro de goma y de silicón lo más confiable posible y con una capacidad de almacenamiento (en tanques) suficiente para amortiguar la variabilidad de los tiempos de entrega de los proveedores. Como ya se

mencionó, cuando la demanda de pasta sea menor que la capacidad productiva, se podrá disminuir el nivel de producción hasta un 50% con un costo relativamente bajo (comparado con el costo de parar toda la planta). Para la planta de producto terminado se llevará un control al día del suministro y uso de pasta con el objeto de asegurar un abastecimiento y consumo confiable de pasta. También se contará con tanques de almacenamiento para la pasta para poder soportar los picos de producción que presenta la planta de producto terminado.

La finalidad de esta tesis es encontrar la mínima capacidad de almacenamiento para la goma y el silicón que aseguren una operación continua en la planta de pasta y la mínima capacidad de almacenamiento de pasta que aseguren la producción de la planta de producto terminado. Es decir, saber cuántos tanques y de qué capacidad hay que construir para inventariar estos tres materiales.

Tradicionalmente, inventariar se ha visto como un costo de hacer negocio, por lo cual se ha tratado de mejorar el proceso de disminución de costos. Lo que no ha ocurrido, es reconocer ampliamente el genuino valor que el inventariar agrega a la producción de nuestros artículos y a la interacción con nuestros clientes. El inventario crea un valor real para el departamento de ventas asegurando la disponibilidad del producto a pesar de la incertidumbre de la demanda. La contribución de inventariar no se debe limitar a la excelencia de almacenar; deberá de ser enfocada al valor agregado: el desarrollo de una estrategia de almacenamiento debe de estar directamente ligada a las estrategias de producción y mercadeo. Esta estrategia de almacenamiento debe de ser posicionada dentro de la cadena productiva y de abastecimiento. "El

almacenamiento del futuro seguirá siendo almacenamiento, pero además una herramienta estratégica cuyo valor (no costo) se refleja en la optimización de mercadeo, compras, producción y distribución."⁽⁷⁾

⁽⁷⁾ *cfr* Hall, *op.cit.*, n(4)

CAPITULO V PRONOSTICOS

5.1 DEFINICION DE PRONOSTICO

Planear el futuro es cosa de todos los días. En un mundo donde el cambio se produce constantemente, es indispensable que los ingenieros industriales se valgan de instrumentos modernos para prever el cambio. Los ingenieros industriales y los administradores se enfrentan a un problema común: cómo participar constructivamente en el proceso de cambio.

Los pronósticos constituyen una subfase de la planeación. Se sabe que en el proceso administrativo planeación, organización y control no son independientes sino que, por el contrario, se interrelacionan y sobreponen entre sí. El control es más fácil y natural si las operaciones han sido planeadas y organizadas adecuadamente y es éste el momento en que los pronósticos tienen todo su significado. Si la demanda futura se especifica y determina adecuadamente se reducirán los costos ocasionados por el ajuste de las operaciones como respuesta a desviaciones inesperadas. Es claro también que si la demanda futura por bienes y servicios se estima con exactitud se aumentará la eficiencia de las operaciones.

En un sentido amplio los pronósticos presentan por sí un dilema filosófico. "Nunca se puede planear el futuro con base en el pasado"⁽⁸⁾, dijo Edmund Burke; pero Patrick Henry estuvo en desacuerdo cuando dijo: "No conozco otra forma para otear el futuro que basándome para ello en el pasado"⁽⁹⁾. Un dilema que los administradores y los líderes han tenido que enfrentar por siglos a pesar de lo cual están aún sin resolver, es si usar o no el pasado para predecir el futuro y cómo hacerlo. La preocupación básica que se tiene con mayor frecuencia es pronosticar la demanda de los consumidores por los productos o los servicios.

"El pronóstico se ha definido como un proceso en el cual se obtienen y analizan datos con el fin de predecir las características futuras de las máquinas, los procedimientos y las técnicas."⁽¹⁰⁾

En la administración de operaciones se adopta una definición bastante específica de *pronósticos* que los diferencia del concepto más amplio de "predicciones".

"Pronosticar es un proceso que permite estimar un evento futuro analizando para ello datos del pasado. Los datos del pasado se combinan sistemáticamente en una forma predeterminada para obtener el estimativo del futuro."⁽¹¹⁾

⁽⁸⁾ cfr. Adam, *op.cit.*, n(6), p.342

⁽⁹⁾ *Ibidem*

⁽¹⁰⁾ cfr. Martino, J.R., *Technological forecasting for decision making*, Elsevier North Holland, Nueva York, 1972, p. 504

⁽¹¹⁾ cfr. Adam, *op.cit.*, n(6), p.344

"Predecir es un proceso que permite estimar un evento futuro basándose para ello en los datos del pasado y en consideraciones subjetivas; éstas no necesitan combinarse en una forma predeterminada."⁽¹²⁾

Como se desprende claramente de estas definiciones, sólomente se pueden hacer pronósticos cuando existen datos históricos. Un restaurante de servicio rápido puede usar datos del pasado para pronosticar el número de pollos requeridos para las operaciones del fin de semana siguiente. Pero supóngase que el restaurante decide ofrecer un nuevo servicio. Debido a que no existen datos históricos que puedan usarse, se requiere predecir para estimar las ventas del nuevo producto. Para *predecir* buenos estimativos subjetivos, el gerente debe basarse en su habilidad, juicio y experiencia; mientras que *pronosticar* exige estadística y técnicas propias de las ciencias de la administración. En la vida diaria, cuando en los negocios se habla de pronósticos usualmente se está indicando alguna combinación de pronóstico y predicción.

Gesamex tiene archivada la información de ventas de sus seis principales productos de los últimos 5 años. Gracias a esta información será posible obtener un pronóstico de ventas y así poder alimentar al modelo de simulación con información confiable. El desarrollo de este pronóstico se analizará al final de este capítulo.

Es importante destacar que a menudo la información que se consigue no tiene el formato que se requiere; a veces es necesario moldearla a necesidades específicas.

(12) *Ibidem*

5.2 INTERACCION DE LOS PRONOSTICOS

Los pronósticos interactúan con las funciones de planeación, control, uso y retroalimentación de diferentes sistemas:

- **Planeación del sistema:** se necesitan conocer las demandas agregadas que se tendrán en el futuro de manera que puedan diseñarse y rediseñarse los procesos para generar el flujo de producto requerido para satisfacer esa demanda. Una vez que se han tomado, para un volumen anticipado, decisiones sobre el diseño del proceso, el diseño del producto e inversiones en equipo, se está "atrapado" dentro de unas instalaciones con una capacidad específica. De ahí en adelante variaciones demasiado grandes entre la demanda anticipada y la real tendrán como consecuencia unos costos excesivos en la producción y en las operaciones.

- **Planeación del uso del sistema:** para decidir cómo usar, de la mejor manera posible, el sistema de conversión existente es de extrema importancia contar con unos pronósticos de la demanda muy precisos. La programación del trabajo en operaciones intermitentes y continuas es mucho más estable si la demanda futura ha sido definida correctamente.

- **Control del sistema:** los administradores necesitan pronósticos de la demanda para tomar decisiones operacionales relacionadas con la programación de la producción, para el control de inventarios, mano de obra y para el control general de los costos de producción. No se puede seguir aceptando la suposición de las generaciones precedentes de que *todo lo que se produzca se vende*. La supervivencia puede depender claramente de la producción que esté cercana a la demanda en el corto y en el largo plazo.

* Producción de bienes y servicios: La demanda actual y la producción deben seguirse, compararse con los planes previamente hechos y retroalimentarse al sistema decisorio de los pronósticos de manera que se pueda replanear la operación.

Gesamex, consciente de la relación existente entre estos sistemas, integra a su modelo de simulación datos obtenidos en base a pronósticos y así tener un mejor control del sistema total.

5.3 ENFOQUE DE PRONOSTICOS

Enfoque intuitivo: se basa en la experiencia y es un resumen de las corazonadas, presentimientos y juicios del administrador sobre los eventos del futuro. Este enfoque tiene mucho más de predicción que de pronóstico.

Enfoque estadístico: combinan datos numéricos específicos para obtener un valor único que se utiliza como pronóstico.

5.4 ELEMENTOS BASICOS DE LOS PRONOSTICOS

Como se mencionó en el capítulo anterior, la demanda por un producto o servicio es *independiente* cuando no tiene ninguna relación con la demanda de cualquier otro producto o servicio y se tiene una demanda *dependiente* cuando la demanda por dos o más artículos está interrelacionada. La demanda

dependiente puede ser horizontal o vertical. En una sala de cine, por ejemplo, la demanda por carteles anunciando las películas es independiente de la demanda por palomitas de maíz. La dependencia vertical podría ser la venta de palomitas y la demanda de boletos de entrada. La dependencia horizontal podría ser la relación entre la demanda de las palomitas y la demanda por cajas para el maíz.

En la administración de operaciones, solamente se requiere pronosticar el artículo padre cuando existe una demanda dependiente; todos los artículos dependientes pueden relacionarse con el pronóstico del primero. Si los artículos son independientes existe la necesidad de elaborar pronósticos para cada uno.

Los pronósticos estadísticos tratan los elementos básicos en una serie de demanda separando los tres principales componentes: tendencia, estacionalidad y aleatoriedad (cada uno puede expresarse en forma matemática).

La tendencia es uno de los tipos de demanda de la cual se pueden obtener pronósticos, pues por medio de una línea se marca lo esperado en el futuro (ver la figura 5). Sin embargo, existen métodos más exactos para la obtención de las líneas de tendencia tales como los mínimos cuadrados (técnica estadística).

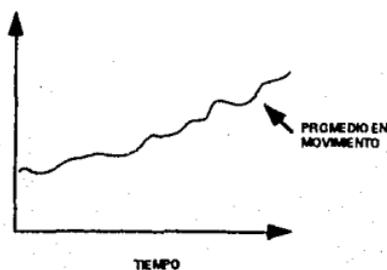


Figura 5

La estacionalidad en la demanda se da por medio de relaciones entre las ventas reales mensuales y las ventas promedio mensuales año tras año (figura 6). Lo anterior implica que la demanda cambie para diferentes períodos de tiempo.

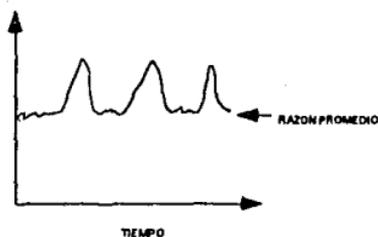


Figura 6

Y finalmente la aleatoriedad se da una vez que la tendencia y estacionalidad se han eliminado. Se dice que la aleatoriedad es el porcentaje de error, que no puede ser predicha, pero sí puede determinar el máximo y mínimo de la demanda esperada a partir de los promedios del pronóstico. Si la aleatoriedad es muy grande, se deben prever los movimientos del pronóstico con inventarios de seguridad, si por el contrario es chica, no deben esperarse grandes cambios en el pronóstico (figura 7).

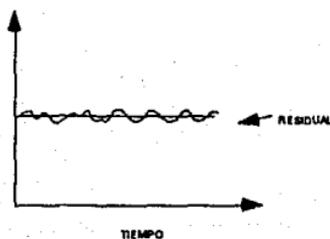


Figura 7

El administrador debe preguntarse qué tan buena representación del futuro es el pasado. La situación para un nuevo producto, puede ser muy dinámica y el mejor pronóstico podría ser la demanda en el período inmediatamente anterior. Para productos y procesos de producción supremamente estables podría ser mejor estimativo un promedio de algunos periodos precedentes.

5.5 BALANCE COSTO PRECISION

Debe de lograrse un balance costo/precisión al seleccionar un enfoque para pronosticar. Cuando el enfoque es más sofisticado tiende a tener costos relativamente más altos para ponerlo en práctica y mantenerlo, pero suministra a menudo, pronósticos más precisos con el resultado de tener posteriormente menores costos operativos. En la figura 8, se observan las curvas de costo de implantación y mantenimiento del sistema de pronósticos y la curva de costos de operación debido a pronósticos imprecisos. De estas dos curvas se obtiene una tercera, la curva de costo total, donde se localiza la región óptima.

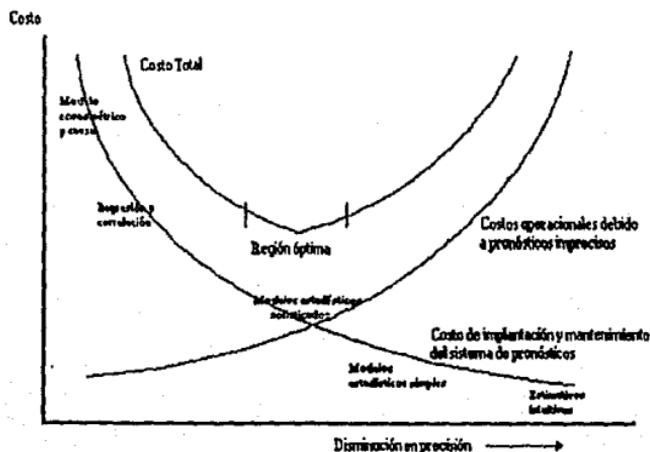


Figura 8

5.6 CLASIFICACIONES

Dentro de las compañías se necesitan diferentes pronósticos, y éstos se clasifican de varias maneras. Una de estas clasificaciones involucra el período de tiempo y se divide en:

- Pronósticos de largo alcance (con 5 años de anticipación)
- Pronósticos de alcance intermedio (con 1 a 2 años de anticipación)
- Pronósticos de corto alcance (con 3 a 6 meses de anticipación)
- Demandas de futuro inmediato (con una semana de anticipación)

Otra de las clasificaciones de los pronósticos es por el tipo de artículo de que se trata, como:

- Productos individuales
- Familias
- Subgrupos

5.7 CARACTERISTICAS DEL EJERCICIO DEL PRONOSTICO

Los pronósticos tienen por lo general ciertas características generales, las cuales son :⁽¹³⁾

- Los pronósticos van a estar equivocados.
- Los pronósticos son más útiles cuando llevan una estimación del error.
- Los pronósticos son más exactos para grupos de artículos más grandes.
- Los pronósticos son más exactos para períodos más cortos.

⁽¹³⁾ cfr. Plossl, op.cit., n(1), p.74

Uno de los puntos más importantes es el notar que dentro de un pronóstico siempre existirá un error. Ningún pronóstico es cien por ciento cierto. Es mejor tratar de determinar la inexactitud con un sistema que detecte errores y los corrija, que pretender mejorar el pronóstico en sí. Es por esto que debe incluirse una estimación de error en todo pronóstico en forma de porcentaje de más o menos (+/-) o de rango entre valores mínimo y máximo.

Los errores de pronósticos pueden ser determinados de diferentes maneras, tales como:

- Artículos contra Grupo: comparando el error de pronóstico de cada artículo perteneciente a un grupo contra el error promedio de todo el grupo.
- Error del pronóstico sobre el horizonte del pronóstico: comparando en un período de tiempo lo pronosticado contra lo real.

5.8 REALIZACION DE UN PRONOSTICO

Existen fundamentalmente cinco pasos para sus realización:⁽¹⁴⁾

- 1.-Definición de los propósitos
- 2.-Preparación de los datos
- 3.-Selección de las técnicas
- 4.-Ejecución del pronóstico (y de las estimaciones de error del pronóstico)
- 5.-Seguimiento de los pronósticos

⁽¹⁴⁾ cfr. Flossl, *op.cit.*, n(1), p.78

A cada uno debe dársele la prioridad necesaria para ser ejecutado. Es importante conocer los propósitos que se quieren alcanzar por medio de los pronósticos, es decir saber dónde serán utilizados para poder valorar su importancia. La preparación de los datos, de los cuales dependerá la veracidad del pronóstico, debe incluir qué es exactamente lo que se va a pronosticar.

Las técnicas a utilizar generalmente son establecidas por la gente de control de materiales, de procesamiento de datos y de análisis del mercado, y una vez obtenidos los primeros pronósticos por estos departamentos, los compartirán con los demás para poder ser evaluados y considerar otros factores que pudieran haber sido omitidos. Más adelante se hablará de algunas técnicas más comunes.

Una vez hecho el pronóstico debe ser estudiado y sobre todo estimado el error que éste pudiera tener para después darle un seguimiento y poder ser utilizado como una herramienta de la planeación de la producción.

5.9 UTILIZACION DEL PRONOSTICO

Para que un pronóstico pueda ser confiable debe ser utilizado correctamente. En general se dice que existen cuatro pasos esenciales para la utilización correcta de los pronósticos y son:

- 1.- Seleccionar la técnica apropiada
- 2.- Manejar con cuidado la actualización
- 3.- Dar seguimiento de cerca a las ventas reales vs. las pronosticadas
- 4.- Reaccionar pronto para corregir las desviaciones significativas

Los productos maduros son aquellos más fáciles de pronosticar, aunque no se debe dejar de checar su tendencia. Sólo se deben pronosticar los productos que se puedan, y no absolutamente todos. Es aconsejable también no alterar los pronósticos o cambiar las técnicas muy rápido, pues no se podría tener resultados confiables. Sin embargo, sí deben revisarse constantemente y sobre todo estar alerta para detectar la necesidad de cierto cambio en la técnica o el tipo de pronóstico que se esté utilizando.

