

INGENIERÍA DE SISTEMAS

4. ARQUETIPOS SISTÉMICOS

1. INTRODUCCIÓN

ARQUETIPOS SISTÉMICOS → estructuras con varios bucles de realimentación

Útiles por fenómenos sociales en los que existe algún tipo de decisión

↓
no hacen efecto inmediato → tratamiento

de retrasos

↓
comportamiento
oscilatorio

2. DIFERENTES FORMAS DE ABORDAR LOS RETRASOS

RETRASO → en un sistema, un retraso supone que entre determinadas acciones o eventos y sus consecuencias, hay un tiempo concreto

↳ la variable de estado (x) de un BECR representa a X_d con un cierto retraso (el que necesita para alcanzar un nuevo valor)

RETRASO PURO → la señal original y la señal retrasada preservan la misma forma a lo largo del tiempo tal que la última tiene los valores de la primera tantas unidades de tiempo como indique el retraso: $y_{\text{retrasada}}(t) = y(t - T_d)$ con $T_d \equiv$ tiempo de retraso

- En diagramas de influencia, los retrasos se añaden sobre las flechas
- En diagramas de Forrester se distinguen:

↳ Retrasos en transmisión de material (RTM): sobre los canales materiales

↳ Retrasos en transmisión de información (RTI): sobre canales de información

↓ pasan a ser

RTMF: retraso fijo en la transmisión de material

	RTMF
x	f_s
	T_d

$x \equiv$ variable de estado (informe de cantidad de material transitando por el canal)

$f_s \equiv$ flujo retrasado de la entrada

$T_d \equiv$ valor del retraso

- Otros autores proponen simular el retraso en la transmisión de material mediante aproximaciones de orden n ya que el flujo de salida mantiene una proporción con la variable de estado \rightarrow la proporción es la inversa de T_d , el retraso a aproximar (n/T_d)

\downarrow

RTMA n : retraso material por aproximación de orden (n) \rightarrow generalmate $n=1$ & $n=3$

\rightarrow Una estructura RTMA3 genera condiciones de simulación mucho más realistas por un canal de distribución que la estructura RTMF

RTMF y RTMA3 pueden encadenarse en serie

\downarrow

RTMR: retrasos en la transmisión de material dentro de un rango. En vez de tener un T_d nominal, se tienen los valores mínimo y máximo en los que se encuentra el retraso

3. OSCILACIONES

En un BECR, cualquier cambio en X_d provoca que el estado evolucione hacia el nuevo valor deseado \rightarrow el bucle de realimentación corrige la situación

equilibrio
|||

\hookrightarrow Se parte de un estacionario inicial y se acaba en otro estacionario poniéndose de manifiesto en el TRANSITORIO (paso entre estacionarios) el comportamiento dinámico del BECR

Si el BECR es un proceso de toma de decisión, cuanto mayor sea K , mayor son las medidas correctoras y más rápido se recupera $X_d \rightarrow$ si las medidas no son inmediatas, la mayor intensidad de éstas acarrea FENÓMENOS

OSCILATORIOS \rightarrow caso especial de un comportamiento transitorio. Cuando el sistema evoluciona al equilibrio final, lo supera y oscila en torno a él hasta

CARACTERÍSTICAS OSCILATORIAS DEL BECR CON RETRASO EN LA TOMA DE DECISIÓN

Modelo dinámico BECR $\rightarrow \frac{dx(t)}{dt} = -F(t)$

con retraso en la toma de

decisiones

$$F(t) = -K e(t - T_d)$$

$$e(t) = X_d(t) - x(t) \text{ función error}$$

↓

Estructura de control realimentado: BECRRTD con 2 parámetros básicos (K y T_d)

Sobre un BECRRTD con retraso fijo:

- La amplitud de las oscilaciones aumenta con K y también el tiempo que se necesita para igualar o permanecer en $X_d \rightarrow (T_d \text{ fijo})$
- La amplitud de las oscilaciones aumenta con T_d y también el tiempo para igualar o permanecer en $X_d \rightarrow (K \text{ fijo})$

↓

Hay que aceptar el retraso en las medidas correctoras y adecuar su intensidad, evitando que aumente el retraso (que no favorece la consecución del objetivo)

* Un sistema de control con estructura BECR garantiza el seguimiento de valores deseados en ausencia de variables exógenas; pero su presencia provoca perturbaciones que el sistema no puede contrarrestar.

