



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DINAMICA DE SISTEMAS FORRESTER

CURSO DE SUPERACION ACADEMICA

- * ENFOQUE DE SISTEMAS
- * IDENTIFICACION DEL PROBLEMA Y
CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA
- * DISTRIBUCION DEL SISTEMA
- * INTRODUCCION A DYNAMO

**DR. JESUS ACOSTA FLORES
DR. ENRIQUE ZEPEDA BUSTOS
SR. MARIANO RAFAEL BLANCO
Del 6-22 de octubre, 1982**

1.1 Problemas y sistemas de retroalimentación.

La parte central de un estudio de Dinámica de Sistemas no es un estado, sino un problema. Los problemas tratados desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas tienen al menos dos rasgos en común: son dinámicos y surgen en sistemas de retroalimentación.

Un problema es dinámico si involucra cantidades que cambian en el tiempo. A continuación se analizan con todo detalle los sistemas de retroalimentación.

La retroalimentación es la transmisión y regreso de la información. Por ejemplo, un sistema de calefacción produce calor en una habitación. Un termostato conectado al sistema, regresa información sobre la temperatura del cuarto al sistema, encendiéndolo o apagándolo y por tanto, controlando esta temperatura. Justo el termostato y el sistema de calefacción forman un sistema de retroalimentación.

Un circuito de retroalimentación es una sucesión cerrada de causas y efectos, una ruta cerrada de acciones e información. Por ejemplo, un sistema de control de inventarios. Los envíos bajan el inventario, cayendo a algún nivel deseado, alguien en el almacén coloca pedidos que producen la subida del inventario. La información (el inventario actual) se transmite (al departamento de pedidos y después a los productores) y eventualmente regresa (en la forma de artículos que se reciben en el almacén). Ver la figura No. 1.1.

Un sistema de retroalimentación es un conjunto interconectado de circuitos de retroalimentación.

Tradicionalmente, cuando se descubre un problema, se reflexiona sobre él, se desarrolla un plan y se actúa acorde con el plan. Usualmente se olvida el hecho que nuestra acción altera el estado del sistema, como se sugiere -

por la línea punteada en la figura 1.7, dando como resultado una nueva comprensión del problema o quizá un conjunto nuevo de problemas que deben atacarse. -- Considere por ejemplo el problema de administrar un área pública para recreación como un parque natural, un lago, o una montaña para escalar. Mientras más y más personas descubren las delicias de acampar y caminar en tales áreas, la administración tiene un dilema: cómo proteger y preservar el carácter y belleza natural de un área y al mismo tiempo hacerla disponible al público para que la goce. Alguien puede ver la situación como en la figura No. 1.3. Esta visión carece de la perspectiva de retroalimentación, sugiere que una política razonable para minimizar el daño ambiental y preservar la calidad de las experiencias de los visitantes es tratar de aumentar el área de contacto y los servicios proporcionados por el parque. Animar la utilización de veredas poco usadas, hacer más veredas, construir más áreas para acampar con baño e instalaciones para recolectar basura, proveer instalaciones educativas como centros apoyados por guardabosques experimentados.

Aunque algunas de tales políticas pueden ser necesarias y deseables, la perspectiva que las generó es inadecuada. Se han ignorado los efectos de retroalimentación. Por ejemplo, el valor de la experiencia vivida tendrá un efecto obvio sobre el número de visitantes, como se muestra en la figura No. 1.4. La conclusión de aumentar servicios ya no es tan clara. Un aumento en los servicios eleva el valor de la experiencia, lo que incrementa los visitantes por año, acrecentando el asentamiento que amplía el daño ambiental y disminuye el valor de la experiencia vivida. Las replicaciones a largo plazo de la política de ampliar servicios ya no son tan evidentes como lo fueron en la figura 1.3.

1.2 El comportamiento de sistemas de retroalimentación.

Los circuitos de retroalimentación se dividen en dos categorías: los positivos y los negativos. Los negativos están buscando una meta y tratan de corregir cualquier desviación de ella. Se muestran tres ejemplos en la figura 1.5. Los positivos amplifican las desviaciones produciendo el crecimiento. Se presentan tres ejemplos en la figura 1.6.

La distinción entre los circuitos de retroalimentación positivos y negativos se captura en la historia del cobertor eléctrico mal conectado de la figura 1.7.

Los problemas reales están formados por circuitos positivos y negativos acoplados; sin embargo, se ha observado que se responde a estos problemas - como si fueran sistemas negativos de retroalimentación muy simplificados. Algunos ejemplos son:

Problema	Respuesta
Cosechas dañadas por plaga de insectos	regar con insecticida
Congestionamiento en el tráfico	construir más carreteras
Crisis	Contratar policías
Aumento en los costos	Fijar los precios

Los problemas reales a menudo son tan complicados que comprender su comportamiento y predecir las respuestas a diversas políticas es imposible sin un modelo formal. Dinámica de sistemas procura proveer la comprensión de sistemas complicados de retroalimentación a fin de diseñar políticas que funcionen para mejorar el comportamiento del sistema.

1.3 Enfoque de Dinámica de Sistemas

Se parte de que el "comportamiento dinámico es una consecuencia de las estructuras de retroalimentación del sistema" y por tanto se buscan dentro de él las causas de su comportamiento problema y no se piensa que sean agentes externos los responsables.

En la figura 1.2 se presentan las etapas para atacar un problema desde esta perspectiva, comenzando y terminando con la comprensión de un sistema y sus problemas. Cada una de estas etapas se verá con mayor detalle en las sesiones siguientes.

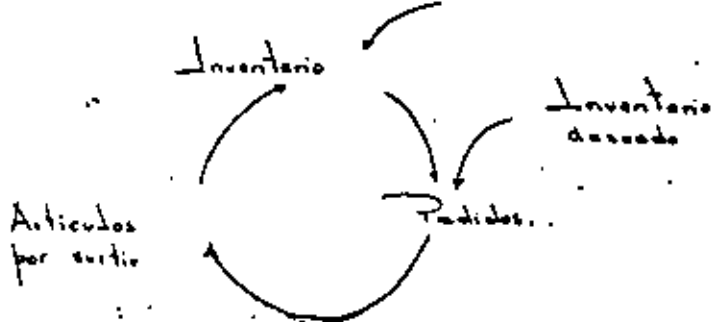


Figura N° 1.1.

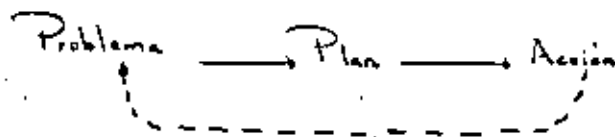


Figura N° 1.2

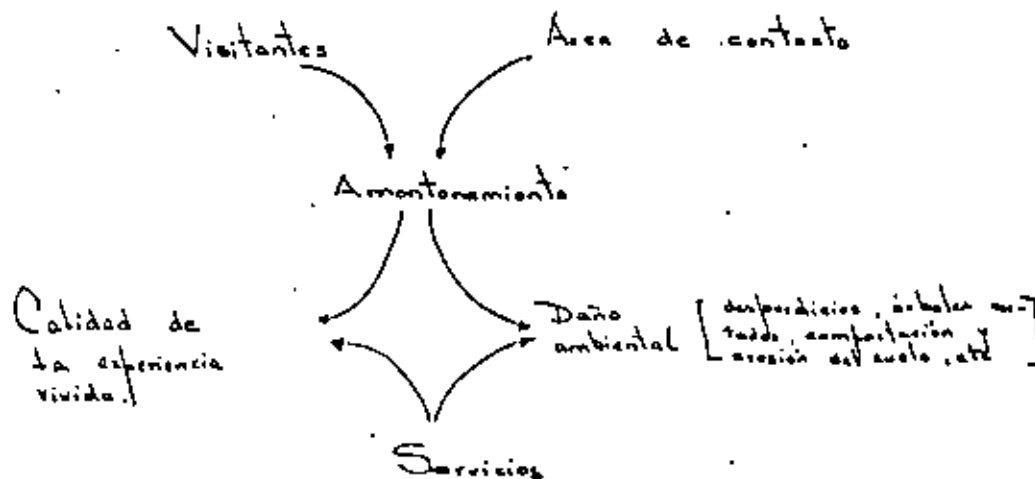


Figura N° 1.3

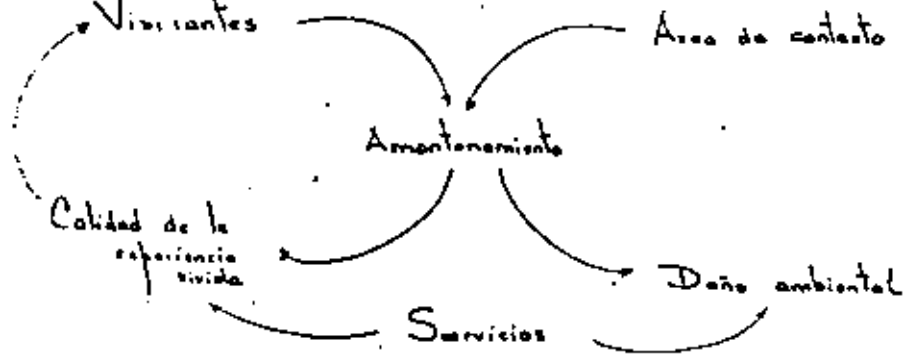
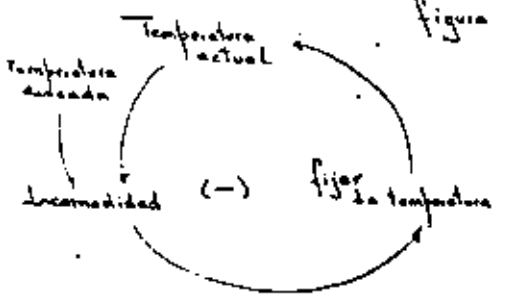
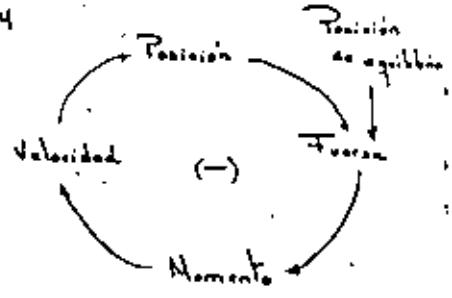


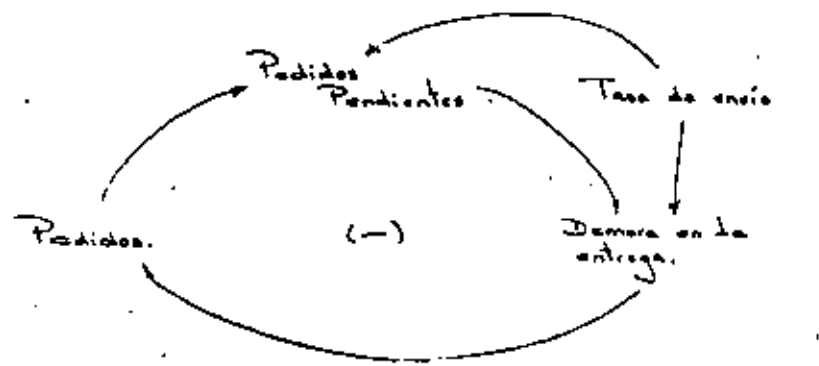
figura N° 3.4



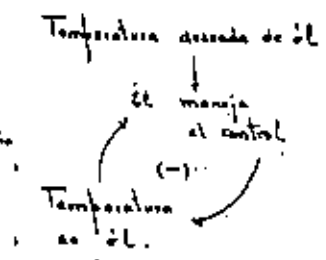
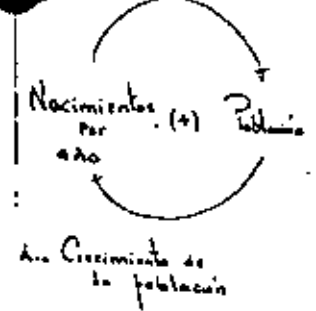
A... Calentador eléctrico



B... Péndulo



C... Demora en la entrega de un producto.
figura No 3.5



A... Conexión adecuada

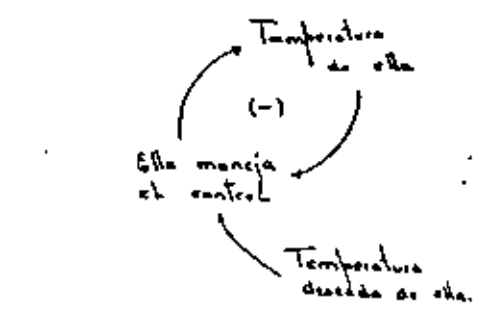
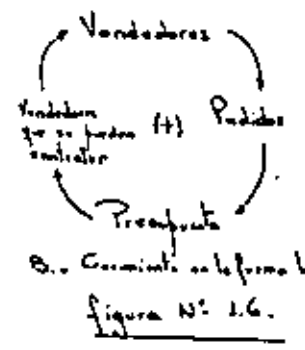
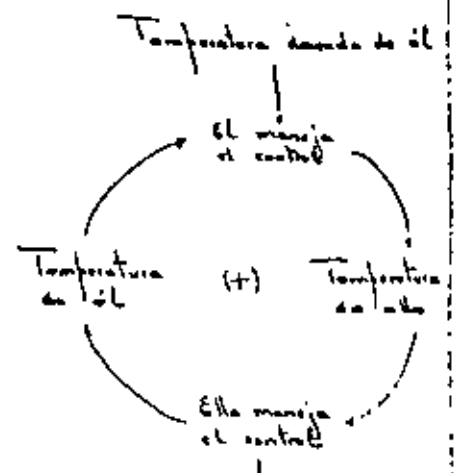
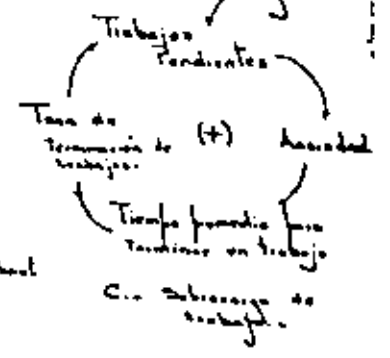


figura N° 3.7.



B... Conexión adecuada

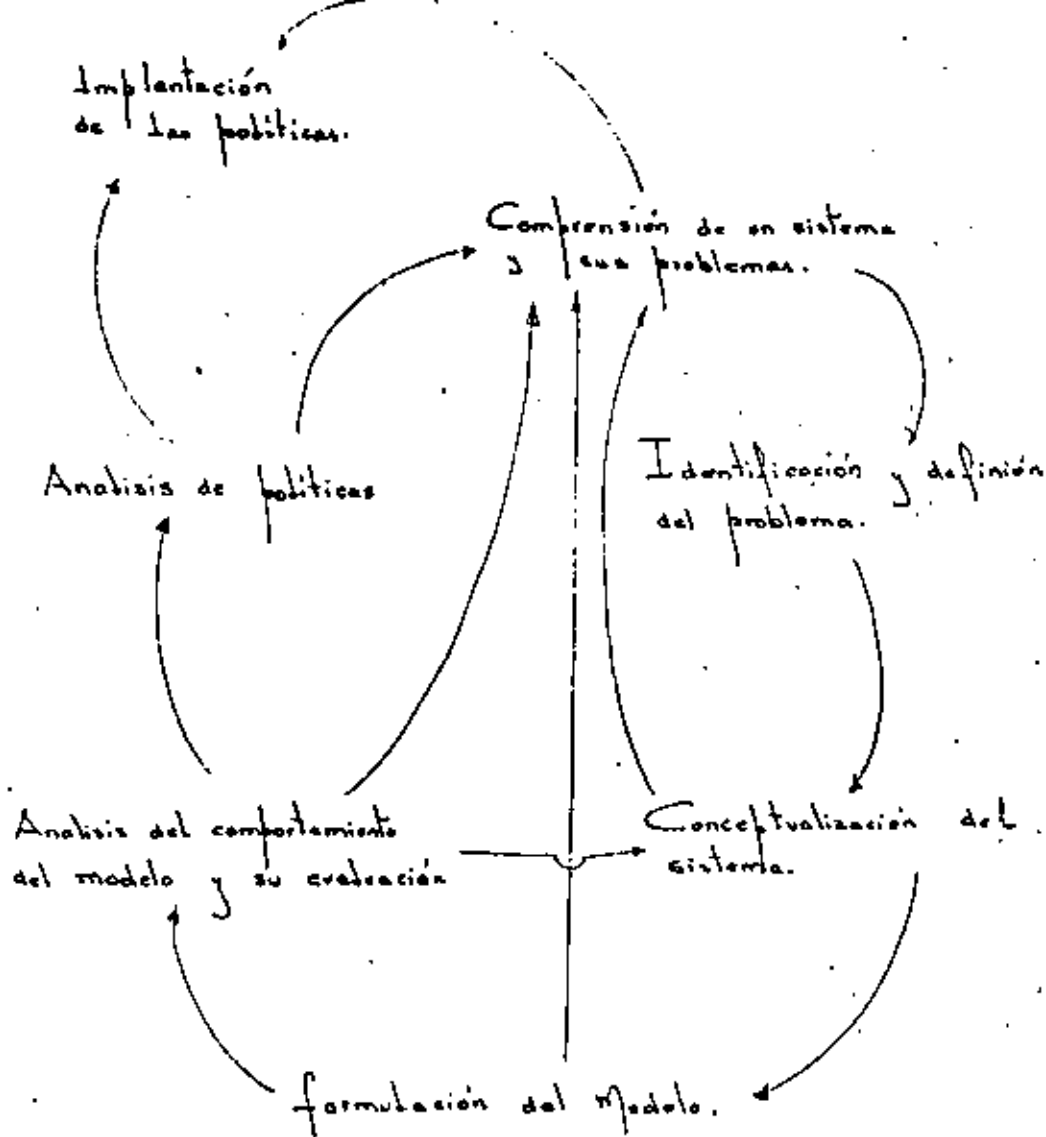


figura N° 1.8

Identificación del problema y conceptualización del sistema.

La identificación del problema y la conceptualización del modelo son las etapas aparentemente menos técnicas de un estudio de Dinámica de Sistemas. Dentro de estas etapas el modelador desarrolla una explicación del contexto y síntomas de un problema, grafica los modos de comportamiento de referencia, articula los propósitos del modelo, establece una frontera del sistema y desarrolla una visión de la estructura del sistema en términos de circuitos de retroalimentación de acción a información. La figura 2.1 resume cómo se ajustan estas etapas, así como las etapas cuantitativas posteriores del proceso de modelado.

A continuación se explica en qué consisten la identificación del problema y la conceptualización del modelo presentándose al final un ejemplo.

2.1. Definición del problema.

La identificación del problema incluye su conocimiento así como su definición sin ambigüedad. Establece verbalmente el contexto y los síntomas del problema. Define dinámicamente al problema en función de sus modos de comportamiento de referencia. Puede haber tres conjuntos de modos de referencia gráficas que muestran el comportamiento del problema, comportamiento deseable y comportamiento observado.

El contenido del modelo se ve influenciado por el problema que se va a analizar, la audiencia para los resultados del estudio, las políticas con las que uno desea experimentar y la implementación deseada.

2.2. Conceptualización del modelo.

Una explicación clara del propósito del modelo contribuye tanto a la definición del problema como a la conceptualización del modelo.

Para un propósito dado, se deberá definir la frontera. La frontera es la línea imaginaria que separa lo que se considera dentro del sistema y lo que se considera fuera. Abarca el número más pequeño de componentes que es necesario para generar el comportamiento de interés del sistema.

La conceptualización del modelo comienza construyendo éste en áreas funcionales, sectores y piezas simples. Primero se desarrolla la estructura física del sistema, después los flujos de información, seguidos por percepciones y finalmente se enfoca sobre las presiones que surgen de las percepciones que influncian los cambios del sistema.

Buscando la estructura de retroalimentación, el modelador trata de obtener las cadenas de causas y efectos hasta que forman circuitos. La expresión más simple de un circuito es en la forma de un diagrama. En Dinámica de Sistemas son comunes dos clases de diagramas: los causales y los de tasa/nivel.

En los causales se define:



Una línea causal de A a B es positiva 1) si un cambio en A produce un cambio en B en la misma dirección ó 2) si A le suma algo a B.

Por ejemplo en la figura 2.2, existe una relación directa entre la diferencia y la decisión de servir, luego se trata de una línea causal positiva.- Al servir se le suma al nivel del vino. Esta no es una relación proporcional ya que al disminuir la tasa, el nivel del vino no disminuye (a menos que alguien se lo beba) sino que simplemente aumenta con menor rapidez. También es una línea causal positiva.



Una línea causal de A a B es negativa si 1) un cambio en A produce un cambio en B en la dirección opuesta ó 2) A le resta algo a B.

Un circuito de retroalimentación es positivo si contiene un número par de líneas causales negativas (figura 2.3).

Un circuito de retroalimentación es negativo si contiene un número impar de líneas causales negativas.

Los diagramas de tasas y niveles muestran las variables donde se presenta: acumulaciones, por ejemplo, el vino se acumula en una copa cuando se vierte en ella. Las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 exhiben tres ejemplos.

2.1. Un ejemplo de definición y conceptualización del problema.

Un problema común en los proyectos son los desbordamientos: exceso de costo, la necesidad de contratar y entrenar personal adicional en medio del proyecto, e ir más allá del tiempo programado.

Para la definición del problema se presentan los modos de referencia de comportamiento en las gráficas de las figuras 2.7, 2.8 y 2.9.

En la figura 2.7 se presenta el comportamiento deseado, en la 2.8 los desbordamientos en personal y tiempo programado y en la 2.9 el progreso actual y el percibido.

Propósito del modelo. Vamos a suponer que nuestros clientes son los responsables de la administración de proyectos grandes y que desean alguna guía para prevenir o minimizar los desbordes. El modelo deberá ser una herramienta que permita a nuestros clientes experimentar con políticas para mejorar la administración de los proyectos.

Frontera del sistema. El propósito del modelo indica que éste deberá enfocarse sobre los aspectos que potencialmente están dentro del control de las personas en el proyecto, por ejemplo:

- definición del proyecto (actividades que se van a ejecutar)
- personal.
- productividad.
- tiempo extra
- avances
- correcciones
- percepción de horas-hombres requeridas
- programa
- alteraciones en el programa
- costos
- estructura de retroalimentación.

En las figuras 2.10 a 2.17 se muestra el desarrollo de esta estructura.

Etapas

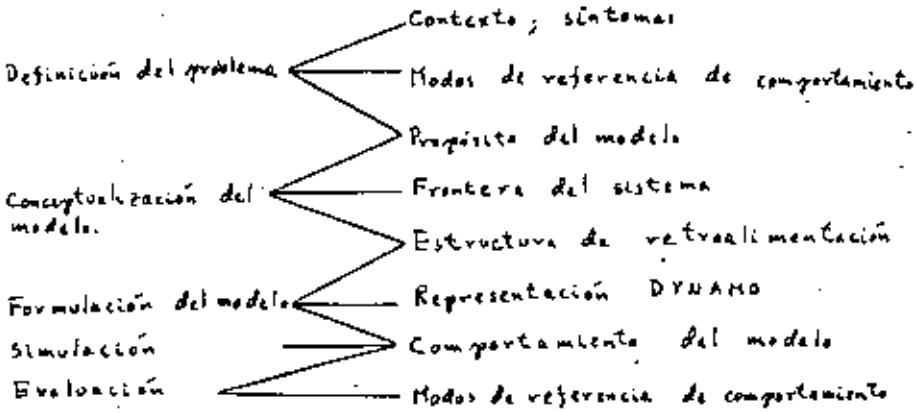


Figura 2.1: Etapas en el proceso de modelado en Dinámica de sistemas.



Figura 2.2

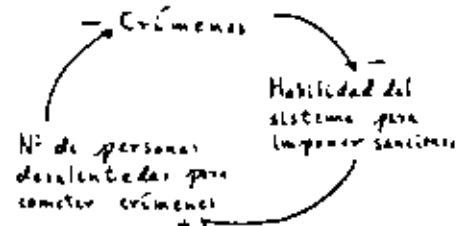


Figura 2.3

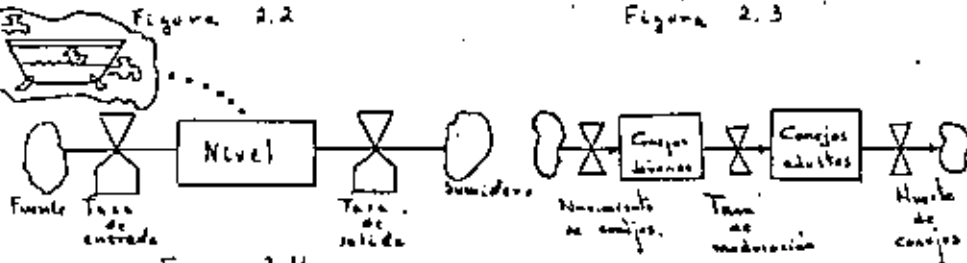


Figura 2.4

Figura 2.5

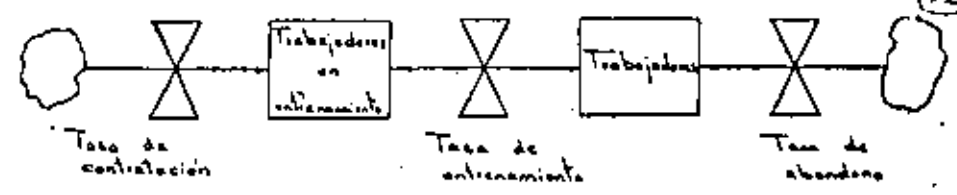


Figura 2.6

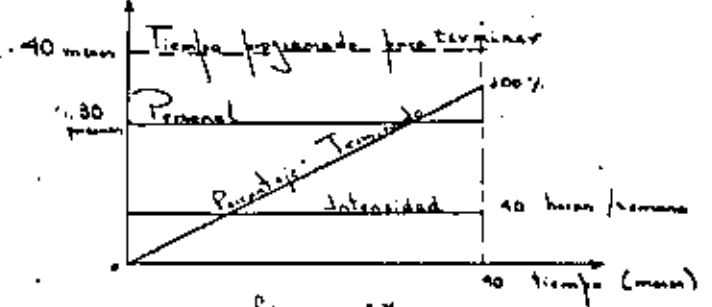


Figura 2.7

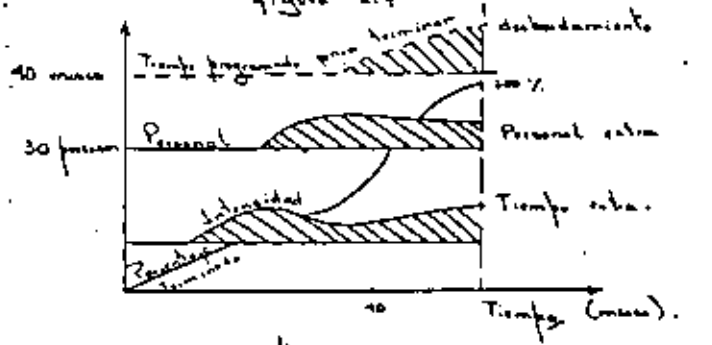


Figura 2.8

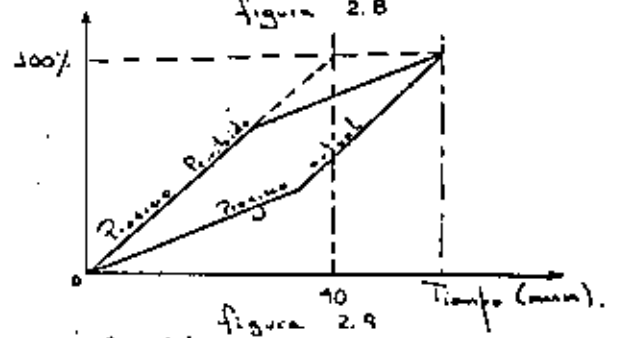


Figura 2.9

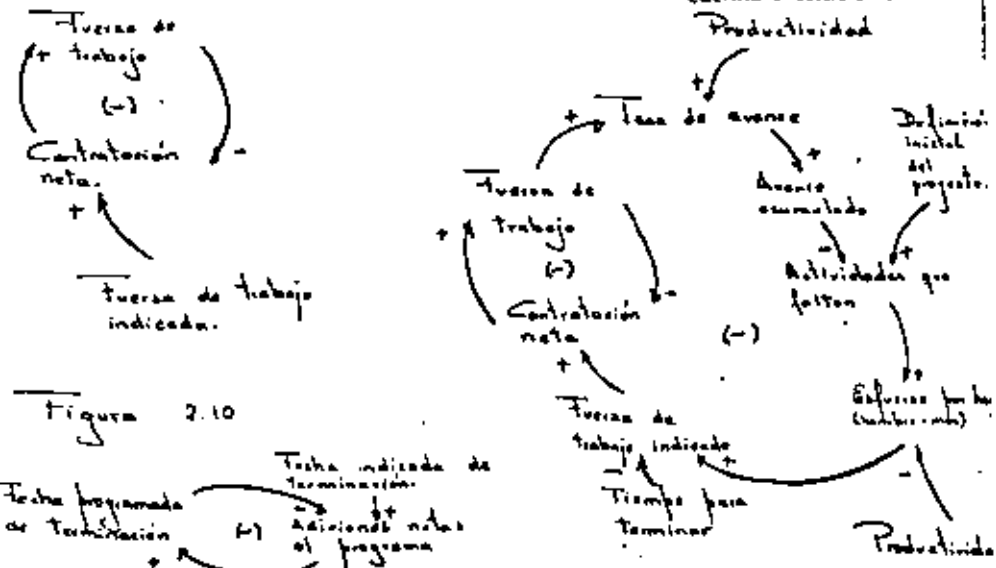


Figura 2.10

Figura 2.11.

