

CONTRATO

IICA / INDRHI / CSU

IICA
PM-A100
86-011

JTI
OP
RI



INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS
HIDRAULICOS (INDRHI)



UNIVERSIDAD DEL
ESTADO DE COLORADO
(CSU)

ESTUDIOS SOBRE LA OPERACION Y SEGURIDAD DEL SISTEMA DE EMBALSES DE VALDESIA

INFORME FINAL

MANUALES DE OPERACION DE MODELOS COMPUTARIZADOS
PARA LA OPERACION NORMAL DE SISTEMAS DE EMBALSES 1/

DOCUMENTO No.

45
31/08/86





Serie Publicaciones Misceláneas

A1/DO-86-011

ISSN-0534-5391

IICA-CIDEB

INFORME FINAL
MANUALES DE OPERACION DE MODELOS COMPUTARIZADOS
PARA LA OPERACION NORMAL DE SISTEMAS DE EMBALSES ^{1/}

45

31/08/86

1/ Este documento fue elaborado por los técnicos J.W. Labadie, D.G. Fontane, V. Floris y N-F Chou, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado.

GV 003531

USA
PH- AI /DO
E6- CII

00001508

PRESENTACION

Los estudios de Operación y Seguridad del Sistema de Embalses de Valdesia fueron ejecutados conjuntamente por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) de la República Dominicana, la Universidad del Estado de Colorado (CSU) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a través del Contrato IICA/INDRHI/CSU firmado el 6 de abril de 1984. Los estudios se iniciaron el 6 de agosto de 1984 y finalizaron el 31 de agosto de 1986.

Los estudios fueron financiados por el INDRHI a través del préstamo 1655-DO del Banco Mundial.

La ejecución de los estudios se desarrolló en seis áreas:

- a) Estudios Hidrológicos
- b) Operación Normal
- c) Operación de Emergencia
- d) Inspección, Mantenimiento y Seguridad de Presas
- e) Organización para la Operación del Sistema de Embalses
- f) Entrenamiento y Transferencia de Tecnología

En este documento se incluye parte del material técnico del Informe Final, el cual consta de los siguientes volúmenes:

- Resumen
- Estudios Hidrológicos
- Operación Normal
- Estudios de Operación de Crecidas
- Estudios de Inspección, Mantenimiento y Seguridad de Presas
- Organización y Funciones para la Operación del Sistema de Embalses de Valdesia.



- Transferencia de Tecnología y Capacitación.
- Plan de Operación de Emergencia para el Sistema de Embalses de Valdesia.
- Plan de Operación Normal para el Sistema de Embalses de Valdesia:
(1) Riego y Energía, (2) Control de Crecidas.
- Manuales de Operación de Modelos Computarizados para la Operación Normal del Sistema de Embalses.
- Manual de Usuario de Modelos de Sistemas Hidrológicos.

Santo Domingo, República Dominicana
31 de agosto de 1986

DR. JOSE D. SALAS
Coordinador por CSU

DR. AGUSTIN A. MILLAR
Coordinador General
Estudios Embalse Valdesia
(IICA)

ING. JULIO M. LLINAS
Coordinador por INDRHI



TABLA DE CONTENIDOS

1.	Introduccion	1
2.	Implementacion de los modelos en microcomputadoras	1
3.	Manual de operacion del modelo CSUDP	3
4.	Ejemplo del uso del modelo CSUDP	20
5.	Manual de operacion del modelo MODSIM	42
6.	Ejemplo del uso del modelo MODSIM	66
	Ejemplo 1	66
	Ejemplo 2	69
	Ejemplo 3	74
7.	Referencias bibliograficas	94



MANUALES DE OPERACION DE MODELOS COMPUTARIZADOS PARA LA OPERACION NORMAL DE SISTEMAS DE EMBALSES

1. Introduccion

El presente documento contiene los manuales de operacion de los modelos computarizados para la operacion normal de sistemas de embalses. Nos referimos propiamente al programa de simulacion MODSIM y al de optimizacion CSUDP, ambos desarrollados en la Universidad del Estado de Colorado (CSU). Se esta incluyendo ademas ejemplos practicos de su uso con sus respectivos archivos de entrada y resultados.

Los modelos mencionados han sido especialmente adaptados para la operacion normal del sistema de Valdesia, en la Republica Dominicana, bajo convenio IICA-CSU-INDRHI.

2. Implementacion de los Modelos en Microcomputadoras

Los modelos arriba citados han sido escritos en lenguaje FORTRAN 77 e implementados en microcomputadoras IBM PC. Ambos han sido compilados mediante el compilador MicroSoft FORTRAN V3.20 y MS-FORTRAN linker V2.41 con el sistema operativo PC DOS 2.00. La minima memoria requerida para la ejecucion de estos programas es detallada en la tabla 2.1. No es requisito pero si recomendable tener el coprocesador 8087 en la PC ya que acelera la ejecucion de los programas, especialmente el CSUDP.

El modelo MODSIM ha sido disenado de tal forma que el usuario no necesita conocer ninguna instruccion FORTRAN. Los archivos de entrada son creados a uase de preguntas-respuestas al ser ejecutado el programa. Ademas es mostrado en pantalla, en el momento requerido, la

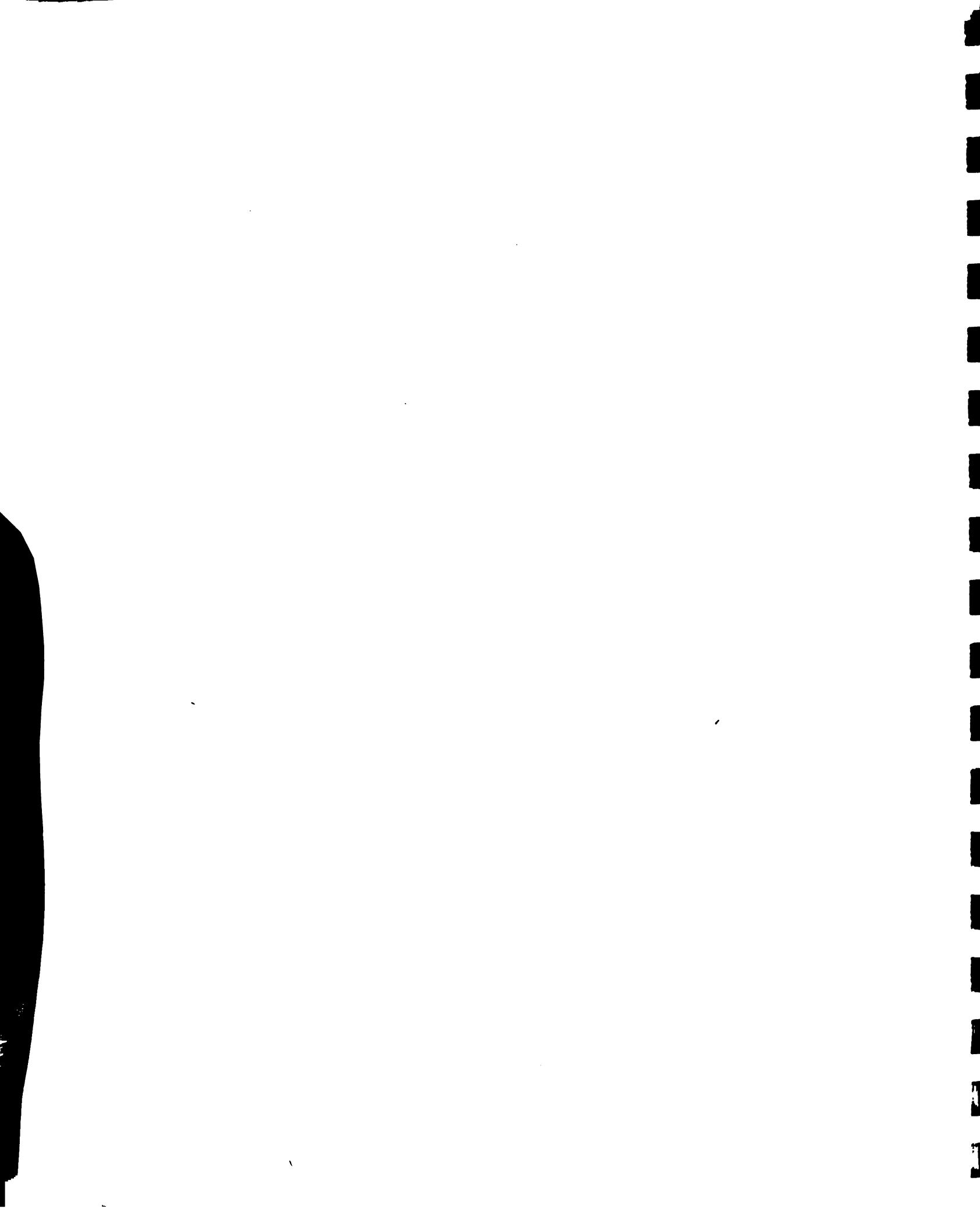


accion siguiente que el operador debera realizar. Para el modelo CSUDP el usuario debera preparar en FORTRAN 77 los subrutinas STATE, OBJECT y READIN, compilarlas y luego integrarlas al programa principal ya compilado. Acompanan a estos programas los archivos READ.ME! que dan, en detalle, la informacion pertinente para realizar estos procesos.

Tabla 2.1. Memoria Minima requerida para la ejecucion de los modelos CSUDP y MODSIM en una microcomputadora IBM PC.

	CSUDP	MODSIM
Programa en FORTRAN	36,110	72,378
Requerimiento del Math library	32,306 (8087.LIB)	40,214 (MATH.LIB)
Constantes, Variables Estaticas y Stack Segment	11,824	17,472
Common Blocks	46,736	113,873
Total	126,976	243,937
Memoria requerida	192K bytes	320K bytes

Nota: 1. Unidades en bytes
2. Se ha asumido 512 bytes de stack segment



3. Manual De Operacion del Modelo CSUDP

CSUDP

PROGRAMA DE PROGRAMACION DINAMICA DE PROPOSITOS MULTIPLES

CODIFICADO POR J.W. LABADIE, J.M. SHAFER Y D.G. FONTANE

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE COLORADO.

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa CSUDP resuelve los siguientes problemas de programacion dinamica:

1. uni y multidimensionales .
2. hacia atras y hacia adelante
3. deterministicos y estocasticos
4. con ecuacion de estado invertible y no invertible

Si el problema es multidimensional solo es permitido formulaciones invertibles y deterministicas. Programacion dinamica incremental (o diferencial discreta) es usada en este caso. Sin embargo, CSUDP puede resolver ambos casos unidimensionales no invertibles e invertibles deterministicas o estocasticas. Problemas con funciones objetivo y/o ecuaciones de estado analiticas y/o tabulares, tambien pueden ser resueltos.

Para solucionar un problema de programacion dinamica hacia adelante el usuario debe formular el problema de tal forma que la etapa se refiera al numero de etapas "remanentes" hasta el final del

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

análisis. Por ejemplo, supongamos que tenemos un problema de programación dinámica de cuatro etapas.. Para resolverlo debe ser formulado de tal forma que la primera etapa es definida como la cuarta; esto es, existen cuatro etapas remanentes al final del problema. La segunda etapa es definida como etapa 3, la tercera como la segunda y la final como la primera. Luego el usuario formula su ecuación de estado e ingresa los límites variables y los datos de acuerdo a la nomenclatura de la nueva etapa.

Pueden ser resueltas las siguientes funciones objetivo:

* tipo 1 * $\text{MIN (o MAX) } F(X), U(1), X(2)+ \dots + F(N), U(N), X(N+1)$

* tipo 2 * $\text{MIN (MAX (F(1), U(1), X(2), \dots, F(X(N), U(N), x(N+!))) o,}$
 MAX (MIN (...))

* tipo 3 * $\text{MIN (o MAX) } F(X(1), U(1), X(2)*\dots * F(X(N), U(N), X(N+1))$

Sujeto a:

$$X(I+1) = G(X(I), U(I), X(I+1))$$

$$X_{\text{MIN}} \leq X(I) \leq X_{\text{MAX}}(I) \quad (\text{para } I=1, \dots, N+1)$$

$$U_{\text{MIN}} \leq U(I) \leq U_{\text{MAX}}(I) \quad (\text{para } i=1, \dots, N)$$

Restricciones pueden ser incluidas indirectamente via terminos penalizadores en la funcion objetivo (sera explicado posteriormente).

Fije JTYPE = 1 para la solucion del problema tipo 1.

Fije JTYPE = 2 para la solucion del problema tipo 2.

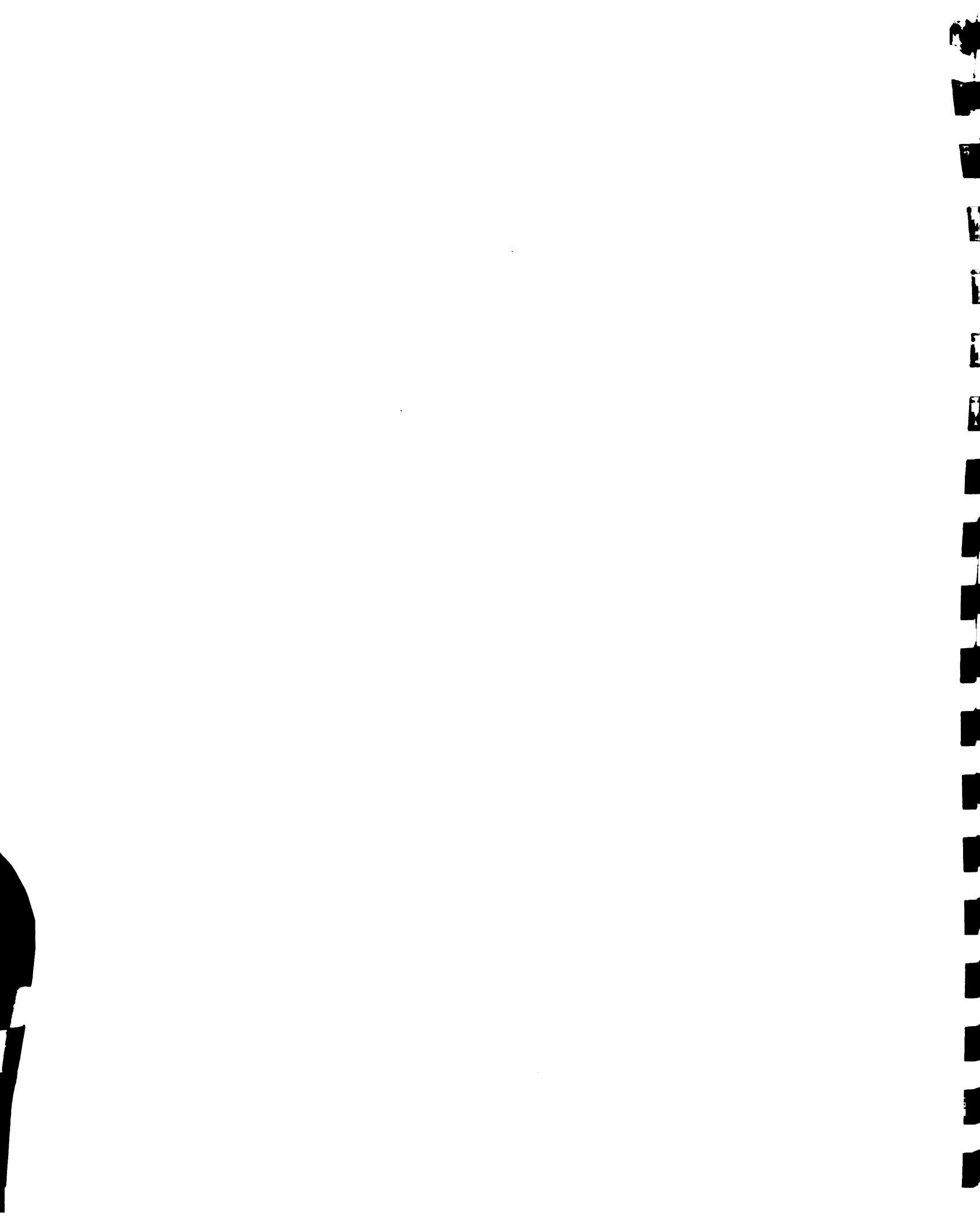
Fije JTYPE = 3 para la solucion del problema tipo 3. (para todos F(I)

.GT. 0)

Use INDEX = 1 para un problema de minimizacion

Use INDEX = 2 para un problema de maximizacion

N = numero de etapas.



ND = numero de variables de estado $X(I)$ para la etapa I (dimension del problema). La maxima dimension es igual a 5 para este programa.

MD = numero de variables de decision $U(I)$ para la etapa I. No puede exceder de ND.

Usar JTIE = 0 para retener el primer valor de la funcion objetivo que ha "empatado" con otro en la misma etapa.

Usar JTIE = 1 para retener el ultimo valor.

DELX = discretizacion del intervalo para el vector de estado $X(I)$. El usuario debe buscar una escala para los valores de $X(I)$ de tal forma que el mismo DELX puede ser usado para todos los demas. DELX no varia con las etapas.

**** PRECAUCION **** Seleccione DELX cuidadosamente. Si es muy pequeño el tiempo de computadora puede ser excesivo. Si es muy grande se puede no encontrar el optimo.

DELU = intervalo de discretizacion para la variable de control $U(I)$.

Una opcion divisoria es incluida en este programa la cual es permitada en DELX y DELU para problemas deterministicos y solo para DELX en problemas estocasticos invertibles con probabilidades independientes. Se define opcion divisoria a la reduccion sucesiva de DELX para obtener asi una mayor precision. Es una buena idea empezar con un DELX grosero para luego reducirlo sucesivamente hasta encontrar la precision requenda.

Si ISPL = 0 no ocurre division alguna

Si ISPL = 1 ocurre division en DELX



Si ISPL = 2 ocurre division en DELU

NOTA: si ISPL = 2 no habra ahorro de memoria en el computador y el tiempo de uso se incrementara. Es mejor usar la opcion 1 y fijar DELU de acuerdo al grado final de precision.

DELXI = DELX inicial

DELXF = DELX final

DELUI = DELU inicial

DELUF = DELU final

SPLICE = cantidad mayor o igual que 1.0 por medio del cual DELX(o DELU) es reducido para cada iteracion sucesiva (DELX nuevo = DELX viejo/ SPLICE)

** NOTA ** si la funcion objetivo y/o restricciones son usadas en forma de data tabular, DELXF debe ser igual a DELI.

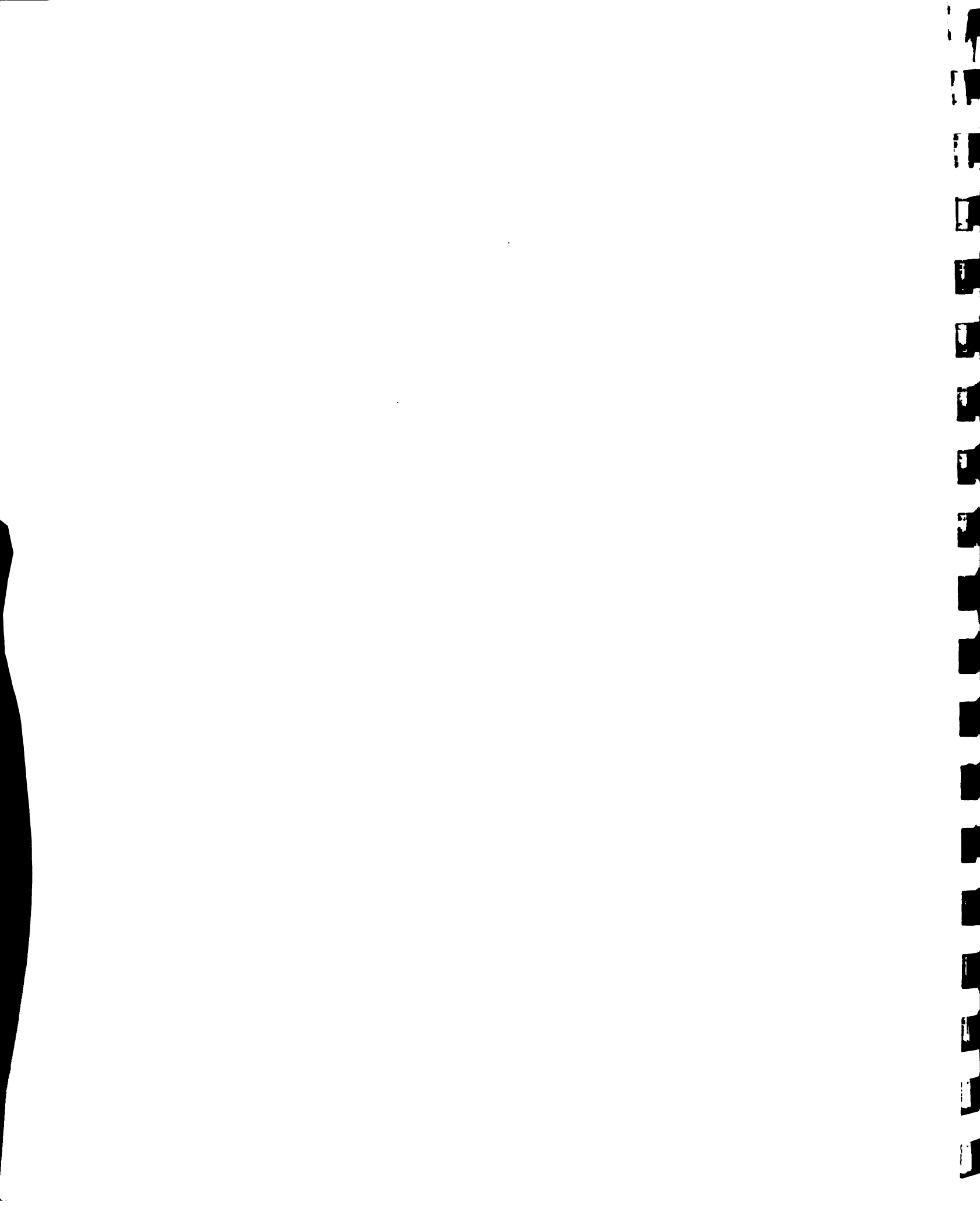
XMULT = ancho del corredor en terminos de $XMULT \cdot DELX$ (o DELU) por encima y por debajo de X^* (o U^*) solamente para problemas unidimensionales. Para problemas multidimensionales XMULT es automaticamente fijado igual a 1.0

Fije INVERT = 0 si no es posible invertir la(s) funcion(es) G y expresar U(I) como una funcion explicita de X(I) y X(I+1). Esto tambien es aplicable si la data tabular con respecto a U(I) es usada en la ecuacion de estado y/o la funcion objetivo.

Fije INVERT = 1 si la funcion G es invertible.

** PRECAUCION ** Si la dimension (ND) es mayor que 1, el problema debe estar en la forma invertible.

Fije TOL = error de truncacion permitido entre X(I+1) y la funcion G.
Es usado solamente para problemas unidimensionales.



