MODELO DISCRETO DE CIRCUITOS ELECTRICOS PARA SIMULAR LA GESTION DEL PROCESO PRODUCTIVO EMPRESARIAL

ALFONSO PIO AGUDELO S.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSTGRADO EN ADMINISTRACION
DE SISTEMAS INFORMATICOS
MANIZALES
1990

MODELO DISCRETO DE CIRCUITOS ELECTRICOS PARA SIMULAR LA GESTION DEL PROCESO PRODUCTIVO EMPRESARIAL

ALFONSO PIO AGUDELO S.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Especialista en Administración de Sistemas Informáticos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
POSTGRADO EN ADMINISTRACION
DE SISTEMAS INFORMATICOS
MANIZALES
1990

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

Son diferentes campos donde la simulación de modelos ha tenido considerable atención, tal vez no hace más de 40 años, un gran número de aplicaciones en diversos campos tales como procesos químicos, biomedicina, sistemas económicos, transporte, ecología, sistemas de potencia eléctrica, hidrologia, aeronaútica y astronomía. En cada uno de estos casos, el modelo consiste básicamente de ecuaciones matemáticas que son usadas para entender el comportamiento del sistema, y en lo posible para predecirlo y controlarlo.

La técnica de la simulación se ha extendido últimamente en forma rápida, debido a la necesidad que hoy en día tiene el director de proyectos o el gerente de un negocio para la toma de decisiones. Por ejemplo, las fluctuaciones del nivel de producción debido a cambios en la demanda, hacen que los responsables de fabricación tiendan a esperar demasiado tiempo antes de iniciar modificaciones en los niveles de producción y que, cuando lo hacen, los cambios suelen ser excesivos.

La simulación ha logrado este gran avance gracias al advenimiento de los computadores; en este trabajo se pretende investigar cierta aplicación importante de la simulación aplicando además del computador, los circuitos eléctricos como medio de representación de un modelo para la producción empresarial.

La parte primordial de este estudio es comprender la manera en que la organización de una empresa afecta a su desempeño. Se pretende demostrar el comportamiento característico del sistema en vez de predecir eventos específicos. Los eventos individuales de un sistema, tales como hacer un pedido o enviar un producto, son eventos que se deben tener en cuenta, así como las velocidades a que cambian las distintas cantidades van a ser expresadas como varibles continuas. El flujo de pedidos y la entrega de pedidos se representa respectivamente como un flujo de corriente y un sumidero de esa corriente (resistencia eléctrica). La representación física de este modelo (circuito eléctrico), es más fácil de analizar con la ayuda de la teoría de circuitos eléctricos y como herramienta de trabajo el computador.

La definición del sistema de producción empresarial, es el caso a simular; se escogen los factores de producción que más interrelacionan y se generan las variables relevantes del sistema para el análisis, ventas reales y ventas estimadas con respecto al tiempo, este sistema es definido bajo ecuaciones diferenciales y describiendo la producción de la fábrica como una variable continua, ignorando los cambios discretos que ocurren conforme se determinan los productos y llegandose a elaborar los modelos análogos de circuitos eléctricos. El modelo con base en estos circuitos es analizado bajo los términos de análisis de circuitos eléctricos, revelando la manera como las condiciones en un instante de tiempo conllevan a condiciones (variables de estado) siguiente en el tiempo posterior, generando diagramas de tiempo contra las variables del sistema. Revisiones sucesivas del modelo hasta que sea aceptable como una representación del sistema real.

OBJETIVOS

GENERAL

Ayudar al perfeccionamiento de un sistema de producción empresarial con el apoyo de la simulación de modelos con circuitos eléctricos.

ESPECIFICOS

- Proporcionar mayores bases útiles para la toma de decisiones en la empresa, permitiendo que las directivas puedan establecer políticas y tomar decisiones convenientes.

-Lograr un diagnóstico rápido a menor costo del sistema productivo de la empresa.

-Mejorar la interpretación de los fenómenos que ocurren en el sistema con base en los cambios ocurridos en el modelo en función del tiempo.

-Servir como medio que refleje la naturaleza del sistema real.

1. MARCO TEORICO

1.1 SISTEMA

Por sistema se entiende un conjunto de elementos o entidades que interactúan o se relacionan; cada uno de ellos, caracterizándose por atributos que buscan un propósito o unos objetivos. En conjunto, los atributos de una entidad definen su estado, y los estados de las entidades más importantes definen el estado del sistema.

Los objetivos que se persiguen al estudiar uno o varios fenómenos en función de un sistema son aprender cómo cambian los estados, predecir el cambio y controlarlo. La mayor parte de los estudios combinan estos objetivos en mayor o menor grado. A una combinación específica de estos objetivos, llamada la evaluación de alternativas, le concierne la relación entre las entradas y las salidas de un sistema, según se representa en la Figura 1.1 Las entradas se refieren a los estímulos externos de un sistema que producen cambios en el estado del sistema. Las salidas se refieren a las mediciones de estos cambios de estado.

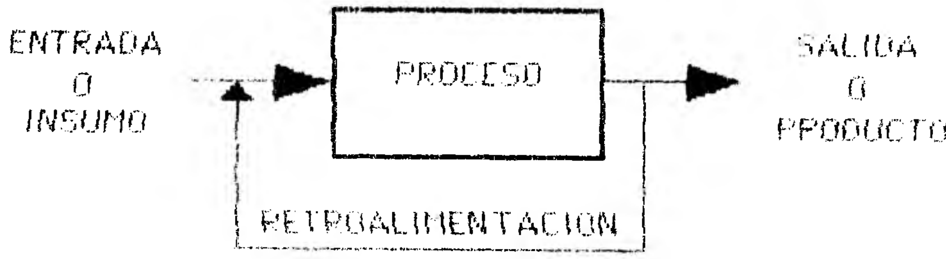

FIGURA 1.1 REPRESENTACION DEL SISTEMA

El objetivo del análisis de sistemas es la descripción de sistemas y la explicación de sus comportamientos.

1.1.1. MEDIO AMBIENTE DEL SISTEMA

Los cambios que ocurren dentro del sistema lo afectan con frecuencia. Ciertas actividades del sistema también pueden producir cambios que no reaccionan en él mismo. Se dice que los cambios que ocurren fuera del sistema ocurren en el medio ambiente del sistema. Un paso importante en la modelación de sitemas es establecer el límite entre el sistema y su medio ambiente. La decisión puede depender del propósito del estudio. Por ejemplo, en el caso del sistema de Producción se puede considerar a los factores que controlan la llegada de los pedidos como influencia externa a la fábrica, y por tanto que forman parte del medio ambiente. Sin embargo, si se desea tomar en consideración el efecto de la oferta en la demanda, existe una relación entre la producción de la fábrica y la llegada de pedidos misma que debe de considerarse como actividad del sistema. En forma análoga, en el caso de un sistema bancario, puede existir un límite a la máxima tasa de intereses que pueda pagarse. Para el estudio de un solo banco, se consideraría al límite como una restricción impuesta por el medio ambiente. Sinembargo, en un estudio de los efectos de las leyes monetarias en la industria de la banca, fijar el límite sería una actividad del sistema.

Se utiliza el término endógeno para describir las actividades que ocurren dentro del sistema, y el término exógeno para describir las actividades en el medio ambiente, que afectan al sistema. Al sistema para el que no existe actividad exógena se le conoce como sistema cerrado en comparación con un sistema abierto que sí tiene actividades exógenas.

Otra distinción que debe establecerse entre las actividades depende de la manera en que se pueden describir. En donde es posible describir completamente el resultado de una actividad en términos de su entrada se dice que la actividad es determinista. Cuando los efectos de la actividad varían aleatoriamente en distintas salidas, se dice que la actividad es estocástica.

El carácter aleatorio de una actividad estocástica parecería implicar que la actividad es parte del medio ambiente del sistema ya que no se conoce el resultado exacto en ningún momento. Sin embargo, con frecuencia se puede medir el carácter aleatorio y expresarlo en forma de una distribución de probabilidad. Si la ocurrencia de esa actividad está bajo control del sistema, se le considera como endógena. Por el contrario, si la ocurrencia de la actividad es aleatoria, constituye parte del medio ambiente. Por ejemplo, en el caso de la fábrica, puede tener que describirse el tiempo necesario para una operación de maquinado mediante una distribución de probabilidad aunque al maquinado se le considere como una actividad endógena. Por otra parte, pueden haber fallas de energía a intervalos aleatorios. Dichas fallas producirían una actividad exógena.

1.1.2. SISTEMAS CONTINUOS Y DISCRETOS

A los sistemas como el de una aeronave, en que los cambios son predominantes suaves, se les conoce como sistemas continuos. Por otra parte, a los sistemas como el de producción, en que los cambios son predominantemente discontinuos, se les conoce como sistemas discretos.

El sistema de Producción, corresponde a cambios del medio ambiente en distintas formas. El movimiento de la aeronave ocurre suavemente, en tanto que los cambios en la fábrica ocurren en forma discontinua. Por ejemplo el pedido de materia prima o la terminación de un producto ocurren en puntos específicos del tiempo.

Hay pocos sistemas totalmente discontinuos o totalmente discretos. Por ejemplo, la aeronave puede realizar ajustes discretos a su orientación conforme cambia su altitud, en tanto que el caso de la fábrica, la producción procede en forma continua aunque al inicio y terminación de un trabajo son cambios discretos. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas predomina un tipo de cambio, de manera que por lo general se puede clasificar a los sistemas como continuos o discretos.

Por lo general, una descripción de un sistema continuo tiene la forma de ecuaciones continuas que muestran la manera en que los atributos del sistema cambian con el tiempo. Una descripción de un sistema discreto se refiere a los eventos que producen cambios en el estado del mismo. Sin embargo, el tipo de descripción no necesariamente coincide con el tipo del sistema. El estudio de sistemas continuos a veces se simplifica considerando que los cambios ocurren como una serie de pasos discretos. Por ejemplo, generalmente los modelos de los sistemas económicos no siguen el flujo de dinero y bienes en forma continua; consideran a los cambios a intervalos regulares. Además, con frecuencia se simplifica la descripción de los sistemas discretos considerando que los cambios ocurren continuamente. Por ejemplo, se puede describir a la producción de la fábrica como una variable continua, ignorando los cambios discretos que ocurren conforme se determinan los productos. **En consecuencia, es más importante la descripción del sistema que la naturaleza real del mismo.**

1.1.3. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS

Hay varios patrones para clasificar los sistemas. Uno es haciendo la distinción entre sistemas naturales y artificiales. Los sistemas sociales, económicos y políticos son artificiales, pero los sistemas físicos y biológicos son en la mayoría naturales. Otra forma de clasificar los sistemas, es haciendo la distinción entre sistemas abiertos y cerrados. Los sistemas abiertos son aquellos que intercambian materiales, energías o información con sus ambientes. Los sistemas cerrados no importan ni exportan energías en cualquiera de las formas (información, calor, materiales físicos, etc.) del medio ambiente.

1.2. LOS MODELOS

El análisis de sistemas y la construcción de modelos son conceptos inseparables. Describir un sistema significa que se construye algún tipo de representación o modelo de él. Los medios que utiliza el constructor de modelos van de los físicos a los simbólicos. Un modelo es la descripción del sistema por un analista. Para comunicar adecuadamente la naturaleza y el comportamiento del sistema, el modelo debe ser menos complicado que el sistema real; incluye menos componentes y relaciones que el sistema. En realidad, son menos reales, a menudo abstractos, simples o inocentes y selectivos en términos de variables de sistemas, relaciones y estados. Los modelos que ofrecen explicaciones constituyen teorías del comportamiento. Una teoría es un conjunto de relaciones conceptuales y causales, desarrollada para proporcionar una cadena lógica de razonamiento que se sigue de suposiciones bien definidas, pasa a deducciones o conclusiones y se conforma a observaciones del sistema de referencia.[1] Las representaciones de un sistema que no explican en este sentido, pero que de todos modos trazan la estructura observada del sistema, se clasifican como modelos descriptivos; sinembargo, se pueden hacer construcciones de sistemas para predecir resultados (conducta) sin explicar cómo se producen o describir cómo son los sistemas. Estas son las denominadas cajas negras.

El modelo sirve como medio para entender sistemas complejos, tal construcción proporciona ventajas más específicas. Ayuda a

---

[1]Harold Guetzkow, Philip y Randall L. Schultz. Simulation in Social and Administrative Science. Prentice- Hall, Englewood Cliffs, 1972.

desarrollar teorías. Se espera que un modelo que describa adecuadamente el sistema, conducirá a sugerencias o hipótesis sobre la conducta del sistema.

"El método científico es, básicamente, el establecimiento de modelos (llamados a veces hipótesis, en forma más abstracta) que deben tener dos propiedades: primero, deben incluir todos los hechos conocidos y segundo, deben permitirnos hacer predicciones que pueda comprobar cualquier observador independiente y sin desviaciones parciales. La ley de Newton, esplicó todas las observaciones sobre posiciones de los cuerpos celestes. También lo hicieron así muchos modelos previos del universo.

Una vez establecido, de tal modo que se ajuste a hechos conocidos y comprobados mediante predicciones para las cuales hay datos de observaciones independientes, el modelo se usa para la experimentación, lo que permite determinar los resultados de varias maneras para llevar adelante una organización. Las pruebas reales con clientes verdaderos suelen resultar costosas y, lo que es todavía peor, transtornan la situación, de modo que los resultados son desviados o dejan un transtorno permanente."[2]

[2] Beckenbach, E. F. Modern Mathematics for the Engineer. McGraw-Hill, New York, 1956, pgs. 211-212.

1.2.1. MODELOS DE PRODUCCION

El término "planeación de producción" se ha utilizado para describir una gran variedad de problemas industriales con la toma de decisiones sobre la asignación de recursos de manufactura en cada instante durante el período dado de planeación.

1.2.2. MODELOS DE SISTEMAS

El término sistema se utiliza en tal diversidad de maneras que es difícil llegar a una definición suficientemente extensa para que abarque los muchos usos, y que al mismo tiempo sea suficientemente concisa para que tenga un propósito útil. Se ha definido a un sistema como un agregado o conjunto de objetos reunidos en alguna interacción o interdependencia regular. Aunque esta definición es suficientemente general para que pueda incluír sistemas estáticos, el interés principal se centra en los sistemas dinámicos donde las interacciones provocan cambios en el tiempo.

A manera de ejemplo de un sistema conceptualmente simple, considere una aeronave que vuela bajo el control del piloto automático (ver la Figura 1.2.2.1). Un giróscopo en el piloto automático detecta la diferencia entre la dirección real y la deseada, y envía una señal para mover las superficies de control.

Como respuesta al movimiento de la superficie de control, el aereoplano gira en la direccion deseada.

Como segundo ejemplo, considere una fábrica que produce y arma componentes para dar un producto (ver la Figura 1.2.2.2). Las partes principales del sistema son el departamento de fabricación que produce las componentes, y el departamento de armado que produce los productos. Hay un departamento de compras que mantiene un suministro de materia prima y un departamento de embarques que despacha los productos terminados. Un departamento de control de la producción recibe pedidos y asigna el trabajo a los otros departamentos.

Al estudiar estos sistemas, podemos apreciar que hay determinados objetos distintos, cada uno de los cuales tiene propiedades de interés. Tambien ocurren determinadas interacciones en el sistema que producen cambios en el mismo. Se utilizará el término entidad para denotar un objeto de interés en un sistema; el término atributo denota una propiedad de una entidad. Desde luego, pueden haber muchos atributos de una entidad dada. Todo proceso que provoque cambios en el sistema se conocerá como actividad. Se utilizará el término estado del sistema para indicar una descripción de todas las entidades, atributos y actividades de acuerdo con su existencia en algún punto del tiempo. El progreso del sistema se estudia siguiendo los cambios en el estado del sistema.

En la descripción del sistema de la aereonave, las entidades del sistema son la estructura del avión, las superficies de control y el giróscopo. Sus atributos son factores como la velocidad, ángulo de superficie de control y ajuste del giróscopo. Las actividades son la operación de las superficies de control y la respuesta del avión a los movimientos de la superficie de control. En el sistema de la fábrica, las entidades son los departamentos, pedidos, componentes y productos. Las actividades son los procesos de manufactura de los departamentos, y los atributos son factores tales como las cantidades para cada pedido, tipo de componente o número de máquinas en un departamento.

La Tabla 1.2.2. lista ejemplos de lo que puede considerarse como entidades, atributos y actividades para algunos otros sistemas. Si consideramos al movimiento de autos como un sistema de tráfico, se puede considerar a los autos individuales como entidades, cada uno de los cuales tiene como atributos a su velocidad y distancia recorrida. Entre las actividades está el manejo del auto. En el caso de un sistema bancario, los clientes del banco son las entidades, y los saldos de sus cuentas y sus estados de crédito son los atributos. Una actividad típica sería la acción de depositar. En la Tabla 1.2.2. se muestran otros ejemplos.

SISTEMA	ENTIDADES	ATRIBUTOS	ACTIVIDADES
TRAFICO	AUTOS	VELOCIDAD	MANEJO
BANCO	CLIENTES	SALDO	DEPOSITOS
COMUNICACIONES	MENSAJES	PRIORIDAD	TRANSMISION
EMPRESA	CLIENTES	PEDIDO	VENTAS

TABLA 1.2.2. EJEMPLOS DE SISTEMAS.

FUENTE: GORDON, Geoffrey. Simulación de Sistemas.

La Tabla no muestra una lista completa de todas las entidades, atributos y actividades del sistema. En realidad, no es posible elaborar una lista completa sin conocer el propósito de la descripción del sistema. Dependiendo del mismo, habrán distintos aspectos del sistema que sean de interés, y que determinarán lo que nesecita identificarse.

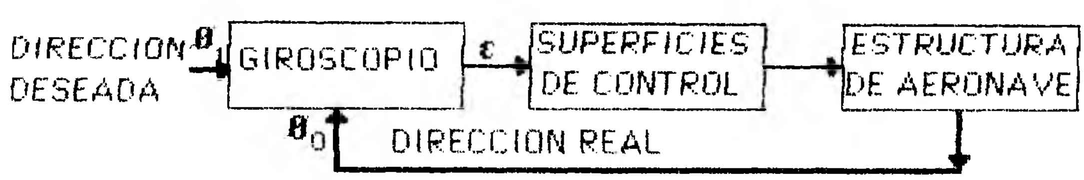

FIGURA 1.2.2.1. MODELO DE AERONAVE BAJO CONTROL

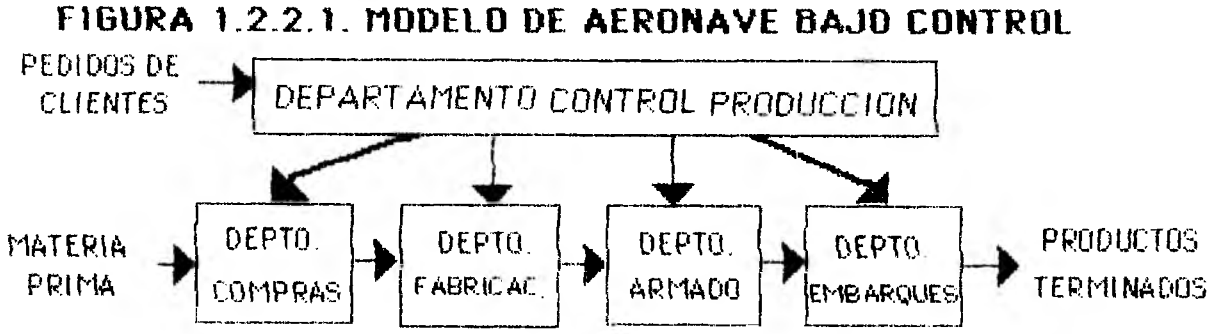

FIGURA 1.2.2.2 MODELO DE UNA EMPRESA DE PRODUCCION

1.2.3. MODELADO DEL SISTEMA[7]

Para estudiar un sistema es desde luego, posible experimentar con el mismo. Sinembargo, el objetivo de muchos estudios de sistemas es predecir la manera como se comportará el sistema antes de que sea construido. Es claro que no es factible experimentar con un sistema mientras está todavía en su forma hipotética. una alternativa que se utiliza a veces es construir una cantidad de prototipos y probarlos, lo que puede ser muy costoso u dificultado. Incluso con un sistema existente, es seguro que sea imposible o impráctico experimentar con el sistema real. Por ejemplo, no es factible estudiar los sistemas económicos mediante cambios arbitrarios de oferta y demanda de los bienes. En consecuencia, por lo general los estudios de sistemas se realizan con un modelo del sistema. Para fines de casi todos los estudios, no es necesario tener en cuenta todos los detalles de un sistema; en consecuencia, un modelo no sólo es el sustituto de un sistema, sino también una simplificación del mismo.

Definimos un modelo como el cuerpo de información relativa a un sistema para fines de estudiarlo. Ya que el propósito del estudio determina la naturaleza de la información que se reune, no hay un modelo único de un sistema. Los distintos analistas interesados en los diferentes aspectos del sistema o el mismo

---

[7] Tomado de: GORDON, Geoffrey. Simulación de Sistemas. Edit. Diana, México, pgs.19..., 1.980.

analista producirán distintos modelos del mismo sistema según cambie su comprensión del sistema.

La tarea de obtener un modelo de un sistema se dividirá en forma genérica en dos subtareas: la determinación de la estructura del modelo y proporcionar los datos. La determinación de la estructura, fija la frontera del sistema e identifica las entidades, atributos y actividades del sistema. Los datos suministran los valores de los atributos que pueden tener y definen las relaciones involucradas en las actividades. Las dos tareas de crear una estructura y suministrar los datos se definen como partes de una tarea más que como dos tareas por separado, debido a que por lo general están tan íntimamente relacionados que no se puede hacer una sin la otra. Las suposiciones relativas al sistema orientan la recolección de datos, y el análisis de éstos confirma o refuta las suposiciones. Es común que los datos recolectados revelen una relación no sospechada que cambie la estructura del modelo.

Para ilustrar este proceso, se considera la siguiente descripción de un supermercado:

Los **clientes** que necesitan **varios artículos** de consumo **llegan** a un supermercado. **Toman** un **carrito**, si lo hay **disponible**, realizan su **compra** y luego **forman cola** para salir por una de las **distintas cajas**. Después de pagar, **devuelven** el **carrito y salen** del lugar.

ENTIDAD	ATRIBUTO	ACTIVIDAD
CLIENTE	NUM. ARTICULOS	LLEGAR,
		OBTENER
CARRITO	DISPONIBILIDAD	COMPRAR,
		FORMAR COLA,
		PAGAR
CAJA	CANTIDAD,	
	OCUPACION	DEVOLVER,
		SALIR

TABLA 1.2.3. Elementos de un modelo de supermercado.
FUENTE: Simulación de Sistemas. Gordon Geoffrey.

Se han mostrado en negrillas determinadas palabras debido a que se considera que son claves para destacar alguna característica del sistema que debe de reflejarse en el modelo. En la Tabla 1.2.3. se describe esencialmente la misma descripción para identificar las entidades, atributos y actividades. Note que no aparece como una entidad el concepto de un supermercado como un todo. Define la frontera del sistema y en consecuencia establece una distinción entre el sistema y su medio ambiente. Por contraste, si los objetivos del estudio incluyen el análisis de los efectos de las facilidades de estacionamiento de autos en las empresas de supermercados, la frontera del sistema tendrá que incluír el estacionamiento. La llegada de un cliente al supermercado dependerá de que encuentre un espacio de estacionamiento, lo que puede depender de la salida de los clientes. Entonces la llegadas de los clientes al supermercado constituye una actividad exógena.

En el modelo estan implícitas otras decisiones relativas a los objetos del estudio del sistema. La cantidad de articulos de compra está representada como un atributo del cliente, aunque no se ha establecido distinción relativa al tipo de artículo. En segundo lugar, no se han hecho provisiones en el modelo del sistema para los efectos de la congestión en el tiempo de compra. Si estas decisiones no se conforman con los objetivos del estudio, será necesario utilizar otra forma de modelo. En el primer caso,en que debe de distinguirse el tipo de articulo, es necesario definir varios atributos para cada cliente, uno por cada tipo de artículo a comprar. En el segundo caso, en que debe de darse margen para la congestión, se puede tomar cualquiera de dos enfoques. Puede ser necesario introducir nuevas entidades que representen las distintas secciones del supermercado y establecer como atributos la cantidad de clientes que pueden atender simultáneamente, o en forma alterna se puede representar a la

actividad de comprar mediante una función en que el tiempo de compra dependa del numero de clientes en el supermercado.
No se sugiere que la Tabla 1.2.3. represente un proceso formal mediante el cual pueda realizarse una transición desde una descripción verbal de un sistema a la estructura de un modelo. Solamente ilustra el proceso involucrado en la formación de un modelo.

1.2.4. TIPOS DE MODELOS

Se han utilizado muchos tipos de modelos en los estudios de sistemas, además de haberse clasificado en una diversidad de maneras. A veces la clasificación se realiza en términos de la naturaleza del sistema que modelan, tal como continuo versus discreto o determinista versus estocástico.

Una segunda distinción la constituyen los modelos estáticos y los modelos dinámicos. En el caso de los modelos matemáticos, una tercera distinción es la técnica que se emplea para resolver el modelo. Se establece una distinción entre los métodos analítico y numérico. En la Figura 1.2.4. se ilustran las clasificaciones de los modelos descritos.

Como se verá más adelante, se considerará que la simulación de sistemas es una técnica númerica utilizando los modelos matemáticos dinámicos, de manera que la simulación del sistema se muestra bajo el encabezado del cómputo numérico.

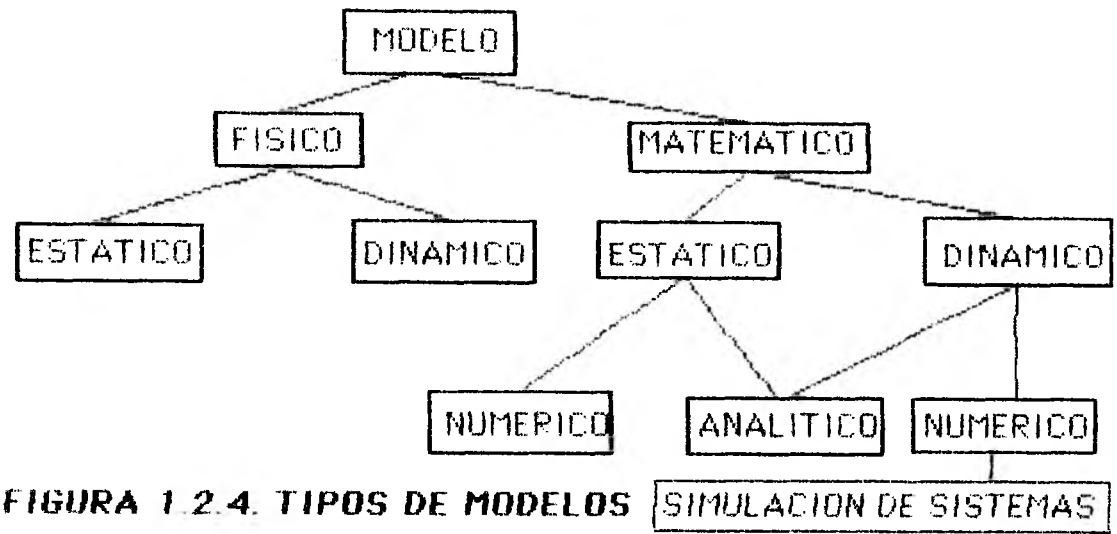

FIGURA 1.2.4. TIPOS DE MODELOS

1.2.4.1. MODELOS FISICOS

Es posible formular un modelo físico cuyo comportamiento representa el sistema que se estudia. Los atributos de las entidades del sistema se representan mediante medidas físicas tales como un voltaje, una corriente. Las actividades del sistema se reflejan en las leyes físicas (leyes de los circuitos eléctricos) que subyacen al modelo.