El comportamiento oscilatorio no siempre se asocia con los retrasos \rightarrow puede ser un fenómeno inherente al sistema (p.e. sistemas complejos con más de una variable de estado)

↳ p.e. partiendo de una situación inicial de equilibrio inestable del sistema, se llega a una situación oscilatoria mantenida (abandonando las situaciones de equilibrio)

↳ p.e. acciones a corto plazo con efectos perjudiciales a largo → construcción no beneficiosa por el sistema

4. ARQUETIPO DE LA ADICCIÓN

2 negativos
1 positivo

ADICCIÓN → estructura de bucles de recompensa que explica comportamientos sociales ante situaciones problemáticas y se manifiesta con síntomas

2 possible solutions

→ 0 es la más estrecha

truen escalas de
tiempo diferentes

↳ solución fundamental: resuelve definitivamente el problema

↳ solución sintomática: alivia síntomas, no soluciona el problema y puede agravarlo

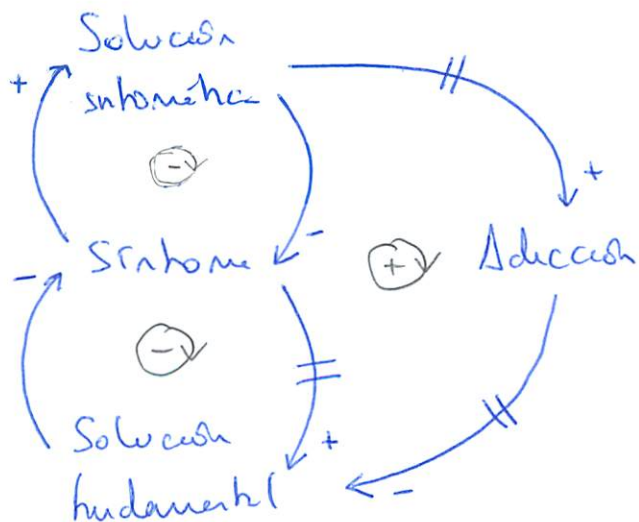
↳ acceptable; pero no suficiente

- recoge soluciones a corto plazo (puede empeorar las cosas a largo)
- solucionar los síntomas, se reduce percepción de encontrar soluciones fundamentales (avala su valor)

- con el tiempo, se convierte en la única solución posible



situaciones crónicas de
dependencia / adicción

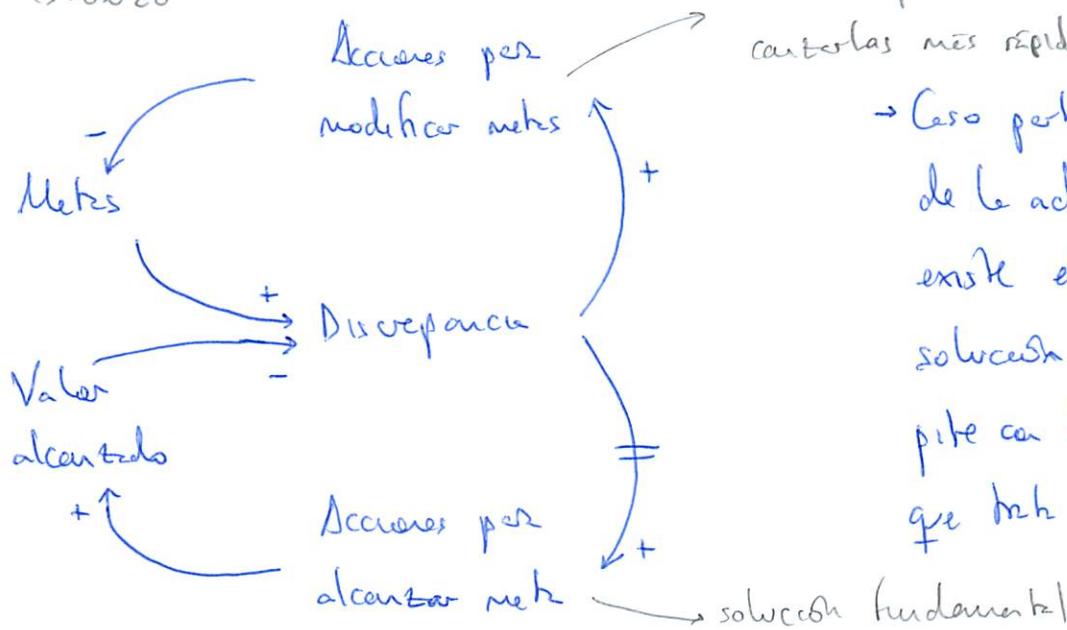


→ La combinación de ambas soluciones (subóptima y fundamental), con-
de una con sus limitaciones, sí puede llevar a controlar el problema.