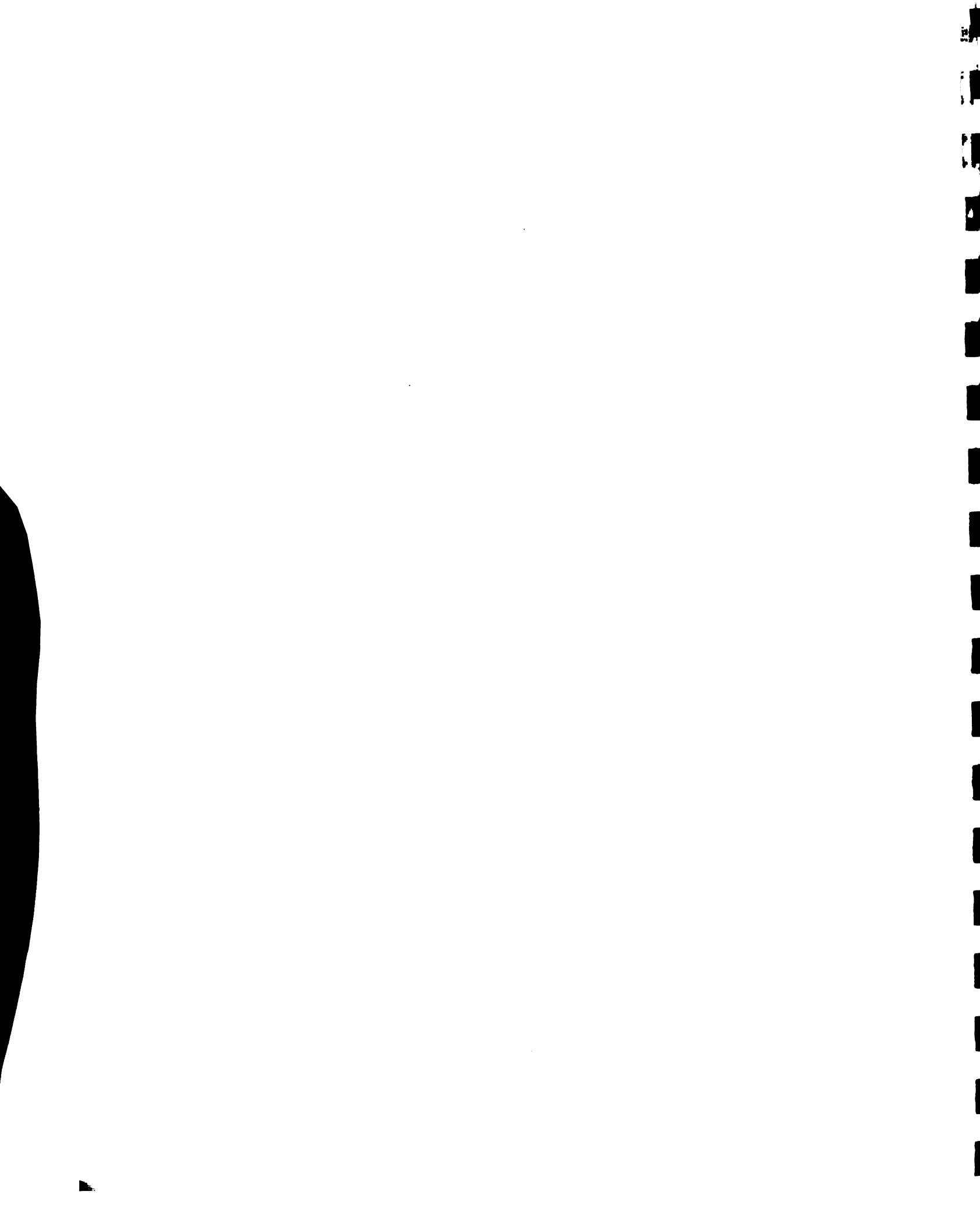
invertibles. Si no nos preocupa el error de truncacion haga $TOL = 0.5*DELX$, de lo contrario haga TOL igual a un valor menor que $0.5*DELX$. El programa puede tener dificultad en encontrar la solucion optima si es considerado un valor de TOL muy bajo.

Fije ISTOCH =1 si es un problema estocastico y es ingresado variables aleatorias. De lo contrario haga ISTOCH = 0. Si ISTOCH = 1, IPRINT automaticamente se convierte en 2 ya que no es posible la busqueda hacia atras de las variables de decision optimas.

Fije RISKLO = nivel de riesgo ingresado por el usuario el cual esta asociado con la violacion de $XMIN(i+1)$, $i=1, \dots, N$ para problemas estocasticos.

Fije RISKHI = nivel de riesgo ingresado por el usuario el cual esta asociado con la violacion de $XMAX(i+1)$, $i=1, \dots, N$ para problemas estocasticos.

**** NOTA **** En este programa, dada una determinada politica de decision, el riesgo se acumula con cada violacion de $XMIN(I+1)$ y/o $XMAX(I+1)$, ya que $RIESGO = RIESGO + NIVEL DE PROBABILIDAD ASOCIADO A LA VARIABLE ALEATORIA (R)$. Cuando el riesgo es igual o excede los limites especificados (RISKLO y/o RISKHI) la politica correspondiente es declarada no factible. El valor alternativo (default) de RISKLO y RISKHI es cero. Si el problema es invertible, RISKLO y RISKHI estan asociados con $UMIN(I)$ y $UMAX(I)$ aunque nuestra mayor preocupacion sea la factibilidad de la variable aleatoria $X(I+1)$. Note en la ecuacion de estado que un incremento de U resulta en un decremento de $X(I+1)$, entonces el riesgo indirectamente representa el riesgo de violar



XMAX(I+1) y viceversa para RISKHI. Por otro lado, si un incremento de U implica tambien un incremento de X(I+1) en la ecuacion de estado, el nivel del riesgo corresponde al caso no invertible. RISKLO y RISKHI son colocados en forma de fracciones.

Fije NTRANS = numero de matrices de transicion a ser ingresadas. Las filas corresponden a los valores de las variables aleatorias en la etapa I, las columnas a los valores de las variables aleatorias en la etapa I-1.

NTRANS = 0 si son usadas probabilidades independientes

NTRANS = 1 si el analisis es deterministico

Fije IPRINT = 1 para obtener solamente la solucion final

IPRINT = 2 para las politicas optimas completas para cada etapa y estado.

IPRINT = 3 para ambos casos arriba mencionados.

** NOTA ** si ND .GT. 1, la opcion IPRINT = 3 no es valida.

A pesar que para la mayoria de los problemas es suficiente con usar los valores alternativos de las tolerancias, es mejor especificarlos.

Fijar ITSET = 0 si son usados los valores alternativos

ITSET = 1 el usuario ingresa las tolerancias

TOL1 = numero grande que castiga la no factibilidad y fuerza al programa a tomar una solucion factible. El valor alternativo es 1.0E31.

TOL2 = 0.1*TOL1. Valor absoluto de la funcion objetivo total, mas otros terminos de penalizacion anadidos por el usuario. No debe exceder de TOL1.

FSTART = valor de funcion objetivo en la etapa N+1, FMIN(N+1).



ITMAX = numero maximo de iteraciones permitidas si el problema es multidimensional.

Para problemas con valores iniciales donde $X(I)=C(\text{dado})$, haga $XMIN(1)=XMAX(1)=C$. De lo contrario, seran calculadas las soluciones optimas para todos los valores discretos $X(I)$ entre $XMIN(1)$ y $XMAX(1)$. Para problemas con valores finales haga $XMIN(N+1)=XMAX(N+1)=C(\text{dado})$.

** PRECAUCION ** cuando se ejecutan problemas no invertibles que son de valores finales, debe incluirse algun valor adicional en $XMIN(N+1)$ y $XMAX(N+1)$ porque el programa puede no exactamente hallar el estado final debido a errores de redondeo y, por lo tanto, no ser capaz de encontrar una solucion factible.

Este programa esta dimensionado para un maximo de 100 etapas y 100 discretizaciones de la variable de estado $X(I)$ en caso de problemas unidimensionales. Para casos de variables aleatorias esta dimensionado para un maximo de 15 intervalos.

** SUBROUTINA STATE (FORMULADA POR EL USUARIO) **

El proposito de esta subrutina es de formular la(s) ecuacion(es) de estado $X(I+1)=G(X(I),U(I),X(I+1))$, donde:

I = etapa actual

J = valor del vector entero actual usado en la data tabular (JD=1,ND) de los valores discretos $X(I,JD)$. Por ejemplo, J=1 corresponde a un $XMIN(I,JD)$; J=2 corresponde a un $XMIN(I,JD)+DELX$, etc.

K = valor del vector entero actual usado en la data tabular (JD=1,ND) de los valores discretos $X(I+1,JD)$. Por ejemplo,



K=1 corresponde a un $X_{MIN}(I+1,JD)$; K=2 corresponde a un $X_{MIN}(I+1,JD)+DELX$, etc.

L = valor del vector entero actual usado en la data tabular (LD=1,MD) de los valores discretos $X(I,LD)$. Por ejemplo, L=1 corresponde a un $U_{MIN}(I,JD)$; L=2 corresponde a un $U_{MIN}(I,JD)+DELU$, etc.

X = valor actual de $X(I,JD)$, $JD + 1$, ND

X1 = valor actual de $X(I+1,LD)$, LD = 1, MD

U = valor actual de $U(I<LD)$, LD = 1, MD

Si INVERT = 0, entonces...

INPUT = I,J,X,L y U

OUTPUT = X1

Si INVERT = 1, entonces...

INPUT = I,J,K,X y X1

OUTPUT = U

**** NOTA **** para los problemas de programacion dinamica hacia adelante, la etapa es definida como el numero de etapas remanentes:

$$I = N - II + 1$$

donde II es la etapa actual. Entonces el estado de entrada es ahora $X(I+1)$ y el estado de salida es $X(I)$. La ecuacion de estado de PD hacia adelante tiene la siguiente forma:

$$X(I) = G(X(I+1),U(I),X(I))$$

**** SUBROUTINA OBJECT (FORMULADA POR EL USUARIO) ****

El proposito de esta subrutina es la de formular la funcion objetivo $F(X(I), U(I), X(I+1))$. Tambien estan disponibles valores discretos de

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

J, K y L. F = valor actual de la función objetivo en la etapa I, el cual es el resultado de esta subrutina.

Esta subrutina es llamada inmediatamente después de STATE si U (para problemas invertibles) o X1 (para no invertibles) son factibles. Estos valores pasan a través de la subrutina OBJECT para el cálculo de función objetivo.

** NOTA ** para problemas no invertibles, es ejecutada una interpolación lineal simple en la función óptima (si es requerida). En este caso el programa hace una búsqueda hacia adelante a través de las diversas etapas, llamando a la subrutina OBJECT en cada etapa y calculando el valor exacto de la función objetivo. Estos valores interpolados son printeados con motivos de chequeo.

** SUBROUTINA READIN (FORMULADA POR EL USUARIO) **

Se usa si la data es leída etapa por etapa, recordando que el CSUDP resuelve el problema hacia atrás. La data para la etapa final debe aparecer primero y así sucesivamente, debiendo cada usuario especificar el formato respectivo. Estos datos leídos pueden ser pasados a través de OBJECT y STATE por COMMON BLOCKS. Los datos leídos con la instrucción READ deben ser almacenados en algún arreglo (array) o vector para las siguientes situaciones:

- (1) INVERT = 0
- (2) ISPL = 1
- (3) ND mayor que 1

En este caso los arreglos o vectores deben ser función de la etapa I. Si no existiera data alguna se deberá incluir de todas maneras esta subrutina sin instrucciones ejecutables:



SUBROUTINE READIN

RETURN

END

**** NOTA **** si se necesita mas de una iteracion (si ND es mayor que 1 o ISPL = 1) la subrutina READIN es automaticamente obviada (despues de haberse realizado un paso hacia atras a traves de las etapas) para prevenir ingreso repetitivo de data.

Note que el ingreso de I,J,K, y L en STATE y OBJECT permite el uso de data tabular. El usuario puede alternativamennte usar la instruccion DATA en STATE y OBJECT evitando hacerlo en READIN.

**** COMMON BLOCKS EN SUBRUTINAS STATE, OBJECT Y READIN (INSERTADOS POR EL USUARIO) ****

**** NOTA **** si la dimension (ND) es igual a 1 se usara:

COMMON / ONEDM / X,X1,U,F,I,J,K,L,R,PNALTY

y debera aparecer inmediatamente despues de la instruccion SUBROUTINE.

Si la dimension (ND) es mayor que 1, se usara:

COMMON / MULTDM / X(5),X1(5),U(5),F,I,J(3),K(5),L(5),PNALTY

y, como la anterior, debera estar despues de la instruccion SUBROUTINE.

Note que para problemas unidimensionales, cualquier variable aleatoria que aparece en STATE o OBJECT son ingresadas a traves de R via COMMON / ONEDM /.

Si existen algunas restricciones adicionales de la forma $H(X(I),U(I),X(I+1))$.LE. OR .EQ. OR .GE. 0.0 pueden ser indirectamente consideradas a traves de un termino penalizador en OBJECT si uno o mas de ellos es violado. En este caso es definido como PNALTY, el cual es automaticamente transferido al programa



principal a través de COMMON / ONEDM / (problemas unidimensionales) y COMMON / MULTDM / (problemas multidimensionales). Es eventualmente eliminado en el valor final de la función objetivo, pero es usado en la optimización al influir en la selección de las decisiones óptimas.



ENTRADA DE DATOS EN EL PROGRAMA CSUDP

RECORD 1 : formato 8A10

TITLE : titulo de la corrida (no exceder de 80 caracteres)

RECORD 2 : formato 615

INDEX = 1 para problemas de minimizacion

-1 para problemas de maximizacion

JTYPE = 1 problemas tipo 1

2 problemas tipo 2

3 problemas tipo 3

N = numero de etapas

ND = dimension del vector de estado X(I) para la etapa I

MD = dimension del vector de decision U(I) para la etapa

I

JTIE = 0 para retener el primer valor empatado

1 para retener el ultimo valor empatado

Si ND = 1 solo deberan ser incluidas los records 3A y 3B.

Si ND .GT. 1 use solo el record 3C.

RECORD 3A : formato 615 (solo para problemas unidimensionales)

INVERT = 0 problemas no invertibles

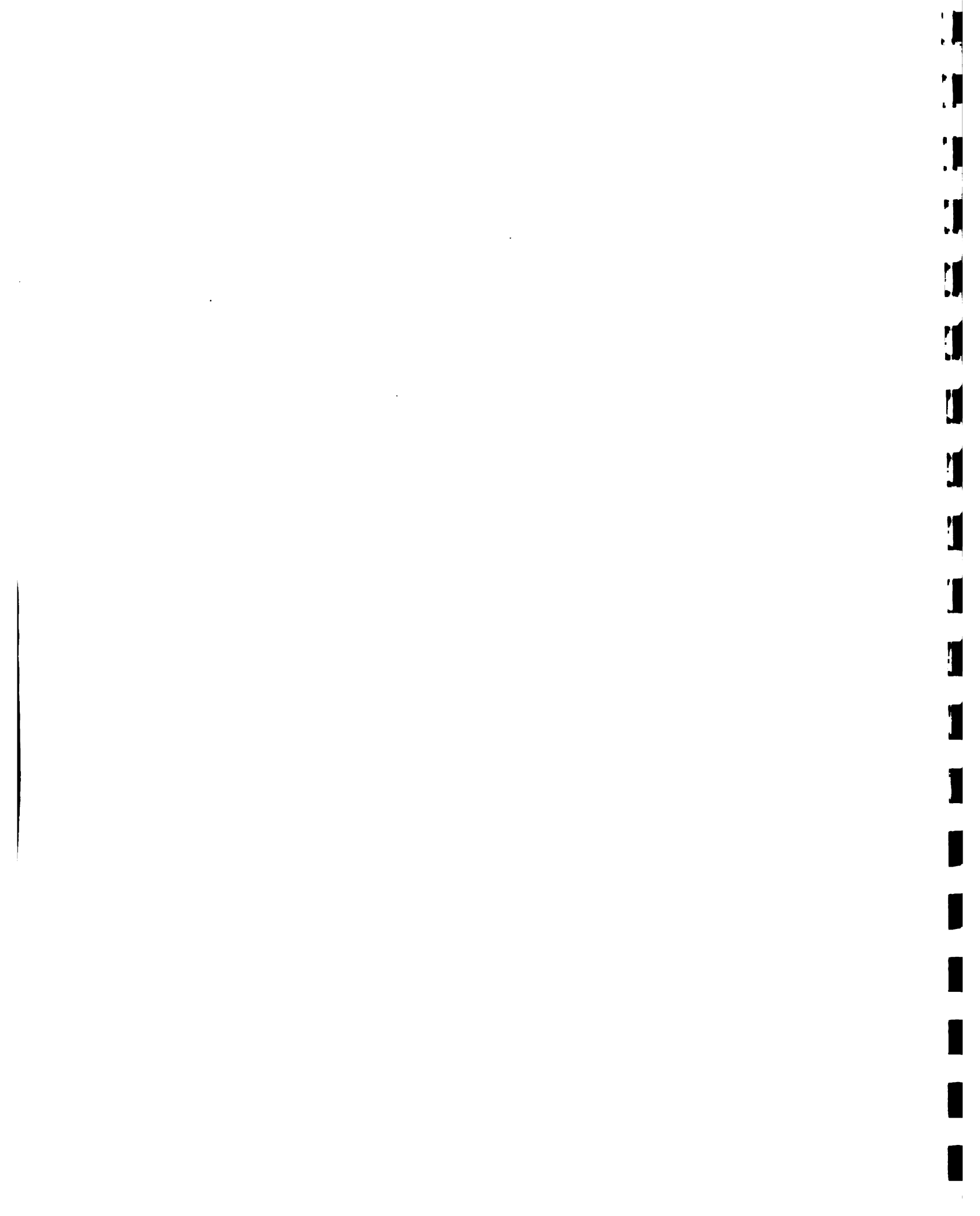
1 problemas invertibles

ISTOCH = 1 problemas estocasticos

0 problemas no estocasticos

NTRANS = 0 probabilidades independientes

N probabilidades transicionales



NTRANS = numero de las matrices de transicion ha
ser ingresadas.

Si NTRANS = 0 las probabilidades son
independientes

ISPL = 0 no division

1 division en DELX

2 division en DELU

ITSET = 0 se usa el valor alternativo para las tolerancias
y valores iniciales.

1 el usuario debera ingresar las tolerancias y el
valor inicial para $F(N+1)$

IPRINT = 1 printea solo la solucion optima

2 printea la solucion optima de cada etapa y
estado

3 realizada las dos anteriores opciones

RECORD 3B : formato BF10.4 (solo para problemas unidimensionales)

Si ISPL = 0 (record 3A) ingrese en el record 3B lo siguiente:

DELX = discretizacion en los intervalos de $X(I)$

DELU = discretizacion en los intervalos para $U(I)$

TOL = error de truncacion permitido para problemas no
invertibles.

RISKLD = nivel de riesgo para $XMIN(I+1)$ (para problemas
estocasticos).

RISKHI = nivel de riesgo para $XMAX(I+1)$ (para problemas
estocasticos).

ISPL = 1 ingrese el record 3B

DELXI = DELX inicial



DELXF = DELX final (precision final requerida)

DELU

TOL

SPLICE = cantidad de DELX que es dividido.

XMULT = ancho del corredor para $X(I+1)$, $XMULT*DELX$ por encima y por debajo de la trayectoria previa.

RISKLO = nivel de riesgo para $XMIN(I+1)$ (para problemas estocasticos).

RISKHI = nivel de riesgo para $XMAX(I+1)$ (para problemas estocasticos).

ISPL = 2 ingrese en el record 3B.

DELX

DELUI = DELU inicial.

DELUF = DELU final.

TOL

SPLICE = cantidad de DELU que es dividido con fines de reduccion.

XMULT = ancho del corredor para $U(I)$, $XMULT*DELU$ por encima y debajo de la trayectoria previa.

Vaya al record 4

RECORD 3C : formato 4F10.0, 2I5 (solo para problemas multidimensionales)

DELXI = intervalo de discretizacion inicial para $X(I,JD)$

DELXF = precision final requerida para $X(I,JD)$

DELU = orden de precision para la variable de control $U(I,LD)$

SPLICE = cantidad de DELX que es dividido con fines de reduccion si la trayectoria no varia.



ITMAX = maximo numero de iteraciones permitidas

IPRINT = 1 printea solamente la solucion optima

2 printea la solucion de cada iteracion

Ingrese secuencialmente los records 4 (NVX) y 5 por cada dimension de $JD=1, ND$. Estos son los limites de $X(I+1)$. Luego, para cada dimension de $LD=1, MD$ ingrese los records 4 (NVU) y 6. Estos son los limites de $U(I)$.

**** LIMITES DE X ****

RECORD 4 : formato I5

NVX = numero de veces que cambian los limites XMIN y XMAX desde la etapa 1 hasta $N+1$. Por ejemplo, si todos los limites de XMIN y XMAX son los mismos, NVX seria igual a 1, lo que se interpreta como los mismos limites XMIN y XMAX para cada etapa.

RECORD 5 : formato I5, 2F10.4

NX = etapa inicial para el grupo con limites en $X(I)$.

XMN = limite inferior de $X(I)$ al inicio de la etapa NX.

XXM = limite superior de $X(I)$ al inicio de la etapa NX.

Existen un numero NVX de records en el grupo 5.

**** LIMITES DE U ****

GRUPO DE RECORDS 4 : formato I5, 2F10.4

NU = inicio de la etapa para el grupo con limites en $U(I)$.

UMN = limite inferior de $U(I)$ al inicio de la etapa NU.

UMX = limite superior de $U(I)$ al inicio de la etapa NU.

Existen un numero de NVU records en el grupo 6.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Si $ND=1$, continúe con los grupos de records 7B, 8, 9 y 10 si es necesario. Si $ND > 1$ el grupo de records 7A es el último en ingresar.

GRUPO DE RECORDS 7B : formato 3F10.4

** NOTA ** omita este record si $ITSET = 0$ (record 3A).

TOL1 = número grande; valor opcional (default) = $1.0E10$.

TOL2 = $0.1 * TOL1$; valor opcional = $1.0E09$.

FSTART = $F(N+1)$; valor opcional ($JTYPE = 1$) = 0.0

($JTYPE = 2$) = $-1.0E10$.

($JTYPE = 3$) = INDEX

** NOTA ** ingrese el grupo de records siguientes si $ISTOCH = 1$ (record 3A), de lo contrario omitalo.

GRUPO DE RECORDS 8 : formato I10.

$NP(I)$ = número de valores de la variable aleatoria que deben ser ingresados en la etapa I.

MAX. = 15.

GRUPO DE RECORDS 9 : formato 8F10.4

$R(I,J)$ = valores discretos aleatorios para la etapa I para $J=1, NP(I)$.