Para el estudio en cuestión, se escogió el método de regresión lineal, utilizando la técnica de los mínimos cuadrados. Algunas características de este método son:

- Descripción: relaciona funcionalmente ventas con otras variables económicas, competitivas o internas y estima una ecuación usando la técnica de los mínimos cuadrados. Las relaciones son analizadas principalmente de manera estadística, aunque podría seleccionarse cualquier relación para verificación en el terreno racional.
- Precisión: corto plazo (0-3 meses): de buena a muy buena.
 mediano plazo (3 meses-2 años): de buena a muy buena
 largo plazo (más de 2 años): buena.
- Aplicación típica: pronósticos de ventas por clases de productos, pronósticos de márgenes.
- Información requerida: varios años de historia por cuatrimestres para obtener relaciones buenas y con sentido. Matemáticamente es necesario tener más observaciones que variables independientes.
- Posibilidad de ejecución de cálculos sin computadora: si se puede.
- Tiempo requerido: Depende de la habilidad para identificar relaciones.

Después de varios años se ha llegado a la conclusión que básicamente los pronósticos pueden llegar a fallar por seis razones, las cuales son:⁽¹⁵⁾

- 1.-Son muchas las personas involucradas para definir en base al pasado lo que sucederá en el futuro. Por lo anterior, ni un experto en pronósticos puede hacer un trabajo exacto.
- 2.-Al no tener exactitud en el pronóstico la gente suele desilusionarse y por tanto no desea trabajar más con dicho pronóstico.
- 3.-No se confía en el pronóstico de los demás y cada quien quiere tener su propio pronóstico.
- 4.-Cada departamento tiene diferentes necesidades: ventas debe cumplir con el reto, finanzas debe ser conservador y producción debe ser realista.
- 5.-Nadie está checando constantemente el pronóstico, es hasta que está equivocado que lo revisan.
- 6.-Se pronostican artículos Innecesarios en lugar de prestar atención a los básicos.

Si se evitan las razones anteriores, los pronósticos cumplirán su cometido y pueden llegar a ser una herramienta en la planeación de ventas de cualquier empresa. "Los modelos derivados de los datos permiten establecer una serie de futuros que es más probable que ocurran. Esos pronósticos constituyen la base para planear y tomar decisiones. Muchos de esos pronósticos tienen una tendencia innata a la realización y son un ingrediente básico de la planeación administrativa."⁽¹⁶⁾

(15) *cf.* Ploesl, *op.cit.*, n(1), pp.102-103

(16) *cf.* Salvendy, Gabriel, *Biblioteca del ingeniero industrial*, México, Ed. Limusa, 1990, vol. 6, p.505

5.10 SELECCION DEL MODELO

"Un modelo puede ser de verdadera utilidad cuando se trata de visualizar o de explicarse la naturaleza o el comportamiento de un sistema o de un fenómeno que la mente, sin ayuda alguna, encuentra difícil captar"⁽¹⁷⁾ La clave para seleccionar un modelo para elaborar pronósticos es el balance entre los costos y la precisión. Los costos que deben tenerse en cuenta en la selección de un modelo son los de llevarlo a la práctica, los sistemáticos y los ocasionados por los errores en los pronósticos. Los costos de llevar a la práctica un modelo incluyen los de programación y los de iniciación de parámetros, entrenamiento de los usuarios y los efectos antifuncionales iniciales de cambiar un procedimiento anterior para pronosticar. Los costos sistemáticos incluyen aquellos ocasionados por el seguimiento que debe hacerse al sistema de pronósticos, el tiempo necesario en el computador o haciendo cálculos manuales y otros costos asociados con el mantenimiento del sistema para pronosticar. Los resultados de algunas investigaciones muestran que el mejor modelo para hacer pronósticos depende del horizonte de tiempo, el ruido, de la medida de los errores en los pronósticos y, más importante aún, del patrón de la demanda. No parece que exista un modelo que pueda considerarse como el mejor para todos los patrones.

En ocasiones los pronósticos no se hacen empleando para ello modelos estadísticos sino que las personas pueden usar datos del pasado para pronosticar de manera intuitiva eventos futuros. El desempeño de los pronósticos individuales decrece, generalmente, con la falta de significado, con

⁽¹⁷⁾ cfr. Krick, Edward, Fundamentos de ingeniería, métodos, conceptos y resultados, México, Ed. Limusa, 1987, p.184

el aumento en la complejidad de los patrones y con una mayor incertidumbre de cola.

Los modelos tienden, generalmente, a tener un mejor desempeño que los pronósticos individuales. Hay, sin embargo, unos pocos individuos que parecen tener un desempeño consistentemente mayor a los modelos. Debido a que los modelos son generalmente más precisos y a que son más económicos que los individuos si el número de artículos que debe tenerse en cuenta es grande, sería juicioso, por parte de los administradores, considerar su uso.

Para el estudio de Gesamex, el método seleccionado es un modelo de regresión lineal que estima una ecuación lineal usando la técnica de los mínimos cuadrados. Esta técnica sirve para estimar los parámetros de cualquier modelo lineal para ajustar una línea recta a través de un conjunto de puntos que representan los datos. Su aplicación típica es el pronóstico de ventas por clase de productos, con una precisión bastante aceptable. La información requerida para poder desarrollar este tipo de modelo son varios años de historia de ventas (producción), los cuales se presentan en la siguientes tablas:

Astro (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	2251	1391	850	1978	2040	2410	2511
Febrero	764	1720	1396	1627	2115	2274	2394
Marzo	854	1564	1049	1911	1875	2023	2051
Abril	972	1293	1495	1480	2088	2405	2515
Mayo	1580	1736	1706	2161	2125	2434	2429
Junio	1577	1438	1955	2191	2056	2627	2876
Julio	1239	1381	1862	1585	1919	2359	2303
Agosto	1523	1227	1813	2067	2133	2604	2640
Septiembre	1286	895	1414	1534	1776	2047	2223
Octubre	1583	1657	1659	2142	2089	2542	2957
Noviembre	628	1481	1899	1942	2003	2358	2695
Diciembre	1243	1288	1278	1609	1435	2211	1962

Tabla 4

Super (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	241	212	218	312	359	257	275
Febrero	280	212	243	261	316	243	262
Marzo	88	197	160	305	266	216	225
Abril	182	245	274	199	324	257	275
Mayo	207	237	266	265	269	260	266
Junio	210	294	240	295	388	281	315
Julio	210	272	237	450	213	252	277
Agosto	218	286	274	136	394	278	289
Septiembre	186	61	234	267	280	219	243
Octubre	301	246	321	248	402	272	324
Noviembre	176	305	312	274	324	252	295
Diciembre	89	157	243	179	246	236	215

Tabla 5

Rayo (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	150	130	55	94	169	155	153
Febrero	123	169	100	106	105	165	171
Marzo	218	161	93	117	65	151	150
Abril	158	153	64	108	112	169	176
Mayo	175	140	34	95	69	160	180
Junio	119	162	37	156	178	158	180
Julio	183	178	00	177	150	162	155
Agosto	156	38	133	00	199	178	158
Septiembre	165	04	107	127	140	142	150
Octubre	94	143	107	157	235	165	163
Noviembre	119	90	88	137	133	155	172
Diciembre	135	125	64	133	186	160	155

Tabla 6

Bólido (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	00	297	172	207	282	300	301
Febrero	00	92	197	234	233	280	298
Marzo	00	120	196	230	267	275	293
Abril	00	138	229	185	470	310	307
Mayo	00	156	230	199	351	326	310
Junio	00	119	193	240	326	345	308
Julio	187	196	204	303	522	340	305
Agosto	154	221	259	289	331	307	292
Septiembre	244	164	81	257	310	290	291
Octubre	163	74	237	322	511	306	303
Noviembre	166	540	196	194	275	315	305
Diciembre	117	157	104	253	317	299	292

Tabla 7

Ultra-X (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	00	00	00	00	00	50	91
Febrero	00	00	81	21	00	00	80
Marzo	00	00	00	91	00	00	85
Abril	00	00	00	100	00	85	95
Mayo	00	00	43	00	57	120	99
Junio	00	00	99	22	86	115	115
Julio	00	00	85	48	39	110	113
Agosto	00	00	109	101	81	45	78
Septiembre	00	00	00	00	15	00	60
Octubre	00	00	84	83	00	24	99
Noviembre	00	00	61	110	59	48	117
Diciembre	00	00	70	00	55	38	91

Tabla 8

Ultra (M UPT)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	00	00	00	43	43	200	323
Febrero	00	00	00	78	35	237	301
Marzo	00	00	00	00	15	244	315
Abril	00	00	00	48	33	251	325
Mayo	00	00	00	110	38	288	353
Junio	00	00	00	81	108	290	367
Julio	00	00	00	132	86	198	331
Agosto	00	00	00	73	13	245	318
Septiembre	00	00	00	41	48	240	299
Octubre	00	00	00	00	87	251	334
Noviembre	00	00	00	12	111	257	347
Diciembre	00	00	00	18	38	229	321

Tabla 9

De las tablas anteriores se generó la Tabla 10, que no es otra cosa que un concentrado de las anteriores en función de la pasta demandada por mes para cada uno de los años, así como el porcentaje de producción para cada marca, el promedio de pasta usado por UPT para cada año y el total de pasta requerido por año.

La Tabla 10 será tomada como la base de datos para hacer los cálculos y obtener los pronósticos. Dichos pronósticos calculados serán tomando en cuenta la cantidad de pasta que se demandó a través de los años anteriores, ya que para el caso en cuestión, interesa saber particularmente como ha sido la demanda de ésta a través del tiempo y así poder pronosticar la capacidad de almacenamiento requerido para cada material.

DEMANDA DE PASTA (M Kg)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enero	3,942	5,196	3,402	6,732	7,446	8,637	9,220
Febrero	3,236	5,617	5,077	5,913	7,148	8,149	8,791
Marzo	3,032	5,234	3,841	6,674	6,303	7,248	7,534
Abril	3,476	4,787	5,305	5,239	7,694	8,817	9,235
Mayo	6,068	5,806	5,729	7,127	7,392	8,723	8,919
Junio	4,892	5,291	6,208	7,557	7,911	9,414	10,562
Julio	4,736	5,309	5,866	7,052	7,290	8,456	9,299
Agosto	5,274	4,612	6,046	6,363	8,047	9,335	9,697
Septiembre	4,835	2,748	4,559	5,727	6,551	7,337	8,165
Octubre	5,548	5,465	6,114	7,347	8,593	9,112	10,858
Noviembre	2,910	6,202	5,991	6,655	7,337	8,450	9,897
Diciembre	3,983	4,404	4,454	5,531	5,799	7,926	7,205
Total Pasta	50,932	60,671	62,590	77,917	87,511	101,404	109,382
M UPT	19,545	23,562	25,010	30,941	34,398	40,100	43,500

M Kg pasta/mes	4,244	5,056	5,216	6,493	7,293	8,450	9,115
-----------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

PORCENTAJE DE PRODUCCION

Astro	73.3%	72.4%	72.7%	71.8%	68.8%	66.2%	64.6%
Super	12.2%	11.6%	12.1%	10.3%	10.9%	11.0%	11.2%
Rayo	9.2%	6.3%	3.5%	4.5%	5.1%	4.8%	4.5%
Bólido	5.3%	9.7%	9.2%	9.4%	12.2%	9.2%	8.3%
Ultra	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	1.9%	7.3%	8.9%
Ultra - X	0.0%	0.0%	2.5%	1.9%	1.1%	1.5%	2.5%

Kg Pasta/UPT	2.6059	2.5750	2.5026	2.5182	2.5441	2.5288	2.5145
---------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 10

El procedimiento de los mínimos cuadrados para ajustar una recta a través de n puntos es similar al método que se podría utilizar para ajustar una recta a simple vista; es decir, se pretende que las desviaciones sean pequeñas en cierto sentido. Una manera conveniente para lograr esto, y que aporta estimadores con propiedades adecuadas, es minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales de la recta ajustada. La ecuación lineal que resuelve este método es:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i$$

La filosofía de este método consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las variaciones (o errores) con respecto a la ecuación de la recta propuesta. Al obtener las derivadas parciales de la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a B_0 y B_1 , y al igualarlas a cero, se obtiene que:

$$B_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$B_0 = \bar{y} - B_1 \bar{x}$$

El desarrollo de estos valores para B_1 y B_0 a través de derivadas parciales no son tema de análisis de la presente tesis, pero se puede recurrir a diversas fuentes de estadística matemática para profundizar en ello.

Para pronosticar la cantidad de UPT que se tendrá para el año de 1993, se realizó el siguiente cálculo:

De la Tabla 10 se sabe que:

<u>Año</u>	<u>UPT (miles)</u>
1986	19,545
1987	23,562
1988	25,010
1989	30,941
1990	34,398
1991	40,100
1992	43,500
1993	?

Para obtener de una manera sencilla los valores de las fórmulas para B_1 y B_0 se hizo el siguiente ejercicio:

X_i	Y_i (miles)	$X_i Y_i$	X_i^2
1986 (1)	19,545	19,545	1
1987 (2)	23,562	47,124	4
1988 (3)	25,010	75,030	9
1989 (4)	30,941	123,764	16
1990 (5)	34,398	171,990	25
1991 (6)	40,100	240,600	36
1992 (7)	43,500	304,500	49
<hr/> 28	<hr/> 217,056	<hr/> 982,553	<hr/> 140

Los valores inferiores son la sumatoria de cada una de las columnas. Si se sustituyen estos valores, se tiene que:

$$B_1 = \frac{7 (982,553) - 28 (217,056)}{7 (140) - (28)^2} = 4,083.18$$

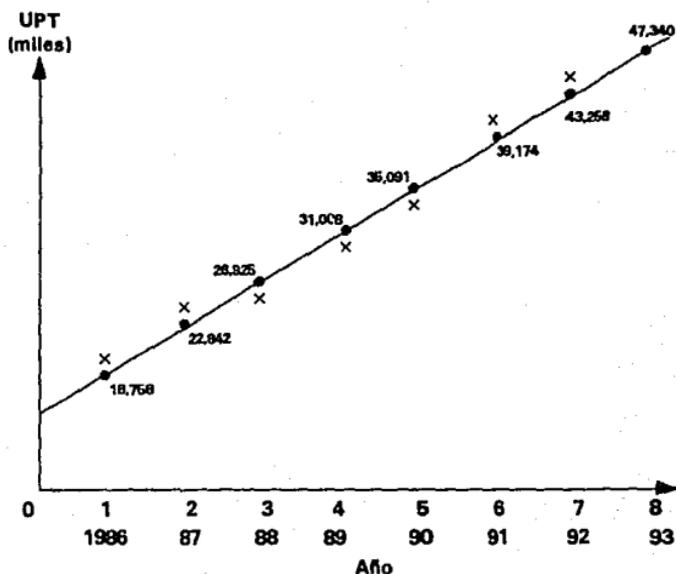
$$B_0 = \bar{y} - B_1 \bar{x} = (217,056 / 7) - 4,083.18 (28 / 7) = 14,675.3$$

La recta ajustada es: $y = 14,675.3 + 4,083.18 x$

La producción de UPT para el año 1993 ($x = 8$) es:

$$y = 14,675.3 + 4,083.18 (8) = 47,340.73 \text{ miles UPT}$$

Haciendo el ejercicio de graficar la recta ajustada y cada uno de los datos, se vería de la siguiente forma:



Gráfica 2

Los puntos que aparecen marcados en la gráfica con una "x" son los datos que se tenían como historia de producción de UPT. Como se puede observar, la recta ajustada va pasando a través de estos puntos de tal manera que minimiza la distancia total existente entre los puntos (x) y la recta. Por lo tanto, se tiene que Gesamex producirá alrededor de 47 millones de UPT para el año de 1993.