EFFECTO COLATERAL → se produce por el uso prolongado de la solución
subóptima que puede provocar sobre la solución
fundamental

EROSIÓN DE METAS → proceso de adaptación de los objetivos que interviene
en la toma de decisiones → se tienen 2 bucles de
retroalimentación negativa que intentan reducir la
discrepancia entre las metas fijadas y los logros
alcanzados

↓
se aplica a problemas
que no se pueden resolver
o requieren mucho
esfuerzo



acciones que modifican las metas para al-
canzarlas más rápido → favorece s. fundamental

→ Caso particular del arquetipo
de la adicción es que no
existe efecto colateral y la
solución subóptima no com-
pite con la fundamental sino
que más de favorecerla

5. ARQUETIPO DEL CRECIMIENTO CON INVERSIÓN INSUFICIENTE

CRECIMIENTO CON INVERSIÓN → estructura en la que el crecimiento
del sistema deja de ser sostenido
INSUFICIENTE

↳ degeneración en el tiempo de
un crecimiento sostenido

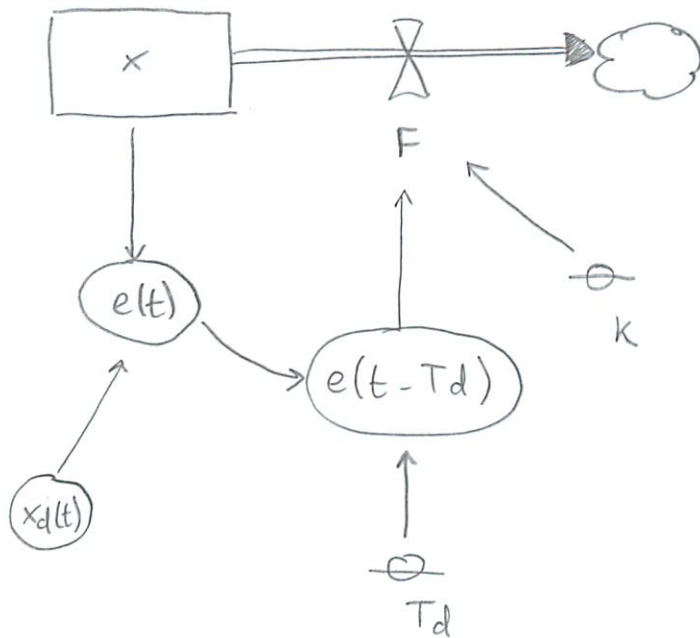
y presenta alibidos, bien por retraso
en la decisión o por insuficiencia
en la inversión

→ Estructura con 3 bucles de realimentación:

1. Realimentación positiva: responsable del crecimiento sostenido
2. Realimentación negativa: recoge el efecto que el deterioro del sistema tiene sobre el primer bucle
3. Realimentación negativa: recoge las acciones correctoras tomadas, aunque con retraso, para corregir el deterioro observado

* A mayor influencia de la inversión, mayores altibajos

Diagrama Forrester BECRRTD



INGENIERÍA DE SISTEMAS

Ejercicios propuestos Tema 4

- **Ejercicio 4.1:** Programar en Vensim las estructuras elementales RTMF, RTMA1 y RTMA3 y utilizarlas para reproducir las gráficas de la Figura 4.7. En todos los casos se puede emplear un tiempo de integración de 0.1 unidades de tiempo. Para la primera experiencia se recomienda programar el flujo de entrada utilizando la sentencia $f_e = 5 + 20 \cdot \text{PULSE}(10,1)$ y para la segunda experiencia se recomienda programar el flujo de entrada como una tabla de nueve puntos en función de la variable Time, tal como muestra la siguiente captura de pantalla.