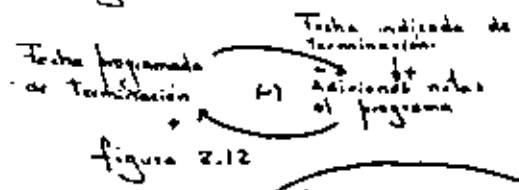


Figura 2.12

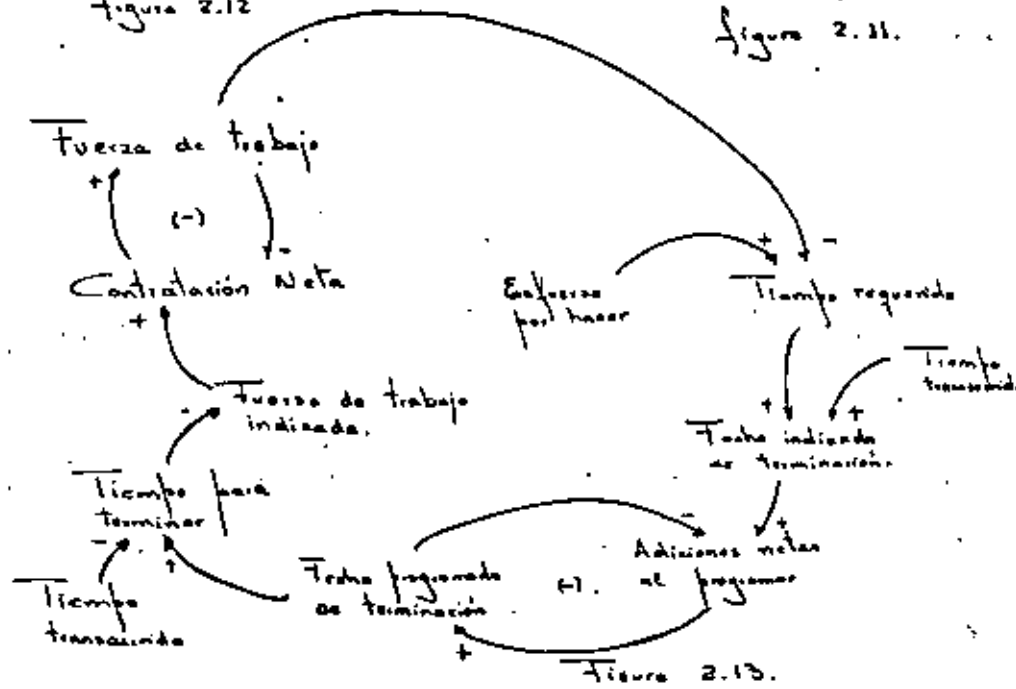


Figura 2.13.

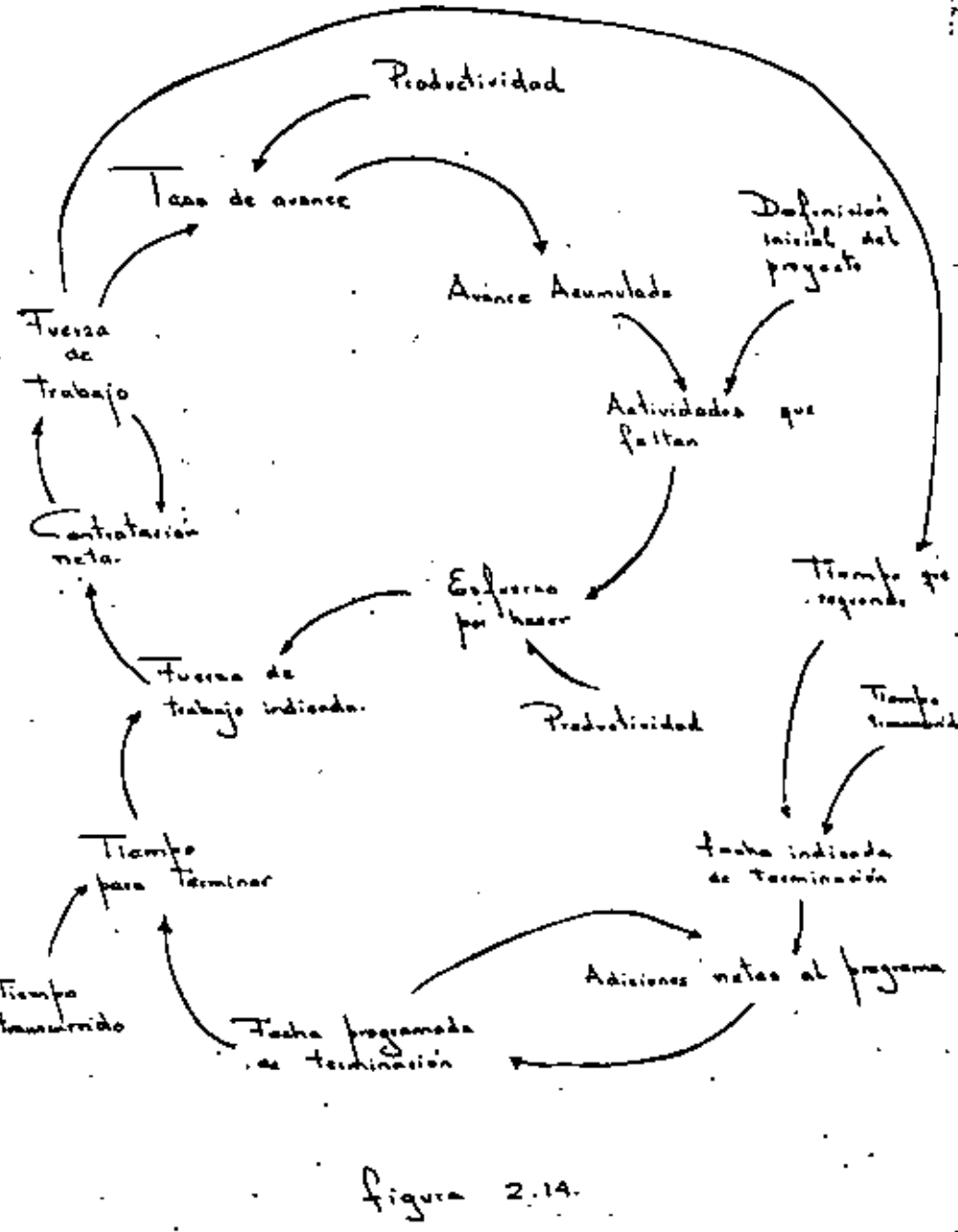


Figura 2.14.

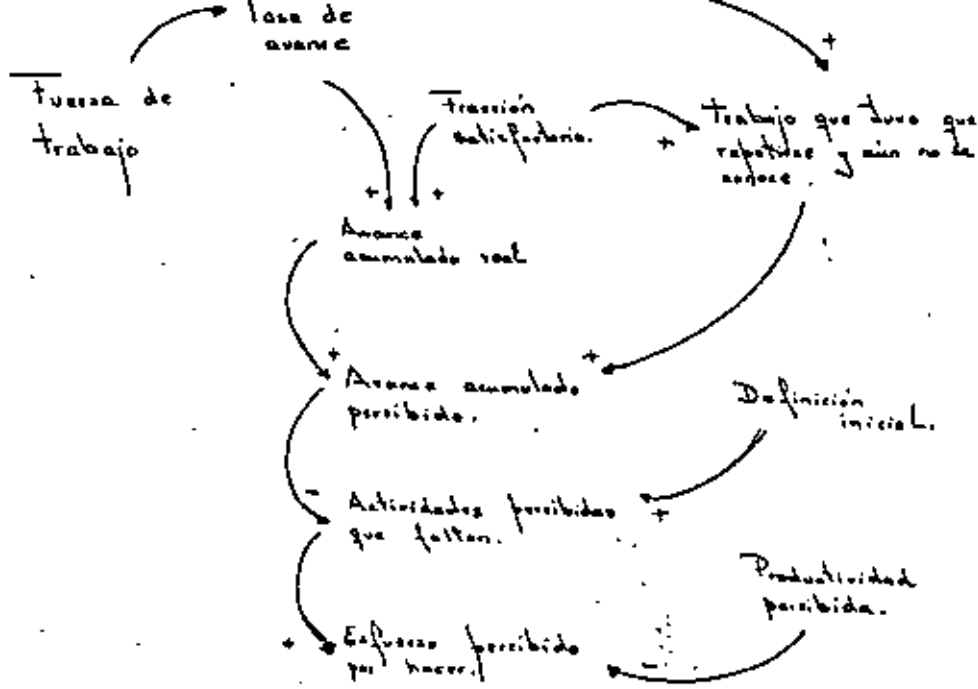


Figura 2.15

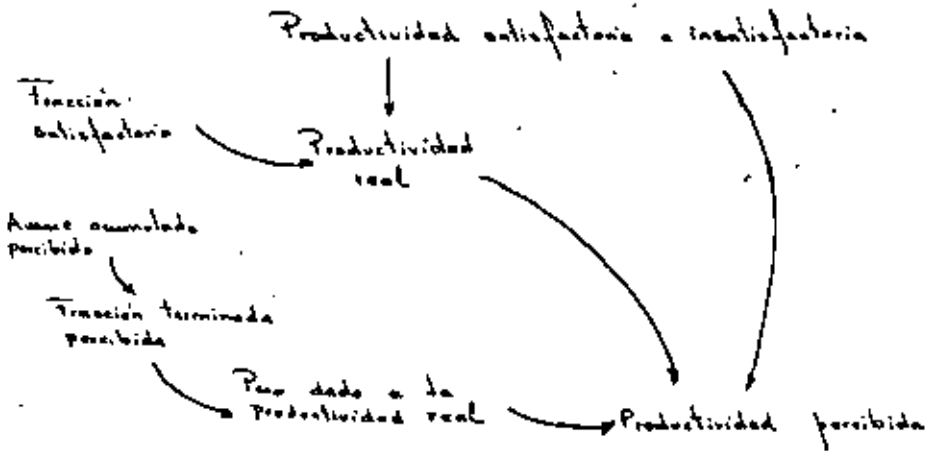


Figura 2.16

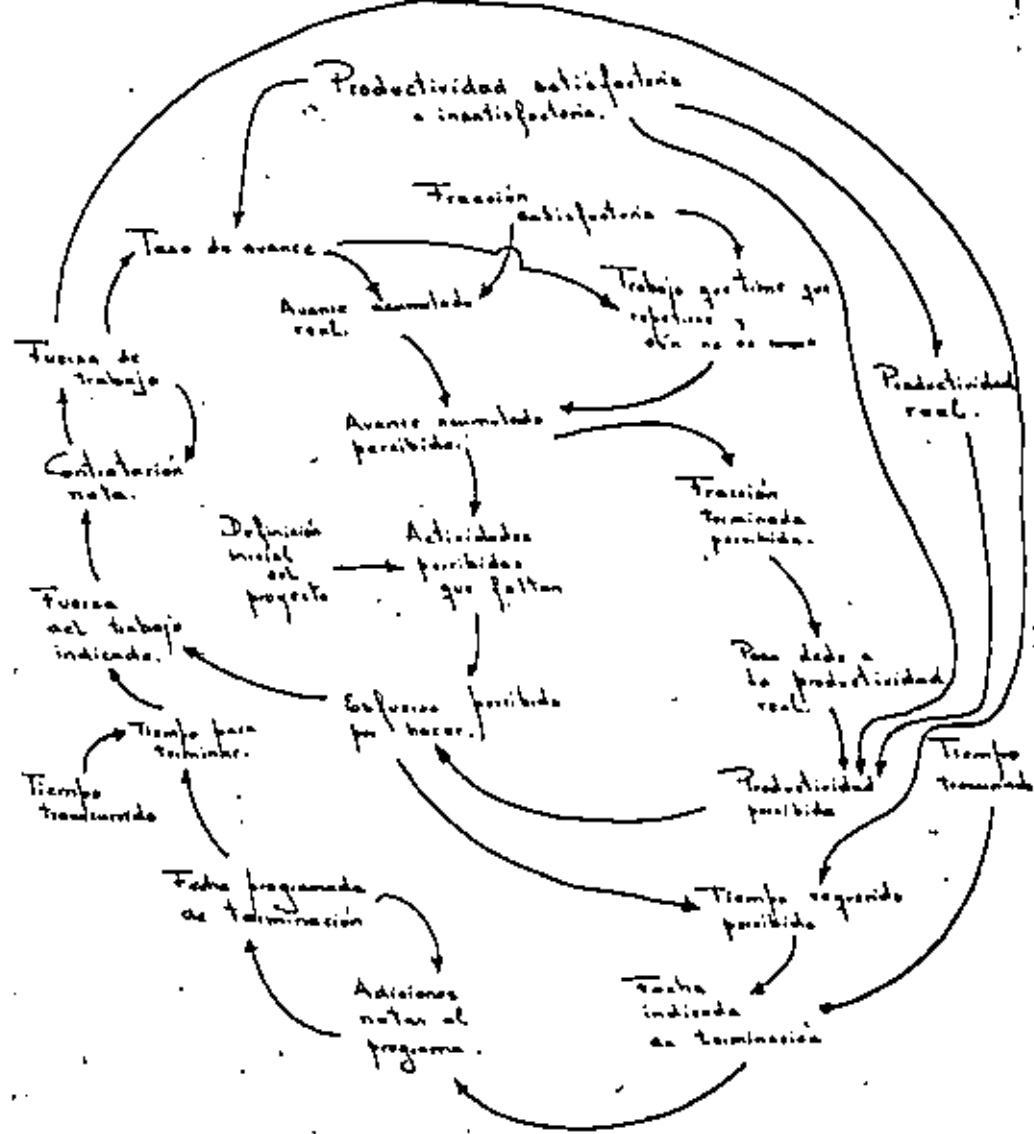
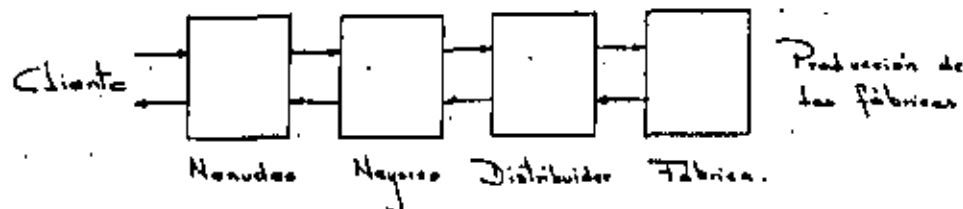


Figura N° 2.17.

DISTRIBUCION DEL SISTEMA

Un problema normal que encaran los empresarios es el de control de inventarios. El mantenimiento de un inventario estable se complica a menudo por inventarios múltiples involucrando fábricas, distribuidores, mayoreo y menudeo y por demora en la transmisión de bienes y pedidos. Los pedidos proceden del cliente al través de todos los sectores seriamente a la fábrica y los bienes fluyen de la fábrica seriamente al través de todos los inventarios al cliente.



Para examinar los problemas inherentes en este sistema de producción-distribución se simulará manualmente y posteriormente puede hacerse en una computadora. Primero se desarrolló un modelo de simulación humano para reproducir la estructura del sistema. Cada persona en esta simulación representará el papel de un decisor de sector. Su trabajo será satisfacer pedidos del sector a su izquierda y colocar órdenes solicitando bienes del sector a su derecha.

Las decisiones para ordenar artículos se hacen una vez a la semana. Todos los sectores en el sistema son idénticos excepto por el tiempo que se requiere para recibir artículos del siguiente sector después que se ha hecho un pedido. Menudeo, mayoreo, y el distribuidor reciben sus bienes dos semanas después de colocar sus pedidos, a menos, por supuesto, que el siguiente sector no tenga suficiente inventario para satisfacer la cantidad de artículos que está demandando. El almacén de la fábrica debe esperar tres semanas para que se cobren los artículos cuya producción ordena (la fábrica tiene un abastecimiento

infinito de materias primas). Las órdenes del cliente están predefinidas. Las órdenes que se reciben en los otros sectores son las que se colocaron un período antes por el sector a la izquierda.

Cada persona en la simulación puede usar cualquier esquema para ordenar que considere necesario para evitar las situaciones sin artículos almacenados. Sin embargo, no tiene otra alternativa, más que satisfacer todos los pedidos siempre que exista un inventario adecuado. Para duplicar las condiciones del mundo real se supone que todos los pedidos se demoran una semana en el correo y todos los bienes tienen también una demora de una semana en el transporte.

Para ilustrar la operación del sistema y las reglas de competencia se considere las acciones del distribuidor. El distribuidor recibe pedidos del mayorista después de una demora de una semana en el correo y envía las unidades que se le requirieron inmediatamente, siempre y cuando tenga la cantidad suficiente de bienes. El material se recibe un período después por el mayorista. Cuando no existen suficientes unidades disponibles, la parte del pedido que no satisface va a engrosar el concepto de pedidos no satisfechos y se enviarán cuando se tengan unidades adicionales del almacén de la fábrica. El distribuidor hace sus pedidos al almacén de la fábrica una vez a la semana para mantener su propio inventario. Existen dos costos asociados con cada inventario, los de tener artículos y los de no tenerlos. Siempre que se tiene una unidad en inventario uno deja de ganar intereses sobre el dinero invertido; estos costos se tomaría como un peso por unidad por período. Siempre que la demanda no puede satisfacerse inmediatamente existen costos asociados con la insatisfacción de quien hizo el pedido (cliente, menudeo, mayoreo o distribuidor.) Para propósito de competencia se tomaron estos costos como dos pesos por unidad por período. Para minimizar los costos totales cada sector en el sistema de distribución intenta mantener su inventario en el nivel más bajo que sea suficiente para satisfacer cambios inesperados en la demanda. Si el inventario comienza a estar bajo de este nivel deseado se ordenarán unidades extra. Cuando el inventario empieza a acumular debido a una escasez momentánea en la demanda, los pedidos disminuirán. La acumulación de costos es una forma conveniente de medir el éxito o fracaso de los esquemas del control de inventarios por lo que se calcularán para ver cuál equipo de los cuatro decisores fue capaz de satisfacer la demanda del cliente con el costo total más bajo.

1.- Durante la simulación se transmitirán los pedidos en hojas de papel.
No comuniquen sus pedidos a ningún otro sector en ninguna otra forma.

2.- Los pedidos del cliente se revelarán al sector de pedidos una vez por semana.

3.- Cada sector comienza con un inventario de doce artículos.

4.- Durante cada período de la simulación se seguirán los pasos siguientes. Una persona, el supervisor de simulación describirá cada paso totalmente en las primeras iteraciones. Después será suficiente con anunciar únicamente la letra correspondiente a cada operación.

A) Satisfaga del inventario cualquier orden que tenga, colocando el número requerido de unidades para transportarse al sector que está a su izquierda. Si no se van a transportar unidades, coloque un papel con una notación de cero. Si la orden pudo cumplirse totalmente destrúyala, si no, ríete las unidades enviadas de las unidades requeridas, y déje la.

B) Registre su inventario y unidades no surtidas.

C) Llegan las unidades por el transportista.

D) Decida cuántas unidades desea ordenar y coloque su pedido en el correo.

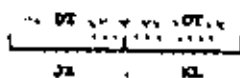
E) Registre el número de unidades que pidió.

F) Llegó el correo, la simulación de las actividades de la semana ha terminado y la secuencia comienza de nuevo.

INTRODUCCION A DYNAMO

Dynamo es un lenguaje de cómputo para simulación. Su nombre, una fusión de las palabras "dynamic model", indica su uso: modelar sistemas del mundo real de manera que su comportamiento en el tiempo pueda ser pasado, (imitado, simulado) por una computadora.

La notación Dynamo ayuda a comunicar precisamente cómo se lleva a cabo el cómputo. Las variables en Dynamo tienen índices indicando su lugar en el tiempo. K representa el presente, J el punto en el tiempo inmediato anterior, y L el punto en el futuro inmediato. El símbolo DT se usa para representar el tiempo que pasa entre J y K o K y L.



J	K	L
el momento anterior	el presente	el siguiente momento

UN EJEMPLO:

Para demostrar el esquema de cómputo usado por Dynamo para simular un sistema, se considera el ejemplo simple del enfriamiento del café en una taza. La ley de Newton del enfriamiento es suficiente para nuestro propósito. Newton postuló que el café se debería enfriar con una tasa directamente proporcional a la diferencia entre la temperatura de la habitación que rodea la taza y la temperatura del café. Esto es, cambio en la temperatura del café = constante * (temp. de la habitación - temp. del café), donde la constante representa cosas tales como la circulación del aire en el cuarto, conductividad de la taza, etc). Se presentan a continuación los cálculos y las ecuaciones de este ejemplo.

Tiempo	CAPE °C	HAB. °C	HAB. - -CAPE °C	CAMBIO °C/min.	CAMBIO en 0.5 min.
0	90	20	- 70	- 14	- 7
.5	83	20	- 63	- 12.6	- 6.3
1	76.7	20	- 56.7	- 11.3	- 5.7
1.5	71	20	- 51	- 10	- 5.1
2	65.9	20	- 45.9	- 9.2	- 4.6
2.5	61.3	20	- 41.3	- 8.2	- 4.1
3	57.2	20	- 37.2	- 7.4	- 3.7
3.5	53.5	20	- 33.5	- 6.7	- 3.4
4	50.1	20	- 30.1	- 6	- 3.0

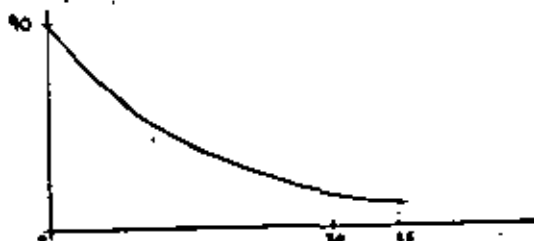
DT = 0.5 minutos CONST = 0.2 1/min., HAB = 20

ECUACIONES DYNAMO

$$\text{CAPE. K} = \text{CAPE. J} + (\text{DT}) (\text{CAMBIO. JK})$$

$$\text{CAPE} = 90$$

$$\text{CAMBIO.KL} = \text{CONST} * (\text{HAB} - \text{CAPE.K})$$



TIPOS DE ECUACIONES

Variables: suscritos K, J, KL, o JK

constantes:

los valores no cambian en todo el curso de la simulación

C HAB = 20

C CONST = 0.2

ECUACIONES DE NIVEL

$$L \quad \text{NIVEL. K} = \text{NIVEL. J} + \text{DT} * (\text{ENT. JK} - \text{SAL. JK})$$

hasta 6 caracteres, el 1o. debe ser una letra.

DYNAMO no acepta espacios en sus ecuaciones, ninguna ecuación se pueda extender más allá de la columna 73.

ECUACIONES DE TASA.

$$K \quad \text{CAMBIO K.} = \text{CONST} * (\text{HAB} - \text{CAPE.K})$$

$$\text{NACIM. KL} = \text{TN} * \text{POB. K.}$$

$$\text{MUER.KL} = \text{POB.K} / \text{VFROM.}$$

ECUACIONES AUXILIARES.

diff=1 escribir ecuaciones de tasa.

$$A \quad \text{DIF.K.} = \text{HAB} - \text{CAPE.K}$$

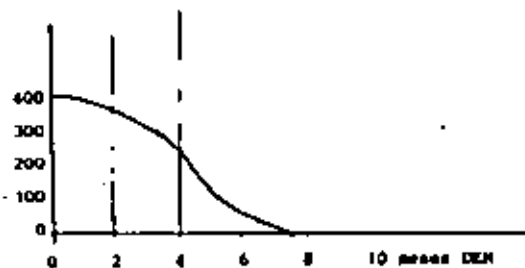
$$R \quad \text{CAMBIO.KL} = \text{CONST} * \text{DIF. K}$$

Funciones a tabla

Ejemplos

$$K \quad \text{MED.KL} = \text{VEN.X} * \text{EV.K}$$

Se piensa que la EV depende de la demora que la organización tiene para entregar los pedidos.



Podrían ser comas en lugar A EV = TABLE (TEV.DEM.K. 0.10.2)
 de /) T TEV = 400/360/120/60/0
 TABLE = Valores fuera del rango se reportan
 TABLE = No se reportan

ECUACIONES M

L CAPE.K = CAPE.J + (DT) (CAMBIO.JK.)

M CAPE (sin suscrito) = 90

Todas las variables de nivel deban inicializarse

M INV = DIC * AVSHIP
 DIC es constante
 AVSHIP es tasa

Símbolos para diagrama de flujo.

Nivel	L	
Tasa	R	
Auxiliar	A	
Función tabla		

Constante

Variable exógena

Variable no definida en el diagrama ()

Línea de información

Flujo de materiales

Obteniendo la salida

SPEC DT= 1.5/LENGTH = 100/PRINTP = 10/PRINTK = 2
 pueden usarse también comas
 período de impresión
 período de gratificación.

TIME.K está dentro del compilador y si TIME.K LENGTH para la simulación.

Dynamo considera como valor inicial de TIME el valor cero a menos que se especifique de otra manera. Por ejemplo:

M TIME = 1960
 LENGTH = 2000 efectúa una simulación de
 2000 - 1960 = 40 periodos.

Para imprimir las variables INV, CRP, SMP y AVS se usa la tarjeta.

PRINT INV, CRP, SMP, AVS
 donde no se usan los índices.

Si se desea que INV se imprima en la 1a. columna, CRP y SMP en la segunda y AVS en la tercera se usa:

```
PRINT 1) INV/ 2) ORP, SHP/ 3) AVS.
```

Para graficar se utiliza la tarjeta con PLOT y después del nombre de la variable se especifica el carácter con que se desea aparecer dibujados los vectores que tiene ésta al transcurrir el tiempo. Por ejemplo:

```
PLOT CON = C/ LINC = L/MPL = +
```

La diagonal hace que cada variable se grafique en escalas separadas. DYNAMO relaciona las escalas.

Si uno desea forzar que dos o más variables se grafiquen en la misma escala se separan con comas, así:

```
PLOT LON = C/TMC = 1, TMC = J/LINC = L/MPL = +
```

hará que TMC y TMC aparezcan en la misma escala

También es posible especificar la escala, por ejemplo si uno quiere que CON esté en la escala de 0 a 400 se escribiría:

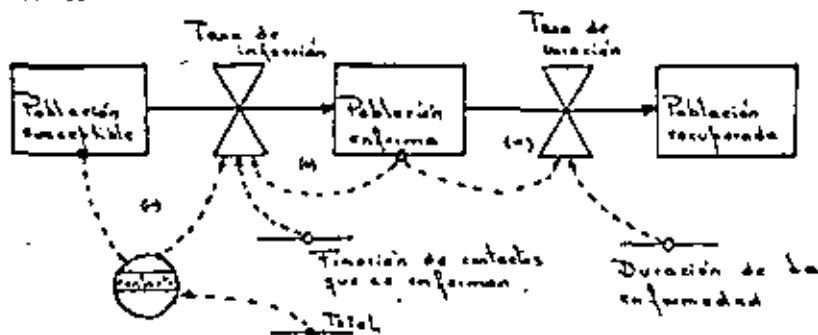
```
PLOT CON = C (,400)/LINC = L/MPL = +
```

La tarjeta NOTE se usa para letras.

La tarjeta RUN hace que comience la simulación.

No se requiere que las tarjetas estén ordenadas

EJEMPLO:



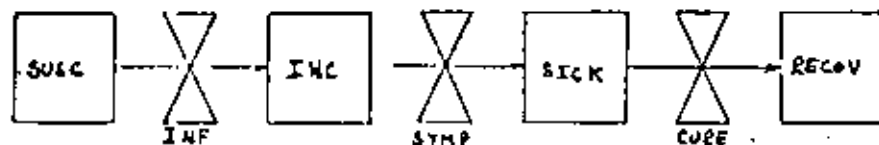
Introduction to DYNAMO

```

* SIMPLIFIED STOCK MODEL
*
* STOCK: P=STOCK, D=DEPLETION, I=INVENTORY
*
* NOTE: SCHEDULED PRODUCTION (PERIOD)
*       DEF. AL. STOCK, AMERICAN PRODUCTION
* NOTE: PRODUCTION RATE (PERIOD PER DAY)
*       PRICE=C, 0.05
* NOTE: PRODUCTION OF STOCKS ACCORDING SIZE
*       (PERIOD)(COSTS)
*       DEF. P=STOCK, PRODUCTION, INVENTORY, D
*       SIZE=2
*
* NOTE: STOCK PRODUCTION (PEOPLE)
*       DEF. P=STOCK, PRODUCTION, SCHEDULE/TOTAL, D, I, O, S
* NOTE: PRODUCTION PRODUCTION PER PERIOD PERIOD
*       DEF. P=STOCK, PRODUCTION PER PERIOD PER DAY
*       P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK
* NOTE: MAKE THE STOCKS
*       TOTAL, SCHEDULE, PRODUCTION
* NOTE: TOTAL PRODUCTION (PEOPLE)
*       DEF. P=STOCK, P=STOCK
* NOTE: MAKE THE (PEOPLE PER DAY)
*       RUN=10
*
* NOTE: PRODUCTION OF (PEOPLE) (DAYS)
*       DEF. P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK
*       P=STOCK=10
*
* NOTE: RECOVERED POPULATION (PEOPLE)
*
* NOTE: ST=0.75, LINC=50, P=STOCK=5, P=STOCK=5
*
* PRINT P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK, P=STOCK
*
* TART: RUN=10, P=STOCK=1, P=STOCK=1, P=STOCK=1, P=STOCK=1(0, 100)
  
```

Preguntas:

- 1.- ¿Qué clase de variable es SICK?
- 2.- ¿Por qué INF aparece en la ecuación de SYSC con un signo negativo?
- 3.- ¿Por qué DUR no tiene un subíndice?
- 4.- ¿Cuántas personas ya habían tenido esta enfermedad y se habían recuperado al inicio de la simulación?
- 5.- ¿Cuánto vale el intervalo de cómputo?
- 6.- ¿Por qué existen sólo dos escalas para las cinco variables?
- 7.- ¿Por qué INF tiene el subíndice KL en la ecuación de Tasa y Ok en las de nivel?
- 8.- Grafique la tabla de CHICTE
- 9.- ¿Cuántas líneas se imprimen y cuántas se grafican?