Los ejemplos mejor conocidos de los modelos físicos son modelos a escala que se utilizan en los túneles de viento y tanques de agua para estudiar el diseño de aeronaves y naves acuáticas. Las leyes bien establecidas de la similitud permiten realizar deducciones exactas relativas al comportamiento de un sistema a escala natural a partir del modelo a escala. Se han descrito otros tipos de modelos físicos son modelos icónicos, es decir, modelos que '' semejan'' al sistema que modelan; por ejemplo, los modelos de las estructuras moleculares formados a partir de esferas que representan a los átomos, con varillas que representan los enlaces átomicos. Tanto los modelos a escala como los icónicos son ejemplos de modelos físicos estáticos.

Los modelos físicos dinámicos se apoyan en una analogía entre el sistema que se estudia y algún otro sistema de alguna naturaleza distinta, en que por lo general la analogía depende de una similitud subyacente en las fuerzas que gobiernan el comportamiento de los sistemas.

1.2.4.2. MODELOS MATEMATICOS

En un modelo matemático, las entidades de un sistema y sus atributos se representan mediante variables matemáticas. Las actividades se describen mediante funciones matemáticas que interrelacionan las variables. Se considera a los modelos matemáticos como estáticos o dinámicos.

Un modelo estático despliega las relaciones entre los atributos del sistema cuando éste está aquilibrado. Si se cambia el punto de equilibrio alterando uno o más de los atributos, el modelo permite deducir los nuevos valores de todos los atributos, pero no muestra la manera en que cambiaron a sus nuevos valores.
Dependiendo de la naturaleza del modelo,es posible resolverlo analíticamente o puede ser necesario resolverlo numéricamente.
Por ejemplo, considere el siguiente modelo matemático simple de la economía nacional. Sea:

C el consumo,
I la inversión,
T los impuestos,
G los gastos gubernamentales y
Y el ingreso nacional.

$$C=15+0.6*(Y-T)$$
$$I=3+0.3*Y$$
$$T=0.5*Y$$
$$Y=C+I+G$$

Todas las cantidades están expresadas en miles de millones de pesos.

Ya que hay cuatro ecuaciones con cinco variables, si se da una cantidad cualquiera es posible resolver analíticamente las ecuaciones para obtener el valor de las otras cantidades. Por otra parte, si el problema es encontrar los niveles del gasto gubernamental G y las tasas T que maximicen el ingreso nacional Y, es necesario resolver numéricamente el problema.

Un modelo matemático dinámico permite deducir los cambios de los atributos del sistema en función del tiempo. Dependiendo de la complejidad del modelo, la deducción puede hacerse con una solución analítica o con un cómputo numérico. La ecuación que se dedujo para describir el comportamiento de la llanta de un auto es un ejemplo de un modelo matemático dinámico; en este caso, una ecuación que puede resolverse en forma analítica. Se acostumbra escribir la ecuación en la forma:

$$ax''+bx'+cx=d*F(t)$$

Expresada en esta forma, es posible dar soluciones en términos de la variable t.

Los modelos matemáticos dinámicos que se pueden resolver analíticamente y que dan resultados prácticos no son muy comunes Es más frecuente que tenga que resolverse el modelo mediante métodos numéricos, y como lo indica la Figura 1.2.4, la simulación es uno de esos métodos.

1.3. LA SIMULACION

En un sentido general, la simulación es una representación de la realidad.

Los atributos de entidades del sistema pueden cambiar con el tiempo; se les denomina variables del sistema o variables de estado, el conjunto de valores de atributos en cualquier punto del tiempo define el estado del sistema. Se considera que los parámetros son los valores de los atributos que no cambian durante la simulación. A las variables de estado se les debe dar un valor inicial, pero las relaciones del sistema se evalúan pediódicamente, de modo que se dice que el modelo del sistema genera valores para esas variables, estas varialbes se denominan variables endógenas. Para procesar un modelo no sólo es necesario dar valores paramétricos y valores iniciales para variables del sistema, sino que además se deben tomar disposiciones para desplazar el modelo en el tiempo. Lo que interesa es la conducta dinámica del sistema. La simulación se inicia en el tiempo cero, cuando los parámetros y las variables del sistema tienen los valores iniciales proporcionados en el análisis.

1.3.1. SIMULADORES DIGITALES A ANALOGOS

Para evitar la desventajas de los computadores analógicos se han descrito muchos sistemas de programación, conocidos como simuladores digitales a analógicos que permiten programar un problema de sistema continuo a un computador digital en esencialmente la misma manera que lo resuelve un computador analógico. Los programas mantienen las mismas técnicas generales que se desarrollaron para resolver problemas con los computadores analógicos, pero al hacerlo superan las desventajas de los analógicos. Sin embargo, su aparición de ninguna manera ha reemplazado los computadores analógicos, pues la exactitud de estos es suficiente para muchos problemas. Además, con frecuencia proporcionan una manera más económica de resolver problemas, especialmente en el caso de problemas a gran escala. Resuelven las ecuaciones en una forma verdaderamente simultánea, en tanto que el computador digital debe resolverlas en forma secuencial, lo que a menudo da a aquellos una considerable ventaja de velocidad y costo.

1.3.2. SIMULACION DE MODELOS DE SISTEMAS CONTINUOS

Un sistema continuo es aquel en que las actividades predominantes del sistema provocan cambios suaves en los atributos de las entidades del mismo. Cuando se modela matemáticamente al sistema, las variables del modelo que representan los atributos se controlan mediante funciones contínuas. En los sistemas contínuos las relaciones describen las tasas a que cambian los atributos, de manera que el modelo consiste en ecuaciones diferenciales.

Los modelos más simples de ecuaciones diferenciales tienen una o más ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes. Entonces con frecuencia es posible resolver el modelo sin utilizar simulación, igual que es posible resolver muchos modelos económicos que consisten en ecuaciones algebraicas lineales. Aun así, el trabajo involucrado puede ser tan extenso que sea preferible utilizar técnicas de simulación. Sin embargo, cuando se introducen no linealidades al modelo, con frecuencia es imposible o al menos muy difícil resolver los modelos. Los métodos de simulación para resolver los modelos no cambian fundamentalmente cuando ocurren no linealidades. El método de aplicar la simulación a los modelos continuos puede entonces desarrollarse mostrando su aplicación a los modelos en que las ecuaciones diferenciales son lineales y tienen coeficientes constantes, y luego generalizar a ecuaciones más complejas.

1.3.3. ECUACIONES DEFERENCIALES LINEALES[8]

En la ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes:

[8] KISELIOV, A., M.Krasnov, G.Makarenko. Problemas de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias. Mir Moscu, URSS, 1979.

$Mx'' + Dx' + Kx = KF(t)$

Note que la variable dependiente x aparece junto con su primera y segunda derivadas x" y x', y que los términos que comprenden a esas cantidades están multiplicados por coeficientes constantes y se suman. El término F(t) es una entrada al sistema que depende de la variable independiente t. Una ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes siempre tiene esta forma, aunque en la ecuación pueden entrar derivadas de cualquier orden.

La ecuación diferencial lineal más simple sólo comprende la primera derivada de una variable. Sinembargo, es de considerable importancia para modelar sistemas continuos, ya que representa la manera en que muchos factores crecen o decaen. Por ejemplo, considere el crecimiento de un capital que gana interés compuesto, si la tasa de crecimiento es i (es decir, interés de 100i%), la tasa a la que crece el capital es i multiplicada por el tamaño actual del capital. Expresado matemáticamente, en que P es el capital actual,

$P' = P*i$

$P = Po \quad \text{en } t = 0$

Esta es una ecuación diferencial de primer orden cuya solución es:

$P = P_0 * e^{(pt)}$

Se puede observar que el capital crece indefinidamente a una tasa exponencial. El mismo modelo simple representa el crecimiento de una población, en que el exceso de las tasas de nacimientos por sobre las defunciones es i. También puede representar una reacción química y muchos otros fenómenos.

Si una variable decae desde cierto valor inicial Xo a una tasa proporcional al valor actual. Entonces, el modelo es:

$x' = -px$

$x = X_o$ en $t = 0$

$$X = X_o * e^{(-pt)}$$

El modelo representa, por ejemplo, el decaimiento de materia nuclear debido a la radiación.

1.4. SISTEMAS ANALOGOS[9]

Los sistemas que pueden representarse mediante el mismo modelo matemático pero que son diferentes físicamente se llaman sistemas análogos. Así pues, los sistemas análogos se describen mediante las mismas ecuaciones diferenciales o integrodiferenciales o conjuntos de ecuaciones.

El concepto de sistema análogo es muy útil en la práctica por las siguientes razones:

---

[9] OGATA, Katsuhiko. Dinámica de Sistemas. Edit. Prentice/Hall. México, 1.987.

1. La solución de la ecuación que describe un sistema físico puede aplicarse directamente al sistema análogo en otro campo.

2. Puesto que un tipo de sistema puede ser más fácil de manejar experimentalmente que otro, en lugar de construir y estudiar un sistema mecánico(o sistema hidráulico, sistema neumático, económico, etc.), podemos construir y estudiar su análogo eléctrico, porque los sistemas eléctricos o electrónicos son en general, mucho más fáciles de tratar experimentalmente.

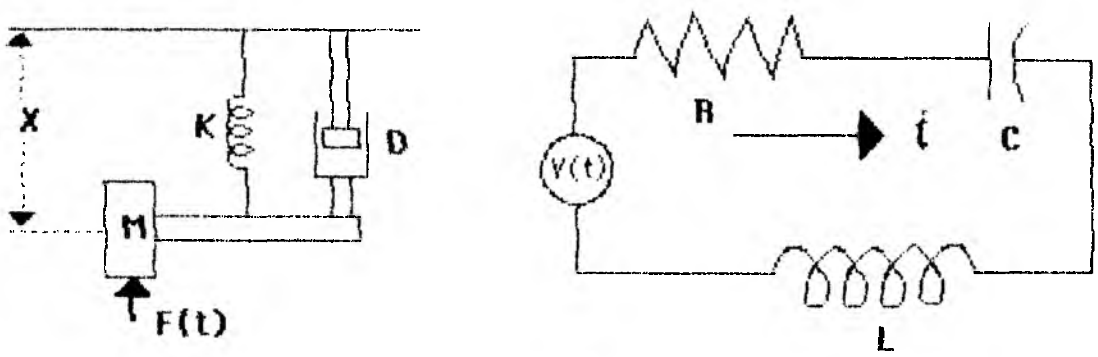

FIGURA 1.2.4.1. ANALOGIA ENTRE SISTEMAS MECANICOS Y CIRCUITOS ELECTRICOS

Para ilustrar esto, considere los dos sistemas que se muestran en la figura 1.2.4.1. La figura 1.2.4.1(a) representa una masa sujeta a una fuerza F(t) aplicada que varía con el tiempo, un resorte cuya fuerza es proporcional a su extensión o contracción y un amotiguador que ejerce una fuerza de amortiguación proporciona la velocidad a la masa. El sistema puede representar, por ejemplo, la suspensión del neumático de un automóvil cuando se supone que la carrocería del mismo está inmóvil en una dirección vertical. Se puede demostrar que la siguiente ecuación diferencial describe el movimiento del sistema:

$$Mx'' + Dx' + Kx = KF(t)$$

en que x es la distancia recorrida,

M es la masa,

K es la rigidez del resorte,

D es el factor de amortiguación del amortiguador.

La figura 1.2.4.1(b) representa un circuito eléctrico con una inductancia, una resistencia R y una capacitancia C, conectadas en serie con una fuente de voltaje que varía en el tiempo de acuerdo con la función E(t). Si q es la carga en la capacitancia, se puede demostrar que la siguiente ecuación diferencial gobierna el comportamiento del circuito.

$$Lq'' + Rq' + q/C = E(t) /C$$

Una inspección de estas dos ecuaciones muestra que tienen exactamente la misma forma y que ocurren las siguientes equivalencias entre las cantidades y entre ambos sistemas:

Desplazamiento	x	Carga	q
Velocidad	x'	Corriente	I(=q')
Fuerza	F	Voltaje	E
Masa	M	Inductancia	L
Factor de amortiguación	D	Resistencia	R
Rigidez del resorte	K	1/Capacitancia	1/C

El sistema mecánico y el eléctrico son modelos análogos y se puede estudiar el comportamiento de cualquiera con el otro. En la práctica, es más simple modificar el circuito eléctrico que cambiar el sistema mecánico, por lo que es más probable que se haya construído el sistema eléctrico para estudiar el sistema mecánico. Por ejemplo, si se considera que el neumático de un auto rebota demasiado con determinado sistema de suspensión, el modelo eléctrico lo demuestra mostrando que la carga(y por tanto el voltaje) en el condensador oscila excesivamente. Para predecir el efecto que tendrá un cambio en el amortiguador o muelle (resorte) en el comportamiento del auto, solamente será necesario cambiar los valores de la resistencia o condensador en el circuito eléctrico y observar el efecto en la manera como varia el voltaje.

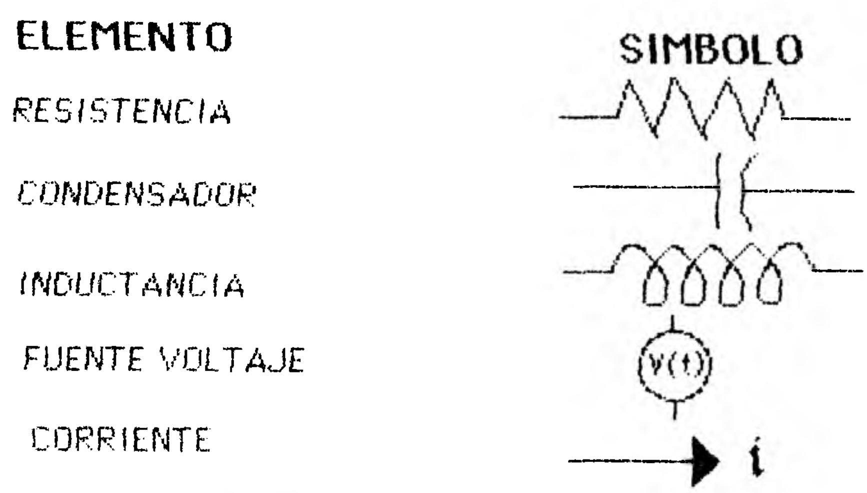

FIGURA 1.2.4.2 REPRESENTACION DE LOS ELEMENTOS ELECTRICOS

Si el sistema mecánico fuera realmente tan simple como quedó ilustrado, se podría estudiar resolviendo la ecuación matemática. Por ejemplo, si el movimiento de la rueda está limitada mediante topes físicos, se necesitará una ecuación no lineal difícil de resolver para describir el sistema. Es fácil modelar eléctricamente el efecto imponiendo límites al voltaje que puede existir en la capacitancia. Incluso en los casos en que pueden resolverse las ecuaciones matemáticas que describen a un sistema, la escala de éste puede hacer que sea más conveniente tomar las mediciones en un sistema físico más que realizar los cómputos necesarios.

Con frecuencia se estudia de esa manera las vibraciones en las estructuras, aunque puede ser factible resolver las ecuaciones modelo.

La analogía realizada entre los sistemas mecánico y eléctrico se estableció mostrando que ambos sistemas obedecen a la misma ecuación matemática. En la práctica, una vez establecida la analogía entre las resistencia, inductancia y capacitancia por una parte, y la amortiguación, masa y rigidez del resorte por la otra, se producen modelos directamente componentes eléctricas sin acudir a ecuaciones matemáticas.

1.4. LOS CIRCUITOS ELECTRICOS

Puesto que el modelo efecto de estudio es basado en circuitos eléctricos, vamos a estudiar los conceptos de carga, corriente, voltaje, energía y potencia, además los diferentes elementos que constituyen los circuitos eléctricos.

1.4.1. CONCEPTOS BASICOS PARA LOS CIRCUITOS ELECTRICOS[3]

Carga eléctrica: es la integral de la corriente con respecto al tiempo. La unidad de carga es el coulomb (C). Un coulomb es la cantidad de carga transferida en un segundo por una corriente de un amperio.

---

[3] EDMINISTER, Joseph A. Circuitos Eléctricos. Edit. McGraw-Hill, México, 1.970.

Corriente eléctrica: se refiere a la razón de cambio del flujo de carga eléctrica. La unidad de corriente es el amperio. Un amperio es una carga de un coulomb transferida a razón de un segundo.

Voltaje eléctrico: es la fuerza electromotríz requerida para producir un flujo de corriente sobre un conductor. La unidad de voltaje es el voltio.

Potencia eléctrica p se define por el producto del voltaje y la intensidad de corriente. La unidad de medida es el watt.

Matemáticamente, $p=v*i=dw/dt$

Energía : es la capacidad de realizar trabajo. Es la integral o sumatoria de una potencia durante un intervalo de tiempo. La unidad de medida en el joule.

Matemáticamente, $p=dw/dt$. de donde $w=$ integral p dt.

1.4.2. ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS[4]

---

[4] OGATA, Katsuhiko. Dinámica de Sistemas. Edit. Prentice/Hall. México, 1.987.

Fuentes de corriente: es una fuente de energía que produce un valor específico de corriente, generalmente como función del tiempo. Esta debe ser capaz de suministrar una corriente determinada independientemente del voltaje a través de la fuente.

Fuentes de voltaje: es una fuente de energía que produce un valor específico de voltaje, generalmente como función del tiempo. Esta debe ser capaz de suministrar un voltaje determinado independientemente de la corriente a través de la fuente.

Resistencia: es un elemento eléctrico cuyo voltaje $v(t)$ aplicado a sus terminales es directamente proporcional a la corriente $i(t)$ que circula por él. La constante de proporcionalidad R se llama resistencia eléctrica del elemento.

Matemáticamente $v(t)= R*i(t)$.

donde $v(t)$ es el voltaje aplicado a los terminales de la resistencia en función del tiempo.

R es la resistencia eléctrica.

$i(t)$ es la corriente que circula por la resistencia en función del tiempo.

La energía producida o disipada por una resistencia es transformada en calor.

La potencia disipada por una resistencia es: $P=I^2*R$

Inductancia: es un elemento eléctrico que al variar la corriente con respecto al tiempo, se origina en ella una fuerza electromotríz inducida v que es directamente proporcional a la variación con respecto al tiempo de dicha corriente. La constante de proporcionalidad L se llama coeficiente de autoinducción y su inidad de medida es el Henry o Henrio.

Matemáticamente $v(t)= L*di/dt$.

donde $v(t)$ es el voltaje aplicado a los terminales de la inductancia en función del tiempo.

L es coeficiente de autoinducción.

di/dt es el cambio de corriente con respecto al tiempo.

La energía almacenada en un inductor es: $E= 1/2*L*I^2$.

Capacitor o condensador: es un elemento eléctrico cuyo voltaje aplicado a los bornes es proporcional a la carga q en él almacenada. La constante de proporcionalidad C se llama capacidad del condensador y su unidad es el faradio.

Matemáticamente $i(t)= C*dv/dt$.

donde i(t) es la corriente que circula por el condensador en función del tiempo.

C es la capacidad eléctrica.

dv/dt es la variación del voltaje con respecto al tiempo.

La energía almacenada en un capacitor es: $E= 1/2*C*v^2$.

1.4.3. LEYES BASICAS DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS[5]

Ley de Ohm: establece que la corriente en un circuito es proporcional a la fuerza electromotríz total que actúa sobre el circuito e inversamente proporcional a la resitencia total del circuito.

Ley de corrientes de Kirchhoff: Un nodo en un circuito eléctrico es un punto donde tres o más conductores se unen entre sí. La ley de corrientes de Kirchhoff establece que la suma algebraica de todas las corrientes que entran al nodo es igual a la suma algebraica de todas las corrientes que salen de él.

Ley de voltajes de Kirchhoff: Establece que en cualquier momento, la suma algebraica de los voltajes alrededor de una malla cualquiera en un circuito eléctrico es igual a cero.

---

[5] EDMINISTER, Joseph A. Circuitos Eléctricos. Edit. McGraw-Hill, México, 1.970.

2. MODELO DE PRODUCCION EMPRESARIAL

La empresa se puede dividir en tres campos para la toma de decisiones; Producción, Ventas y Administración. Este trabajo se enfoca en la Producción. Un centro de decisión, es un punto en la organización donde se toma una decisión o parte de ella.

La cantidad de producto que la empresa debe producir será una función en el tiempo, que va a estar regulada por la Demanda en el mercado. Cuando la demanda disminuye, la empresa inmediatamente debe tomar la decisión de disminuír la tasa de producción.

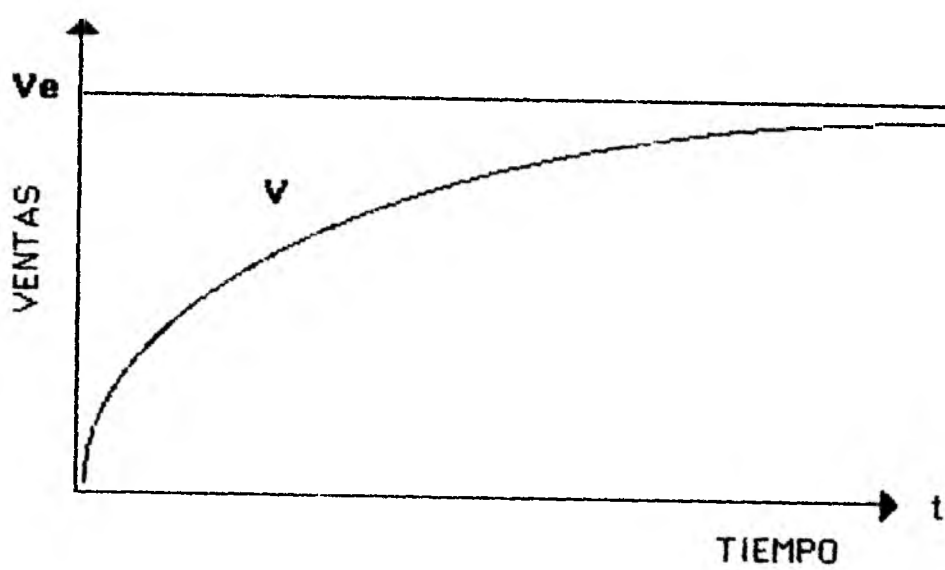

FIGURA 2.1 VENTAS EN FUNCION DEL TIEMPO

Sea Ve el número de unidades estimadas a vender y sea V el número de unidades vendidas, como se muestra en la Figura 2.1. En este caso, la función de Ventas estimadas es una línea recta con respecto al tiempo, y las ventas reales son una función exponencial en el tiempo.

La curva V que muestra las ventas reales asciende con el tiempo en un momento dado. La pendiente de la curva V, o sea la tasa de aumento de las ventas, dismunuye al acercarse la función de ventas reales al límite de las ventas estimadas (Ve), lo que refleja la disminución en las ventas conforme el mercado se va saturando:

$$\frac{dV}{dt} = K_1(Ve-V) \qquad (1)$$

donde K_1 es una constante de variación de las ventas reales con respecto a las ventas estimadas.

Para un tiempo t=0, es decir el momento en que arranca la empresa a funcionar el nivel de ventas es V=0.

Ahora sea P el número de unidades producidas, entonces el stock de inventarios será la diferencia entre la cantidad Vendida V y el número de unidades producidas. La variación de la producción con el tiempo dependerá del stock de inventarios, es decir de la diferencia entre las ventas y la producción.

$$\frac{dP}{dt} = K_2(V-P) \qquad (2)$$

donde K_2 es una constante de variación de la producción con respecto a las ventas reales.

Para un tiempo t=0, es decir el momento en que arranca la empresa a funcionar el nivel de Producción es P=0.

Despejando la función de ventas de la ecuación (2) tenemos:

$$V = \frac{dP}{K_2dt} + P \qquad (3)$$

Derivando esta ecuación con respecto a t, da:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2P}{K_2dt^2} + \frac{dP}{dt} \qquad (4)$$

Igualando esta ecuación con (1) y reemplazando a V con (3) queda:

$$K_1\left(Ve-\frac{dP}{K_2dt}-P\right)=\frac{d^2P}{K_2dt^2}+\frac{dP}{dt} \qquad (5)$$

organizando esta ecuación diferencial:

$$\frac{d^2P}{dt^2}+(K_1+K_2)\frac{dP}{dt}+K_1K_2P=K_1K_2Ve \qquad (6)$$

Haciendo

$$\frac{d^2P}{dt^2}=P''$$

y

$$\frac{dP}{dt}=P'$$

queda:

$$P''/(K_1K_2)+\{(K_1+K_2)/(K_1K_2)\}*P'+P = Ue \qquad (7)$$

Esta ecuación es un ecuación diferencial lineal de 2o. orden con coeficientes constantes, cuyo circuito eléctrico análogo es el mostrado en la Figura 2.2.

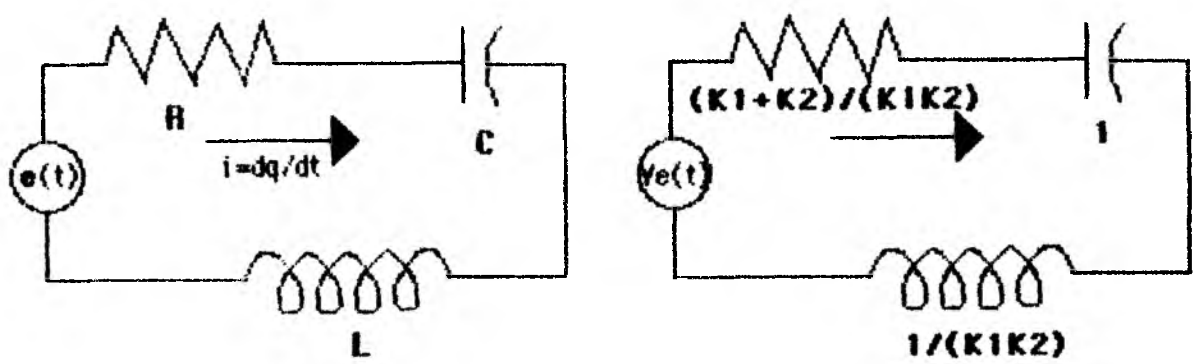

FIGURA 2. 2 CIRCUITO ELECTRICO ANALOGO AL SISTEMA DE PRODUCCION

Donde:

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = e(t) \qquad (8)$$

Haciendo:

$$\frac{d^2P}{dt^2} = P''$$

y

$$\frac{dP}{dt} = P'$$

queda:

$$Lq''+Rq'+q/C = e(t) \qquad (9)$$

Por analogía entre la ecuación (7) y (9), estas dos ecuaciones muestran que tienen exactamente la misma forma y que ocurren las siguientes equivalencias entre las cantidades y entre ambos sistemas:

Producción	P	Carga	q
Rapidez de producción	P'	Corriente	$I(=q')$
Ventas estimadas	Ve	Voltaje	e
	$1/(K_1K_2)$	Inductancia	L
	$(K_1+K_2)/(K_1K_2)$	Resistencia	R
Constante	1	1/Capacitancia	$1/C$

K_1 es una constante de variación de las ventas reales con respecto a las ventas estimadas.

K_2 es una constante de variación de la producción con respecto a las ventas reales.

2.1 ESTIMACION DE LAS VENTAS

La Función de excitación de la producción en la ecuación diferencial (7) corresponde a las ventas estimadas Ve, que son función del tiempo, dicha función corresponde en el sistema eléctrico análogo a la función de Voltaje de la fuente e(t). Esta sección estudia algunas formas de estimación de las ventas; para el análisis del circuito eléctrico mostrado en la Figura 2.2. La función de exitación del circuito eléctrico e(t); puede ser en la mayoría de los casos una función polinomial (en el caso más simple, lineal) o una función senosoidal (función de senos y cosenos); por este motivo se analizarán básicamente estas dos tipos de estimaciones.