GRUPO DE RECORDS 10 : formato 16F5.3

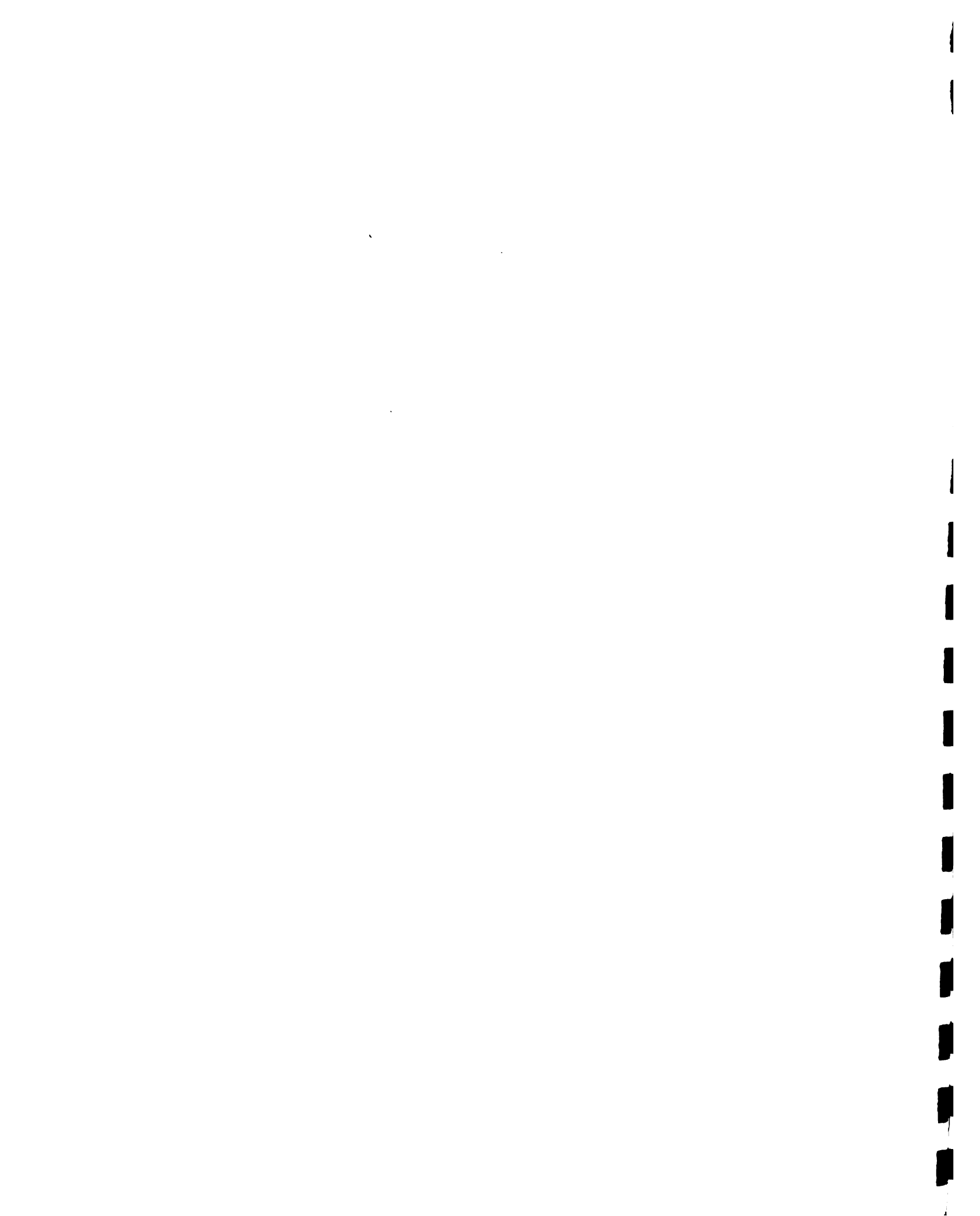
$P(I,J)$ = probabilidades asociadas con los valores aleatorios discretos para la etapa I, para $J= 1, NP(I)$.

** NOTA ** repita el grupo de records 8, 9 y 10 para cada etapa I, $I=1, N$.

Si son usadas las matrices de transición entre el grupo de records 8 y 9, deberá ingresarse finalmente las matrices NTRANS, $P(J,K)$, donde K va de 1 al número de entradas $NP(I)$ para la etapa I; J va de 1 al



numero de entradas $NP(I-1)$ para la etapa $I-1$. La data es leida fila por fila.



4. Ejemplo del uso del Programa CSUDP

Dada la información disponible en las tablas 4.1 a 4.4 ejecute el programa CSUDP para la obtención de las reglas operativas (determinísticas) para el embalse de Valdesia.



TABLA 4.1 Datos mensuales para el embalse de Valdesia

Año	Mes	Precipitación - Evaporación (mm) PME	Descargas (10 ⁶ m ³) AP	Niveles en el embalse (M.S.N.M.)	Horas de gene racion (Hrs) XNH	Descargas turbinadas	Energía generada (GW-h)EG
1982	Enero	- 75.80	48.31	137.72	257.15	26.14	3.65
	Febrero	- 69.30	75.17	141.19	837.75	98.14	14.57
	Marzo	-160.10	27.42	137.12	398.05	47.78	6.33
	Abril	- 45.40	23.20	133.59	267.70	28.93	3.73
	Mayo	193.30	45.49	132.42	208.17	22.37	2.90
	Junio	243.20	57.08	137.30	441.32	44.53	6.36
	Julio	- 96.60	48.31	139.45	579.90	61.89	8.53
	Agosto	-106.70	45.91	136.85	341.27	37.62	5.18
	Setiembre	40.10	39.24	138.77	350.12	37.38	5.23
	Octubre	- 23.60	34.19	138.70	302.10	31.02	4.34
	Noviembre	- 49.00	35.23	139.25	265.50	26.76	3.75
	Diciembre	-125.70	82.67	140.85	301.95	30.09	<u>4.54</u>
							69.11
1983	Enero	-124.50	56.53	148.11	384.12	41.59	6.61
	Febrero	- 65.20	22.30	149.84	342.95	32.10	5.15
	Marzo	- 18.70	22.52	148.61	725.70	74.11	11.47
	Abril	17.70	17.84	141.18	566.97	62.64	8.64
	Mayo	246.70	68.25	132.57	299.58	32.65	4.40
	Junio	97.50	65.43	139.28	512.02	60.43	8.87
	Julio	- 83.00	34.07	140.34	461.73	57.87	8.27
	Agosto	116.90	36.33	135.48	433.87	50.13	6.60
	Setiembre	15.00	34.68	132.49	265.13	29.98	3.82
	Octubre	- 28.70	39.14	133.60	410.22	47.14	6.05
	Noviembre	-116.20	28.48	131.79	281.95	32.64	4.15
	Diciembre	-111.50	21.82	130.59	140.45	15.66	<u>1.97</u>
							76.00
					TOTAL		<u>145.11</u>



TABLA 4.2 Elevacion-Area-Volumen para el embalse de Valdesia

ELEVACION (M.S.N.M.)	AREA (10 ³ m ²)	Volumen 10 ³ m ³	
		ORIGINAL	DESDE MAYO 1981
95	38	38	0
100	150	508	0
105	324	1693	0
110	871	4680	600
115	1572	10788	1173
120	2310	20493	6182
125	3406	34808	16214
130	4537	54669	32163
135	5664	80168	53736
140	6677	111021	80145
145	7492	146443	113465
150	8357	186066	153688
155	9000	229458	196487
160	9776	276398	243421



TABLA 4.3 Elevacion-Area-Volumen para el embalse Las Barias

ELEVACION (M.S.N.M.)	AREA 10^3 m^2	VOLUMEN (10^3 m^3)
69	0	0
70	52	50
72	190	240
73	310	450
74	460	800
75	640	1400
76	805	2100
77	910	3000
78	1000	4000
80	1140	6050



TABLA 4.4 Potencia a generar (MW) en función de la carga de agua y descargas

Descarga (m ³ /s)	Elevacion (M.S.N.M.)						
	130.75	134	137	141	144 -	147	150
0							
20	8.0	8.3	8.7	9.0	9.3	9.9	10.5
25	10.7	11.2	11.8	12.5	13.0	13.6	14.4
30	13.2	14.1	14.9	16.0	16.8	17.4	18.2
32.5	14.5	15.6	16.4	17.7	18.5	19.2	20.0
35	15.6	16.8	17.8	19.2	20.2	20.9	21.8
37.5	16.6	17.9	19.1	20.4	21.6	22.4	23.5
40	17.5	18.9	20.3	21.7	22.9	23.8	24.9
42.5	18.4	19.8	21.3	22.7	24.0	25.1	26.0
45	19.0	20.5	22.0	23.5	24.9	26.1	27.0



SUBROUTINE STATE

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

THIS SUBROUTINE CALCULATES THE MONTHLY WATER POWER RELEASES

CEAV : DATA FOR THE CURVES ELEVATION-AREA-VOLUME

PME : NET PRECIPITATION (PRECIP-EVAPOR) IN MM

AP : INFLOW IN MCM

X : WATER LEVEL AT THE INITIAL OF THE MONTH IN M.O.S.L.

X1 : WATER LEVEL AT THE END OF THE MONTH IN M.O.S.L.

U : WATER POWER RELEASES (MCM)

COMMON/ONEDM/X,X1,U,F,I,J,K,L,R,PNALTY

DIMENSION CEAV(14,3),PME(24),AP(24)

DATA CEAV/95.,100.,105.,110.,115.,120.,125.,130.,135.,140.,145.,

*150.,155.,160.,38.,150.,324.,871.,1572.,2310.,3406.,4537.,5664.,

*6677.,7492.,8357.,9000.,9776.,0.,0.,0.,600.,1173.,6182.,16214.,

*32163.,53736.,80145.,113465.,153088.,196481.,243421./

DATA PME/-75.80,-69.30,-160.1,-45.4,193.3,243.2,-96.6,-106.7,40.1,

*-23.6,-40.9,-125.7,-124.5,-65.2,-18.7,17.7,246.7,97.5,-83.0,116.9,

*15.0,-28.7,-116.2,-111.5/

DATA AP/48.31,75.17,27.42,23.2,45.49,57.08,48.31,45.91,

*39.24,34.19,35.23,82.67,56.53,22.30,22.52,17.84,68.25,65.43,

*34.07,36.33,34.68,39.14,28.48,21.82/

DO 1 I10=1,14

IF(X.GT.CEAV(I10,1))GO TO 1

K10=I10

GO TO 2

1 CONTINUE

K10=14

2 DO 3 I10=1,14

IF(X1.GT.CEAV(I10,1))GO TO 3

K11=I10

GO TO 4

3 CONTINUE

K11=14

4 A0=CEAV(K10-1,2)+(CEAV(K10,2)-CEAV(K10-1,2))*(X-CEAV(K10-1,1))/

*(CEAV(K10,1)-CEAV(K10-1,1))

S0=CEAV(K10-1,3)+(CEAV(K10,3)-CEAV(K10-1,3))*(X-CEAV(K10-1,1))/

*(CEAV(K10,1)-CEAV(K10-1,1))

A1=CEAV(K11-1,2)+(CEAV(K11,2)-CEAV(K11-1,2))*(X1-CEAV(K11-1,1))/

*(CEAV(K11,1)-CEAV(K11-1,1))

S1=CEAV(K11-1,3)+(CEAV(K11,3)-CEAV(K11-1,3))*(X1-CEAV(K11-1,1))/

*(CEAV(K11,1)-CEAV(K11-1,1))

U=(S0-S1)/1000.+AP(I)+PME(I)*(A0+A1)*.5E-6

C WRITE(IN,101)X,X1,A0,S0,S1,U

C 101 FORMAT('X=',F8.1,'X1=',F8.1,'A0=',F8.1,'S0=',F8.1,

C * 'S1=',F8.1,'U=',F8.1)

RETURN

END



SUBROUTINE OBJECT

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

THIS SUBROUTINE HAS THE OBJECTIVE FUNCTION FOR POWER
MAX(MIN) OPTION

XNH : POWER GENERATION HOURS PER MONTH
CEPQ : DATA FROM THE ELEVATION-AREA-VOLUME TABLE
EG : HISTORICAL POWER GENERATED PER MONTH (GWH)
EG1 : CALCULATED POWER PER MONTH (GWH)
AGT : HISTORICAL WATER POWER RELEASE PER MONTH (MCM)
U : CALCULATED WATER POWER RELEASE PER MONTH (MCM)

COMMON/ONEDM/X,X1,U,F,I,J,K,L,R,PNALTY

DIMENSION XNH(24),CEPQ(10,8),EG(24),AGT(24)

DATA XNH,CEPQ,EG/257.15,873.75,398.05,267.70,208.17,441.32,
1579.90,341.27,350.12,302.10,265.50,301.95,384.12,342.95,725.70,
2566.97,299.58,512.02,461.73,433.87,265.13,410.22,281.95,140.45,
30.0,20.0,25.0,30.0,32.5,35.0,37.5,40.0,42.5,45.0,
4130.75,8.0,10.7,13.2,14.5,15.6,16.6,17.5,17.7,19.0,
5134.0,8.3,11.2,14.1,15.6,16.8,17.9,18.9,19.8,20.5,
6137.0,8.7,11.8,14.9,16.4,17.8,19.1,20.3,21.3,22.0,
7141.0,9.0,12.5,16.0,17.7,19.2,20.4,21.7,22.7,23.5,
8144.0,9.3,13.0,16.8,18.5,20.2,21.6,22.9,24.0,24.9,
9147.0,9.9,13.6,17.4,19.2,20.9,22.4,23.8,25.1,26.1,
1150.0,10.5,14.4,18.2,20.0,21.8,23.5,24.9,26.0,27.0,
23.65,14.57,5.33,3.73,2.90,6.36,8.53,5.18,5.23,4.34,3.75,4.54,
36.61,5.15,11.47,8.64,4.4,8.87,8.27,6.6,3.82,6.05,4.15,1.97/
DATA AGT/26.14,98.14,47.78,28.93,22.37,44.53,61.89,37.62,
*37.38,31.02,26.76,30.09,41.59,32.10,74.11,62.64,32.65,
*60.43,57.87,50.13,29.98,47.14,32.64,15.66/

XPROM=(X+X1)/2.

Q=U/XNH(I)*1E6/3600

IF(Q.GT.CEPQ(2,1))GO TO 5

IQ=3

GO TO 21

5 DO 1 I10=2,10

IF(Q.GT.CEPQ(I10,1))GO TO 1

IQ=I10

GO TO 21

1 CONTINUE

IQ=10

21 IF(XPROM.GT.CEPQ(1,2))GO TO 2

IX=3

2 DO 3 I10=2,8

IF(XPROM.GT.CEPQ(1,I10))GO TO 3

IX=I10

GO TO 4

3 CONTINUE

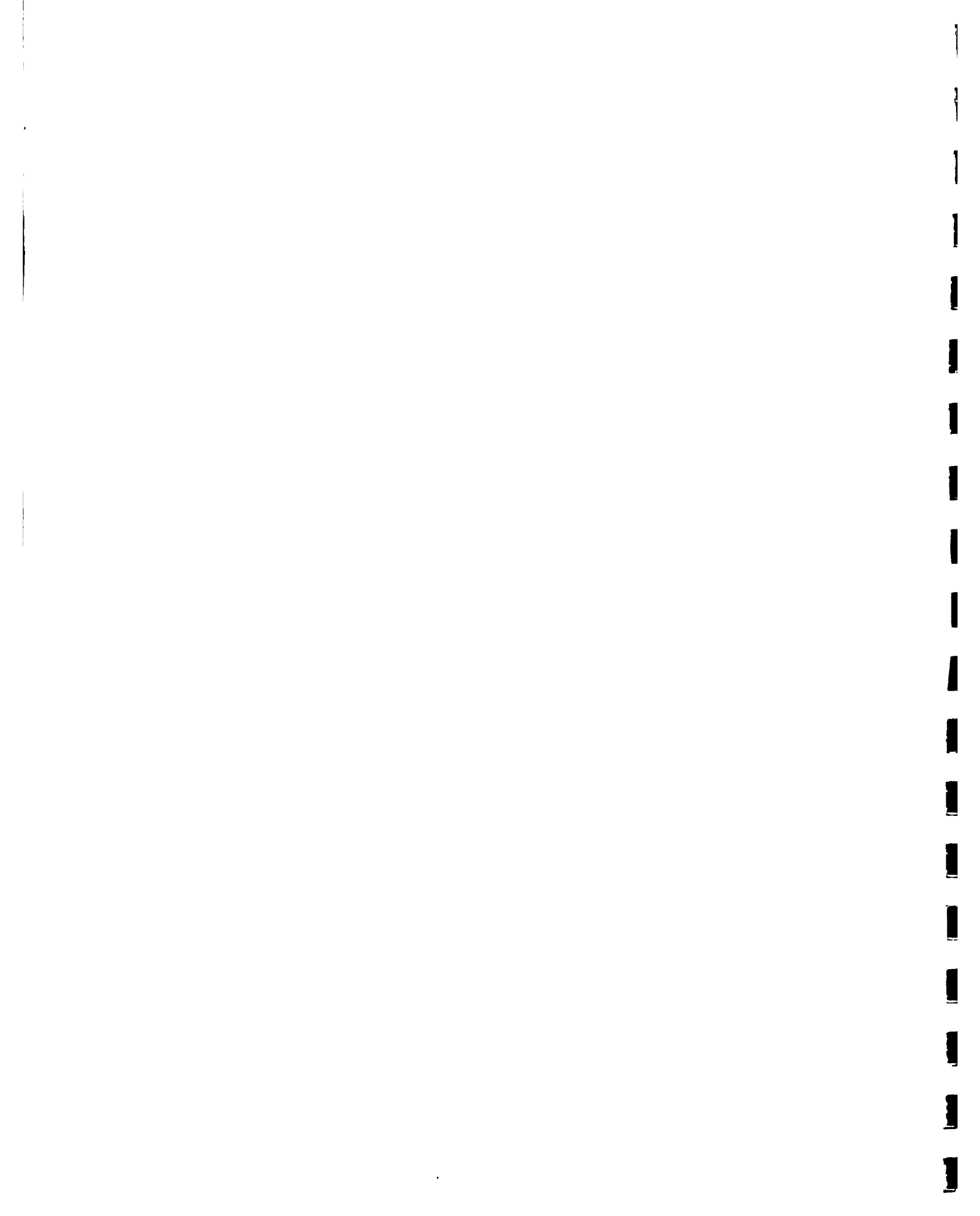
IX=8

4 PP=CEPQ(IQ-1,IX-1)+(CEPQ(IQ-1,IX)-CEPQ(IQ-1,IX-1))*(XPROM-CEPQ(1,
IX-1))/(CEPQ(1,IX)-CEPQ(1,IX-1))PP1=CEPQ(IQ,IX-1)+(CEPQ(IQ,IX)-CEPQ(IQ,IX-1))(XPROM-CEPQ(1,
*IX-1))/(CEPQ(1,IX)-CEPQ(1,IX-1))

POT=(PP1-PP)*(Q-CEPQ(IQ-1,1))/(CEPQ(IQ,1)-CEPQ(IQ-1,1))+PP



```
EG1=POT*XNH(I)*1E-3
EDIFF=EG1-EG(I)
F=(EG1-EG(I))**2
C F=(U-A6T(I))**2
C F=EG1
WRITE(IN,100)EG1
100 FORMAT('EG1= ',F8.2)
RETURN
END
```



CSUDP INPUT DATA FILE

CSUDP CALIBRATION FOR VALDESIA RESERVOIR.

-1	2	24	1	1	1			
1	0	0	1	0	1			
	2.7		.05		.1	.0	3.0	3.0
3								
1	137.7		137.7					
2	130.0		150.0					
25	132.1		132.1					
24								
1	26.		100.					
2	25.		100.					
3	28.		100.					
4	25.		100.					
5	28.		100.					
6	17.		100.					
7	25.		100.					
8	29.		100.					
9	26.		100.					
10	26.		100.					
11	25.		100.					
12	29.		100.					
13	28.		100.					
14	25.		100.					
15	28.		100.					
16	28.		100.					
17	28.		100.					
18	27.		100.					
19	29.		100.					
20	30.		100.					
21	27.		100.					
22	24.		100.					
23	25.		100.					
24	16.		100.					

Vertical text or markings along the right edge of the page, possibly a page number or header.