En la figura anterior se supone que existe un período de incubación antes que se presenten los síntomas de la enfermedad. Las nuevas ecuaciones son:

$$L \text{ INC},X = \text{INC},J + DT * (\text{INF},JK, \text{SYMP},JK)$$

$$M \text{ INC} = TSS * \text{INF}$$

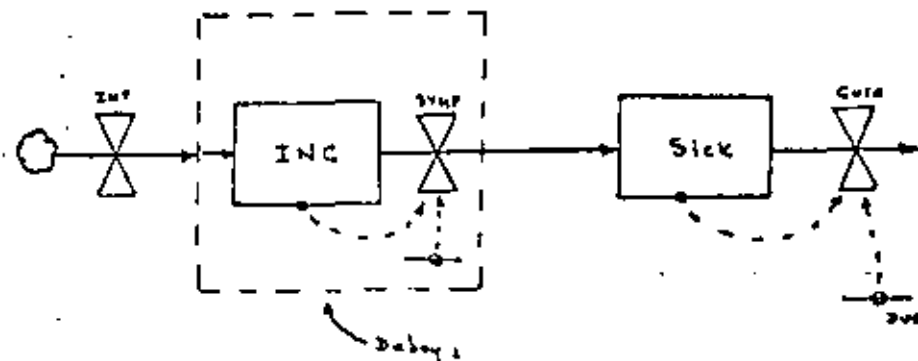
$$R \text{ SYMP},KL = \text{INC},R / TSS$$

donde TSS es el tiempo para mostrar los síntomas. Para la gripe es alrededor de 3 días.

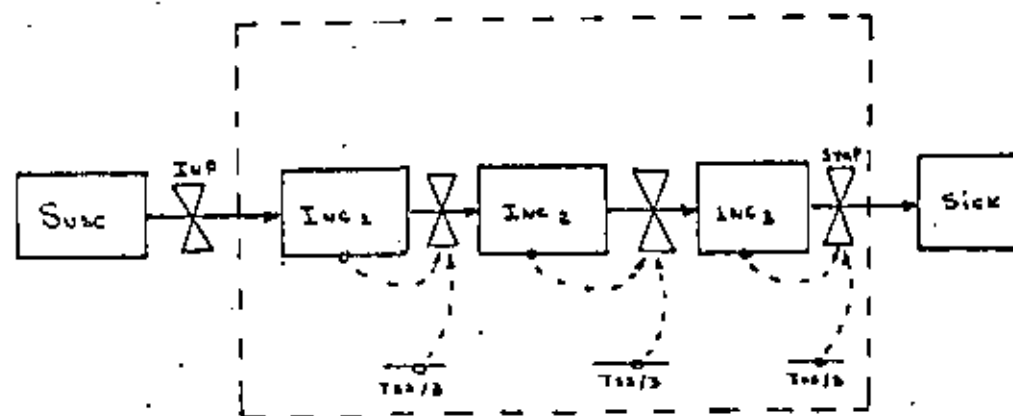
La ecuación siguiente hace lo mismo que las tres ecuaciones anteriores:

$$R \text{ SYMP},KL = \text{DELAY1}(\text{INF},JK, TSS)$$

DELAY1 es una demora exponencial de primer orden de materiales



Se podría sugerir que ya que al tiempo para mostrar los síntomas TSS es tres días, se podría desagregar la población que está incubando la enfermedad en los del primer día INC1, los del segundo día INC2 y los del tercer día INC3 como se muestra en la figura.

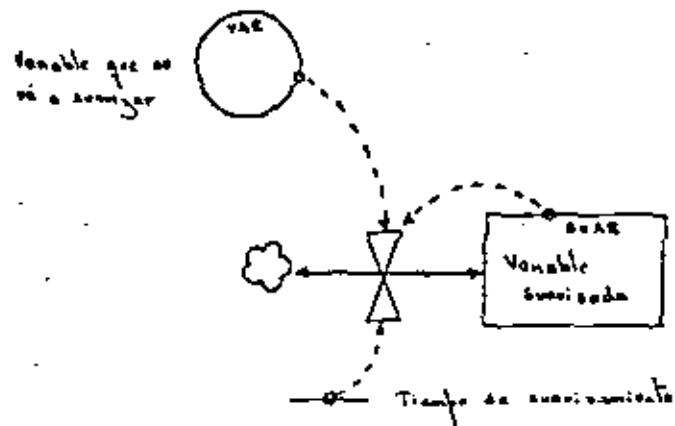


La demora resultante entre estar infectado (la tasa INF) y mostrar los síntomas (la tasa SYMP) se conoce oficialmente como una demora exponencial de tercer orden de materiales y en Dynamo se representa con la función DELAY 3.

R SYMP.KI=DELAY3(INF,JK,ISS)

función SMOOTH.

Esta función sirve para suavizar. Suponga que se desean promediar la variable VAR,



Las ecuaciones son:

L SVAR.K=SVAR.J.+DR*STASA.JK
 M SVAR=VAR
 R STASA.KI.=(VAR,K-SVAR.K) /STIME.

La ecuación siguiente hace lo mismo que las tres ecuaciones anteriores.

A EVAR.K = SMOOTH (VAR.K,STIME)

VAR puede ser nivel, tasa o auxiliar.

OTRAS FUNCIONES.

Matemáticas:

SQRT (X) = \sqrt{x}
 SIN (X) = seno (X)
 COS (X) = cos (X)
 EXP (X) = e^x
 LOGN (X) = $\log_e x$

Lógicas:

MAX (A, B) = $\begin{cases} A & \text{si} & A > B \\ B & \text{si} & A < B \end{cases}$

MIN (A, B) = $\begin{cases} B & \text{si} & A > B \\ A & \text{si} & A < B \end{cases}$

CLIP(S,B,X,Y) = $\begin{cases} A & \text{si} & X > Y \\ B & \text{si} & X < Y \end{cases}$

SWITCH(A,B,X) = $\begin{cases} A & \text{si} & X = 0 \\ B & \text{si} & X = 1 \end{cases}$

Otras funciones que sirven para hacer pruebas al modelo son:

STEP (A,B)

donde A - altura del paso
 B - tiempo en que comienza.

RAMP (A,B)

donde A - pendiente de la función.
 B - tiempo de inicio.

PULSE (A,B,C)

donde A - altura del pulso
 B - tiempo del primer pulso
 C - intervalo entre pulsos sucesivos.

NOISE ()

genera números aleatorios de - 0.5 a 0.5

A * NOISE () +B genera números aleatorios
de $B-A/2$ a $B+A/2$

Regla para seleccionar DT

Escoja DT entre 0.50 y 0.10 del valor más pequeño de las constantes de demora en el modelo.

DELAYP

Las siguientes ecuaciones son equivalentes:

R SYMP.KL = DELAYP (INF.JK, ISS, INC.K) (EN DYNAMO II)

R SYMP.KL=DELAY 3(INF.JK,TSS)

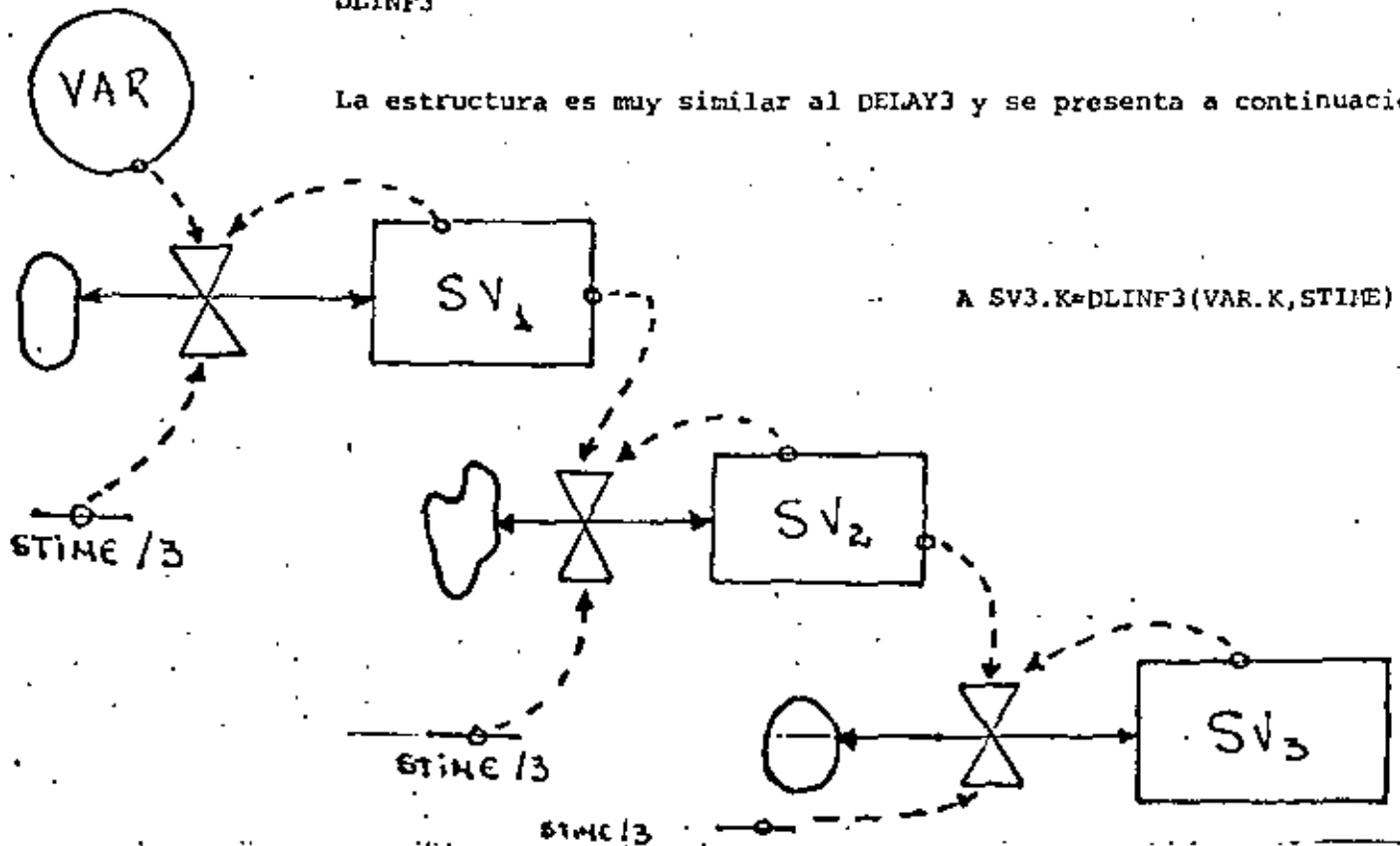
L INC.K = INCH + (DT) (INF.JK-SYMP.JK)

N INC = (INF) (TSS)

A diferencia del DELAY 3, EN DELAYP el argumento INC.K suma los tres niveles internos en la estructura del delay, permitiéndole al modelador el acceso de estos valores en todos los tiempos.

DLINF3

La estructura es muy similar al DELAY3 y se presenta a continuación





DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

CURSO: DINAMICA DE SISTEMAS (FORRESTER)

CURSO DE SUPERACION ACADEMICA
DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

MODELO CORPORATIVO DE SIMULACION DINAMICA
DE TELEFONOS DE MEXICO, S.A.

DR. ENRIQUE ZEPEDA BUSTOS

DEL 6 AL 22 DE OCTUBRE 1982

	PAG.
1.- METODOLOGIA	1
2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO	3
3.- EL MODELO Y SU ESTRUCTURA	5
4.- DESCRIPCION DEL MODULO DEL SISTEMA DE LARGA DISTANCIA	8
5.- USO DEL MODULO DEL SISTEMA L. D. COMO MODELO INDEPENDIENTE	18
6.- ENSAMBLE Y VALIDACION DEL MODELO CORPORATIVO	29
7.- GENERACION DE ESCENARIOS FUTUROS	52
8.- CONCLUSIONES	58
9.- BIBLIOGRAFIA	60

INTRODUCCION.

La creciente complejidad de la estructura organizacional de Teléfonos de México, S. A. y de sus procesos de toma de decisiones así como la naturaleza cambiante de su entorno tanto tecnológico como socioeconómico hacen de la planeación estratégica una función vital para la empresa. El acelerado desarrollo económico del país requiere no solo de una red telefónica extensa sino también de la variedad cada vez mayor de servicios telefónicos que pueden ser proporcionados debido al rápido avance tecnológico de las telecomunicaciones. La expansión de la red telefónica y su modernización implican la toma de la decisión correcta con respecto a los cambios tecnológicos a introducir y la adopción de políticas de crecimiento estable que garanticen la continuidad de un servicio telefónico confiable y adecuado a las necesidades del país. Los cursos de acción para lograr estas metas son múltiples y sus consecuencias futuras difíciles de prever y evaluar.

Para seleccionar la mejor alternativa o las políticas estratégicas más adecuada se requiere de un modelo que permita, bajo diferentes escenarios futuros del entorno, simular sus efectos sobre el desempeño de la empresa en áreas tales como: financiamiento de los planes de expansión, capacitación y desarrollo de personal especializado, introducción de nuevos servicios, etc. La magnitud y complejidad del sistema telefónico mexicano hacen del análisis y evaluación de políticas estratégicas un proceso difícil de realizar con modelos que no involucren un enfoque global del sistema.

1.- METODOLOGIA.

06

Con el propósito de resolver la problemática planteada anteriormente se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas para el desarrollo de un modelo de simulación dinámica que representa la estructura de los procesos de toma de decisiones involucrados en las diferentes áreas funcionales de Teléfonos de México. El modelo se desarrolló en forma modular - construyendo modelos dinámicos para cada una de las áreas funcionales las cuales fueron probadas y validadas independientemente para ser ensambladas posteriormente en un modelo global con lo cual la validación del modelo corporativo completo se facilitó significativamente.

Una vez validado el modelo se utilizará para:

- i) Simular y analizar el desempeño general de TELMEX bajo diferentes escenarios futuros del entorno.
- ii) Simular y analizar los efectos de las políticas de crecimiento actuales.
- iii) Diseñar y probar políticas alternativas.
- iv) Evaluar y seleccionar opciones estratégicas.

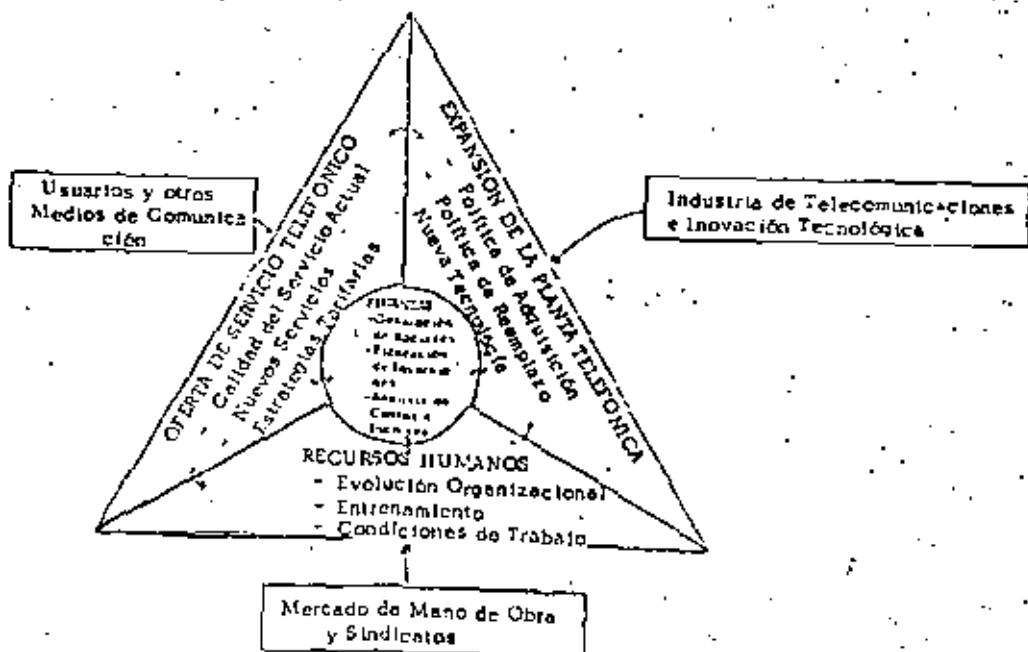
2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO

07

2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO.

08

El sistema que se busca modelar para evaluar el impacto de las opciones estratégicas, es la corporación en su totalidad y se conceptualizó como sigue:



4.- DESCRIPCIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA DE LARGA DISTANCIA.

4.1.- OBJETIVOS.

Los objetivos principales del Modelo Dinámico del Sistema L.D. son:

- Simular la dinámica producida por el tráfico de conferencias de L.D. a través del sistema telefónico en un horizonte a largo plazo, tomando en consideración:
 - El comportamiento de los usuarios.
 - Las leyes que norman la interacción entre usuarios y sistema.
 - La política de adquisición de capacidad de equipo L.D.
- Analizar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios de demandas de tráfico.
- Proponer métodos alternativos de pronóstico de tráfico a Largo Plazo que sean capaces de filtrar las variaciones cíclicas y aleatorias que se presentan.
- Proponer políticas de adquisición de capacidad lo suficientemente robustas para responder en forma adecuada a la tendencia de crecimiento de la Demanda.
- Evaluar y seleccionar políticas de adquisición de planta L.D. como insumos al Modelo LARDI.

4.2.- METODOLOGÍA.

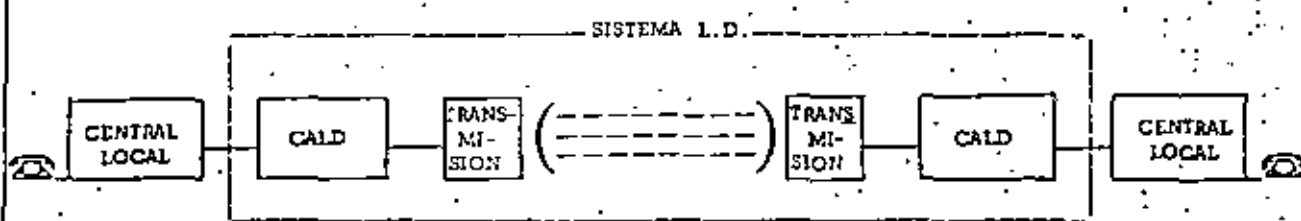
Debido a la naturaleza dinámica del comportamiento de los tres principales sectores del sistema: 1) Usuarios, 2) Planta L.D. y 3) Política de Adquisición de Telmex y de sus interacciones se utilizó Dinámica de Sistemas para construir un modelo de simulación de las características principales del comportamiento del Sistema L.D. Esto permite:

- Determinar y analizar los efectos a corto, mediano y largo plazo tanto de cambios en el entorno como de decisiones que se tomen respecto a políticas de adquisición de planta, manejo de red y calidad de servicio.
- Seleccionar la política o políticas que produzcan los mejores resultados bajo el mayor número posible de escenarios futuros del entorno.

4.3. - CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA L.D.

5

La estructura básica del sistema L.D. propuesta para la construcción del modelo dinámico se conceptualizó como sigue:



Esta conceptualización permite observar el comportamiento de una llamada telefónica en cuanto a su probabilidad de éxito a lo largo de los pasos señalados en el diagrama.

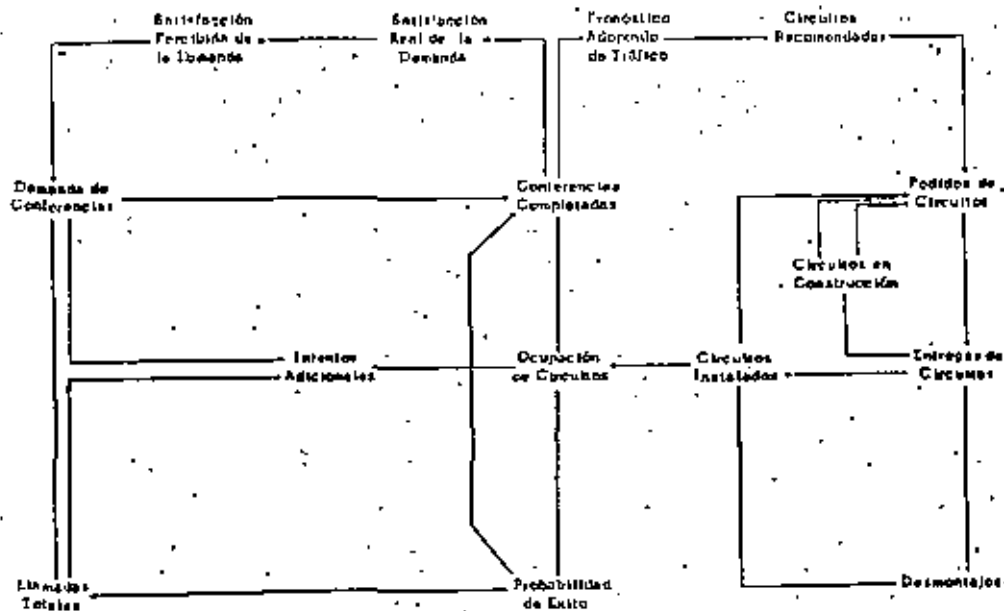
15

4.4. - ESTRUCTURA Y FUNCIONES DEL MODELO.

Con el fin de analizar el comportamiento del Sistema L.D. bajo la conceptualización propuesta, el modelo dinámico cuya estructura simplificada se presenta a continuación, tiene como funciones principales simular:

- Los efectos de la demanda de conferencias sobre la planta L.D.
- Reacción a corto plazo del usuario al congestionamiento de la red.
- Reacción a largo plazo del usuario al nivel percibido de satisfacción de la demanda.
- Respuesta del sistema a través de su política de adquisición.

DEL SISTEMA L.D.



13

4.5.- SUPUESTOS.

La conceptualización del Sistema L.D. está basada en los siguientes supuestos:

Comportamiento de la Demanda de Conferencias: En este caso se supone que:

- La demanda de conferencias es igual o mayor a las conferencias completadas.
- La demanda de conferencias puede crecer tanto uniformemente como presentar variaciones cíclicas o aleatorias.

Comportamiento del Usuario. Los supuestos básicos en esta área son:

Los usuarios tienen necesidades de comunicación a larga distancia que puedan ser cubiertas por medio de la utilización del servicio telefónico.

Aquellos que buscan resolver parte de sus necesidades de comunicación a través del sistema telefónico, lo manifiestan por medio de llamadas al sistema.

Los usuarios reaccionan al nivel de calidad de servicio al sistema telefónico. La reacción del usuario al funcionamiento correcto del sistema se manifiesta en intentar satisfacer más necesidades de comunicación a través del sistema telefónico.

La reacción del usuario a la pérdida de llamadas depende de su percepción de las causas: 1) Causas Externas.- Cuando el usuario percibe que el número marcado está ocupado o no contesta; 2) Causas Internas.- Cuando el usuario percibe que el sistema falla.

La percepción del usuario de que la pérdida de llamadas es causada por el sistema se incrementa a medida de que la calidad de servicio que percibe decrece.

La reacción del usuario a la pérdida de llamadas pasa por las siguientes etapas:

- Intentar la llamada inmediatamente
- Diferir la llamada a otro período del día
- Diferir la llamada a otro día
- Cancelar la llamada
- Intentar otra forma de comunicación ajena al sistema telefónico

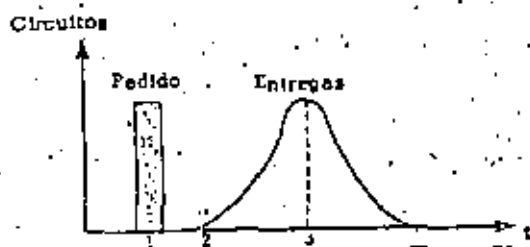
- Para simular el comportamiento del tráfico a través del sistema local se asignó una probabilidad de éxito constante a los pasos de conmutación local.
- La eficiencia del grupo de los circuitos de transmisión es afectada por la intensidad de tráfico y por su agrupación. Por lo tanto la probabilidad de que una llamada tenga acceso a un circuito se determinará en función del grado de ocupación de los circuitos en un momento dado generado por conferencias en curso e intentos adicionales y el número promedio de circuitos en cada vía.
- El grado de ocupación es determinado por la relación entre el tiempo que un circuito está siendo utilizado en intentos y conferencias durante un período dado y el tiempo total del período.
- La probabilidad de que un circuito individual no esté accesible para una llamada en un momento dado está por su grado de ocupación.
- La agrupación de circuitos por vía aumenta la probabilidad de que una llamada tenga acceso a un circuito en dicha vía. Por lo tanto reduce su probabilidad de pérdida. Para el cálculo de las probabilidades por grupo de circuitos se utilizó la fórmula de Erlang.
- La probabilidad global de éxito de una llamada está compuesta por las probabilidades de éxito parciales que la llamada tenga en los siguientes pasos :
 - Comutación en la central local del abonado A.
 - Enlace disponible para acceder su central L.D.
 - Comutación en su central L.D.
 - Circuitos disponibles para acceder la central L.D. del abonado B.
 - Enlaces disponibles entre la central L.D. y la central local del abonado B.
 - Comutación en la central local del abonado B.
 - Abonado B. contesta la llamada.

Las probabilidades de éxito parciales se consideran independientes entre sí. Esto implica que las probabilidades de éxito global son el producto de las probabilidades de éxito parciales.

Una probabilidad de éxito baja genera intentos adicionales que aumentan el congestionamiento del sistema disminuyendo aún más las probabilidades de éxito.

No todos los intentos adicionales causan ocupación en los circuitos, sino solo aquellos cuyas probabilidades indiquen que el circuito está libre al llegar una llamada a esta paso.

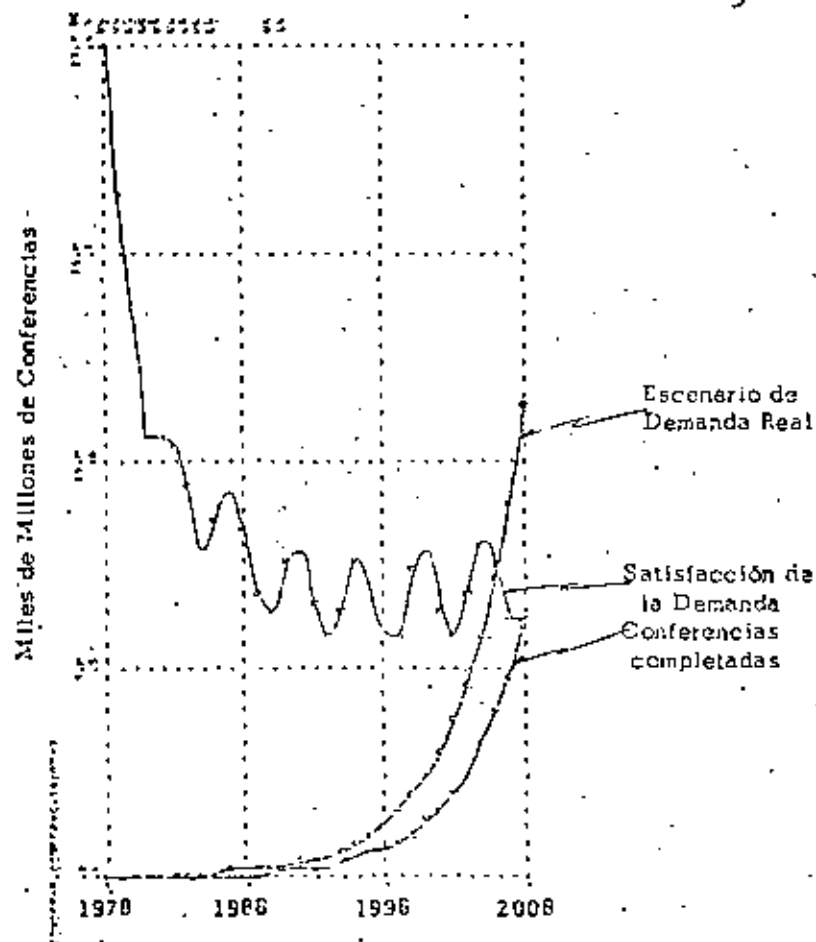
Política de Adquisición. - En este caso se supone que aunque los circuitos son pedidos una vez por año las entregas estarán distribuidas a lo largo del tiempo de la siguiente forma: ⁿ⁾



S. - USO DEL MODULO DEL SISTEMA L.D.
COMO MODELO INDEPENDIENTE.

El módulo del Sistema L.D. se utilizó para analizar los efectos de la política actual de adquisición de circuitos de Larga Distancia y para diseñar y probar políticas alternativas que permitan adecuar la evolución de la capacidad del sistema a la demanda real de conferencias. Para estos efectos se simuló el comportamiento del sistema durante un período de 30 años a partir de 1978 bajo un escenario de crecimiento exponencial de la demanda de conferencias y suponiendo un 80% de satisfacción de la demanda para ese año.

Como puede observarse en la gráfica que se presenta a continuación, la satisfacción de la demanda cae drásticamente de 80% en 1978, a 56% en 1985 para empezar a oscilar alrededor de 53% aproximadamente.