Para dar una idea de cómo se va a repartir la producción de 1993 entre las seis diferentes marcas, se realizó el siguiente ejercicio:

Primeramente se analizará el caso de Astro. Para este caso, Y_i será el porcentaje de producción de Astro con respecto al total de la producción, mientras que X_i seguirá siendo la variable de tiempo. Según la Tabla 10, se tiene que para Astro:

X_i	Y_i (%)	$X_i Y_i$	X_i^2
1986 (1)	73.3	73.3	1
1987 (2)	72.4	144.8	4
1988 (3)	72.7	218.1	9
1989 (4)	71.8	287.1	16
1990 (5)	68.8	344.0	25
1991 (6)	66.2	397.2	36
1992 (7)	64.6	452.2	49
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
28	489.8	1,916.8	140

Siguiendo una analogía del ejercicio anterior:

$$B_1 = \frac{7 (1,916.8) - 28 (489.8)}{7 (140) - (28)^2} = - 1.51$$

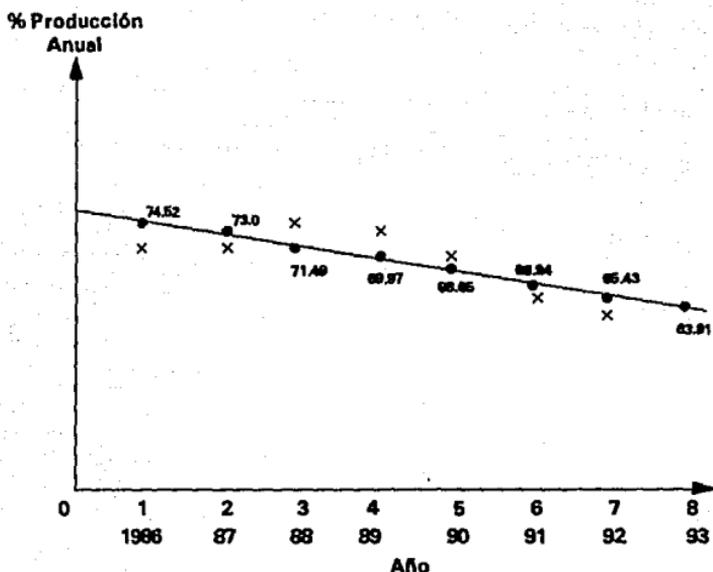
$$B_0 = \bar{y} - B_1 \bar{x} = (489.8 / 7) - (- 1.51 * (28 / 7)) = 76.03$$

La recta ajustada es: $y = 76.03 - 1.51 x$

El porcentaje de producción de Astro para el año 1993 ($x = 8$) es:

$$y = 76.03 - 1.51 (8) = 63.91 \%$$

Al graficar la recta ajustada y cada uno de los puntos, se verá de la siguiente forma (gráfica 3):



Gráfica 3

Los puntos que aparecen con una "x" son los porcentajes de producción de los últimos siete años. Se observa que la recta vuelve a minimizar el total de la distancia entre los puntos "x" con la recta. Para 1993, Astro se pronostica con un 63.91% de la producción total anual (47.3 millones de UPT).

Se hizo el mismo análisis para cada una de las otras marcas, dando como resultado la siguiente distribución de producción:

<u>Marca</u>	<u>% de Producción (1993)</u>
Astro	63.91
Super	10.56
Rayo	3.20
Bólide	4.33
Ultra	14.55
Ultra - X	3.45

Para detectar las cargas de producción anuales a través de los doce meses, se realizó el siguiente análisis, basándose nuevamente en la Tabla 10. Se tiene que la demanda de pasta para enero en los últimos años fue:

Enero	Pasta demandada (miles de Kg.)		²
X_i	Y_i (%)	$X_i Y_i$	X_i^2
1986 (1)	3,942	3,942	1
1987 (2)	5,196	10,392	4
1988 (3)	3,402	10,206	9
1989 (4)	6,732	26,928	16
1990 (5)	7,446	37,230	25
1991 (6)	8,637	51,822	36
1992 (7)	9,220	64,540	49
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
28	44,575	205,060	140

De donde:

$$B_1 = \frac{7 (205,060) - 28 (44,575)}{7 (140) - (28)^2} = 955.71$$

$$B_0 = (44,575 / 7) - (955.71 * (28 / 7)) = 2,545.02$$

La recta ajustada es: $y = 2,545.02 + 955.71 x$

La demanda de pasta pronosticada para enero de 1993 ($x = 8$) es:

$$y = 2,545.02 + 955.71 (8) = 10,190.7$$

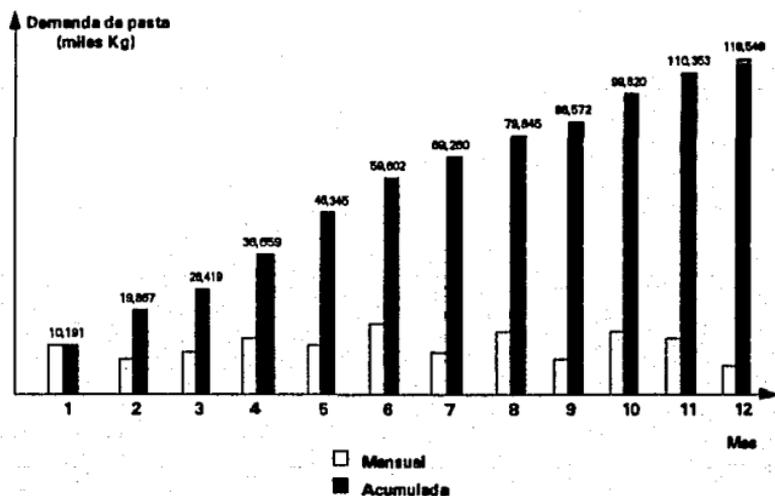
Al realizar un ejercicio similar para cada uno de los meses, se obtiene la tabla

11:

Mes	Pasta demandada para 1993 (miles de Kg)
Enero	10,191
Febrero	9,676
Marzo	8,552
Abril	10,240
Mayo	9,686
Junio	11,257
Julio	9,658
Agosto	10,585
Septiembre	8,727
Octubre	11,249
Noviembre	10,533
Diciembre	8,195

Tabla 11

Grificando estos puntos y tomando un ponderado de requerimiento de pasta por UPT igual a 2.5145 Kg pasta/UPT, se tiene un total de 47.148 millones de UPT a producir en 1993.



Gráfica 4

Esta información que se obtuvo en base a pronósticos será la base de datos del modelo de simulación que se utilizará para darle respuesta al cuestionamiento inicial de esta tesis (Capítulo VII).

CAPITULO VI SIMULACION

6.1 DEFINICION DE SIMULACION

Con el advenimiento de la computadora, una de las más importantes herramientas para analizar el diseño y operación de sistemas o procesos complejos es la simulación. Una de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación es la que da Thomas H. Naylor:

"Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo a través de largos períodos de tiempo."⁽¹⁸⁾

La definición anterior está en un sentido muy amplio, pues puede incluir desde una maqueta, hasta un sofisticado programa de computadora. En sentido más estricto, H. Maisel y G. Gnugnoli, definen simulación como sigue:

(18) cfr. Coes Bu, Raúl, Simulación, un enfoque práctico, México, Ed. Limusa Noriega, 1990, p. 12.

"Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo."⁽¹⁹⁾

Otros estudiosos del tema como Robert E. Shannon, definen simulación como:

"Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema."⁽²⁰⁾

Una última definición, en un sentido más amplio, Alan B. Pritsker dice:

"La simulación por computadora es el proceso de diseñar un modelo lógico-matemático de un sistema real y de experimentar con este modelo en una computadora."⁽²¹⁾

La decisión de emplear o no la simulación como técnica para resolver un problema en particular, no constituye en sí una tarea sencilla. Más aún, en el análisis final tal decisión se apoya en tres grandes consideraciones: la aplicabilidad, el costo y la simplicidad. La simulación en computadora debería

⁽¹⁹⁾ *cf.* *Ibídem*

⁽²⁰⁾ *cf.* *Ibídem*

⁽²¹⁾ *cf.* Pritsker, A. Alan B., *The GASP IV Simulation Language*. Wiley, Nueva York, 1974

utilizarse sí, y solo sí, la respuesta a cada una de las tres preguntas siguientes es afirmativa. Primero, ¿es está seguro que es posible obtener, ya sea una solución exacta o una aproximación satisfactoria a la solución del problema, a través de la simulación por computadora? Segundo, ¿es la simulación el procedimiento de computación de menor costo para resolver el problema? Tercero, ¿se presta la técnica particular que se considera, a una interpretación relativamente fácil para aquellos que utilizarán los resultados del estudio de simulación?

Desafortunadamente, rara vez es posible contestar las tres preguntas con exactitud antes de dirigir un experimento de simulación. Por consiguiente, antes que exista la posibilidad de decidir si se utiliza o no la simulación en computadora, es necesario tener cierta experiencia. Puesto que la simulación sólo constituye un método alternativo para la solución de problemas, un criterio para utilizarla no es en realidad diferente de la decisión sobre el uso de cualquier otro instrumento analítico, tal como la programación lineal, la teoría de los fenómenos de espera o la programación dinámica. Si la simulación en computadora es capaz de producir soluciones significativas y relativamente fáciles de interpretar, para un problema dado a un costo menor que el de cualquier otro procedimiento de computación, entonces debe de ser utilizada como instrumento de análisis. Si estas condiciones no se satisfacen, la simulación debe ser rechazada en favor de alguna otra alternativa más ventajosa.

Los modelos de simulación se pueden emplear como:

- Instrumentos explicativos para definir un sistema o problema

- Vehículos analíticos para determinar elementos, y aspectos críticos
- Asesores de diseño para sintetizar y evaluar soluciones propuestas
- Predictoras para pronosticar y ayudar en la planeación futura.

6.2 CLASIFICACION DE MODELOS

Existen diferentes maneras de clasificar los modelos de simulación. Para este caso en particular se empleará una de las formas más conocidas: se clasificarán los modelos en determinísticos, estocásticos, estáticos y dinámicos.

6.2.1 MODELOS DETERMINISTICOS

En los modelos determinísticos, ni a las variables exógenas (variables de entrada al sistema) ni a las endógenas (variables de salida del sistema), se les permite ser variables al azar, en tanto que se suponen relaciones exactas para las características de operación en lugar de funciones de densidad de probabilidad. Los modelos determinísticos requieren menos procesamiento en computadoras que los modelos estocásticos y con frecuencia es posible resolverlos analíticamente, por medio de la utilización de técnicas como el cálculo de máximos y mínimos.

6.2.2 MODELOS ESTOCASTICOS

Son aquellos modelos en los que por lo menos una característica de operación está dada por una función de probabilidad. La suficiencia de las

técnicas analíticas para solucionar modelos estocásticos, se encuentra bastante restringida debido a que estos modelos son considerablemente más complejos que los modelos determinísticos.

6.2.3 MODELOS ESTATICOS

Son aquellos que no toman en cuenta, explícitamente, a la variable tiempo. En la investigación de operaciones, con raras excepciones, la mayoría del trabajo en las áreas de programación lineal, no lineal y teoría de juegos, se ha concretado a modelos estáticos.

6.2.4 MODELOS DINAMICOS

Los modelos matemáticos que traten de interacciones que varían con el tiempo, se denominan modelos dinámicos. Algunas de las aplicaciones más conocidas son: simulación de ciclo de negocios, modelos de crecimiento macroeconómico, fenómenos de espera, planeación, inventarios, asignación de labores y maquinaria entre otras.

6.3 CLASIFICACION DE VARIABLES

Las variables que aparecen en los modelos se emplean para relacionar un componente con otro y se clasifican, convenientemente, como variables exógenas, variables de estado y variables endógenas.

6.3.1 VARIABLES EXOGENAS

Las variables exógenas son las independientes o de entrada del modelo y se supone que han sido predeterminadas y proporcionadas independientemente del sistema que se modela. Puede considerarse que estas variables actúan sobre el sistema, pero no reciben acción alguna de parte del sistema. Se podría decir que la dirección de causa a efecto fluye en un solo sentido: de las variables exógenas hacia el sistema.

Es posible clasificar las variables exógenas en controlables y no controlables. Las primeras (o instrumentales) son aquellas variables o parámetros susceptibles de manipulación o control por quienes toman decisiones o crean políticas para el sistema. Por ejemplo, probablemente en un momento determinado una empresa es capaz de controlar la cantidad de materias primas que compra y el número de trabajadores que emplea. Las variables no controlables las genera el medio ambiente en el cual el sistema modelado existe y no el sistema en sí o los encargados de tomar decisiones.

6.3.2 VARIABLES DE ESTADO

Las variables de estado describen el estado de un sistema o uno de los componentes, ya sea al comienzo, al final o durante un período de tiempo. Estas variables interactúan con las variables exógenas del sistema y con las endógenas, de acuerdo a las relaciones funcionales supuestas para el sistema.

El valor de una variable de estado, durante un período particular de tiempo, puede depender no solamente de los valores de una o más variables exógenas en algún período precedente, sino también del valor de ciertas variables de salida de períodos anteriores. Cuando un componente toma su entrada de una porción de su propia salida en un período previo, se dice que ocurre una retroalimentación. Al introducir los retardos en los ciclos de retroalimentación, los valores de las variables de salida del sistema dependen de los parámetros de las ecuaciones de funcionamiento y es posible que exhiban una tendencia hacia las oscilaciones, ya sean amortiguadas o explosivas. Las variables de estado de una empresa podrían incluir el efectivo, el inventario y el pasivo de un período particular, así como también las ventas en algún período precedente y los gastos de propaganda para algún período futuro.

6.3.3 VARIABLES ENDOGENAS

Las variables endógenas son las dependientes o de salida del sistema y son generadas por la Interacción de las variables exógenas con las de estado, de acuerdo con las características de operación del último. Las variables endógenas de una industria comprenden la mano de obra total, los precios, las ventas y producción totales. El matrimonio, los hijos y el divorcio podrían incluirse como variables endógenas de un individuo.

El hecho de que una variable en particular esté clasificada como exógena, de estado o endógena, depende del propósito de la investigación. Por ejemplo, los ingresos nacionales serán considerados como una variable endógena en un modelo macroeconómico de un ciclo de negocios, aún cuando podrían tratarse

legítimamente como una variable exógena en los modelos microeconómicos concernientes a la predicción de la demanda de los productos de una empresa en particular.

6.4 ETAPAS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE SIMULACION

La experiencia sugiere que la planeación de experimentos de simulación requiera un proceso que conste de las etapas siguientes:⁽²²⁾

Definición del sistema o formulación del problema

Recolección y procesamiento de datos

Formulación del modelo

Evaluación del modelo

Implementación del modelo en la computadora

Validación

Experimentación

Interpretación

Documentación

El proceso para el desarrollo eficaz de un modelo de simulación empieza con un modelo sencillo que se va afinando de una manera evolutiva hasta satisfacer los requerimientos para resolver el problema. Una secuencia de cómo se presentan estos elementos o etapas, se observa en la figura 9 que se muestra a continuación:

⁽²²⁾ cfr. Naylor, Thomas H., Balintfy, Joseph L., et al, *Técnicas de simulación en computadoras*, México, Ed. Limusa-Wiley, 1971, p.37

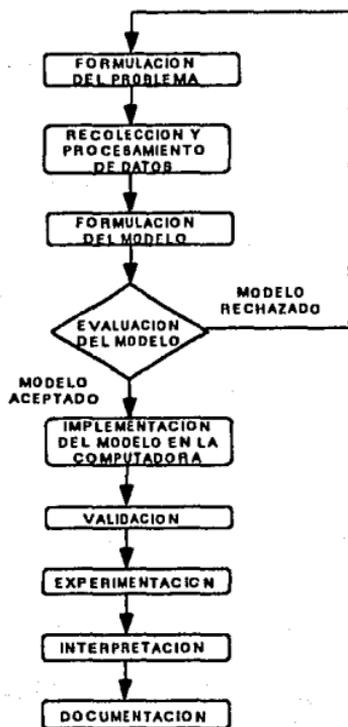


Figura 9

6.4.1 DEFINICION DEL SISTEMA O FORMULACION DEL PROBLEMA

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema y sus interrelaciones. Como en otras áreas de la investigación científica,

el estudio de la simulación en computadora debe de comenzar con el análisis del sistema y la formulación de un problema o con la declaración explícita de los objetivos del experimento. Es necesario definir claramente los objetivos de la investigación, antes de hacer cualquier intento encaminado a planear la realización de un experimento en simulación. Con toda seguridad, se encontrará que la exposición original del problema varía considerablemente de su versión final, ya que la formulación del problema es un proceso secuencial que generalmente requiere una reformulación continua y progresiva y un refinamiento de los objetivos del experimento durante su realización. Los objetivos de la investigación toman generalmente la forma de preguntas que deben contestarse, hipótesis que deben probarse y efectos por estimarse.

Si el objetivo del estudio de simulación es obtener respuestas a una o más preguntas, es necesario que se intente plantear éstas detalladamente desde el comienzo del experimento, aún cuando sea posible refinar las preguntas en el curso del experimento.

Por otro lado, el objetivo de los esfuerzos de investigación podrían consistir en probar una o más hipótesis relativas al comportamiento del sistema bajo estudio; es necesario que dichas hipótesis se planteen explícitamente, así como sus criterios para su aceptación o rechazo.

Finalmente, el objetivo podría consistir en estimar los efectos que ciertos cambios en los parámetros, las características operacionales o las variables exógenas, tengan sobre las variables endógenas del sistema.

Por consiguiente, deben tomarse dos decisiones importantes antes de comenzar a trabajar con cualquier experimento de simulación. En primer término, hay que decidir los objetivos de la investigación y en segundo lugar, es necesario decidir el conjunto de criterios para evaluar el grado de satisfacción al que deba sujetarse el experimento a fin de que cumpla los objetivos.

El papel que desempeña un gerente o líder de proyecto en esta etapa es crítico. En el Anexo 1 se puede observar a detalle la importancia que tiene el desempeño de un gerente en un modelo de simulación.

6.4.2 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos, y si no hay otro remedio por experimentación.

Existen ciertas razones por las cuales es necesario disponer de un sistema eficiente para el procesamiento de datos, que permita alcanzar el éxito al realizar los experimentos de simulación.