CSUDP Output file

TITLE CSUDP CALIBRATION FOR VALDESIA RESERVOIR.

```

*****
*                                     *
*      1 DIMENSIONAL PROBLEM         *
*                                     *
*      MAXIMIZATION PROBLEM          *
*                                     *
*      OBJECTIVE IS MAX(MIN) TYPE     *
*                                     *
*      DETERMINISTIC OPTIMIZATION     *
*                                     *
*      PROBLEM ASSUMED INVERTIBLE     *
*                                     *
*      LAST TIE VALUE TAKEN           *
*                                     *
*      SPLICING WILL OCCUR ON X       *
*      SPLICE = 3.000                 *
*      XMULT = 3.000                  *
*                                     *
*      NUMBER OF STAGES = 24          *
*                                     *
*****

```

INTERVAL FOR X = 2.700
INTERVAL FOR U = .1000
TOLERANCE = .0000

UPPER AND LOWER BOUNDS ON X(I+1) AND U(I)

I	XMIN(I)	XMAX(I)	UMIN(I)	UMAX(I)
1	137.7	137.7	26.00	100.0
2	130.0	150.0	25.00	100.0
3	130.0	150.0	28.00	100.0
4	130.0	150.0	25.00	100.0
5	130.0	150.0	28.00	100.0
6	130.0	150.0	17.00	100.0
7	130.0	150.0	25.00	100.0
8	130.0	150.0	29.00	100.0
9	130.0	150.0	26.00	100.0
10	130.0	150.0	26.00	100.0
11	130.0	150.0	25.00	100.0
12	130.0	150.0	29.00	100.0
13	130.0	150.0	28.00	100.0
14	130.0	150.0	25.00	100.0
15	130.0	150.0	28.00	100.0
16	130.0	150.0	28.00	100.0
17	130.0	150.0	28.00	100.0
18	130.0	150.0	27.00	100.0



INTERVAL FOR U = .1000
 TOLERANCE = .0000

UPPER AND LOWER BOUNDS ON X(I+1) AND U(I)

I	XMIN(I)	XMAX(I)	UMIN(I)	UMAX(I)
1	137.7	137.7	26.00	100.0
2	130.0	146.2	25.00	100.0
3	132.7	148.9	28.00	100.0
4	130.0	146.2	25.00	100.0
5	130.0	143.5	28.00	100.0
6	130.0	146.2	17.00	100.0
7	132.7	148.9	25.00	100.0
8	132.7	148.9	29.00	100.0
9	132.7	148.9	26.00	100.0
10	132.7	148.9	26.00	100.0
11	132.7	148.9	25.00	100.0
12	132.7	148.9	29.00	100.0
13	138.1	150.0	28.00	100.0
14	140.8	150.0	25.00	100.0
15	138.1	150.0	28.00	100.0
16	132.7	148.9	28.00	100.0
17	130.0	143.5	28.00	100.0
18	132.7	148.9	27.00	100.0
19	135.4	150.0	29.00	100.0
20	132.7	148.9	30.00	100.0
21	132.7	148.9	27.00	100.0
22	132.7	148.9	24.00	100.0
23	132.7	148.9	25.00	100.0
24	130.0	146.2	16.00	100.0
25	132.1	132.1		

OPTIMAL POLICIES

 * *
 * STAGE 24 *
 * *

X(24)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
U(X(24))	16.00	16.10	20.00	23.80	27.70	31.60	35.80	40.60	45.30	50.10
X*(25)	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1
F(X(24))	-.1000E+32	2.022	2.507	2.891	3.306	3.649	3.945	4.281	4.679	5.083
X(24)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	
U(X(24))	54.60	59.60	65.40	71.40	77.40	83.40	89.40	95.70	16.00	
X*(25)	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	132.1	
F(X(24))	5.481	5.636	6.368	6.867	7.412	7.984	8.571	9.198	-.1000E+32	

|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 23 *

* * *

0	X(23)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(23))	27.90	27.90	27.20	32.10	32.60	32.50	32.50	32.50	37.20	38.30
	X*(24)	132.7	133.6	134.5	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	138.1	139.0
	F(X(23))	2.891	3.306	3.591	3.649	3.945	4.281	4.600	4.680	5.083	5.481
0	X(23)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(23))	39.50	39.70	45.70	45.60	46.00	53.10	54.20	53.40	62.50	
	X*(24)	139.9	140.8	140.8	141.7	142.6	142.6	143.5	144.4	144.4	
	F(X(23))	5.686	6.067	6.368	6.867	7.046	7.412	7.984	8.320	8.571	

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 22 *

* * *

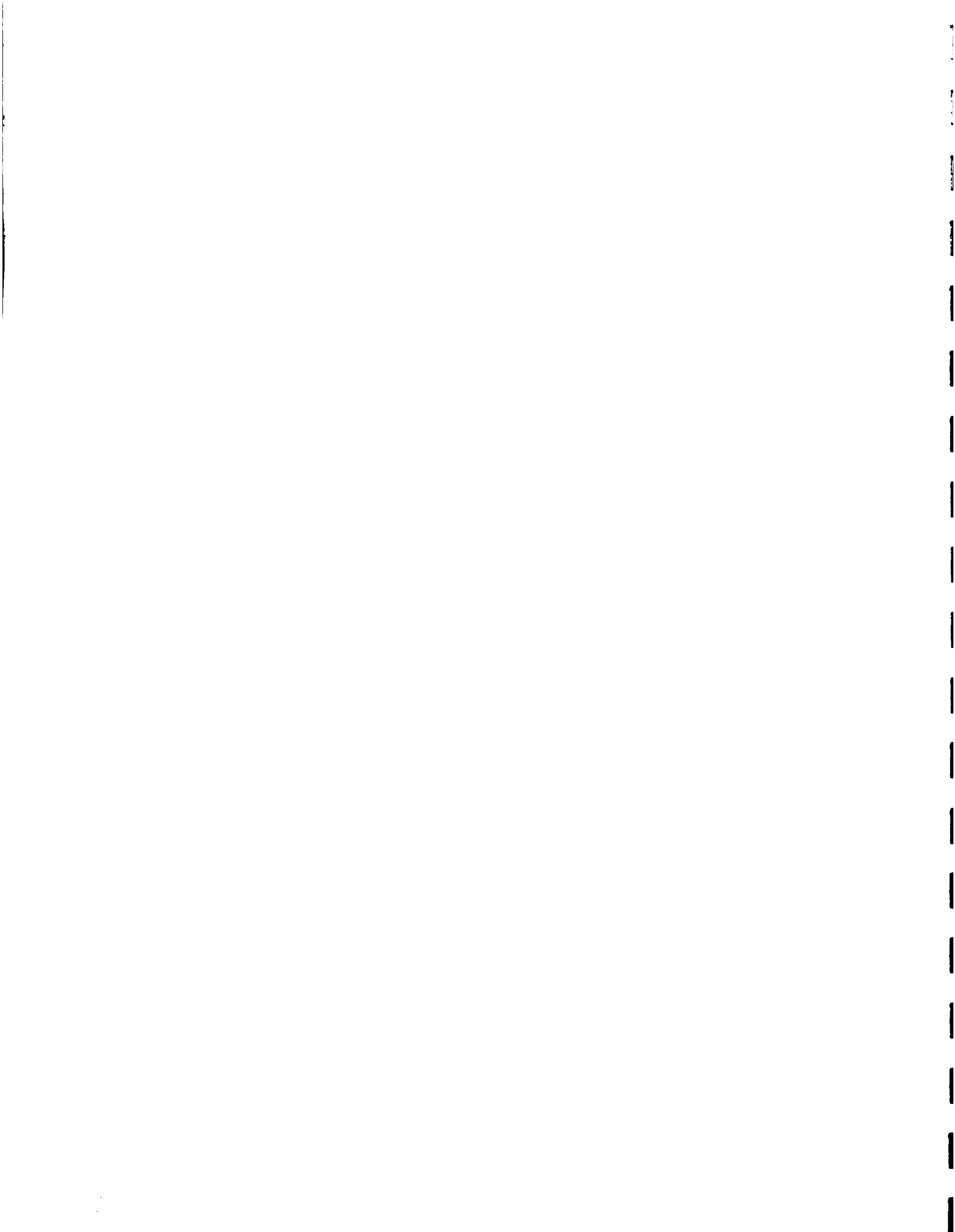
0	X(22)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(22))	31.20	30.60	34.70	34.20	34.20	34.20	39.00	39.00	38.90	38.90
	X*(23)	134.5	135.4	135.4	136.3	137.2	138.1	138.1	139.0	139.9	140.8
	F(X(22))	3.581	3.638	3.649	3.945	4.281	4.409	4.600	4.680	5.083	5.481
0	X(22)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(22))	38.90	44.90	44.50	44.90	45.30	46.10	46.00	46.00	53.20	
	X*(23)	141.7	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	147.1	
	F(X(22))	5.568	5.886	6.067	6.368	6.867	7.046	7.412	7.537	7.984	

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 21 *

* * *



0	X(21)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(21))	30.90	30.90	30.50	30.00	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.60
	X+(22)	133.6	134.5	135.4	136.3	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	F(X(21))	3.638	3.649	3.945	4.097	4.281	4.409	4.600	4.680	5.083	5.259
0	X(21)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(21))	40.80	40.80	40.80	40.80	41.20	41.90	49.10	49.10	49.10	
	X+(22)	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	145.3	146.2	147.1	
	F(X(21))	5.481	5.568	5.686	6.067	6.368	6.675	6.867	7.046	7.412	

OPTIMAL POLICIES

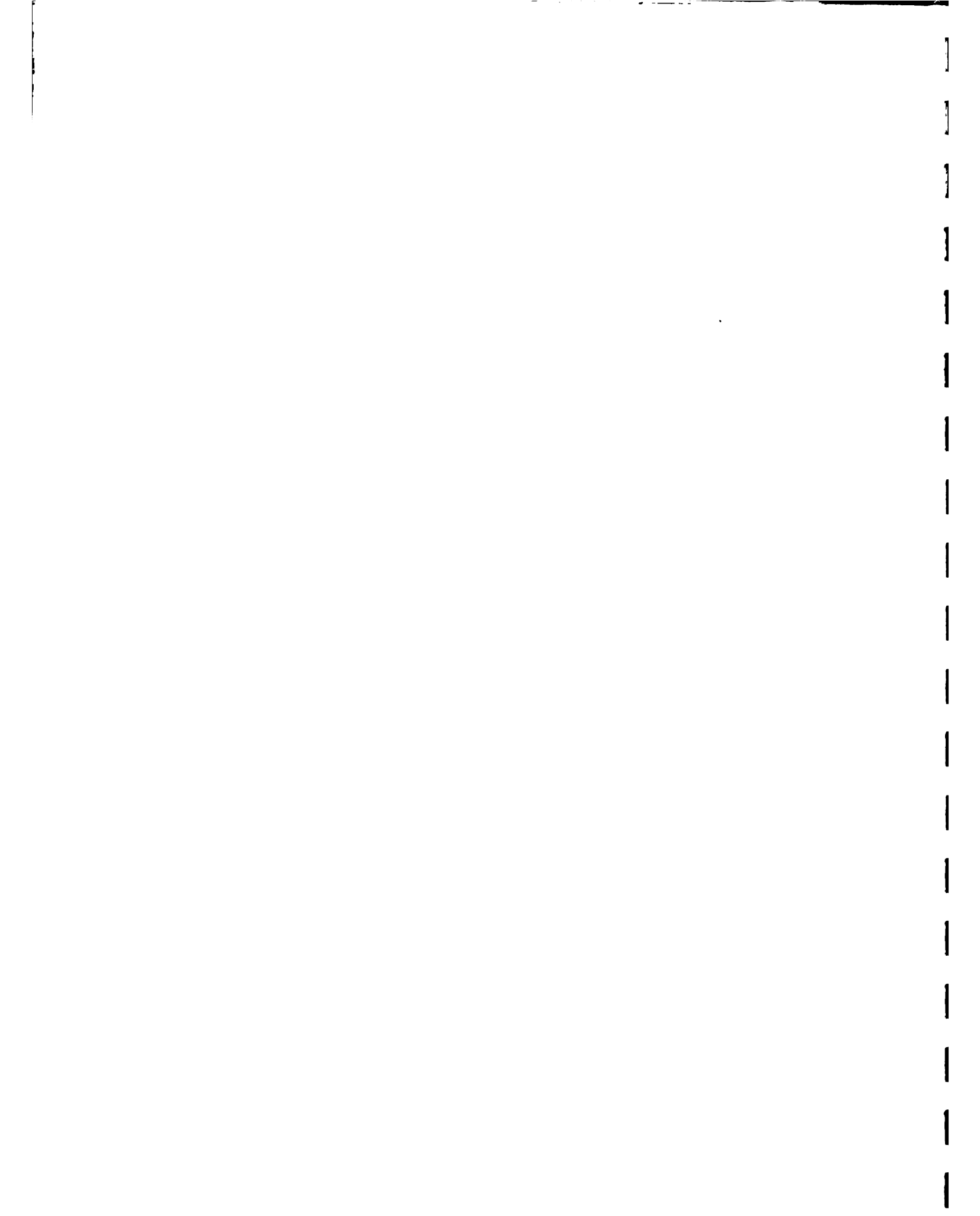
* *
* STAGE 20 *
* *

0	X(20)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(20))	33.10	33.10	37.00	37.00	37.00	37.00	37.10	37.10	37.10	43.00
	X+(21)	133.6	134.5	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	139.9
	F(X(20))	3.649	3.904	3.945	4.097	4.291	4.409	4.600	4.680	4.973	5.083
0	X(20)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(20))	43.10	43.10	43.20	43.20	43.60	44.40	44.40	44.40	44.40	
	X+(21)	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	
	F(X(20))	5.259	5.481	5.568	5.686	6.067	6.368	6.675	6.867	7.046	

OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 19 *
* *

0	X(19)	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5
	U(X(19))	33.60	38.30	38.30	38.30	38.30	38.30	39.40	39.50	39.50	39.50
	X+(20)	135.4	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6
	F(X(19))	3.978	4.097	4.281	4.409	4.600	4.680	4.973	5.083	5.259	5.481
0	X(19)	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	149.8			
	U(X(19))	39.50	39.80	40.60	47.70	47.70	47.70	47.70			



X*(20)	143.5	144.4	145.3	145.3	146.2	147.1	148.0
F(X(19))	5.568	5.720	5.968	6.067	6.368	6.675	6.867

OPTIMAL POLICIES

 * *
 * STAGE 18 *
 * *

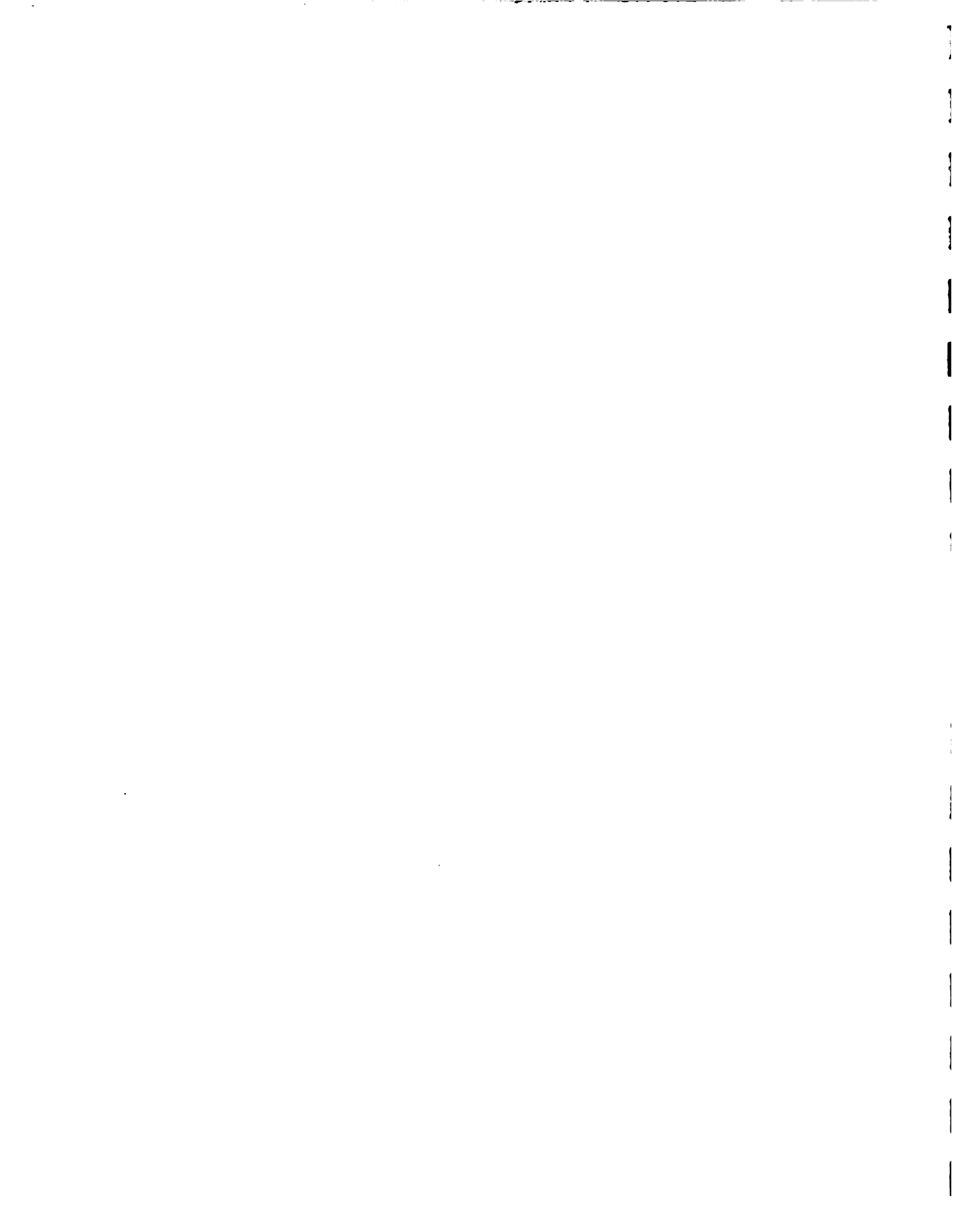
0	X(18)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(18))	39.70	38.80	38.00	42.30	41.20	39.90	44.70	43.50	42.30	42.10
	X*(19)	138.1	139.0	139.9	139.9	140.8	141.7	141.7	142.6	143.5	144.4
	F(X(18))	4.409	4.600	4.659	4.680	4.973	5.083	5.083	5.259	5.481	5.568
0	X(18)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(18))	41.80	47.80	46.70	45.50	44.80	44.60	44.80	52.00	59.10	
	X*(19)	145.3	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	149.8	149.8	149.8	
	F(X(18))	5.720	5.720	5.968	6.067	6.368	6.675	6.867	6.867	6.867	

OPTIMAL POLICIES

 * *
 * STAGE 17 *
 * *

0	X(17)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	U(X(17))	41.10	40.30	39.50	38.60	37.80	41.70	40.20	39.00	43.70	42.50
	X*(18)	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	139.9	140.8	141.7	141.7	142.6
	F(X(17))	4.973	5.083	5.083	5.259	5.315	5.481	5.568	5.716	5.720	5.720
0	X(17)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5				
	U(X(17))	41.30	40.10	39.70	45.70	44.60	43.50				
	X*(18)	143.5	144.4	145.3	145.3	146.2	147.1				
	F(X(17))	5.968	6.067	6.247	6.368	6.675	6.867				

OPTIMAL POLICIES



* * *

* STAGE 16 *

* * *

0	X(16)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(16))	29.60	33.50	37.30	41.60	46.40	43.40	44.20	45.10	46.00	47.60
	X*(17)	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4
	F(X(16))	2.861	3.466	4.068	4.760	4.973	5.083	5.259	5.315	5.481	5.568
0	X(16)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(16))	48.80	45.30	46.60	47.60	48.30	49.50	50.60	51.70	58.90	
	X*(17)	136.3	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	143.5	
	F(X(16))	5.716	5.720	5.968	6.067	6.247	6.368	6.675	6.867	6.867	

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 15 *

* * *

0	X(15)	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2
	U(X(15))	40.90	41.40	46.20	47.30	48.50	49.80	46.20	52.20	46.60	47.90
	X*(16)	134.5	135.4	135.4	136.3	137.2	138.1	139.9	139.9	141.7	142.6
	F(X(15))	4.068	4.444	4.760	4.973	5.083	5.259	5.390	5.481	5.602	5.720
0	X(15)	147.1	148.0	148.9	149.8						
	U(X(15))	49.00	50.10	50.90	50.90						
	X*(16)	143.5	144.4	145.3	146.2						
	F(X(15))	5.968	6.067	6.247	6.368						

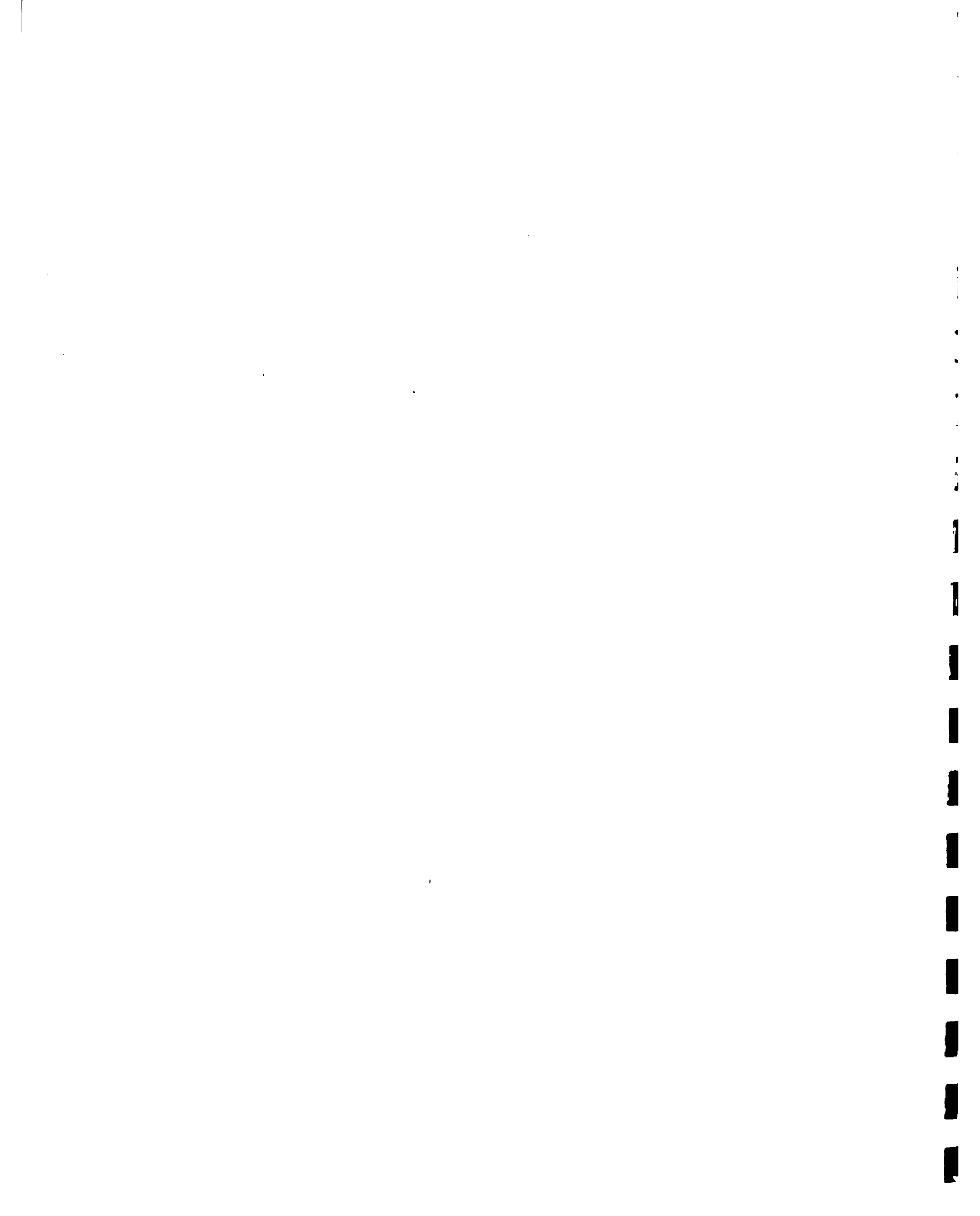
OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 14 *

* * *





OPTIMAL POLICIES

*
* STAGE 11 *
*

0	X(11)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(11))	35.00	38.90	38.90	39.30	39.70	39.70	39.70	39.70	39.70	40.60
	X*(12)	132.7	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9
	F(X(11))	4.515	4.974	5.083	5.211	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602	5.720
0	X(11)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(11))	40.90	40.90	40.90	40.90	41.30	42.10	42.00	42.00	42.00	
	X*(12)	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	
	F(X(11))	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

*
* STAGE 10 *
*

0	X(10)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(10))	34.10	37.99	37.99	38.30	38.60	38.60	38.60	38.60	38.60	39.90
	X*(11)	132.7	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9
	F(X(10))	4.383	4.515	4.974	5.083	5.211	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602
0	X(10)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(10))	40.00	40.00	40.00	40.00	40.40	41.10	41.10	41.10	41.10	
	X*(11)	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	
	F(X(10))	5.720	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

*
* STAGE 9 *
*



0	X(9)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(9))	35.60	35.60	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50
	X+(10)	133.6	134.5	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	F(X(9))	4.511	4.584	4.974	5.083	5.211	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602
0	X(9)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(9))	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50	39.50	39.60	39.60	39.60	
	X+(10)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	F(X(9))	5.720	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 8 *
* *

0	X(8)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(8))	37.60	41.40	41.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	39.30	39.20
	X+(9)	134.5	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7
	F(X(8))	4.896	4.974	5.083	5.211	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602	5.720
0	X(8)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(8))	39.20	39.10	39.10	38.70	38.00	37.90	37.90	37.90	45.00	
	X+(9)	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	148.9	
	F(X(8))	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 7 *
* *

0	X(7)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(7))	43.90	43.90	43.50	47.80	47.70	47.70	47.70	47.70	47.70	47.70
	X+(8)	133.6	134.5	135.4	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	F(X(7))	4.974	5.083	5.174	5.211	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602	5.720
0	X(7)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(7))	47.60	47.60	47.60	47.60	47.60	47.60	47.60	47.50	47.50	