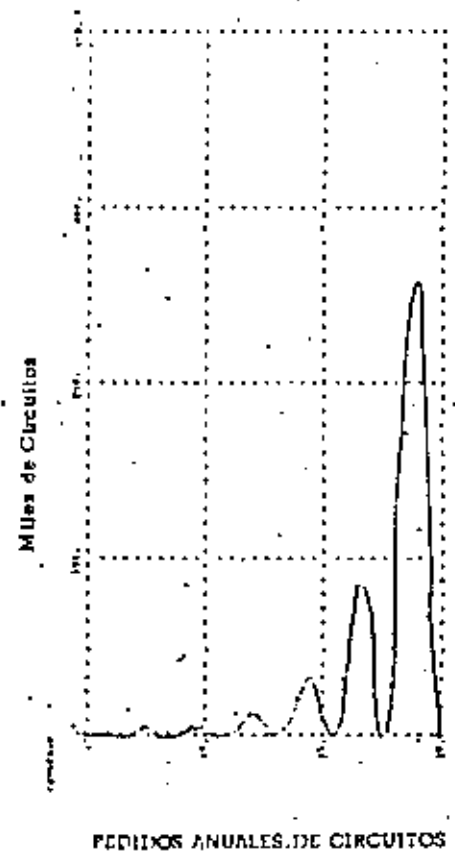
⑨
24

Este comportamiento es causado por dos características importantes de la política de adquisición de circuitos:

- (1) - Pronóstico de tráfico basado en conferencias cursadas, esto causa la caída de la satisfacción de la demanda ya que bajo condiciones de restricción de oferta el pronóstico de tráfico subestima la demanda real conduciendo a una instalación insuficiente de circuitos generando congestión en el sistema lo cual reduce el tráfico cursado y consecuentemente el pronóstico aún más - congestión.
- (2) - Estructura básica de la política de adquisición basada en la fórmula general de ajuste proporcional de las discrepancias entre la capacidad instalada y el pronóstico de tráfico.

$$\boxed{\text{PEDIDOS DE CIRCUITOS}} = \boxed{\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS INSTALADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCION}}$$

Esto causa oscilaciones no solamente en la satisfacción de la demanda sino también en los pedidos anuales de circuitos como puede observarse en la siguiente gráfica:



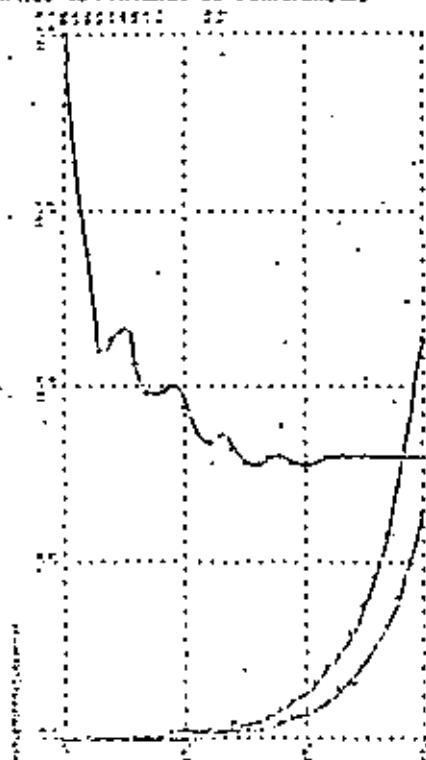
Dado que el deterioro de la calidad de servicio en el sistema es causado principalmente por los efectos que sobre la capacidad de la planta tiene la política de adquisición se introdujeron cambios en su estructura con el propósito de incrementar la satisfacción de la demanda:

- Adecuación de los pedidos de circuitos a la tendencia general de la demanda. Esto se logra mediante el aumento de los pedidos en una cantidad de circuitos equivalente al crecimiento anual promedio del tráfico:

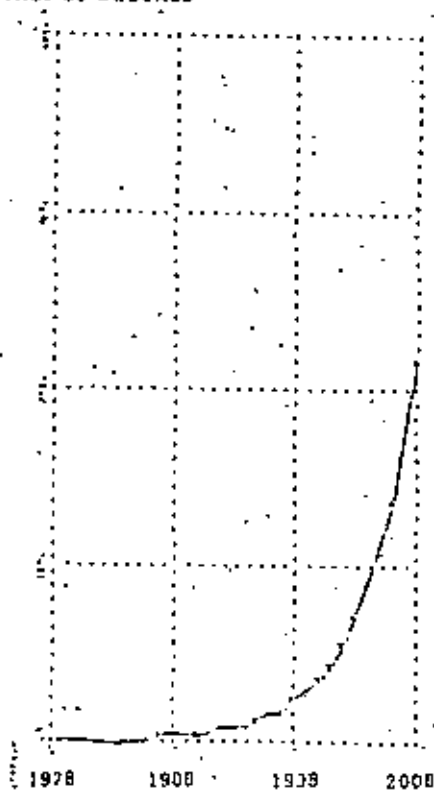
$$[\text{PEDIDOS DE CIRCUITOS}] = [\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}] - [\text{CIRCUITOS INSTALADOS}] - [\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCIÓN}] + [\text{CIRCUITOS EQUIVALENTES AL CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL TRÁFICO}]$$

Esto produce un patrón estable de pedidos y elimina las oscilaciones de la satisfacción de la demanda y por consiguiente del sistema como puede observarse en las gráficas que se presentan a continuación. Sin embargo, la caída de la satisfacción de la demanda - aunque presentándose debido a que la política no incluye ningún factor, la compensación que tome en cuenta la subestimación de la demanda real por el pronóstico de tráfico -- cursado.

Miles de Millones de Conferencias



Miles de Circuitos



Demanda de Conferencias (D)
 Conferencias Completadas (C)
 Satisfacción de la Demanda (S)

Pedidos Anuales de Circuitos

(11)

Introducción de un factor de seguridad variable dependiente del nivel de calidad de servicio. Esto tiene por objeto adecuar los pedidos de circuitos a la demanda de acuerdo a una variable susceptible de ser medida ya que la estimación de la demanda real siempre involucra errores significativos. El factor de seguridad propuesto es una función del nivel de cancelación:

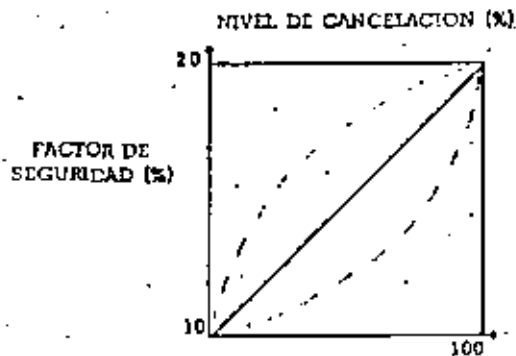
$$\boxed{\text{FACTOR DE SEGURIDAD}} = f \left(\boxed{\text{NIVEL DE CANCELACION}} \right)$$

donde:

$$\boxed{\text{NIVEL DE CANCELACION}} = \frac{\boxed{\text{LLAMADAS TOTALES}} - \boxed{\text{CONFERENCIAS COMPLETADAS}}}{\boxed{\text{LLAMADAS TOTALES}}}$$

28

La forma de la función usada para el factor de seguridad en esta prueba fué:



Sin embargo, es factible probar con el modelo otras formas de respuesta a la cancelación tales como los representados por las líneas punteadas.

La estructura propuesta para la política de adquisición es por lo tanto:

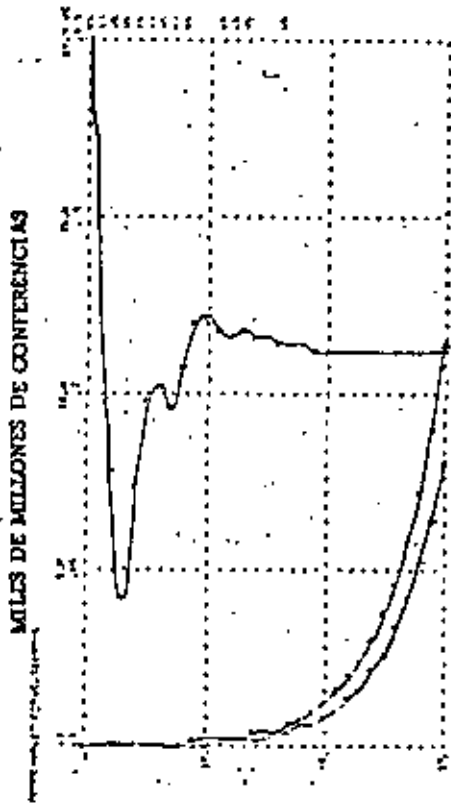
$$\boxed{\text{PEDIDO DE CIRCUITOS}} = \boxed{\text{FACTOR DE SEGURIDAD}} \times \boxed{\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}} = \boxed{\text{CIRCUITOS INSTALADOS}} + \boxed{\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCION}} + \boxed{\text{CIRCUITOS EQUIVALENTES AL CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL TRAFICO}}$$

29

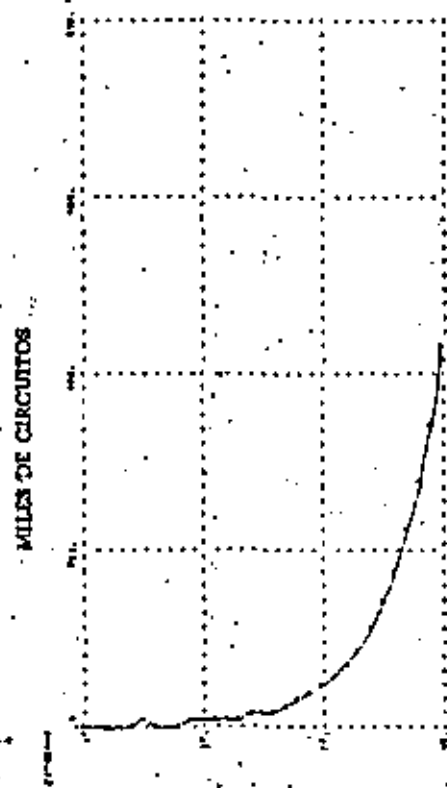
Como puede observarse en las gráficas que se presentan a continuación, el uso de esta política mantiene estable el patrón de pedidos anuales de circuitos y mejora considerablemente la satisfacción de la demanda a largo plazo. La caída en el nivel de satisfacción en los tres primeros años (1978-81) de período se deba a los programas de expansión ya comprometidos y por lo tanto no son susceptibles de modificarse.

36

POLITICA PROPUESTA



Demanda de Conferencias (D)
 Conferencias Completadas (C)
 Satisfacción de la Demanda (S)



Pedidos Anuales de Circuitos

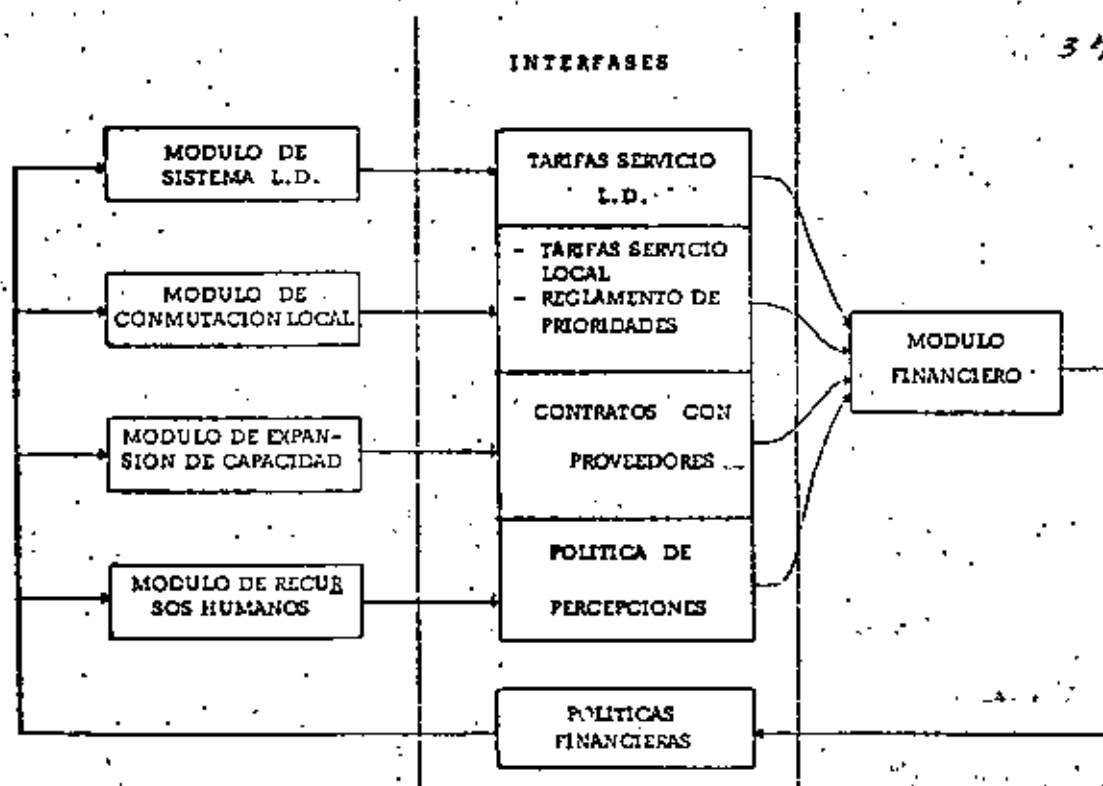
37

6.- ENSAMBLE Y VALIDACION DEL
 MODELO CORPORATIVO.

6.1.- ENSAMBLE.

Una vez que los módulos de cada una de las áreas funcionales fueron probados y validados independientemente se procedió a ensamblar el modelo corporativo mediante el uso de interfaces que traducen las unidades físicas generadas por los módulos de: Sistema L.D., Conmutación Local, Expansión de Capacidad y Recursos Humanos a unidades monetarias usadas en el módulo financiero así mismo se desarrolló una interfase que simula la retroalimentación financiera a los procesos de toma de decisiones representadas en los otros módulos.

En el diagrama a continuación se muestra esquemáticamente esta estructura:



6.2.- VALIDACION.

La validación del modelo completo se realizó comparando el comportamiento simulado de las principales variables del sistema con los datos históricos correspondientes al período 1950-80.

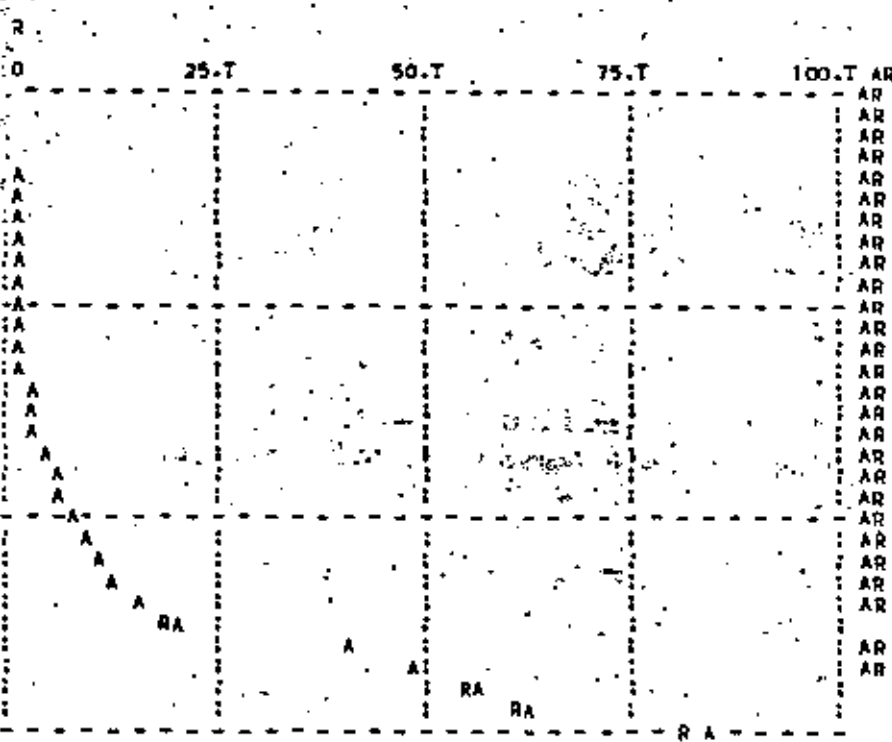
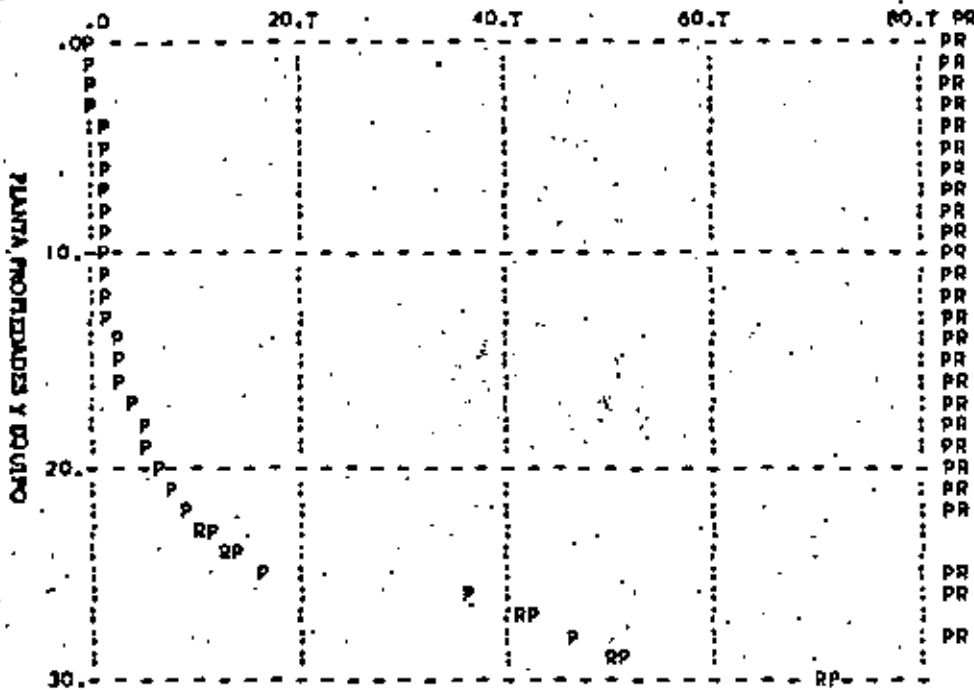
Debido a que este proceso ya se había llevado a cabo para los modelos independientes la calibración paramétrica del modelo corporativo se simplificó enormemente.

Como puede observarse de las gráficas comparativas que se presentan a continuación, los resultados demuestran que el modelo constituye una base sólida de experimentación para probar, analizar y evaluar políticas económicas.

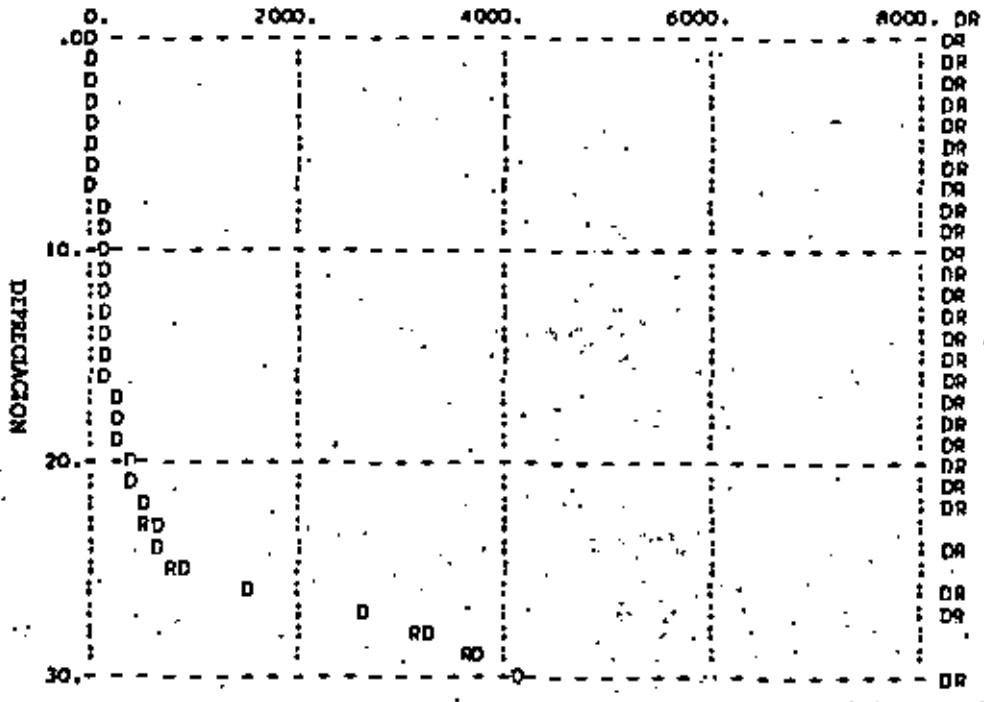
(14)