En primera instancia, la información descriptiva y cuantitativa (datos) referente al sistema constituye un requisito indispensable. En segundo, los datos

que hayan sido reducidos a una forma significativa pueden sugerir hipótesis de cierta validez. Como tercer punto, los datos también pueden sugerir mejoras o refinamientos en los modelos matemáticos. En cuarto, es necesario que los datos, reducidos a una forma final, se utilicen para estimar los parámetros de las características de operación relativas a las variables endógenas, exógenas y de estado del sistema. Finalmente, cabe considerar que sin tales datos, sería imposible probar la validez de un modelo de simulación.

Es posible detectar ciertas funciones importantes del procesamiento de datos que forman una parte integral del procedimiento para implantar los experimentos de simulación en computadora: recolección, almacenamiento, conversión, transmisión, manipulación y salida.

La recolección de datos es el proceso de captación de los hechos disponibles, con lo cual éstos pueden ser procesados posteriormente cuando sea necesario. En realidad, el proceso de recolección y el de almacenamiento ocurren simultáneamente, pues el primero implica que los datos sean o hayan sido almacenados. A menudo se ha demostrado que la recolección y almacenamiento de datos es sumamente costosa y laboriosa, pues comprende la identificación, revisión, edición, codificación (asignación de claves), transcripción y verificación de ellos.

La manera en la cual se almacenan durante la primera etapa del procesamiento no constituye, por lo general, la forma más eficiente que se debe emplear en las etapas posteriores; por esta razón, la conversión de los datos de una forma a otra tiene una función crucial en la determinación de la eficiencia

del procesamiento. Bajo ciertas circunstancias, existen problemas adicionales en la conversión de los datos de una forma a otra, que implican una transmisión de ellos, esto es, el transporte de la información desde una localidad hasta el lugar en donde es procesada.

Una vez que los datos han sido recolectados, almacenados, convertidos a una forma eficaz y transmitidos al lugar de procesamiento final, resulta posible entonces, comenzar con las operaciones de manipulación de datos y su preparación para su salida final. La etapa de manipulación requiere la realización de operaciones como las de clasificar, cotejar, intercalar, recuperar información y otras, como las operaciones aritméticas y lógicas. Estas operaciones se realizan con una computadora o sin ella, y depende de la cantidad de datos por manipular y la utilización que finalmente tengan.

6.4.3 FORMULACION DEL MODELO

Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo.

Una de las primeras consideraciones que se toman en cuenta en la formulación de un modelo matemático reside en saber cuántas variables se van a incluir en el modelo. Existe muy poca dificultad en lo referente a las variables endógenas o de salida del modelo, debido, por lo general, a que estas variables

se determinan al comenzar el experimento, cuando se formulan los objetivos del estudio. Obviamente, habrá un límite superior en el número de variables endógenas posibles de investigar en un sólo experimento de simulación, ya que el tamaño de la computadora disponible para el investigador impondrá necesariamente ciertas limitaciones relativas a este aspecto. Sin embargo, la dificultad real surge en la elección de las variables exógenas (algunas de las cuales pudieran ser estocásticas) que afectan a las variables endógenas. La existencia de muy pocas variables exógenas puede llevar a modelos inválidos, en tanto que una abundancia de ellas hace imposible la simulación en la computadora debido a la insuficiencia en la capacidad de su memoria, o bien complicar, de modo innecesario, los programas de computación.

La segunda consideración importante en la formulación de modelos matemáticos se refiere a la complejidad de los mismos. Por un lado, es posible argüir que los sistemas reales son en verdad muy complicados y que los modelos matemáticos que pretenden describir su comportamiento también tendrán que ser muy complicados. En cierto grado, estas afirmaciones resultan verdaderas, pero por otro lado, no se quisiera llegar al extremo de construir modelos tan complejos, independientemente de lo que sean, y requieran un tiempo irrazonable de computación. Por lo general, se interesa en la formulación de modelos matemáticos que produzcan descripciones o predicciones, razonablemente exactas, referentes al comportamiento de un sistema dado y reduzcan a la vez, el tiempo de computación y programación. No es posible acentuar la completa interdependencia de estas características en los modelos matemáticos, ya que tanto el número de variables en un modelo, como su

complejidad, se encuentran directamente relacionadas con los tiempos de programación, cómputo y validez.

Una tercera consideración estriba en el área de la eficiencia de computación. Entiéndase por ello, la cantidad de tiempo de cómputo requerida para lograr algún objetivo experimental específico. Quizá el interés radique en la reducción del tiempo de computación requerido para lograr algún nivel de precisión estadística previamente determinado.

El tiempo consumido en la programación de la computadora constituye una cuarta consideración al formular un modelo para simulación. El tiempo requerido para escribir un programa depende en parte del número de variables utilizadas en los modelos y de su complejidad. Si algunas de las variables utilizadas en el modelo son estocásticas por naturaleza, entonces el tiempo de programación debe equilibrarse con los aspectos de validez y velocidad de cálculo. Si el costo de comprar un software especializado para modelos de simulación no es cuantioso, se puede considerar esta opción y reducir los tiempos de programación.

La quinta y última área de interés en la construcción de modelos es la validez o la cantidad de realismo incorporado en ellos. Es decir, ¿el modelo describe adecuadamente al sistema de interés? ¿proporciona predicciones razonablemente buenas acerca del comportamiento del sistema, en períodos futuros? Si la respuesta a algunas de estas preguntas fuese negativa, entonces el valor del modelo se reducirá considerablemente y el experimento de simulación se convertirá sólo en un ejercicio de lógica deductiva.

Estas cinco consideraciones son propiedades deseables para los modelos, o por lo menos, un conjunto de factores que el constructor de modelos considere útil tomar en cuenta. Desafortunadamente, estas propiedades representan metas muy idealizadas que rara vez se cumplen al tratar con problemas del mundo real. Por esta razón, a continuación se enumerarán ciertas dificultades que se presentan en la elaboración de modelos. Primero, quizá sea imposible cuantificar o medir ciertos tipos de variables que afectan el comportamiento del sistema. Segundo, el número de variables por considerarse al describir un sistema dado, posiblemente exceda la capacidad de la computadora disponible. Tercero, se pueden desconocer algunas de las variables exógenas que afectan la salida del sistema. Cuarto, es posible que se desconozcan algunas de las relaciones entre las variables exógenas y las endógenas del sistema y sea, además imposible obtenerlas. Quinto, las relaciones entre las variables que afecten el comportamiento del sistema, son en muchos casos tan complejas que no pueden expresarse como una o más ecuaciones matemáticas.

6.4.4 EVALUACION DEL MODELO

Es necesario hacer un juicio del valor inicial de la suficiencia del modelo una vez que se formulan un conjunto de modelos matemáticos que describen el comportamiento de nuestro sistema. Es claro que serían pocos los beneficios que se obtendrían con la utilización de un modelo inadecuado para realizar experimentos de simulación en computadora, ya que se estaría solamente simulando nuestra propia ignorancia.

Este paso representa sólo la primera etapa en la prueba de un modelo de simulación previa a las corridas reales en la computadora, por lo que en este punto el interés reside en probar las suposiciones o entradas que se programarán en la computadora.

Entre las preguntas que interesa formular durante esta etapa del procedimiento, se encuentran las siguientes:

¿Se están incluyendo algunas variables que no sean pertinentes, en el sentido que contribuyen muy poco a la capacidad para predecir el comportamiento de las variables endógenas del sistema?

¿Se está omitiendo la inclusión de una o más variables exógenas que pudieran afectar el comportamiento de las variables endógenas en el sistema?

¿Se formularon incorrectamente una o más relaciones funcionales entre las variables endógenas y exógenas del sistema?

¿Cómo se comparan los valores teóricos de las variables endógenas del sistema con los valores históricos o reales basados en cálculos manuales? (ya que aún no se ha formula un programa para computadora)

6.4.5 IMPLEMENTACION DEL MODELO EN LA COMPUTADORA

Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje como Fortran, Basic y Pascal, o se utiliza algún paquete como GPSS, Micro Saint, Simfactory, Wolverine, Witness, Promodel, Simula, Simscript, etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.

Al escribir un programa de simulación para computadora, la primera etapa requiere la formulación de un diagrama de flujo que bosqueje la secuencia lógica de los eventos que realizará la computadora. En cuanto se tenga dicho diagrama, se deberá considerar entonces el problema de escribir el código para la computadora, que se utilizará en las corridas de los experimentos, para lo cual se dispondrá de las dos alternativas arriba mencionadas: escribir el programa en un lenguaje de propósitos generales o bien emplear uno de los lenguajes de simulación de propósitos especiales. El ahorro de tiempo de programación constituye la principal ventaja al utilizar un lenguaje de simulación de propósitos especiales ya que éstos fueron diseñados para facilitar la programación de ciertos tipos de sistemas. Este beneficio de reducción en tiempo de programación se contrapone con la reducción de flexibilidad en los modelos. Otra ventaja de los lenguajes de simulación de propósitos especiales, consiste en que usualmente proporcionan técnicas para la búsqueda de errores, las cuales son muy superiores a las provistas por el Fortran, Algol, Pascal, etc. Una ventaja extra de los simuladores especializados consiste en que proporcionan distribuciones de probabilidad conocidas, lo cual ahorra tiempo de programación.

La clase de reportes de salida, necesarios para dar la información relativa al comportamiento del sistema en cuestión, constituye una consideración final en el desarrollo de un programa de computadora para el experimento de simulación. Si se utiliza un lenguaje de propósitos generales, existirá un mínimo de restricciones impuestas sobre el formato de los reportes de salida. Sin embargo, si se emplea un lenguaje de propósitos especiales, se deberá ajustar a los requisitos en el formato de salida impuesto por el lenguaje.

6.4.6 VALIDACION

Una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación.

A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son:

- 1.- La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
- 2.- La exactitud con que se predicen datos históricos. ¿qué tan bien coinciden los valores simulados de las variables endógenas con datos históricos conocidos, si es que éstos están disponibles?
- 3.- La exactitud en la predicción del futuro. ¿qué tan exactas son las predicciones del comportamiento del sistema real hechas por el modelo de simulación, para períodos futuros (de tiempo)?
- 4.- La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
- 5.- La aceptación y confianza, en el modelo, de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

6.4.7 EXPERIMENTACION

La experimentación con el modelo se realiza después de que éste ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos. Se pueden programar prioritariamente diferentes corridas (modificando algunas variables exógenas) para obtener primeramente los resultados (variables endógenas) más importantes y significativos para posteriormente analizar los resultados secundarios.

6.4.8 INTERPRETACION

En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener mejores resultados.

6.4.9 DOCUMENTACION

Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación:

La primera se refiere a la documentación del tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de Procesamiento de Datos debe tener del modelo.

La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una terminal de computadora.

6.5 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACION

Puesto que la simulación está basada fuertemente en la teoría de probabilidad y estadística, en matemáticas, en ciencias computacionales, etc.,

es conveniente decir algunas ideas de cómo intervienen estas áreas en el desarrollo y formulación del modelo de simulación.

6.5.1 GENERACION DE VARIABLES ALEATORIAS NO-UNIFORMES

Si el modelo de simulación es estocástico, la simulación debe de ser capaz de generar variables aleatorias no-uniformes de distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas. Lo anterior puede ser obtenido si se cuenta con un generador de números uniformes y una función que transforme estos números en valores de la distribución de probabilidad deseada. A este respecto, se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes como: la distribución normal, la distribución exponencial, la distribución Poisson, la distribución Erlang, la distribución binomial, la distribución gamma, la distribución beta, la distribución F, la distribución t.

6.5.2 LENGUAJES DE PROGRAMACION

Una vez que se tiene definido el sistema, llega el momento de describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora que se va a usar. En esta etapa se tienen dos cursos de acción: desarrollar el software requerido para estudios de simulación, o comprar software. En el Anexo 2 se muestran algunas características para evaluar un lenguaje de simulación.

6.5.3 CONDICIONES INICIALES

La mayoría de los modelos de simulación estocástica se corren con la idea de estudiar al sistema en una situación de estado estable. Sin embargo, la

mayoría de estos modelos presentan en su etapa inicial estados transientes los cuales no son típicos del estado estable. Por consiguiente es necesario establecer claramente las alternativas o cursos de acción que existen para resolver este problema. Algunos autores piensan que la forma de atacar este problema sería a través de :

- Usar un tiempo de corrida lo suficientemente grande de modo que los periodos transientes sean relativamente insignificantes con respecto a la condición de estado estable.
- Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida.
- Utilizar simulación regenerativa.

6.5.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Uno de los factores principales a considerar en un estudio de simulación es el tamaño de la muestra (número de corridas en la computadora). La selección de un tamaño de muestra apropiado que asegure un nivel deseado de precisión y a la vez minimice el costo de operación del modelo, es un problema algo difícil pero muy importante. Puesto que la información proporcionada por el experimento de simulación sería la base para decidir con respecto a la operación del sistema real, esta información deberá ser tan exacta como sea posible o al menos el grado de imprecisión presente en la información proporcionada por el modelo debe ser conocida. Por consiguiente, es necesario que un análisis estadístico sea realizado para determinar el tamaño de muestra requerido.

El tamaño de muestra puede ser obtenido de dos maneras:

- 1.- Previa e independientemente de la operación del modelo, o
- 2.- Durante la operación del modelo y basado en los resultados arrojados por el modelo.

6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LA SIMULACION

Aunque la técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. "Además de las razones antes mencionadas, Thomas H. Naylor ha sugerido que un estudio de simulación es muy recomendable porque presenta las siguientes ventajas:"⁽²³⁾

- A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencias del sistema.

⁽²³⁾ cfr. Coos, op.cit., n(18), p17

- La técnica de operación puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar habilidades básicas en análisis estadístico, análisis teórico, etc.
- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- La técnica de simulación puede ser usada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- La técnica de simulación se puede utilizar también para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener también una buena representación de un sistema, y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.

Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser utilizada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.

- La experiencia que se adquiere al diseñar un modelo de simulación en una computadora, puede ser más valiosa que la simulación en sí misma. El conocimiento que se obtiene al diseñar un estudio de simulación sugiere, frecuentemente, cambios en el sistema en cuestión. Los efectos de estos cambios pueden probarse, entonces, a través de la simulación, antes de implementarlos en el sistema real.
- Las simulaciones son valiosas algunas veces, ya que proporcionan una forma conveniente de dividir un sistema complicado en subsistemas,

cualquiera de los cuales puede ser modelado por un analista o un equipo de expertos en esa área.

- La simulación puede servir como una prueba de *preservicio* para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema, antes de implementarlo en el sistema real.

"Los modelos de simulación permiten hacer inferencias sobre los sistemas. Sin construirlos, si éstos son sólo sistemas propuestos. Sin alterarlos, si éstos son sistemas operativos costosos e inseguros para experimentar con ellos. Sin destruirlos, si el objetivo es determinar sus límites de agotamiento."⁽²⁴⁾

A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta el problema de requerir equipo computacional y recursos humanos costosos. Además, generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado. Finalmente, es posible que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y esto crea dificultad en vender la idea.

Es posible definir el modelo como una abstracción de algún sistema real, que tiene la posibilidad de emplearse para propósitos de predicción y control. El objeto del modelo es permitir al analista la determinación de uno o más cambios en los aspectos del sistema modelado que afectan otros aspectos del sistema o inclusive la totalidad del sistema. Para que un modelo sea útil, debe necesariamente incorporar elementos de dos atributos en conflicto: realismo y simplicidad. Por un lado, el modelo ha de servir como una aproximación

⁽²⁴⁾ cf. Salvendy, Gabriel, Biblioteca del ingeniero industrial, México, Ed. Ciencia y Técnica, 1990, vol. 7, p. 1179

razonable al sistema real y debe incorporar la mayor parte de los aspectos importantes de éste; por otro lado, no es conveniente que el modelo resulte tan complejo y resulte imposible entenderlo o manipularlo. Desafortunadamente, los modelos realistas rara vez son simples y éstos rara vez son realistas.

6.7 EJEMPLOS DE USOS DE SIMULACION

Las aplicaciones de la simulación por computadora se han incrementado rápidamente en los últimos años. Investigaciones realizadas por expertos en la materia indican que la simulación y la estadística son las técnicas cuantitativas que se usan más ampliamente en el gobierno y en la industria. El desarrollo continuo de lenguajes de simulación han constituido un importante factor en esta expansión. Otro factor importante es la flexibilidad del modelado de simulación si se compara, por ejemplo, con las restricciones estructurales impuestas por una formulación de programación matemática de un problema. Aún cuando se puede aplicar un modelo analítico a un problema, la simulación se suele usar para estudiar las implicaciones prácticas de los supuestos fundamentales en el modelo analítico.