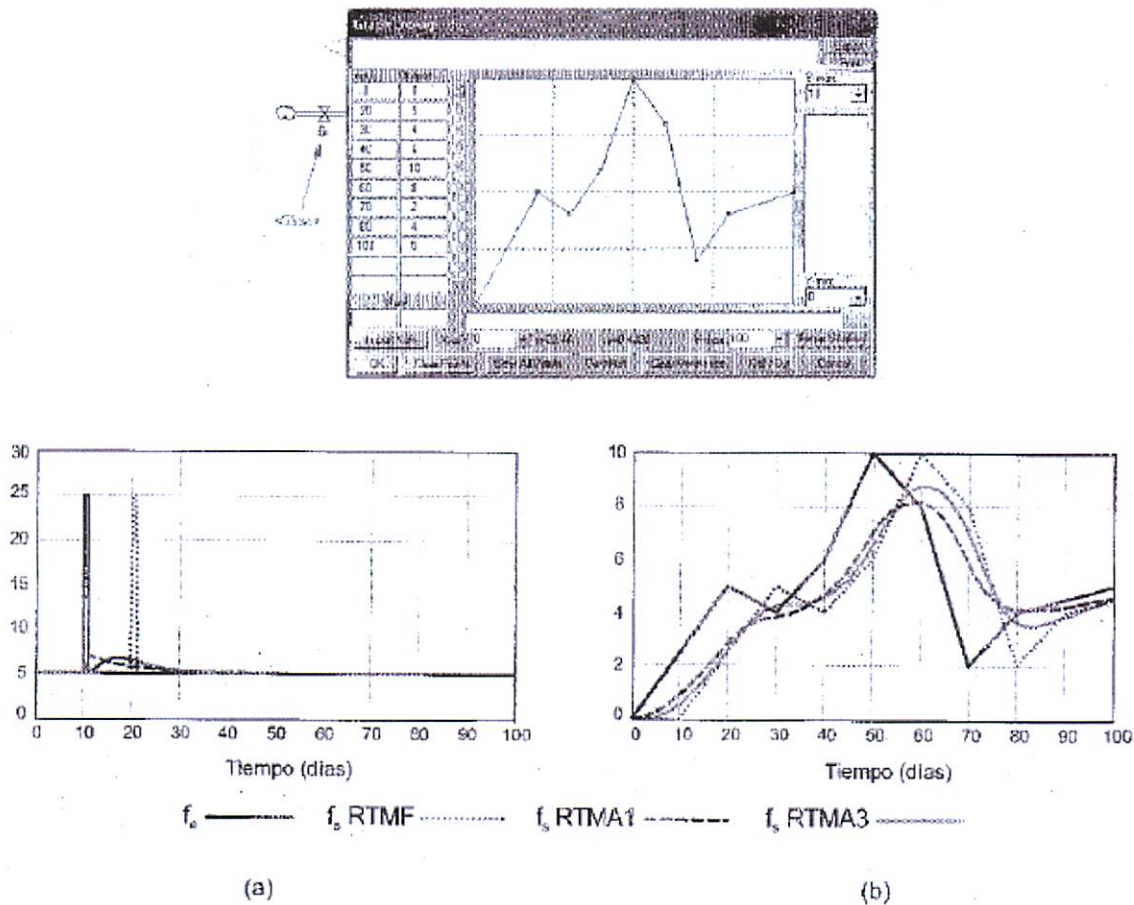


Figura 4.7: Ejemplos de flujos retrasados 10 unidades de tiempo utilizando las estructuras elementales RTMF, RTMA1 y RTMA3.

- **Ejercicio 4.5:** Comprobar que un modelo en Vensim destinado a simular un canal de información con un retraso comprendido entre un valor T_{d_min} y T_{d_max} se puede programar encadenando un retraso puro de valor T_{d_min} con un retraso de valor $(T_{d_max} - T_{d_min})/3$ aproximado por tercer orden.
- **Ejercicio 4.9:** Reproducir en Vensim el modelo de la Figura 4.20 y los resultados analizados en esta sección.

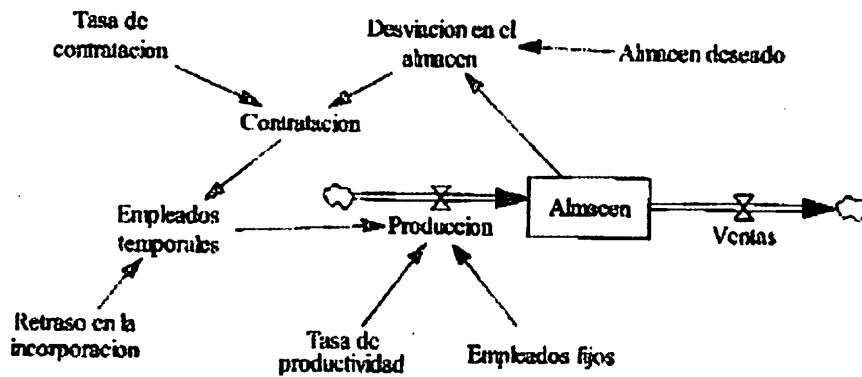


Figura 4.20: Modelo en Vensim para analizar el control del stock de productos en un almacén.

- **Ejercicio 4.11:** Proponga al menos dos ejemplos de adición distintos a los comentarios en esta sección. Y justifíquelos de forma razonada.
- **Ejercicio 4.12:** a) Programe en Vensim el modelo de la Figura 4.27 y utilícelo para reproducir los resultados de la Figura 4.28. b) Añada la limitación impuesta por la ecuación (4.20) y compruebe que, como se ha comentado en el párrafo anterior, la solución sintomática es insuficiente para atender un cambio sostenido en las ventas. c) Este último modelo es una buena ocasión para practicar con el chequeo de unidades (mantener la coherencia en las unidades), ponga las unidades en todas las variables y ayúdese de la opción Units Check (del menú Model) de Vensim hasta conseguir que el modelo no tenga errores en las unidades.