PPE-P,PPER-R

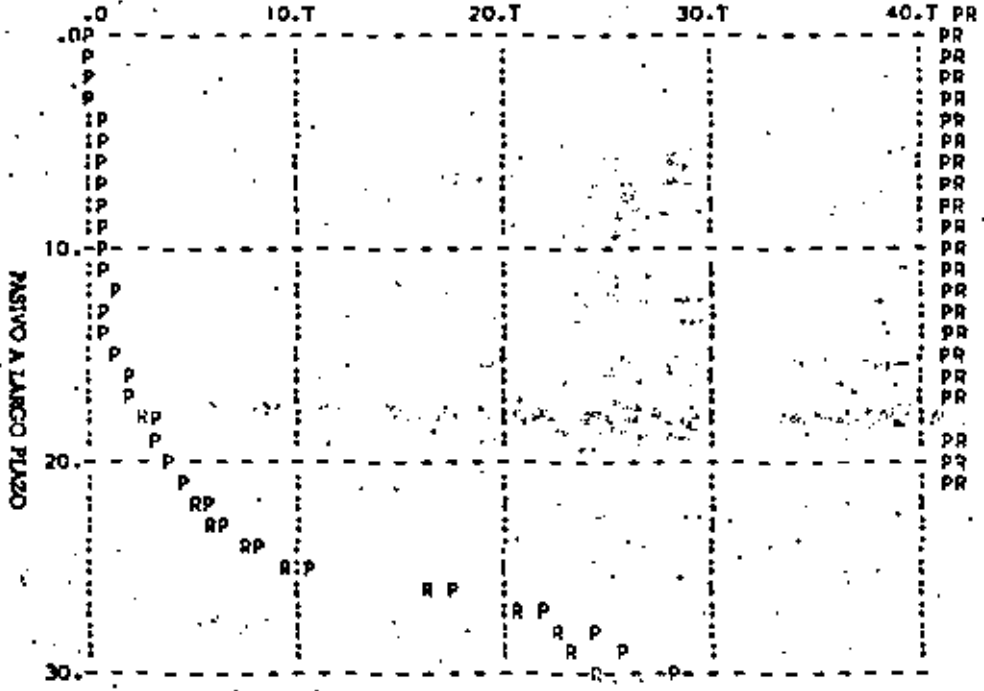
36



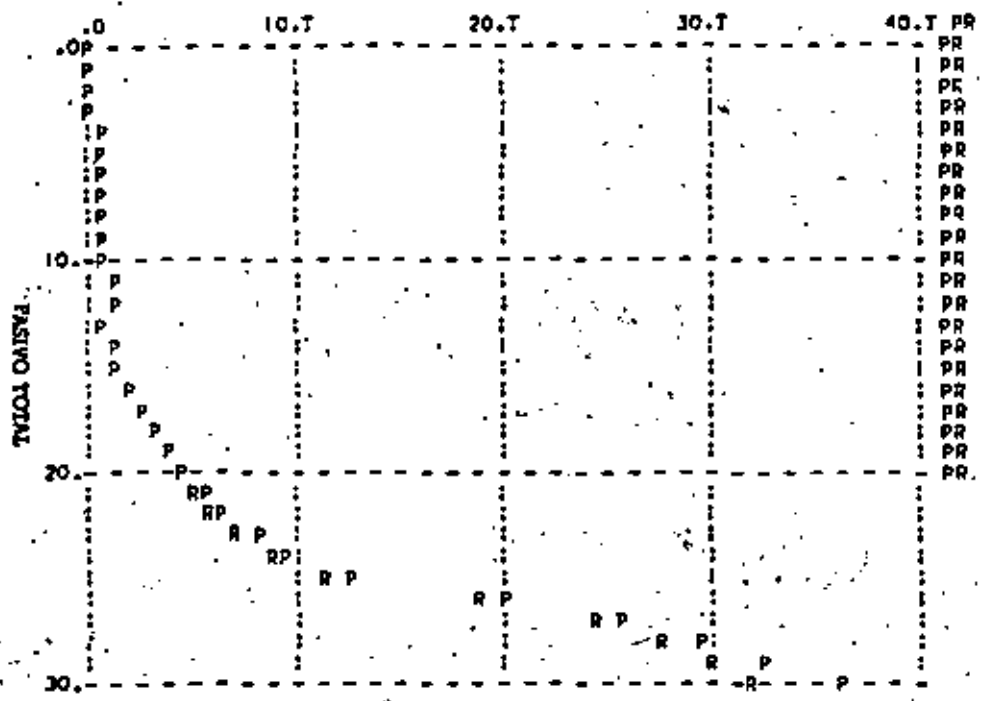
DEP=D,DEPR=R



PLP=P,PIPR=R

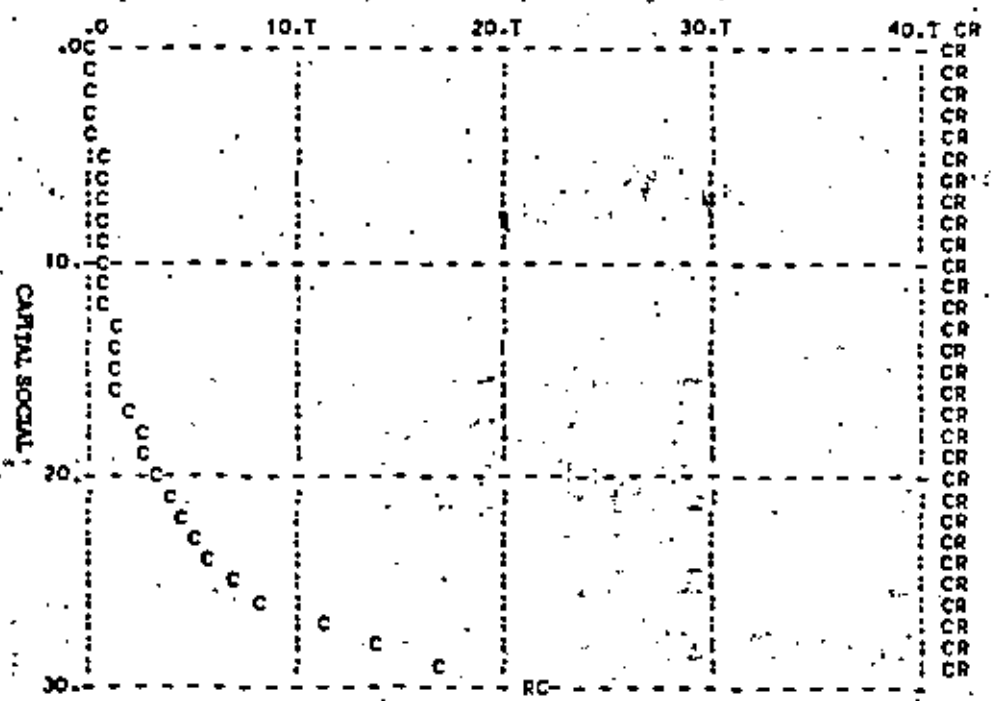


PT=P,PTD=R

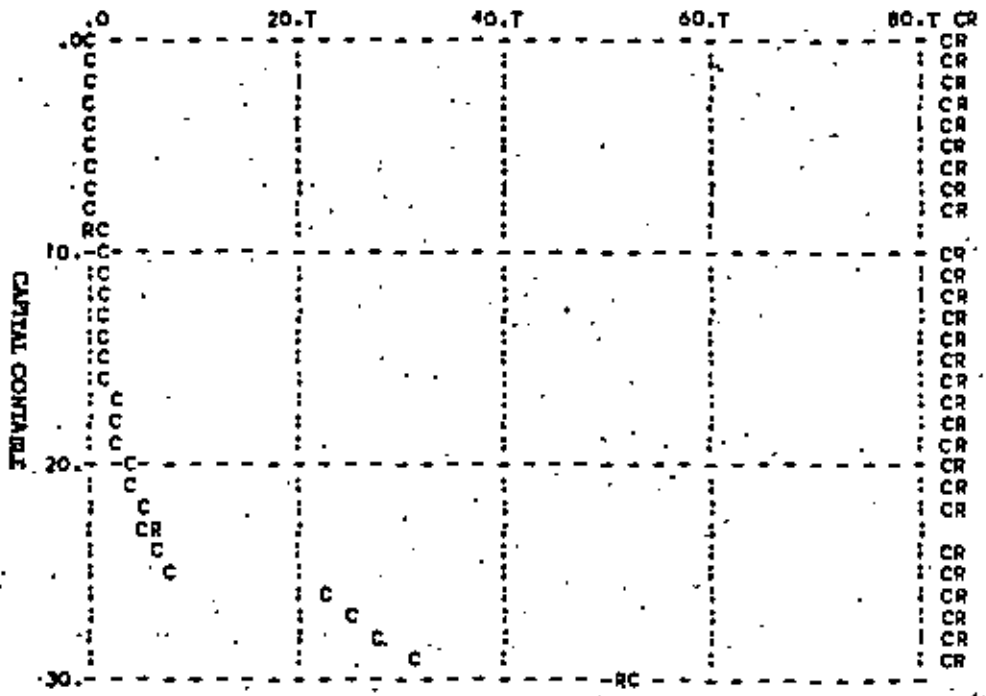


40

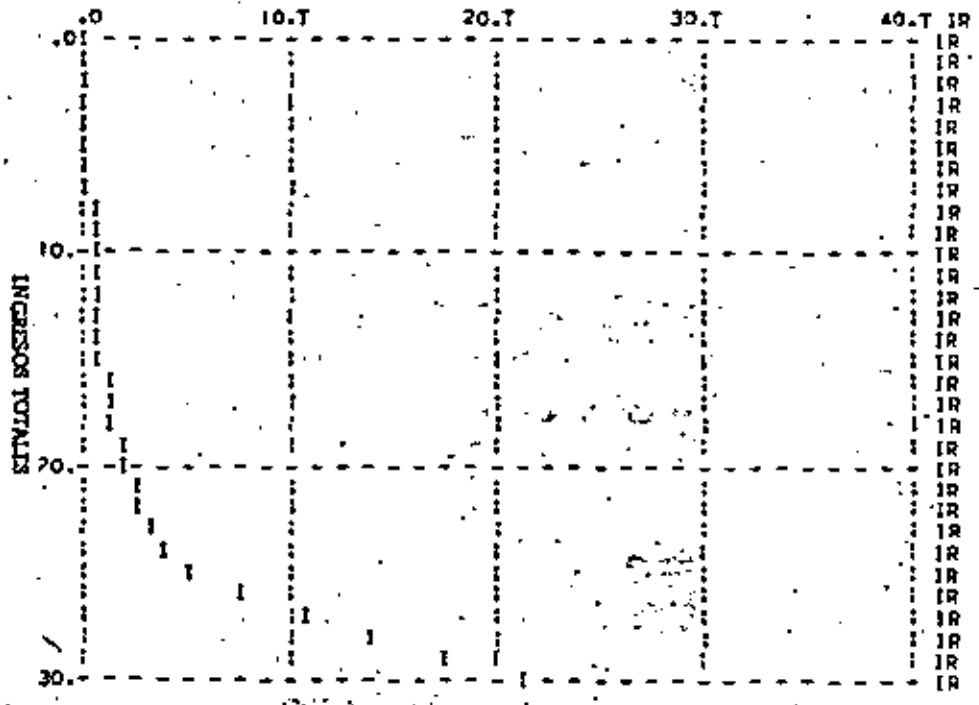
CS=C,CSR=R



41



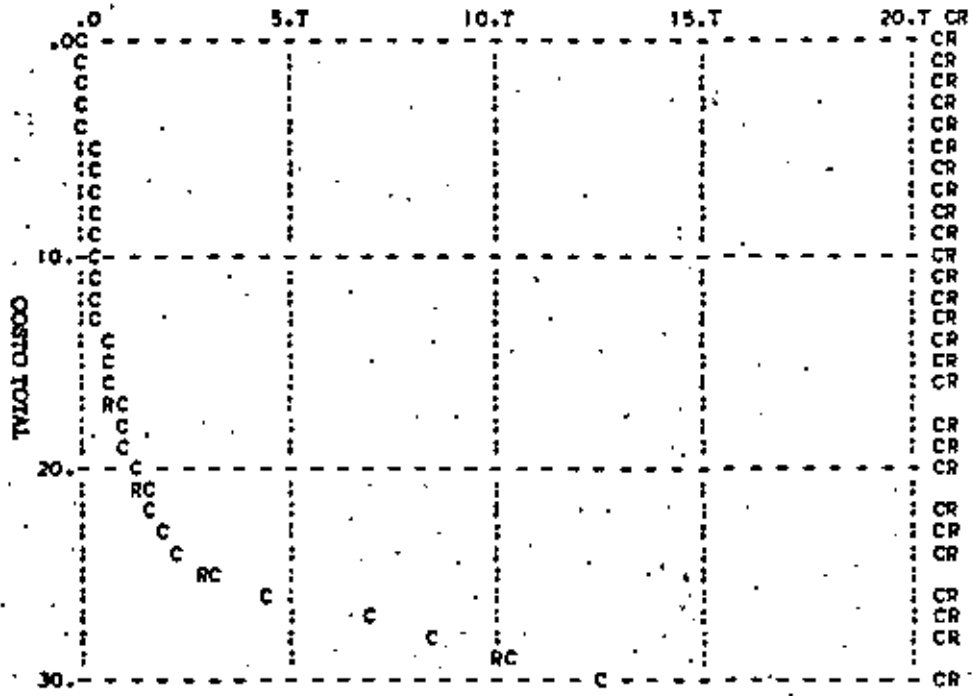
42



43

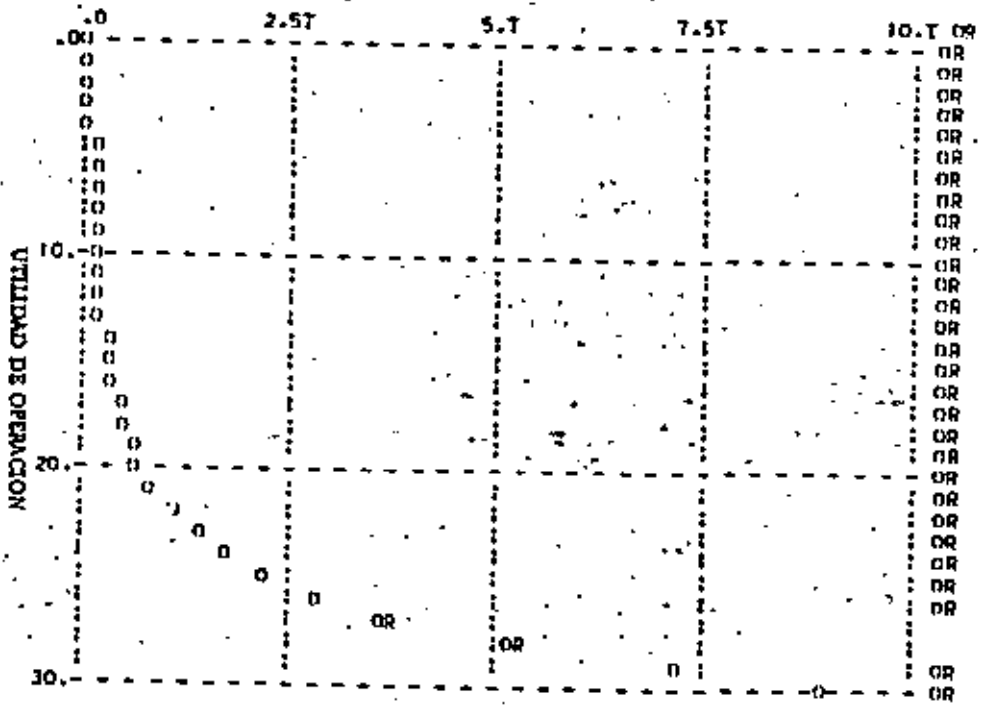
CT=C, CTR=R

18

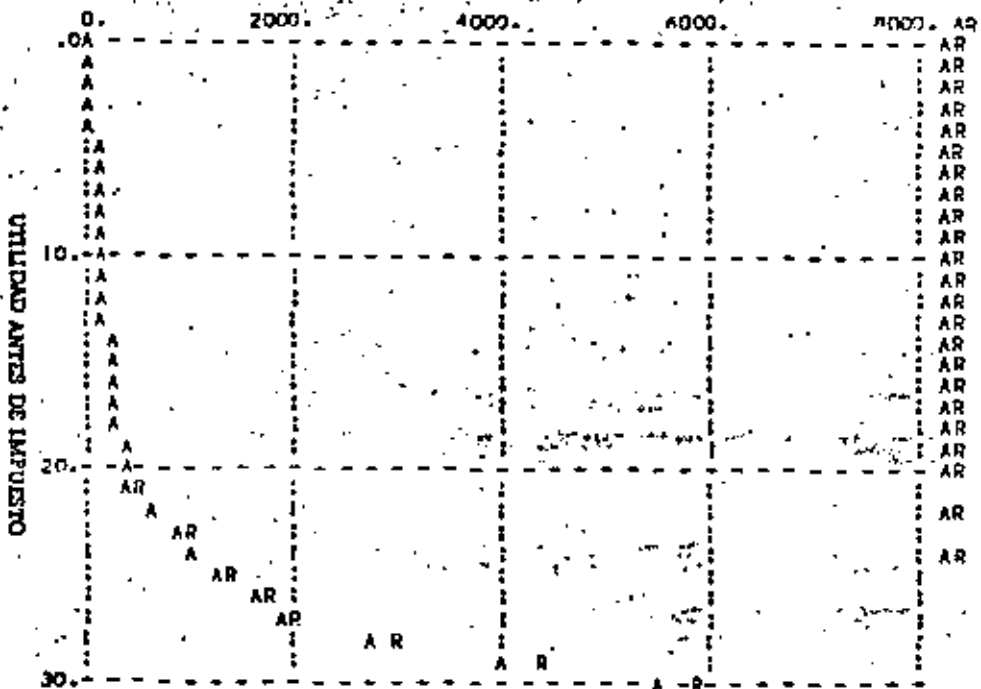
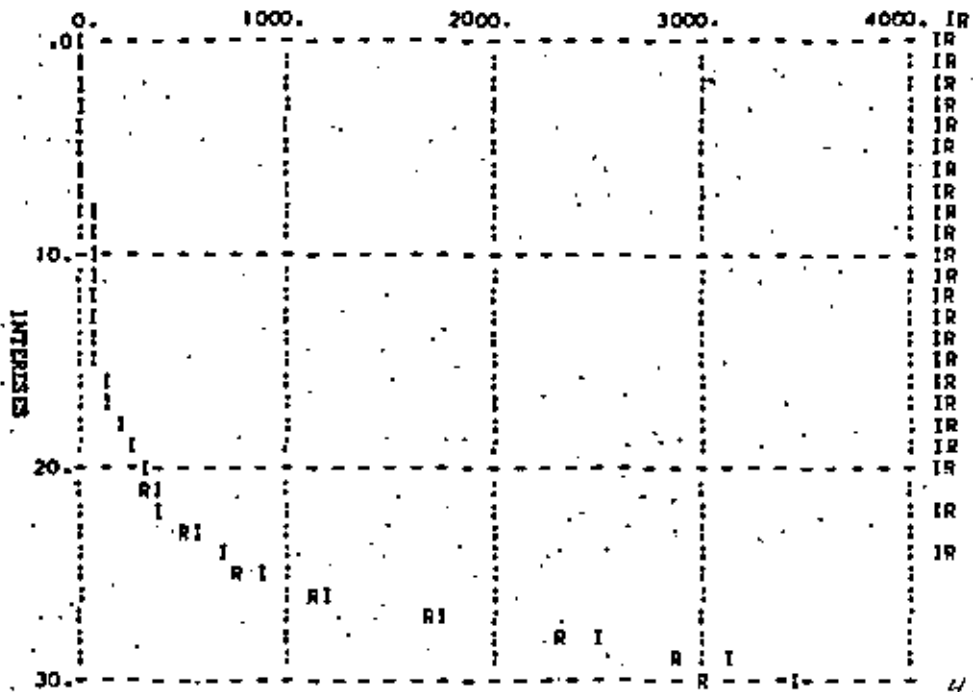


44

UDP=0, UOP=0

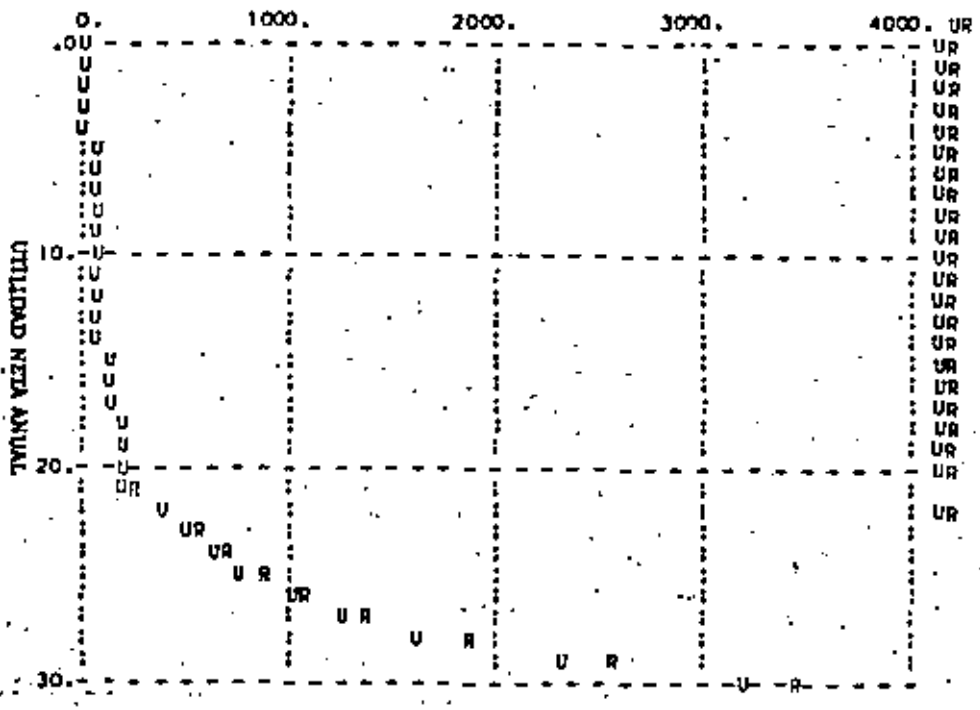


45



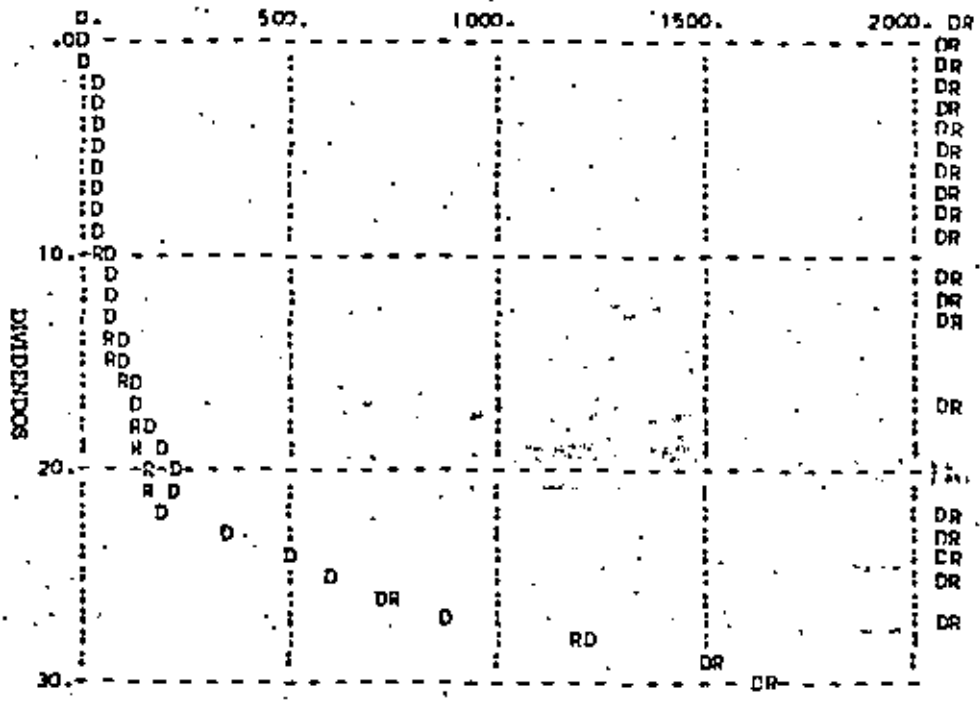
UNA=U,UNR=R

43



DIV=D,DIR=R

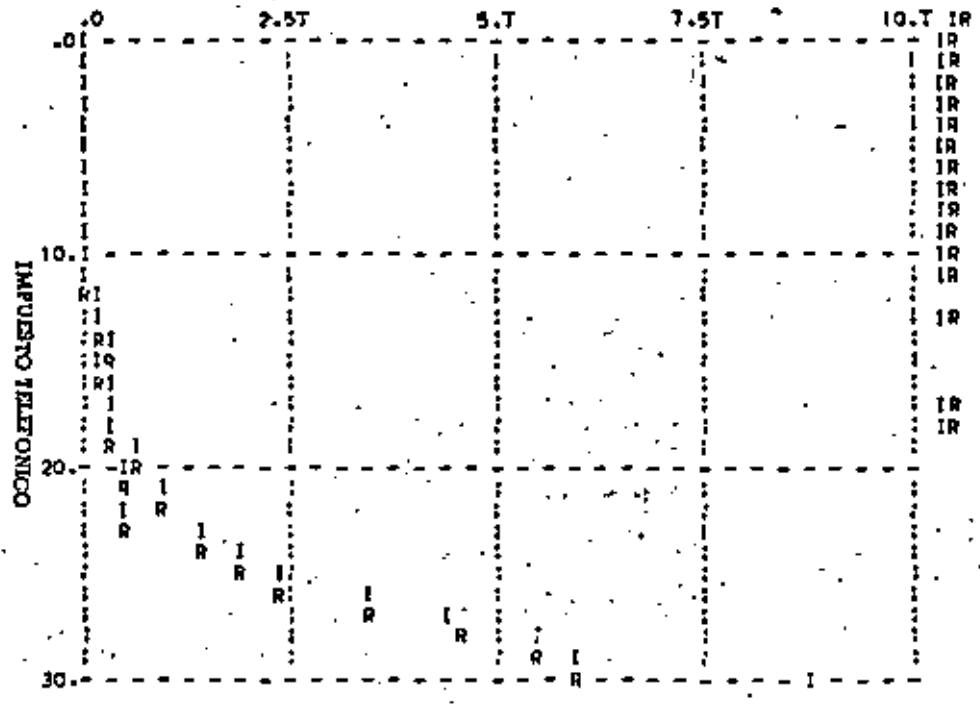
16



49

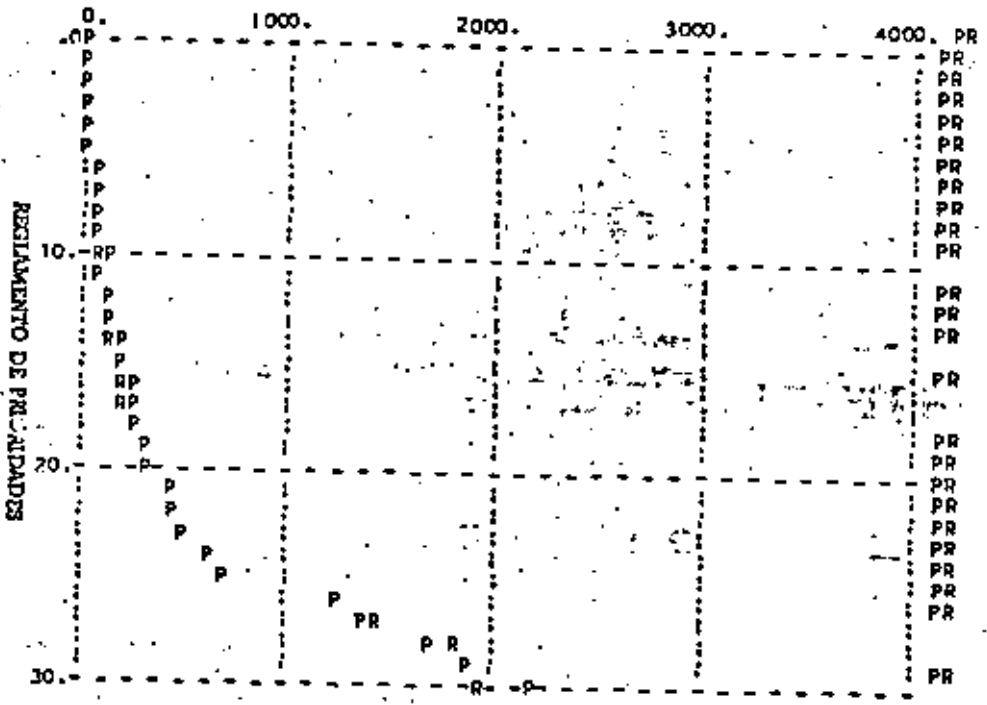
ITEL-I, ITEL-R

30

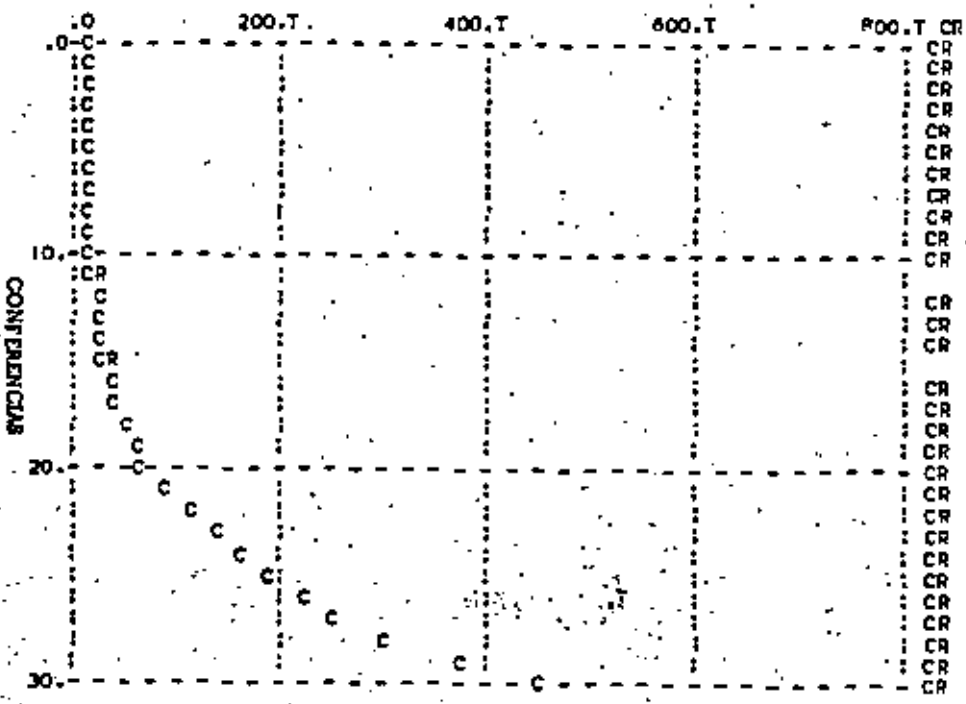


RPS=P, RPH=R

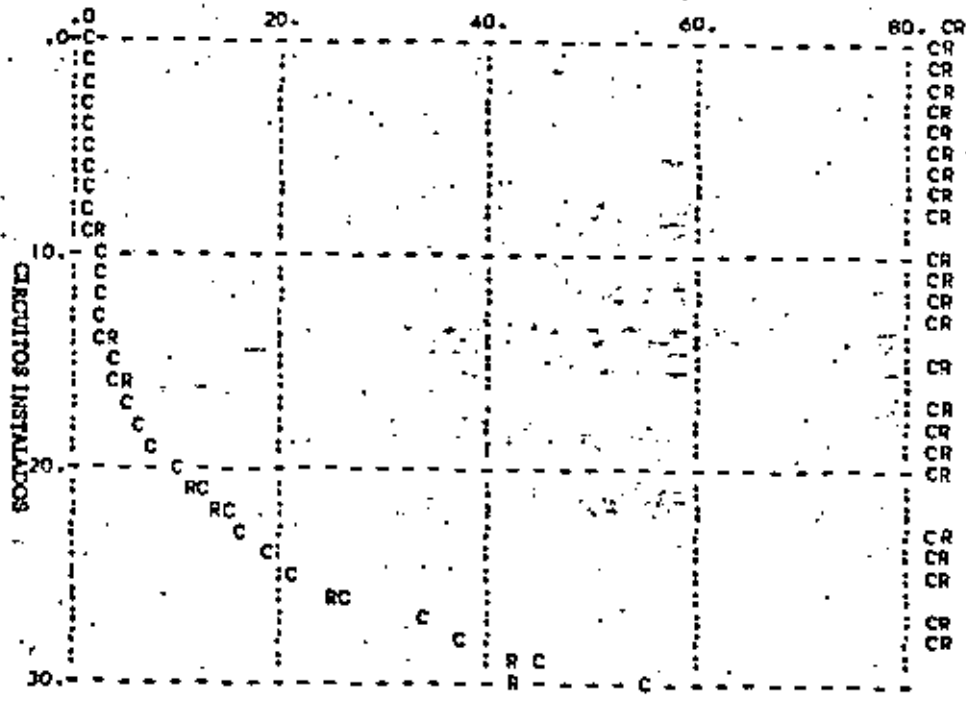
31

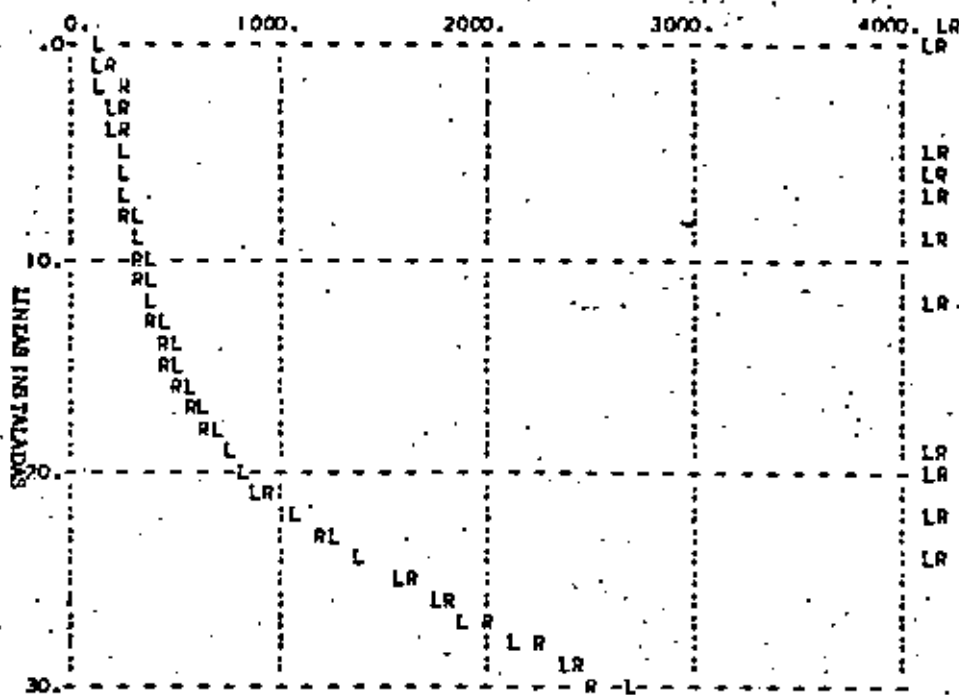


CONFEP=C,CONFRA=R



CINS=C,CIRC2=R





7.- GENERACION DE ESCENARIOS
FUTUROS

55

7.- GENERACION DE ESCENARIOS FUTUROS.

56

El Modelo Dinámico Corporativo de TELMEX se utilizó para simular diferentes escenarios futuros y analizar el desempeño de la empresa bajo esas condiciones. Los escenarios que se simularon fueron los siguientes:

- 1) Escenario SIMES: Este escenario implica continuar con las tendencias de la corrida aprobada del SIMES hasta el año 2000.
- 2) Penetración LADA acelerada: Este escenario implica incrementar el ritmo de penetración del servicio LADA de tal forma que se alcance un 95% en 1995.
- 3) Efecto de la Tecnología Digital: Este escenario simula los efectos de la penetración de la Tecnología Digital en: 1) Los costos de Mantenimiento; 2) La probabilidad de éxito de las Centrales Locales; 3) Los Ingresos por Servicio Local y 4) La productividad del personal.
- 4) Penetración LADA acelerada y efectos de la Tecnología Digital: El propósito de este escenario es analizar los efectos combinados de los dos escenarios anteriores.

A continuación se presentan los resultados de estos escenarios:

COMPARACION DE RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS

VARIABLE RELEVANTE	UNIDADES	1980	SIMES	EFFECTO DE LA TECNOLOGIA ACCELERADA Y TECNOLOGIA FICHA		
				PERFORMANCIA	TECNOLOGIA	ACCELERADA Y TECNOLOGIA FICHA
Activo Total	Miliones de \$	83,553	14'320,000	14'350,000	14'910,000	14'910,000
Pasivo Total	Miliones de \$	31,803	4'778,000	4'807,000	4'878,000	4'899,000
Capital Contable	Miliones de \$	31,758	9'541,000	9'543,000	9'834,000	9'831,000
Plant. Propiedades y Eq.	Miliones de \$	70,500	11'810,000	11'830,000	12'300,000	12'331,000
Pasivos a Largo Plazo	Miliones de \$	20,503	4'452,000	4'480,000	4'641,000	4'661,000
Capital Social	Miliones de \$	21,400	7'155,000	7'157,000	7'458,000	7'441,000
Ingresos Totales	Miliones de \$	21,323	9'034,000	9'049,000	9'471,000	9'499,000
Costos Totales	Miliones de \$	17,855	7'679,000	7'677,000	7'574,000	7'574,000
Utilidades Netas	Miliones de \$	3,468	1'355,000	1'372,000	1'897,000	1'925,000
Conferencias L.D.	Mil. de Conf.	450	15,030	15,033	15,378	15,371
Circuitos L.D.	Mil. de Ctos.	52	1,726	1,742	1,819	1,831
Conferencias/Circuitos		0.864	8.712	8.663	8.675	8.688
Instalaciones de la Dem.		.43	.20	.34	.41	.41
Líneas Instaladas	Mil. de Líneas	2.6	22.6	22.6	22.6	22.6
Conferencias/Líneas		179	1,448	1,448	1,448	1,448
Líneas/Circuito		50	13.09	12.97	13.42	13.34
Personal Total		27,558	143,400	143,250	143,000	143,010
Personal/1000 Líneas		10.6	6.35	6.30	6.34	6.34

67

Como puede observarse los resultados de todo escenario muestran un crecimiento considerable durante el período 1980-2000. En el Escenario SIMES, los activos totales de Telmex crecieron de 83,553 millones de pesos en 1980 a 14'320,000 millones de pesos en 2000, es decir 171 veces. Los activos fijos pasaron de 70,500 millones de pesos a 11'810.000 millones de pesos durante el mismo período ó sea 167 veces. Los pasivos a Largo Plazo crecieron 217 veces pasando de 20,503 millones de pesos en 1980 a 4'453,000 millones de pesos en 2000. Los ingresos totales se incrementaron 424 veces pasando de 21,323 millones de pesos a 9'034,000 millones de pesos en el período considerado y por consiguiente las utilidades netas crecen de 3,468 millones de pesos a 1'355,000 millones de pesos durante el mismo período.