Algunas de las aplicaciones de la simulación son:

- Operaciones de fabricación

 - Diseño de planta

 - Mejoramiento de la productividad

 - Asignación de fuerza de trabajo

 - Fabricación auxiliada por computadora

 - Programación

 - Manejo de materiales

- Sistemas de transporte

Programación y trazo de rutas

Control de tráfico aéreo

Operaciones aéreas militares

- Planeación y control de proyectos

Planeación de producto

Mercadeo

Investigación y desarrollo

Construcción

- Planeación financiera

Análisis de flujo de caja

Modelos corporativos

- Estudios ambientales y ecológicos

Control de ríos

Control de contaminación

Flujos de energía

Control de insectos

Agricultura

Sistemas de atención de la salud

Planeación de hospitales

Planeación de fuerza de trabajo

Manejo de inventario

En el siguiente capítulo se analizarán a detalle cada uno de los puntos necesarios para desarrollar un modelo de simulación, aplicado al caso de Gesamex. Posteriormente se mostrarán unas gráficas en donde se resumen los resultados obtenidos con los ejercicios de simulación.

CAPITULO VII

DESARROLLO DEL MODELO

7.1 USO DE LA SIMULACION

La decisión de utilizar la simulación como herramienta para la solución de este problema, se basó en los siguientes aspectos:

- 1.- La existencia dentro de la empresa de un paquete de computación especial para el desarrollo de modelos de simulación.
- 2.- La existencia del equipo de cómputo necesario para el desarrollo y corridas del modelo.
- 3.- La existencia del personal calificado para desarrollar el modelo: desde la recolección y procesamiento de datos hasta la interpretación y documentación de los datos de salida.
- 4.- Obtener las ventajas que un modelo de simulación ofrece, principalmente dar respuesta a preguntas del tipo " ¿qué pasaría si...?"
- 5.- Aprovechar los beneficios que el paquete de simulación ofrece, como las distintas distribuciones de probabilidad que vienen pre-definidas, la generación automática de números al azar, etc.

Se pensó que el uso de la simulación, en el problema de simulación, era aplicable, ya que podría arrojar una respuesta satisfactoria al problema en

cuestión; que el costo del proyecto no sería elevado y que se podía lograr un modelo con un nivel de simplicidad adecuado.

7.2 ELABORACION DEL MODELO

A continuación se analizará a detalle cada uno de los pasos que se realizaron para la elaboración del modelo de simulación de la empresa Gesamex.

7.2.1 DEFINICION DEL SISTEMA O FORMULACION DEL PROBLEMA

Determinar la capacidad de almacenamiento requerida para inventariar la goma y el sillón (número y tamaño de tanques de almacenamiento), y la capacidad requerida para almacenar la pasta (número y tamaño de tanques) así como la localización de los mismos (en cual de las dos plantas instalarlos). Este punto en cuestión se presentó a detalle en el capítulo referente a situación problemática.

7.2.2 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

La recolección de datos se obtuvo de muy diversas fuentes, las cuales se mencionan a continuación:

- Diferentes marcas de productos que Gesamex produce y que emplean pasta como materia prima: Gerente de Producción.
- Factor de uso de pasta para cada marca: Gerente de Desarrollo de Productos.
- Capacidad de producción para cada marca: Gerente de Producción.

- Capacidad productiva de pasta: Proveedor de la planta de pasta.
- Factor de uso de goma para la elaboración de pasta: Proveedor de la planta de pasta.
- Factor de uso de silicón para la elaboración de pasta: Proveedor de la planta de pasta.
- Historia de producción de cada marca de los últimos 6 años: Gerente de Planeación de Producción.
- Eficiencia garantizada de la planta productora de pasta: Proveedor de la planta de pasta.
- Ubicación de la planta de pasta: Gerente del proyecto.
- Proveedores de goma y silicón: Gerente de Compras.
- Tiempo de tráfico (flete) de la goma, el silicón y la pasta: Gerente de Tráfico.
- Fecha de arranque de la planta productora de pasta: Gerente del proyecto.
- Fechas de mantenimiento programado para la planta principal: Gerente de Mantenimiento.
- Días de paro debido a días festivos: Departamento de Personal.
- Confiabilidad en el suministro de goma y silicón: Departamento de Compras y de Tráfico.
- Medios de transporte para goma, silicón y pasta: Departamento de Ingeniería.
- Capacidad de los medios de transporte: Departamento de Tráfico.

La recolección de estos datos tardó entre un mes y un mes y medio, ya que no toda la información se tenía a la mano, y parte de ésta se tuvo que generar; por ejemplo, el Departamento de Ingeniería tuvo que determinar bajo qué condiciones se debían transportar estos materiales, pasando después al

Departamento de Tráfico para determinar los tiempos de transporte, dependiendo de la localización del proveedor y del medio utilizado.

A medida que se fue recolectando la información, ésta se iba guardando en una carpeta especial para el desarrollo del modelo. En este caso, toda la información podía ser puesta en papel. Hubo ciertos datos (historia de producción de cada marca para los últimos cinco años) que se recibió la información en discos de computación, los cuales fueron impresos en hojas para su registro y mejor visualización. A cierta información se le transformó a los formatos adecuados y en las unidades deseadas para su uso posterior.

Cabe mencionar, que a partir de cierta información que se recolectó, se generó más información útil para el desarrollo del modelo. Por ejemplo, de la historia de producción por marca se generaron pronósticos de producción, que a su vez, junto con el factor de uso de pasta para cada marca, se generó un pronóstico de uso de pasta para el año del arranque de la planta. Otro caso fue que a partir de la capacidad de transporte de cada unidad y de la demanda de pasta pronosticada, se obtuvo el número de unidades de transporte que se requerirán al día para transportar la pasta a la planta principal. Los tiempos de entrega de los proveedores y la demanda diaria de goma y silicón permite saber cuántas unidades de transporte tienen que estar disponibles para contar con los materiales a tiempo.

De este modo, la información se fue recolectando, almacenando, convirtiendo y manipulando para tener los datos necesarios para la formulación del modelo.

7.2.3 FORMULACION DEL MODELO

Para la formulación del modelo, primero se definen cuáles serán las variables exógenas, de estado y endógenas.

Variables exógenas:

- Eficiencia de la planta: esta es una variable estocástica. El proveedor de la planta asegura como mínimo un 90% de eficiencia; sin embargo, ésta puede ser mayor. Esta variable tendrá una distribución rectangular que oscile entre 90% y 95% de eficiencia. No tiene unidades y se llamará *effic*.
- Disminución de capacidad de producción de la planta: esta variable tiene como función disminuir la utilización de la planta cuando los tanques de almacenamiento de pasta estén casi llenos. Esta variable puede tomar valores de entre 50% y 100%. Tomará su valor cada día dependiendo de una condición previamente definida (al inicio de cada corrida): cuando el nivel de pasta de los tanques de almacenamiento alcance cierto nivel superior, se autoejecutará esta variable tomando un valor antes definido (entre 50% y 90%); si el nivel es intermedio o inferior, su valor será igual a 1 y no afectará a la producción diaria de pasta. Se llamará *derate*.
- Capacidad diaria para producir pasta: el diseño de la planta es de 18 ton/hr, por lo que su capacidad diaria será:
$$18(\text{ton/hr}) * 24(\text{hr/día}) * \text{eficiencia de la planta} * \text{derate de la planta.}$$
Las unidades quedan en ton/hr. A esta variable se le denominará *pd*.
- Demanda de pasta: es una variable estocástica, ya que dependiendo del mes en cuestión, generará bajo una distribución normal, un valor de pasta demandada. Este valor se respalda en los datos históricos de producción y su proyección a futuro. Se llamará *dempa*.

- Confiabilidad de la llegada de goma: esta variable estocástica indicará el número de pipas de goma que llegan diariamente a la planta de pasta. Se basa en el historial del proveedor y la cantidad de pipas requeridas. Se llamará *legom*.
- Confiabilidad de la llegada de silicón: esta variable estocástica indicará el número de pipas de silicón que llegan diariamente a la planta de pasta. Se basa en el historial del proveedor y la cantidad de pipas requeridas. Se llamará *lesil*.
- Probabilidad de falla mecánica: es una variable estocástica que se activará con cierto nivel de probabilidad (se tomará la experiencia de la planta original). Cuando se activa, se considera que la planta de pasta sufrió alguna avería y que no hubo producción por cierto número de horas (definido al principio de cada corrida), aunque la demanda diaria de pasta sigue existiendo. Se llamará *falla*.

Variables de Estado:

- Demanda de goma: directamente en función de la producción diaria de pasta. Se llamará *demgom*.
- Demanda de silicón: directamente en función de la producción diaria de pasta. Se llamará *demsil*.
- Contador de días: sirve para llevar un orden lógico en el tiempo. En base a esta variable, se sabe el estado del sistema, es decir, si es día festivo, si hubo mantenimiento programado, el nivel de inventarios, etc. Se llamará *n*.
- Banderas: son variables de comparación que sirven para guiar al programa, es decir, compara y decide que instrucción hay que seguir. Se llamarán *flag1, flag2...*

Variables Endógenas:

- Nivel de inventario de pasta: en esta variable se fotografía día con día el nivel de los tanques de almacenamiento de pasta. La fórmula que la rige es la siguiente:

nivel de pasta del día anterior + producción del día - demanda del día.

Se llamará *nip*.

- Nivel de inventario de goma: en esta variable se fotografía día con día el nivel de los tanques de almacenamiento de goma. La fórmula que la rige es la siguiente:

nivel de goma del día anterior + llegada del día - demanda del día.

Se llamará *nig*.

- Nivel de inventario de silicón: en esta variable se fotografía día con día el nivel de los tanques de almacenamiento de silicón. La fórmula que la rige es la siguiente:

nivel de silicón del día anterior + llegada del día - demanda del día.

Se llamará *nis*.

Se podrían incluir muchas otras variables; sin embargo, uno de los aspectos importantes a considerar en la formulación de un modelo de simulación es cierto nivel de simplicidad, ya que poner demasiadas variables endógenas podría complicar mucho el modelo, mientras que demasiadas variables exógenas pudieran causar tiempos de procesos de computación muy largos, lo cual repercutiría finalmente en costos.

La complejidad de este modelo no es muy grande. Está considerando las variables que se piensa son claves para el desarrollo del modelo. Quizá se

podiera llegar al detalle de qué pasa en ambas plantas durante cada hora, sin embargo, esto llevaría a una complejidad extrema que dificultaría enormemente el desarrollo del modelo y, también aumentaría los tiempos de computación requeridos, tanto de programación, de corridas y de interpretación y documentación.

La cantidad de realismo que se está incorporando al modelo es adecuada, ya que en éste se están incorporando todos los elementos que se consideran críticos para la valoración del modelo. La manera en que se determinó qué elementos deberían de intervenir en el modelo fue muy sencilla: se imaginó cómo sería la operación en la vida real, tomando en cuenta todas las variables que en la realidad aparecen con mayor frecuencia. Algunas de las variables que se desecharon fueron: posibilidad de huelga, falta de suministro de materias primas por un período prolongado, siniestros (temblor, incendio, inundación), que aunque son situaciones que se pueden presentar, difícilmente ocurrirán y de tomarse en cuenta dentro del modelo, complicarían mucho su elaboración.

La manera de hacer interactuar a estas variables no fue un proceso tan sencillo, ya que éstas deberían de aparecer dentro del modelo en determinadas circunstancias y en determinado tiempo; finalmente, tras varios intentos, se llegó al diagrama de flujo mostrado en la figura 10.

7.2.4 EVALUACION DEL MODELO

Esta parte va muy ligada al punto anterior, ya que es aquí donde realmente nos cuestionamos la existencia o carencia de ciertas variables determinantes

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE SIMULACION

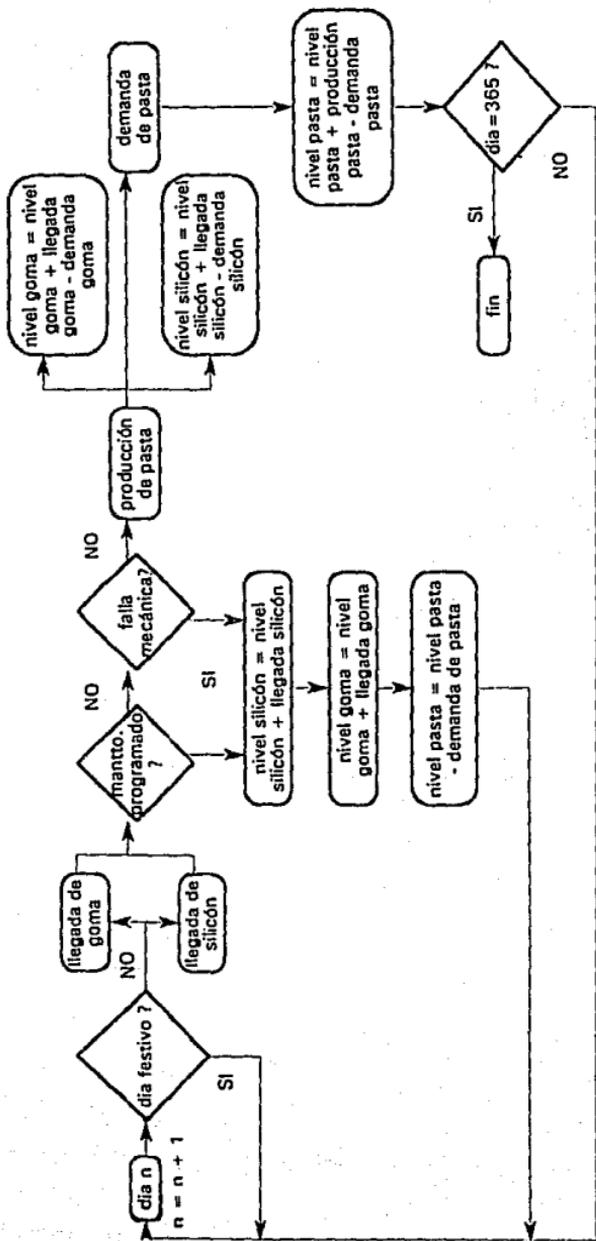


Figura 10

para el modelo. Precisamente, en este punto se tomó la decisión de no entrar al detalle de estudiar hora con hora lo que sucedía en las plantas, y se decidió hacer esto día por día durante los 365 días de cada año.

En esta etapa también se incluyó una variable que hasta entonces no había sido considerada en el modelo: la posibilidad de fallas mecánicas. Aquí, el gerente de producción de la planta de producto terminado colaboró activamente, ya que se le presentó el modelo, lo analizó y consideró pertinente que se incluyera esta nueva variable.

Además, se pudo comprobar en esta etapa que las relaciones entre las variables era adecuada, ya que se hicieron unos cálculos manuales y se llegaron a resultados reales corroborados por gente de gran experiencia dentro Gesamex.

7.2.5 IMPLEMENTACION DEL MODELO EN LA COMPUTADORA

Para la implementación del modelo en la computadora, se contó con un paquete de simulación de propósitos especiales (Micro Saint Simulation Software). Este paquete cuenta con varias ventajas: generación de números aleatorios; tiene integrado un módulo de generación de funciones de distribución, tales como la distribución normal, la exponencial, la rectangular, la distribución gamma, la binomial y la poisson; tiene la opción de usar datos de hojas de cálculo como Lotus 123; su velocidad de procesamiento es mayor que los lenguajes de propósitos generales; su aprendizaje es fácil y rápido y su programación es dinámica y flexible. Gesamex poseía ya este paquete, por lo que se aprovechó para este caso en específico. Lo primero que se hizo fue

aprender a usar e interpretar este paquete. Se estudió a fondo el manual del usuario para conocer qué tipo de operaciones e interacciones se podían tener y saber todas las ventajas que este paquete presentaba contra un lenguaje de propósitos generales. El estudio del paquete de simulación duró aproximadamente entre 20 y 25 días, pero se consideró que este tiempo podría ser fácilmente recuperado al momento de elaborar nuevos modelos de simulación.

Una vez entendido el manejo del software, se empezó la programación del modelo. Esta etapa llevó aproximadamente 20 días.

Se empezaron a hacer las primeras corridas, pero se presentó un problema relacionado con los formatos de salida que impone el paquete. Se trabajó sobre estos formatos y finalmente se consiguió un formato gráfico que permite interpretar las variables endógenas. Son gráficas que representan el nivel de inventarios de los materiales en cuestión, día con día (365 días), el número de años deseados.

El Anexo III muestra un listado de cómo está estructurado este programa de simulación para el caso en cuestión. El listado está en el lenguaje del paquete y está impreso directamente del software de simulación.

7.2.6 VALIDACION DEL MODELO

En el desarrollo de este modelo, se siguieron varias formas de validación:

- Seguimiento paso a paso: el paquete de simulación tiene una opción de seguimiento paso a paso. Esta opción permite observar cómo se van alterando

o cómo interactúan las variables, verificar si se cumplen condicionamientos, enlaces lógicos, etc.

- La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema: el procedimiento que se siguió fué muy sencillo. Se dió como dato de entrada un consumo exagerado de pasta durante un mes del año simulado. La gráfica de resultados mostró que el nivel de inventario de pasta descendía bruscamente durante este período, tomando valores abajo de cero, y posterior a este período, se volvía a estabilizar la curva. Esto se probó para todos los meses y se observaba el mismo comportamiento. También se hizo la operación inversa, es decir, se puso una producción de pasta muy elevada para cierto período de tiempo y se observó el mismo fenómeno, pero a la inversa (nivel de inventario de pasta muy elevado).
- Posicionamiento de banderas: se colocaron dentro del lenguaje de programación ciertas condiciones en las cuales, cuando cierta función u operación se realizaba, arrojaba una señal indicando que se había efectuado.
- La exactitud en la predicción del futuro: aquí se puso como entrada las cantidades de los diferentes productos que se tenían que producir a lo largo del año. Teniendo este dato y su uso de pasta, al final de cada año se comprobó que efectivamente se había producido esa cantidad.
- Aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados arrojados: se presentó el modelo al Gerente del Proyecto y después de analizar paso a paso el desarrollo del modelo, aceptó el funcionamiento del mismo y la validez de los resultados que arroja.