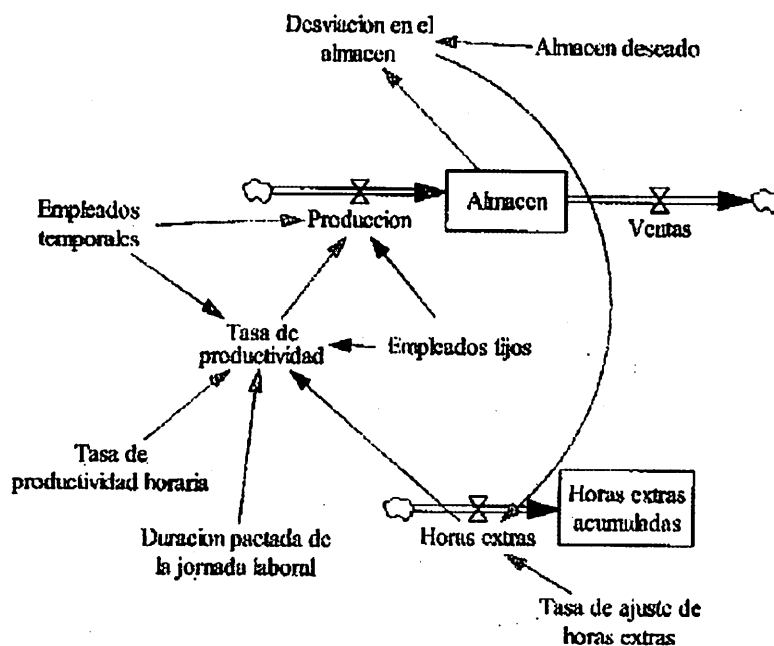


Figura 4.27: Modelo en Vensim sobre el control del stock de productos en un almacén ampliando la jornada laboral de los empleados con horas extras. Se puede considerar como la solución sintomática.

$$Horas\ extras(t) = \min \left(\max(Tasa\ de\ ajuste\ de\ horas\ extras \cdot Desviacion\ en\ el\ almacén(t)), \right. \\ \left. Maximo\ de\ horas\ extras\ por\ empleado(E_fijos + E_temporales) \right) \quad (4.20)$$

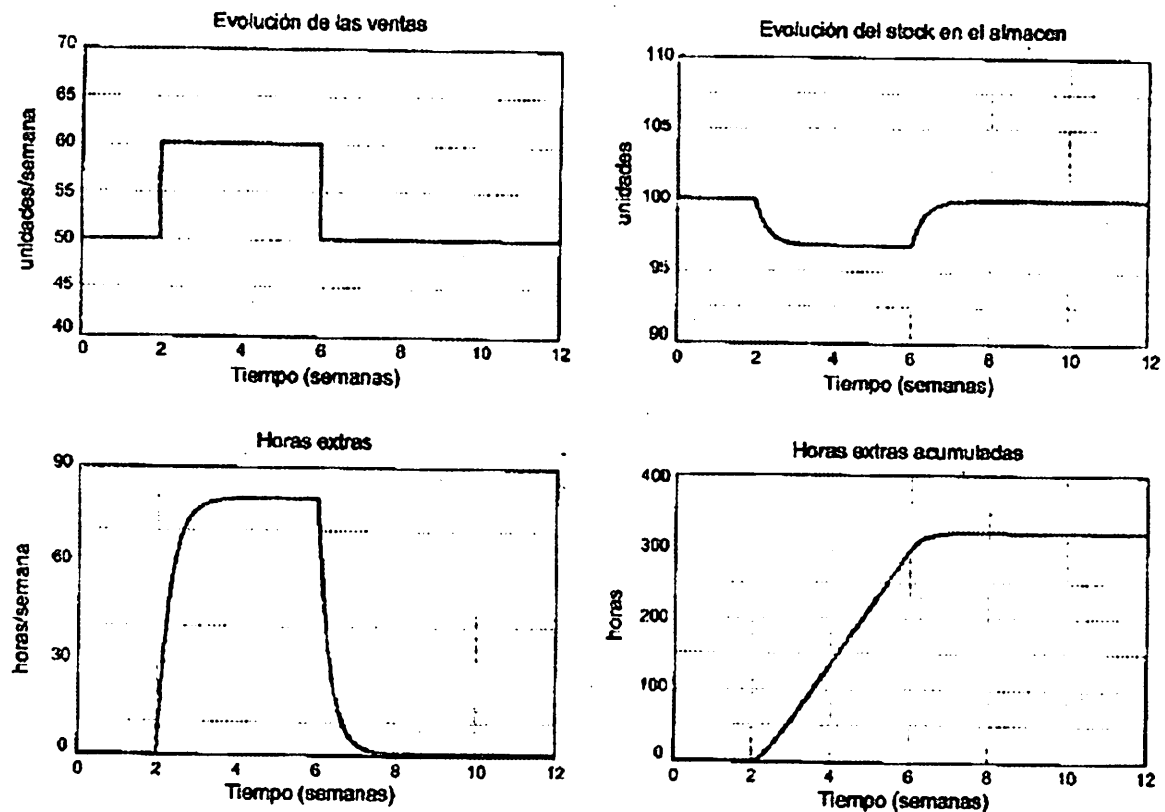


Figura 4.28: Gráficos de la evolución de las *Horas extras* y las *Horas extras acumuladas* del modelo de la Figura 4.27 en las condiciones manifestadas por la dirección de la empresa.