Por otra parte, las conferencias curadas crecen de 450 millones en 1980 a 15,030 millones en 2000 ó sea 33 veces. El personal total aumenta 5.2 veces de 27,558 en 1980 a 143,400 en 2000. Los circuitos pasan de 52,000 en 1980 a 1'726,000 en 2000 y las líneas de 2.6 millones a 22.6 millones durante los mismos años. El personal por 1000 líneas baja de 10.6 a 6.35 en el período analizado.

56

1) Se acelera la penetración del servicio LADA:

(25)

- a) Los activos fijos aumentan ya que se requiere más equipo.
- b) Los ingresos totales aumentan debido al mayor número de conferencias que se cursan aunque el incremento no es significativo.
- c) Los costos totales también aumentan a causa de los mayores gastos de mantenimiento y depreciación.
- d) El personal total solo alcanza 81,260 empleados en 2000 debido a que no se requiere el mismo número de operadoras en este caso.

2) Los efectos de la tecnología digital son:

- a) Mayores activos fijos y pasivos a largo plazo que en el escenario anterior, dado que el costo de la tecnología digital es mayor.
- b) Los ingresos y los costos también son mayores ya que se generan más ingresos por nuevos servicios locales y L.D. y se tienen mayores costos de mantenimiento y depreciación.
- c) Se cursan más conferencias L.D. debido a que aumenta la probabilidad de éxito en las centrales locales.
- d) El personal total alcanza 132,000 empleados debido a que no se tiene el efecto de la penetración LADA.

3) Los efectos cambiados de la penetración LADA acelerada y la tecnología digital son:

60

- a) Activos fijos y pasivos a largo plazo mayores aún debido a mayores inversiones y financiamientos.
- b) Ingresos totales y costos totales también mayores ya que aumentan tanto los ingresos L.D. como los de servicio local.
- c) Se cursan aún más conferencias que los escenarios anteriores debido a mayor probabilidad de éxito en centrales locales y menores tiempos de expedición.
- d) El personal total solo llega a 77,010 empleados ya que no solo aumenta la eficiencia del personal de mantenimiento con la nueva tecnología sino que la penetración LADA disminuye los requerimientos de operadoras.

8.- CONCLUSIONES

61

8.- CONCLUSIONES.

El uso de la metodología de Dinámica de Sistemas para el desarrollo del modelo corporativo de TELMEX ha permitido identificar áreas de sistema telefónico en las que existen problemas que se pueden agravar seriamente en el futuro cercano y en las que las soluciones que parecen más obvias no solo no resuelven el problema sino que posiblemente sean la causa de su agravamiento. Un caso muy ilustrativo de esto es la introducción del servicio LADA que se esperaba generaría más tráfico de Larga Distancia, sin embargo, al tener los usuarios mayor acceso a la red de Larga Distancia, la congestión se trasladó de las opocoras a los circuitos.

62

Este problema se resuelve simulando el comportamiento del tráfico L.D. y diseñando la política de adquisición de circuitos mencionada anteriormente. Una versión modificada de esta política ya está siendo utilizada en TELMEX.

9.- BIBLIOGRAFIA

9.- BIBLIOGRAFIA.

(1) ARACIL, J.
Introducción a la Dinámica de Sistemas
 Alianza Editorial, S. A. (1978)

(2) COYLE, R.G.
Management System Dynamics
 John Miley & Sons Ltd. (1977)

(3) FORRESTER, J.W.
Industrial Dynamics
 The MIT Press (1972)

(4) LIV, K.S.
 "Direct-Distance-Dialing Call Completion and Customer Retrial Behaviour", Bell Laboratories, Inq., Holmdel New Jersey, U.S.A.

(5) ROBERTS, J.W.
 "Recent Observations of Subscriber Behaviour" Centre National d' Etudes des Telecommunications, Issyles Mouligneux, France.

(6) ZEPEDA, E.A.
 "The Capacity Acquisition Process In U.K. Electricity Supply Industry - A System Dynamics Study. PHD Thesis, University of Bradford, Yorks, England (1978)



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

CURSO: DINAMICA DE SISTEMAS

CURSO DE SUPERACION ACADEMICA

DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

TEMA: FORMULACION DEL MODELO

ING.

DEL 6 AL 22 DE OCTUBRE 1982

FORMULACION DEL MODELO.

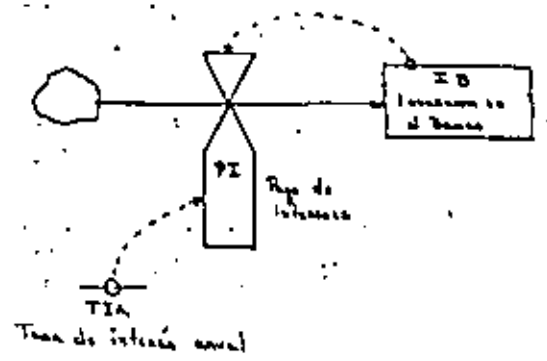
La formulación es el proceso de trasladar la estructura del modelo en ecuaciones. El punto de vista conceptual, informal, se traduce a una representación cuantitativa y formal. Se verá primero la formulación de las ecuaciones de tasa, segundo las ecuaciones auxiliares incluyéndose el arte de desarrollar una función tabla, tercero las ecuaciones de niveles y finalmente se formulará el modelo del ejemplo del proyecto visto en sesiones anteriores.

FORMULACION DE ECUACIONES DE TASA.

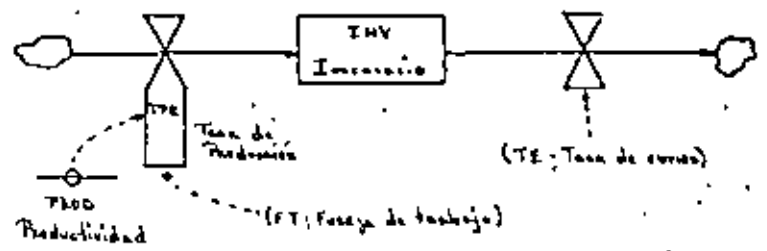
Se verán ciertas estructuras comunes, no para tomarlas como receta, sino para evitar el que se tenga que reinventar la rueda.

- CONST * NIVEL.K
- NIVEL.K./VIDA
- (META-NIVEL.K)/TIDEA
- AUX.K*NIVEL.K y NIVEL.K./AUX.K.
- NORN.K + EPECT.K
- NORN.K*EPECT.K

Se presentan dos ejemplos donde es adecuado formular una tasa como CONST*NIVEL.K. Se considera apropiada esta formulación cuando se obtiene una contestación afirmativa a la pregunta ¿si el nivel aumenta, aumenta proporcionalmente la tasa?

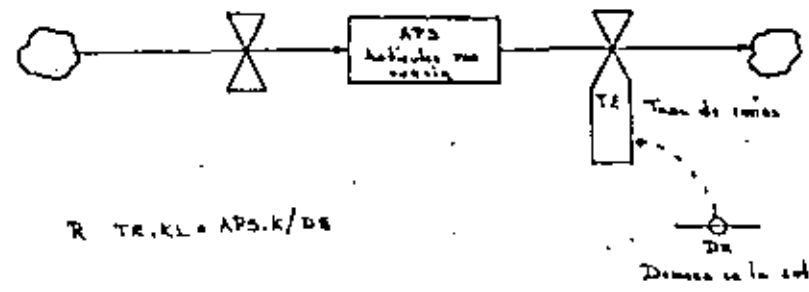


R PI.KL = TIA * IB.K



R TPR.KL = (Prod)(FT.K)

Se escriben a continuación tres ejemplos donde es adecuado formular la tasa como NIVEL.K./VIDA.

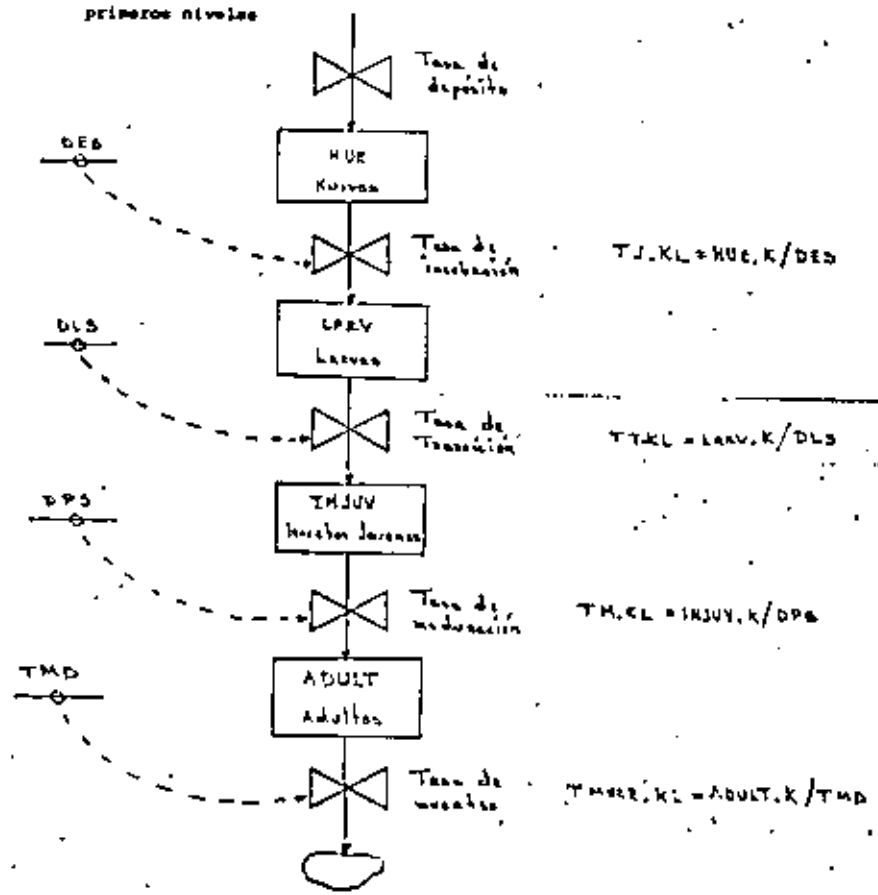


R TR.KL = APS.K/DE

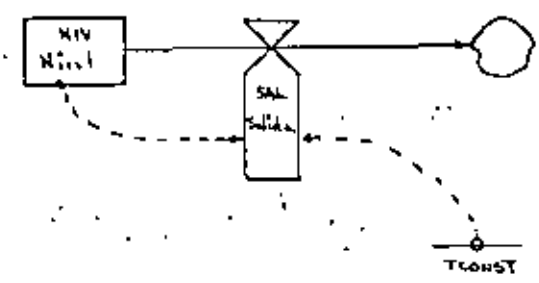
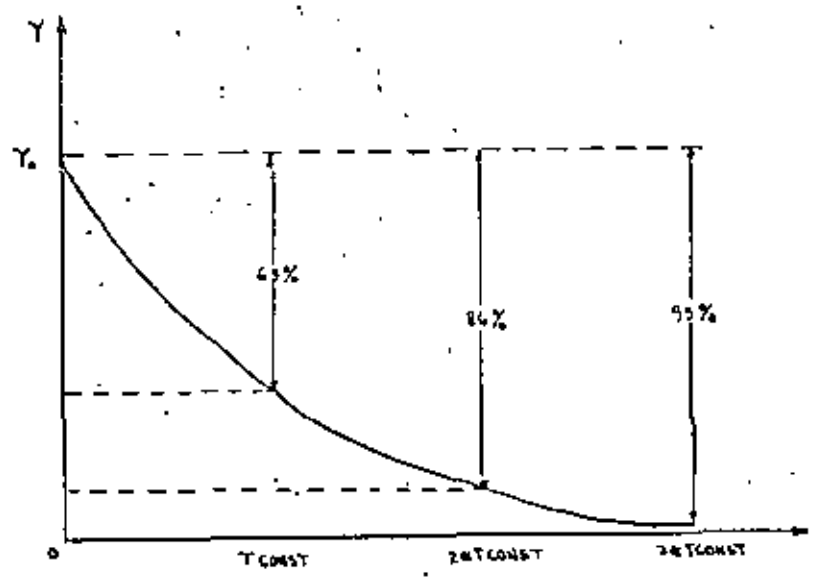
DE es el tiempo promedio en que un artículo puede permanecer en APS antes de que se envíe.

El siguiente ejemplo muestra una propiedad muy importante para las ecuaciones de tasa de la forma NIVEL.K/VIDA, observe la gráfica.

En la figura siguiente se presentan las etapas del desarrollo de un insecto, donde por simplicidad se han omitido las tasas de muerte en los 3 primeros niveles

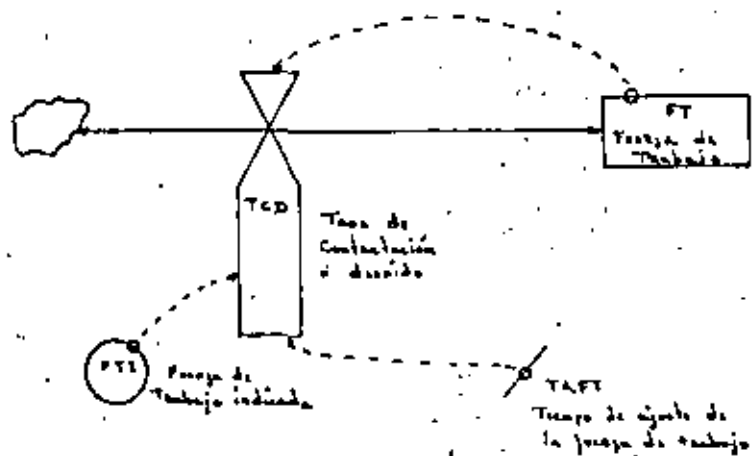


DES, DLS, DPS y TMD representan el tiempo promedio que permanece un elemento en el nivel antes de salir.



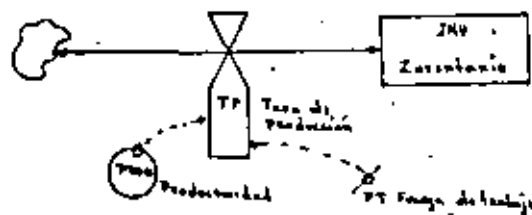
Tiempo Constante

El ejemplo siguiente ilustra el uso de (META-NIVEL.K)/TIDEA'

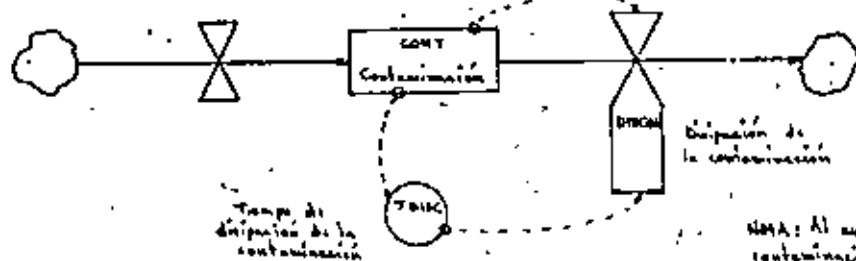


$$R \quad TCD.KL = (FTL.K - FT.K) / TAFT$$

Los dos ejemplos siguientes muestran el empleo de AUX.K.*NIVEL.K y NIVEL.K/AUX.K respectivamente.



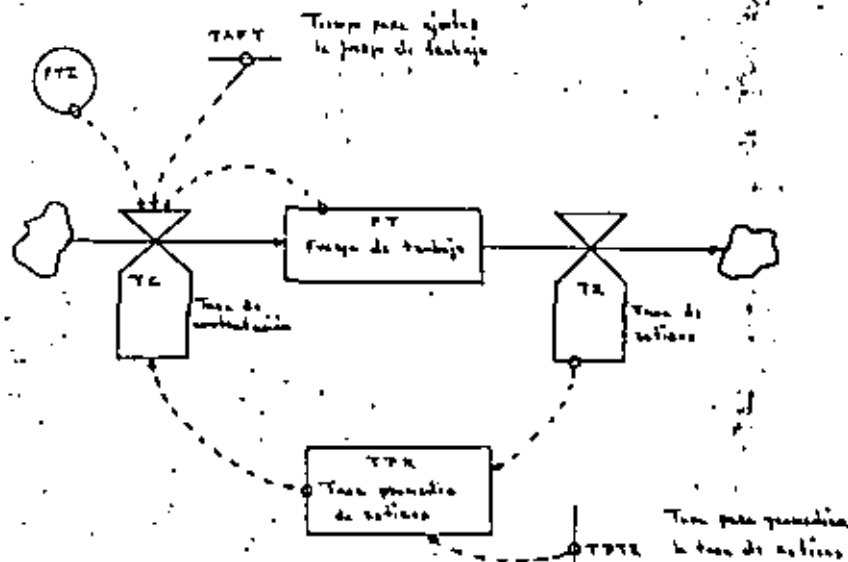
$$R \quad TP.L = TPM.K * FT.K$$



$$R \quad DISCO.KL = CONT.K / TDISC.K$$

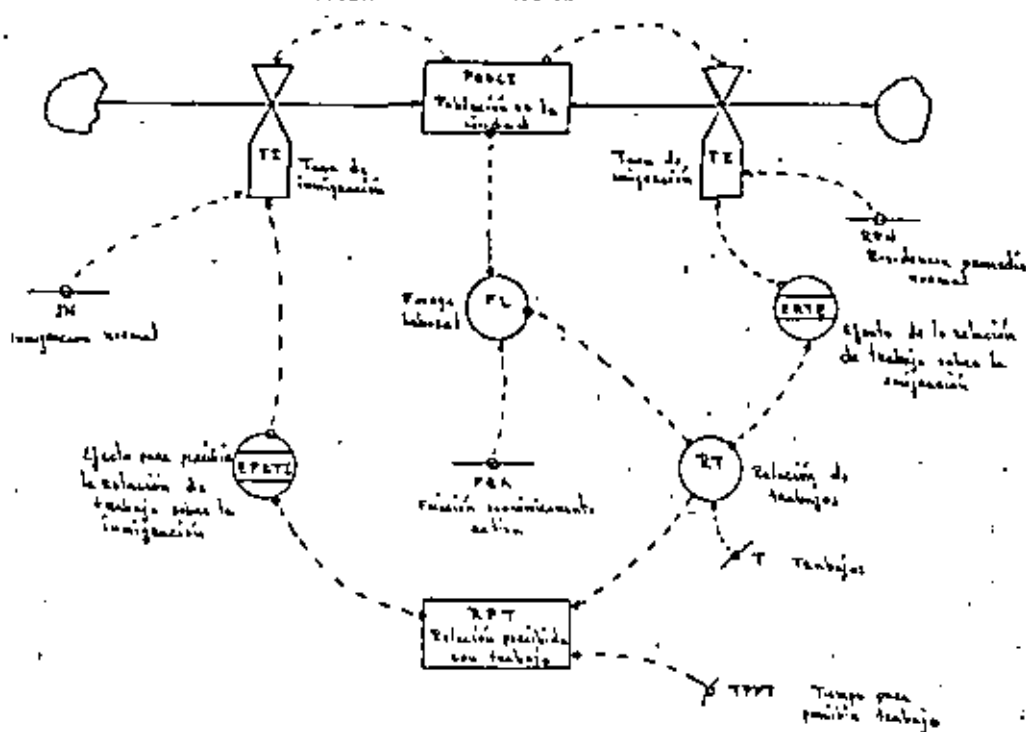
NOTA: Al aumentar la contaminación aumenta DISCO

NOTA.K. * EPCV.K se ilustra en:



$$R \quad TC.KL = TPR.K * (FTL.K - FT.K) / TAFT$$

FORMULACION DE ECUACIONES AUXILIARES



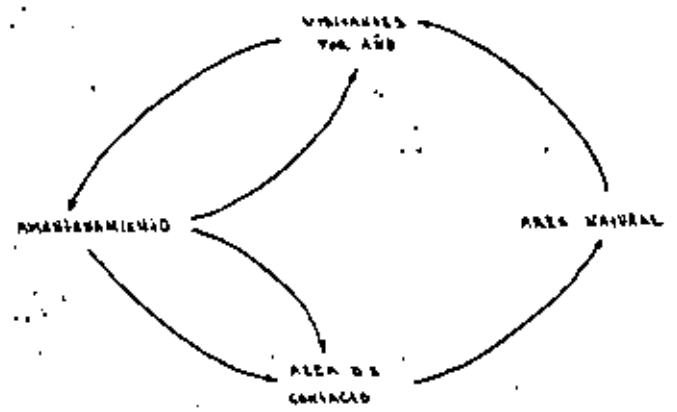
$$R \quad TI.KL = (IN) + (POBCT.K) (EPRII)$$

$$R \quad TE.KL = (POBCT.K / RPN) (ERIE)$$

FORMULACION DE ECUACIONES AUXILIARES

Estas representan información dentro del sistema manejando ésta dentro del modelo como una expresión algebraica. Para desarrollar una ecuación auxiliar deberemos pensar en la información como una cantidad, identificar sus unidades o bien, identificar las unidades de las variables que convergen para determinarla.

Ejemplo:



De acuerdo al diagrama causal, es natural pensar en la variable -amontonamiento como la medida de la densidad de visitantes. Se presenta enseguida su ecuación definida como auxiliar.

$$A \quad DENSU.K = VPA.K / AC.K$$

$$DENSU = \text{DENSIDAD DE VISITANTES (PERS/ARO/HA)}$$

$$VPA = \text{VISITANTES POR AÑO (PERS/ARO)}$$

$$AC = \text{AREA DE CONTACTO (HA)}$$

Otra variable auxiliar puede ser el área natural y su cálculo tiene un carácter diferente. Aparentemente sólo es función del área de contacto, esto nos sugiere una formulación aditiva, para ello se contemplaron las unidades involucradas.

$$A \quad AN.K = AREA - AC.K$$

$$AN = \text{AREA NATURAL (HA)}$$

$$AREA = \text{AREA TOTAL (HA)}$$

$$AC = \text{AREA DE CONTACTO (HA)}$$

Las funciones tabla son otra forma de formular las ecuaciones auxiliares, para explicar su formulación daremos primero una guía y posteriormente un ejemplo.

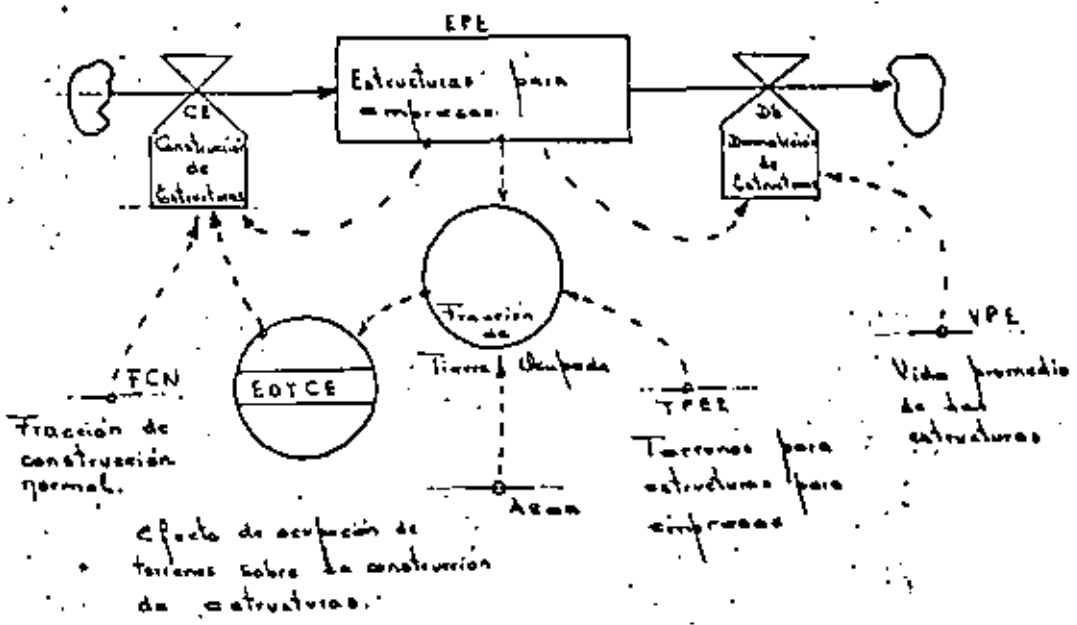
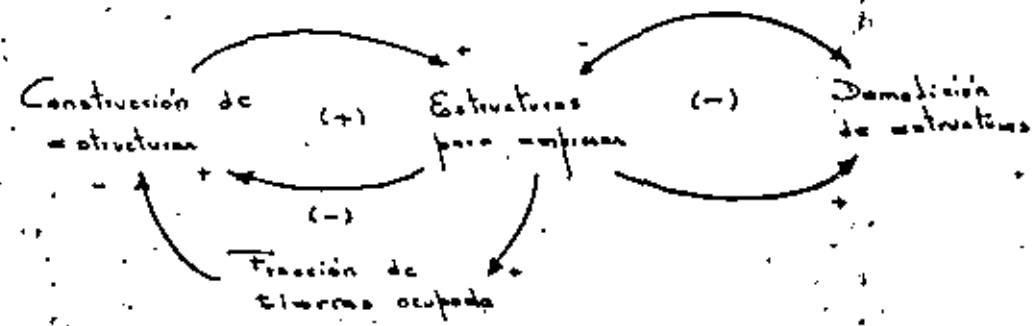
GUIA PARA FORMULAR FUNCIONES TABLA

- 1.- Existen cuatro consideraciones potenciales en la formulación de funciones tabla; pendiente, forma, uno o más puntos específicos y una o más líneas de referencia.
- 2.- Define la pendiente de la tabla conforme al signo del efecto que representa; una línea negativa se representa por una función tabla con pendiente negativa.
- 3.- Seleccione la forma de la curva, poniendo atención a su pendiente y curvatura en ambos extremos y en la mitad de la tabla. El aplastamiento de la función tabla corresponde a un efecto de saturación. Mientras que una forma espigada representa el fortalecimiento del efecto.
- 4.- Si es posible, normalice o referencie la tabla formulándola como una función de la razón de entrada con respecto a su valor de referencia. El punto de referencia está entonces claramente indicado para aquella coordenada de X con valor de 1 (uno).
- 5.- Determine las coordenadas de la mayoría de los siguientes puntos;
 - donde el valor de y en la tabla es 0
 - donde el valor de y en la tabla es 1
 - donde el valor de X en la tabla es 0
 - donde el valor de X en la tabla es 1
 - los extremos de X e Y en la tabla.
- 6.- Para una tabla que se utilice como multiplicador, los puntos donde las Y son 1, la variable no tiene efecto. Para una tabla que suma a la formulación, el efecto, el valor 0 en la tabla, representa como si no existiera la tabla.

7.- Las líneas de referencia como $y = x$, $y = y_0$, $y = x_0$ pueden ser útiles para representar las condiciones ideales o deseadas, límites de saturación y otras referencias para la tabla.

Ejemplo:

Arte para formular una función tabla.

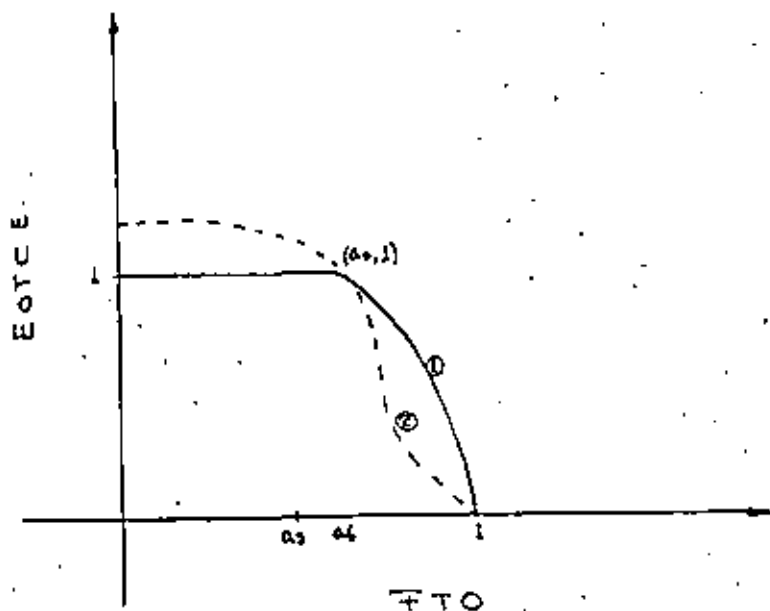


Siendo que ecuaciones

- L $EPE.K = EPE.J + (DT)(DE.JK - CE.JK)$
- R $CE.KL = (FCN)(EPE.K)(EOTCEK)$
- R $DE.KL = EPE.K/VPE$
- R $PTO.K = (EPE.K)(TPEZ)/AREA$

Para considerar el efecto de ocupación de los terrenos en la construcción de estructuras es necesario formular la tabla EOTCE. PTO varía de 0 (área sin personas) a 1 (ciudad totalmente construida), EOTCE debe ser 0 cuando PTO sea 1, también estamos interesados en el valor de PTO cuando EOTCE es 1. Esta es la condición normal de referencia, donde la tasa de construcción es FCN.