7.2.7 EXPERIMENTACION

Una vez validado el modelo, se procede a experimentar, que no es otra cosa que realizar análisis de sensibilidad. El análisis de sensibilidad consiste en ir jugando con el valor de las variables exógenas y ver cómo impactan en los resultados finales. Durante esta etapa, se jugó con las siguientes variables:

- Eficiencia de la planta de pasta: el objetivo fue determinar cuál es la eficiencia mínima permisible para evitar parar la planta de producto terminado.
- Probabilidad de falla mecánica en la planta de pasta: el objetivo fue detectar cuántas fallas mecánicas se podían tener como máximo durante cierto período de tiempo. Esto sirvió para que en su momento se ponga el énfasis necesario para no sobrepasar ese límite.
- Número de días de mantenimiento programado: al igual que el punto anterior, se detectó con cuántos días se disponía para realizar este tipo de operaciones de mantenimiento.
- Demanda de pasta: este análisis fue muy importante, ya que permitió conocer cual es la verdadera capacidad productiva de la planta.
- Confiabilidad en el suministro de materia prima (goma y silicón): sirvió para ver como impactaba a los niveles de inventario de éstos materiales una mayor o menor confiabilidad de suministro de materiales.
- Disminución de la capacidad de la planta de pasta: jugar con estas variables permitió saber en qué niveles de inventario existentes era necesario disminuir la utilización de la planta de pasta.
- Capacidad máxima de almacenamiento de goma, silicón y pasta: estas variables son finalmente los resultados que se quieren obtener. Dependiendo de esta capacidad máxima de almacenamiento para cada uno de los materiales

se tendrá mayor, menor o nula posibilidad de parar cualquiera de las dos plantas.

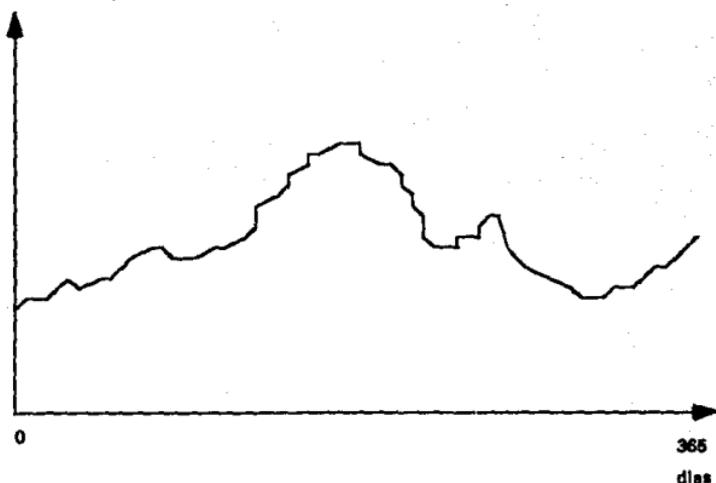
Se observó como impactaban cada una de estas variables en el modelo. Sin embargo, muchas de estas variables no dependen de Gesamex, ya que son variables que suceden en el mundo real y que no siempre se pueden cambiar. Por ejemplo, aumentar la confiabilidad de suministro de materia prima no depende directamente de Gesamex, y hacerlo le podría costar mucho dinero. Otras variables, como la eficiencia de la planta, una demanda de pasta más constante, etc. son factores que se pudieran mejorar, pero que son muy difíciles de conseguir y tardan por lo general mucho tiempo.

Por lo tanto, en las variables en que sí se puede influir directamente, es en la capacidad máxima de almacenamiento para cada material, que es el estudio en cuestión de la presente tesis.

7.2.8 INTERPRETACION

Esta etapa del desarrollo va muy ligada a la etapa de experimentación, en la cual se hicieron varias corridas del modelo, cambiando el valor de ciertos parámetros. Para cada una de las corridas de la etapa de experimentación se obtuvo una gráfica (en pantalla o en impresión) y se interpretaba. Para conocer cual es el formato de estas gráficas, veamos la gráfica 5.

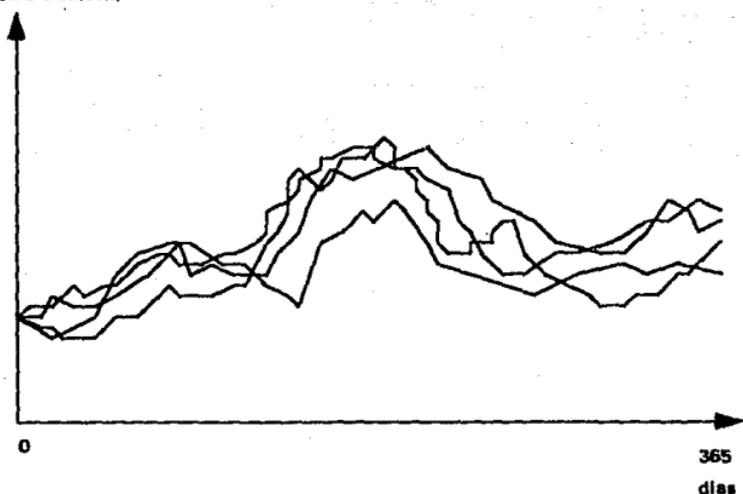
toneladas de material
(pasta, goma o silicón)



Gráfica 5

En esta gráfica se observa la cantidad de material (pasta, goma o silicón) que se tuvo en inventario a lo largo de un año. Sin embargo, un año no es representativo ya que existen demasiadas variables en juego dentro del modelo que pudieran cambiar el panorama de un año a otro. Se efectuaron corridas que presentaban las mismas condiciones para cada año (con la variabilidad natural del modelo) para un número determinado de años. Como ejemplo, ver la gráfica 6.

toneladas de material
(pasta, goma o silicón)



Gráfica 6

Cada una de estas curvas representa una año simulado. En este tipo de gráficas es importante analizar las tendencias y los picos que se presentan. Cuando se presenta una curva descendente quiere decir que la demanda de pasta en esos días en particular es mayor que la capacidad de producción de pasta, o que la planta de pasta tuvo alguna falla mecánica por algún tiempo. Por el contrario, un incremento en alguna curva significa que se está produciendo más pasta que la que se demanda o que la planta de producto terminado tiene algún problema de producción. Si se encontrara alguna curva con pendiente cero es debido a que la demanda de pasta es igual a la producción de pasta o que ambas plantas están sin operar (días festivos, mantenimientos).

7.2.9 DOCUMENTACION

En el presente estudio se elaboró una carpeta con toda la información que se generó, con su correspondiente análisis e interpretación y con las conclusiones a que se llegaron. Se identificó y archivó esta carpeta. El resumen de los resultados obtenidos se presentan a continuación.

7.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Para cada uno de los posibles escenarios se corrieron un total de 50 años simulados. Por ejemplo, si se considera que la capacidad total de almacenamiento de goma fueran 3,000 toneladas y se cambia esta variable a un valor de 2,500 toneladas, se dice que se está cambiando de escenario; para cada uno de los diferentes escenarios que se crearon se simularon 50 años. El número total de escenarios diferentes fueron 441, lo cual nos da un gran total de 22,050 años de operación simulados. El hecho de presentar estos 22,050 años en gráficas individuales sería poco práctico y muy difícil de analizar; se prepararon gráficas que agrupan estas simulaciones a manera de análisis de sensibilidad para poder analizar mejor cómo se comporta el sistema. A continuación se presentan los resultados de este estudio.

Para el análisis de producción y demanda de pasta, se comparó el nivel de servicio que la planta de pasta brinda a la planta de producto terminado contra la eficiencia global de operación con que trabaja la planta de pasta. Se dice un nivel de servicio de 100% cuando la planta de producto terminado siempre

contó con el suministro de pasta para su producción diaria a lo largo de todo el año.

En la gráfica 7 se observa cuál fue el nivel de servicio y la manera directa en que afecta el nivel de producción de la planta de pasta. Se tiene la experiencia por parte del licenciador de la planta de pasta que la producción de diseño siempre es superada por algunos cuantos puntos porcentuales; además, el vendedor debe de tener cierto colchón de seguridad para cumplir con la capacidad de producción que está ofreciendo. En esta gráfica, se mantuvo una capacidad de inventario de pasta de 2,000 toneladas, con un inventario inicial de 305 toneladas (aproximadamente 1 día de inventario), con una demanda de pasta anualizada equivalente a 47 millones de UPT's.

Es importante destacar que a medida que se tiene una capacidad productiva mayor, el nivel de servicio aumenta considerablemente. De allí el cuidado que se deberá tener para no permitir que la eficiencia global de producción de pasta baje por períodos prolongados o que baje precipitadamente.

En la gráfica 8, lo que se cambia es la capacidad de almacenamiento de pasta: 2,000 - 2,500 - 3,000 y 4,000 toneladas, variable crítica para nuestro análisis. Este escenario considera una producción de pasta de 18 ton/hr y un inventario inicial de 305 toneladas. Se puede observar que de 3,000 a 4,000 toneladas de capacidad de almacenamiento no existe prácticamente ninguna diferencia, lo que da a entender que para este escenario no tiene ningún sentido tener una capacidad de almacenamiento sobrada. Teniendo una capacidad de 2,000 toneladas y cumpliendo con un 91% de eficiencia global de producción

de pasta, se garantiza un 100% de nivel de servicio. El vendedor (licenciador) de la planta de pasta garantiza al menos un 95% de eficiencia de producción, bajo ciertas especificaciones y condiciones de operación.

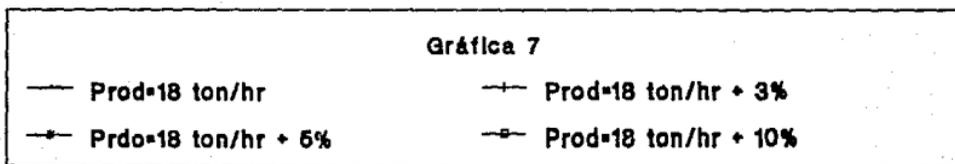
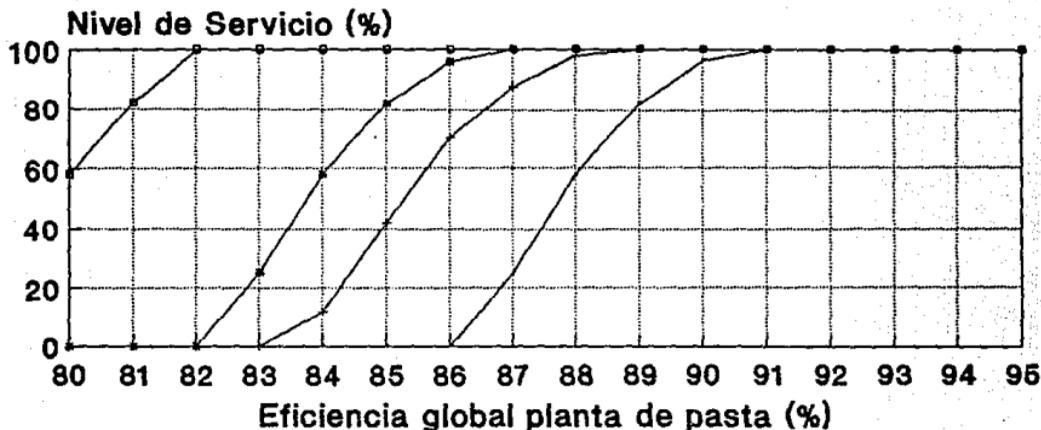
El hecho de subir la capacidad de almacenamiento de 2,000 a 2,500 toneladas brinda un beneficio de 2 puntos porcentuales de eficiencia global; éstos no justifican la inversión de aumentar en 500 toneladas la capacidad total de almacenamiento de pasta. Con este mismo escenario, se detectó que para una capacidad de almacenamiento infinita, la curva de nivel de servicio empezaba a decrecer en el punto de 86% de eficiencia, lo cual dice que para este sistema existe un punto de capacidad de almacenamiento ideal localizado entre el rango de 2,000 y 3,000 toneladas. También se pudo detectar que la planta de pasta puede soportar la demanda de pasta equivalente a 49 millones de UPT's, con un nivel de servicio de 100% y con rango de variaciones de demanda controlado; para 50 millones de UPT's, la curva de nivel de servicio cae considerablemente.

En la gráfica 9 se observa cómo afecta al sistema el hecho de tener una demanda de pasta con grandes variaciones. Se detecta que si la demanda no sufre variaciones fuertes, el sistema tendrá un mejor nivel de servicio; a medida que existan mayores variaciones, el nivel de servicio se ve afectado negativamente. Esta variable puede ser controlada por Gesamex, ya que está relacionada directamente con la planeación de producción.

En las gráficas 10, 11 y 12 la variable en cuestión es el estado del nivel de inventario inicial. En las 3 gráficas se puede observar que las curvas se comportan de manera muy similar y que el impacto sobre el sistema es mínimo.

ANALISIS DE PRODUCCION DE PASTA

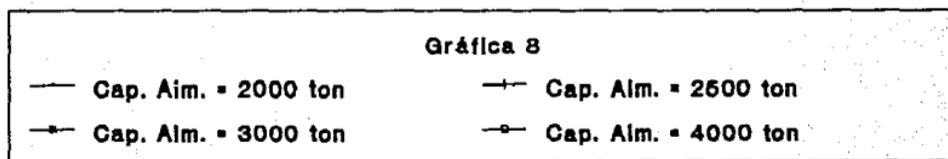
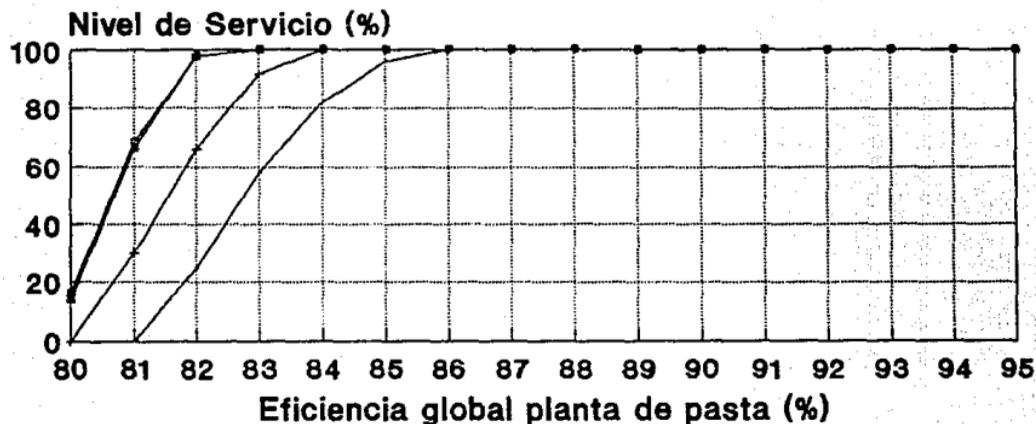
BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



Capacidad de Almacenamiento = 2000 ton.
Inventario Inicial = 305 ton. (1 día)
50 simulaciones por escenario

ANALISIS DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

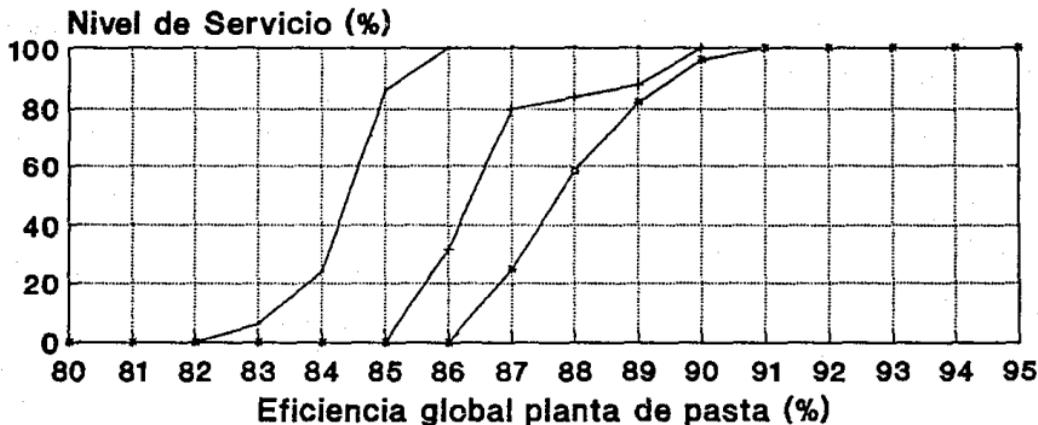
BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



Capacidad de Producción = 18 ton/hr.
Inventario Inicial = 305 ton. (1 día)
50 simulaciones por escenario

ANALISIS DE VARIACIONES DE DEMANDA

BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



Gráfica 9

— 0 % de variaciones

—+ 10% de variaciones

—■ 50% de variaciones

Capacidad de Producción = 18 ton/hr.
Capacidad de Almacenamiento = 2000 ton.
50 simulaciones por escenario

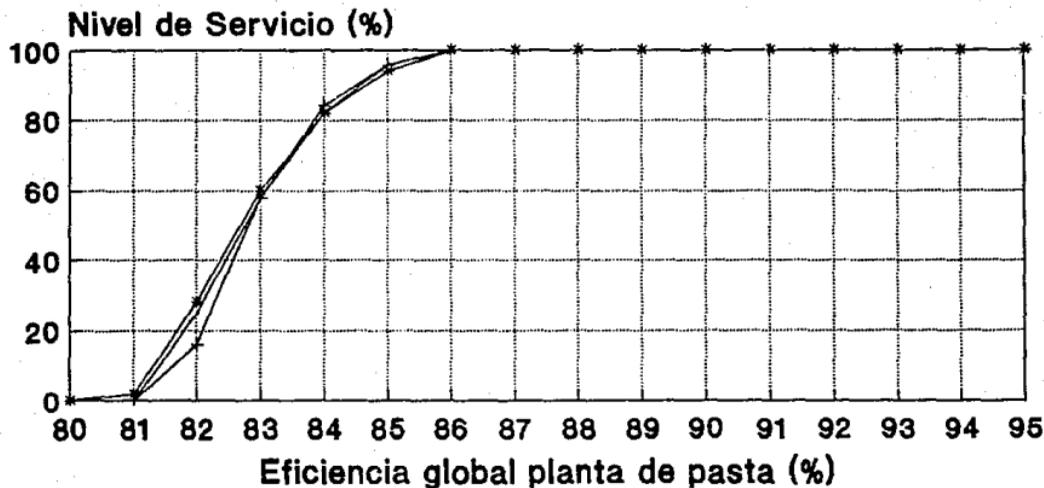
Se puede intuir que el nivel de inventario inicial no es una variable a la cual le debamos de prestar un cuidado especial.