2.1.1. REGRESION Y CORRELACION [10]

Los métodos estadísticos conocidos como regresión y correlación pueden ayudar a encontrar respuestas a preguntas como las siguientes, en el campo de la dirección de la producción: ¿Cuál es la línea media que representa la relación entre los salarios pagados y las estimaciones del grado de dificultad en el trabajo?

[10] GUJARATI, Damodar. Econometría Básica. McGraw Hill, Bogotá, 1978.

¿Existe alguna relación entre una prueba de destreza manual y la ejecución de un trabajo manual dado? Si existe, ¿qué tan buena es esta relación?

Frecuentemente se requiere como base para calcular una función de estimación a la línea de regresión que mejor represente a un conjunto de puntos, (t1, v1), (t2, v2) . . .(ti, vi) . . .(tn, vn). Consideramos las cifras representadas por el diagrama de dispersión de la Figura 2.1.1.1, en donde, mediante un sistema de puntos se ha representado una estimación. ¿Pero, cuál es la línea que mejor representa a este conjunto puntos? Comúnmente, la linea que mejor se ajusta a los puntos de la dispersión es la recta regresión, esto es, la recta que minimiza los cuadrados de las desviaciones de los puntos con relación a ella e iguala a cero la suma de tales desviaciones. Esta recta de los mínimos cuadrados es :

$v = a + bt$

donde:

$$b = (n*\Sigma tv-\Sigma t\Sigma v)/(n*\Sigma t^2-(\Sigma t)^2)$$

$$a = (\Sigma v-b\Sigma t)/n$$

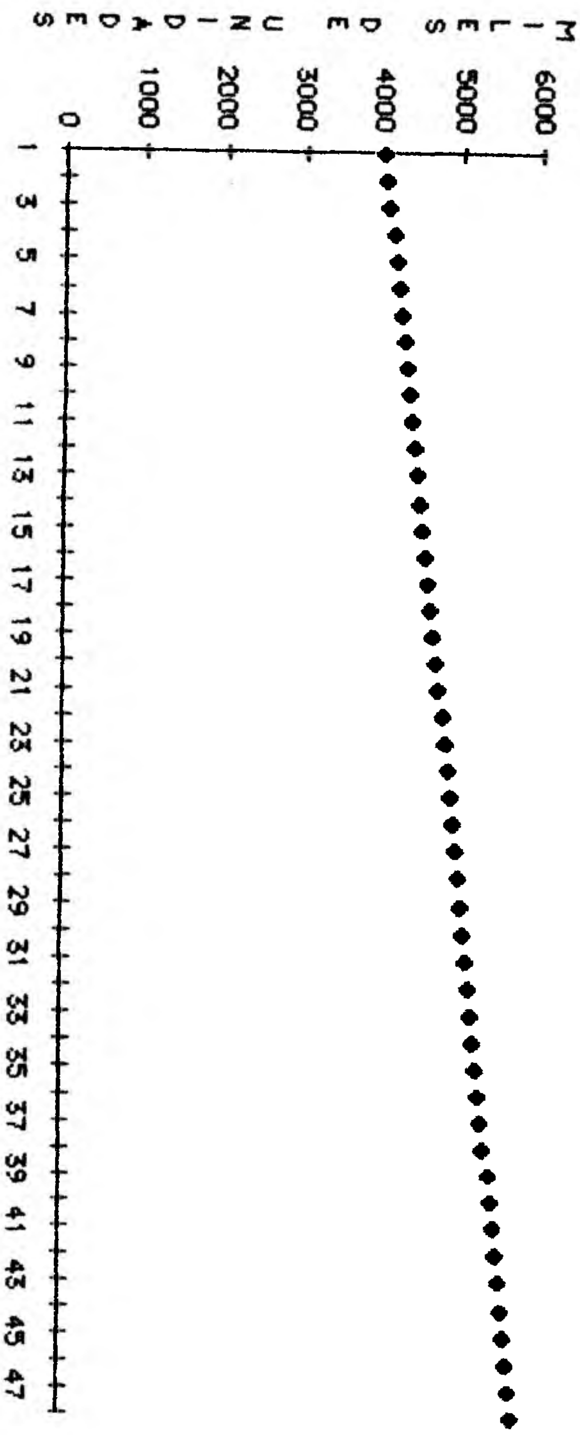

FIGURA 2.1.1.1 DIAGRAMA DE DISPERSION DE UNA ESTIMACION

El código TURBO PASCAL mostrado en el ANEXO 1, corresponde al programa desarrollado por el investigador con base en el método de los mínimos cuadrados para estimar una función polinomial, dados un determinado número de parámetros y una muestra con datos reales. Ya que la ecuación resultante y = a + bx, es una línea recta, el valor de a es el punto donde la línea cruza al eje vertical y el de b, la pendiente de la recta. Para los datos dela Tabla 2.1., la ecuación de la recta es:

Ve = 3963.34 + 36.23763*t
r=0.60676
r2=0.3682

La línea cruza el eje de la cantidad en 3963.34 miles de unidades. y por cada mes sobre el eje horizontal agregamos 36.23763 miles de unidades. La recta está superpuesta en el diagrama de dispersión de la Figurá 2.1.1.2. En donde se muestra además los valores reales de Ventas, al igual que la proyección de la función estimada de ventas en los próximos doce períodos.

FIGURA 2.1.1.2 VENTAS REALES Y VENTAS ESTIMADAS EN FUNCION DEL TIEMPO

Año	Mes	Mes	Ventas Reales	Estima Lineal
1986	Enero	1	4734	4000
	Febrero	2	4254	4036
	Marzo	3	2460	4072
	Abril	4	4748	4108
	Mayo	5	3890	4145
	Junio	6	3475	4181
	Julio	7	4589	4217
	Agosto	8	5043	4253
	Septiembre	9	4768	4289
	Octubre	10	5479	4326
	Noviembre	11	4080	4362
	Diciembre	12	4598	4398
1987	Enero	13	4490	4434
	Febrero	14	4472	4471
	Marzo	15	4245	4507
	Abril	16	2945	4543
	Mayo	17	4672	4579
	Junio	18	4561	4616
	Julio	19	5687	4652
	Agosto	20	5063	4688
	Septiembre	21	3982	4724
	Octubre	22	4423	4761
	Noviembre	23	4534	4797
	Diciembre	24	4698	4833

Año	Mes	Mes	Ventas Reales	Estima Lineal
1988	Enero	1	4230	4869
	Febrero	2	5120	4906
	Marzo	3	4930	4942
	Abril	4	5267	4978
	Mayo	5	4723	5014
	Junio	6	4732	5050
	Julio	7	5079	5087
	Agosto	8	4980	5123
	Septiembre	9	5845	5159
	Octubre	10	5342	5195
	Noviembre	11	5903	5232
	Diciembre	12	6759	5268
1989	Enero	13	4350	5304
	Febrero	14	4238	5340
	Marzo	15	4659	5377
	Abril	16	5843	5413
	Mayo	17	4564	5449
	Junio	18	5320	5485
	Julio	19	5740	5522
	Agosto	20	4945	5558
	Septiembre	21	5946	5594
	Octubre	22	5530	5630
	Noviembre	23	6087	5667
	Diciembre	24	6834	5703
1990	Enero	25		5739
	Febrero	26		5775
	Marzo	27		5811
	Abril	28		5848
	Mayo	29		5884
	Junio	30		5920
	Julio	31		5956
	Agosto	32		5993
	Septiembre	33		6029
	Octubre	34		6065
	Noviembre	35		6101
	Diciembre	36		6138

TABLA 2.1.1.2 VENTAS REALES Y ESTIMADAS

Obsérvemos más ampliamente la supuesta estructura que estamos manejando en la ecuación regresión. En cada momento hay un valor de ventas. La ecuación regresión se usa frecuentemente para estimar Ve para un valor dado de t dentro de ciertos límites de probabilidad, con una media y una variancia conocidas.

La probabilidad de que Ve esté fuera de ciertos valores, está determinada por los límites confianza.

Existen otras técnicas de regresión adecuadas para casos en que la línea recta no representa a los datos. También hay técnicas de regresión múltiple, para cuando deben relacionarse más de dos variables. El programa en TURBO PASCAL DEL ANEXO 1, trabaja haciendo regresión múltiple.

La correlación es una medida del grado en que dos variables están relacionadas. Aunque muchas veces podemos suponer que existe una dependencia con sólo observar el diagrama de dispersión, un coeficiente de correlación nos dice qué tan fuerte es la dependencia. Si todas las ventas reales hubieran caído sobre la línea de regresión; es decir, si los cuadrados de las desviaciones con relación a la línea de regresión fueran igual a cero, en tal caso el coeficiente de correlación hubiera sido +1.00. La correlación es , entonces, una medida de la dispersión de los puntos en un diagrama. Si los puntos están dispersados completamente al azar, la correlación es nula y no existe relación entre las variables. Si una de las variables en general aumenta mientras las otras disminuyen, tenemos una relación inversa o una correlación negativa. Los coeficientes de correlación varían de -1.00 a +1.00.

Un coeficiente de correlación (r) de 0.85 indica un mayor grado de correlación que 0.50 y similarmente un coeficiente r de -0.85 indica un grado de correlación mayor que -0.50. Es importante notar, sin embargo, que si r=0.90, esto no implica que exista una correlación dos veces más grande que r=0.45, puesto que nuestra habilidad de predecir y dada x, está mejor representada por r al cuadrado, que es el cuadrado del coeficiente de correlación. Por lo tanto, r=0.90 (r cuadrado=0.81) es aproximadamente dos veces mejor que r=0.636 (r cuadrado=0.405).

2.1.1.1. QUE TAN BUENO ES EL COEFICIENTE DE CORRELACION

Muy frecuentemente los coeficientes de correlación se citan, sin ninguna indicación de la confianza que podemos depositar en ellos. Hay pruebas estadísticas que nos permiten hacer estimaciones de probabilidad acerca de los r observados. Adoptando un nivel de significancia, podemos afirmar, por ejemplo, que estamos 95% seguros de que el r=0.80 que hemos calculado, no es menor de 0.75. Una manera fácil de comprobarlo es comparar el valor de r con los valores dados en la Tabla 2.1.1.1. Esta tabla da los valores críticos de r, que deben ser sobrepasados por cierto número de observaciones n, para tener confianza de que r no es realmente cero. Los valores críticos están dados para niveles de confianza de 95 y 99 por ciento. Esta prueba supone que tanto x como y están normalmente distribuidas.

n	99%	n	99%	n	99%	n	99%
10	.765	22	.537	34	.436	46	.376
12	.708	24	.515	36	.424	48	.368
14	.661	26	.496	38	.413	50	.361
16	.623	28	.479	40	.403	60	.330
18	.590	30	.361	42	.393	100	.256
20	.561	32	.449	44	.384	1000	.081

TABLA 2.1.1.1. VALORES CRITICOS DE r PARA 99% DE CONFIANZA. Estos valores deben ser supuestos para una muestra dada de tamaño n, para tener la seguridad de que el valor de r observado no es en realidad cero.

FUENTE: BUFFA, Administración de Producción.

La función estimada de ventas da un r=0.60676 y un r cuadrado=0.3682. Según la anterior tabla, con n=48 que es el caso, puede darse un r igual o por encima de 0.368 para obtener un 99% de significancia.

2.1.1.2. ¿SIGNIFICA r QUE EXITE UNA RELACION CAUSAL?

Algunas veces se infiere que un alto r indica que los cambios en x ocasionan cambios en y. Esto es posible, pero no hay nada en el análisis de la correlación que haga necesaria esta circunstancia. La existencia de r meramente indica que x e y se mueven juntas. Puede ser que algún otro factor controle a ambas. por ejemplo, puede ser importante que la resistencia a la tensión(la fuerza requerida por pulgada cuadrada de sección transversal para romperla) de una pieza de acero sea cuando menos de 60.000 libras por pulgada cuadrada. Ya que la prueba de la tensión requiere la destrucción de la pieza, buscamos alguna prueba que esté sumamente correlacionada con la resistencia a la tensión y encontramos que una prueba de dureza tiene un coeficiente de correlación de +0.90 con la resistencia a la tensión y no destruye la pieza. La dureza no determina la resistencia a la tensión, ni recíprocamente. Más bien, tanto la dureza como la resistencia a la tensión son controladas por la composición química del acero, por el proceso de laminación que recibió en la fábrica de acero y por los procesos de calentamiento que ha recibido.

2.1.2. METODOS DE PRONOSTICOS CON SERIES DE FURIER

La rapidez, economía y capacidad del almacenaje de las computadoras de reciente introducción, han hecho que resulte comercialmente factible el empleo de modelos matemáticos de pronóstico muy sofisticados. En esta sección describimos uno -el modelo de pronóstico de mínimos cuadrados con series de Fourier- y mostramos cómo se emplea para pronosticar productos que exhiben patrones estacionales de ventas. En el ANEXO 2 aparece un listado EN TURBO PASCAL, documentado, sobre un modelo de pronóstico.

El fundamento matemático de este método lo estableció Joseph Fourier, físico y matemático francés, en 1882. Fourier demostró que cualquier función periódica (es decir, estacional) que sea finita, de un solo valor, y continua en un período(estación), se puede representar por medio de una serie matemática consistente en un término constante, más la suma de términos armónicamente relacionados de senos y cosenos. La ecuación de la serie de Fourier es :

$$F(t)=K_1+K_2 sen \omega t+K_3 cos \omega t+K_4 sen \omega t+K_5 cos 2\omega t+K_6 sen 3\omega t+K_7 cos 3\omega t$$

Donde

$F(t)$ = El valor numérico de la serie calculada en el tiempo t.

K_1= Un término constante.

K_2, K_3,...=Coeficientes que definen la amplitud de las armónicas.

$w = 2*(pi/T) = 6.28318/T$

T = La longitud del período (es decir, el número de intervalos entre pronósticos por año).

La serie se expresa como infinita porque, en teoría, se requiere un número infinito de términos para duplicar matemáticamente, con absoluta precisión una función periódica dada. Las técnicas de series de Fourier se emplean mucho en ingeniería y en las ciencias para representar formas de ondas eléctricas, la vibración de estructuras mecánicas, el movimiento de las olas del océano, etc. Los patrones periódicos de estacionalidad anual de muchos productos de consumo en una amplia variedad de industrias proporcionan oportunidad obvia para la extensión de este concepto al campo del pronóstico en la empresa.

Para aplicar las series de Fourier al pronóstico en la empresa, se requiere que agreguemos un término adicional a la ecuación anterior, para tomar en cuenta el componente de tendencia de las ventas. Con esta adición el modelo de pronóstico abarcará los tres componentes básicos de las ventas: la media de las ventas , las tendencias del promedio y los patrones estacionales. Los variaciones al azar alrededor del patrón básico se manejan con un modelo de ajuste por mínimos cuadrados. El ampliado Modelo de series de Fourier para el Pronóstico en los Negocios se convierte en :

$$F(t) = K_1 + K_2t + K_3sen\omega t + K_4cos\omega t + K_5sen2\omega t + K_6cos2\omega t + \ldots$$

El término at representa la demanda media, excluyendo las influencias estacionales o de promoción. El término a2t representa la tendencia de las ventas. Los términos restantes se refieren al patrón estacional de ventas y proporcionan mejor ajuste del modelo a los datos históricos de venta.

La selección de los datos de demanda representativos es una decisión muy importante, porque la operación del modelo de pronóstico se basa en el supuesto de que los patrones históricos de venta se pueden utilizar para estimar los patrones históricos de venta futuros. En la práctica se encuentra que este supuesto se satisface en un número sorprendentemente grande de productos tradicionales que se venden en mercados estables, como es el caso de los cereales, insecticidas, trampas para roedores, cidra, platos de papel y de plástico, etc. Pero no ocurre lo mismo con los productos nuevos y con muchos otros que son objeto de gran promoción, en que las ventas, a consecuencia de una promoción, son de tal magnitud que ocultan cualesquier factor estacional que pueda darse efectivamente. Supongamos, para fines de nuestro ejemplo, que hemos analizado los 48 meses de datos de ventas que aparecen en la Tabla 2.1.2 , y que se ha concluido que son satisfactorios para fines del modelo.

El siguiente paso en el proceso de elaboración del modelo consiste en determinar el número de términos que se deban usar en el mismo. Esta es una decisión fundamental, porque el tiempo de computadora que se requiere para correr el modelo aumenta a medida que se incrementa el número de términos. Por otra parte, al incrementar el número de términos del modelo, mejora el ajuste de éste a los datos históricos. En última instancia, la selección del número de términos es cuestión de criterio, basada en un cambio entre la mejoría del ajuste a los datos históricos y la disposición de aceptar mayores costos del procesamiento en la computadora. Por regla general, el número mínimo de términos del modelo es igual a dos veces el número de picos de un ciclo estacional más dos.

El proceso de ajuste del modelo sigue un procedimiento desarrollado por Brown. Este procedimiento implica el uso de técnicas estándar de regresión para seleccionar los coeficientes del modelo, en forma tal que se reduzca a un mínimo la suma de los cuadrados de las desviaciones existentes entre las ventas históricas y los valores de pronóstico. Los pasos específicos de este proceso se describen en el programa de computadora para el pronóstico en el ANEXO 2. La reducción al mínimo de la suma de los cuadrados de los errores de pronóstico se utiliza como criterio de la bondad del ajuste; en consecuencia, la distribución de los errores de pronóstico debería ser normal, en teoría, con una media de cero. El análisis de la distribución de los errores de pronóstico ayuda a seleccionar el número apropiado de términos que deban emplearse. También se pueden utilizar otras técnicas estadísticas, tales como el análisis de correlación y de autocorrelación.

Dado que nuestros datos contienen dos picos en cada ciclo estacional de 12 meses, un primer paso podría consistir en ajustar un modelo de 4 términos a los datos y observar los resultados. El modelo de 4 términos representa el tipo de modelo de predicción más sencillo que contiene un término constante, uno de tendencia y un par de seno-coseno:

$$F(t) = K_1 + K_2 t + K_3 \operatorname{sen} \omega t + K_4 \cos \omega t$$

F(t)= 3743.32 +39.34*t+599.5*cos(w1*t)+601.3*sen(w2*t)

Es la función dada para el modelo de 4 términos.

donde w1=2*pi/12

y w2=2*pi/24

En la Figura 2.1.2 aparece una porción del resultado producido por el programa de computadora para pronósticos con series de Fourier con N- el número de términos que se desea en el modelo-, igual a 4. El programa lee los 48 meses de historia de las ventas que aparecen en la Tabla 2.1.2.2., calcula los coeficientes del modelo de 4 términos y, luego, compara las ventas efectivas con las de pronóstico en un formato tabular y gráfico. La gráfica del pronóstico se continúa un año hacia el futuro, hasta el mes 60. Se puede observar que el pronóstico producido por el modelo es sinusoide y no sigue las irregularidades, de mes a mes, del patrón histórico de las ventas. La naturaleza sinusoide del pronóstico es consecuencia de la selección del modelo más sencillo con un solo par de seno-coseno.

Catorce términos permiten utilizar seis pares de seno-coseno armónicamente relacionados. Se podrían ajustar igualmente modelos hasta con 14 términos y analizar los resultados.

Año	Mes	Mes	Ventas Reales	Estima Senoidal
1986	Enero	1	4734	4457
	Febrero	2	4254	4322
	Marzo	3	2460	4214
	Abril	4	4748	4083
	Mayo	5	3890	3989
	Junio	6	3475	3979
	Julio	7	4589	4068
	Agosto	8	5043	4240
	Septiembre	9	4768	4450
	Octubre	10	5479	4636
	Noviembre	11	4080	4738
	Diciembre	12	4598	4715
1987	Enero	13	4490	4557
	Febrero	14	4472	4293
	Marzo	15	4245	3979
	Abril	16	2945	3689
	Mayo	17	4672	3495
	Junio	18	4561	3450
	Julio	19	5687	3574
	Agosto	20	5063	3846
	Septiembre	21	3982	4215
	Octubre	22	4423	4608
	Noviembre	23	4534	4951
	Diciembre	24	4698	5186

Año	Mes	Mes	Ventas Reales	Estima senoidal
1988	Enero	1	4230	5288
	Febrero	2	5120	5265
	Marzo	3	4930	5158
	Abril	4	5267	5026
	Mayo	5	4723	4933
	Junio	6	4732	4922
	Julio	7	5079	5011
	Agosto	8	4980	5184
	Septiembre	9	5845	5393
	Octubre	10	5342	5579
	Noviembre	11	5903	5681
	Diciembre	12	6759	5658
1989	Enero	13	4350	5501
	Febrero	14	4238	5236
	Marzo	15	4659	4922
	Abril	16	5843	4632
	Mayo	17	4564	4438
	Junio	18	5320	4394
	Julio	19	5740	4517
	Agosto	20	4945	4789
	Septiembre	21	5946	5158
	Octubre	22	5530	5551
	Noviembre	23	6087	5894
	Diciembre	24	6834	6129
1990	Enero	25		6231
	Febrero	26		6208
	Marzo	27		6101
	Abril	28		5970
	Mayo	29		5876
	Junio	30		5865
	Julio	31		5954
	Agosto	32		6127
	Septiembre	33		6337
	Octubre	34		6522
	Noviembre	35		6624
	Diciembre	36		6601

TABLA 2.1.2.2 VENTAS REALES Y ESTIMADAS CON SERIES DE FURIER

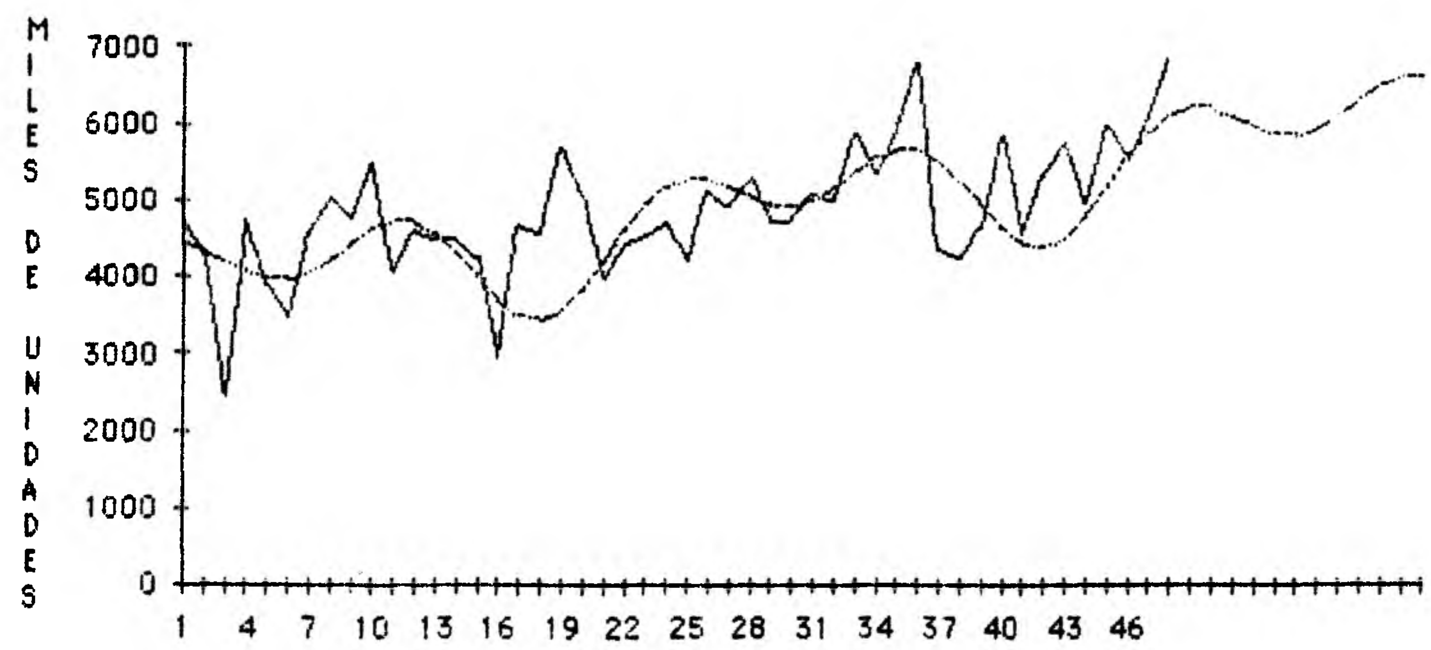

FIGURA 2.1.2.2. VENTAS REALES Y ESTIMADAS CON
SERIES DE FURIER

Es importante vigilar la actuación del modelo una vez que el modelo de pronóstico se ha puesto en operación. Un cambio repentino de la demanda producido por la apertura de un nuevo mercado, la acción de un competidor, etc.,podría invalidar rápidamente los resultados producidos por el modelo, los cuales se basan en el supuesto de que los patrones históricos de ventas continuarán en el futuro. El modelo podría ser reajustado continuamente a los nuevos datos de ventas. Otro enfoque consiste en utilizar los métodos de ajuste de respuesta con suavizamiento exponencial, aquí la idea consiste en ajustar el modelo y luego modificar los coeficientes del mismo mediante el suavizamiento exponencial. Cada coeficiente del modelo se rectifica, añadiéndole al coeficiente del modelo anterior, el producto del factor de suavizamiento del término que corresponda al modelo por el error de pronóstico. Se puede emplear el suavizamiento normal y rápido para contrarrestar la tasa de crecimiento del error de pronóstico que determine la señal de rastreo.

2.1.3. OTRO METODO DE PRONOSTICO: PROMEDIOS EXPONENCIALES PONDERADOS

Aunque en este trabajo no se aplicó este método, se considera importante, que se le dé algún tratamiento.

La operación del más sencillo de los promedios exponenciales ponderados se basa en un ajuste,período por período, del promedio del promedio predicho en último término(Ft-1) , (sumando o restando) una fracción(alfa) de la diferencia existente entre la demanda efectiva en el período en curso(Dt) y el promedio predicho en último término(Ft-1). El resultado(que no indica ninguna extrapolación) nos da el nuevo pronóstico promedio para el período en curso (Ft):

$$Ft = Ft-1 + alfa(Dt-Ft-1) \qquad (1)$$

La fracción de la diferencia existente entre la demanda real y la estimación del promedio del período anterior, alfa, es la constante de amortiguamiento exponencial que se seleccione y que debe tener un valor entre 0 y 1(en realidad, los valores más comúnmente empleados se encuentran entre 0.01 y 0.3). Reacomodando la ecuación (1) obtenemos el promedio de pronóstico, Ft, en forma más conveniente:

$$F_t = alfa D_t + (1-alfa)\, F_{t-1} \qquad (2)$$

La conveniencia de cálculo de la ecuación (2) es obvia para la calculadora de escritorio o para la computación en gran escala en le pronóstico de gran número de artículos de inventario.

Los períodos de tiempo representados por Ft, Dt y Ft-1 son confusos a veces. En primer lugar, observaremos que Ft no es una extrapolación más allá de los datos de demanda conocidos. Por el contrario, es el promedio suavizado más actual que se utiliza para guiar las operaciones corrientes y se calcula en el tiempo t. Realmente no es un verdadero pronóstico, sino una presentación de la demanda corriente. Entonces, ¿cómo puede ser Ft diferente de Dt? Esta última cifra es un dato original disponible en el tiempo t que contiene componentes de la variaciones al azar.

La cifra del promedio del pronóstico está suavizada para descontar el efecto de la variación al azar. Por ejemplo, si alfa=0.20, la ecuación (2) establece que el promedio del pronóstico Ft en el período t se determina sumando el 20 por ciento de la nueva información de la demanda actual Dt al 80 por ciento del último pronóstico promedio Ft-1. En esta forma se descuenta el 80 por ciento de las posibles variaciones al azar incluidas en Dt. Los valores pequeños de alfa tendrán un fuerte efecto suavizador. En cambio, los valores altos alfa reaccionarán más rápidamente ante los cambios reales de la demanda.