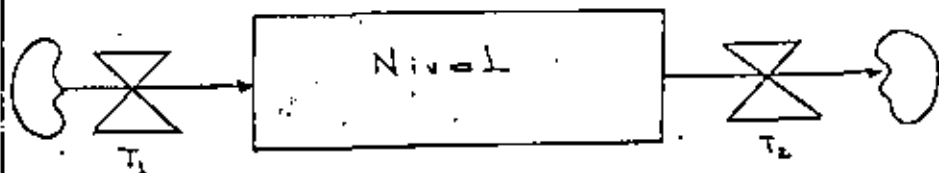
Existen otras dos consideraciones la pendiente de la tabla y su forma.



Se muestran en la figura dos posibles comportamientos. La pendiente es negativa porque al construirse más, cada vez es más difícil encontrar terrenos (cuesta más, se dedica a otros usos, se somifica, etc).

FORMULACION DE ECUACIONES DE NIVEL

Sabemos que una variable de nivel es una acumulación sobre el tiempo, un almacenamiento de material, energía o información. Las tasas crecen o decrecen, el nivel se acumula y por lo tanto las ecuaciones DYNAMO para cualquier nivel tienen una forma predecible.



$$L \text{ NIVEL.K} = \text{NIVEL.J} + (DT)(T2.JK - T1.JK)$$

Cabe resaltar que no todas las acumulaciones son niveles.

Una sencilla manera de determinar los niveles potenciales dentro del sistema es la siguiente: imagine que el tiempo en el sistema se detiene. Las variables potenciales o ser niveles son aquellas que todavía existen y tienen un significado en la instantánea (fotografía)

La idea de detener el tiempo del modelo del sistema y tomar una fotografía instantánea nos hace pensar que existe una relación entre el tiempo de horizonte del modelo y el tiempo sobre el cual las diferentes variables cambian. Por ejemplo, un cambio muy lento nos sugiere que la variable es una constante, cabe hacer notar que el tiempo de referencia es el de la estructura del modelo, es decir, puede ser una acumulación muy lenta.

Por otro lado ya habíamos mencionado que también las variables auxiliares pueden tener acumulación. Para fijar cuáles variables serán auxiliares y cuáles niveles dentro del modelo, no siempre parecerá obvio, también deberemos, en algunos casos, contemplar el aspecto tiempo en la estructura del modelo, puede llegar a suceder que cierta variable sea más conveniente contemplarla como una auxiliar que como un nivel, tal sería el caso de aquellas variables que también tienen acumulación pero de manera más rápida respecto al tiempo de modelado.

FORMULACIÓN DE PARÁMETROS Y VALORES INICIALES.

Los parámetros dentro de modelos de dinámica de sistemas no requieren de mucha exactitud, esto lo detectaremos en la sesión de prueba del modelo. No se deben colocar parámetros sólo para ajustar unidades.

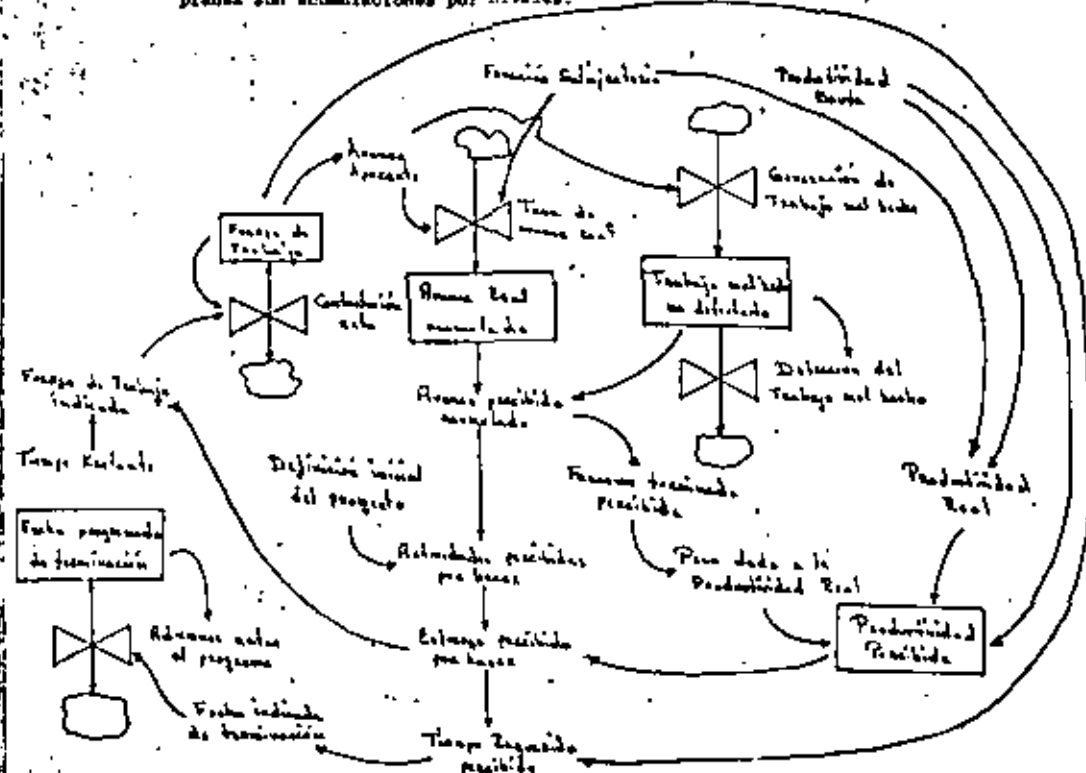
En general, los parámetros pueden estimarse de tres maneras: directamente por conocimiento del proceso, por datos o individuos relacionados con el modelo y por datos que abarcan todo el comportamiento del sistema. Parámetros que impliquen medida tienden a estimarse muy fácil pues se conocen directamente, el área de una ciudad, los habitantes de un país, etc. o bien pueden obtenerse los valores de los parámetros por simple consulta de la fuente apropiada: observación del mismo sistema real, datos, literatura o de personas. Para la tercera manera, habrá que tener cuidado en que los datos usados tengan el significado de las cantidades dentro del modelo. Terreno por vivienda en un modelo urbano es un ejemplo ingenioso, puesto que, terreno por vivienda es más que el terreno en el cual los edificios físicamente se encuentran; se incluyen en él la porción de terreno utilizada para la infraestructura requerida en una vivienda.

Para seleccionar los valores iniciales de los niveles en el modelo existen tres situaciones generales; el modelador puede decidir marcar una situación histórica, iniciar la simulación en el año 1970, o iniciar en equilibrio, esto se presenta cuando las tasas de entrada son iguales a las tasas de salida; o bien, en algún caso particular de crecimiento (o decrecimiento). Las ventajas de cada situación dependen, en sí, de propósitos del modelo. En la sesión de prueba del modelo retomaremos este punto.

Ejemplo:

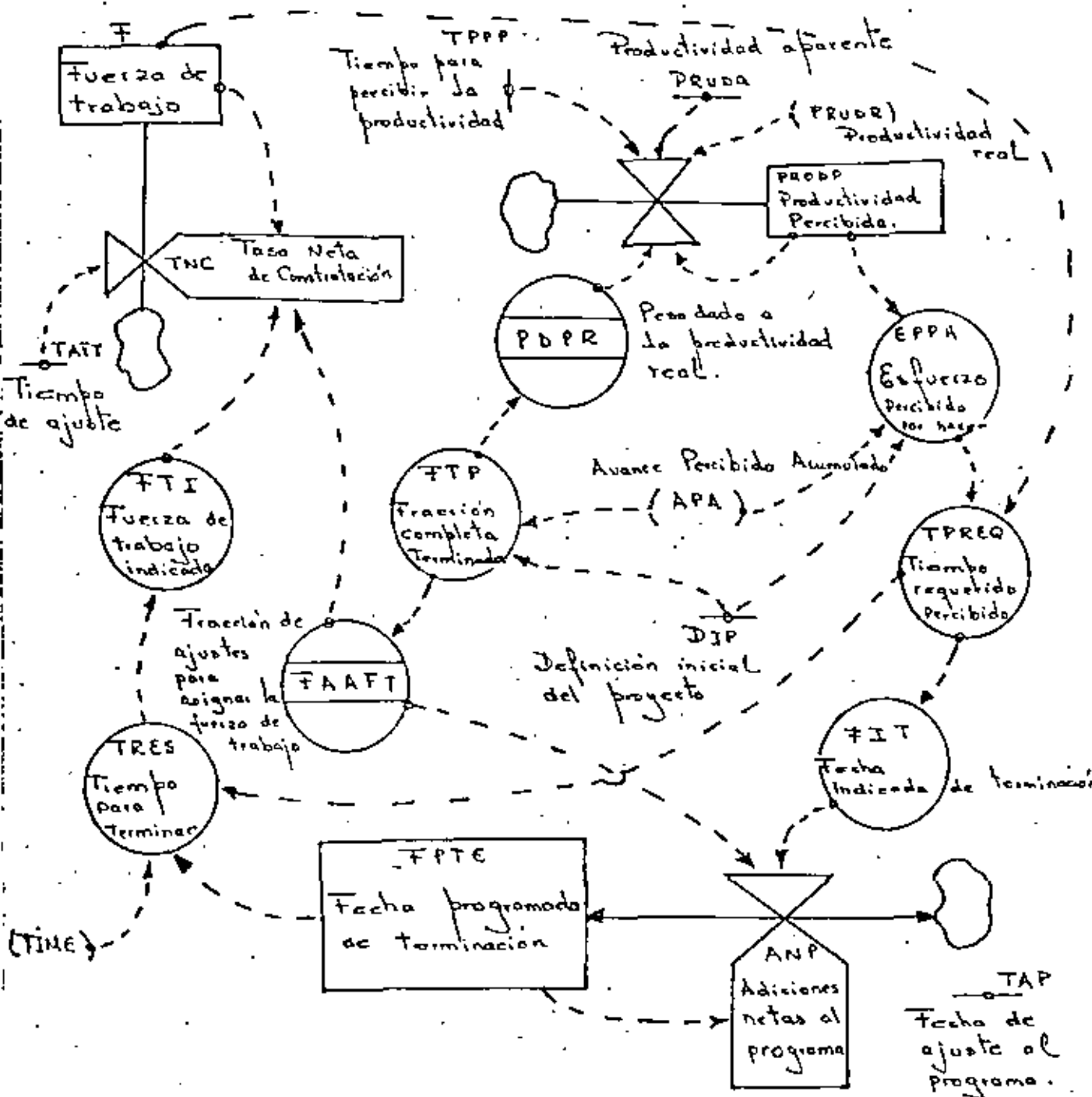
Formulación del modelo del proyecto.

Se presenta su diagrama causal reemplazando las variables que se piensan con acumulaciones por niveles.



En segundo lugar se identificarán las tasas que afectan a los niveles.

Se presentan a continuación el diagrama de tasas y niveles del ejemplo, sus ecuaciones y los resultados obtenidos en la simulación.



CUREKA/1
OK
BURROUGHS B6700/D7700 DYNAMO LEVEL DYN4541 6/11/82
INPUT PHASE BEGIN AT 20148 33

DYNAMO DLIST NARRDN
RUN MOFRDY

SECCION DE AVANCE REAL

A AA,K=(F,K)*(PB)
AVANCE APARENTE (ACT/MES)
C PB=1
PRODUCTIVIDAD BRUTA (ACT/PERB-MES)
R AR,KL=(AA,K)/(FBAT)
TASA DE AVANCE REAL (ACT/MES)
C FSAT=.7
FRACCION SATISFACTORIA (SU)
L ARA,K=ARA,J*(DT)/(AR,JK)
M ARA=0
AVANCE REAL ACUMULADO (ACT)

SECCION TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO

R QTMND,KL=(AA,K)*(1-FSAT)
GENERACION DE TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO (ACT/MES)
L TMND,K=QTMND,J*(DT)/(QTMND,JK-BTM,JK)
M TMND=0
TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO (ACT)
R BTM,KI=TMND,K/DTM,K
DETECCION DE TRABAJO MAL HECHO (ACT/MES)
FTP=FRACCION TERMINADA PERCIBIDA, ES LA RELACION DE LOS TRABAJOS
QUE SU FREYERON SATISFACTORIOS CON RESPECTO A EL NUMERO TOTAL DE
TRAJOS INICIALMENTE PROGRAMADOS

SECCION DE AVANCE PERCIBIDO

A TDTH,K=TABLE(TDTH,FTP,K*0.1,.2)
TINTA=12/12/12/10/5/.5
(ALTA TIEMPO PARA DETECTAR TRABAJO MAL HECHO (MES)
A ARA,K=ARA,K+TMND,K
AVANCE PERCIBIDO ACUMULADO (ACT)
A IIP,K=APA,K/DIP
FRACCION TERMINADA PERCIBIDA (SU)

DIP=1200
DEFINICION INICIAL DEL PROYECTO (ACT)

SECCION ESFUERZO RESTANTE PERCIBIDO

EPPH,K=(DIP-APA,K)/PRODP,K
ESFUERZO PERCIBIDO POR HACER (HOM/MES)
PRODI,K=(PDPR,K)*(PRODR,K)+(1-PDPR,K)*(PS)
PRODUCTIVIDAD INDICADA (ACT/HOM-MES)

SUAVIZANDO LA PRODUCTIVIDAD PERCIBIDA

PRODP,K=PRODP,J+(DT)*(PRODI,J-PRODP,J)/TPPP
PRODP=PRODI
PRODUCTIVIDAD PERCIBIDA (ACT/HOM-MES)
IFPP=4
TIEMPO PARA PERCIBIR LA PRODUCTIVIDAD (MES)
PRODA,K=AR,K/F,K
PRODUCTIVIDAD REAL (ACT/HOM-MES)
PDPR,K=TABLE(PDPR,FTP,K*0.1,.2)
PDPR=0/.1/.25/.5/.9/1
PESO A LA PRODUCTIVIDAD REAL (SU)
TABLA QUE RELACIONA EL PESO A LA PRODUCTIVIDAD REAL CON
RESPECTO A LA FRACCION TERMINADA PERCIBIDA

SECCION DE CONTRATACION

F,K=F,J+(DT)*(TNC,JK)
FUERZA DE TRABAJO (HOM)
F=FTC
FTC=2
VALOR INICIAL DE LA FUERZA DE TRABAJO (HOM)
TNC,KL=(FTR,K-F,K)/TAPT
TASA META DE CONTRATACION (HOM/MES)
TAPT=3
VALOR INICIAL DEL TIEMPO PARA AJUSTAR LA FUERZA DE TRABAJO (HOM)
FTR,K=(DCFT,K)*(FTI,K)+(1-DCFT,K)*(F,K)
FUERZA DE TRABAJO REQUERIDA (HOM)
FTI,K=EPPH,K/TRES,K
FUERZA DE TRABAJO INDICADA (HOM)
DCFT,K=TABLE(DCFT,TRES,K*0.21,.3)
DISPONIBILIDAD A CAMBIAR LA FUERZA DE TRABAJO (SU)
DCFT=0/0/0/.1/.3/.7/.9/1

SECCION DE MODIFICACIONES AL PROGRAMA

TRES,K=FPTE,K-TIME,K
TIEMPO RESTANTE (MES)
FPTE,K=FPTE,J+(DT)*(AMP,JK)
FECHA PROGRAMADA DE TERMINACION (MES)
AMP=FPTE

40

C FPC17-40
 UNOM INICIAL DE LA FECHA PROGRAMADA DE TERMINACION (MES)
 ANOMEL=(FIT,K+FITL,1)/TAP
 R ADICIONES NOTAS AL PROGRAMA (SU)
 C TAP=A
 VALOR INICIAL DEL TIEMPO DE AJUSTE AL PROGRAMA (MES)
 A FIT,K=IPREG,K+TIME,K
 FECHA INDICADA DE TERMINACION (MES)
 A TPNL,K=EPNL,K/FTL,K
 TIEMPO PERCIBIDO REQUERIDO (MES)

ORDENES DE CONTROL

CPFC DT=.25/LENGTH=50/PLTFR=1/PRIPER=0
 PLOT F=4(0,80)/FPTC=F(30,70)/APA=P,ARA=R,IMND=M(0,1200)/PRDDP=+(,6,1)
 #7345 (LM70)PROGRAMFILE/DYNAMO REMOVED ON PACK PK117

INPUT PHASE CONCLUDED AT 20:50 59

GENERATION PHASE BEGAN AT 20:51 0
 #7345 2000 SECT REQ ON PACK PK117 *

TSTA
 #20:52 2000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=4128.0 PT=11.7 IO=2.4
 TSTA
 #20:53 2000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=5123.5 PT=11.8 IO=2.4

TPNEL
 TSTA
 #20:55 2000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=7111.1 PT=12.1 IO=2.4
 TSTA
 #20:56 2000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=8150.0 PT=13.0 IO=2.4

#7345 GOING

TSTA
 #20:58 ET=11100.6 PT=17.4 IO=5.3
 RUN PHASE GENERATED AT 20:59 5
 PRINT PHASE GENERATED AT 20:59 5
 PLOT PHASE GENERATED AT 20:59 10

ELAPSED COMPILATION TIME 11 7

PLEASE ENTER COMPILER EUREKA/1 WITH ALGOL. THEN
 WAIT UNTIL YOUR TERMINAL REPORTS THAT YOUR COMPILATION
 IS COMPLETE. AFTER GOOD COMPILATION ENTER EXECUTE
 EUREKA/1

#ET=11:22.7 PT=20.2 IO=7.7
 COMPILER EUREKA/1 WITH ALGOL
 #SCID 7452
 #COMPILING 7452
 #SET DCL RESET LIST
 00001000 WARNING:OCL PROGRAMS ARE NOT PORTABLE TO EBCDIC MACHINES.

#QUEUED
 TSTA
 #21:02 ET=11:59.5 PT=14.2 IO=8.3
 #ET=2106.0 PT=15.7 IO=9.0

#KUN EUREKA/1
 #RUNNING 7464

PAGE 1. HOPROY

21:02-6250, 12 JUNE 1982

STARTED TO RUN CODE AT 21:02.6322, 12 JUNE 1982

#7464 1000 SECT REQ ON PACK PK117 *

TSTA
 #21:07 1000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=4130.9 PT=1.4 IO=1.1
 TSTA
 #21:10 1000 SECT REQ ON PACK PK117 * ET=7:55.6 PT=2.0 IO=1.1
 #7464 GOING

PAGE 2 HOPROY

BEGAN PLOTTING AT 21:12.2858, 12 JUNE 1982

F=W, FPTC=F, APA=P, ARA=R, IMND=M, PRDDP=+

0.0	26.7	53.3	80.0	W
30.0	43.3	56.7	70.0	F
0.0	400.0	800.0	1200.0	PR
0.6	0.7	0.9	1.0	+
P	W	F	U	+
MP	W	F	U	+
.RP		F	U	+
.MRP		F	U	+
.M RP		F	U	+
.M RP		F	U	+
.M RP		F	U	+
.M RP		F	U	+
.M RP		F	U	+
.M RP		F	U	+
10	M	R	P	+

```

H H R P F F U U + + FP
H H R F F U U + + FR
H H R F P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
20 -H- F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
30 -H- F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
40 -H- F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
H H F R P U U + +
50 -H- F R P U U + +

```

FINISHED RUN NUMBER MOPROY AT 21114.5661: 12 JUNE 1982
 #CT=12:11.1 PT=5.0 IO=3.1
 SA
 #WORKSOURCE ALREADY SAVED

PRUEBA DEL MODELO.

El proceso de modelado de Dinámica de Sistemas es iterativo, pasando por las secuencias de conceptualización, formulación, prueba (simulación) reconceptualización y refinamiento.

Con objeto de analizar las relaciones entre estructura y comportamiento se considerarán los cambios en parámetros y funciones tales para desactivar los circuitos de retroalimentación.

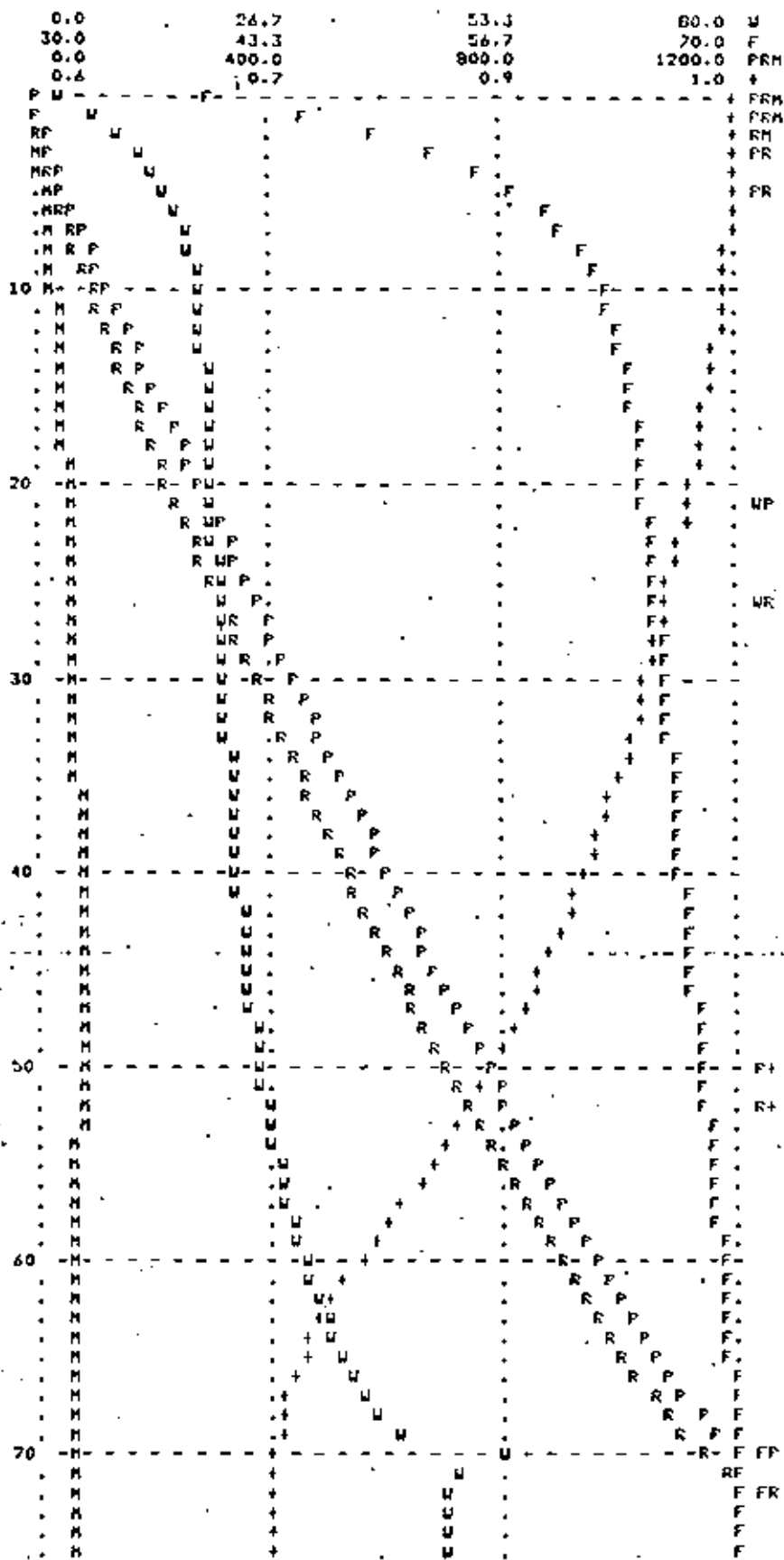
Una manera muy general para desactivar lazos es aplicar el principio a ecuaciones de la forma (META-NIVEL.K)/TIDEA. Si hacemos TIDEA muy grande, la tasa se hace cero.

Utilizando el modelo del proyecto realizaremos algunas pruebas para obtener un modelo revisado.

Si en el listado original (el proporcionado en la sesión de formulación del modelo hacemos el siguiente cambio en DCFTT (endereos):

Modelo base	DCFTT=0/0/0 / 1/3/7/9/1
Modificación	DCFTT=.5/3/5/5/5/5/5/5

obtendremos la siguiente simulación.



FINISHED RUN NUMBER MONDAY AT 8:54.9942, 15 JUNE 1982
 SA
 #QUEUED
 #ET=3:46.9 PI=5.2 IO=3.4
 #NO WORK FILE

Uso de funciones prueba.

Usualmente estas funciones son usadas para causar un disturbio al modelo, esto es conveniente realizarlo en alguno de los sectores del modelo.

Considerando la versatilidad de DYNAMO para experimentar, es conveniente planear una sucesión de simulaciones que se enfoquen en un elemento particular de la estructura. Analizando de antemano el comportamiento esperado, escribiendo las hipótesis y comprobándolas en el comportamiento observado. Si aparece comportamiento inesperado, analizarlo. Todo debe anotarse no permitiendo el confiar en la memoria.

Sensibilidad:

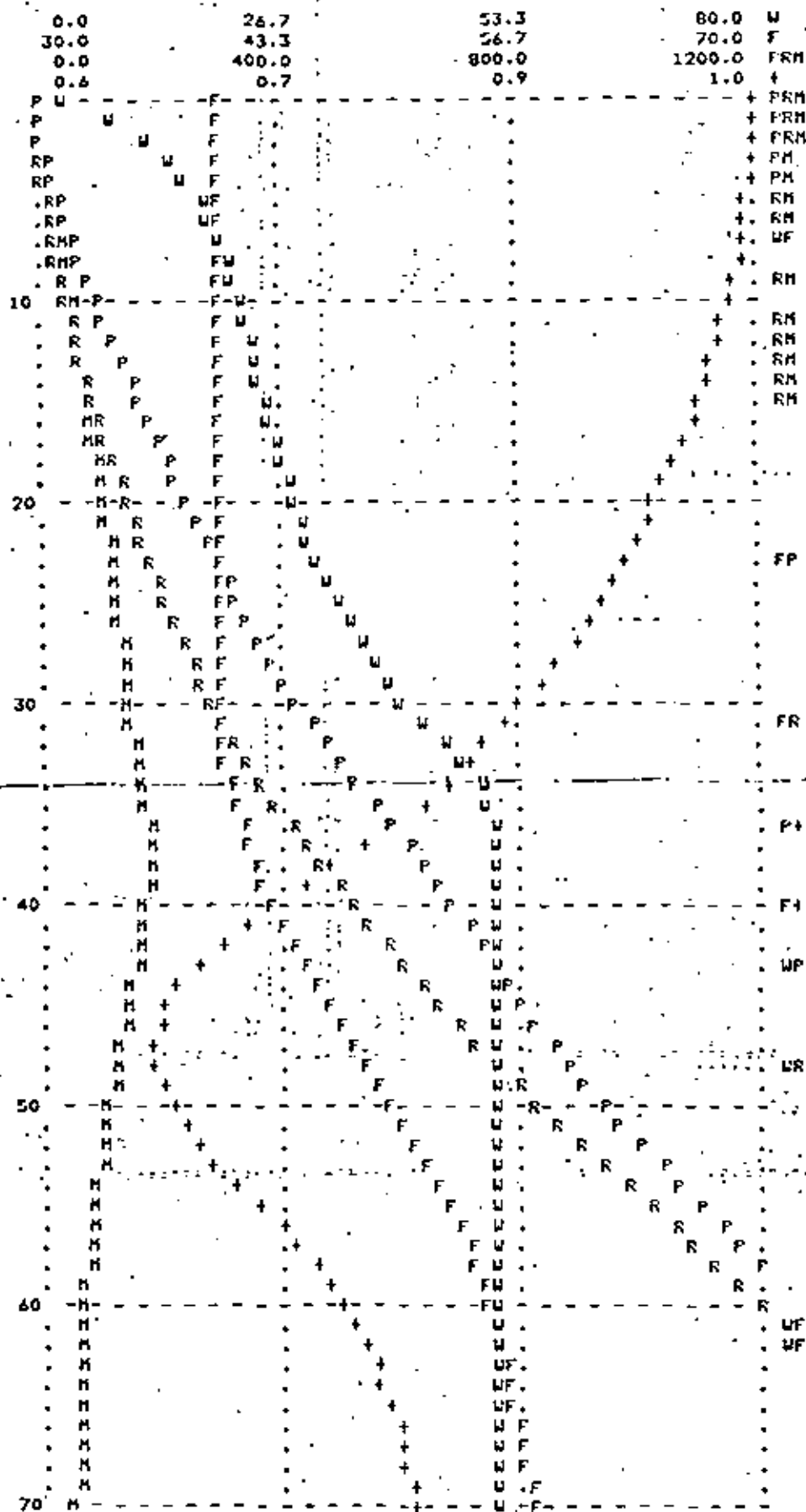
La credibilidad de un modelo basada en el análisis y recomendaciones de políticas se logrará cuando el modelador conozca hasta qué punto dichos cambios no afectan las condiciones basadas en el modelo acerca del sistema real.

En un modelo se pueden analizar tres clases de sensibilidad: La numérica, que se refiere a los cambios de valores que se presentarán en la simulación, en parámetros o estructuras del modelo; la de comportamiento, referida ésta al cambio que se sufre al modificar un parámetro o al formular alguna alternativa; la de políticas, las cuales deberán reflejar el comportamiento del modelo con el mundo real.