Un dato que cambia con respecto a las 3 gráficas es la capacidad de almacenamiento de pasta (2,000 - 2,500 y 3,000 toneladas respectivamente a las gráficas 10, 11 y 12). Vemos que las ventajas encontradas con el hecho de incrementar en 500 y 1,000 toneladas la capacidad de almacenamiento no son grandes, ya que solo se ganan cuando más 3 puntos porcentuales de la eficiencia global (de 91% a 88%).

Conforme se fue desarrollando el proyecto de la nueva planta, se veían más ventajas al hecho de que los tanques de almacenamiento de pasta fueran de capacidades cercanas a las 500 toneladas. Una consideración importante que se estableció desde el principio del estudio fue la existencia de al menos dos tanques de almacenamiento por cada material (goma, silicón y pasta) con propósitos de flexibilidad de operaciones y facilidades de mantenimiento. Para el caso especial de la pasta, cada planta debería tener al menos dos tanques, para contar con las ventajas antes mencionadas y para poder tener mejor un equilibrio en los niveles de inventario de pasta entre ambas plantas. Este equilibrio puede ser fácil de mantener debido a la relativa cercanía entre ambas y la supuesta buena comunicación y coordinación entre ellas.

ANALISIS INVENTARIO INICIAL

BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



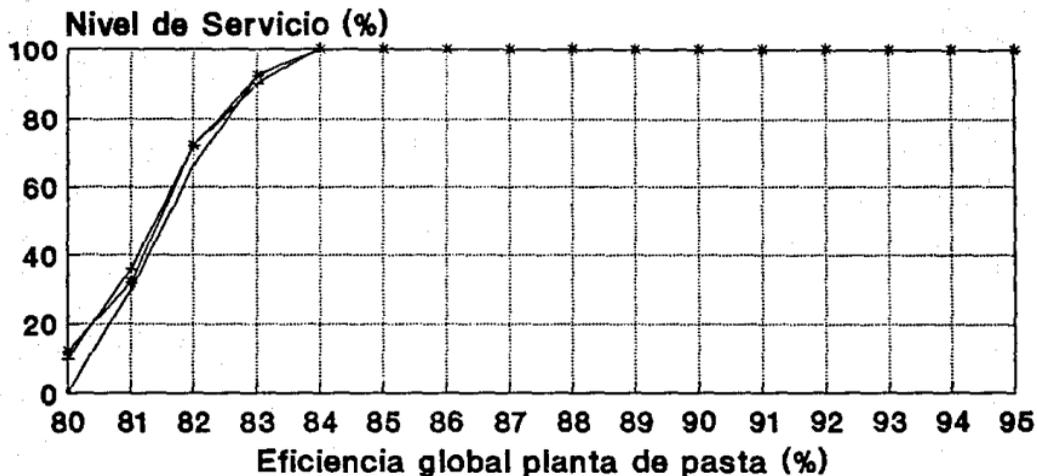
Gráfica 10

— Inv. Inic. = 306 ton + Inv. Inic. = 915 ton * Inv. Inic. = 1525 ton

Capacidad de Producción = 18 ton/hr.
Capacidad de Almacenamiento = 2000 ton.
50 simulaciones por escenario

ANALISIS DE INVENTARIO INICIAL

BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



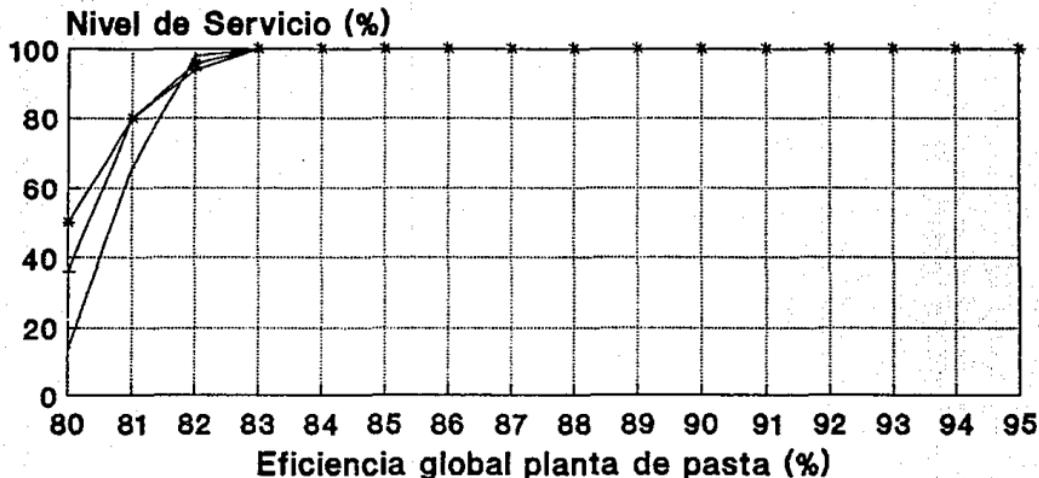
Gráfica 11

— Inv. Inic. = 306 ton + Inv. Inic. = 915 ton * Inv. Inic. = 1626 ton

Capacidad de Producción = 18 ton/hr.
Capacidad de Almacenamiento = 2500 ton.
50 simulaciones por escenario

ANALISIS DE INVENTARIO INICIAL

BASE: 47.134 MILLONES DE UPT



Gráfica 12

— Inv. Inic. = 305 ton + Inv. Inic. = 915 ton * Inv. Inic. = 1525 ton

Capacidad de Producción = 18 ton/hr.
Capacidad de Almacenamiento = 3000 ton.
50 simulaciones por escenario

Las decisiones que se tomaron fueron las siguientes:

1. Cada tanque de almacenamiento de pasta será de 500 toneladas de capacidad.
2. Se construirán un total de 4 tanques de almacenamiento de pasta.
3. Se instalarán 2 tanques en cada planta.
4. Si la planta productora de pasta trabaja a un ritmo superior a su capacidad de diseño, se deberá tener el control correspondiente para evitar saturar el sistema.
5. Se justificará la construcción de un nuevo tanque de almacenamiento de pasta sólo si ocurre un cambio significativo en el sistema.
6. Se deberán evitar y/o seguir de cerca las variaciones fuertes de demanda de pasta; esto se puede controlar con programas de producción balanceados y sistemas de comunicación inter-plantas eficientes.

Para el caso de las materias primas (goma y silicón), en las simulaciones siempre se supusieron con capacidad de almacenamiento infinita. Una vez que se tomaron las decisiones para el almacenamiento de pasta, se retroalimentó el sistema para los escenarios claves y se llegó a las siguientes decisiones:

1. Se construirán en la planta de pasta dos tanques de almacenamiento de goma de 500 toneladas cada uno. Se aprovecharán dos tanques de almacenamiento de pasta existentes en la planta de producto terminado para almacenar goma. La capacidad de cada uno de estos tanques es de 450 toneladas.

2. Se deberá trabajar muy de cerca con el proveedor de goma y con su plan de entregas; si existiera alguna diferencia fuerte entre el plan de entregas y la demanda planeada para algún período en específico, se tendrá que detectar inmediatamente y poner un pedido de goma de importación, para poder equilibrar el sistema a tiempo.
3. La capacidad de almacenamiento requerida para el silicón es de 300 toneladas; con la filosofía de tener mayor flexibilidad, se decidió construir dos tanques de almacenamiento de 200 toneladas cada uno. Estas 100 toneladas extras de capacidad no representan un sobre costo fuerte y permiten soportar cualquier irregularidad que se pudiese presentar con el suministro de silicón.

CONCLUSIONES.

- 1. Un buen manejo de sistemas de inventarios agrega valor a la producción de los artículos y a la interacción con los clientes. El inventario crea un valor real para el departamento de ventas. El almacenamiento futuro seguirá siendo almacenamiento, pero además una herramienta estratégica cuyo valor se refleja en la optimización de mercadeo, compras, producción y distribución.**
- 2. Los pronósticos siempre serán una ciencia inexacta, lo cual justifica la existencia de inventarios para poder satisfacer las necesidades del cliente a tiempo.**
- 3. La eficiencia productiva es una variable que generalmente fluctúa dentro de cierto rango, lo cual conduce a cierto nivel de inversión en inventarios para optimizar los costos totales.**
- 4. La simulación es una herramienta de trabajo que proporciona soluciones de mayor exactitud que las que se toman a juicio puro.**
- 5. La simulación es una representación de un sistema de la vida real, que permite obtener una experiencia acelerada a un menor costo, menor tiempo y menor riesgo.**

6. El nivel de detalle en un modelo de simulación es directamente proporcional al costo de elaboración del mismo; un modelo con un nivel de detalle exhaustivo tendrá un costo mayor que un modelo con un nivel de detalle razonable. Generalmente, entrar en detalles específicos implica un gran costo y mejoras poco significativas. Un modelo puede no ser idéntico a su contraparte de la vida real, sin embargo se pueden obtener resultados satisfactorios para los objetivos planteados.

7. Las experiencias y enseñanzas obtenidas al desarrollar un modelo de simulación son muy valiosas. Ayuda enormemente a conocer y entender el comportamiento de un sistema.

8. Al desarrollar un modelo de simulación es importante buscar que la interpretación de resultados sea fácil; esto permitirá que los usuarios finales realmente lo vean como una herramienta rápida, útil y práctica, y evitar el riesgo de abandono debido a la complejidad.

9. Una buena lógica de un modelo de simulación permite que el modelo pueda ser usado como un instrumento explicativo, obteniendo un mayor beneficio de éste.

10. Una ventaja extra que tienen los modelos de simulación es que permiten detectar cuáles son los elementos críticos dentro de un sistema y de qué manera impactan al resultado final. Los elementos que representen un beneficio o perjuicio importante dentro del modelo, alertan al usuario del cuidado que se deberá tener con éstos.

11. El modelo de simulación no es una herramienta de un solo uso; se puede ir actualizando conforme vayan sucediendo cambios importantes dentro del sistema. Así mismo, si se desean ir añadiendo nuevos elementos al modelo o aumentando su nivel de detalle, se puede realizar. Para esto, es importante considerar estas posibilidades desde el inicio de la elaboración del modelo.

12. La mayoría del software de simulación es muy caro; sin embargo, una decisión tomada en base a un modelo de simulación puede representar ahorros o ganancias mucho mayores al costo del software.

ANEXO 1

Desempeño de un Gerente en un modelo de simulación:

Un Gerente debe de tener un compromiso de tiempo y de recursos para desarrollar un modelo de simulación que se use para el proceso de toma de decisiones. El Gerente debe de estar involucrado en las siguientes actividades:

- * Formular los objetivos del proyecto.
- * Dirigir al personal para proveer al analista de simulación de la información requerida, recolectar datos del sistema y estructurar la forma conceptual del modelo, considerando las premisas o suposiciones necesarias.
- * Interactuar regularmente con el analista para poder entender mejor el modelo y sus suposiciones.

Algunas de las razones del por qué se considera este concepto importante en los estudios de simulación son:

1.- Regularmente, al iniciar un estudio, no existe un claro entendimiento del problema a resolver. Además, mientras el proceso avanza y la naturaleza del problema se va aclarando, esta información deberá ser transmitida al Gerente quien deberá reformular los objetivos del estudio. " El mejor modelo para un problema erróneo es totalmente inútil".

2.- El interés e involucramiento del Gerente se mantiene.

3.- El conocimiento del Gerente acerca del sistema contribuye a la validación del modelo.

4.- El modelo es más creíble debido a que el Gerente entiende y acepta los supuestos del modelo. (¿ Cuántos Gerentes estarían dispuestos a tomar una decisión de millones de dolares basándose en un modelo que ellos no entienden o que no están de acuerdo con los supuestos?). De hecho, se sugiere que el Gerente firme aceptando las condiciones y supuestos del modelo y tomar la responsabilidad de éste.

Otra responsabilidad de un Gerente de proyecto es determinar que los beneficios de la simulación sean mayores que su costo en términos de tiempo y dinero. Para saber acerca del uso potencial de estos modelos es necesario que se realice un análisis de los principales beneficios que brinda. Quizá su mayor beneficio es que permite obtener una visión amplia de un sistema cuando se efectúa un cambio "local" en éste. Si se realiza un cambio en alguna estación de trabajo en particular, el impacto de su desempeño será predecible. Por otro lado, puede ser difícil pero no imposible determinar posteriormente el impacto de este cambio en el desempeño de todo el sistema en general.

Además de lo arriba mencionado, otros beneficios potenciales son:

- Mejorar el desempeño de un sistema.
- Reducir gastos de capital o gastos de operación.

- Garantizar que la configuración de un sistema funcione como se propuso.
- Reducir el tiempo de puesta a punto de un sistema.
- Entender el sistema y cooperar entre distintos departamentos.
- Considerar a tiempo conceptos importantes del sistema.

Finalmente, cabe notar que la simulación tendrá mayor impacto en una organización cuando se usa para tomar decisiones de capital, más que cuando se usa para corregir problemas de desarrollo en un sistema operacional.

ANEXO 2

Características para evaluar un lenguaje de simulación:

A pesar de que un software de simulación puede ser elaborado con mucha flexibilidad y esencialmente con una necesidad nula de programación, el ingeniero o analista de simulación se encontrará con cierto número de problemas; estos problemas incluyen problemas de formulación, recolección de información y datos necesarios, validación del modelo, selección de las distribuciones de probabilidad y análisis de las corridas de simulación.

Existen dos principales tipos de software de simulación: lenguajes y simuladores. De estos dos grupos ya se ha hablado anteriormente, pero se analizará más detalladamente los simuladores.

Un simulador, en su forma más básica, es un paquete de computación que permite simular un sistema sin necesidad de programar. El modelo se va construyendo escogiendo opciones de diferentes menús, llenando formas o usando gráficas.

Algunas de las características que se deben de tomar en cuenta al escoger un software de simulación son:

- **Flexibilidad:** esta es una de las consideraciones importantes, ya que difícilmente se encontrarán sistemas idénticos. El usuario deberá tener la opción de cambiar el valor de las variables de su sistema durante la simulación. Deberá contar con variables globales, distribuciones de probabilidad, funciones matemáticas, etc.
- **Velocidad de ejecución:** cuando el modelo de simulación que se desea correr es muy largo, esta característica juega un papel importante. Mientras más rápido el software procese la información del modelo, más rápida será su corrida, lo cual implica menor costo en tiempo y disponibilidad de computadora. Cuando una decisión se toma a partir de un modelo de simulación, es importante que el tiempo de la corrida sea breve, ya que muchas decisiones no pueden esperar demasiado tiempo para ser tomadas. También se deberá tomar en cuenta el equipo computacional que se requiere para el desarrollo del modelo. Preferentemente, un software de simulación deberá funcionar en cualquier computadora personal (PC), ya que son las que generalmente se tienen para el uso de analistas.
- **Animación:** se refiere a la posibilidad de poder ver en pantalla una corrida del modelo de manera dinámica. Una de las formas más comunes de animación es mediante el cambio de forma, color, tamaño o posición de alguna figura en pantalla. La animación puede hacerse durante la corrida del modelo o al finalizar la corrida. Una de las ventajas de ver la animación durante el desarrollo de la corrida es que permite ir viendo la manera en que se mueve el sistema, se puede detener la simulación para un análisis detallado de cierto elemento, se pueden hacer acercamientos a alguna etapa del modelo o se

puede parar la corrida si se detecta algún error, modificar el modelo y empezar nuevamente la corrida. Por otro lado, el hecho de hacer la animación al final de la corrida, permite avanzar hasta cierto punto de la corrida donde se tenga especial interés. La animación es una manera de comunicación que presenta la esencia del modelo a los gerentes y personas claves de un proyecto, dándole mayor credibilidad al modelo. Otras de las ventajas que presenta la animación son: ir paso a paso a través del modelo, ayuda a la validación, facilita la visualización del modelo y su logística, captar y entender el comportamiento dinámico de un sistema, puede servir como herramienta de entrenamiento de personal. Algunas de las desventajas de la animación son: incrementan el tiempo de cada corrida, y el costo de un software de simulación que incluya animación es generalmente más alto.