Se justifica la extrapolación a partir de Ft, para inferir un pronóstico para el período t +1 , ya que nada en el modelo indica la existencia de tendencias o estacionalidades que deban tomarse en cuenta. Por lo tanto, el pronóstico para el período próximo F*t-1 se toma directamente del valor calculado para Ft(los simbolos con asterisco *, representarán valores extrapolados o del pronóstico).

La ecuación (2) es sencilla, pero el hecho de que incluya todos los datos pasados, que ponga de relieve los datos más recientes y que sea en realidad un verdadero promedio de todos los datos pasados no es tan obvio.

Ahora demostraremos que esto es cierto. Principiando con la ecuación (2), podemos sustituir el último promedio pronosticado Ft-1 con una ecuación similar que involucre la demanda efectiva en ese período, Dt-1, y el pronóstico promedio anterior, Ft-2:

$$F_{t-1} = \text{alfa}D_{t-1} + (1-\text{alfa})F_{t-2}$$

que se puede sustituir en la ecuación (2), Ft = alfaDt + (1-alfa) [alfaDt-1+(1-alfa)Ft-2]

= alfaDt + alfa(1-alfa)Dt-1 + (1-alfa) al cuadrado por Ft-2 (3)

Lo que nos da una ecuación para Ft en términos de alfa,Dt, Dt-1 y Ft-2. Pero Ft-2 se determinó mediante una computación similar, es decir,

Ft-2 = alfaDt-2 + (1-alfa)Ft-3

que podemos sustituir en lugar de Ft-2 en la ecuación (3) para obtener:

Ft = alfaDt + alfa(1-alfa)Dt-1 + (1-alfa)al cuadrado[alfaDt-2 + (1-alfa)Ft-3]

= alfaDt + alfa(1-alfa)Dt-1 + alfa(1-alfa) al cuadrado por Dt-2 +(1-alfa)al cubo porFt-3.

Ahora tenemos una expresión equivalente para Ft que tiene la constante alfa, las tres demandas reales pasadas y el pronóstico promedio de tres períodos atrás. Podemos continuar este proceso de sustitución sucesiva para el término del pronóstico promedio restante, recorriendo hacia atrás todo el camino, a través de la serie entera de datos de k períodos, y terminar con la expresión:

Ft = alfaDt + alfa(1-alfa)Dt-1 + alfa(1-alfa)a la 2 por Dt-2 +alfa(1-alfa)a la 3 por Dt-3 + . . . + alfa(1-alfa) a la k por Dt-k + (1-alfa) a la k+1 por Ft-(k+1) (4)

La ecuación (4) incluye ahora todas las demandas reales del registro de datos, más el pronóstico promedio original utilizado(k+1) períodos atrás.

Dado que el factor(1-alfa) a la k+1 se hace muy pequeño y se aproxima a cero a medida que k crece, se puede ignorar el último término. Al mismo tiempo, la suma de los otros coeficientes, alfa(1-alfa) a la n, se aproxima a 1, y así tenemos las condiciones de un auténtico promedio ponderado. También es fácil ver ahora que el peso efectivamente conferido a cada una de las D depende del valor de alfa, y que a las demandas más recientes se les asigna un peso mayor.

Ahora podemos volver a la ecuación(2), que es la que utilizaremos para fines del cálculo. Es engañosamente sencilla, pero recordemos que el término Ft-1 ha sido generado mediante un proceso de secuencia que en realidad representa todas las demandas reales del pasado. Hemos mostrado que la selección de alfa, la constante de suavizamiento, se puede hacer en tal forma que los datos recientes se pongan de relieve con la intensidad que se desee. Un valor relativamente grande de alfa hará que el pronóstico promedio Ft responda rápidamente a los cambios de la demanda real, reflejando una fracción de los cambios al azar de la demanda, así como los cambios reales en la demanda media. Un valor pequeño de alfa responderá más lenta y suavemente. Brown recomienda principiar con una constante de amortiguamiento de 0.3 y reducirla a 0.1 después de seis meses. Al principio de esta sección aludimos al hecho de que el pronóstico promedio se retrasaría en relación con la tendencia ascendente o descendente. Se puede corregir este retraso, por lo que examinaremos los métodos de realización de esta corrección mediante el amortiguamiento exponencial.

2.1.3.1. EFECTOS DE TENDENCIA

La tendencia aparente de un período a otro es, sin más, la diferencia de los pronósticos promedio de un período al siguiente, Ft - Ft-1. Pero, por supuesto, esta diferencia está sujeta a las variaciones al azar que ocurren y que pueden ser suavizadas exponencialmente en la misma forma que la demanda media. Lo que deseamos es una tendencia media exponencial ponderada; el procedimiento es similar al de los promedios. La tendencia actual aparente es la diferencia existente entre los últimos dos pronósticos promedio, es decir:

Tendencia atual aparente= Ft - Ft-1

El nuevo ajuste medio de tendencia, Tt, es entonces

Tt = alfa(tendencia actual aparente) + (1-alfa) (último ajuste medio de tendencia)

$$= alfa(F_t - F_{t-1}) + (1-alfa)T_{t-1} \qquad (5)$$

La demanda esperada, incluyendo un ajuste por tendencia, es el nuevo pronóstico promedio Ft, computado de acuerdo con la ecuación (2), más una fracción del nuevo ajuste medio de tendencia calculado en la ecuación (5) :

Demanda esperada para el período en curso= E(Dt)

$$= F_t + \frac{(1 - alfa)}{alfa} T_t \qquad (6)$$

El término (1- alfa)/alfa es una corrección por el retraso en Tt, en respuesta a un brinco hacia arriba o hacia abajo. El término de retraso es más complejo en otras funciones.

Extrapolación y pronósticos. Al igual que en el modelo sin tendencia, la ecuación (6) no implica ninguna extrapolación más allá de los datos de demanda conocidos. Para extrapolar más allá de E(Dt), con el fin de predecir D*t+1, se requiere que agreguemos Tt, el ajuste medio de tendencia más reciente,

$$D^{*}_{t+1} = E(D_t) + T_t = F_t + \frac{1- alfa}{alfa} T_t + T_t$$

$$= Ft + \frac{1}{alfa} Tt \qquad (7)$$

Entonces para extrapolar o pronosticar la demanda para n períodos en el futuro,

$$D^{\circ}t{+}n = E(Dt) + nTt$$

$$= Ft + (1/alfa + n - 1) Tt \qquad (8)$$

Al igual que en el caso de los cálculos del pronóstico promedio, los del ajuste medio de tendencia, de la demanda esperada y los de los pronósticos, pueden efectuarse fácilmente con una calculadora de escritorio o una computación automática.

Computaciones. En este punto,un ejemplo servirá para ilustrar los métodos de pronósticos promedio y de ajustes medios de tendencia para el amortiguamiento exponencial. Adviértase el efecto suavizante de la series de los pronósticos promedio y de la predicción extrapolada y el hecho de que el ajuste de tendencia corrige el retraso del pronóstico promedio simple cuando existe una tendencia. Adviértase también que el pronóstico promedio (sin ajuste de tendencia) se retrasa en relación con la curva de pronóstico extrapolada, colocándose por encima cuando la tendencia es negativa y por debajo cuando es positiva.

3. SIMULACION Y TOMA DE DICISIONES

El centro de información, es el elemento de la empresa donde se reúne la información, se transmite, concentra, almacena, analiza. Hay información que se genera dentro y fuera de la empresa. Los centros de decisión y el centro de información en la empresa se encuentran estrechamente ligados por la información, así van a existir flujos de información entre las diferentes secciones de la empresa y el centro de información. El sistema de información de la empresa se define como el conjunto total de enlaces de información dentro de la organización. "Un sistema dado de información implica especificaciones completas y explícitas, de modo que sepamos quién recibe qué información en la empresa, dónde se reúne la información, cómo y cuándo se transmite"[6]

El sistema de decisión totaliza todas las reglas de decisión en la institución, además las reglas de decisión dependen de la información misma. Una condición necesaria para la toma de decisiones, es la disponibilidad de la información.

Es posible que el elemento más distintivo del modelo sea el de que las decisiones no son simplemente el resultado de la

---

[6] NAYLOR, H. Thomas. Experimentos de Simulación en Computadoras con Modelos de Sistemas Económicos. Edit. Limusa, México, 1982.

aplicacion de una regla de decision a un conjunto dado de entradas de informacion. Si la toma de decisiones es un fenómeno conductual y de organizacion, el modelo debe reflejar esos elementos del proceso de toma de decisiones.

3.1. EL MODELO SIMULADO

Como se indicó en la sección anterior, el modelo de producción simulado con circuitos eléctricos, analizado bajo parámetros eléctricos y con dos funciones de excitación: Una fuente de voltaje continua, que simula las ventas estimadas linealmente (Figuras 3.1.1 a 3.1.8), y una fuente de voltaje senosoidal (Figuras 3.2.1 a 3.2.10), que simula las ventas estimadas por medio de series de Furier. En ambos casos la simulación se hace variando en forma sistemática los coeficientes K1 y k2.

Las figura 3.1.1 muestra la función de producción en función del tiempo simulada bajo el circuito como función de carga, la cooriente eléctrica en el circuito, corresponde a la velocidad de producción de la empresa; en este caso k1=0 y k2=0.001.

Como se puede observar, esta función se encuentra muy por debajo de una curva estimada de producción, considerando que la empresa soporta niveles medios o bajos de stock del producto.

Es de hacer anotar que los datos reales de ventas correnponden a un período de la empresa que no empieza con el inicio de su función.

La figura 3.1.2.y 3.1.3 muestran como no hay reacción de la producción cuando K1=0; la constante de variación de las ventas estimadas con respecto a las ventas reales es el parámetro que da impacto a la función de producción.

En la medida en que K1 reacciona (aumenta), la curva de producción en función del tiempo se va haciendo exponencial, como se puede observar en las Figuras 3.1.4, 3.1.5 y 3.1.6.

Las figuras 3.1.7 y 3.1.8 muestran como la función de producción reacciona en forma más oscilante con respecto al tiempo, los coeficientes k1=0.4 y k2=0.5 muestran una curva de producción que va siguiendo en forma más cercana a las ventas.

En la siguiente sección se analizarán los circuitos bajo la forma de una excitación senosoidal (Voltaje de la fuente) que simula las ventas estimadas por series de Furier en la sección 2.1.2.

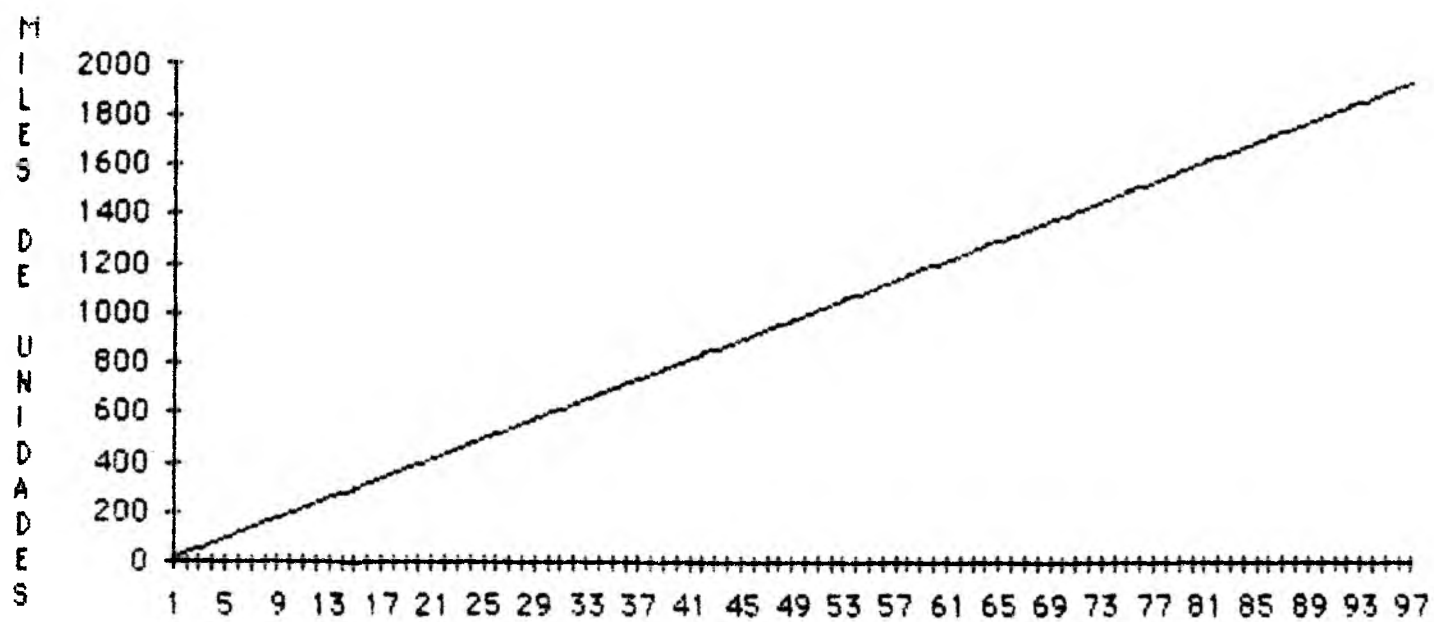

FIGURA 3.1.1 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0 Y K2=0.001

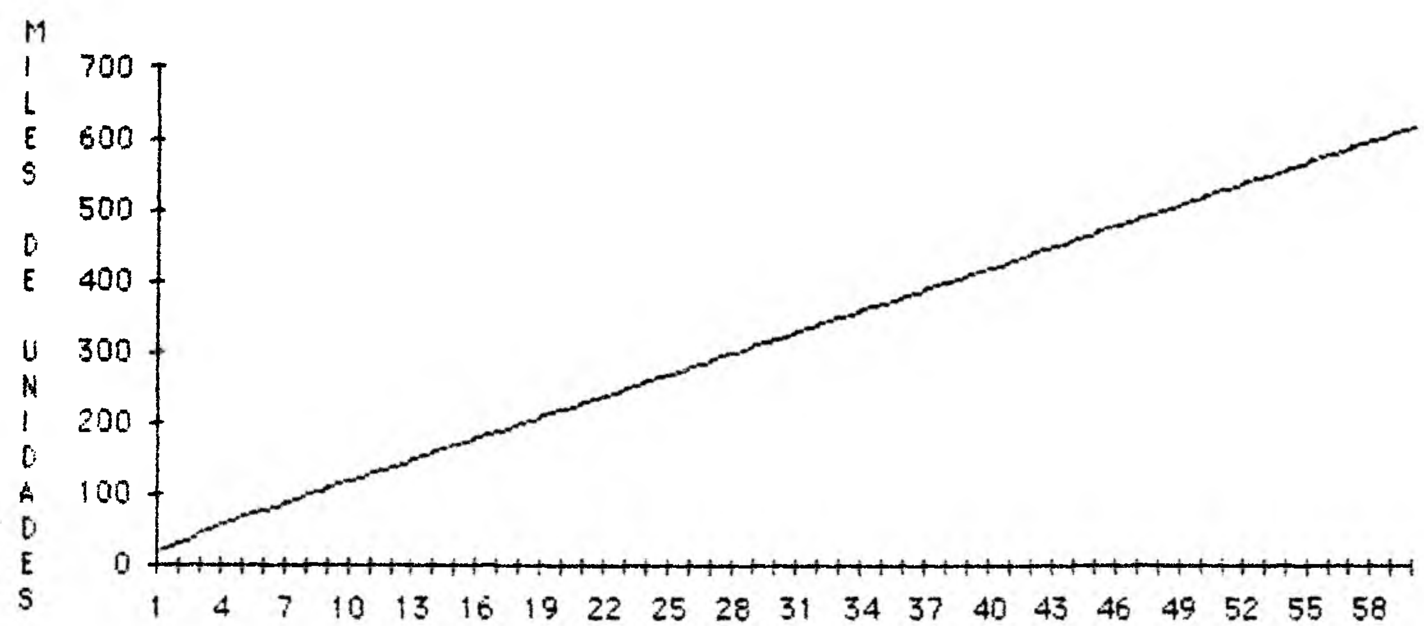

FIGURA 3.1.2 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0 Y K2=0.5

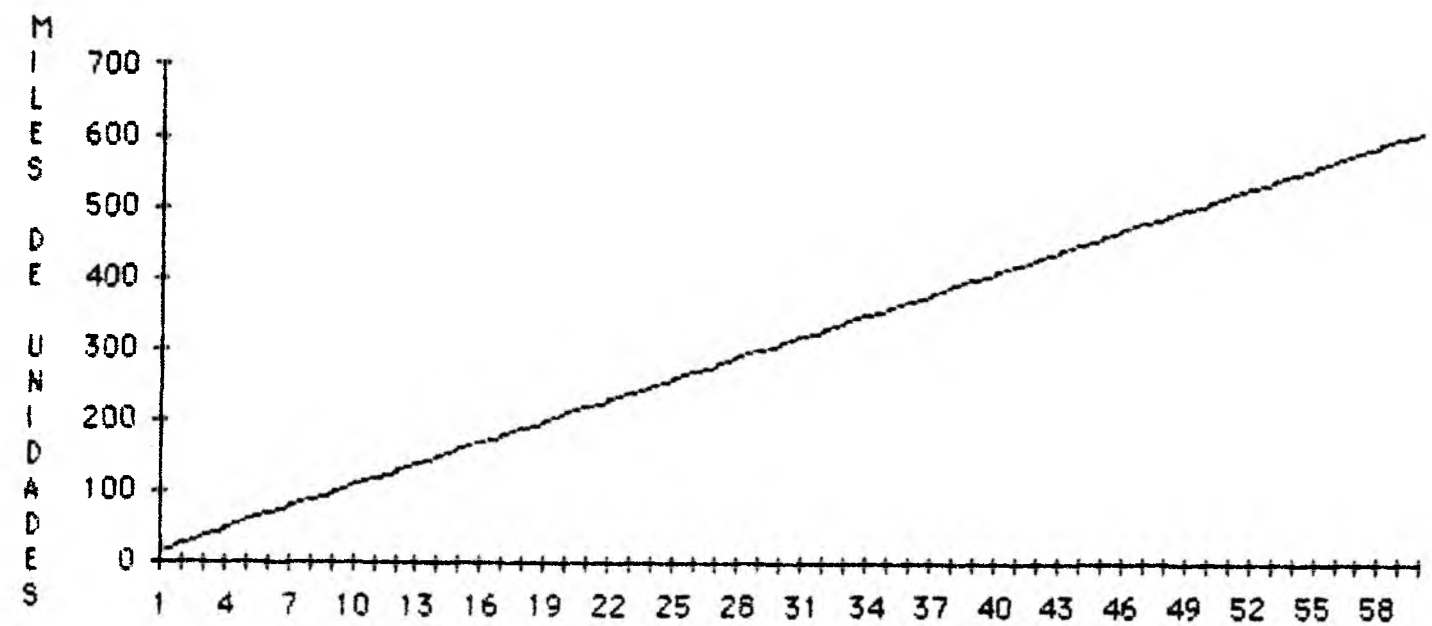

FIGURA 3.1.3 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0 Y K2=1

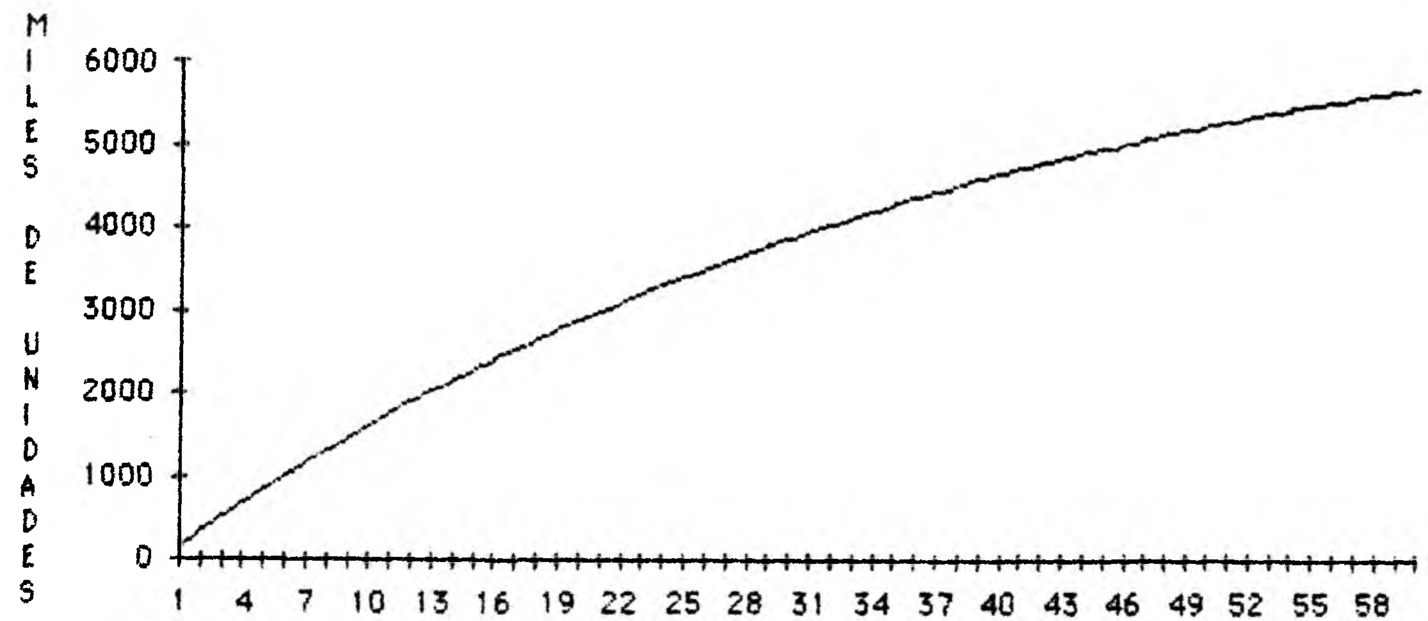

FIGURA 3.1 4 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0.02 Y K2=0.01

FIGURA 3.1.5 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION
DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0.08 Y K2=0.5

FIGURA 3.1.6 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0.2 Y K2=0.8

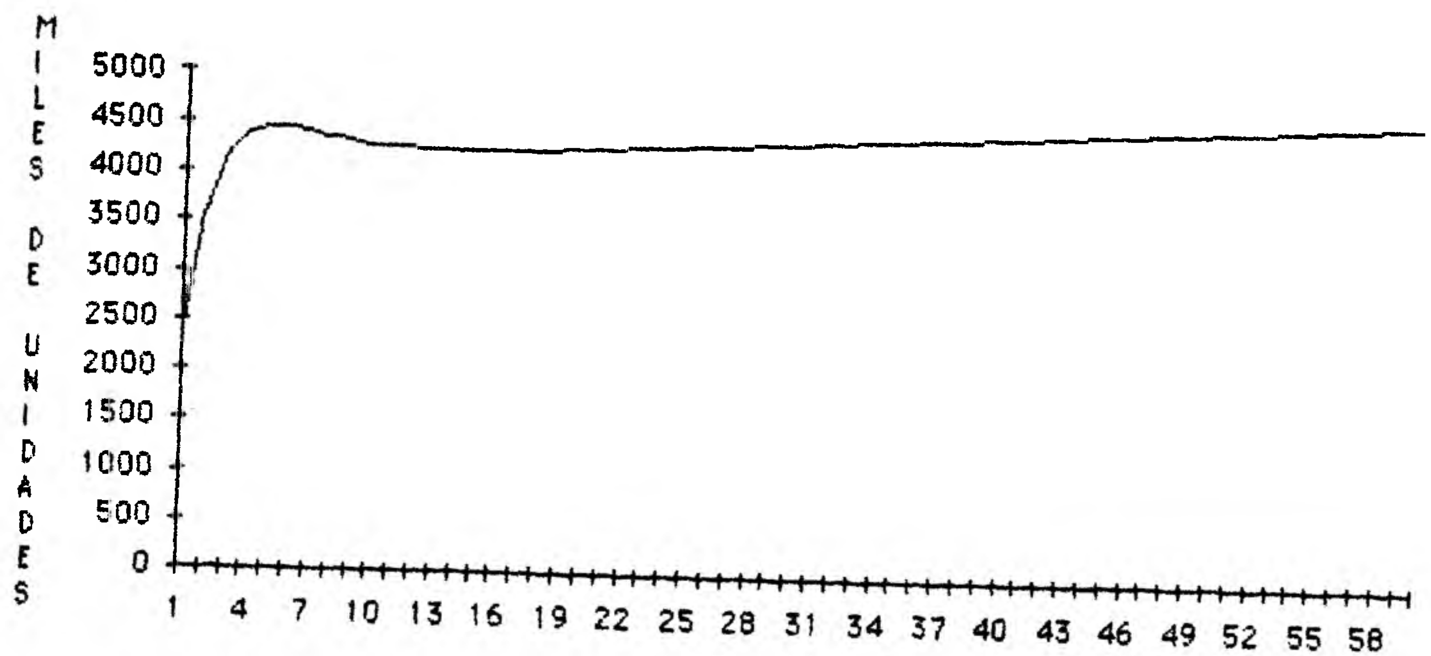

FIGURA 3.1.7 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0.4 Y K2=0.5

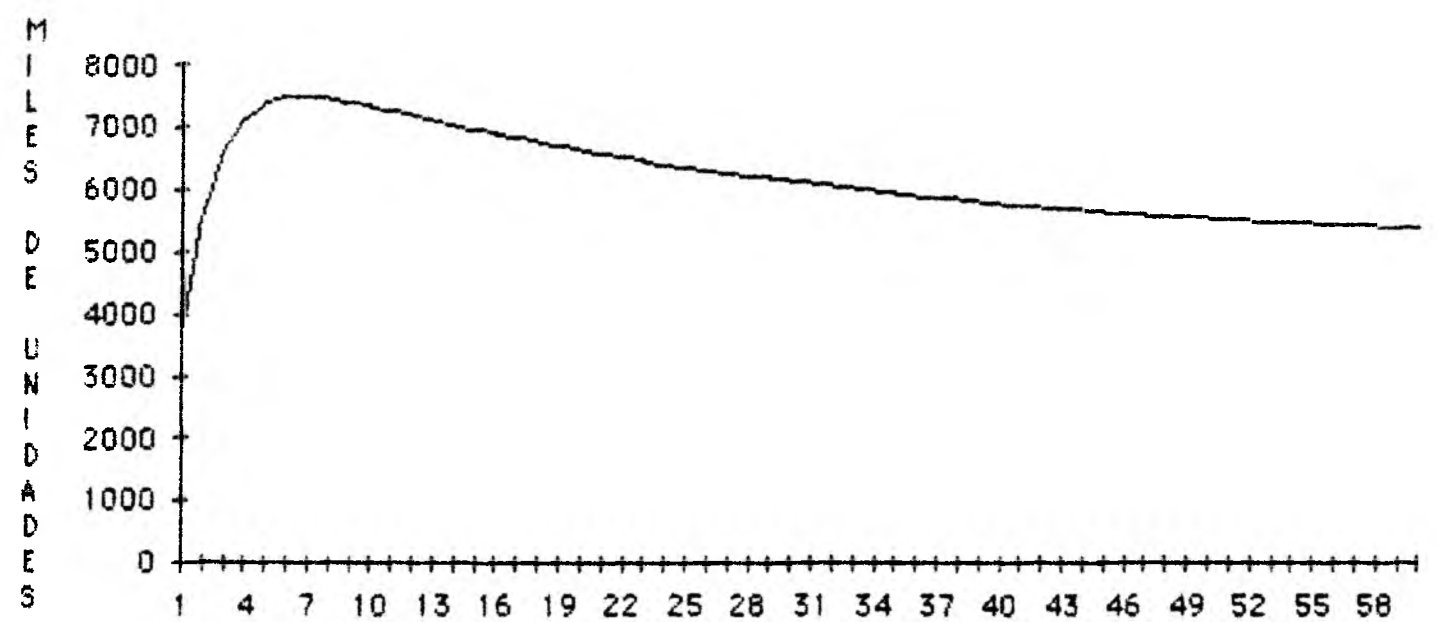

FIGURA 3.1.8 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO SIMULADA CON K1=0.6 Y K2=0.03

3.2. SIMULACION DE LA PRODUCCION CON EXITACION SENOSOIDAL

Si comparásemos, tomando una media de empresas, las fluctuaciones del nivel de producción con las registradas en la demanda, sería evidente que la mayoría de los responsables de fabricación tienden a esperar demasiado tiempo antes de iniciar modificaciones en los niveles de producción y que, cuando lo hacen, los cambios suelen ser excesivos. La raíz del problema reside en la información -o en su carencia- en función de la cual toman sus decisiones. Es decir, la información no suele ser exacta y cuando no se mide su grado de confianza, de modo que el responsable pueda al menos "manejar medias", tiende a aplazar la variación en la tasa de producción, dejando que los cambios en la demanda general se acumulen, originándose por ello stocks excesivos o deficitarios. A menos de que alguien en la empresa haya fijado previamente el volumen de déficit o exceso de stocks que justifica un cambio en la tasa de producción, las decisión se aplaza, mientras se van acumulando las variaciones en la demanda semana tras semana, mes tras mes, avecinándose una crisis que obligará entonces a tomar una decisión precipitada. Mientras ocurre esto en una empresa que trabaja para almacén, los stocks disminuyen hasta un nivel inferior al exigido para proporcionar un servicio adecuado al cliente; en el caso de una empresa que trabaja sobre pedido, los plazos de entrega de los pedidos a los clientes se alargan, hasta que la empresa se encuentra en una situación no competitiva. Por otra parte, si debiera reducirse la capacidad, los stocks tienden a aumentar constantemente mientras se aplaza la decisión. Un buen sistema de control de producción debe analizar las decisiones desagradables, alternativas que pueden ser tomadas, las alternativas existentes (a menudo desagradables) y las consecuencias que tiene el no tomar ninguna decisión.