X*(8)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9
F(X(7))	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 6 *

* * *

0	X(6)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	U(X(6))	42.70	42.80	42.50	41.60	45.50	44.70	44.30	44.30	44.40	43.30
	X*(7)	133.6	134.5	135.4	136.3	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	F(X(6))	5.083	5.174	5.211	5.259	5.259	5.382	5.481	5.534	5.602	5.720
0	X(6)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	
	U(X(6))	42.10	46.90	46.80	46.80	46.60	46.50	45.40	44.70	44.70	
	X*(7)	141.7	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	
	F(X(6))	5.840	5.840	5.940	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

* * *

* STAGE 5 *

* * *

0	X(5)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	U(X(5))	42.50	46.40	46.40	46.50	46.50	46.60	46.60	46.60	46.70	46.70
	X*(6)	130.9	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	F(X(5))	5.174	5.174	5.211	5.259	5.259	5.321	5.415	5.508	5.602	5.715
0	X(5)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5				
	U(X(5))	46.70	46.80	46.80	46.80	46.90	46.90				
	X*(6)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5				
	F(X(5))	5.840	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968				

OPTIMAL POLICIES

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

* *
* STAGE 4 *
* *

0	X(4)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	U(X(4))	25.00	26.90	30.80	34.60	38.50	42.40	42.60	39.70	40.60	41.50
	X*(5)	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.9	132.7	133.6	134.5
	F(X(4))	-1.000E+32	3.264	3.819	4.334	4.801	5.162	5.174	5.239	5.259	5.321
0	X(4)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	
	U(X(4))	41.90	41.90	38.30	39.50	40.70	40.90	40.90	41.20	42.40	
	X*(5)	135.4	136.3	138.1	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	
	F(X(4))	5.415	5.508	5.629	5.817	5.840	5.840	5.968	5.968	5.968	

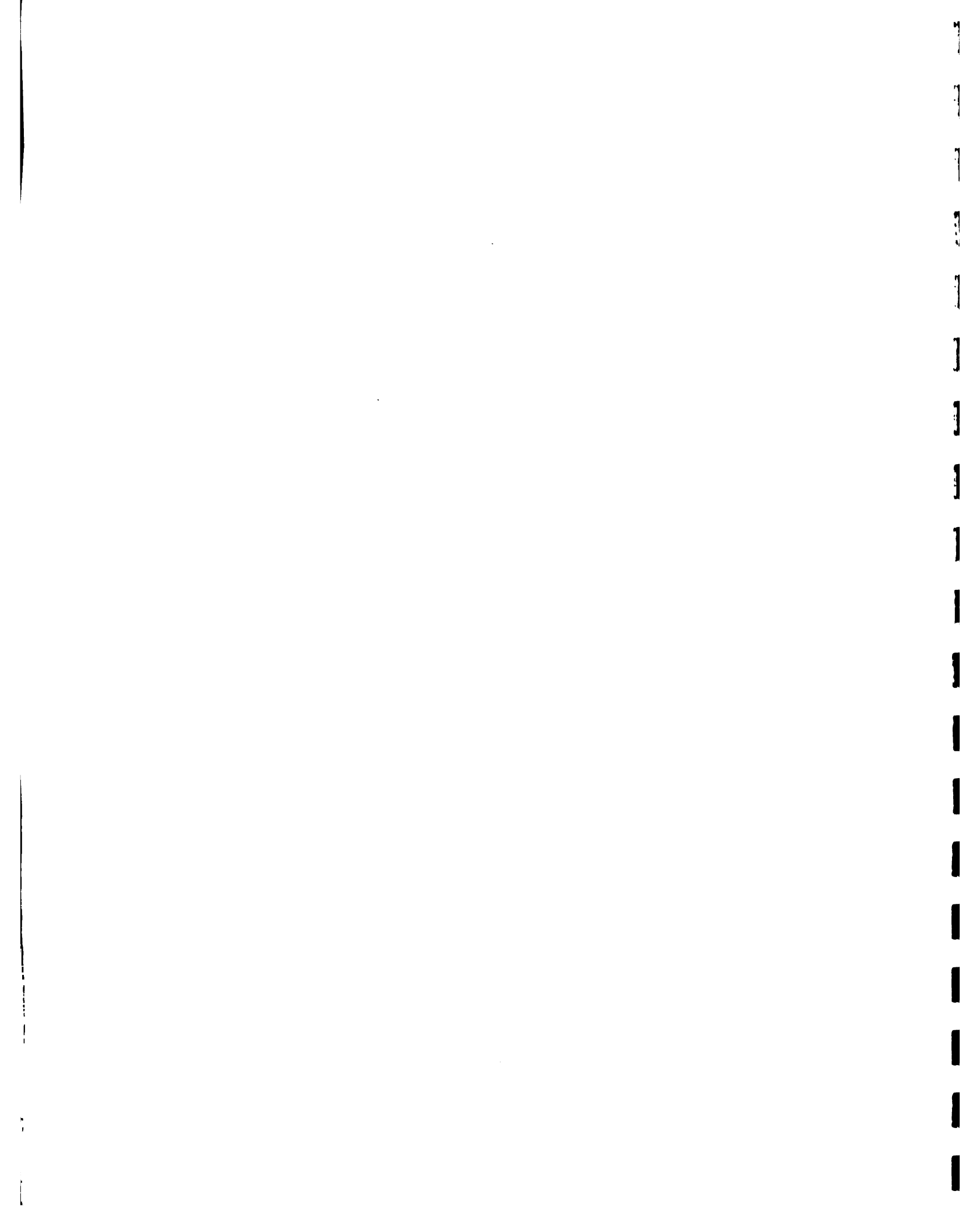
OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 3 *
* *

0	X(3)	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8
	U(X(3))	30.50	34.40	34.30	38.60	39.40	40.30	40.70	40.70	40.70	41.70
	X*(4)	131.8	131.8	132.7	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	F(X(3))	3.525	3.819	4.190	4.334	4.801	5.162	5.174	5.239	5.259	5.321
0	X(3)	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	U(X(3))	38.20	38.30	44.30	44.30	44.60	39.70	40.50	40.40	47.50	
	X*(4)	139.9	140.8	140.8	141.7	142.6	144.4	145.3	146.2	146.2	
	F(X(3))	5.421	5.513	5.629	5.817	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 2 *
* *



0	X(2)	130.0	130.9	131.8	132.7	133.6	134.5	135.4	136.3	137.2	138.1
	U(X(2))	46.40	50.20	49.40	53.20	52.40	51.50	51.00	49.90	54.60	53.30
	X*(3)	136.3	136.3	137.2	137.2	138.1	139.0	139.9	140.8	140.8	141.7
	F(X(2))	4.572	4.801	5.109	5.162	5.174	5.239	5.259	5.321	5.321	5.421
0	X(2)	139.0	139.9	140.8	141.7	142.6	143.5	144.4	145.3	146.2	
	U(X(2))	52.10	50.80	55.70	56.70	56.30	55.10	54.00	53.20	53.20	
	X*(3)	142.6	143.5	143.5	144.4	145.3	146.2	147.1	148.0	148.9	
	F(X(2))	5.513	5.539	5.629	5.917	5.840	5.968	5.968	5.968	5.968	

OPTIMAL POLICIES

* *
* STAGE 1 *
* *

0	X(1)	137.7
	U(X(1))	41.00
	X*(2)	139.0
	F(X(1))	5.513

1
OPTIMAL SOLUTION FOR X(1) = 137.700

I	X*	U*
1	137.7000	41.00000
2	139.0000	52.10000
3	142.6000	38.30000
4	140.8000	38.30000
5	138.1000	46.70000
6	138.1000	43.30000
7	140.8000	47.70000
8	140.8000	39.20000
9	141.7000	39.50000
10	141.7000	40.00000
11	140.8000	40.80000
12	139.9000	38.40000
13	146.2000	41.30000
14	148.0000	36.10000
15	146.2000	47.90000
16	142.6000	45.30000
17	138.1000	42.50000
18	142.6000	47.80000
19	145.3000	39.80000
20	144.4000	43.20000
21	143.5000	40.80000
22	142.6000	44.90000

23	141.7000	39.50000
24	139.9000	59.60000
25	132.1000	

MAXIMUM OBJECTIVE VALUE = 5.513039



5. Manual de Operacion del Modelo MODSIM

5.1 Introduccion

La creciente complejidad de los problemas de administracion de cuencas, especialmente durante las epocas de sequias, requiere de la ayuda de programas computarizados como el MODSIM. Este es un modelo generalizado que permite su uso en diversas configuraciones de flujos y estructuras de la cuenca siendo especificadas estas características a traves de datos apropiados.

La presente version de MODSIM tiene de primera intencion la obtencion de guias de administracion para la administracion semanal o mensual de una cierta cuenca o subcuenca. Este modelo es capaz de generar planes operacionales que satisfagan objetivos especificados, prioridades y restricciones. Tambien podria utilizarse para evaluar casos conflictivos durante los periodos de deficiencia de agua. Esta informacion provee una base racional para la toma de decisiones dificiles en la distribucion de agua.

Uno de los mas importantes características del modelo es su diseño de "uso amigable". La entrada del modelo ha sido estructurada con un formato interactivo y conversacional lo cual anima al personal de operaciones ha usarlo, aunque se tenga poca experiencia en computadoras.

MODSIM ha sido diseñado para ser usado unicamente como una herramienta. Los resultados son tan confiables, como sean los datos de entrada; pero tambien el modelo puede ser adecuado como medio de ilustrar las necesidades de data, particularmente en la prediccion de calidad de agua. Los modelos pueden ser y son abusados en su uso por lo tanto deben ser ajustados siempre con discrecion y a base de la



experiencia, entendiendo las asunciones y aproximaciones asociadas al mismo.

Los atributos mas importantes del MODSIM son los siguientes:

1. Ejecuta una simulacion de redes de flujos de almacenamiento de agua y los complejos sistemas de la morfologia de los rios en las cuencas, incluyendo la operacion de embalses, en incrementos de tiempo semanales o mensuales. Representa con redes de flujos sistemas complejos por medio de nudos y conexiones, la cual es una forma atractiva de presentar visulamente la estructura y topologia del sistema (Hamdan, 1974).

2. Posee la capacidad de optimizacion, a base del metodo de out-of-Kilter (OKM), el cual es esencialmente un algoritmo de programacion lineal, que esta especificamente disenado para la solucion efectiva de los problemas de redes de flujos-minimizando costos. Los "costos" en este caso no son necesariamente los verdaderos, ya que representan factores de peso en la categorizacion de alternativas. La mayoria de los modelos disponibles solamente simulan, como el HEC 5 (Centro de Ingenieria Hidrologica, 1979), MITSIM (Lenton and Strzpek, 1977) y el modelo SSARR (Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos, 1972), lo cual significa que las politicas de operacion que satisfacen ciertas prioridades especificas se deben encontrar por tanteo. MODSIM conecta simulacion y optimizacion de manera que acentua las ventajas de cada uno y garantiza que los objetivos de operacion, prioridades y restricciones son satisfechas de manera computacionalmente efectiva.

3. El modelo puede ser utilizado como guia de operacion a corto (p.e. semanal) o largo (p.e. estacional o multianual) plazo. La red de optimizacion elaborada a nivel semanal o mensual en un modo



secuencial. Una optimizacion deterministica asume un perfecto conocimiento de los flujos de agua en el futuro, lo cual es improbable en problemas de tipo practico. Pero, existe un metodo que indirectamente incorpora los pronosticos al periodo actual de decisiones mediante un ajuste apropiado de prioridades operacionales o factores de peso. Un modelo del filtro de Kalman que realiza pronosticos de descargas de entrada ha sido elaborado por Lazaro y puede ser acoplado al MODSIM.

4. La evaporacion de un embalse es calculada mediante un proceso iterativo que sucesivamente estima el promedio del area del espejo de agua en incrementos semanales o mensuales. Como opcion, se puede ingresar la evaporacion total neta semanal o mensual. Al igual que la evaporacion, las perdidas en canales son anadidos al mismo circuito, de manera que puedan reflejar el cambio total en el flujo de distribucion.

5. Las demandas variables para el abastecimiento de agua de uso domestico e industrial pueden ser incluidas, al igual que los cambios estacionales del flujo minimo para la navegacion y para el mantenimiento de la calidad de agua. Todos estos pueden ser categorizados con una prioridad relativa.

6. Produccion de hidroenergia considerando la eficiencia de las turbinas.

7. Las reglas de operacion para el embalse son ingresadas como curvas guias, pudiendo ser incorporadas hasta tres curvas distintas las cuales son funciones del almacenamiento de agua existente en el embalse, mas los flujos irregulares de descargas (epoca seca, promedio



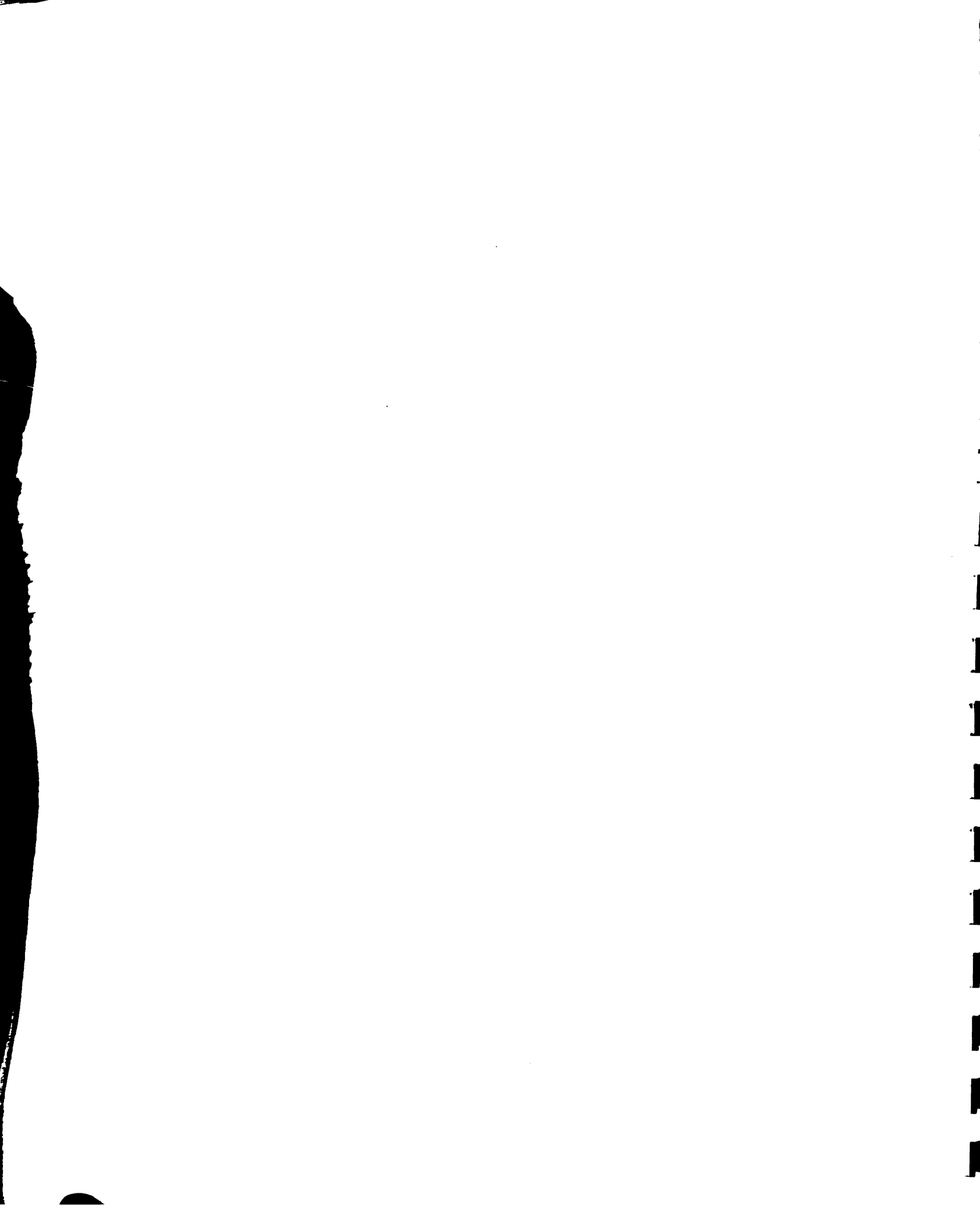
y humeda). El exceso en el almacenamiento de embalses puede ser categorizado de acuerdo a las prioridades asignadas.

8. Desafortunadamente la mayoría de los modelos son escritos por y para modeladores. Los creadores del MODSIM han tenido en cuenta al usuario. El formato conversacional para la creación de archivos de datos incita a su uso aun para administradores con poca experiencia en computadoras.

9. Existe la capacidad de hacer graficos los cuales pueden ser impresos para un analisis mas detenido.

El TVA (Shane and Gilbert, 1982) ha confeccionado un modelo de operacion semanal llamado HYDROSIM que utiliza programacion lineal para encontrar las estrategias optimas con un cierto orden de prioridad. Existen muchas semejanzas entre el HYDROSIM y el MODSIM pero la diferencia primordial es que el MODSIM hace uso de prioridades en su funcion objetivo en vez de la sumarlas. A su vez, MODSIM es un modelo de uso general, mientras que el HYDROSIM ha sido elaborado, especificamente, para el sistema TVA razon por la cual es dificil su adaptacion a otros sistemas.

El programa WBSM es otro modelo parecido al MODSIM y ha sido elaborado por el Departamento del Ambiente en Alberta, Canada. Este tambien usa redes de flujo y tiene muchas de las caracteristicas del MODSIM he inclusive es mas completo pero requiere una base de datos mucho mas amplia. Ademas no ha sido escrito para el uso interactivo conversacional. El programa WBSM considera el retorno de flujos de irrigacion al rio ("flujos de cola"), pero una version modificada de MODSIM, llamada CONSIM, los tiene en cuenta tambien.



5.2 Metodologia del Modelo

5.2.1 Asunciones Basicas

MODSIM se basa en un sistema de redes de flujo permitiendo que la gran mayoría de los sistemas de recursos de agua sean representados físicamente. Los componentes del sistema son representados en la red como nudos, tanto de almacenamiento (p.e. embalses) como de no-almacenamiento (p.e. canales, tuberías, y secciones de ríos). Para considerar las demandas, los fujos, y las reglas propuestas para la operación del embalse, varios nudos y conexiones deben ser creados de tal manera que se asegure la circulación natural de la red, la cual es una condición necesaria si es que se desea utilizar el algoritmo out-of-Kilter. Se debe notar que el usuario debe conocer e ingresar la red real. Todas las conexiones de nudos artificiales son creadas automáticamente por el modelo.

Las asunciones básicas asociadas al modelo son mencionadas a continuación. Parte de este material a sido extraído de Shafer (1979).

- a. Todos los nudos de almacenamiento y conexiones deben ser colocados con sus límites superiores e inferiores los cuales pueden a variar en el tiempo.
- b. Cada conexión debe ser unidireccional con respecto al flujo.
- c. Todos los flujos, demandas y pérdidas deben ser acumuladas en los nudos. Incrementando la densidad de nudos en la red se incrementa la exactitud de la simulación.
- d. Nudos de importación pueden ser incorporados para que ingrese agua de cuencas vecinas.



- e. Cada embalse puede tambien ser considerado como un nudo de vertidos (perdida de agua).
- f. Los derrames o volúmenes vertidos son las mas "caros" en la transferencias de agua, de tal forma que el modelo busca disminuir los derrames innecesarios. Los derrames de energia pueden ser considerados a traves de otras conexiones adicionales, aguas abajo de la planta de energia, que a la vez pueda ser considerado como una conexion de alto costo.
- g. Las politicas de operacion de embalses son proveidas por el usuario de acuerdo al volumen de almacenamiento para cada embalse al termino de cada semana o mes.

Haciendo uso del balance de la masa en la red, MODSIM resuelve los siguientes problemas lineales de optimizacion via el algoritmo out-of-Kilter:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} q_{ij} \quad (5.1)$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^N q_{ij} - \sum_{i=1}^N q_{ji} = 0; \quad j=1, \dots, N \quad (5.2)$$

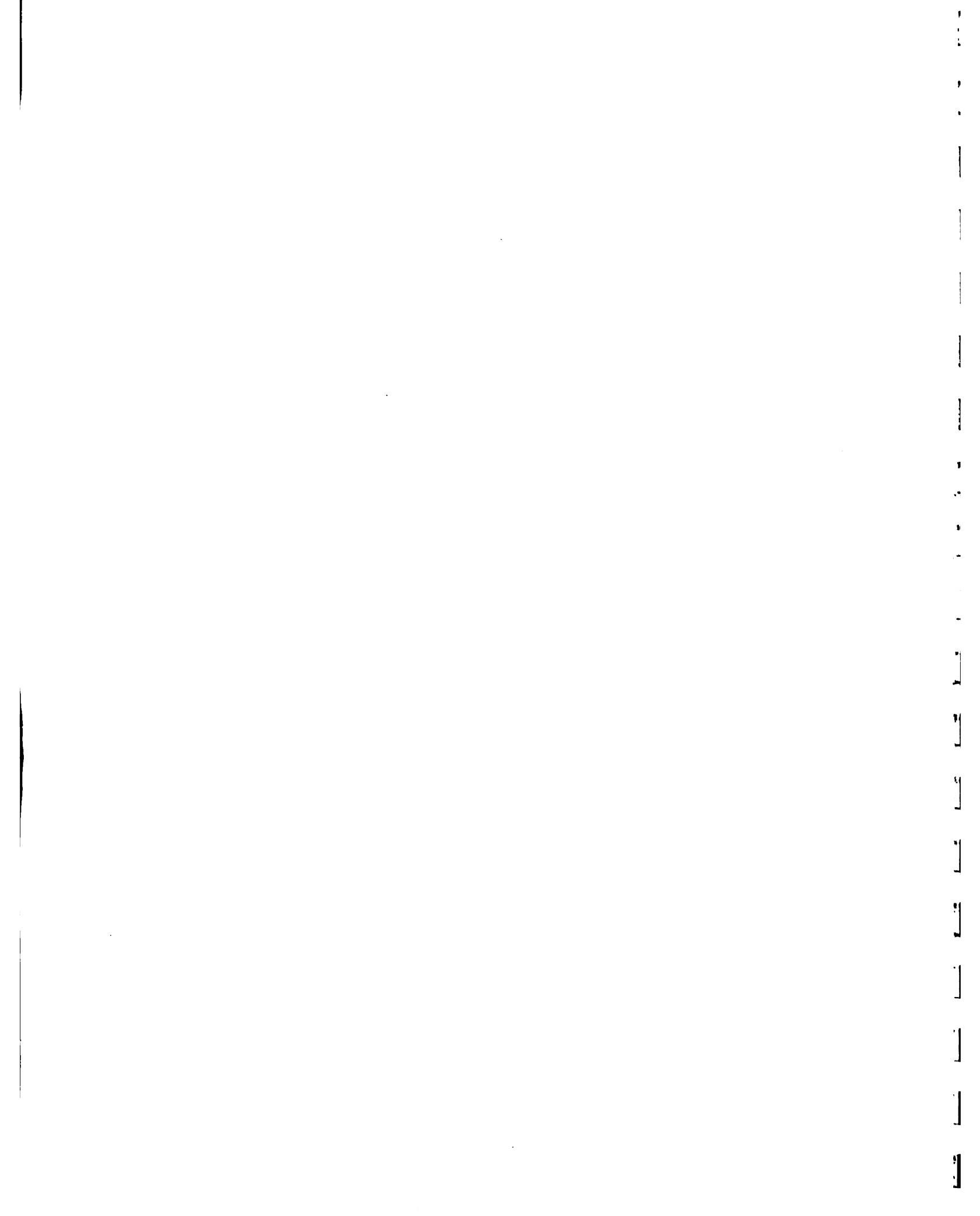
$$l_{ij} \leq q_{ij} \leq u_{ij}; \quad i, j=1, \dots, N \quad (5.3)$$

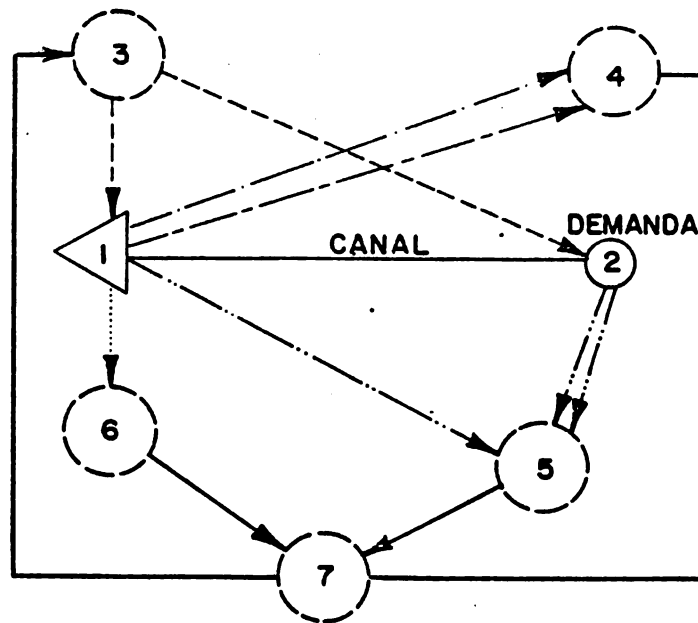
$$l_{ij} \geq 0$$

donde

q_{ij} = Valor entero del flujo entre el nodo i al j

w_{ij} = factor de peso por unidad de flujo del nodo i al j





- ◄ Almacenamiento (Nudo Real)
- No Almacenamiento (Real)
- Nudo Artificial
- Conexión Real
- Conexión de Descargas de Avenida
- Conexión de Almacenamiento Deseada
- Conexión de Almacenamiento Final
- Conexión de la Demanda
- Conexión de Vertidos
- Conexión para Balance de Masa

Figura 5.1. Esquema simplificado de una red de flujo.