- Módulos estadísticos: debido a que casi todos los modelos presentan cierto grado de variabilidad y sucesos aleatorios, es importante que el software posea un generador de números aleatorios confiable. Un paquete de simulación deberá tener una amplia variedad de distribuciones de probabilidad y la posibilidad de construir otras no pre-establecidas.
- Soporte técnico: la mayoría de los softwares de simulación requieren de cierto soporte de parte del vendedor. El vendedor deberá dar seminarios públicos y si es necesario, deberá ir con el cliente a resolver dudas o problemas específicos para un modelo en particular. Es muy importante contar con los manuales de instalación y de operación (incluyendo varios ejemplos). Muchos paquetes incluyen dentro de su software una opción de ayuda en línea, en donde en cualquier momento se puede consultar alguna duda en particular. El vendedor

deberá de actualizar sus versiones, entregar discos de demostración y seguir manteniendo contacto con el usuario.

- **Reportes de resultados:** el simulador debe de generar automáticamente una salida de datos que permita interpretar fácilmente los resultados de la corrida. Es conveniente que tenga la opción de generar gráficas e histogramas, ya que son útiles para presentaciones debido a su facilidad de interpretación. También es importante considerar la posibilidad de exportar los resultados a otro sistema, como una base de datos, una hoja de cálculo o un módulo de procesamiento estadístico.

El tomar una decisión acerca de la compra de un simulador no es una tarea sencilla, ya que existe una gran cantidad de paquetes que presentan diferentes ventajas y desventajas y a precios muy variables. Se recomiendan los siguientes pasos para la compra de un simulador:

1. **Determinar los requerimientos de simulación de su organización, incluyendo las necesidades actuales y futuras. Pensar en el detalle de simulación a que se quiere llegar y la frecuencia con la que se piensa utilizar. Preguntarse ¿qué tan frecuentemente se hubiera utilizado en el pasado ?**
2. **Desarrollar un pequeña lista de posibles paquetes de simulación candidatos, considerando los requerimientos del punto uno, softwares disponibles y consideraciones en costo.**

3. Hablar con varios usuarios de los paquetes de la lista y recibir información independiente acerca de las ventajas y debilidades de cada paquete.
4. Si es posible, conseguir prestado por un tiempo los paquetes y ver cuál se adapta mejor a las necesidades; si no es posible, hacer que cada vendedor de software de la lista haga un modelo similar a lo deseado.

Es importante saber que no existe un paquete de simulación que satisfaga todas las aplicaciones. Algunas empresas que emplean la simulación como una herramienta cotidiana de trabajo tienen varios paquetes de simulación empleados para diferentes tipos de modelos y por personas con diferentes aptitudes y habilidades.

ANEXO 3

TASK NETWORK

Network Number: 0
(1) Name: p-pasta (2) Type: Network
(3) Upper Network:
(4) Release Condition: 1;
(5) First Sub-job: 1 enero
(6) Sub-jobs (each can be task or network):

Number:	Name:	Type:
1	enero	Task
2	febrero	Task
3	marzo	Task
4	abril	Task
5	mayo	Task
6	junio	Task
7	julio	Task
8	agosto	Task
9	septiembre	Task
10	octubre	Task
11	noviembre	Task
12	diciembre	Task
13	fin	Task

```

Task Number:      1
(1) Name:        enero
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition:  1;
(5) Time Distribution Type:  Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:  0;
(8) Task's Beginning Effect:  dempasta=normal(335.52,10);
mov1=nip+pd-dempasta;
nip=mov1;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect:  goma;
if clock==1 then nigver=lingver;
import;
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*dangom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:      Tactical
      Following Task/Network:      Tactical Expression:
      Number:      Name:
(11) 1          enero      (12)
if clock<31 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 2          febrero    (14)
if clock==31 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15)          (16)
(17)          (18)
(19)          (20)
(21)          (22)
(23)          (24)

```

Task Number: 2
 (1) Name: febrero (2) Type: Task
 (3) Upper Network: p-pasta
 (4) Release Condition: 1;
 (5) Time Distribution Type: Normal
 (6) Mean Time: 1;
 (7) Standard Deviation: 0;
 (8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(345.34,10);

```

mov2=nip+pd-dempasta;
if clock==35 then nip=nip else nip=mov2;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==35 then t=t else t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==35 then nis=nis else nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==32 then nigver=lingver;
if clock==35 then nigver=nigver else import;
if clock==35 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type: Tactical

```

Following Task/Network: Tactical Expression:

Number:	Name:	
(11) 2	febrero	(12)
	if clock<59 then sigue=10 else sigue=0;sigue;	
(13) 3	marzo	(14)
	if clock==59 then pasa=10 else pasa=0;pasa;	
(15)		(16)
(17)		(18)
(19)		(20)
(21)		(22)
(23)		(24)

Task Number: 3

(1) Name: marzo (2) Type: Task
(3) Upper Network: p-pasta
(4) Release Condition: 1;
(5) Time Distribution Type: Normal
(6) Mean Time: 1;
(7) Standard Deviation: 0;
(8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(318.01,10);

mov3=nip+pd-dempasta;
if clock==79 then nip=nip else nip=mov3;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==79 then t=t else t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==79 then nis=nis else nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==60 then nigver=limgver;
if clock==79 then nigver=nigver else import;
if clock==79 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;

(10) Decision Type: Tactical
Following Task/Network: Tactical Expression:

Number:	Name:	
(11)	3	marzo (12)
if clock<90 then	sigue=10	else sigue=0;sigue;
(13)	4	abril (14)
if clock==90 then	pasa=10	else pasa=0;pasa;
(15)		(16)
(17)		(18)
(19)		(20)
(21)		(22)
(23)		(24)

```

Task Number:      4
(1) Name:        abril                               (2) Type:      Task
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition:  1;
(5) Time Distribution Type:  Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:  0;
(8) Task's Beginning Effect:  dempasta=normal(309.4,10);
mov4=nip+pd-dempasta;
if clock==99 then nip=nip else a;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==99 | clock==100 | clock==101 | clock==102 then t=t
else t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==99 then nis=nis else as;
if nis>=lim.alm then nis=lim.alm;
(9) Task's Ending Effect:  goma;
if clock==91 then nigver=lingver;
if (clock>=99 & clock<=102) then nigver=nigver else import;
if (clock>=99 & clock<=102) then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.almg then nig=lim.almg;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:      Tactical
      Following Task/Network:      Tactical Expression:
      Number:      Name:
(11)  4      abril      (12)
if clock<120 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13)  5      mayo      (14)
if clock==120 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15)                                     (16)
(17)                                     (18)
(19)                                     (20)
(21)                                     (22)
(23)                                     (24)

```

```

Task Number:      5
(1) Name:         mayo
(2) Type:         Task
(3) Upper Network: p-pasta
(4) Release Condition: 1;
(5) Time Distribution Type: Normal
(6) Mean Time:    1;
(7) Standard Deviation: 0;
(8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(378.6,10);
mov5=nip+pd-dempasta;
if clock==120 then nip=nip else nip=mov5;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==120 then t=t else t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==120 then nis=nis else nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==121 then nigver=limgver;
if clock==122 then nigver=nigver else import;
if clock==122 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.almg then nig=lim.almg;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type: Tactical
Following Task/Network: Tactical Expression:
Number:      Name:
(11) 5 mayo (12)
if clock<151 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 6 junio (14)
if clock==151 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15) (16)
(17) (18)
(19) (20)
(21) (22)
(23) (24)

```

Task Number: 6
 (1) Name: junio (2) Type: Task
 (3) Upper Network: p-pasta
 (4) Release Condition: 1;
 (5) Time Distribution Type: Normal
 (6) Mean Time: 1;
 (7) Standard Deviation: 0;
 (8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(388.82,10);

```

mov6=nip+pd-dempasta;
nip=mov6;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==152 then nigver=limgver;
import;
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
  
```

(10) Decision Type: Tactical
 Following Task/Network: Tactical Expression:
 Number: Name:

(11)	6	junio	(12)
if clock<181 then sigue=10 else sigue=0;sigue;			
(13)	7	julio	(14)
if clock==181 then pasa=10 else pasa=0;pasa;			
(15)			(16)
(17)			(18)
(19)			(20)
(21)			(22)
(23)			(24)

```

Task Number:      7
(1) Name:        julio                (2) Type:      Task
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition:  1;
(5) Time Distribution Type:  Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:  0;
(8) Task's Beginning Effect:  dempasta=normal(379.64,10);
mov7=nip+pd-dempasta;
nip=mov7;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=nons then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm then nis=lim.alm;
(9) Task's Ending Effect:  goma;
if clock==182 then nigver=lingver;
import;
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.almg then nig=lim.almg;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:      Tactical
      Following Task/Network:      Tactical Expression:
      Number:      Name:
(11) 7 julio (12)
if clock<212 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 8 agosto (14)
if clock==212 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15) (16)
(17) (18)
(19) (20)
(21) (22)
(23) (24)

```

```

Task Number:      8
(1) Name:         agosto
(2) Type:         Task
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition:  1;
(5) Time Distribution Type:  Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:  0;
(8) Task's Beginning Effect:  dempasta=normal(314.75,10);
mov8=nip+pd-dempasta;
nip=mov8;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm then nis=lim.alm;
(9) Task's Ending Effect:  goma;
if clock==213 then nigver=lingver;
import;
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.almg then nig=lim.almg;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:  Tactical
      Following Task/Network:  Tactical Expression:
      Number:      Name:
(11) 8 agosto (12)
if clock<243 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 9 septiembre (14)
if clock==243 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15) (16)
(17) (18)
(19) (20)
(21) (22)
(23) (24)

```

```

Task Number:      9
(1) Name:      septiembre      (2) Type:      Task
(3) Upper Network:      p-pasta
(4) Release Condition:      1;
(5) Time Distribution Type:      Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:      0;
(8) Task's Beginning Effect:      dempasta=normal(331.96,10);
mov9=nip+pd-dempasta;
if clock==255 then nip=nip+(pd/2)-dempasta else
if clock==256 then nip=nip+(pd/2)-dempasta else s;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==255 | clock==256 | clock==257 then t=t else
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==255 then nis=nis-(pd*demsil/2) else
if clock==256 then nis=nis-(pd*demsil/2) else ss;
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect:      goma;
if clock==244 then nigver=limgver;
if clock==257 | clock==258 then nigver=nigver else import;
if clock==257 | clock==258 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:      Tactical
      Following Task/Network:      Tactical Expression:
      Number:      Name:
(11)      9      septiembre      (12)
if clock<273 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13)      10      octubre      (14)
if clock==273 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15)      (16)
(17)      (18)
(19)      (20)
(21)      (22)
(23)      (24)

```

```

Task Number:      10
(1) Name:         octubre
(2) Type:         Task
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition: 1;
(5) Time Distribution Type: Normal
(6) Mean Time:     1;
(7) Standard Deviation: 0;
(8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(335.69,10);
movl0=nip+pd-dempasta;
nip=movl0;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==274 then nigver=limgver;
import;
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type: Tactical
      Following Task/Network: Tactical Expression:
          Number:      Name:
(11) 10 octubre (12)
if clock<304 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 11 noviembre (14)
if clock==304 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15) (16)
(17) (18)
(19) (20)
(21) (22)
(23) (24)

```

```

Task Number:      11
(1) Name:        noviembre                (2) Type:      Task
(3) Upper Network:  p-pasta
(4) Release Condition:  1;
(5) Time Distribution Type:  Normal
(6) Mean Time:      1;
(7) Standard Deviation:  0;
(8) Task's Beginning Effect:  dempasta=normal(344.43,10);
mov11=nip+pd-dempasta;
nip=mov10;
if clock==305 then nip=nip else
if clock==323 then nip=nip else nip=mov11;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==305 | clock==323 then t=t else t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==305 then nis=nis else
if clock==323 then nis=nis else nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm then nis=lim.alm;
(9) Task's Ending Effect:  goma;
if clock==306 then nigver=limgver;
if clock==305 | clock==323 then nigver=nigver else import;
if clock==305 | clock==323 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.almg then nig=lim.almg;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type:      Tactical
      Following Task/Network:  Tactical Expression:
          Number:      Name:
(11)      11      noviembre (12)
if clock<334 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13)      12      diciembre (14)
if clock==334 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15)      (16)
(17)      (18)
(19)      (20)
(21)      (22)
(23)      (24)

```

```

Task Number:      12
(1) Name:         diciembre
(2) Type:         Task
(3) Upper Network: p-pasta
(4) Release Condition: 1;
(5) Time Distribution Type: Normal
(6) Mean Time:    1;
(7) Standard Deviation: 0;
(8) Task's Beginning Effect: dempasta=normal(319.18,10);
mov12=nip+pd-dempasta;
mov14=nip+pd+(pd/2)-(dempasta/2);
if clock==345 then nip=nip else
if clock==357 then nip=nip else
if clock==358 then nip=mov14 else d;
if nip>=lim.alm.p then nip=lim.alm.p;
if clock==345 | clock==357 | clock==360 then t=t else
t=t+dempasta;
ra=int(rand()*30+1);
llegsil=rect(35,30);
if ra<=none then llegsil=0;
if ra>=doble then llegsil=rect(65,60);
if nis>=top then llegsil=0;
if nis<=less then llegsil=rect(65,60);
if clock==345 then nis=nis else
if clock==357 then nis=nis else
if clock==358 then nis=nis+llegsil-(pd*demsil/2) else ds;
nis=nis+llegsil-(pd*demsil);
if nis>=lim.alm.s then nis=lim.alm.s;
(9) Task's Ending Effect: goma;
if clock==335 then nigver=lingver;
if clock==345 | clock==357 then nigver=nigver else
if clock==364 | clock==365 then nigver=nigver else import;
if clock==345 | clock==357 then nig=nig else
if clock==364 | clock==365 then nig=nig else
nig=nig+llegom+llegomimp-(pd*demgom);
if nig>=lim.alm.g then nig=lim.alm.g;
if nig<=0 then nig=0;
(10) Decision Type: Tactical
Following Task/Network: Tactical Expression:
Number:      Name:
(11) 12 diciembre (12)
if clock<365 then sigue=10 else sigue=0;sigue;
(13) 13 fin (14)
if clock==365 then pasa=10 else pasa=0;pasa;
(15) (16)
(17) (18)
(19) (20)
(21) (22)
(23) (24)

```

Task Number: 13

(1) Name: fin (2) Type: Task

(3) Upper Network: p-pasta

(4) Release Condition: 1;

(5) Time Distribution Type: Normal

(6) Mean Time: 0;

(7) Standard Deviation: 0;

(8) Task's Beginning Effect:

(9) Task's Ending Effect:

(10) Decision Type: Tactical

Following Task/Network: Tactical Expression:

Number: Name:

(11) (12)

(13) (14)

(15) (16)

(17) (18)

(19) (20)

(21) (22)

(23) (24)

BIBLIOGRAFIA

Adam, Everett, et.al, Administración de la Producción y las Operaciones, México, Ed. Prentice-Hall Internacional, 1985.

Coss Bu, Raúl, Simulación, un Enfoque Práctico, México, Ed. Limusa Noriega, 1990.

Hall, Jim, Industrial Engineering, Atlanta, Institute of Industrial Engineering, ISSN 0019.8234, 1992, No. 1, volumen 24.

Krick, Edward, Fundamentos de Ingeniería. Métodos, Conceptos y Resultados, México, Ed. Limusa, 1987.

Martino, J.R., Technological Forecasting for Decision Making, Elsevier North Holland, Nueva York, 1972.

Mendenhall, William, et. al, Estadística Matemática con Aplicaciones, México, Grupo Editorial Iberoamérica, 1986.

Naylor, Thomas, et. al, Técnicas de Simulación en Computadoras, México, Ed. Limusa- Wiley, 1971.

Plossl, George, Control de la Producción y de Inventarios, principios y técnicas, México, Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, 1987, (2a ed.).

Pritsker, A. Alan B., The GASP IV Simulation Language, Wiley, Nueva York, 1987.

Salvendy, Gavriel, Biblioteca del Ingeniero Industrial, México, Ed. Limusa ediciones Ciencia y Técnica, 1990.