Los valores dados por K1 y K2, con excitación de la forma de ecuación senosoidal estudiada en la sección 2.1.2, se obseva en las Tablas 3.2.1, 3.2.2. y 3.2.3. Se dieron los valores a dichos parámetros tales que variron en el orden de 0 a 1.

El circuito mostró las diferentes magnitudes de voltaje, corriente y angulos de desfases, como se observa en las tablas antes mencionadas.

Recordemos que la función de corriente en el modelo de circuito, nos representa la velocidad a la cual la empresa debe procucir, es decir la variación en miles de unidades por mes que debe hacer la empresa para mantener stock tales que sean optimos, es decir que no sean ni demasiado grandes; lo cual implicaría altos costos de almacenaje, ni demasiado pequeños; lo que daría una falta de abastecimiento a la demanda en el mercado y por ende pérdidas para la empresa.

Las Figuras 3.2.1 a 3.2.9 muestran las gráficas de las funciones de producción y de ventas estimadas en miles de unidades contra el tiempo los 48 en los meses de los datos reales analizados.

La Figura 3.2.1 muestra como la función de producción sumulada se encuentra muy por debajo de las ventas estimadas, lo cual indica que bajo estos parámetros: k1=0.1 y k2=0.1 la empresa está sometida a no satisfacer unas ventas estimadas (en último una demanda insatisfecha del mercado), lo cual es perjudicial para la empresa. Algo similar ocurre con valores de K1 y k2 bajos, observese las Tablas 3.2.1 , 3.2.1 y 3.2.3 donde las magnitudes de las corrientes para estos casos se alejan de 1. Los angulos de desfase de las corrientes se encuentran al rededor de los 89 grados.

En las Figuras 3.2.4 y 3.2.5 , 3.2.6, y 3.2.7 se observa una función de producción que anda muy desfasada con la función de ventas estimadas, para estos casos, los valores de k1 y k2, o uno de ellos tiende a 1 o ambos tienden a 1, en las tablas 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 estos casos dan magnitudes de corrientes altas, lo que conlleva a producciones muy por encima de las ventas estimadas.

Las Figuras 3.2.8 y 2.3.9 muestran funciones de producción más cercanas a la función de ventas estimadas, para este caso los valores de k1 están en el orden de 0.4 y 0.5 y k2 en el orden de 0.5 y 0.4. Observando las Tablas 3.2.2 y 3.2.3, para estos rangos, las magnitudes de las corrientes pasan por 1. Estos rangos corresponden entre 0.3 y 0.5 para k1 y 0.3 a 0.4 para k2.

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.1	0.01	1000	1	110	600	0	12	0.01	89.9
0.2	0.01	500	1	105	600	0	12	0.02	89.75
0.3	0.01	333.3	1	103.33	600	0	12	0.02	89.76
0.4	0.01	250	1	102.5	600	0	12	0.03	89.69
0.5	0.01	200	1	102	600	0	12	0.04	89.61
0.6	0.01	166.7	1	101.67	600	0	12	0.05	89.54
0.7	0.01	142.9	1	101.43	600	0	12	0.06	89.46
0.8	0.01	125	1	101.25	600	0	12	0.06	89.38
0.9	0.01	111.1	1	101.11	600	0	12	0.07	89.31
1	0.02	50	1	51	600	0	12	0.16	89.22
0.1	0.02	500	1	60	600	0	12	0.02	89.91
0.2	0.02	250	1	55	600	0	12	0.03	89.83
0.3	0.02	166.7	1	53.333	600	0	12	0.05	89.76
0.4	0.02	125	1	52.5	600	0	12	0.06	89.68
0.5	0.02	100	1	52	600	0	12	0.08	89.6
0.6	0.02	83.33	1	51.667	600	0	12	0.1	89.53
0.7	0.02	71.43	1	51.429	600	0	12	0.11	89.45
0.8	0.02	62.5	1	51.25	600	0	12	0.13	89.38
0.9	0.03	37.04	1	34.444	600	0	12	0.21	89.29
1	0.03	33.33	1	34.333	600	0	12	0.24	89.22
0.1	0.03	333.3	1	43.333	600	0	12	0.02	89.9
0.2	0.03	166.7	1	38.333	600	0	12	0.05	89.83
0.3	0.03	111.1	1	36.667	600	0	12	0.07	89.75
0.4	0.03	83.33	1	35.833	600	0	12	0.1	89.67
0.5	0.03	66.67	1	35.333	600	0	12	0.12	89.6
0.6	0.03	55.56	1	35	600	0	12	0.14	89.52
0.7	0.03	47.62	1	34.762	600	0	12	0.17	89.45
0.8	0.04	31.25	1	26.25	600	0	12	0.25	89.36
0.9	0.04	27.78	1	26.111	600	0	12	0.29	89.29
1	0.04	25	1	26	600	0	12	0.32	89.21
0.1	0.04	250	1	35	600	0	12	0.03	89.89
0.2	0.04	125	1	30	600	0	12	0.06	89.82
0.3	0.04	83.33	1	28.333	600	0	12	0.1	89.74
0.4	0.04	62.5	1	27.5	600	0	12	0.13	89.67
0.5	0.04	50	1	27	600	0	12	0.16	89.59
0.6	0.04	41.67	1	26.667	600	0	12	0.19	89.51
0.7	0.05	28.57	1	21.429	600	0	12	0.28	89.43
0.8	0.05	25	1	21.25	600	0	12	0.32	89.35
0.9	0.05	22.22	1	21.111	600	0	12	0.36	89.28
1	0.05	20	1	21	600	0	12	0.4	89.2
0.1	0.05	200	1	30	600	0	12	0.04	89.89
0.2	0.05	100	1	25	600	0	12	0.08	89.81
0.3	0.05	66.67	1	23.333	600	0	12	0.12	89.73
0.4	0.05	50	1	22.5	600	0	12	0.16	89.66
0.5	0.05	40	1	22	600	0	12	0.2	89.58
0.6	0.06	27.78	1	18.333	600	0	12	0.29	89.5
0.7	0.06	23.81	1	18.095	600	0	12	0.33	89.42
0.8	0.06	20.83	1	17.917	600	0	12	0.38	89.35
0.9	0.06	18.52	1	17.778	600	0	12	0.43	89.27
1	0.06	16.67	1	17.667	600	0	12	0.48	89.19

TABLA 3.2.1 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.1	0.1	100	1	20	600	0	12	0.08	89.95
0.2	0.1	50	1	15	600	0	12	0.16	89.77
0.3	0.1	33.33	1	13.333	600	0	12	0.24	89.7
0.4	0.1	25	1	12.5	600	0	12	0.32	89.62
0.5	0.1	20	1	12	600	0	12	0.4	89.54
0.6	0.1	16.67	1	11.667	600	0	12	0.48	89.47
0.7	0.1	14.29	1	11.429	600	0	12	0.56	89.39
0.8	0.1	12.5	1	11.25	600	0	12	0.64	89.32
0.9	0.1	11.11	1	11.111	600	0	12	0.72	89.24
1	0.1	10	1	11	600	0	12	0.8	89.16
0.1	0.2	50	1	15	600	0	12	0.16	89.77
0.2	0.2	25	1	10	600	0	12	0.32	89.7
0.3	0.2	16.67	1	8.3333	600	0	12	0.48	89.62
0.4	0.2	12.5	1	7.5	600	0	12	0.64	89.54
0.5	0.2	10	1	7	600	0	12	0.8	89.47
0.6	0.2	8.333	1	6.6667	600	0	12	0.95	89.39
0.7	0.2	7.143	1	6.4286	600	0	12	1.11	89.32
0.8	0.2	6.25	1	6.25	600	0	12	1.27	89.24
0.9	0.2	5.556	1	6.1111	600	0	12	1.43	89.16
1	0.2	5	1	6	600	0	12	1.59	89.09
0.1	0.3	33.33	1	13.333	600	0	12	0.24	89.7
0.2	0.3	16.67	1	8.3333	600	0	12	0.48	89.62
0.3	0.3	11.11	1	6.6667	600	0	12	0.72	89.54
0.4	0.3	8.333	1	5.8333	600	0	12	0.95	89.47
0.5	0.3	6.667	1	5.3333	600	0	12	1.19	89.39
0.6	0.3	5.556	1	5	600	0	12	1.43	89.32
0.7	0.3	4.762	1	4.7619	600	0	12	1.67	89.24
0.8	0.3	4.167	1	4.5833	600	0	12	1.91	89.16
0.9	0.3	3.704	1	4.4444	600	0	12	2.15	89.09
1	0.3	3.333	1	4.3333	600	0	12	2.39	89.01
0.1	0.4	25	1	12.5	600	0	12	0.32	89.62
0.2	0.4	12.5	1	7.5	600	0	12	0.64	89.54
0.3	0.4	8.333	1	5.8333	600	0	12	0.95	89.47
0.4	0.4	6.25	1	5	600	0	12	1.27	89.39
0.5	0.4	5	1	4.5	600	0	12	1.59	89.32
0.6	0.4	4.167	1	4.1667	600	0	12	1.91	89.24
0.7	0.4	3.571	1	3.9286	600	0	12	2.23	89.16
0.8	0.4	3.125	1	3.75	600	0	12	2.55	89.09
0.9	0.4	2.778	1	3.6111	600	0	12	2.86	89.01
1	0.4	2.5	1	3.5	600	0	12	3.18	88.94
0.1	0.5	20	1	12	600	0	12	0.4	89.54
0.2	0.5	10	1	7	600	0	12	0.8	89.47
0.3	0.5	6.667	1	5.3333	600	0	12	1.19	89.39
0.4	0.5	5	1	4.5	600	0	12	1.59	89.32
0.5	0.5	4	1	4	600	0	12	1.99	89.24
0.6	0.5	3.333	1	3.6667	600	0	12	2.39	89.16
0.7	0.5	2.857	1	3.4286	600	0	12	2.79	89.09
0.8	0.5	2.5	1	3.25	600	0	12	3.18	89.01
0.9	0.5	2.222	1	3.1111	600	0	12	3.58	88.94
1	0.5	2	1	3	600	0	12	3.98	88.86

TABLA 3.2.2 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.1	0.6	16.67	1	11.667	600	0	12	0.48	89.47
0.2	0.6	8.333	1	6.6667	600	0	12	0.95	89.39
0.3	0.6	5.556	1	5	600	0	12	1.43	89.32
0.4	0.6	4.167	1	4.1667	600	0	12	1.91	89.24
0.5	0.6	3.333	1	3.6667	600	0	12	2.39	89.16
0.6	0.6	2.778	1	3.3333	600	0	12	2.86	89.09
0.7	0.6	2.381	1	3.0952	600	0	12	3.34	89.01
0.8	0.6	2.083	1	2.9167	600	0	12	3.82	88.94
0.9	0.6	1.852	1	2.7778	600	0	12	4.3	88.86
1	0.6	1.667	1	2.6667	600	0	12	4.78	88.78
0.1	0.7	14.29	1	11.429	600	0	12	0.56	89.39
0.2	0.7	7.143	1	6.4286	600	0	12	1.11	89.32
0.3	0.7	4.762	1	4.7619	600	0	12	1.67	89.24
0.4	0.7	3.571	1	3.9286	600	0	12	2.23	89.16
0.5	0.7	2.857	1	3.4286	600	0	12	2.79	89.09
0.6	0.7	2.381	1	3.0952	600	0	12	3.34	89.01
0.7	0.7	2.041	1	2.8571	600	0	12	3.9	88.94
0.8	0.7	1.786	1	2.6786	600	0	12	4.46	88.86
0.9	0.7	1.587	1	2.5397	600	0	12	5.01	88.78
1	0.7	1.429	1	2.4286	600	0	12	5.57	88.71
0.1	0.8	12.5	1	11.25	600	0	12	0.64	89.32
0.2	0.8	6.25	1	6.25	600	0	12	1.27	89.24
0.3	0.8	4.167	1	4.5833	600	0	12	1.91	89.16
0.4	0.8	3.125	1	3.75	600	0	12	2.55	89.09
0.5	0.8	2.5	1	3.25	600	0	12	3.18	89.01
0.6	0.8	2.083	1	2.9167	600	0	12	3.82	88.94
0.7	0.8	1.786	1	2.6786	600	0	12	4.46	88.86
0.8	0.8	1.563	1	2.5	600	0	12	5.09	88.78
0.9	0.8	1.389	1	2.3611	600	0	12	5.73	88.71
1	0.8	1.25	1	2.25	600	0	12	6.37	88.63
0.1	0.9	11.11	1	11.111	600	0	12	0.72	89.24
0.2	0.9	5.556	1	6.1111	600	0	12	1.43	89.16
0.3	0.9	3.704	1	4.4444	600	0	12	2.15	89.09
0.4	0.9	2.778	1	3.6111	600	0	12	2.86	8.01
0.5	0.9	2.222	1	3.1111	600	0	12	3.58	88.94
0.6	0.9	1.852	1	2.7778	600	0	12	4.3	88.86
0.7	0.9	1.587	1	2.5397	600	0	12	5.01	88.78
0.8	0.9	1.389	1	2.3611	600	0	12	5.73	88.71
0.9	0.9	1.235	1	2.2222	600	0	12	6.44	88.63
1	0.9	1.111	1	2.1111	600	0	12	7.16	88.56
0.1	1	10	1	11	600	0	12	0.8	89.16
0.2	1	5	1	6	600	0	12	1.59	89.09
0.3	1	3.333	1	4.3333	600	0	12	2.39	89.01
0.4	1	2.5	1	3.5	600	0	12	3.18	88.94
0.5	1	2	1	3	600	0	12	3.98	88.86
0.6	1	1.667	1	2.6667	600	0	12	4.77	88.78
0.7	1	1.429	1	2.4286	600	0	12	5.57	88.71
0.8	1	1.25	1	2.25	600	0	12	6.37	88.63
0.9	1	1.111	1	2.1111	600	0	12	7.16	88.56
1	1	1	1	2	600	0	12	7.96	88.48