Handwritten text, likely a description or explanation of the circuit diagram above. The text is very faint and mostly illegible due to blurring.

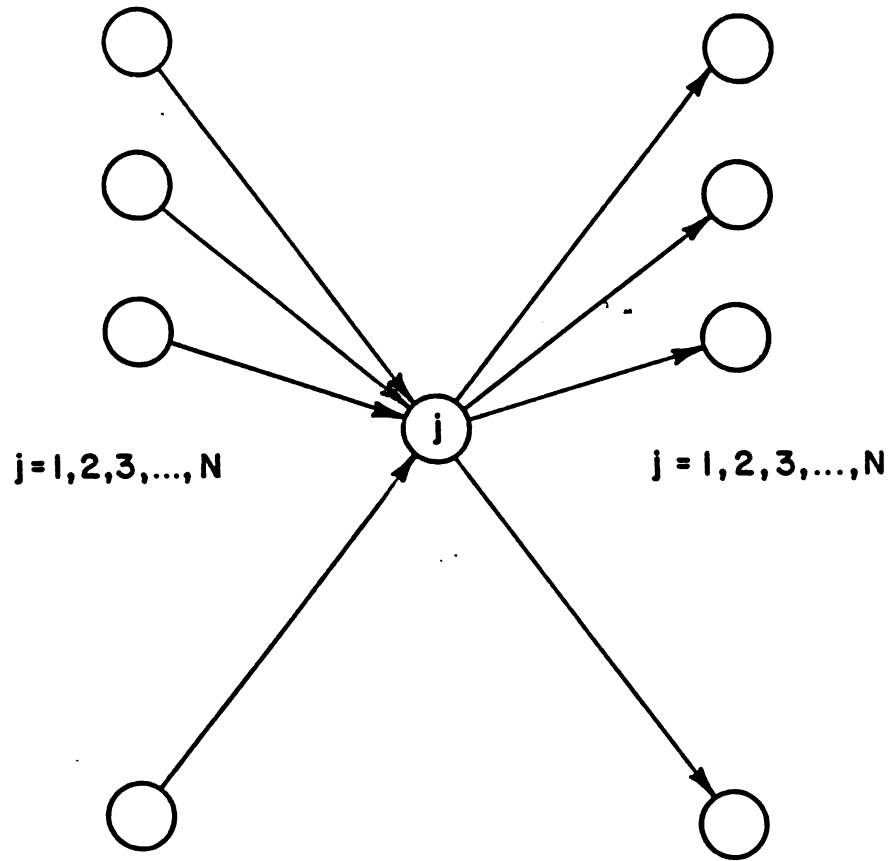


Figura 5.2. Restricción en el balance de masa.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



l_{ij} = limite inferior de flujo en la conexión que une el nodo i y el j

u_{ij} = limite superior de la conexión que conecta el nodo i y el j

La ecuación 2 asegura que el flujo que entra a un nudo es igual al que sale. El OKM es un algoritmo extremadamente eficaz que toma considerable ventaja de la estructura de redes de flujo. Mas detalles sobre el OKM se pueden encontrar en Shafer (1979) y Barnes (1980).

5.2.2. Modelos de redes de flujos en sistemas de cuencas. Ventajas y Desventajas

Existen ciertas ventajas sobre la aplicación de la moderna teoría de redes para la solución de los problemas en sistemas de cuencas. Hamdan (1974) señala las siguientes:

- a. Una formulación de un sistema con redes de flujo que provee una visión panorámica de la morfología física del sistema.
- b. Las técnicas de optimización via redes de flujo (particularmente el algoritmo out-of-kilter) son de probada eficacia (note que los cálculos que realiza el MODSIM son todos enteros en contraste con la programación lineal donde los programas requieren cálculos con números reales. Esto acelera la velocidad de cálculo del MODSIM y le da habilidad para trabajarlo eficazmente en microcomputadoras).
- c. Si el OKM es utilizado, el cálculo puede comenzar con cualquier solución, sin reparos en su factibilidad pero si satisfaciendo el balance en masa a través de la red.



- d. Problemas extensos (alto numero de componentes en la red) pueden ser resueltos.
- e. Cambios en ciertos componentes del sistema pueden ser incorporados facilmente por medios de manipulaciones en la red previamente construida.

La mayor desventaja de este metodo es el requisito de linealidad. Sin embargo, la aproximacion sucesiva puede ser utilizada repetitivamente hasta converger con las funciones no lineales. Otra desventaja del metodo es que se ve limitado al incrementarse el numero de restricciones lineales de la forma (5.2) y (5.3).

5.2.3 Caracteristicas del Modelo

Niveles de Almacenamiento Objetivo: MODSIM computa el estado hidrológico a base semanal o mensual considerando el almacenamiento del embalse y los flujos de entradas a los mismos. Asociados a estos estados (promedio, seco, y humedo) existe un grupo de reglas operativas con prioridades categorizadas. Estos tres estados hidrológicos son computados mediante la seleccion total o parcial de los embalses del sistema (a criterio del usuario) y ejecutando el analisis siguiente:

$$R = \sum_{i=1}^N S_{it} + \sum_{i=1}^N I_{it} \quad (5.4)$$

$$W = \sum_{i=1}^N S_{imax} \quad (5.5)$$

donde

- N = numero de embalses en el sistema
- t = semana o mes de la operacion (actual)



I_t = pronostico del flujo no regulado durante el periodo t

S_{it} = almacenamiento inicial en el mes o semana t en el embalse

i .

S_{imax} = capacidad de almacenamiento para el embalse i , la cual

puede ser menor que la capacidad maxima del almacenamiento.

El usuario tambien especifica los limites superiores e inferiores en el estado promedio como fracciones del total de la capacidad del sub-sistema de almacenamiento:

$$LB = x_1 W \quad (5.6)$$

$$UB = x_2 W \quad (5.7)$$

donde:

LB = limite inferior del estado promedio

UB = limite superior del estado promedio

x_1 = porcentaje que define el limite inferior sobre el estado promedio

x_2 = porcentaje que define el limite superior sobre el estado promedio.

Los estados hidrológicos son definidos de la siguiente manera:

Seco: $R < LB$

Promedio: $LB \leq R \leq UB$

Humedo: $R > UB$

Mediante el mencionado metodo de calculo de las reglas objetivo de operacion para largos periodos de analisis, solamente tres niveles de almacenamiento objetivo pueden ser usados por cada embalse. Sin

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

embargo, esta opción ha sido incluida en MODSIM de tal manera que el usuario pueda ingresar niveles de almacenamiento objetivo por separado para cada embalse y para cada semana o mes.

Prioridades variables: solamente puede ser incluidas tres diferentes prioridades por cada nudo (almacenamiento y/o demanda) las cuales corresponden a las condiciones húmedas, promedio o secas (Para el análisis de sequías, el usuario puede definir estos estados como muy severo, seco, y promedio). Una opción ha sido añadida por la cual el usuario ingresa prioridades separadas para cualquier nudo para cada trimestre o año. Esto significa que en vez de un máximo de tres prioridades (húmedos, promedio o sequía) una prioridad variable puede ser ingresada de cada trimestre o cada año. Un trimestre, en la versión actual de MODSIM, está compuesto por 12 semanas.

Nudos de Importación: MODSIM considerará una cantidad variable de nudos de importación.

Tablas de Elevación-Capacidad-Área: El programa acepta hasta un máximo de 18 puntos de las curvas elevación-área-volumen para cada embalse.

Hidroenergía: MODSIM tiene la capacidad de calcular la potencia. La potencia es calculada de la siguiente manera:

$$KW = KQH_e$$

donde:

KW = Potencia promedio por periodo (kilovatios)

Q = Descargas a través de las turbinas (m^3/s)

H = Carga de agua promedio (m)

e = Eficiencia de las turbinas.



$K = 3.729$ para Q en $10^6 \text{ m}^3/\text{mes}$ y H en metros

Limites variables superiores e inferiores en las conexiones:

Toda conexion fisica en la red deben tener su limites superiores e inferiores. Se permite al usuario ingresar valores fijas por cada conexion o variables durante los 12 meses o semanas.

Demanda de Flujo en las conexiones (flow-through demand):

El programa MODSIM permite considerar una demanda de agua en una conexion para usos de navegacion, control de la contaminacion del agua, mantenimiento ecologico, etc y que puede ser derivado posteriormente. El otro tipo de demanda corresponde a las perdidas de la red. MODSIM considerara ambos casos.

Costo Variable de la Conexion: El modelo dispone automaticamente la colocacion de pseudo precios para los flujos igual a una unidad en las secciones del rio e igual a dos unidades en los ductos de bombeo. En problemas donde es deseado incluir costos de bombeo, MODSIM provee una opcion adicional que permite considerar los costos individuales variables de la conexion de la red.

Opciones de las Salidas (Resultado): Las cuales incluyen: impresion de data; resumen de los resultados en el periodo considerado para cada nudo de demanda y embalses; tablas resumen de los flujos en las conexiones; total de energia y potencia generada; graficos del almacenamiento de los embalses y conexiones por cada semana o mes.

Creacion de Archivos Locales: Para facilitar el analisis todos los flujos de las conexiones (a traves del tiempo) son leidos en un archivo local el cual puede ser asignado como archivo permanente para usos posteriores.



Perdidas en Canales: MODSIM tiene la capacidad de extraer directamente las perdidas en los canales. Se debe ingresar un coeficiente de perdida que representa la fracion de flujo (en la cabecera de la conexion) que sera la perdida en la conexion. La subrutina CHANLS calcula la perdidas esperadas en canales para cada semana o mes. El procedimiento es el siguiente: primero, se resuelve la red de flujo, via el algoritmo out-of-kilter, sin considerar perdida alguna. Inicialmente, se fijan todos los flujos iguales a cero o el limite inferior mayor que cero. Las perdidas de cada conexion son computadas mediante la multiplicacion de los coeficientes de perdida veces el flujo calculado y esta perdida es considerada como demanda a un nudo aguas abajo. El algoritmo out-of-kilter es resuelto nuevamente con un incremento en la demanda. Sin embargo, la solucion inicial factible se hace igual a la solucion previa de flujo optimo. Nuevas perdidas en la conexion son computadas y el procedimiento es repetido hasta que ocurra una convergencia aceptable.

Conexiones de Flujo Artificiales: Conectan cada nudo real (de almacenamiento y no-almacenamiento) con uno artificial. El limite inferior se iguala al superior y a su vez se le iguala al flujo de entrada de cada nudo real. De esta manera, el modelo esta restringe las entradas de flujos a cada uno de los nudos. El costo por unidad (w_{ij} de la ecuacion 5.1) se fija igual a cero.

Conexiones Artificiales de Demanda: Dos conexiones de demanda unen cada nudo real con un nudo artificial. El limite inferior en el primero se hace igual a cero mientras que el limite superior se iguala a la demanda asociada con cada nudo real. El costo para cada conexion de demanda artificial es calculado de la siguiente manera:



$$(w_{ij})_t = -[1000 - (DEMR_{it} \times 10)] \quad (5.8)$$

donde:

$(w_{ij})_t$ = costo real, pseudo costo o factor de prioridad por unidad de flujo del nudo real i al artificial j durante el periodo t

$DEMR_{it}$ = prioridad de alcanzar una cierta demanda en el nudo i durante el periodo t (va de 1 a 99; un menor valor representa una mayor prioridad)

j = demanda de nudo artificial

i = nudo real

t = periodo de tiempo (semana, mes, etc.)

Si se desea un incremento en la prioridad de un nudo de demanda, el valor numerico de DEMR tiene que decrecer. Esto se debe a que el w_{ij} representa un costo negativo (beneficio) haciendo el transporte de agua a esta conexion mas ventajoso que a otras conexiones, asumiendo que los otros costos permanecen constantes. De esta manera, las prioridades y demandas puestas para cada nudo son utilizadas adecuadamente en la simulacion de prioridades y preferencias operacionales. Se debe reiterar que un menor valor de $DEMR_{it}$ implica una mayor prioridad en la satisfacion para la demanda. Flujos en exceso de la demanda estan ubicados en una segunda conexion con una prioridad baja.

Nodos de Almacenamiento Artificiales Propuestos y Finales: En order de proveer capacidad de almacenamiento en la red es creado otro nodo artificial con conexiones a todos los otros nodos reales. Los flujos en estas conexiones son considerados como volúmenes de



almacenamiento en el resultado final para el periodo comprendido. Para cada nudo de almacenamiento real existen 2 conexiones artificiales unidas al nudo de almacenamiento artificial. Una conexión contiene el almacenamiento propuesto y la otra el almacenamiento resultante. El límite inferior de la conexión de almacenamiento propuesta es fijada a la capacidad mínima del embalse más un estimado de la evaporación esperada entre el estado actual al mínimo nivel de almacenamiento. Sin embargo, si el límite inferior de la conexión artificial (conectada al embalse en estudio) es menor que el límite inferior del almacenamiento deseado en la conexión, esta última es reemplazada por la primera. Esta condición es necesaria para mantener la factibilidad de la red y el balance de masa. El nivel superior deseado en la conexión es el almacenamiento objetivo más un estimado de la evaporación entre el nivel actual del embalse al almacenamiento objetivo. El costo (negativo) asociado con la transferencia de una unidad de flujo a través del desecho almacenamiento de una conexión se calcula usando una ecuación idéntica a la ecuación 5.8.

$$(w_{ik})_t = -[1000 - (OPRP_{it} \times 10)] \quad (5.9)$$

donde:

$(w_{ik})_t$ = costo de transportar una unidad de agua del nodo real i al nodo de almacenamiento artificial K durante el periodo t .

$OPRP_{it}$ = prioridad ingresada por el usuario para los niveles de almacenamiento objetivo del nodo i durante el periodo t .

k = nudo de almacenamiento artificial



i = nudo real

t = periodo de tiempo

En general se usa $OPRP_{it} > DEMR_{jt}$, para todos j, t . El costo w_{ik} es interpretado de la misma manera que el w_{ij} (ecuacion 5.8).

Un nodo de almacenamiento final debe ser empleado para compensar aquellas situaciones que, debido a la naturaleza de los flujos y prioridades, el almacenamiento de embalse exceda el nivel objetivo. Estos estan conectados a cada embalse con el nodo artificial de almacenamiento de la misma forma que la conexion de almacenamiento deseada. Sin embargo, el limite inferior y su costo son iguales a cero. El limite superior es igual a las diferencias entre la capacidad maxima de almacenamiento y el del nivel objetivo de almacenamiento, menos un estimado de la evaporacion. El volumen total de los nodos de almacenamiento en la red se convierten en la suma del flujo de las dos conexiones despues de haber usado la solucion del algoritmo de out-of-kilter.

Conexiones Artificiales de Vertidos: MODSIM emplea tambien conexiones artificiales de vertidos que ayudan a mantener el balance de masa en la red los cuales tienen el mayor costo. Cada nodo de almacenamiento real esta conectado con el nodo de artificial de alivios o vertidos. El limite inferior es igual a cero mientras que el superior es igual al total de la capacidad de todos los embalses. El costo unitario asociado con la volúmenes vertidos de agua es de 10,000 multiplicado por su prioridad. Se recomienda hacer a todos los nudos de almacenamiento como nodos de derrame.



Balance de Masa en las Conexiones: Para asegurar la circulación en la red en el balance de la masa es anadido un nudo artificial de balance de masa con conexiones en el nudo de almacenamiento artificial, almacenamiento y nodos de vertidos y el nudo de descargas artificiales. El costo asociado con esta es cero teniendo sus límites inferiores también en cero, mientras que los superiores son la suma de los límites superiores de las conexiones que convergen al nudo (demanda, almacenamiento y vertidos).

Aunque el usuario se debe preocupar de la red real (MODSIM construye la red total), el verdadero tamaño de la red es considerablemente mayor que la real. El número total de nudos en la red total será 5 veces más grande que el de la red real. Sin embargo, el total número de conexiones serán:

$$\# \text{CONEXIONES} = N_L + 5N_D + N_S + N_B$$

donde:

N_L = número de conexiones físicas (secciones de río, canales, etc.)

N_D = número de nudos (almacenamiento y no almacenamiento)

N_S = número de nudos vertedores

N_B = número de conexiones de balance de masa = 5

5.2.4 Documentación para el usuario.

El programa de MODSIM está codificado en FORTRAN 77. Tiene la capacidad de desarrollar un archivo completo de datos de entrada sin tener que conocer ninguna instrucción FORTRAN. Esta característica



del modelo permite al usuario ejecutar el programa en forma iterativa y conversacional.

Requerimientos de Datos

1. Descripción física del sistema a ser simulado.
2. Criterio operacional.
3. Parametros de control.
4. Descargas de avenidas semanales o mensuales.
5. Demandas semanales o mensuales.
6. Evaporacion semanal o mensual.

Es creado un archivo llamado ADATA que contiene las descargas de entrada semanales o mensuales, las demandas y la evaporacion y otro denominado ORGNZ que tiene la morfologia de la red, el criterio de la operacion, y demas parametros fisicos del sistema. El programa tiene varios registros los cuales se listan a continuacion:

Registro #1 : Opciones de control (numeros enteros).

1. Resumen de los datos de entrada.
2. Uso de unidades inglesas o metricas.
3. Opcion para el uso de intervalos mensuales o semanales.
4. Almacenamiento del embalse y demandas basadas en las condiciones hidrológicas correspondientes.
5. Opcion del listado de graficos.

Registro # 2 Titulo de la actual simulacion (entrada alfanumerica)

Registro #3 Parametros morfologicos de la red (entradas enteras)

1. Numero de nudos (menores de 70; ingresar solo los reales)
2. Numero de conexiones (menores de 70; solo las reales)
3. Numero de embalses (menores de 25)

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several paragraphs and is mostly unrecognizable due to low contrast and blurring.

4. Numero de secciones en el rio.
5. Numero de nudos de demanda.
6. Numero de nudos vertedores.
7. Numero de nudos de importacion.
8. Numero de años (incrementos mensuales) o periodos de 12 semanas (menores de 20).
9. Primer año calendario de la simulacion.
10. Año final de salida.
11. Calculo de la produccion o oferta firme de agua (firm yield).

Registro #4 Nodos del sistema (los nodos de almacenamiento deben preceder a los de no-almacenamiento en orden consecutivo; todos enteros o alfanumericos).

1. Nombre del nodo de almacenamiento.
2. Numero del nodo de almacenamiento.
3. Volumen maximo de almacenamiento.
4. Volumen minimo de almacenamiento.
5. Almacenamiento inicial.
6. Nombre de los nudos de no-almacenamiento.

Registro #5 Embalses con vertedores en orden de preferencia (enteros)

Registro #6 Tablas de elevacion-area-volumen (hasta 18 puntos; tasa de infiltracion como una fracion del volumen promedio de almacenamiento durante la semana o mes (enteros)).

Registro #7 Nodo de demanda.

1. Numero del nodo.



2. Nodo al cual se dirige la conexión de la demanda del flujo.
3. Demanda anual (puede ser entrada por el archivo ADATA).
4. Distribución de la demanda en periodo de tiempo.
5. Infiltración por agua subterránea.
6. Orden de preferencias relativo o factores de peso (valores del 1 al 99; valores bajos significan prioridades altas)

Registro #8 Nodos de Importación (agua proveniente de otra cuenca hidrográfica)

1. Número del nodo.
2. Flujo de importación en el periodo de tiempo.
3. Fracción de distribución durante el periodo.

Registro #9 Cálculo de estado hidrológicos* (opcional)

1. Número de reservorios en el sub-sistema.
2. Número del nodo en la red.
3. Fracción para el límite inferior promedio y límite promedio superior.

Registro # 10 factores de Conversión (opcional)

Registro # 11 Criterio de operación de embalse

1. Prioridad relativa para cada año o trimestre.
2. Niveles de almacenamiento deseado.

*Se refiere al estado húmedo, seco o promedio.

Registro # 12 Configuración del sistema

1. Numero de las conexiones de capacidad variable.
2. Numero de conexiones en la red.
3. Nodo de origen para cada conexión.
4. Nodo de llegada para cada conexión.
5. Capacidad máxima.
6. Capacidad mínima .
7. Costo unitario en la conexión (opcional).
8. Pérdida por conducción (fracción del flujo promedio).
9. Para nodos de capacidad variable ingresar su distribución mensual o semanal.