- **Ejercicio 4.15:** a) Programe en Vensim el modelo de la Figura 4.36 y utilícelo con *Tasa de cambios en los objetivos* igual a 0 e igual a 1 semana⁻¹, respectivamente, para reproducir los resultados de la Figura 4.37. b) Pruebe otros valores de la *Tasa de cambios en los objetivos* para comprobar que la empresa puede emplear este parámetro para condicionar su política de erosión de metas.

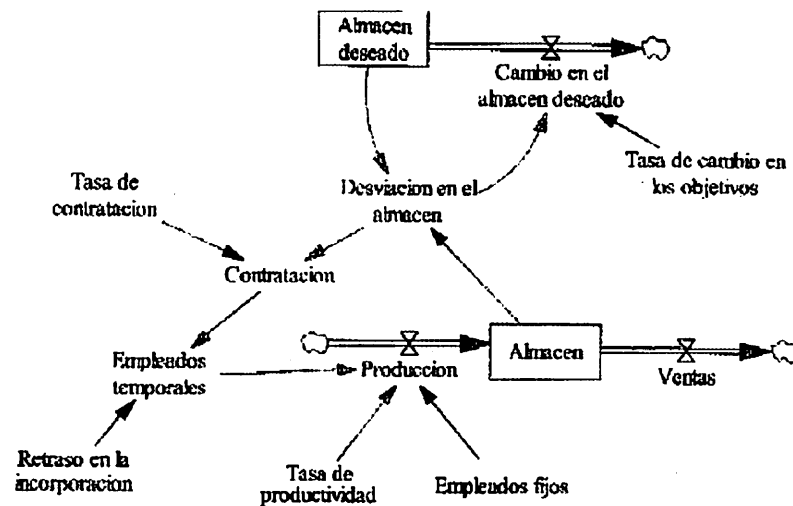


Figura 4.36: Modelo en Vensim para analizar el control del stock de productos en un almacén sujeto a cambio de objetivos.

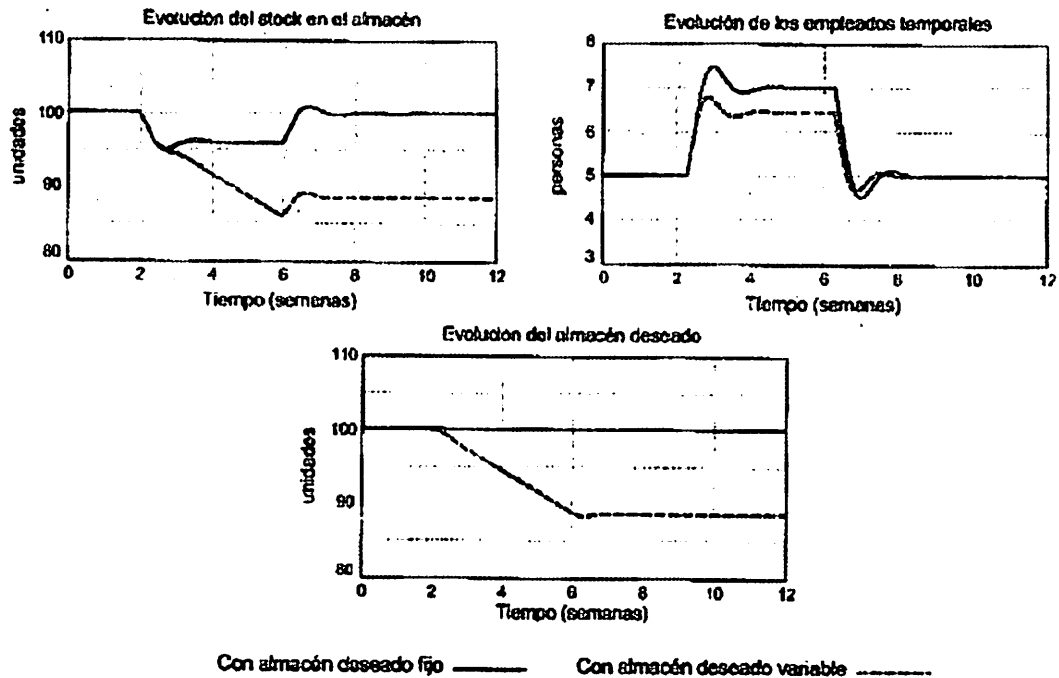


Figura 4.37: Gráficos comparativos con la evolución de las variables más representativas de los modelos de la Figura 4.20 (almacén deseado fijo) y de la Figura 4.36 (almacén deseado variable).