TABLA 3.2.3 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

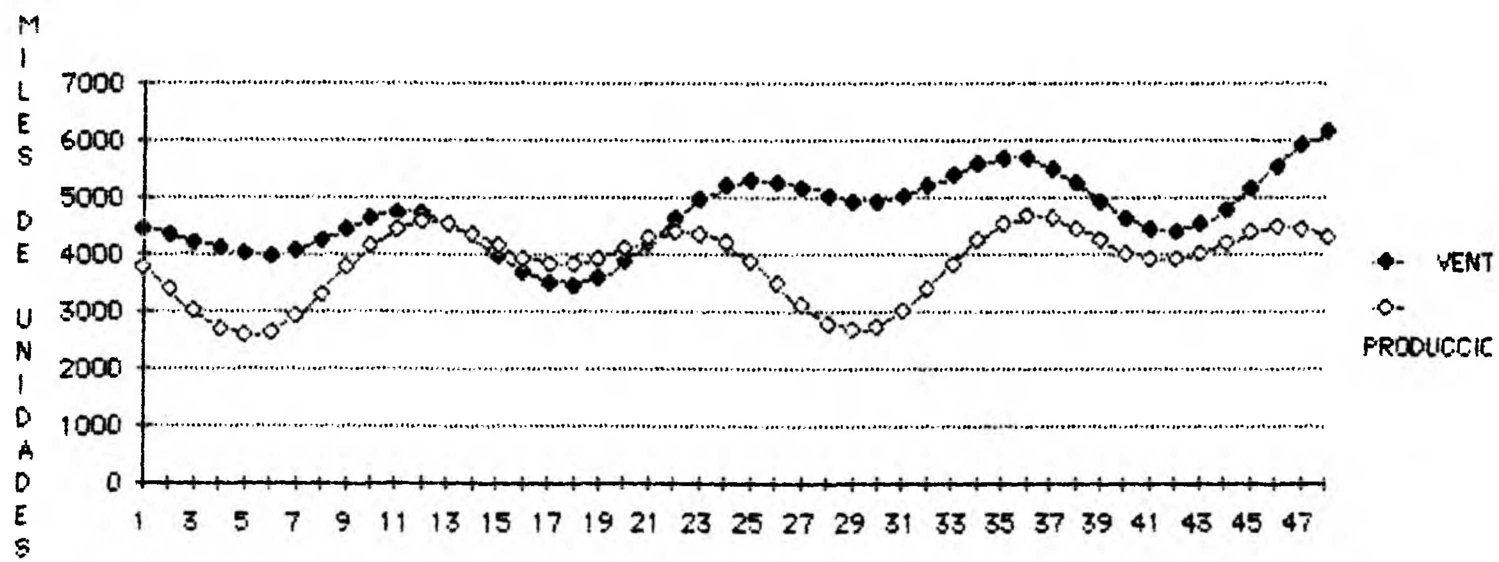

FIGURA 3.2.1 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.1 Y K2=0.1

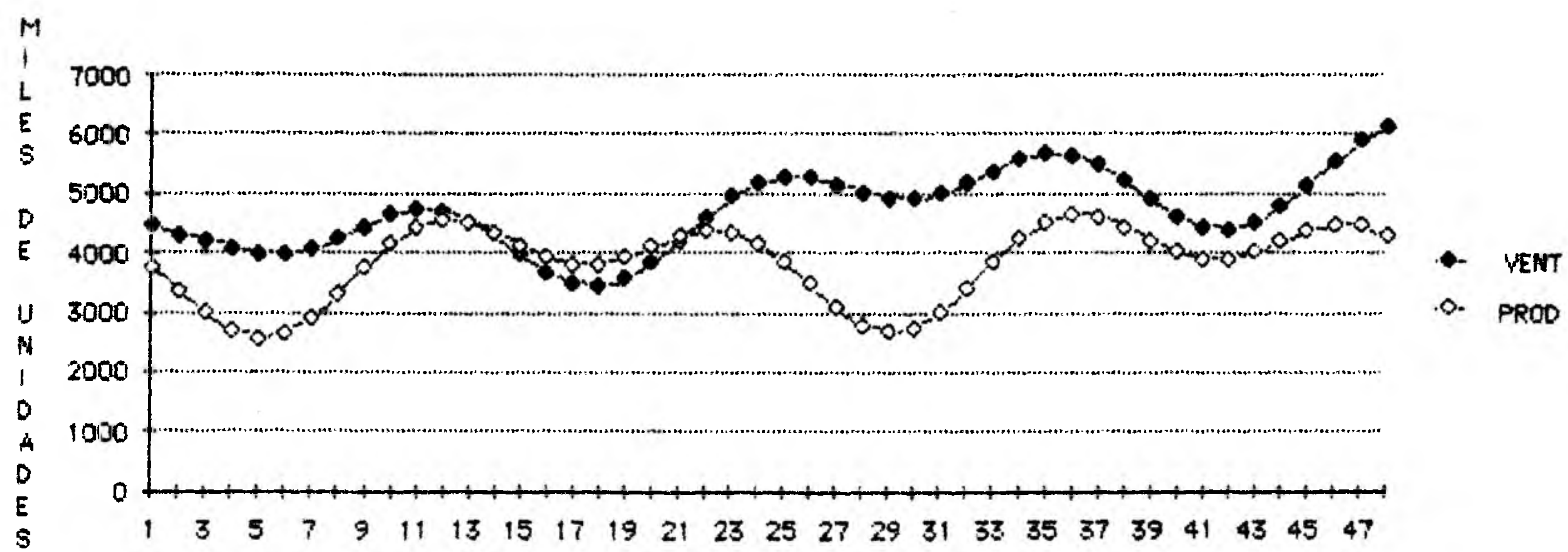

FIGURA 3.2.1 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.1 Y K2=0.1

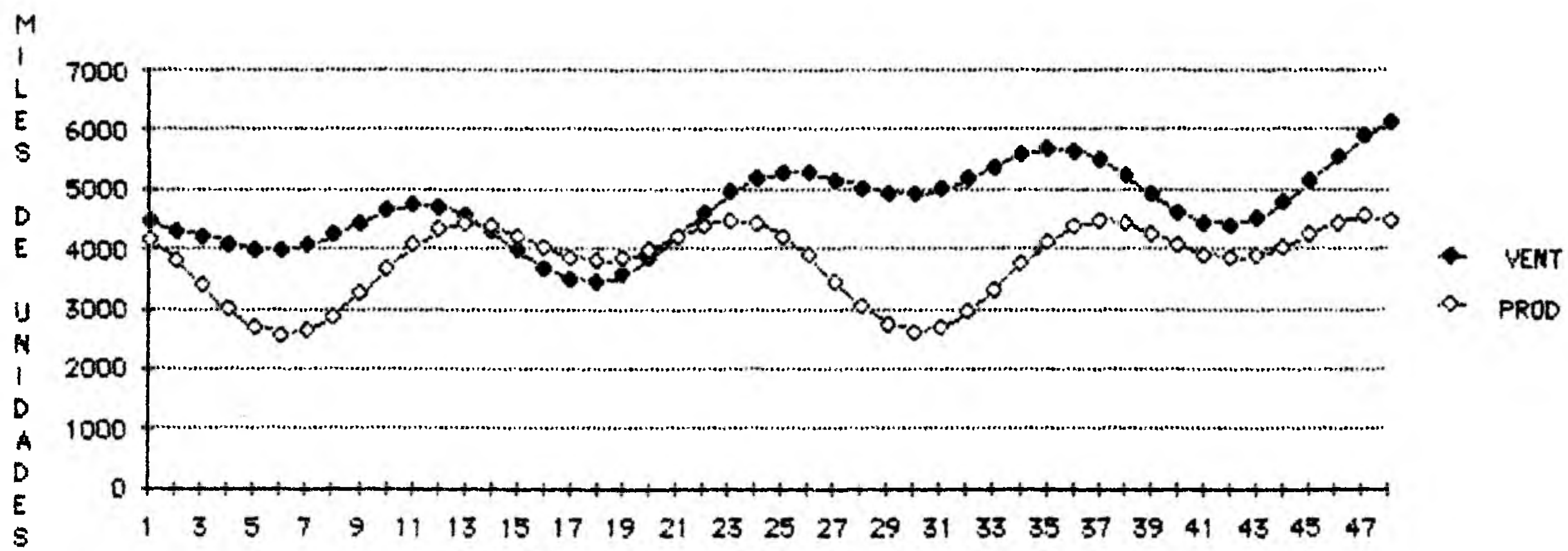

FIGURA 3.2.2 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.7 Y K2=0.01

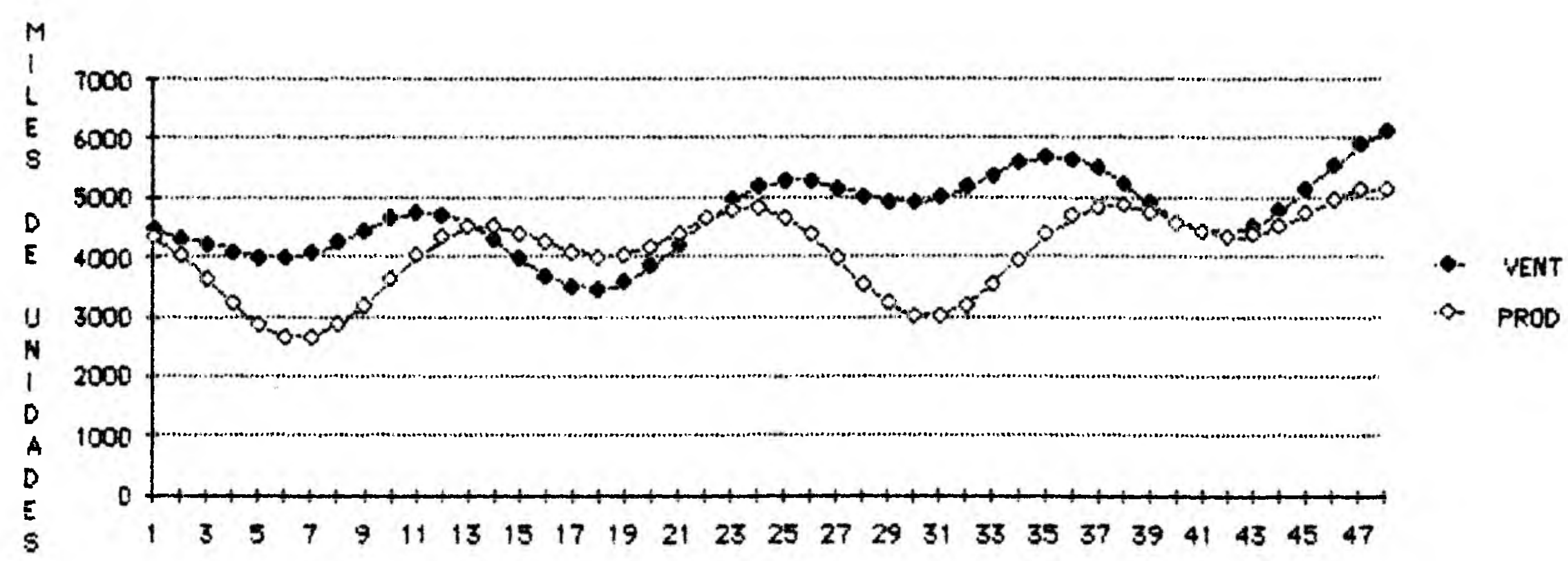

FIGURA 3.2.3 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.9 Y K2=0.05

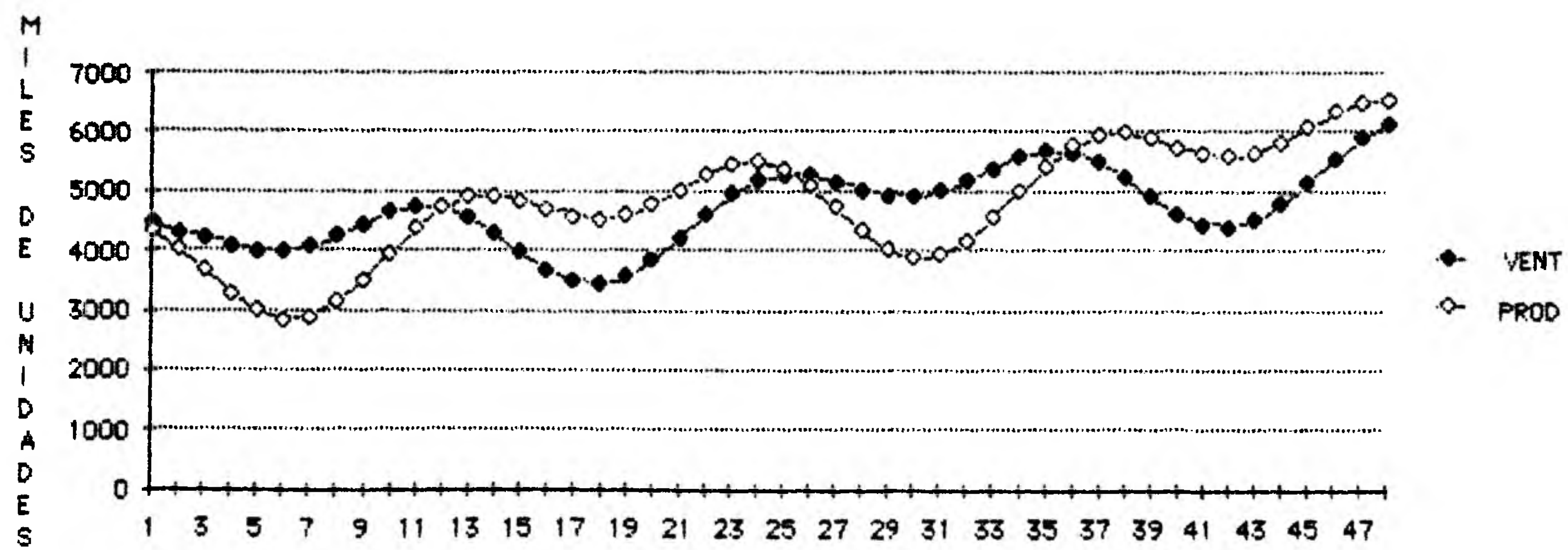

FIGURA 3.2.4 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.7 Y K2=0.2

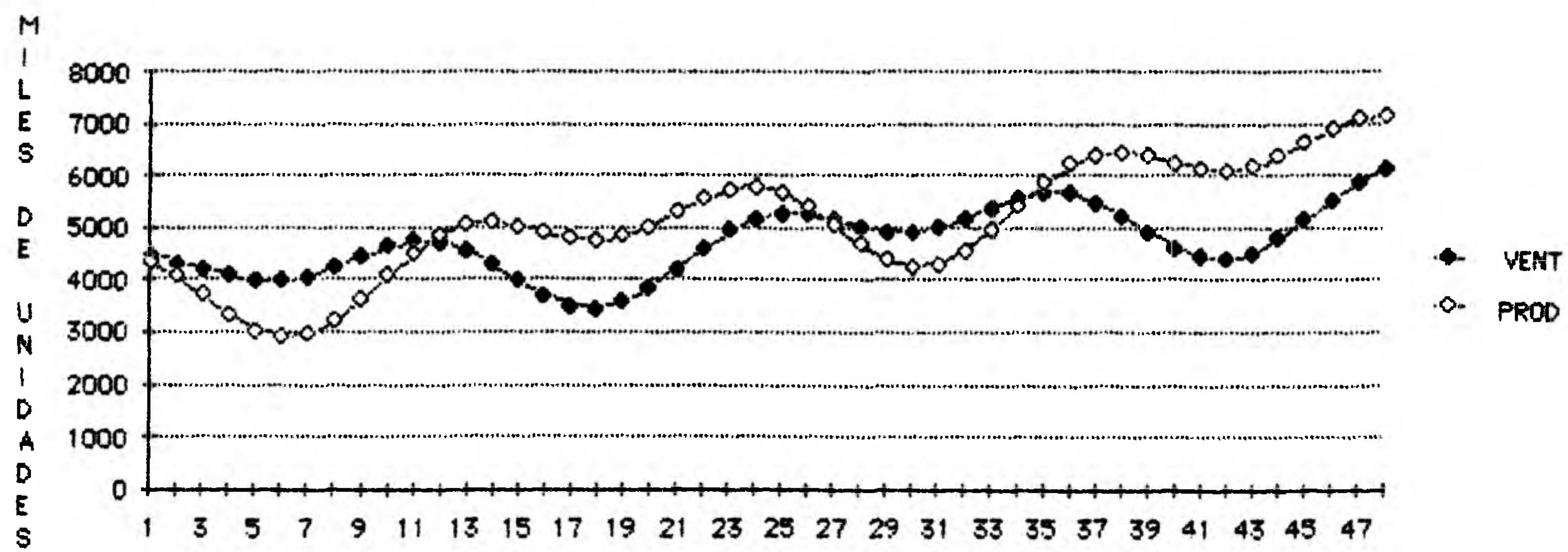

FIGURA 3.2.5 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.6 Y K2=0.3

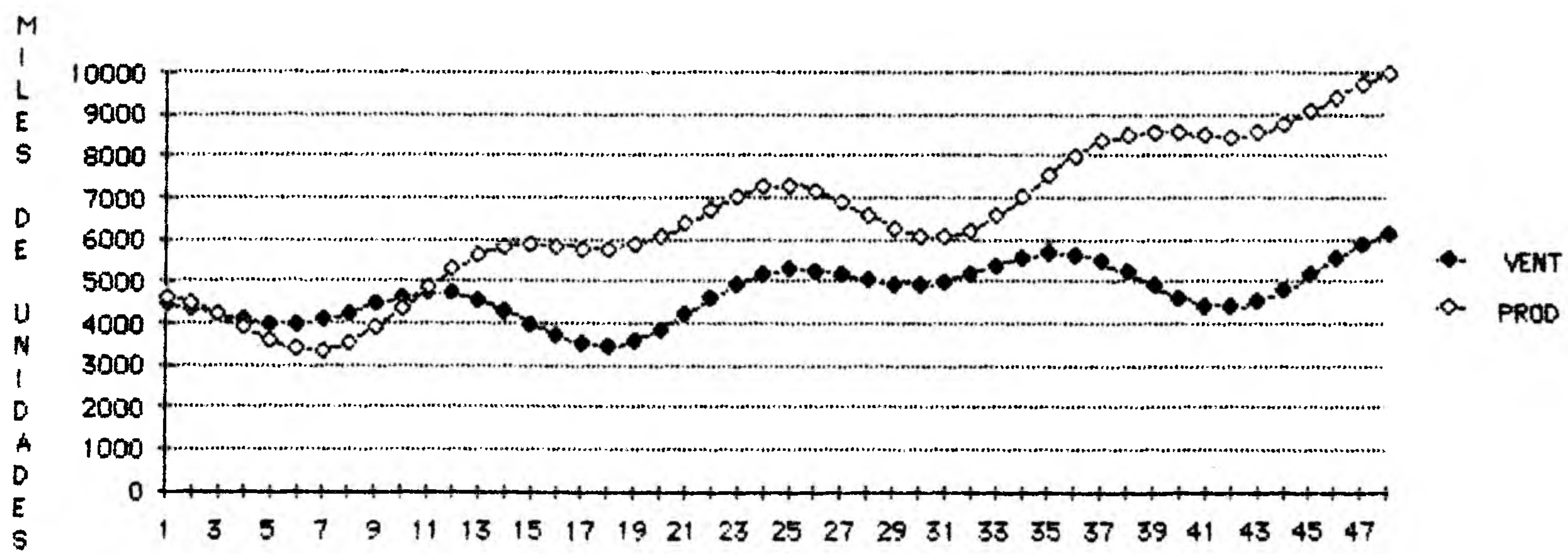

FIGURA 3.2.6 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.9 Y K2=0.4

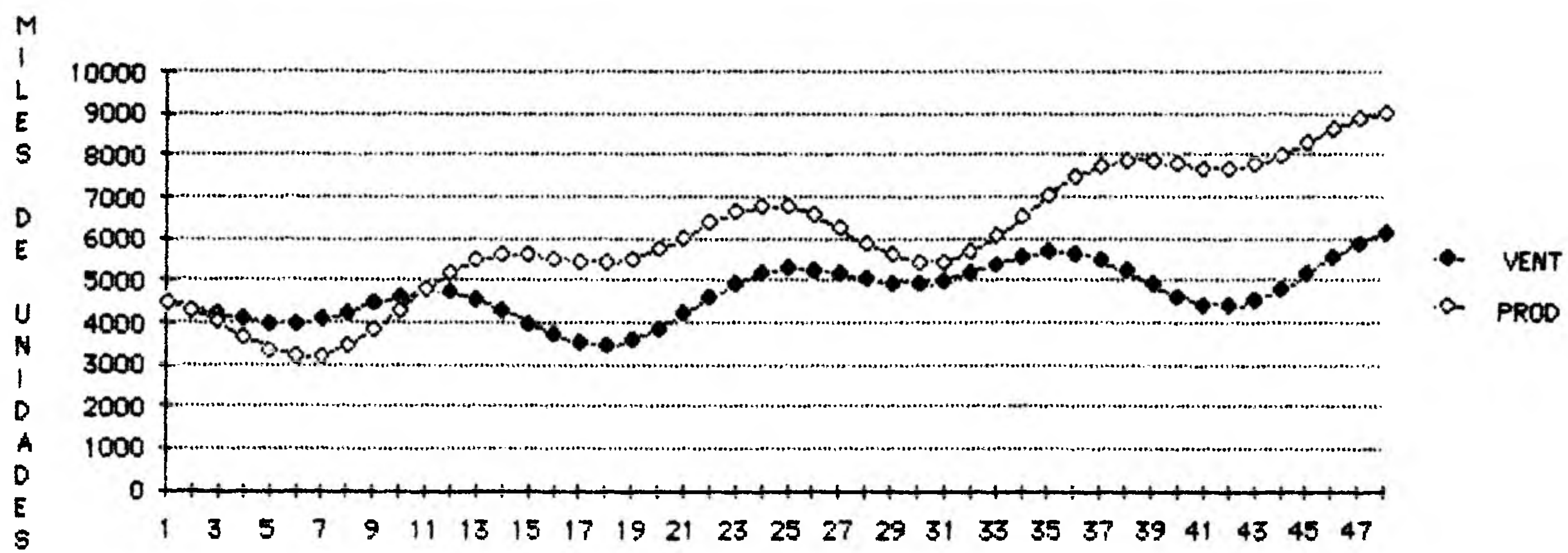

FIGURA 3.2.7 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.5 Y K2=0.5

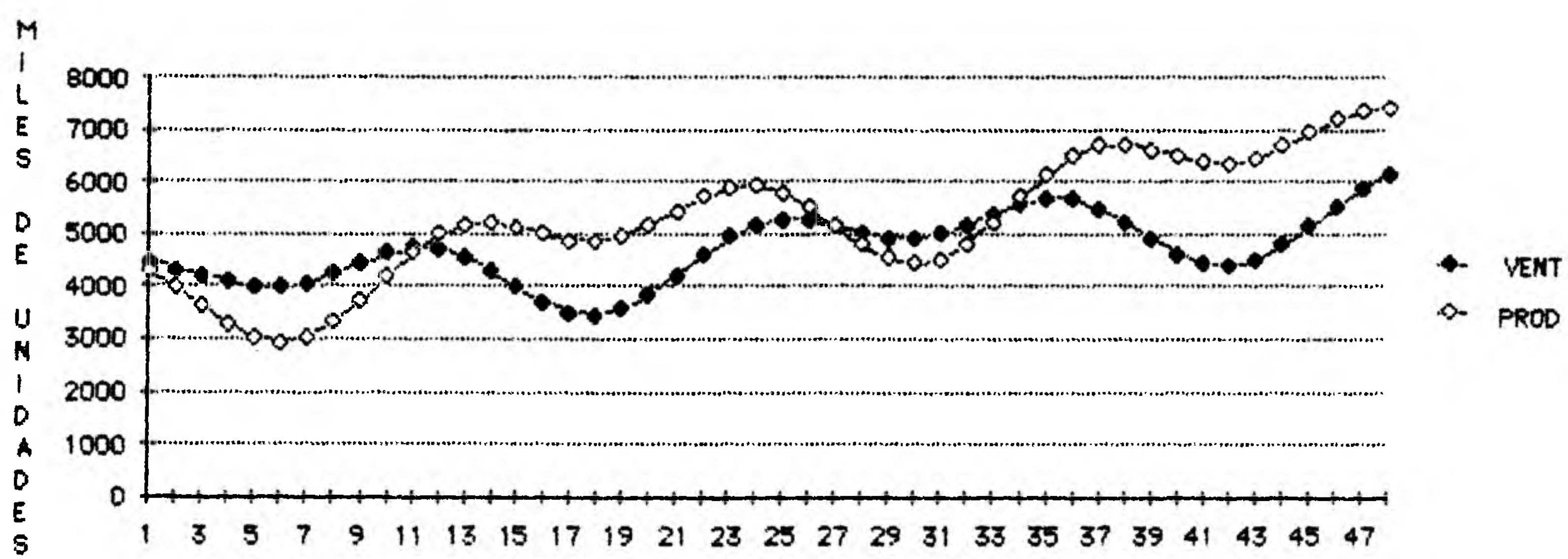

FIGURA 3.2.8 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.4 Y K2=0.5

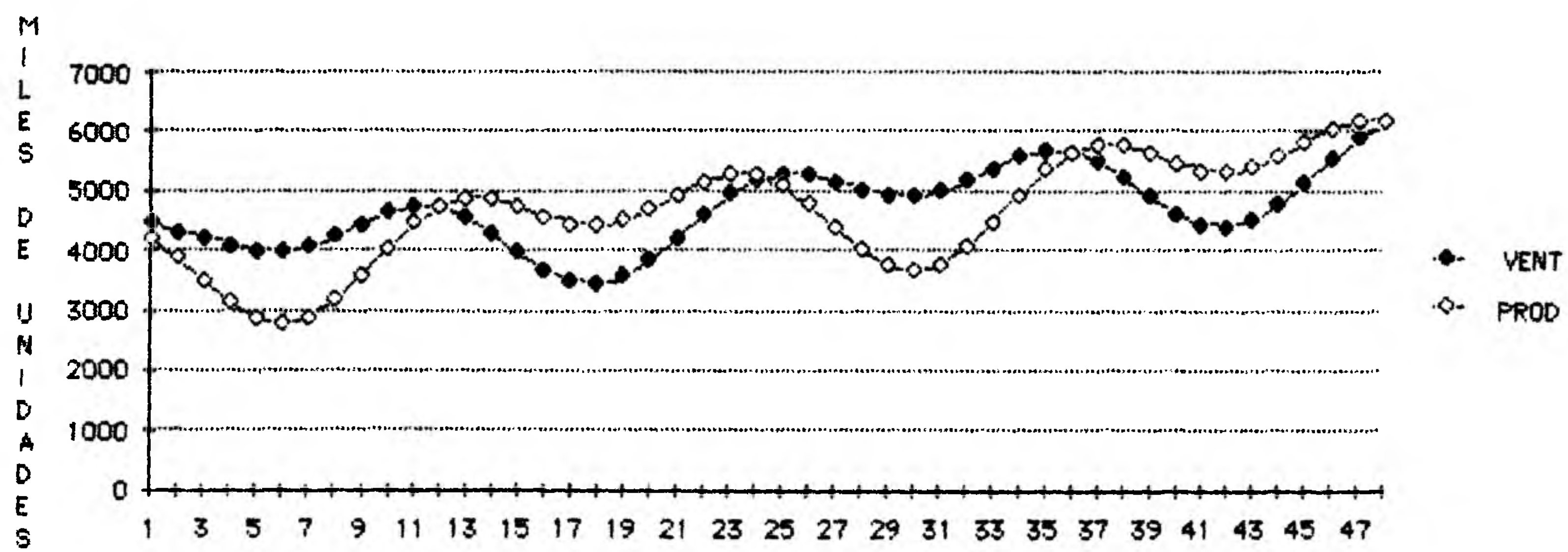

FIGURA 3.2.9 FUNCION DE PRODUCCION CON RESPECTO AL TIEMPO Y VENTAS ESTIMADAS. SIMULADA CON K1=0.3 Y K2=0.4

Las tablas 3.2.4 , 3.2.5 y 3.2.6 muestran la simulación de producción con excitación senosoidal, dando a los parámetros k1 y k2 valores más exactos, que aproximan más la función de producción a las ventas estimadas, es de notar que el desfase de las dos curvas es mínimo, lo que indica que los stock que la empresa debe manejar deben ser en la medida de lo posible optimos. Ahora bien, la integral, o sea el area bajo la curva de las ventas estimadas, debe ser a largo plazo igual a la integral de la producción.

La figura 3.2.10 muestra la gráfica de la simulación de producción dada en el modelo con un k1=0.36 y un k2=0.35. Niveles estos de producción y ventas que en el modelo resultan ser los más optimos.

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.3	0.31	10.75	1	6.5591	600	0	12	0.74	89.54
0.31	0.31	10.41	1	6.4516	600	0	12		
0.32	0.31	10.08	1	6.3508	600	0	12	0.79	89.52
0.33	0.31	9.775	1	6.2561	600	0	12	0.81	89.51
0.34	0.31	9.488	1	6.167	600	0	12	0.84	89.51
0.35	0.31	9.217	1	6.0829	600	0	12	0.86	89.5
0.36	0.31	8.961	1	6.0036	600	0	12	0.89	89.49
0.37	0.31	8.718	1	5.9285	600	0	12	0.91	89.48
0.38	0.31	8.489	1	5.8574	600	0	12	0.94	89.48
0.39	0.31	8.271	1	5.7899	600	0	12	0.96	89.47
0.4	0.31	8.065	1	5.7258	600	0	12	0.99	89.46
0.41	0.31	7.868	1	5.6648	600	0	12	1.01	89.45
0.42	0.31	7.68	1	5.6068	600	0	12	1.04	89.45
0.43	0.31	7.502	1	5.5514	600	0	12	1.06	89.44
0.44	0.31	7.331	1	5.4985	600	0	12	1.09	89.43
0.45	0.31	7.168	1	5.448	600	0	12	1.11	89.42
0.46	0.31	7.013	1	5.3997	600	0	12	1.13	89.41
0.47	0.31	6.863	1	5.3535	600	0	12	1.16	89.41
0.48	0.31	6.72	1	5.3091	600	0	12	1.18	89.4
0.49	0.31	6.583	1	5.2666	600	0	12	1.21	89.39
0.5	0.31	6.452	1	5.2258	600	0	12	1.23	89.38
0.3	0.33	10.1	1	6.3636	600	0	12	0.79	89.52
0.31	0.33	9.775	1	6.2561	600	0	12	0.81	89.51
0.32	0.33	9.47	1	6.1553	600	0	12	0.84	89.51
0.33	0.33	9.183	1	6.0606	600	0	12	0.87	89.5
0.34	0.33	8.913	1	5.9715	600	0	12	0.89	89.49
0.35	0.33	8.658	1	5.8874	600	0	12	0.92	89.48
0.36	0.33	8.418	1	5.8081	600	0	12	0.95	89.48
0.37	0.33	8.19	1	5.733	600	0	12	0.97	89.47
0.38	0.33	7.974	1	5.6619	600	0	12	1	89.46
0.39	0.33	7.77	1	5.5944	600	0	12	1.02	89.45
0.4	0.33	7.576	1	5.5303	600	0	12	1.05	89.45
0.41	0.33	7.391	1	5.4693	600	0	12	1.08	89.44
0.42	0.33	7.215	1	5.4113	600	0	12	1.1	89.43
0.43	0.33	7.047	1	5.3559	600	0	12	1.13	89.42
0.44	0.33	6.887	1	5.303	600	0	12	1.16	89.41
0.45	0.33	6.734	1	5.2525	600	0	12	1.18	89.41
0.46	0.33	6.588	1	5.2042	600	0	12	1.21	89.4
0.47	0.33	6.447	1	5.158	600	0	12	1.23	89.39
0.48	0.33	6.313	1	5.1136	600	0	12	1.26	89.38
0.49	0.33	6.184	1	5.0711	600	0	12	1.29	89.38
0.5	0.33	6.061	1	5.0303	600	0	12	1.31	89.37

TABLA 3.2.4 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.3	0.35	9.524	1	6.1905	600	0	12	0.84	89.51
0.31	0.35	9.217	1	6.0829	600	0	12	0.86	89.5
0.32	0.35	8.929	1	5.9821	600	0	12	0.89	89.49
0.33	0.35	8.658	1	5.8874	600	0	12	0.92	89.48
0.34	0.35	8.403	1	5.7983	600	0	12	0.95	89.48
0.35	0.35	8.163	1	5.7143	600	0	12	0.97	89.47
0.36	0.35	7.937	1	5.6349	600	0	12	1	89.46
0.37	0.35	7.722	1	5.5598	600	0	12	1.03	89.45
0.38	0.35	7.519	1	5.4887	600	0	12	1.06	89.45
0.39	0.35	7.326	1	5.4212	600	0	12	1.09	89.44
0.4	0.35	7.143	1	5.3571	600	0	12	1.11	89.43
0.41	0.35	6.969	1	5.2962	600	0	12	1.14	89.42
0.42	0.35	6.803	1	5.2381	600	0	12	1.17	89.41
0.43	0.35	6.645	1	5.1827	600	0	12	1.2	89.41
0.44	0.35	6.494	1	5.1299	600	0	12	1.23	89.4
0.45	0.35	6.349	1	5.0794	600	0	12	1.25	89.39
0.46	0.35	6.211	1	5.0311	600	0	12	1.28	89.38
0.47	0.35	6.079	1	4.9848	600	0	12	1.31	89.38
0.48	0.35	5.952	1	4.9405	600	0	12	1.34	89.37
0.49	0.35	5.831	1	4.898	600	0	12	1.36	89.36
0.5	0.35	5.714	1	4.8571	600	0	12		
0.3	0.37	9.009	1	6.036	600	0	12	0.88	89.49
0.31	0.37	8.718	1	5.9285	600	0	12	0.91	89.48
0.32	0.37	8.446	1	5.8277	600	0	12	0.94	89.48
0.33	0.37	8.19	1	5.733	600	0	12	0.97	89.47
0.34	0.37	7.949	1	5.6439	600	0	12	1	89.46
0.35	0.37	7.722	1	5.5598	600	0	12	1.03	89.45
0.36	0.37	7.508	1	5.4805	600	0	12	1.06	89.45
0.37	0.37	7.305	1	5.4054	600	0	12	1.09	89.44
0.38	0.37	7.112	1	5.3343	600	0	12	1.12	89.43
0.39	0.37	6.93	1	5.2668	600	0	12	1.15	89.42
0.4	0.37	6.757	1	5.2027	600	0	12	1.18	89.41
0.41	0.37	6.592	1	5.1417	600	0	12	1.21	89.41
0.42	0.37	6.435	1	5.0837	600	0	12	1.24	89.4
0.43	0.37	6.285	1	5.0283	600	0	12	1.27	89.39
0.44	0.37	6.143	1	4.9754	600	0	12	1.3	89.38
0.45	0.37	6.006	1	4.9249	600	0	12	1.32	89.38
0.46	0.37	5.875	1	4.8766	600	0	12	1.35	89.37
0.47	0.37	5.75	1	4.8304	600	0	12	1.38	89.36
0.48	0.37	5.631	1	4.786	600	0	12	1.41	89.35
0.49	0.37	5.516	1	4.7435	600	0	12	1.44	89.35
0.5	0.37	5.405	1	4.7027	600	0	12	1.47	89.34

TABLA 3.2.5 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

K1	K2	L	C	R	VOLTAJE	ANG.	FRE	CORRIENTE	
0.3	0.39	8.547	1	5.8974	600	0	12	0.93	89.48
0.31	0.39	8.271	1	5.7899	600	0	12	0.96	89.47
0.32	0.39	8.013	1	5.6891	600	0	12	0.99	89.46
0.33	0.39	7.77	1	5.5944	600	0	12	1.02	89.45
0.34	0.39	7.541	1	5.5053	600	0	12	1.06	89.45
0.35	0.39	7.326	1	5.4212	600	0	12	1.09	89.44
0.36	0.39	7.123	1	5.3419	600	0	12	1.12	89.43
0.37	0.39	6.93	1	5.2668	600	0	12	1.15	89.42
0.38	0.39	6.748	1	5.1957	600	0	12		
0.39	0.39	6.575	1	5.1282	600	0	12		
0.4	0.39	6.41	1	5.0641	600	0	12		
0.41	0.39	6.254	1	5.0031	600	0	12		
0.42	0.39	6.105	1	4.9451	600	0	12		
0.43	0.39	5.963	1	4.8897	600	0	12		
0.44	0.39	5.828	1	4.8368	600	0	12		
0.45	0.39	5.698	1	4.7863	600	0	12		
0.46	0.39	5.574	1	4.738	600	0	12		
0.47	0.39	5.456	1	4.6918	600	0	12		
0.48	0.39	5.342	1	4.6474	600	0	12		
0.49	0.39	5.233	1	4.6049	600	0	12		
0.5	0.39	5.128	1	4.5641	600	0	12		
0.3	0.4	8.333	1	5.8333	600	0	12	0.95	89.47
0.31	0.4	8.065	1	5.7258	600	0	12	0.99	89.46
0.32	0.4	7.813	1	5.625	600	0	12	1.02	89.45
0.33	0.4	7.576	1	5.5303	600	0	12		
0.34	0.4	7.353	1	5.4412	600	0	12		
0.35	0.4	7.143	1	5.3571	600	0	12		
0.36	0.4	6.944	1	5.2778	600	0	12		
0.37	0.4	6.757	1	5.2027	600	0	12		
0.38	0.4	6.579	1	5.1316	600	0	12		
0.39	0.4	6.41	1	5.0641	600	0	12		
0.4	0.4	6.25	1	5	600	0	12		
0.41	0.4	6.098	1	4.939	600	0	12		
0.42	0.4	5.952	1	4.881	600	0	12		
0.43	0.4	5.814	1	4.8256	600	0	12		
0.44	0.4	5.682	1	4.7727	600	0	12		
0.45	0.4	5.556	1	4.7222	600	0	12		
0.46	0.4	5.435	1	4.6739	600	0	12		
0.47	0.4	5.319	1	4.6277	600	0	12		
0.48	0.4	5.208	1	4.5833	600	0	12		
0.49	0.4	5.102	1	4.5408	600	0	12		
0.5	0.4	5	1	4.5	600	0	12		

TABLA 3.2.6 SIMULACION DE PRODUCCION CON EXCITACION SENOIDAL

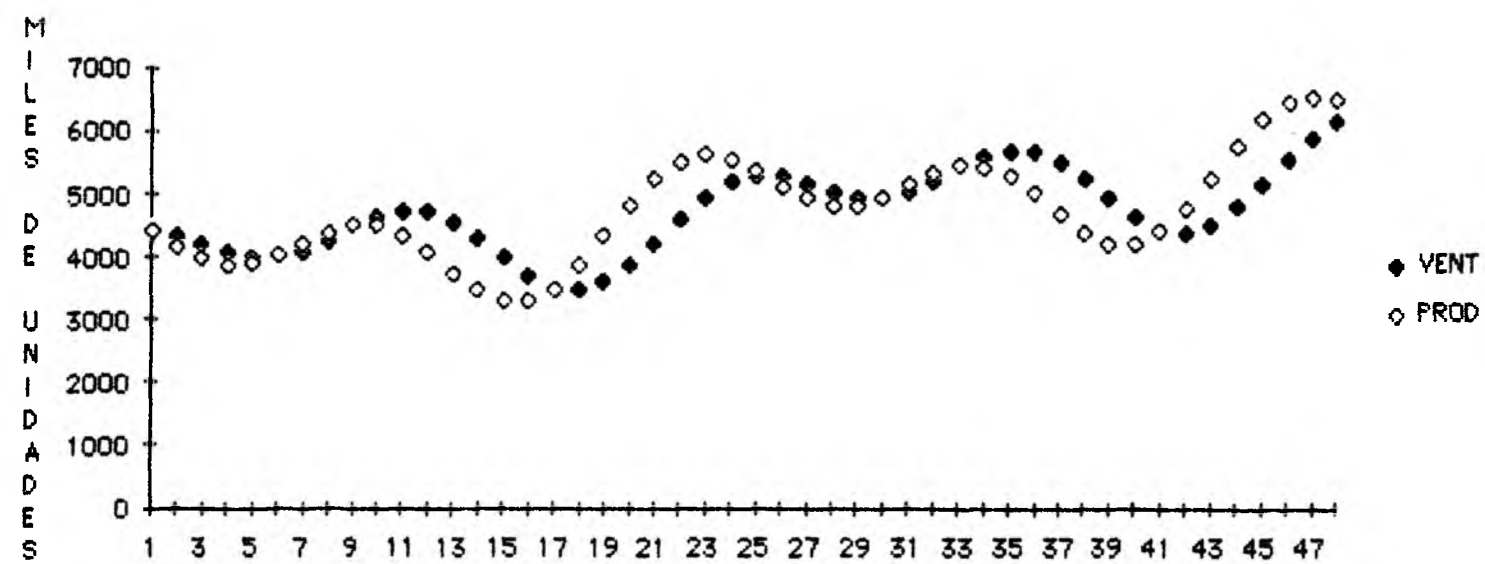

FIGURA 3.2.10 FUNCION DE PRODUCCION EN FUNCION DEL TIEMPO. SIMULADA CON K1=0.38 Y K2=0.33

3.3 LA DECISION

El control de cualquier función requiere cuatro factores mínimos:

1. Una norma o plan con el que valorar si la función cumple los objetivos.

2. Algunos límites de tolerancia, de modo que el sistema no provoque reacciones frente a variaciones momentáneas que pudieran eventualmente ser anuladas por variaciones compensatorias, sino que permita revelar las tendencias y emprender entonces las acciones correctoras opurtunas.