Registro # 13 (Todos enteros)

1. Embalses en los que se desea gráficos de almacenamiento.
2. Conexiones en los que se desea gráficos de flujos.

Resultados

El usuario tiene la opción de obtener diferentes formas de salidas que incluyen:

1. Listado reducido de los datos de entrada de la configuración y datos básicos.
2. Informe detallado a nivel mensual o semanal de los nodos y conexiones:
 - a. Nodos de almacenamiento:
 - almacenamiento inicial
 - flujo irregulares de entrada
 - descargas aguas arriba
 - demanda
 - escasez



perdidas por evaporacion

area superficial

perdidas en el sistema

agua bombeada a un nodo

agua bombeada desde un

nodo de almacenamiento

(actual y deseado)

volumenes vertidos aguas abajo

produccion de energia

hidroelectrica

b. Nodos de demanda sin almacenamiento

c. Flujos en las conexiones.

3. Energia y potencia total producida para cada semana o mes.



6. Ejemplos de uso del Modelo MODSIM

Los ejemplos 1 y 2 han sido diseñados para ser resueltos a mano para el mejor entendimiento de los procesos realizados por el programa MODSIM. En el ejemplo 3 se muestra la aplicación directa del modelo a un caso real.

Ejemplo 1

Consideremos la configuración mostrada en la Figura 6.1 para un cierto mes o semana (las unidades son arbitrarias en este ejemplo). Recordando que

$$c_{iD} = -[1000 - DEMR_i \times 10]$$

Supongamos ahora que $DEMR_1 = 10$ y $DEMR_2 = 20$. Por lo tanto,

$$c_{1D} = -900$$

$$c_{2D} = -800$$

A pesar que el nodo 1 tiene un mayor costo negativo (beneficios) tiene una mayor prioridad que el nodo 2.

Asumiendo que el balance de masa satisface a todos los nodos artificiales y expresando las ecuaciones (6.1) a (6.4) para los nodos 1 y 2:

$$\min -900 q_{1D} - 800 q_{2D} \quad (6.1)$$

sujeto a:

$$3000 - q_{12} - q_{1D} = 0 \quad : \text{ balance de masa para el nodo \#1}$$

(6.2)

$$q_{12} + 1000 - q_{2D} = 0 \quad : \text{ balance de masa para el nodo \#2}$$

(6.3)



$$0 \leq q_{1D} \leq 2000 \quad : \text{restricciones de capacidad para} \\ \text{conexion (1,D)} \quad (6.4)$$

$$0 \leq q_{2D} \leq 3000 \quad : \text{restricciones de capacidad para} \\ \text{la conexion (2,D)} \quad (6.5)$$

$$0 \leq q_{12} \leq 4000 \quad : \text{restricciones de capacidad para} \\ \text{la conexion (1,2)} \quad (6.6)$$

MODSIM resuelve este problema mediante el metodo de OUT-OF-KILTER, sin embargo, porque este metodo es algo complicado y el presente ejercicio es bastante simple, un procedimiento menos dificil podria ser usado dando la misma solucion que el mencionado

Note que:

$$q_{1D} = 3000 - q_{12} \quad (6.7)$$

$$q_{2D} = 1000 + q_{12} \quad (6.8)$$

Substuyendo en la funcion objetivo (6.1) se obtiene:

$$\min -99 (3000 - q_{12}) - 800 (1000 + q_{12}) \quad (6.9)$$

o

$$\min 900 q_{12} - 800 q_{12} = 100 q_{12} \quad (6.10)$$

sujeto a

$$0 \leq (3000 - q_{12}) \leq 2000 \quad (6.11)$$

$$0 \leq (1000 + q_{12}) \leq 3000 \quad (6.12)$$

$$0 \leq q_{12} \leq 4000 \quad (6.13)$$

que pueden combinarse en la expresion siguiente:

$$1000 \leq q_{12} \leq 2000 \quad (6.14)$$



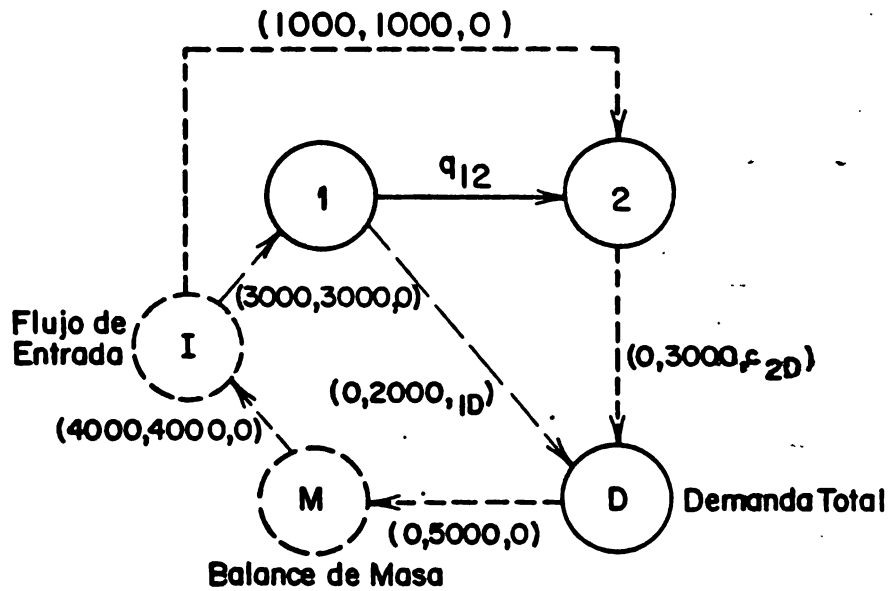


Figura 6.1. Diagrama de nodos para el ejemplo 1.

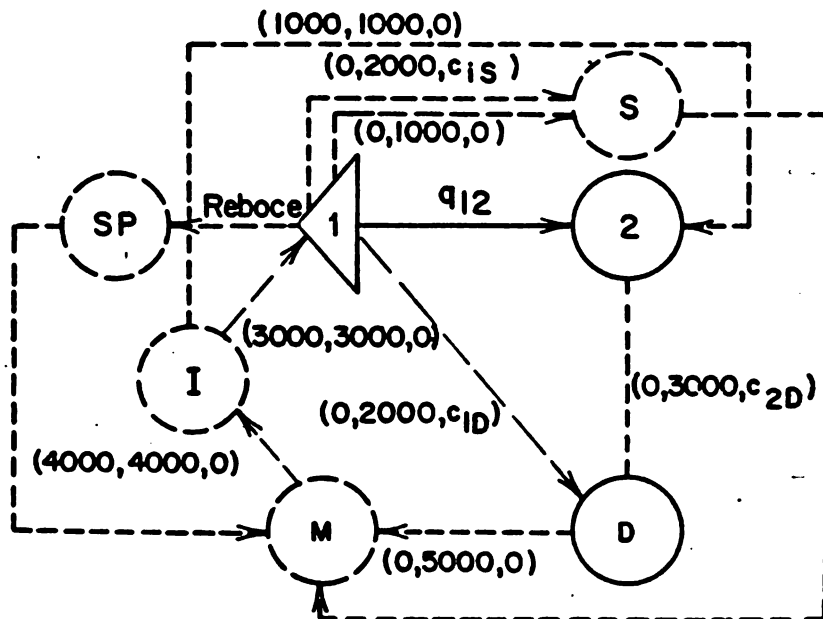


Figura 6.2. Diagrama de nodos para el ejemplo 2.



seleccionando el limite superior mas bajo y el limite inferior mas alto en las ecuaciones (6.4) a (6.10).

Ya que se desea minimizar $100q_{12}$, la respuesta es obviamente

$$q_{12}^* = 1000$$

Mediante el balance de masa, las descargas en las otras conexiones son

$$q_{1D}^* = 2000 \quad q_{DM}^* = 4000$$

$$q_{2D}^* = 2000 \quad q_{MI}^* = 4000$$

Entonces, el nodo 1 recibe completa dotacion, mientras el nodo 2 es disminuido en 1000.

Ahora supongamos que las prioridades son invertidas. Esto es

$$DEMR_1 = 20$$

$$DEMR = 10$$

Siguiendo el procedimiento anterior, la funcion objetivo es

$$\min -100 q_{12}$$

sujeto a la restriccion (13). La respuesta es obviamente

$$q_{12}^* = 2000$$

con

$$q_{1D}^* = 1000 \quad q_{DM}^* = 4000$$

$$q_{2D}^* = 3000 \quad q_{MI}^* = 4000$$

Ejemplo 2

El siguiente ejemplo tiene un mayor grado de complejidad. Aqui, el nodo 1 es ahora considerado como de capacidad. Existe tambien una



demanda directa para este nodo. Las pérdidas en los canales y por evaporación no son consideradas. Notar que el volumen objetivo para el embalse 1 es 2000, pero el almacenamiento total es 3000. La conexión de descargas de entrada al embalse 1 es fijada en $[3000, 3000, 0]$. Esto puede representar un flujo de entrada de 1000 y un volumen acumulado de 2000 del periodo anterior.

Ahora, se asume

$$\text{DEMR}_1 = 10$$

$$\text{OPRP}_1 = 20$$

$$\text{DEMR}_2 = 30$$

Notar que a la demanda del nodo 1 se le ha dado una mayor prioridad, seguido por la del embalse, y finalmente por la del nodo 2. Asumiendo la satisfacción del balance de masa en todos los nodos artificiales, el ejercicio queda como sigue:

$$\min -900q_{1D} - 800q_{1S} - 700q_{2D}$$

sujeto a:

$$3000 - q_{12} - q_{1S} - q_{1D} = 0$$

$$q_{12} + 1000 - q_{2D} = 0$$

$$0 \leq q_{1D} \leq 2000$$

$$0 \leq q_{2D} \leq 3000$$

$$0 \leq q_{1S} \leq 2000$$

$$0 \leq q_{12} \leq 4000$$

Resolviendo para q_{1D} y q_{2D} :

$$q_{1D} = 3000 - q_{12} - q_{1S}$$



$$q_{2D} = 1000 + q_{12}$$

sustituyendo esto en la función objetivo:

$$\min - 900(3000 - q_{12} - q_{1S})$$

$$- 800q_{1S}$$

$$- 700(1000 + q_{12})$$

o

$$\min 200q_{12} + 100q_{1S}$$

sujeto a:

$$0 \leq (3000 - q_{12} - q_{1S}) \leq 2000$$

$$0 \leq (1000 + q_{12}) \leq 3000$$

$$0 \leq q_{1S} \leq 2000$$

$$0 \leq q_{12} \leq 4000$$

Las únicas variables que subsisten son q_{12} y q_{1S} . Estas restricciones

pueden ser escritas como:

$$q_{12} + q_{1S} \leq 3000$$

$$q_{12} + q_{1S} \geq 1000$$

$$q_{12} \leq 2000$$

$$q_{1S} \leq 2000$$

$$q_{12}, q_{1S} \geq 0$$

La región factible definida para los rangos de q_{12} y q_{1S} que satisfacen todas las restricciones arriba mencionadas son mostradas gráficamente en la Figura 6.3.

La función objetivo es:



$$\min. z = 200 q_{12} + 100 q_{1S}$$

o

$$q_{1S} = \frac{-200}{100} q_{12} + \frac{z}{100}$$

Para cualquier valor de z , la pendiente de la función objetivo es -2 .

Optimizar el valor de z significa trasladar una línea de pendiente -2 a la izquierda tan lejos como sea posible, pero teniendo al menos un punto factible en la línea. Este punto debe ser óptimo,

$$q_{12}^* = 0 \quad q_{1S}^* = 1000$$

para este ejemplo.

Mediante el balance de masa,

$$q_{1D}^* = 2000 \quad q_{2D}^* = 1000$$

Por lo tanto, el nodo de demanda 1 recibe completa dotación. Al final del periodo el volumen en el embalse 1 es deficitario en 1000 y no recibe flujo alguno la demanda del nodo 2. El volumen final de 1000 es añadido a las descargas de entrada del próximo periodo. Así se continúa para siguientes periodos simulación. Intercambiando estas prioridades se obtendría, por supuesto, una diferente distribución de flujos.

Comentarios Adicionales

Perdidas en los canales y evaporación no han sido considerados en este ejemplo. Su inclusión significaría un ajuste en las condiciones de borde. Esto significa que las líneas en la Figura 6.3 deberían ser rearrregladas de tal manera, que se obtendría una solución diferente.

Algunas variaciones serán ahora consideradas. Supongamos que $OPRP_1 = 30$ en vez de 20. Entonces



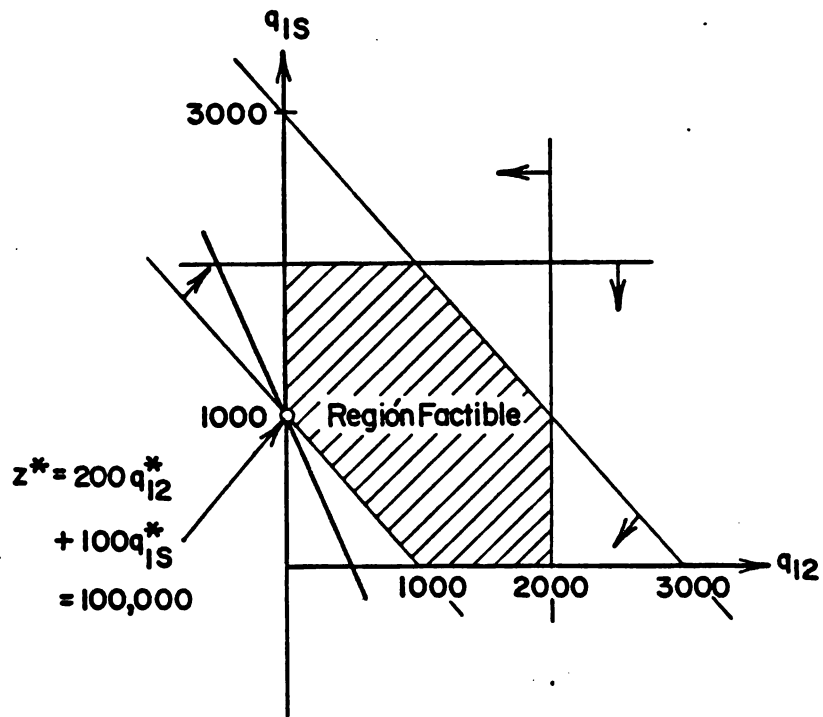


Figura 6.3. Region factible de flujos para el ejemplo 2.



$$z = 200 q_{12} + 200 q_{15}$$

la pendiente de la función objetivo del gráfico mostrado es -1. Esto significa que

$$q_{12}^* = 0 \quad q_{15}^* = 1000$$

o

$$q_{12}^* = 1000 \quad q_{15}^* = 0$$

son óptimos. MODSIM elige uno de ellos arbitrariamente. Estos casos de igualdad son raros en ejercicios complejos, pero sirven para mostrar que es mejor asignar distintas prioridades y preferentemente no muy próximas entre ellas.

Ejemplo 3

Dada la configuración del sistema de Valdesia mostrada en la figura 6.4, simular la distribución de flujos para el trimestre (de 12 semanas) que se inicia el 9 de Octubre de 1984.



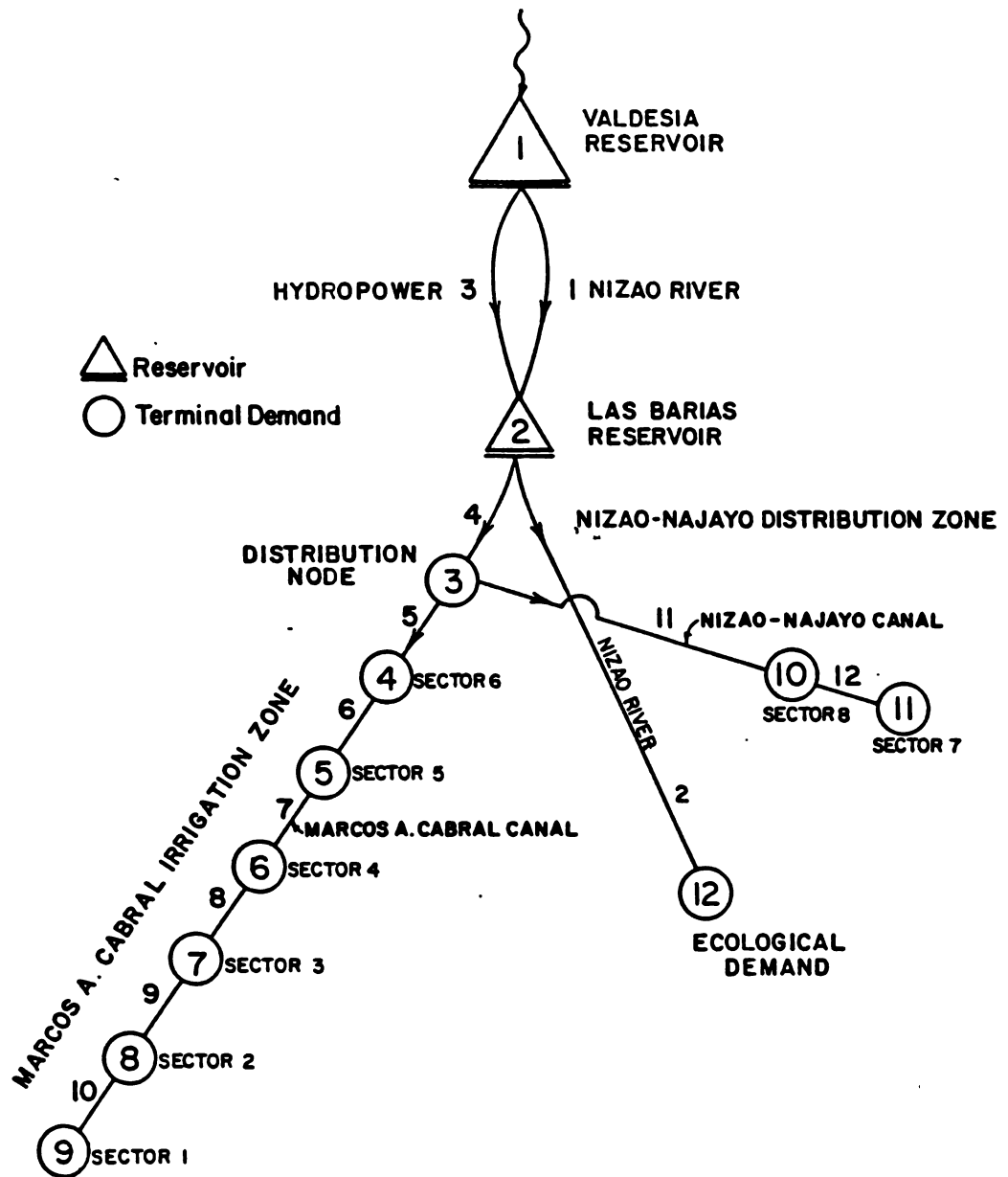


Figura 6.4 Configuración del sistema del embalse de Valdesia para el ejemplo 3.



Archivo de entrada ORGANZ

Unit/Data/Storage/Output/Plot [E/M,Y/Q,0/1,F/S,N/Y] 1 1 1 0 1
 VALDESIA TEST, WEEKLY BASIS, 8 IRRIGATION SECTORS, STARTED 84/10/09
 Nodes: Total/Reservoir/Spill/Demand/Import 12 2 2 9 0
 Links: Total/River Reach 12 2
 Periods(Year): Total/Beginning Calendar 1 1984
 Index Period: Start/End of Output 1 1
 Firm Yield [N/Y,0/Node#], Tolerance Level for Shortage 0 .0000

VALDESIA 1 153000 35000 40440
 LAS BARI 2 6050 240 1040
 DISTRIB 3
 SECTOR06 4
 SECTOR05 5
 SECTOR04 6
 SECTOR03 7
 SECTOR02 8
 SECTOR01 9
 SECTOR08 10
 SECTOR07 11
 ECOLOGIC 12

Spill Nodes: 2 1

RES #, A-C-H POINTS 1 14
 A-C-H 38 0 25 150 0 30 324 0 35
 871 0 40 1572 1173 45 2310 6182 50
 3406 16214 55 4537 32163 60 5664 53736 65
 6677 80145 70 7492 113465 75 8357 153088 80
 9000 196481 85 9776 243421 90

Power Eff [0/1,S/T] 1

No of H,Q 7 9
 Eff Table H1Q 0 12096 30240 36288 39312 42336 45360 48384 54432
 60 .0000 .6442 .6893 .7085 .7190 .7181 .7133 .7046 .6797
 64 .0000 .6346 .6854 .7190 .7344 .7334 .7296 .7219 .6970
 67 .0000 .6346 .6893 .7238 .7373 .7430 .7440 .7411 .7430
 71 .0000 .6202 .6893 .7334 .7507 .7565 .7498 .7478 .7248
 74 .0000 .6144 .6874 .7402 .7526 .7632 .7613 .7574 .7315
 77 .0000 .6288 .6912 .7373 .7507 .7584 .7594 .7565 .7373
 80 .0000 .6422 .7037 .7421 .7526 .7622 .7670 .7613 .7334

ND GN .000

RES #, A-C-H POINTS 2 10
 A-C-H 0 0 69 52 50 70 190 240 72
 310 450 73 460 800 74 640 1400 75
 805 2100 76 910 3000 77 1000 4000 78
 1140 6050 80

Power Eff [0/1,S/T] 0 .0000

ND GN .000

Demand 4 0 0
 All Quarters 1
 Demand 5 0 0
 All Quarters 1
 Demand 6 0 0
 All Quarters 1
 Demand 7 0 0
 All Quarters 1



Demand 8 0 0
 All Quarters 1
 Demand 9 0 0
 All Quarters 1
 Demand 10 0 0
 All Quarters 1
 Demand 11 0 0
 All Quarters 1
 Demand 12 0 0
 All Quarters 99

Factors: Link F=		1.0000000	Inflow=	1.0000000	Demand=	1.0000000
Quarterly QFR	1 20	60000.	60000.	50000.	60000.	60000. 01
		60000.	60000.	60000.	60000.	60000.
Quarterly QFR	2 10	3500.	3500.	3500.	3500.	3500. 01
		3500.	3500.	3500.	3500.	3500.