Veamos cómo un cambio de valor en FSAT, en el modelo del proyecto, no es muy significativo en la simulación, se cambio FSAT de 0.7 a 0.5

BEGAN PLOTTING AT 17:50.4589, 5 JULY 1982

F=U, FPTE=F, AFA=P, AKA=R, TMND=M, PRODF=+



FINISHED RUN NUMBER MOPROY AT 17:53.6119, 5 JULY 1982

Es obvio pensar que las estructuras y los parámetros del modelo se encuentran relacionados y para analizar sus relaciones se pueden seguir las siguientes estrategias: cambiando la estructura, modificando los valores de los parámetros; reemplazando las funciones tablas por constantes y utilizando funciones prueba.

En el caso de funciones tabla podemos realizar pruebas alternas, es decir lo logramos modificando los valores establecidos en el modelo base para aquellas tablas que de alguna manera afectan el comportamiento del modelo en general, para ello se simularía y se analizarían los resultados obtenidos.

En la mayoría de los casos los modelos dinámicos tienden a ser menos sensitivos a cambios en parámetros que a cambios en estructuras derivándose a dos causas: primera, la existencia de un circuito de retroalimentación dominante y segunda a la existencia de un circuito de retroalimentación compensador.

Rafinamiento y Reformulación.

No hay que olvidar que el proceso de modelar es un proceso iterativo y como ya mencionamos en otra sesión incluye los pasos de conceptualización, formulación, simulación y evaluación. El propósito de este proceso iterativo es producir un modelo altamente consistente con el sistema real, con propósitos bien definidos y bien entendidos.

Las estrategias para reformular el modelo pueden ser: descomposición de un nivel en dos o más; transformación de constantes en variables que varíen nuestras hipótesis dinámicas o bien añadiendo nuevos circuitos de ciertas variables, utilizadas en el modelo.

En el caso de la reformulación de un nivel, deberemos hacer las siguientes consideraciones: si nuestro análisis de políticas se beneficia, es decir, si añadimos aquella política que existe en el sistema real a nuestro modelo; el comportamiento del modelo es otra consideración muy importante, si desactivamos el modelo nivel en dos o más niveles podría suceder que sufriera cambios significativos en el comportamiento.

Al hacer esta modificación podríamos tener como consecuencia que el número de ecuaciones se nos dupliquen y crear un cierto número de ecuaciones absurdas como sería el hecho de valores contrarios al comportamiento del sistema real.

En el modelado de Dinámica de Sistemas, como en cualquier otra clase de modelado, nos surge la interrogante de saber hasta cuándo cesar en la reformulación o refinamiento del modelo. Mientras no se afecte la validez del modelo podremos refinarlo en tanto se sienta que es un nivel adecuado al que llegamos. Si los propósitos han sido logrados con un cierto nivel de refinamiento, entonces, podemos suspender y en general, otro grupo de recomendaciones que se hacen sin definir algo concreto, sería el considerar la validez como buen indicador.

Validez.

Ya arriba mencionamos que el propósito del modelo era el permitirnos estudiar el comportamiento del sistema real. Pero debemos tener presente que el modelo se dirige a un problema y no al sistema, es decir, sólo está diseñado para responder a un conjunto bien definido de problemas.

En Dinámica de Sistemas la validación es un grupo de actividades interrelacionadas a través del proceso iterativo de la construcción del modelo.

Para nuestro propósito la validez es más útil llevarla a dos preguntas.

¿Es el modelo conveniente hacia los propósitos del problema al que está dirigido?

¿Es el modelo consistente no obstante la realidad que se quiere conseguir?

Ejemplo:

Después de varias pruebas se presenta el modelo revisado del proyecto y las simulaciones correspondientes.

```

L
4NO WORK FILE
L DYNAMOTRE/2REL
GET DYNAMODEL
GET DYNAMOTRE/2
$WORKFILE DYNAMOTRE/2: SEQ. 165 RECORDS, SAVED
L
100 REMOTE
200 DYNAMO NARROW
300 RUN MOPROY
400 NOTE
500 NOTE SECCION DE AVANCE REAL
600 NOTE
610 L ARA.K=ARA.J+(DT)(TARA.JK)
620 M ARA=0
630 NOTE AVANCE REAL ACUMULADO (ACT)
640 R TARA.KL=(TAP.K)(FSAT.K)
650 NOTE TASA DE AVANCE REAL (ACT/MES)
660 A TAP.K=(F.K)(FB.K)(EPPFB.K)
670 NOTE AVANCE APARENTE (ACT/MES)
680 A FB.K=(NFB)(EFPB.K)
690 NOTE PRODUCTIVIDAD BRUTA (ACT/HOM/MES)
700 C NFB=1
710 NOTE PRODUCTIVIDAD BRUTA NORMAL (ACT/HOM/MES)
720 A FSAT.K=(FSATN.K)(EEXPFS.A)(EPPFS.K)
730 NOTE FRACCION SATISFACTORIA
740 A FSATN.K=TABLE(FSATNT,FT,K,0,1,2)
750 NOTE FRACCION SATISFACTORIA NORMAL
760 FSATNT*=.5/.55/.63/.75/.9/1
770 NOTE TABLA DE LA FSATN
780 NOTE
790 NOTE EFECTOS DE LA EXPERIENCIA Y LA PRESION EN LA PROGRAMACION
800 NOTE
810 A EEPB.K=TABLE(EEPBT,FFE,K,0,1,2)
820 NOTE EFECTO DE LA EXPERIENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD BRUTA (SU)
830 EEPBT*=.5/.55/.65/.75/.87/1
840 NOTE TABLA DE LA EEPB
850 A FFE.K=FTEX.K/F.K
860 NOTE FRACCION DE LA FUERZA DE TRABAJO EXPERIMENTADA (SU)
870 A EEXPFS.K=TABLE(EEXPFT,FFE,K,0,1,2)
880 NOTE EFECTO DE LA EXPERIENCIA SOBRE LA FRACCION SATISFACTORIA (SU)
890 EEXPFT*=.5/.6/.7/.8/.9/1
900 NOTE TABLA PARA EL EEXPFS
910 A EPPFS.K=TABLE(EPPFST,FIT,K/FPT,K,.9,1,2,.05)
920 NOTE EFECTO DE LA PRESION DE LA PROGRAMACION SOBRE LA FRACCION
930 NOTE SATISFACTORIA (SU)
940 EPPFST*=1.1/1.06/1.96/1.97.83/.75
950 NOTE TABLA PARA EPPFS
960 A EPPFB.K=TABLE(EPPFBT,FIT,K/FPT,K,.9,1,2,.05)
970 NOTE EFECTO DE LA PRESION DE LA PROGRAMACION SOBRE LA
980 NOTE PRODUCTIVIDAD BRUTA (SU)
990 EPPFBT*=.9/.92/1/1.1/1.18/1.23/1.25
1000 NOTE TABLA PARA EPPFB
1600 NOTE
1900 NOTE SECCION TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO
2000 NOTE
2100 R GTMND.KL=(TAP.K)(1-FSAT.K)
2200 NOTE GENERACION DE TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO (ACT/MES)
2300 L TMND.K=TMND.J+(DT)(GTMND.JK-DTM.JK)
2400 M TMND=0
2500 NOTE TRABAJO MAL HECHO NO DETECTADO (ACT)
2600 R DTM.KL=TMND.N/TMND.K
2700 NOTE DETECCION DE TRABAJO MAL HECHO (ACT/MES)
2800 NOTE FT=FRACCION TERMINADA PERCIBIDA ES LA RELACION DE LOS TRABAJOS
2900 NOTE QUE SE CREYERON SATISFACTORIOS CON RESPECTO A EL NUMERO TOTAL DE
3000 NOTE TRABAJOS INICIALMENTE PROGRAMADOS
3100 NOTE
3200 NOTE SECCION DE AVANCE PERCIBIDO
3300 NOTE
3400 A TDYB.K=TABLE(TDYBT,FT,K,0,1,2)
3500 TDYBT*=12/12/12/10/5/.5
3600 NOTE TABLA TIEMPO PARA DETECTAR TRABAJO MAL HECHO (MES)
3700 A APA.K=ARA.K+TMND.K
3800 NOTE AVANCE PERCIBIDO ACUMULADO (ACT)
3900 A FTP.K=APA.K/DPP.K
4000 NOTE FRACCION TERMINADA PERCIBIDA (SU)
4100 A DPP.K=TABLE(DPPT,FT,K,0,1,2)
4110 NOTE DEFINICION PREVALECIENTE DEL PROYECTO (ACT)
4120 DPPT*=800/830/900/1000/1140/1200
4130 NOTE TABLA PARA DPP
4140 M DPP=1200
4150 NOTE DEFINICION FINAL DEL PROYECTO (ACT)
4160 A FT.K=ARA.K/DPP
4170 NOTE FRACCION TERMINADA (SU)
4300 NOTE
4400 NOTE SECCION ESFUERZO RESTANTE PERCIBIDO
4500 NOTE

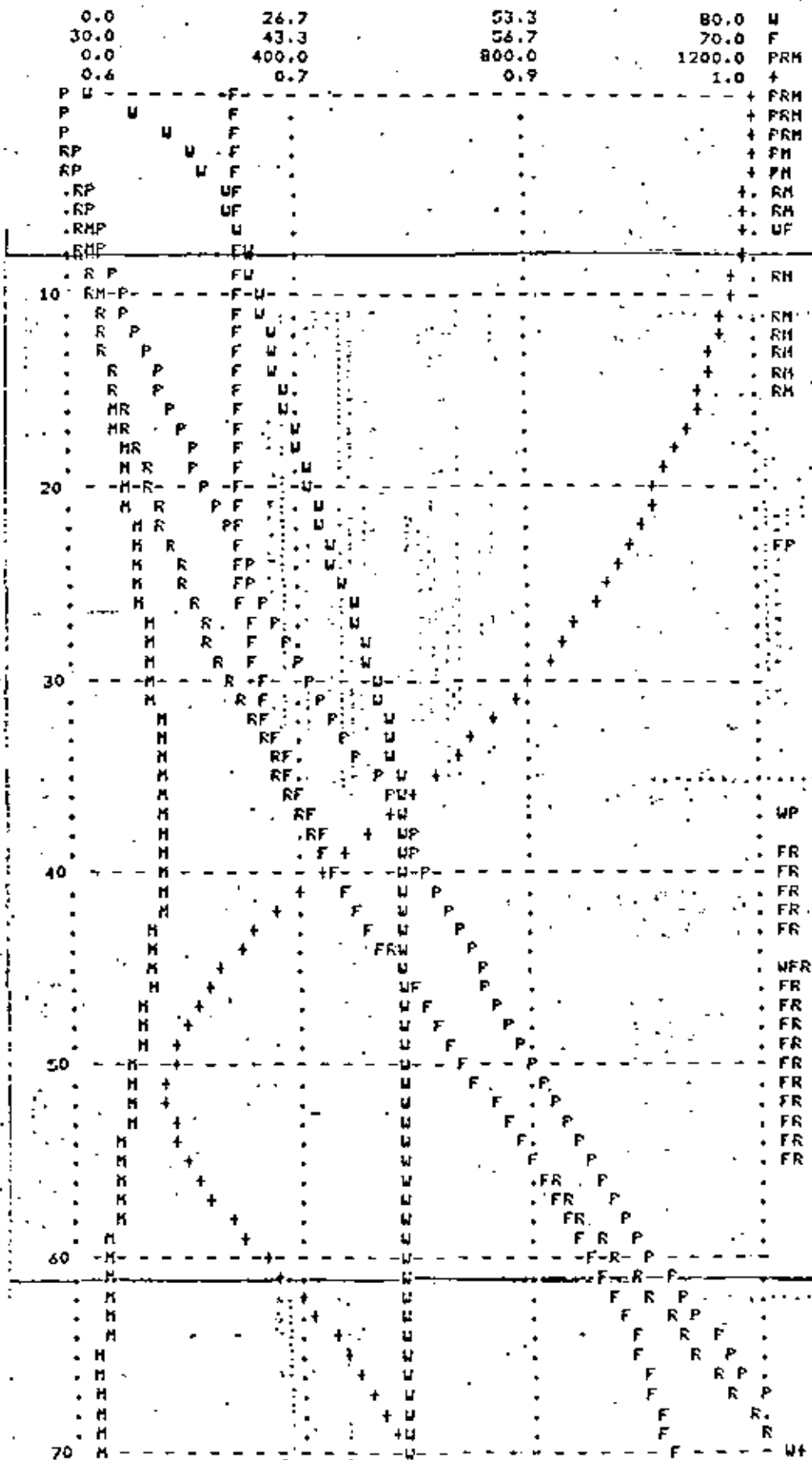
```

4600 A $EDPP.K = (DPP.K - AFA.K) / PRODP.K$
 4700 NOTE ESFUERZO PERCIBIDO POR HACER (HOM/MES)
 4800 A $PRODI.K = (PDFR.K) (PRODR.K) + (1 - PDFR.K) (NPB)$
 4810 N $PRODI = NPB$
 4900 NOTE PRODUCTIVIDAD INDICADA (ACT/HOM-MES)
 5000 NOTE
 5100 NOTE SUAVIZANDO LA PRODUCTIVIDAD PERCIBIDA
 5200 NOTE
 5300 L $PRODP.K = PRODP.J + (DT) (PRODI.J - PRODP.J) / TPPP$
 5400 N $PRODP = 1$
 5500 NOTE PRODUCTIVIDAD PERCIBIDA (ACT/HOM-MES)
 5600 C $TPPP = 6$
 5700 NOTE TIEMPO PARA PERCIBIR LA PRODUCTIVIDAD (MES)
 5800 A $PRODR.K = (NPB) (FSAT.K)$
 5900 NOTE PRODUCTIVIDAD REAL (ACT/HOM-MES)
 6000 A $PDFR.K = TABLE (PDFRT, FTF.K, 0, 1, 2)$
 6100 $PDFRT = 0, .1, .25, .5, .9, 1$
 6200 NOTE $PDFR = PESO A LA PRODUCTIVIDAD REAL (SU)$
 6300 NOTE TABLA QUE RELACIONA EL PESO A LA PRODUCTIVIDAD REAL CON
 6400 NOTE RESPECTO A LA FRACCION TERMINADA PERCIBIDA
 6500 NOTE

 6600 NOTE SECCION DE CONTRATACION
 6700 NOTE
 6800 L $F.K = FTEX.K + NFI.K$
 6900 NOTE FUERZA DE TRABAJO (HOM)
 6910 L $FTEX.K = FTEX.J + (DT) (TAF.JK)$
 6920 NOTE FUERZA DE TRABAJO EXPERIMENTADA (HOM)
 6930 N $FTEX = FTEXH$
 6940 C $FTEXH = 2$
 6950 NOTE VALOR INICIAL DE LA FUERZA DE TRABAJO EXPERIMENTADA
 7000 R $TAF.KL = NFI.K / TASH$
 7010 NOTE TASA DE ASIMILACION DE LA FUERZA DE TRABAJO (HOM/MES)
 7020 C $TASH = 6$
 7025 NOTE TIEMPO DE ASIMILACION (MES)
 7030 L $NFI.K = NFI.J + (DI) (TNC.JK - TAF.JK)$
 7040 NOTE NUEVA FUERZA DE TRABAJO (HOM)
 7050 N $NFI = NFIH$
 7060 C $NFIH = 1$
 7070 NOTE VALOR INICIAL DE NFI (HOM)
 7300 R $TNC.KL = (FTR.K - F.K) / TAFT$
 7400 NOTE TASA NETA DE CONTRATACION (HOM/MES)
 7500 C $TAFT = 3$
 7500 NOTE VALOR INICIAL DEL TIEMPO PARA AJUSTAR LA FUERZA DE TRABAJO (HOM)
 7700 A $FTR.K = (DCFT.K) (FTI.K) + (1 - DCFT.K) (F.K)$
 7800 NOTE FUERZA DE TRABAJO REQUERIDA (HOM)
 7900 A $FTI.K = EPPH.K / TRES.K$
 8000 NOTE FUERZA DE TRABAJO INDICADA (HOM)
 8100 A $DCFT.K = TABML (DCFTI, TRES.K, 0, 21, 3)$
 8200 NOTE DISPONIBILIDAD A CAMBIAR LA FUERZA DE TRABAJO (SU)
 8300 $DCFTI = 0, 0, 0, .1, .3, .7, .9, 1$
 8400 NOTE
 8500 NOTE SECCION DE MODIFICACIONES AL PROGRAMA
 8600 NOTE
 8700 A $TRES.K = FPTE.K - TIME.K$
 8800 NOTE TIEMPO RESTANTE (MES)
 8900 L $FPTE.K = FPTE.J + (DT) (ANP.JK)$
 9000 NOTE FECHA PROGRAMADA DE TERMINACION (MES)
 9100 N $FPTE = FPTEI$
 9200 C $FPTEI = 40$
 9300 NOTE VALOR INICIAL DE LA FECHA PROGRAMADA DE TERMINACION (MES)
 9400 R $ANP.KL = (FIT.K - FPTE.K) / TAPR$
 9500 NOTE ADICIONES METAS AL PROGRAMA (SU)
 9600 C $TAPR = 6$
 9700 NOTE VALOR INICIAL DEL TIEMPO DE AJUSTE AL PROGRAMA (MES)
 9800 A $FIT.K = TPREG.K + TIME.K$
 9900 NOTE FECHA INDICADA DE TERMINACION (MES)
 10000 A $TPREG.K = EPPH.K / FTR.K$
 10100 NOTE TIEMPO PERCIBIDO REQUERIDO (MES)
 10200 NOTE
 10300 NOTE INDICADORES
 10400 NOTE
 10500 L $EA.K = EA.J + (DI) (E.J) (EPPPB.J)$
 10600 N $EA = 0$
 10700 NOTE ESFUERZO ACUMULADO (HOM/MES)
 10800 A $COSTO.K = (CFHN) (EA.K)$
 10900 NOTE COSTO DEL PROYECTO (PESOS)
 10910 C $CFHN = 3000$
 10920 NOTE COSTO POR HOMBRE-MES (PESOS)
 10930 NOTE
 10940 NOTE ORDENES DE CONTROL
 10950 NOTE
 11000 SPEC $DT = .25 / LENGTH - 70 / PLTFR = 1 / PRIFR = 5$
 11100 PLOT $F = U(0, 80) / FPTE - F(30, 70) / APA - P, ARA - R, THND - M(0, 1200) / PRODP + (.6, 3)$
 11300 PLOT $EPPPB = 1, EPPR = 2, EPPFS = 3, EXPFS = 4(.5, 1, 5) / FFE = X(0, 1)$
 11400 PRINT $1) PRODP / 2) PRODI / 3) TAP / 4) TAPR$

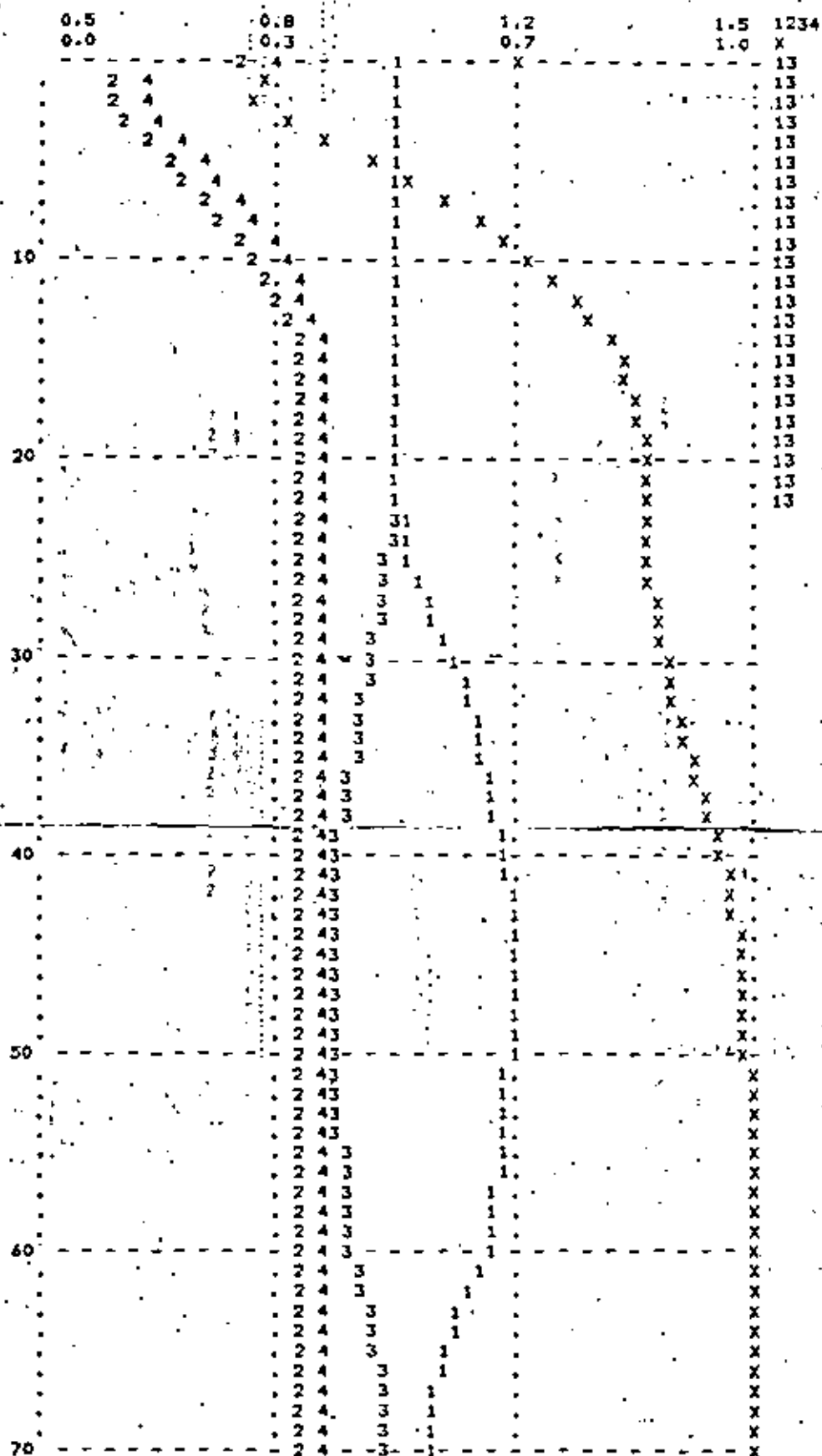
BEGAN PLOTTING AT 22:16.3233, 2 JULY 1982

F=U; FPTE=F; APA=P; ASA=R; THND=M; PRODP=+



BEGAN PLOTTING AT 22:19.5725, 2 JULY 1982

EPPPB=1, EEPB=2, EPPFS=3, EEXFFS=4, FFE=X



FINISHED RUN NUMBER MOPROY AT 22:22.6033, 2 JULY 1982
 #ET-7:09.0 PT-9.0 10-5.0

BIBLIOGRAPHIA.

- Alfeld, Louis and Alan K Graham - 1976 - Introduction to Urban Dynamics
Cambridge, Ma.: The MIT Press.
- Britting, Kenneth R., - 1973 - Correlated Noise Generation Using DYNAMO -
System Dynamics Group Working Paper D-1908 - Alfred P. Sloan School of
Management, M.I.T., Cambridge, Ma. - 02139
- Cooper, Kenneth D., - 1980 - Naval Ship Production: A Claim Settled and a
Framework Built. *Interfaces*, 10,4(1980),20-36.
- Forrester, Jay W. 1959 - Advertising: a Problem in Industrial Dynamics -
Harvard Business Review - March-April.
- Forrester, Jay W. 1961 - *Industrial Dynamics* - Cambridge, Ma.: the MIT
Press.
- Forrester, Jay W. 1968a - Market Growth as Influenced by Capital Invest-
ment. *Industrial Management Review* (now the *Sloan Management Review*), 9
(1968):83-105.
- Forrester, Jay W., 1968b - *Principles of Systems* - Cambridge, Ma.: The MIT
Press.
- Forrester, Jay W., 1969 - *Urban Dynamics* - Cambridge Ma.: The MIT Press.
- Forrester, Jay W., 1971 - Counterintuitive Behavior of Social Systems. -
Technology Review 73(1971):52-68
- Forrester, Jay W., 1973 - *World Dynamics* - Cambridge, Ma.: The MIT Press.
- Forrester, Jay W., 1975 - *Collected Papers of Jay W. Forrester* - Cambridge,
Ma.: The MIT Press.
- Forrester, Jay W., Gilbert W. Low, and Nathaniel J. Mass. - The Debate on
World Dynamics: A response to Mordhaue. - *Policy Sciences* - 5(1974):169-190

- Forrester, Jay W. and Peter M. Senge - 1980 - Tests for Building Confidence
in System Dynamics Models. *System Dynamics*. *TIME Studies in Management
Sciences* - 14(1980):209-226
- Richardson, George P., Pugh., 1981 - Introduction to System Dynamics
Modeling with DYNAMO - The MIT Press.
- Richardson, George P., 1981 - Statistical Estimation of Parameters in a
Predator-Prey Model and Exploration using Synthetic Data. *System Dynamics
Group working paper D-3314-1*, Alfred P. Sloan School of Management, M.I.T.
Cambridge, Ma - 02139.
- Roberts, Edward B - 1964 - *The Dynamics of Research and Development* - Cam-
bridge, Ma.: The MIT Press.
- Roberts, Edward B., 1980 - *Managerial Applications of System Dynamics* -
Cambridge, Ma.: The MIT Press
- Roberts, Edward B., 1977 - Strategies for Effective Implementation of Complex
Corporate Models - *Interfaces*, 8,1(1977) Part 1.
- Schroeder, Walter E. and John E. Strongman, 1974 - Adapting Urban Dynamics
to Lovell, in *Readings in Urban Dynamics*, vol 1, Nathaniel J. Mass, ed.
Cambridge, Ma.: The MIT Press. 197-223
- Senge, Peter M. - 1977 - Statistical Estimation of Feedback Models -
Simulation, 28 (1977):177-184
- Shaffer, William - 1976 - *Mini-DYNAMO Users' Guide* - Pugh Roberts Associates
5 Lee Street - Cambridge, Ma. 02139
- Wiener, Norbert, 1961 - *Cybernetics: or control and communication in the
animal and the machine* - Cambridge, Ma.: The MIT Press.
- Shaffer, William - 1976 - *Court Management and the Massachusetts Criminal
Justice System*. Ph.D. Dissertation, - Alfred P. Sloan School of Management
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ma. 02139.
- Gazn, Harvey A. and Robert H. Wilson, 1972 - A Look at Urban Dynamics: -
The Forrester Model and Public Policy, *IEEE Transactions on Systems, Man and
Cybernetics* - SMC-2(1972):150:155
- Goodman, Michael R., 1974. *Study Notes in System Dynamics*. Cambridge, Ma.:
The MIT Press

Graham, Alan K., 1977 - Principles of the Relationship Between Structure and Behavior of Feedback Systems. Ph.D. dissertation, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ma., 02139.

Graham, Alan K., 1980 - Parameter Estimation in System Dynamics Modeling, in Elements of the System Dynamics Method, Jorgen Randers, ed., Cambridge, Ma.: The MIT Press, 143-161.

Greenberger, Martin, Metchu A. Crensen, and Brian L. Crissy, 1976. Models in the Policy Process. New York: Russell Sage Foundation.

Hardin, Garrett, 1972 - Exploring New Ethics for Survival, the voyage of the spaceship Beagle. New York: Viking Press.

Kormondy, Edward J., 1969. Concepts of Ecology. Englewood Cliffs, N.J. - Prentice-Hall.

Levin, Gilbert, Edward S. Roberts, and Gerry Hirsch, 1975. The Persistent Poppy. Cambridge, Ma.: Ballinger.

Lynsis, James M., 1980 - Corporate Planning and Policy Design. Cambridge Ma.: The MIT Press.

Malthus, Thomas, 1796 - First Essay on Population, 1866 edition New York. MacMillan, Inc.

Mass, Nathaniel J., 1973 - Readings in Urban Dynamics - vol. 1 - Cambridge Ma.: The MIT Press

Mass, Nathaniel J. and Peter M. Senge, 1978 - Alternative Tests for the Selection of Model Variables - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, July 1978.

Meadows, Dennis L., 1970 - Dynamics of Commodity Cycles. Cambridge, Ma.: The MIT Press

Meadows, Dennis L. and Donella H. Meadows, eds., 1973 - Toward Global Equilibrium Cambridge, Ma.: The MIT Press.

Meadows, Dennis L., William E. Behrens III, Donella H. Meadows, Roger P. Maill, Jorgen Randers, and Erich K.O. Tahn, 1974 - Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge, Ma.: The MIT Press

Meadows, Donella H., 1980 - The Unavoidable A Priori, in Elements of the System Dynamics Method, Jorgen Randers, ed. Cambridge, Ma.: The MIT Press.

Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William E. Behrens III, 1977. The Limits to Growth. New York: Universe Books, A Potomac Associates Book.

Maill, Roger P., 1977 - The Discovery Life Cycle of a Finite Resource: A Case Study of U.S. Natural Gas, in Toward Global Equilibrium, Dennis L. Meadows and Donella H. Meadows, eds. Cambridge, Ma.: The MIT Press. 213-256

Mordhaug, William D. World Dynamics: Measurement Without Data. The Economic Journal, 83(1973): 1156-1181

Peterson, David W., 1980 - Statistical Tools for System Dynamics, in Elements for the System Dynamics Method, Jorgen Randers, Ed. Cambridge, Ma.: The MIT Press - 224-245

Pindyck, Robert B. and Daniel L. Rubinfeld - 1976 - Econometric Models and Econometric Forecasts - New York - McGraw-Hill

Pugh, Alexander L., III - 1976 - DYNAMO Users' Manual - 5th. ed. Cambridge, Ma.: The MIT Press

Randers, Jorgen and Dennis L. Meadows, 1973 - The Dynamics of Solid Waste Generation, in toward a Global Equilibrium, Dennis L. Meadows and Donella H. Meadows, eds. Cambridge, Ma.: The MIT Press - 163-211