3. La retroinformación, necesaria para poder comparar los resultados reales con el plan.

4. Alguna acción correctora específica que pueda ser emprendida para volver a operar de acuerdo con el plan cuando la función escape al control.

La retroinformación consiste en elaborar informes sobre las tasas reales de producción para los mismos medios de fabricación considerados en el plan, y las acciones correctoras específicas incluyen la contratación, los despidos, las horas extraordinarias, la subcontratación de trabajos entre otros.

3.3.1 VALOR DE LAS REGLAS DE DECISION

El valor que poseen la reglas de decisión en la producción empresarial es considerable, puesto que la determinación del momento oportuno para modificar los niveles de producción es siempre difícil dada la gran cantidad de factores que intervienen.

El establecimiento de reglas de decisión ayuda a la dirección de la empresa a dar directrices en los momentos oportunos, es decir, antes de que se produzca la crisis. Cuando adopta una regla de decisión, el director del control de producción, de hecho, define las reglas del juego una sola vez en lugar de hacerlo cada vez que se inicia. Para que el equipo directivo no se vea obligado a invertir mucho tiempo cada período en decidir si la situación actual justifica realmente un cambio en la tasa de producción, las decisiones relativas a los elementos justificativos de la variación deben estar ya tomadas, permitiendo de este modo el que las discusiones períodicas se centren sobre las acciones concretas a emprender para llevar a cabo dicho cambio.

Por lo general, cuando se han aplicado reglas de decisión, los resultados han sido satisfactorios. La forma real de las reglas de decisión tiene probablemente una importancia secundaria; lo importante es contar con método racional para el control del nivel de producción.

Esta técnica, no obstante, no elimina los altibajos del ciclo empresarial (aunque no cabe duda de que un uso amplio de los métodos de control más racionales debilitará los efectos multiplicadores habituales a causa de la fuerte dependencia de unas empresas con otras), pero sí ofrece gran utilidad para la medición y tratamiento de estos cambios de actividad de forma más efectiva y económica. Las reglas de decisión forman parte del funcionamiento de todo control de producción correcto "más vale prevenir las crisis que curarlas".

3.3.2. REGLAS LINEALES DE DECISION

Algunas reglas de decisión más complejas han sido desarrolladas, como fórmulas matemáticas, para facilitar la planificación y control de las tasas de producción, asi como la mano de obra necesaria para alcanzar dichas tasas. Su objetivo es facilitar con el computador los cálculos rutinarios del volumen de producción que debe ser programado para el mes siguiente las formas alternativas de programar la producción para satisfacer una demanda fluctuante son:

1. Variar la producción para adaptarla a la demanda. Esto exige un conocimiento de la demanda (al menos durante el periodo necesario para ajustar la tasa de producción). No obstante, este conocimiento es poco frecuente, y los niveles de producción suelen ser planeados de acuerdo con previsiones de la demanda. También implica que los planes se ejecuten efectivamente y que sean respetadas las tasas previstas en los programas. Los técnicos deben saber que esto no ocurre prácticamente nunca. La variación puede conseguirse:

a. Añadiendo o despidiendo personal.

b. Acortando los turnos de trabajo o realizando horas extraordinarias para modificar las horas laborables de una mano de obra constante.

c. Subcontratando trabajo a otras empresas.

d. Aplicando alguna combinación de a, b y/o c.

2. Mantener constante la producción y hacer frente a las fluctuaciones de la demanda con los stocks almacenados. Esto supone que la producción a largo plazo ha sido planeada para mantener unos stocks suficientes al final del pico estacional para satisfacer la demanda, y que la empresa posee suficiente capital para invertir en stocks y el espacio necesario para almecenarlos.

3. Mantener constante la producción y hacer frente a las fluctuaciones con los pedidos acumulados de los clientes. Esta

alternativa implica que los clientes tendrán que esperar unos períodos variables para la entrega de sus pedidos.

4. Aplicar alguna combinación de 1, 2 y/o 3.

Cada una de estas alternativas principales y sus combinaciones suponen ciertos costes y, por otra parte, la selección de aquella combinación de alternativas que implique un menor coste total de funcionamiento, desconociendo prácticamente la demanda y resultados futuros, representa un trabajo enorme.

Se han desarrollado, mediante técnicas matématicas de investigación operativa, unas reglas de decisión lineales que ofrecen soluciones óptimas a este problema,partiendo de algunas hipótesis específicas sobre los costes implicados.

Analizaremos a continuación un ejemplo que ilustrará la forma y utilización de una regla sencilla de decisión lineal.

La empresa tiene un proceso de fabricación continuo. Se conocen los costos habituales de la nómina y el de las horas extraordinarias.

Han sido analizados y determinados los costos de almacenamiento. La empresa no desea tener stocks negativos (pedidos retrasados) y considera que los agotamientos de stock tienen un coste muy alto. El costo de almacenamiento mínimo se produce con la cantidad de Yo unidades, por debajo de esta cifra, los pedidos retrasados tienen un costo superior al ahorro resultante de unos stocks menores.

La empresa en un momento dado mantiene el stock deficitario, hay una demanda insatisfecha de pedidos, en donde x representa la cantidad de unidades pendientes, entonces la variación de esta con respecto al tiempo será afectada inversamente por una tasa de retraso promedio factor de la cantidad de unidades pendientes:

$$x'=-(1/T)*x$$

donde

x es la cantidad de unidades pendientes

T es la tas de retraso promedio

Dado en un tiempo t=0 los pedidos pendientes son Xo

La solución a esta ecuación es:

$$x=Xo*e^{(-t/T)}$$

Se analiza entonces el comportamiento de las ventas, desarrollando dos ecuaciones cuyo objeto es permitir la toma de decisiones óptimas.

2. Puede ocurrir que algún factor no incluido en la estimación inicial pueda resultar esencial y puede ser imposible integrarlo

en unas nuevas ecuaciones. Por ejemplo, supongamos que la empresa desee conseguir capital para una expansión reduciendo sus existencias aceptando un nivel inferior de servicio al cliente. El único factor relacionado con esta decisión que aparece en las ecuaciones es el costo de almacenamiento pero resulta muy difícil expresar los efectos de esta decisión como un costo específico de almacenamiento de stocks.

3. En las ecuaciones se supone una cantidad determinada de producción por trabajador en nómina. El número real de empleados y las horas trabajadas deberán ser aumentadas si no se alcanza esta productividad o en otro caso disminuirán los niveles de stocks, empeorando entonces el servicio al cliente.
Las reglas de decisión lineales poseen gran utilidad para la dirección empresarial para controlar racionalmente los cambios en el nivel de producción. No obstante y previamente a su aplicación, conviene comprobar su eficiencia por simulación para comprender mejor su utilidad.

También deben estudiarse las hipótesis básicas de su derivación matemática para saber qué cambios en los costos y condiciones de operación requerirán nuevos cálculos o decisiones a un nivel superior.

El riesgo mayor consiste en suponer que la dirección puede ser sustituida por fórmulas y que unas reglas de este tipo pueden reflejar todas las consideraciones significativas influyentes en las decisiones- ino es así:

Aplicadas correctamente, estas reglas de decisión lineales permiten mejorar el control de los niveles de producción comparativamente a los métodos intuitivos u otros métodos irracionales. No cabe duda de que los resultados serán más estables y consistentes mientras no se produzcan grandes variaciones en los factores que influyen en las hipótesis básicas utilizadas para derivar las ecuaciones.

Es interesante subrayar que las reglas de decisión lineales han tenido amplias aplicaciones como base de los juegos para la mano de obra y producción realizadas con ordenador en los cursos de dirección empresarial y control de stocks en Universidades y seminarios de empresa. Pueden ser programados para un ordenador que desarrolle los cálculos e indique los resultados en función de decisiones óptimas, mientras otros equipos de personas toman las decisiones sobre bases intuitivas o racionales y se comparan los resultados así obtenidos con los del ordenador.

3.3.3. REGLAS DE DECISION Y TIEMPO DE REACCION

Al aplicar las reglas de decisión se supone que las tasas de producción pueden ser modificadas con relativa rapidez una vez tomada la decisión correspondiente. No obstante, este no es el caso en la mayoria de situaciones reales sino que la contratación y formación profesional de nuevos empleados suelen requerir bastante tiempo.

La elaboración de reglas de decisión permite determinar la frecuencia con la que deben ser realizados los cambios en el nivel de producción. Se supone que estas reglas definen los cambios más económicos, pero, sin embargo, no tienen en cuenta el tiempo de reacción.

El tiempo de reacción es el transcurrido entre el momento en que se toma la decisión de modificar el nivel de producción y el momento en que se aumenta o disminuye efectivamente la tasa de producción.

Este período de tiempo suele incluir la solicitud al departamento de personal de un nuevo de trabajador, la contratación y formación reales del mismo y, por último, conseguir que alcance el ritmo de producción normal. Durante este período, las variaciones registradas con respecto a las previsiones pueden seguir manifestándose y un cálculo riguroso de los niveles de stocks de estabilización deberá incluir alguna cantidad de existencias para cubrir este período.

El cálculo de este volumen de reservas de reacción es relativamente inmediato.Implica la estimación del error de la previsión anticipada y la conversión de la misma en una estimación del error de la previsión anticipada y la conversión de la misma en una estimación del error de previsión durante el tiempo de reacción. Es el mismo tipo de relación que existe en el desarrollo del stock de reserva, cuando se calcula el error de previsión en un período de tiempo de una semana para convertirlo a continuación, en un error de previsión para el período equivalente al plazo de entrega.

En este cálculo se admite el hecho de que el error de previsión obtenido en la determinación del stock de estabilización corresponde al período de una semana y que los errores pueden acumularse durante el período de reacción.

Si bien esta relación es interesante, también es cierto que es más bien académica porque muy pocas empresas en la actualidad han desarrollado reglas de decisión o calculado stocks de estabilización. El estudiante debe conocer esta relación general, aunque sabiendo que en la práctica- incluso cuando hayan sido calculados los stocks de estabilización necesarios- se suelen utilizar medidas especiales de producción, como, por ejemplo, las horas extraordinarias, para cubrir cualquier incremento significativo en la demanda durante el período de reacción.

BIBLIOGRAFIA

BECKENBACH, E. F. Modern Mathematics for the Engineer. McGraw-Hill, New York, 1956.

BUFFA, Elwood S. Administración y Dirección Técnica de la Producción. Limusa, Mexico, 1971.

BUFFA, Elwood S. y William H. Taubert. Sistemas de Producción e Inventario. Limusa, Mexico, 1975.

CALL, Steven T. y William L. Holahan. Microeconomía. Iberoamericana, Mexico, 1983.

CASTAÑO, Ramón Abel. Ideas Económicas Mínimas. Bedout, Medellín, 1979.

Clásicos Harvard de la Administración. Vol. I. Eidt. Educar Cultural Recreativa, Bogotá, 1986.

Clásicos Harvard de la Administración. Vol. II. Eidt. Educar Cultural Recreativa, Bogotá, 1986.

COSS BU, Raúl. Simulación Un Enfoque Práctico. Edit. Limusa, México, 1.986.

EDMINISTER, Joseph A. Circuitos Eléctricos. Edit. McGraw-Hill, México, 1.970.

FABRYCKY, W. J. y G. J. Thuesen. Decisiones Económicas. Edit. Prentice/Hall. Englewood, 1981.

FISHMAN, George S. Conceptos y Métodos en la Simulación Digital de Eventos Discretos. Limusa, Mexico, 1978.

FORRESTER, Jay W., Industrial Dynamics, The M.I.T. Press, Cambridge, 1961.

GORDON, Geoffrey. Simulación de Sistemas. Edit. Diana, México, 1.980.

GUJARATI, Damodar. Econometría Básica. McGraw Hill, Bogotá, 1978.

HAROLD, Guetzkow Philip y Randall L. Schultz. Simulation in Social and Administrative Science. Prentice- Hall, Englewood Cliffs, 1972.

KOCAK, Huseyin. Differential and Difference Equations Though Computer Experiments. Springer, New York, 1986.

KISELIOV, A., M.Krasnov, G.Makarenko. Problemas de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias. Mir Moscu, URSS, 1979.

La Función del Directivo. Generalidades. Estrategia y Objetivo. Gestión del Activo Humano. Estructuras Organizativas.

MAIGUASHCA, G. Franklin. Análisis de Costo-Beneficio para la Toma de decisiones. Edit. Norma, Cali, 1979.

MCMILLAN, Claude y Richard F. Gonzalez. Análisis de Sistemas. Modelos de Toma de Decisiones por Computadora. Trillas, Mexico, 1986.

MORRIS T., William. Fórmulas de Protección en la Toma de Decisiones. Limusa, Mexico, 1977.

NAYLOR, H. Thomas. Experimentos de Simulación en Computadoras con Modelos de Sistemas Económicos. Edit. Limusa, México, 1982.

NAYLOR, H. Thomas. Técnicas de Simulación en Computadoras. Edit. Limusa, Mexico, 1.982.

NEWMAN, William H. Dinámica Administrativa. Diana, Mexico, 1978.

OGATA, Katsuhiko. Dinámica de Sistemas. Edit. Prentice/Hall. México, 1.987.

PLOSSL, George W. y Oliver W. Wight. El Control de la Producción y los Stocks, Vol. I. Orbis, S. A., Navarra, España, 1967.

PLOSSL, George W. y Oliver W. Wight. El Control de la Producción y los Stocks, Vol. II. Orbis, S. A., Navarra, España, 1967.

SINHA, N. K. Modeling and Identification of Dynamic Systems. Edit. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1.983.

SPIEGEL, Murray R. Transformadas de Laplace. McGraw-Hill, México, 1.971.

STARR, Martin K. Administración de Producción. Prentice/Hall, Madrid, 1979.

VILLERS, Raymond. Dinamismo en la Dirección Industrial. Edit. Herrero Hermanos S. A. Mexico, 1962.

ANEXO 1

```
program regrelineal;
(*****************************************************************)
(*             UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA          *)
(*             ESPECIALIZACION DE ADMINISTRACION*)
(*               DE SISTEMAS INFORMATICOS
(*             ANALISIS DE REGRESION LINEAL             *)
(*          METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS              *)
(*****************************************************************)
(*             ALFONSO PIO AGUDELO SALAZAR              *)
(*****************************************************************)
 type
  b = array[1..2, 1..30] of real;
 var
  i, j, n : integer;
  Sx, Sy, Sxy, Sxx, Syy, Alfa, Beta, Ro : real;
  d : b;
begin
 write('ENTRE EL NUMERO DE DATOS ');
 readln(n);                          (*lee tamano muestra*)
 Sx:=0; Sy:=0; Sxy:=0; Sxx:=0; Syy:=0;
for i := 1 to n do
  begin
   Write('Dato X ', i, '=');
   readln(d[1, i]);
   write('Dato Y ', i, '=');
   readln(d[2, i]);
   Sx := Sx + d[1, i];
   Sy := Sy + d[2, i];
   Sxy := Sxy + d[1, i] * d[2, i];
   Sxx := Sxx + d[1, i] * d[1, i];
   Syy := Syy + d[2, i] * d[2, i];
  end;
 beta := (n * Sxy - Sx * Sy) / (n * Sxx - Sx * Sx);
 alfa := Sy / n - beta * Sx / n;
 ro := (n * Sxy - Sx * Sy) / sqrt((n * Sxx - Sx * Sx) * (n * Syy - Sy * Sy));
 writeln('     X        Y        XY       XX        YY');
 writeln;
 for i := 1 to n do
```

```
  begin

   write(d[1, i] : 10 : 1, d[2, i] : 10 : 1, d[1, i] * d[2, i] : 10 : 1);
   writeln( d[1, i] * d[1, i] : 10 : 1, d[2, i] * d[2, i] : 10 : 1);
  end;
 writeln;
 Write('Alfa=', alfa : 5 : 2, '          Beta=', beta : 8 : 5);
 write('         Ro=', ro : 8 : 5);
readln;
end.
```

ANEXO 1.1.

```
program regresionmultiple;
var
   inva: array[1..40,1..40] of real;
   x, xt,xtx,inv,vari : array[1..20, 1..20] of real;
   y,xty,b: array[1..20] of real;
   i, j, k,fx, cx, n : integer;
   yy,sy,cero,piv,r2,ee,bxty,varianza: real;
begin
yy:=0;  {Suma de las y al cuadrado}
sy:=0;  {Suma de las y}
{ENTRA DATOS}
   writeln('        UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA');
   WRITELN('              SECCIONAL MANIZALES');
    WRITELN('   ESPECIALIZACION EN ADMINISTRACION');
    WRITELN('          DE SISTEMAS INFORMATICOS');
       WRITELN;
   writeLN('          ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE');
   WRITELN('            POR: Alfonso Pio Agudelo S.');
   WRITELN;
  write('     Entre el tamaño de la muestra (Minimo 3) ');
  readln(fx);
  write('     Entre el numero de variables explicatorias (Minimo 1,
maximo ',fx-2:2,') ');
  readln(cx);
  cx:=cx+1;
  for i := 1 to fx do
   begin
      write('Entre el valor de Y(',i,') ');
      readln(y[i]);
      x[i,1]:=1;
      xt[1,i]:=1;
      yy:=yy+y[i]*y[i];
      sy:=sy+y[i];
      for j := 2 to cx do
         begin
            write('Entre el valor de X(', i, ',', j, ') ');
            readln(x[i, j]);
            xt[j,i]:=x[i,j];    {TRASPONE X}
```

```
          end;
     end;
writeln(' ESTA ES LA MATRIZ DE DATOS');
writeln; writeln('        Y        X1        x2.....');
 for i := 1 to fx do
  begin
      write(y[i]:8:2,'        ');
      for j := 1 to cx do
         write(x[i,j]:8:3,'     ');
      writeln;
  end;
 writeln;
{MULTIPLICA X TRASN POR X}
 for i := 1 to cx do
  for j := 1 to cx do
   begin
    xtx[i, j] := 0.0;
    for k := 1 to fx do
     xtx[i, j] := xtx[i, j] + xt[i, k] * x[k,j];
   end;
{MULTIPLICA X TRASN POR Y}
 for i := 1 to cx do
   begin
    xty[i] := 0.0;
    for k := 1 to fx do
     xty[i] := xty[i] + xt[i, k] * y[k];
   end;

writeln(' ESTA ES LA MATRIZ X TRASPUESTA POR X'); writeln;
 for i := 1 to cx do
  begin
   write(xty[i]:8:2,'        '),
   for j := 1 to cx do
    write(xtx[i,j]:8:3,' ');
   writeln;
  end;
 {INVIERTE A (X TRASPUESTA POR X)}
n:=2*cx;
for i:=1 to fx do
 for j:= cx+1 to n do
  if j=i+cx then
```

```
    inva[i,j]:=1
  else
    inva[i,j]:=0;
for i:=1 to cx do
 for j:= 1 to cx do
   inva[i,j]:=xtx[i,j];
{gauss Jordan}
 for i:=1 to cx do
   begin
     piv:=inva[i,i];
     for j:= i to n do
       inva[i,j]:=inva[i,j]/piv;
     for k:= 1 to cx do
        if k<>i then
          begin
           cero:=inva[k,i];
           for j:= i to n do
           inva[k,j]:=inva[k,j]-cero*inva[i,j];
          end;
    end;
{TRANSFORMA INVA EN INV}
for i:=1 to cx do
 for j:= 1 to cx do
   inv[i,j]:=inva[i,j+cx];
writeln(' ESTA ES LA MATRIZ INVERSA DE (X TRASPUESTA por X)');
writeln;
for i := 1 to cx do
   begin
    for j:=1 to cx do
      write(inv[i,j]:8:3);
    writeln;
   end;
 {MULTIPLICA (INVERSA(X TRASN POR X)) POR (X TRASN POR Y)=b}
 r2:=0;
 for i := 1 to cx do
   begin
    b[i] := 0.0;
    for k := 1 to cx do
     b[i] := b[i] + inv[i, k] * xty[k];
     r2:=r2+b[i]*xty[i]
   end;
```

```
   r2:=(r2-sy*sy/fx)/(yy-sy*sy/fx);
{calcula varianza}
varianza:=0;
for i:=1 to cx do
   varianza:=varianza+b[i]*xty[i];
writeln('Grados de libertad =',fx-cx);
varianza:=(yy-varianza)/(fx-cx);
{CALCULA MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA}
for i:=1 to cx do
   for j:=1 to cx do
      vari[i,j]:=varianza*inv[i,j];
{ESCRIBE}
writeln(' ESTA ES EL VECTOR B O ESTIMADORES');
writeln;
for i := 1 to cx do
  begin
    write(b[i]:8:4);
    writeln;
  end;
writeln('ESTA ES LA MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA');
writeln;
writeln;
for i := 1 to cx do
  begin
   for j:=1 to cx do
     write(vari[i,j]:8:3);
   writeln;
  end;
writeln('El coeficiente de correlacion R2 es: ',r2:6:5);
writeln('La varianza es: ',varianza:8:4);
 readln(i);
end.
```