NWRLKS 0
 Link 1 1 2 4233600 0 0 .00000
 Link 2 2 6 4233600 0 0 .00000
 Link 3 1 2 54432 0 0 .00000
 Link 4 2 3 8931 0 0 .00000
 Link 5 3 4 7258 0 0 .00000
 Link 6 4 5 7258 0 0 .00000
 Link 7 5 6 7258 0 0 .00000
 Link 8 6 7 7258 0 0 .00000
 Link 9 7 8 7258 0 0 .00000
 Link 10 8 9 7258 0 0 .00000
 Link 11 3 10 1693 0 0 .00000
 Link 12 10 11 1693 0 0 .00000
 LINK PLOT 0
 RES. PLOT 1 1

Version: MOOSIMX V 2.11_a





40.300	60.600	42.300	55.890	47.990	62.480
88.240	47.080	67.490	52.690	26.720	21.040
.000	.000	.000	.000	.000	.000
.000	.000	.000	.000	.000	.00084100912



Resultados

1

```

*****
*
*      Program MODSIMX   River Basin Simulation Package
*      Colorado State University   CSU
*      Version: V2.51   IBM/PC-XT   February 13, 1986
*
*****

```

VALDESIA TEST, WEEKLY BASIS, 8 IRRIGATION SECTORS, STARTED 84/10/09

Reservoir No. 1 VALDESIA Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984
 Maximum Capacity 153000 Minimum Operating Pool Capacity 35000

Week	***** Storage *****			***** Losses *****			
	Initial	Ending	Target	Spills	Evap. Rate	Evap. Loss	Seepage
1	40440	43144	60000	0	.030	152	0
2	43144	65404	60000	0	.030	172	0
3	65404	81964	60000	0	.030	194	0
4	81964	92567	60000	0	.031	212	0
5	92567	102162	60000	0	.031	221	0
6	102162	108870	60000	0	.031	228	0
7	108870	108373	60000	0	.031	230	0
8	108373	109245	60000	0	.031	227	0
9	109245	109197	60000	0	.030	225	0
10	109197	109907	60000	0	.030	225	0
11	109907	108919	60000	0	.030	225	0
12	108919	118613	60000	0	.030	228	0



***** Inflow ***** ***** Outflow *****

Week	Unreg. Inflow	Upstream Releases	Surface Pumped in	Ground-Water	Downstream Release	Surface Pumped Out
1	11070	0	0	0	8214	0
2	27970	0	0	0	5538	0
3	20150	0	0	0	3396	0
4	19550	0	0	0	4735	0
5	15890	0	0	0	6074	0
6	13260	0	0	0	6324	0
7	7500	0	0	0	7767	0
8	7200	0	0	0	6101	0
9	6760	0	0	0	6583	0
10	4850	0	0	0	3915	0
11	6330	0	0	0	7093	0
12	15080	0	0	0	5158	0

**** Demand **** ***** Hydropower ***** Surface

Week	Required	Shortage	Avg. Head	Avg. Power KW	Energy MW-HR	Area
1	0	0	62.23	24361306	981761	5040
2	0	0	65.10	10435026	632363	5685
3	0	0	68.78	9518681	402640	6429
4	0	0	71.07	10302374	575800	6851
5	0	0	72.58	16341724	784239	7098
6	0	0	73.81	12910465	806646	7298
7	0	0	74.27	11153532	984188	7374
8	0	0	74.30	17156779	807741	7378
9	0	0	74.36	12507086	844103	7388
10	0	0	74.41	9304796	490270	7396
11	0	0	74.39	40956700	1094363	7393
12	0	0	75.04	37976484	799025	7499



Reservoir No. 2 LAS BARI Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984
 Maximum Capacity 6050 Minimum Operating Pool Capacity 240

***** Storage *****				***** Losses *****			
Week	Initial	Ending	Target	Net			
				Spills	Evap. Rate	Evap. Loss	Seepage
1	1040	3499	3500	0	.000	0	0
2	3499	3499	3500	0	.000	0	0
3	3499	3499	3500	0	.000	0	0
4	3499	3499	3500	0	.000	0	0
5	3499	3499	3500	0	.000	0	0
6	3499	3499	3500	0	.000	0	0
7	3499	3499	3500	0	.000	0	0
8	3499	3499	3500	0	.000	0	0
9	3499	3499	3500	0	.000	0	0
10	3499	3499	3500	0	.000	0	0
11	3499	3499	3500	0	.000	0	0
12	3499	3499	3500	0	.000	0	0

***** Inflow *****				***** Outflow *****		
Week	Unreg. Inflow	Upstream Releases	Surface Pumped in	Ground-Water	Downstream Release	Surface Pumped Out
1	0	8214	0	0	2869	2886
2	0	5338	0	0	2764	2774
3	0	3396	0	0	1728	1668
4	0	4735	0	0	2385	2350
5	0	6074	0	0	3154	2920
6	0	6324	0	0	3300	3024
7	0	7767	0	0	4033	3732
8	0	6101	0	0	3171	2930
9	0	6583	0	0	3334	3249
10	0	3915	0	0	1988	1927
11	0	7093	0	0	3611	3482
12	0	5158	0	0	2643	2515



Week	*** Demand ***		***** Hydropower *****			Surface
	Required	Shortage	Avg. Head	Avg. Power KW	Energy MW-HR	Area
1	0	0	76.19	0	0	825
2	0	0	77.50	0	0	933
3	0	0	77.50	0	0	933
4	0	0	77.50	0	0	933
5	0	0	77.50	0	0	933
6	0	0	77.50	0	0	933
7	0	0	77.50	0	0	933
8	0	0	77.50	0	0	933
9	0	0	77.50	0	0	933
10	0	0	77.50	0	0	933
11	0	0	77.50	0	0	933
12	0	0	77.50	0	0	933

Demand Node No. 4 SECTOR06 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water	Groundwater	Shortage (- Implies Excess)
		Contribution	Contribution	
1	605	605	0	0
2	579	579	0	0
3	354	354	0	0
4	492	492	0	0
5	579	579	0	0
6	596	596	0	0
7	743	743	0	0
8	588	588	0	0
9	648	648	0	0
10	346	346	0	0
11	700	700	0	0
12	501	501	0	0



Demand Mode No. 5 SECTOR05 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

<u>Week</u>	<u>Demand</u>	<u>Surface Water Contribution</u>	<u>Groundwater Contribution</u>	<u>Shortage (- Implies Excess)</u>
1	1633	1633	0	0
2	1564	1564	0	0
3	942	942	0	0
4	1331	1331	0	0
5	1685	1685	0	0
6	1754	1754	0	0
7	2151	2151	0	0
8	1685	1685	0	0
9	1875	1875	0	0
10	1158	1158	0	0
11	2005	2005	0	0
12	1452	1452	0	0

Demand Mode No. 6 SECTOR04 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

<u>Week</u>	<u>Demand</u>	<u>Surface Water Contribution</u>	<u>Groundwater Contribution</u>	<u>Shortage (- Implies Excess)</u>
1	527	527	0	0
2	501	501	0	0
3	320	320	0	0
4	432	432	0	0
5	588	588	0	0
6	622	622	0	0
7	778	778	0	0
8	605	605	0	0
9	639	639	0	0
10	354	354	0	0
11	691	691	0	0
12	492	492	0	0



Demand Node No. 7 SECTOR03 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	968	968	0	0
2	933	933	0	0
3	570	570	0	0
4	795	795	0	0
5	1132	1132	0	0
6	1123	1123	0	0
7	1391	1391	0	0
8	1063	1063	0	0
9	1218	1218	0	0
10	778	778	0	0
11	1287	1287	0	0
12	933	933	0	0

Demand Node No. 8 SECTOR02 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	510	510	0	0
2	492	492	0	0
3	320	320	0	0
4	441	441	0	0
5	553	553	0	0
6	596	596	0	0
7	717	717	0	0
8	570	570	0	0
9	639	639	0	0
10	389	389	0	0
11	683	683	0	0
12	501	501	0	0



Demand Node No. 9 SECTOR01 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	864	864	0	0
2	838	838	0	0
3	518	518	0	0
4	717	717	0	0
5	881	881	0	0
6	959	959	0	0
7	1149	1149	0	0
8	933	933	0	0
9	838	838	0	0
10	467	467	0	0
11	950	950	0	0
12	717	717	0	0

Demand Node No. 10 SECTOR08 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	130	130	0	0
2	130	130	0	0
3	78	78	0	0
4	104	104	0	0
5	138	138	0	0
6	130	130	0	0
7	173	173	0	0
8	130	130	0	0
9	130	130	0	0
10	69	69	0	0
11	138	138	0	0
12	104	104	0	0



Demand Node No. 11 SECTOR07 Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	518	518	0	0
2	501	501	0	0
3	294	294	0	0
4	423	423	0	0
5	518	518	0	0
6	544	544	0	0
7	665	665	0	0
8	527	527	0	0
9	596	596	0	0
10	354	354	0	0
11	639	639	0	0
12	458	458	0	0

Demand Node No. 12 ECCLDSIC Simulation Quarter 1 Calendar Quarter 1984

Week	Demand	Surface Water Contribution	Groundwater Contribution	Shortage (- Implies Excess)
1	4000000	0	0	4000000
2	4000000	0	0	4000000
3	4000000	0	0	4000000
4	4000000	0	0	4000000
5	4000000	0	0	4000000
6	4000000	0	0	4000000
7	4000000	0	0	4000000
8	4000000	0	0	4000000
9	4000000	0	0	4000000
10	4000000	0	0	4000000
11	4000000	0	0	4000000
12	4000000	0	0	4000000



Volumetric Flows in Links

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
1	8214	5538	3396	4735	6074	6324
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	7767	6101	6583	3915	7093	5158
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
2	2869	2764	1728	2385	3154	3300
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	4035	3171	3334	1988	3611	2643
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
3	0	0	0	0	0	0
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	0	0	0	0	0	0
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
4	2886	2774	1668	2350	2920	3024
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	3732	2930	3249	1927	3482	2515
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.



<u>Link</u>	<u>Wek 1</u>	<u>Wek 2</u>	<u>Wek 3</u>	<u>Wek 4</u>	<u>Wek 5</u>	<u>Wek 6</u>
5	2238	2143	1296	1823	2264	2350
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	<u>Wek 7</u>	<u>Wek 8</u>	<u>Wek 9</u>	<u>Wek 10</u>	<u>Wek 11</u>	<u>Wek 12</u>
	2894	2273	2523	1504	2705	1953
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

<u>Link</u>	<u>Wek 1</u>	<u>Wek 2</u>	<u>Wek 3</u>	<u>Wek 4</u>	<u>Wek 5</u>	<u>Wek 6</u>
6	1633	1564	942	1331	1685	1754
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	<u>Wek 7</u>	<u>Wek 8</u>	<u>Wek 9</u>	<u>Wek 10</u>	<u>Wek 11</u>	<u>Wek 12</u>
	2151	1685	1875	1158	2005	1452
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

<u>Link</u>	<u>Wek 1</u>	<u>Wek 2</u>	<u>Wek 3</u>	<u>Wek 4</u>	<u>Wek 5</u>	<u>Wek 6</u>
7	0	0	0	0	0	0
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	<u>Wek 7</u>	<u>Wek 8</u>	<u>Wek 9</u>	<u>Wek 10</u>	<u>Wek 11</u>	<u>Wek 12</u>
	0	0	0	0	0	0
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

<u>Link</u>	<u>Wek 1</u>	<u>Wek 2</u>	<u>Wek 3</u>	<u>Wek 4</u>	<u>Wek 5</u>	<u>Wek 6</u>
8	2342	2263	1408	1953	2566	2678
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	<u>Wek 7</u>	<u>Wek 8</u>	<u>Wek 9</u>	<u>Wek 10</u>	<u>Wek 11</u>	<u>Wek 12</u>
	3257	2566	2695	1634	2920	2151
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.



Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
9	1374	1330	838	1158	1434	1535
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	1866	1503	1477	856	1633	1218
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
10	864	838	518	717	881	959
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	1149	933	838	467	950	717
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

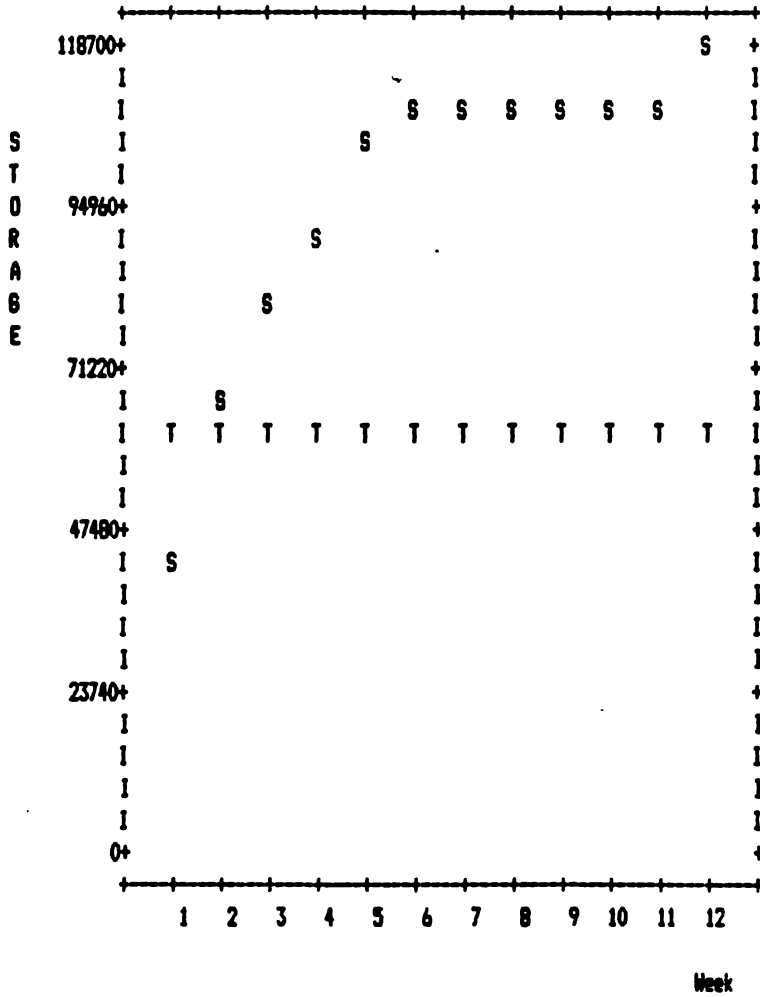
Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
11	648	631	372	527	656	674
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	838	657	726	423	777	562
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Link	Wek 1	Wek 2	Wek 3	Wek 4	Wek 5	Wek 6
12	518	501	294	423	518	544
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	Wek 7	Wek 8	Wek 9	Wek 10	Wek 11	Wek 12
	665	527	596	354	639	458
Loss	0.	0.	0.	0.	0.	0.



1

Target & End-of-Period Storage Levels for VALDESIA RES. (Node 1), Quarter 1984





Total Loss from System (Export from Spill)

Node	Loss
2	0
1	0

Total	0
-------	---

Total Shortage to Demand

Node	Shortage
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	48000000

Total	48000000
-------	----------

Average Quarterly KW Output

Node	KW
1	212924953
2	0

Total	212924953
-------	-----------



7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Becker, L. and W. W-B Yeh, "Optimization of Real-Time Operation of Multiple Reservoir System," Water Resources Research, Vol. 10, No. 6, pp. 1107-1112, 1974.
- Bercha, F. G. and Assoc., Ltd., "Alberta Environment WBSM: Model Guide," Report No. WBSM-99-99, Alberta, Canada, March 1981.
- Boston, W. T., "Program Documentation for H2O ROUTE: A Program for a Weekly Water Routing Study for the TVA, Alcoa, and Cumberland Reservoir Aystems," Daily Scheduling Section, Tennessee Valley Authority, 1975.
- Cohen, G., "Optimal Control of the Water Supply Networks," Chapter 8 in Optimization and Control of Dynamic Operational Research Models, S. G. Tzafestas, editor, North-Holland, 1982.
- Cooper, M. W., "An Improved Algorithm for Nonlinear Integer Programming," Report IEDR 77005, Dept. of Industrial Engineering and Operations Research, Southern Methodist University, February 1977.
- Davis, D. W. and J. J. Buckley, "Output Increase from existing Hydroelectric Plants," Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol 110, No. 4, pp 361-372, October 1984.
- Faux, J. C., R. C. Lazaro, and J. W. Labadie, "Improving performance of Irrigation/Hydro Projects", submitted to the Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1985.
- Fontane, D. G., B. Loftis, J. Labadie, and D. Merritt, "Implementation Strategies for Salinity Control Projects in the Colorado River



- Basin," Presented at the 1984 ASCE Annual Convention, San Francisco, October 1-5, 1984.
- Fontane, D. G., J. W. Labadie, and B. Loftis, "Optimal Control of Reservoir Discharge Quality Through Selective Withdrawal," Water Resources Research, Vol. 17, No. 6, pp. 1594-1604, December 1981.
- Grygier, J. C. and J. R. Stedinger, "Algoritims for Optimizing Hydropower System Operation," Water Resources Research, Vol. 21, No. 1, pp 1-10, January 1985.
- Hamdan, A. S., "Network Approach to Management of Conjunctively Operated Groundwater-Surface Water Systems," Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1974.
- Helweg, O. J., R. W. Hinks, D. T. Ford, "Reservoirs Systems Optimization," Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 108, No. WR2, pp 169-179, June 1982.
- Jensen, P. A. and J. W. Barnes, Network Flow Programming, Wiley, 1980.
- Labadie, J. W., "Drought Contingency Model for Water Control at Corps Reservoirs in the Ohio River Basin: Cumberland Basin Case Study," Reservoir Control Center, Ohio River Division, U.S. Army Corps of Engineers, Cincinnati, Ohio, March 1983.
- Labadie, J. W. and D. G. Fontane, "Development of a Methodology to Improve Opportunities for Exchange Hydropower Resources in the Western United States: Colorado River Basin Study," Final Report to the Western Area Power Administration, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, October 1982.
- Labadie, J. W. and D. R. Hampton, "Estimation of Hydrogeologic Parameters for Optimal Groundwater Basin Development," Chapter 12

- in Mathematical Programming with Data Perturbations, A. V. Fiacco, ed., Marcel Dekker, 1982.
- Labadie, J. W. and R. C. Lazaro, "Computer Simulation Results for Proposed Phase I Integrated VPP-SCP Project, Cyprus," Technical Report for the World Bank, February 1983.
- Labadie, J. W., D. G. Fontane, and B. Loftis, "Optimum Control of Reservoir Discharge Quality Through Selective Withdrawal," Proceedings of the Symposium on Surface-Water Impoundments, H. G. Stefan, editor, American Society of Civil Engineers, New York, pp. 729-738, 1981a.
- Labadie, J. W., R. C. Lazaro, and D. M. Morrow, "Worth of Short-Term Rainfall Forecasting for Combined Sewer Overflow Control," Water Resources Research, Vol. 17, No. 5, pp. 1489-1497, October 1981.
- Labadie, J. W., D. G. Fontane, and J. D. Salas, "Impacts of Indexed Sequential Modeling on Hydrogeneration Capacity Estimation: A Comparative study," Project Completion Report to the Western Area Power Administration, Division of Power Resources - A6300, Golden, Colorado, July 1984.
- Lazaro, R. C., J. W. Labadie, and J. D. Salas, "Optimal Management of Multireservoir Systems under Uncertain Streamflow Forecasts, in Proceedings of International Conference on Time Series Methods in Hydrosciences, A. H. El-Shaarawi, editor, Environment Canada, Burlington, Ontario, Canada, 1982.
- Lazaro, R. C., J. W. Labadie and J. D. Salas, " State-Space Streamflow Forecasting Model for Optimal River Basin Management, " Proceedings of the International Symposium on Real-Time Operation of

一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一、三十二、三十三、三十四、三十五、三十六、三十七、三十八、三十九、四十、四十一、四十二、四十三、四十四、四十五、四十六、四十七、四十八、四十九、五十、五十一、五十二、五十三、五十四、五十五、五十六、五十七、五十八、五十九、六十、六十一、六十二、六十三、六十四、六十五、六十六、六十七、六十八、六十九、七十、七十一、七十二、七十三、七十四、七十五、七十六、七十七、七十八、七十九、八十、八十一、八十二、八十三、八十四、八十五、八十六、八十七、八十八、八十九、九十、九十一、九十二、九十三、九十四、九十五、九十六、九十七、九十八、九十九、一百

- Hydrosystems, T. E. Unny and E. A. McBean, editors, University of Waterloo, Ontario, Canada, pp. 707-725, 1981.
- Lenton, R. L. and K. M. Strzepek, "Theoretical and Practical Characteristics of the MIT River Basin Simulation Model," Ralph M. Parsons Laboratory, Report No. 225, Massachusetts Institute of Technology, August 1977.
- Martin, D., "Using Crop Yield Models in Optimal Irrigation Scheduling," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, 1984.
- Morin, T. M., "Computational Advances in Dynamic Programming," in Dynamic Programming and Its Application, edited by M. L. Puterman, pp 53-90, Academic, New York, 1979.
- Pereira, M. V. F. and L. M. V. G. Pinto, "Application of Decomposition Techniques to the Mid- and Short Term Scheduling of Hydrosystems," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 11, pp. 3611-3618, 1983.
- Phamnon, S., "Network Model for Optimal Management of Stream-Aquifer Systems," Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, Spring 1982.
- Robinson, D. K. and J. W. Labadie, "Optimal Design of Urban Stormwater Drainage Systems," Proceedings of the 1981 International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics, and Sediment Control, D. Wood, editor, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, pp. 145-156 (July 27-30, 1981).
- Roefs, T. G. and L. D. Bodin, "Multireservoir Operation Studies," Water Resources Research, Vol. 6, No. 2, pp. 410-420, April 1970.



- Shafer, J. M., "An Interactive River Basin Water Management Model: Synthesis and Application," Technical Report No. 18, Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University, Ft. Collins, Colorado, August 1979.
- Shane, R. M. and K. C. Gilbert, "TVA Hydro Scheduling Model: Practical Aspects," Journal of the Water Resources Division, ASCE, Vol. 108, No. WR1, pp. 1-19, March 1982.
- Shane, R. M., "Weekly Scheduling Model for the TVA Reservoir System," Report No. WREB-1-500-126, Tennessee Valley Authority, Water Systems Development Branch, Norris, Tenn., January 1982.
- Sheer, Daniel P. and Dale D. Meredith, "Improve Operation or Build New Projects," Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 110, No. 3, pp. 351-355, July 1984.
- Sniedovich, M., "Comment on 'Optimal Weekly Releases from a Seasonal Reservoir, 1, Deterministic Future' by F. Laufer and H. J. Morel-Seytoux," Water Resources Research, Vol. 20, pp 1499-1504, 1982.
- Sniedovich, M., "On the Reliability of Reliability Constraints," in Reliability in Water Resources Management, E. A. McBean, K. W. Hipel and T. E. Unny, eds., Water Resources Publications, Ft. Collins, Colorado, 1979.
- Texas Water Development Board, "Economic Optimization and Simulation Techniques for Management of Regional Water Resource Systems; River Basin Simulation Model SIMYLD-II-- Program Description," Systems Engineering Division, Austin, Texas, July 1972.
- Trotta, P. D., J. W. Labadie, and N. S. Grigg, "Automatic Control Strategies for Urban Stormwater," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 103, No. Hy12, pp. 1443-1439, December 1977.



- U.S. Army Corps of Engineers, "Simulation of Flood Control and Conservation Systems -- HEC 5," User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis California, June 1979.
- U.S. Army Corps of Engineers, "Program Description and User's Manual for SSARR Model -- Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation," North Pacific Division, Program 724-KS-60010, September 1972.
- U. S. Bureau of Reclamation, " Western Division Annual Operating Plan: Electronic Computer Program Description No. HY-117a," U.S. Department of The Interior, Denver, Colorado, August 1967.
- Wunderlich, W. O. and J. E. Giles, "Foresight or Shortsight in Reservoir Operations Modeling," Proceedings, International Symposium on Real-Time Operation of Hydrosystems, University of Waterloo, Waterloo, Canada, pp. 305-324, June 24-26, 1981.
- Yakowitz, S. D., "Dynamic Programming Applications in Water Resources," Water Resources Research, Vol. 18, No. 4, pp. 673-696, August 1982.