- **Ejercicio 4.17:** a) Utilice las ecuaciones (4.25) a (4.33) para trazar los correspondientes diagrama de influencias y diagrama de Forrester. b) Justifique razonadamente que el diagrama de influencias de este modelo responde al arquetipo de crecimiento con inversión insuficiente.

$$\frac{d \text{Demanda}(t)}{dt} = \text{Difusion}(t) - \text{Disipacion}(t) \quad (4.25)$$

$$\text{Difusion}(t) = k_m \left(1 - \frac{\text{Demanda}(t)}{\text{Demanda maxima}} \right) \text{Demanda}(t) \quad (4.26)$$

$$\text{Disipacion}(t) = \text{Tasa de disipacion} \left(\frac{\text{Tiempo medio de entrega}(t)}{\text{Tiempo de entrega esperado}} \right) \text{Demanda}(t) \quad (4.27)$$

$$\frac{d \text{Pedidos acumulados}(t)}{dt} = \text{Nuevos pedidos}(t) - \text{Entregas}(t) \quad (4.28)$$

$$\text{Nuevos pedidos}(t) = \text{Demanda}(t) \quad (4.29)$$

$$\text{Entregas}(t) = \min \left(\frac{\text{Pedidos acumulados}(t)}{\text{Unidad de tiempo}}, \text{Capacidad de produccion}(t) \right) \quad (4.30)$$

$$\text{Tiempo medio de entrega}(t) = \frac{\text{Pedidos acumulados}(t)}{\text{Entregas}(t)} \quad (4.31)$$

$$\frac{d \text{Capacidad de produccion}(t)}{dt} = \text{Inversion}(t) \quad (4.32)$$

$$\text{Inversion}(t) = \text{DELAY FIXED} \left(\frac{\text{Tasa de inversion} \cdot (\text{Tiempo medio de entrega}(t) - \text{Tiempo de entrega deseado})}{\text{Retraso en la inversion}} \right) \quad (4.33)$$

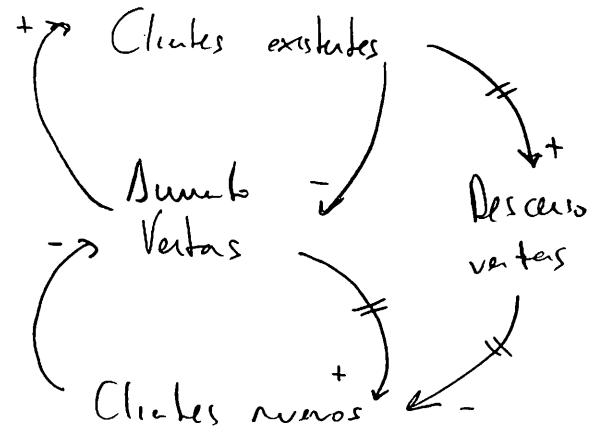
INGENIERIA DE SISTEMAS

EXERCICIOS PROPUESTOS TEMA 4

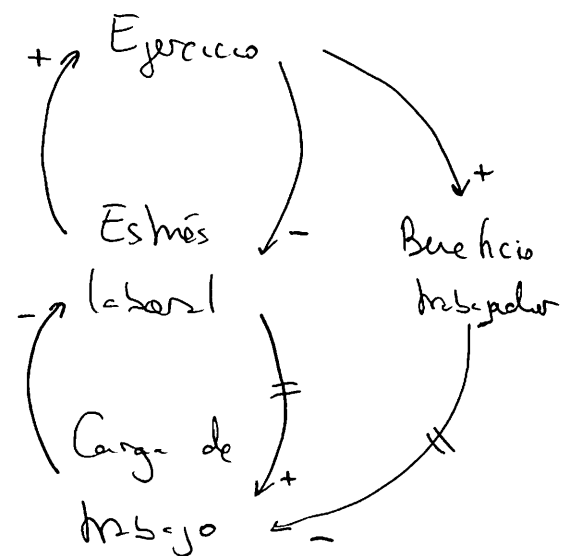
4.11

Siguen también el arquetipo de la adicción las siguientes situaciones:

- Para aumentar las ventas de un producto, vender más - los clientes actuales en vez de buscar nuevos clientes. Al principio las ventas aumentarán; pero cuando los clientes ya no consuman más o no necesiten el producto, se necesitará de clientela nueva para poder mantener un número de ventas elevado