ANEXO 2.

```
program seriesFurier;
var
   monh,monx,n,iper,period,t: integer;
   i,j,k,kount,nk,ik,jk,kk,iz,ij,ki,ji,jp,kj,jq,jr:integer;
   xx,yy,sum,d,biga,hold:real;
   a: array[1..196] of real;
   l,m: array[1..196] of integer;
   x: array[1..36] of integer;
   g,b: array[1..14] of real;
   c: array[1..14,1..14] of real;
   z: array[1..14,1..36] of real;
begin
   read(monh,monx,n,iper);
   period:=iper;
   for i:=1 to monh do
      read(x[i]);
   for k:=1 to monh do
   begin
      t:=k;
      z[1,k]:=1;  z[2,k]:=t;
      yy:=6.28318531*t/period,
      xx:=yy;
      z[3,k]:=sin(xx);  z[4,k]:=cos(xx);
      if n>=6 then
      begin
         xx:=yy*2;
         z[5,k]:=sin(xx);
         z[6,k]:=cos(xx);
      end
      else
         if n>=8 then
         begin
            xx:=yy*3;
            z[7,k]:=sin(xx);
            z[8,k]:=cos(xx);
         end
         else
            if n>=10 then
```

```
          begin
             xx:=yy*4;
             z[9,k]:=sin(xx);
             z[10,k]:=cos(xx);
          end
          else
             if n>=12 then
             begin
                xx:=yy*5;
                z[11,k]:=sin(xx);
                z[12,k]:=cos(xx);
             end
             else
                if n>=14 then
                begin
                   xx:=yy*6;
                   z[13,k]:=sin(xx);
                   z[14,k]:=cos(xx);
                end;
end;
for i:=1 to n do
for j:=1 to n do
begin
   sum:=0;
   for k:=1 to monh do
      sum:=sum+z[i,k]*z[j,k];
   c[i,j]:=sum;
end;
kount:=0;
for j:=1 to n do
for i:=1 to n do
begin
   kount:=kount+1;
   a[kount]:=c[i,j];
end;
{invertir }
d:=1,
nk:=-n;
for k:=1 to n do
begin
   nk:=nk+n;
```

```
l[k]:=k;  m[k]:=k;
biga:=a[kk];
for j:=k to n do
begin
   iz:=n*(j-1);
   for i:=k to n do
   begin
      ij:=iz+i;
      if ((abs(biga)-abs(a[ij])) <0) then
      begin
         biga:=a[ij];
         l[k]:=i;
         m[k]:=j;
      end;
   end;
end;
j:=l[k];
if ((j-k)>0) then
begin
   ki:=k-n;
   for i:=1 to n do
   begin
      ki:=ki+n;
      hold:=-a[ki];
      ji:=ki-k+j;
      a[ki]:=a[ji];
      a[ji]:=hold;
   end;
end;
i:=m[k];
if ((i-k)>0) then
begin
   jp:=n*(i-1);
   for j:=1 to n do
   begin
      jk:=nk+j;
      ji:=jp+j;
      hold:=-a[jk];
      a[jk]:=a[ji];
      a[ji]:=hold;
   end;
```

```
end;
if (biga)=0 then
   d:=0
else
begin
   for i:=1 to n do
   begin
      if (i-k)<>0 then
      begin
         ik:=nk+i;
         a[ik]:=a[ik]/(-biga);
      end;
   end;
   for i:=1 to n do
   begin
      ik:=nk+i;
      hold:=a[ik];
      ij:=i-n;
      for j:=1 to n do
      begin
         ij:=ij+n;
         if(i-k)<>0 then
            if(j-k)<>0 then
            begin
               kj:=ij-i+k;
               a[ij]:=hold*a[kj]+a[ij];
            end;
       end;
   end;
   kj:=k-n;
   for j:=1 to n do
   begin
      kj:=kj+n;
      if (j-k) <>0 then
         a[kj]:=a[kj]/biga;
   end;
   d:=d*biga;
   a[kk]:=1/biga;
end;
k:=n; k:=k-1;
if k>0 then
```

```
    begin
      i:=l[k];
      if (i-k)>0 then
      begin
        jq:=n*(k-1); jr:=n*(i-1);
        for j:=1 to n do
        begin
          jk:=jq+j;
          hold:=a[jk];
          ji:=jr+j;
          a[jk]:=-a[ji];
          a[ji]:=hold;
        end;
      end;

      j:=m[k];
      if (j-k)>0 then
      begin
        ki:=k-n;
        for i:=1 to n do
        begin
          ki:=ki+n;
          hold:=a[ki];
          ji:=ki-k+j;
          a[ki]:=-a[ji];
          a[ji]:=hold;
        end;
      end;
    end;
end;
 if d<>0 then
 begin
   kount:=0;
   for j:=1 to n do
     for i:=1 to n do
     begin
       kount:=kount+1;
       c[i,j]:=a[kount];
       writeln(c[i,j]);
     end;
 {fcst}
```

```
for i:=1 to n do
begin
  g[i]:=0; b[i]:=0;
end;

for i:=1 to monh do
begin
  t:=i;
  g[1]:=g[1]+x[i]; g[2]:=g[2]+x[i]*t;
  yy:=6.28318531*t/period;
  xx:=yy;
  g[3]:=g[3]+x[i]*sin(xx); g[4]:=g[4]+x[i]*cos(xx);
  if n>=6 then
  begin
    xx:=yy*2;
    g[5]:=g[5]+x[i]*sin(xx);
    g[6]:=g[6]+x[i]*cos(xx);
  end
  else
    if n>=8 then
    begin
      xx:=yy*3;
      g[7]:=g[7]+x[i]*sin(xx);
      g[8]:=g[8]+x[i]*cos(xx);
    end
    else
      if n>=10 then
      begin
        xx:=yy*4;
        g[9]:=g[9]+x[i]*sin(xx);
        g[10]:=g[10]+x[i]*cos(xx);
      end
      else
        if n>=12 then
        begin
          xx:=yy*5;
          g[11]:=g[11]+x[i]*sin(xx);
          g[12]:=g[12]+x[i]*cos(xx);
        end
        else
          if n>=14 then
```

```
            begin
               xx:=yy*6;
               g[13]:=g[13]+x[i]*sin(xx);
               g[14]:=g[14]+x[i]*cos(xx);
            end;
end;
for i:=1 to n do
   for j:=1 to n do
      b[i]=b[i]+c[i,j]*g[j];
for i:=1 to n do
   writeln(i,' ',g[i],' ',b[i]);
for i:=1 to monx do
begin
   t:=i;
   yy:=6.28318531*t/period;
   xx:=yy;
   f[i]:=b[1]+b[2]*t
   f[i]:=f[i]+b[3]*sin(xx)+b[4]*cos(xx);
   if n>= 6 then
   begin
      xx:=yy*2;
      f[i]:=f[i]+b[5]*sin(xx)+b[6]*cos[xx];
      if n>= 8 then
      begin
         xx:=yy*3;
         f[i]:=f[i]+b[7]*sin(xx)+b[8]*cos[xx];
         if n>=10 then
         begin
            xx:=yy*4;
            f[i]:=f[i]+b[9]*sin(xx)+b[10]*cos[xx];
            if n>=12 then
            begin
               xx:=yy*5;
               f[i]:=f[i]+b[11]*sin(xx)+b[12]*cos[xx];
               if n>=14 then
               begin
                  xx:=yy*6;
                  f[i]:=f[i]+b[13]*sin(xx)+b[14]*cos[xx];
               end;
            end;
         end;
```

```
        end;
      end;
    end;
    jblank:=1077952576;
    jstar:=1547714624;
    jplus:=1312833600;
    jequal:=2118139968;
    vmin:=1e75;
    vmax:=-vmin;
    for i:=1 to monx do
    if(f[i]>vmax) then vmax:=f[i];
    if(f[i]<vmin) then vmin:=f[i];
    if(i<=monh) then
     begin
       if(x[i]>vmax) then vmax:=x[i];
       if(x[i]<vmin) then vmin:=x[i];
     end;
    ivmain:=vmin+0.5;
    ivmax:=vmax+0.5;
    ci:=abs((vmax-vmin)/49);
    jint:=ci+0.999;
    kint:=jint;
    j:=0;
    while (j<=10) do
     begin
      j:=j+1;
      imult:=i-1;
      jtest:=kint/10;
      if jtest <= 0 then
       kint:=jteset;
     end;
  while ivmax>jend do
   begin
     case kint of
      kint-1:begin
            jscale:=1;
            elevar:=1;
            for i:=1 to imult do
             elevar:=10*elevar;
            ici:=jscale*elevar;
           end;
```

```
    kint-2:begin
          jscale:=2;
          elevar:=1;
          for i:=1 to imult do
           elevar:=10*elevar;
          ici:=jscale*elevar;
         end;
    kint-5:begin
          jscale:=5;
          elevar:=1;
          for i:=1 to imult do
           elevar:=10*elevar;
          ici:=jscale*elevar;
          jscale:=10;
         end;
    end;
    limit:=0;
    for i:=1 to 50 do
     begin
      limit:=limit+ici;
      if (limit>=ivmin) then
       jstart:=limit-ici;
      end;
     jend:=jstart+50*ici;
     case jscale of
       20 :jscale:=50;
       10 :jscale:=20;
        5 :jscale:=10;
        2 :jscale:=5;
        1 :jscale:=2;
       end;
end;
writeln('forecast model result' 1x,22(1h-));
write('fcst actural forecast forecast',1 25x,'***actual',10x,'====forecast');
ival:=jstart;
for i:=1 to 6 do
 begin
  ihead[i]:=ival;
  ival:=ival+10*ici;
 end;
 for i:=1 to 6 do
```

```
 writeln(ihead[i])
write(53x,'+',10('----='));
ival:=jstart;
for i:=1 to 50 do
 begin
  ival:=ival+ici;
  iclass[i]:=ival;
 end;
 atotr:=0;
 atoti:=0;
 ftotr:=0;
 ftoti:=0;
 asqrr:=0;
 asqri:=0;
 fsqrr:=0;
 fsqri:=0;
 eabsr:=0;
 eabsi:=0;
 esqrr:=0;
 esqri:=0;
 for i:=1 to monx do
  begin
   ifi:=f[i]+0.5
   rif:=ifi;
   if (i< monh) then
    begin
     ix:=x[i]+0.5;
     rix:=ix;
     ie:=ix-if;
     rie:=ie;
     error[i]:=x[i]-f[i];
     eabsr:=eabsr+abs(error[i]);
     eabsi:=eabsi+abs(rie);
     atotr:=atotr+x[i];
     atoti:=atoti+rix;
     ftotr:=ftotr+f[i];
     ftoti:=ftoti+rif;
     asqrr:=asqrr+x[i]*x[i];
     asqri:=asqri+rix*rix;
     fsqrr:=fsqrr+f[i]*f[i];
     fsqri:=fsqri+rif*rif;
```

```
      esqr:=esqrr+error[i]*error[i];
      esqri:=esqri+rie*rie;
      for j:=1 to 50 do
       line[j]:=jblank;
      if (i mod 5)= 0 then
        for j:=5 to 50 do
          line[j]:=jplus
      if (i>monh) then
         for j:=1 to 50 do
          begin
           jsave:=j;
           if (ix<=iclass[j]) then
            line[jsave]:=jstar;
          end;
      for j:= 1 50 do
       begin
        jsave:=j;
        if (ifi<=iclass[j] then
         line[jsave]:=jequal
       end;
       if (i<=monh)
        write(i,'    ',ix,'    ',ifi,'   ',ie,'   ',i,'    ',line)
        write(i,'    'ifi,'    ',i,'    ',line);

end;
  etotr:=atotr-ftotr;
  etoti:=atoti-ftoti;
  rmonh:=monh;
  rmonc-rmonh-1;
  aavgr:=atotr/rmonh;
  aavgi:=atoti/rmonh;
  favgr:=ftotr/rmonh;
  favgi:=ftoti/rmonh;
  eavgr:=etotr/rmonh;
  eavgi:=etoti/rmonh;
  astdr:=sqrt(abs((asqrr-atotr*atotr/rmonh)/rmonc));
  astdi:=sqrt(abs((asqri-atoti*atoti/rmonh)/rmonc));
  fstdr:=sqrt(abs((fsarr-ftotr*ftotr/rmonh)/rmonc));
  fstdi:=sqrt(abs((fsqri-ftoti*ftoti/rmonh)/rmonc));
  estdr:=sqrt(abs((esqrr-etotr*etotr/rmonh)/rmonc));
  estdi:=sqrt(abs((esqri-etoti*etoti/rmonh)/rmonc));
```

```
 emadr:=eabsr/rmonh;
 emadi:=eabsi/rmonh;
 write(monh);
 writeln;
 writeln;
 writeln('actual demand       forecast deand');
 writeln('aritmetic mean');
 writeln('real');
 writeln(aavgr,'    ',favgr,'    ',eavgr);
 writeln('int');
 writeln(aavgi,'    ',favgi,'    ',eavgi),
 writeln('standard deviation');
 writeln('real');
 writeln(astdr,'    ',fstdr,'    ',estdr);
 writeln('int');
 writeln(astdi,'    ',fstdi,'    ',estdi);
 writeln('real',etotr);
 writeln('int',etoti);
 writeln('mean absolutr desviation(mad)')
 write('real',emadr);
 write('int',emadi),
 for i:= 1 to monh
 a[i]:=error[i];
  {HIST}
 end;

end
```

ANEXO 3. PROGRAMA DE ANALISIS DE CIRCUITOS.

```
PROGRAM circuitosRLC;
CONST
   pi=3.141592654;
   micro=0.000001;
VAR
   R,L,C,XL,XC,Z,INVXL,INVXC,G:REAL;
   ALFAL,ALFAC,PHI,TETA,PHIR,PHIL,PHIC,FP,F:REAL;
   VOLTAJE,VL,VC,VR:REAL;
   CORRIENTE,IL,IC,IR:REAL;
   OPCION,ES:INTEGER;
PROCEDURE lecturaparametros(VAR R,L,C,F,VOLTAJE,TETA,XL,XC:REAL;
                     VAR OPCION:INTEGER);
BEGIN
   WRITELN('        UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MANIZALES-
');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('        ESPECIALIZACION EN ADMINISTRACION DE
SISTEMAS');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('                ANALISIS DE CIRCUITOS');
   WRITELN('              ALFONSO PIO AGUDELO SALAZAR');
   WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('LECTURA DE DATOS');
   WRITELN('________________');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITE('INDUCTACIA [Henrios]');
   READLN(L); WRITELN;
   WRITE('CAPACITANCIA [Microfaradios]');
   READLN(C); WRITELN;
   WRITE('RESISTENCIA [Ohmios]');
   READLN(R); WRITELN;
   WRITE('VOLTAJE [Voltios]');
   READLN(VOLTAJE); WRITELN;
   IF OPCION=1
      THEN
        BEGIN
           WRITE('ANGULO DEL VOLTAJE [Grados] : ');
           READLN(TETA);WRITELN;
           WRITE('FRECUENCIA [Hertz] : ');
```

```
            READLN(F);WRITELN;
            IF F<>0 THEN
               BEGIN
                  XL:=2*PI*F*L;
                  IF C<>0 THEN XC:=1/(2*PI*F*C*MICRO)
                        ELSE XC:=0;
               END;
         END;
END;

PROCEDURE Respfrecserie(VAR R,XL,XC:REAL;
                  VAR VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
                  VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL;
                  VAR TETA,PHI,ALFAL,ALFAC:REAL;
                  VAR PHIR,PHIL,PHIC,FP:REAL);
VAR Z:REAL;
BEGIN
   Z:=SQRT(SQR(R)+SQR(XL-XC));
   IF R<>0 THEN PHI:=ARCTAN((XL-XC)/R);
   IF(XL>XC) AND (R=0) THEN PHI:=-PI/2;
   IF(XL=XC) AND (R=0) THEN PHI:=0.0;
   IF(XL<XC) AND (R=0) THEN PHI:=PI/2;
   CORRIENTE:=VOLTAJE/Z;
   FP:=COS(PHI);
   IF C=0 THEN XC:=0;
   VR:=CORRIENTE*R;
   VL:=CORRIENTE*XL;
   VC:=CORRIENTE*XC;
   ALFAL:=PHI*180/PI+90+TETA;
   ALFAC:=PHI*180/PI+TETA;
   PHI:=PHI*180/PI+TETA;
   IR:=CORRIENTE;
   IL:=CORRIENTE;
   IC:=CORRIENTE;
   PHIR:=PHI;
   PHIL:=PHI;
   PHIC:=PHI;
END;

PROCEDURE respfrecparalelo(VAR R,L,C,XL,XC,INVXL,INVXC,G:REAL;
                     VAR VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
```

```
                 VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL;
                 VAR TETA,PHI,ALFAL,ALFAC,FP:REAL);
VAR
  FR,Y:REAL;
  TECLA:CHAR;
BEGIN
  IF R=0 THEN G:=0
    ELSE G:=1/R;
  IF C=0 THEN INVXC:=0
    ELSE  INVXC:=1/XC;
  IF L=0 THEN INVXL:=0
    ELSE INVXL:=1/XL;
  Y:=SQRT(SQR(G)+SQR(INVXC-INVXL));
  IF R<>0 THEN
    BEGIN
      IF XL<>XC THEN PHI:=ARCTAN((INVXC-INVXL)/G)
        ELSE PHI:=0;
    END
  ELSE
    BEGIN
      IF XL>XC THEN PHI:=PI/2;
      IF XL<XC THEN PHI:=-PI/2;
      IF XL=XC THEN
        BEGIN
          PHI:=0;
          FR:=SQRT(L/C);
          WRITELN('HAY RESONANCIA A UNA FRECUENCIA');
          WRITELN(' DE ',FR:6:2,' HERTZ. PRESIONE C <ENTER> ');
          READLN(TECLA);
        END;
     END;
  CORRIENTE:=VOLTAJE*Y;
  IR:=G*VOLTAJE;
  IL:=INVXL*VOLTAJE;
  IC:=INVXC*VOLTAJE;
  ALFAL:=PHI*180/PI+TETA-90;
  ALFAC:=PHI*180/PI+TETA+90;
  FP:=COS(PHI);
  PHI:=PHI*180/PI;
  VR:=VOLTAJE;
  VL:=VOLTAJE;
```

```
   VC:=VOLTAJE;
END;
PROCEDURE respuestafrecuencia(VAR R,XL,XC:REAL;
                      VAR VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
                      VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL;
                      VAR TETA,PHI,ALFAL,ALFAC:REAL;
                      VAR PHIR,PHIL,PHIC,FP:REAL);
VAR
   CONEXION:CHAR;
BEGIN
   WRITELN('   RESPUESTA EN ESTADO ESTABLE A UNA EXCITACION
SENOSOIDAL');
   WRITELN; WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('   LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ESTAN CONECTADOS');
   WRITELN('   EN SERIE O EN PARALELO ????');
   WRITELN;WRITELN;
   READLN(CONEXION);
   IF CONEXION ='S' THEN
      BEGIN

respfrecserie(R,XL,XC,VOLTAJE,VR,VL,VC,CORRIENTE,IR,IL,IC,TETA,
                      PHI,ALFAL,ALFAC,PHIR,PHIL,PHIC,FP);
      END;
   IF CONEXION='P' THEN
      BEGIN
         respfrecparalelo(R,L,C,XL,XC,INVXL,INVXC,G,VOLTAJE,VR,VL,VC,
                         CORRIENTE,IR,IL,IC,TETA,
                         PHI,ALFAL,ALFAC,FP);
      END;
END;

PROCEDURE respconstserie(VAR R,L,C,VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
                      VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL);
BEGIN
   IF C<>0.0 THEN
      BEGIN
         CORRIENTE:=0.0;
         VR:=0.0;
         VC:=VOLTAJE;
      END
    ELSE
```

```
      BEGIN
        IF R<>0 THEN
          BEGIN
            CORRIENTE:=VOLTAJE/R;
            VR:=VOLTAJE;
            READLN;
            VC:=0.0;
          END
        ELSE
          BEGIN
            IF L<>0 THEN
              WRITELN(' LA FUENTE ESTA EN CORTO CIRCUITO')
            ELSE
              BEGIN
                WRITELN('NO HAY NINGUN ELEMENTO CONECTADO');
                WRITELN('A LA FUENTE');
              END;
          END;
      END;
   IR:=CORRIENTE;
   IL:=CORRIENTE;
   IC:=0.0;
   VL:=0;
END;

PROCEDURE respconstparalelo(VAR R,L,C,VOLTAJE,VR,VL,VC: REAL;
                 VAR CORRIENTE,IR,IL,IC: REAL);
BEGIN
   IF L=0 THEN
      BEGIN
        IF C<>0 THEN
          BEGIN
            IF R<>0 THEN
              IR:=VOLTAJE/R
            ELSE
              BEGIN
                IR:=0.0;
                VR:=0.0;
              END;
          END
        ELSE VC:=0;
```

```
          VL:=0;
          VC:=VOLTAJE;
          VR:=VOLTAJE;
          IL:=0.0;
          IC:=0.0;
          CORRIENTE:=IR;
       END
    ELSE
       WRITELN('LA FUENTE ESTA EN CORTOCIRCUITO');
END;

PROCEDURE respconstante(VAR R,L,C:REAL;
                 VAR VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
                 VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL);
VAR
   CONEXION:CHAR;
BEGIN
   WRITELN('   RESPUESTA EN ESTADO ESTABLE A UNA EXCITACION
CONSTANTE');
   WRITELN; WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('   LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO ESTAN CONECTADOS');
   WRITELN('   EN SERIE O EN PARALELO ????');
   WRITELN;WRITELN;
   READLN(CONEXION);
   IF CONEXION='S' THEN
      BEGIN
         respconstserie(R,L,C,VOLTAJE,VR,VL,VC,CORRIENTE,IR,IL,IC);
      END;
   IF CONEXION='P'  THEN
      BEGIN
         respconstparalelo(R,L,C,VOLTAJE,VR,VL,VC,
                    CORRIENTE,IR,IL,IC);
      END;
END;

PROCEDURE escribecos(VAR R,CL,XC,VOLTAJE,VR,VL,VC: REAL;
                 VAR CORRIENTE,IR,IL,IC:REAL;
                 VAR TETA,PHI,ALFAL,ALFAC,PHIR,PHIL,PHIC,FP:REAL);
BEGIN
   IF R=0 THEN
      BEGIN
```

```
        IR:=0.0;
        VR:=0.0;
      END;
    IF XL=0 THEN
      BEGIN
        IL:=0.0;
        VL:=0;
        ALFAL:=0.0;
        PHIL:=0.0;
      END;
    IF XC=0 THEN
      BEGIN
        IC:=0.0;
        VC:=0.0;
        ALFAC:=0.0;
        PHIC:=0.0;
      END;
    WRITELN('PARAMETROS DE RESPUESTA DEL CIRCUITO');
    WRITELN;WRITELN;WRITELN;
    WRITELN('ELEMENTO':21,'VOLTAJE':18,'CORRIENTE':21);
    WRITELN;WRITELN;WRITELN;

WRITELN('MAGNITUD':34,'ANGULO':10,'MAGNITUD':11,'ANGULO':9);WRITE
LN;

WRITELN('RESISTENCIA':23,VR:10:2,TETA:10:2,IR:10:2,PHI:10:2);WRITELN
;

WRITELN('INDUCTANCIA':23,VL:10:2,TETA:10:2,IL:10:2,ALFAL:10:2);WRI
TELN;

WRITELN('CAPACITANCIA':23,VC:10:2,TETA:10:2,IC:10:2,ALFAC:10:2);WRI
TELN;
    WRITELN;WRITELN;
    WRITELN('EXCITACION DEL CIRCUITO:
',VOLTAJE:6:2,'Cos(wt+',TETA:4:2,')');
    WRITELN;WRITELN;
    WRITELN('CORRIENTE DEL CIRCUITO:
',CORRIENTE:6:2,'Cos(wt+',PHI:4:2,')');
    WRITELN;WRITELN;
    WRITELN('FACTOR DE POTENCIA : ',FP:4:2);
```

```
    READ(ES);
END;

PROCEDURE escribeconstan(VAR VOLTAJE,VR,VL,VC:REAL;
                   VAR CORRINTE,IR,IL,IC:REAL);
BEGIN
   IF L=0 THEN
      BEGIN
         WRITELN('PARAMETROS DE RESPUESTA DEL CIRCUITO');
         WRITELN;WRITELN;WRITELN;
         WRITELN('ELEMENTO':21,'VOLTAJE':18,'CORRIENTE':21);
         WRITELN;WRITELN;WRITELN;
         WRITELN('RESISTENCIA':23,VR:10:2,IR:10:2);WRITELN;
         WRITELN('INDUCTANCIA':23,VL:10:2,IL:10:2);WRITELN;
         WRITELN('CAPACITANCIA':23,VC:10:2,IC:10:2);WRITELN;
         WRITELN;WRITELN;
         WRITELN('EXCITACION DEL CIRCUITO :  ',VOLTAJE:6:2,' VOLTIOS');
         WRITELN;
         WRITELN('CORRIENTE DEL CIRCUITO  :
',CORRIENTE:6:2,'AMPERIOS');
         WRITELN;
         WRITELN;WRITELN;WRITELN;
         WRITELN('RESISTENCIA':23,R:6:2,' OHMIOS');WRITELN;
         WRITELN('INDUCTANCIA':23,L:6:2,' HENRIOS');WRITELN;
         WRITELN('CAPACITANCIA':23,C:6:2,' MICROFARADIOS');WRITELN;
         READLN(ES);
      END;
END;

PROCEDURE transitorios;
CONST
   num_constantes_tiempo =5;
   num_iteraciones  =15;
VAR
   RESISTENCIA,IMPEDANCIA,FUENTE: REAL;
   ITERACION :INTEGER;
   OPCION:CHAR;

TIEMPO,TAU,VOLTAJE_RESISTENCIA,VOLTAJE_IMPEDANCIA,CORRIENTE:
   ARRAY[1..num_iteraciones] OF REAL;
   PROCEDURE Leer_datos;
```

```
BEGIN
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN(' QUE TIPO DE CIRCUITO...? ');
   WRITELN(' R-L EN CARGA..........1 ');
   WRITELN(' R-L EN DESCARGA........2 ');
   WRITELN(' R-C EN CARGA...........3 ');
   WRITELN(' R-C EN DESCARGA........4 ');
   WRITELN;
   WRITELN('      ENTRE LA OPCION....');
   READ(OPCION);
   WRITELN; WRITELN;
   WRITE('ENTRE EL VOLTAJE DE LA FUENTE:   ');
   READLN(FUENTE);
   WRITE('ENTRE LA RESISTENCIA :           ');
   READLN(RESISTENCIA);
   IF (OPCION='1') OR (OPCION='2') THEN
      BEGIN
         WRITE('ENTRE LA INDUCTACIA   : ');
         READLN(IMPEDANCIA);
      END
   ELSE
      BEGIN
         WRITE('ENTRE LA CAPACITANCIA  : ');
         READLN(IMPEDANCIA);
      END;
END;

PROCEDURE suministra_datos;
VAR ITERACION :INTEGER;
BEGIN
CASE OPCION OF
'1' :WRITELN('           CIRCUITO R-L CARGA   ');
'2' :WRITELN('           CIRCUITO R-L DESCARGA');
'3' :WRITELN('           CIRCUITO R-C CARGA   ');
'4' :WRITELN('           CIRCUITO R-C DESCARGA');
END;
WRITELN;WRITELN;
WRITELN(' TIEMPO   TIEMPO  CORRIENTE   VOLTAJE R   VOLTAJE
EN L-C');
WRITELN(' (ctes.tiem) (Seg)    (amp)      (volt)       (volt)');
WRITELN;
```

```
FOR ITERACION:=0 TO NUM_ITERACIONES DO
   BEGIN
      WRITE(TAU[ITERACION]:9:3);
      WRITE(TIEMPO[ITERACION]:11:4);
      WRITE(CORRIENTE[ITERACION]:12:4);
      WRITE(VOLTAJE_RESISTENCIA[ITERACION]:12:4);
      WRITE(VOLTAJE_IMPEDANCIA[ITERACION]:15:4);
      WRITELN;
   END;
WRITELN;
WRITELN('PULSE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
READ(ES);
END;

FUNCTION constante_tiempo(RESISTENCIA,IMPEDANCIA:REAL;
OPCION:CHAR):REAL;
   BEGIN
   CASE OPCION OF
   '1' : constante_tiempo:=(impedancia/resistencia);
   '2' : constante_tiempo:=(impedancia/resistencia);
   '3' : constante_tiempo:=(impedancia*resistencia);
   '4' : constante_tiempo:=(impedancia*resistencia);
   END;
END;

FUNCTION transitorio (constante_tiempo,tiempo :REAL):REAL;
   BEGIN
      TRANSITORIO:=EXP(-TIEMPO/CONSTANTE_TIEMPO);
   END;

FUNCTION INTENSIDAD (TRANSITORIO,VOLTAJE,RESISTENCIA:REAL;
OPCION:CHAR):REAL;
   BEGIN
   CASE OPCION OF
   '1' : Intensidad:=(voltaje/resistencia)*(1-transitorio);
   '2' : Intensidad:=(voltaje/resistencia)*transitorio;
   '3' : Intensidad:=(voltaje/resistencia*transitorio);
   '4' : Intensidad:=-(voltaje/resistencia*transitorio);
   END;
END;
```

```
   FUNCTION tension_resistencia (corriente,resistencia: REAL):REAL;
     BEGIN
       tension_resistencia:=corriente*resistencia;;
     END;

   FUNCTION tension_impedancia
(fuente,transitorio,voltaje_resistencia:REAL;
                         OPCION: CHAR):REAL;
     BEGIN
     CASE OPCION OF
     '1' : tension_impedancia:=fuente-voltaje_resistencia;
     '2' : tension_impedancia:=-fuente*transitorio;
     '3' : tension_impedancia:=fuente-voltaje_resistencia;
     '4' : tension_impedancia:=fuente*transitorio;
     END;
   END;

BEGIN  {PROGRAMA PRINCIPAL}
   LEER_DATOS;
   FOR ITERACION:=0 TO NUM_ITERACIONES DO
     BEGIN
       TAU[ITERACION]:=ITERACION*5/NUM_ITERACIONES;

TIEMPO[ITERACION]:=TAU[ITERACION]*CONSTANTE_TIEMPO(RESISTENCI
A,
                                    IMPEDANCIA,OPCION);

CORRIENTE[ITERACION]:=INTENSIDAD(TRANSITORIO(CONSTANTE_TIEMPO
               (RESISTENCIA,IMPEDANCIA,OPCION),TIEMPO[ITERACION]),
               FUENTE,RESISTENCIA,OPCION);
       VOLTAJE_RESISTENCIA[ITERACION]:=TENSION_RESISTENCIA
         (CORRIENTE[ITERACION],RESISTENCIA);
       VOLTAJE_IMPEDANCIA[ITERACION]:= TENSION_IMPEDANCIA
         (FUENTE,TRANSITORIO(CONSTANTE_TIEMPO(RESISTENCIA,

 IMPEDANCIA,OPCION),TIEMPO[ITERACION]),VOLTAJE_RESISTENCIA
         [ITERACION],OPCION),
      END;
    SUMINISTRA_DATOS;
    readLN(ES);
 END;
```

```
PROCEDURE MENU(VAR OPCION:INTEGER);
BEGIN
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('       UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MANIZALES-
');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('       ESPECIALIZACION EN ADMINISTRACION DE
SISTEMAS');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('               ANALISIS DE CIRCUITOS');
   WRITELN;WRITELN;WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('DIGITE SU OPCION Y PRESIONE <enter>');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITELN('   1- RESPUESTA EN FRECUENCIA A EXCITACIONES
SENOSOIDALES');
   WRITELN('   2- RESPUESTA DE ESTADO ESTABLE A EXCITACIONES
CONSTANTES');
   WRITELN('   3- TRANSITORIOS');
   WRITELN;WRITELN;
   WRITE('          ENTRE LA OPCION : ');
   READLN(OPCION);
END;

BEGIN
   MENU(OPCION);
   CASE OPCION OF
    1: BEGIN
      lecturaparametros(R,L,C,F ,VOLTAJE,TETA,XL,XC,OPCION);
      respuestafrecuencia(R,XL,XC,VOLTAJE,VR,VL,VC,CORRIENTE,IR,IL,IC,
                 TETA,PHI,ALFAL,ALFAC,PHIR,PHIL,PHIC,FP);
      escribecos(R,XL,XC,VOLTAJE,VR,VL,VC,CORRIENTE,IR,IL,IC,TETA,PHI,
                 ALFAL,ALFAC,PHIR,PHIL,PHIC,FP);
     END;
    2: TRANSITORIOS;
   END;
   READ;
END.
```