- En una empresa, se busca combatir el estrés laboral promoviendo solo el ejercicio físico. Al principio los trabajadores mejorarán su estado; pero al ser la carga de trabajo igual, a medida que pase el tiempo y no se reduzca la carga laboral, el ejercicio no será la solución para aliviar el estrés laboral de los trabajadores



4.17

Variables de estado : Demanda, Pedidos acumulados, Capacidad de producción

Variables de flujo : Difusión, Disipación, Inversión, Nuevos pedidos, Entregas

Variables auxiliares: Tiempo medio de entrega

Constantes: Demanda máxima, Tiempo de entrega-esperado, Tasa de inversión,
Retorno en la inversión

Diagramme de forces

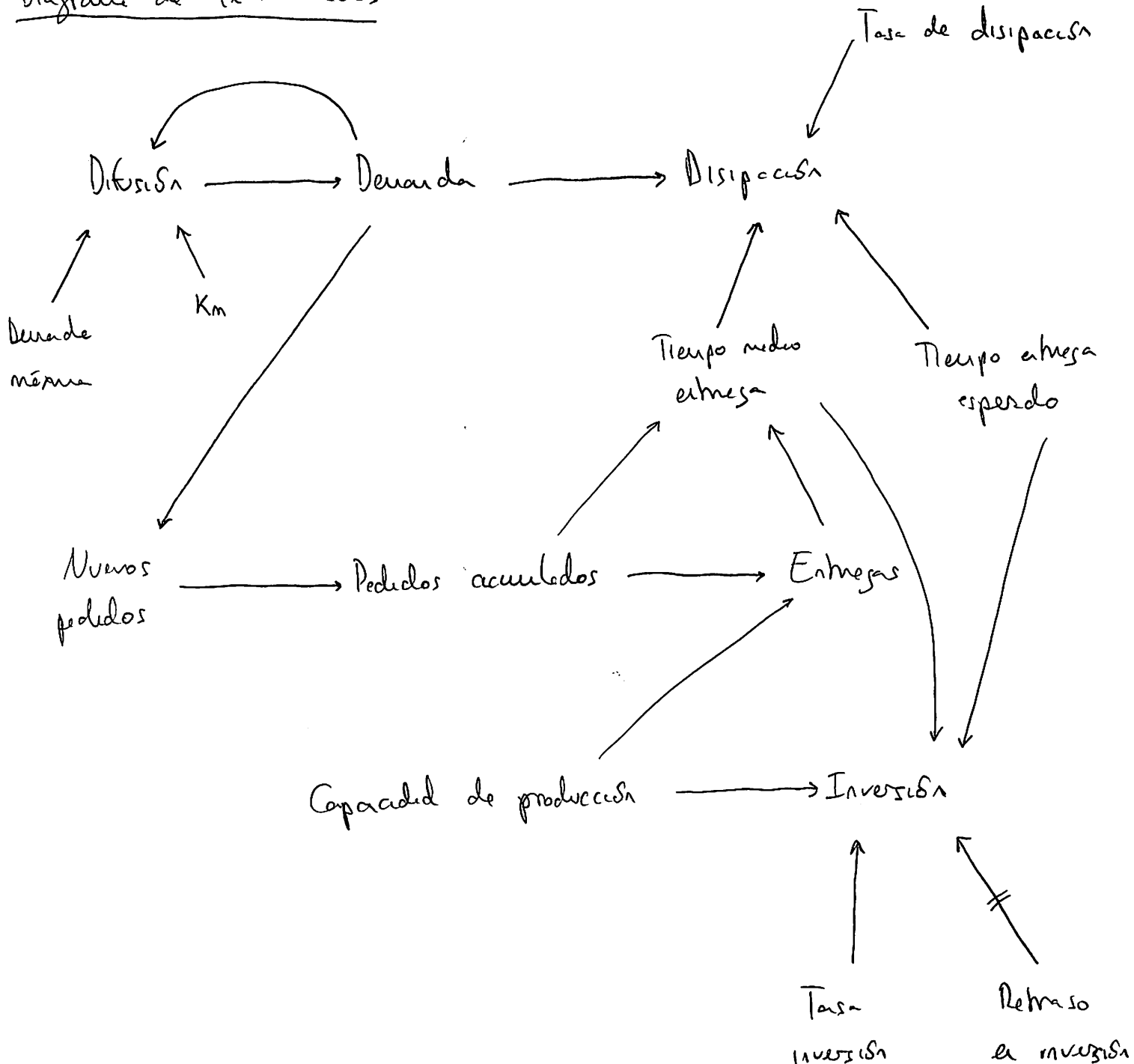


Diagrama de Forrester

