

01168

OPERACION OPTIMA DE UN SISTEMA DE PRESAS  
DE AGUA POTABLE

Un Caso de Aplicación del Método de Sucesiones  
de Aproximación a la Programación Dinámica Hacia Adelante

Tesis presentada a  
la División de Estudios de Postgrado de  
la Facultad de Ingeniería de  
la Universidad Nacional Autónoma de México  
para optar por el grado de

Maestro en Ingeniería  
INVESTIGACION DE OPERACIONES

CARLOS EDGARDO VELA LARIOS

México, D.F.

Febrero de 1989

TESIS CON  
FALLA DE COPIA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## RESUMEN

Esta tesis estudia la operación óptima del sistema de presas de agua potable en el condado de Marin en el estado de California para un período  $T$  compuesto de  $K$  etapas. Específicamente busca establecer: las trayectorias de los volúmenes de agua en las diferentes presas; la distribución de la producción mensual de agua entre las diferentes plantas purificadoras; las tasas de flujos mensuales de agua en las diferentes tuberías de transmisión; y la coordinación mensual de bombas en las diferentes estaciones de bombeo, con el objeto de lograr el costo mínimo de operación en el horizonte de un año.

Desde el punto de vista conceptual, el método de la programación dinámica se presta para resolver este tipo de problema. Sin embargo, en la práctica para problemas de gran escala, como lo es el sistema de agua potable del condado de Marin, el método no es factible ya que los requisitos de computación crecen exponencialmente con el número de variables de estado. Esto es lo que Richard Bellman ha denominado "la maldición de dimensionalidad" y es lo que impidió aplicar directamente la programación dinámica al problema que se

esta tratando en esta tesis.

Para superar esta limitante, el método de sucesiones de aproximación desarrollado por R. A. Larson y A. J. Korsak se le aplicó a la programación dinámica. El método descompone un problema de alta dimensionalidad en una serie de sub-problemas de baja dimensionalidad a los cuales se les aplican uno por uno las técnicas de optimización. En este estudio, a cada lago por separado se le aplicó la técnica de programación dinámica mientras los otros lagos se mantuvieron fijos en una trayectoria nominal.

El estudio requirió examinar datos estadísticos de la historia hidrológica del sistema, analizar las tablas de costo de la compañía de electricidad, y experimentar con las diferentes estaciones de bombeo y sistemas de transmisión de agua para encontrar las formas más eficientes y económicas de funcionamiento.

Como resultado se obtuvieron modos de operación que superaron los modos implementados anteriormente.

## PREFACIO

Tomo esta oportunidad para manifestar mi más sincero agradecimiento al Dr. Sergio Fuentes Maya de la Universidad Nacional Autónoma de México y al Profesor Michael O'Flynn de California State University, San Jose. Durante mis años de estudio universitario fueron ellos los maestros que mejor me comprendieron, como individuo y estudiante, y me motivaron a estudiar con rigor y espíritu científico.

Extiendo un agradecimiento especial al Ingeniero James Frankopf, ex-jefe de ingeniería del distrito municipal de agua del condado de Marin en el estado de California. Bajo su asesoría y dirección hice los experimentos y análisis para esta tesis.

Ante todo quiero manifestar mi más profundo agradecimiento a mi querida esposa Margarita Studemeister y a mis queridos hijos Patricio, Verónica y Adán Vela. Su paciencia, apoyo y estímulo hizo posible que encontrara el tiempo para finalizar esta tesis.

A mis queridos padres y hermanos Roberto, Xochitl,

# I N D I C E

RESUMEN	
PREFACIO	v
LISTA DE DIAGRAMAS	ix
LISTA DE GRAFICAS	x
LISTA DE TABLAS	xv
INTRODUCCION	1
Descripción del Trabajo	1
Contenido de los Capítulos	3
PLANTEAMIENTO Y FORMULACION MATEMATICA DEL PROBLEMA	8
Descripción del Sistema	8
Modelado del Problema	12
Simplificación del Problema	19
Fomulación Matricial	22
APROXIMACION AL CONTROL OPTIMO DE	
LOS VOLUMENES DE AGUA EN LAS PRESAS	27
Método de la Programación Dinámica	29
Discretización del Problema	31
Programación Dinámica Hacia Adelante	37
Derivación de la Función Recurrente para	
Programación Dinámica Hacia Adelante	38
Solución por Sucesiones de Aproximación	43
Optimización por Franjas con	

Tiempo Incremental Fijo	49
Algoritmo de Solución	51
Requisitos de Computación	60
COORDINACION OPTIMA DEL	
BOMBEO DE AGUA EN EL SISTEMA DE TRANSMISION	65
Sistema de Transmisión	65
Flujos Optimos de Transmisión mediante	
la Programación Lineal	68
SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	73
Sub-sistema Tocaloma-Lagunitas	74
Tablas de Costo de Bombeo	77
EJEMPLOS	84
SISTEMA DE PROGRAMAS DE SOLUCION "OPTCOOR"	229
Descripción de Programas	230
Programas de Fortran	234
BIBLIOGRAFIA	280

## L I S T A   D E   D I A G R A M A S

1.	Sistema de agua potable del condado de Marin, estado de California	11
2.	Simplificación del sistema de agua potable del condado de Marin, estado de California	21
3.	Malla de programación dinámica	30
4.	Sub-sistema de transmisión de agua para el sur del condado de Marin, estado de California	67
5.	Sub-sistema de transmisión Tocaloma-Lagunitas	75
6.	Organigrama del sistema de programas OPTCOOR	229



## L I S T A   D E   G R A F I C A S

1.	Solución gráfica de los flujos en el sub-sistema de transmisión Southern Marin Line	72
2.	Trayectoria nominal del total de agua para un año muy seco precedido por otro año muy seco	86
3.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por otro año muy seco	87
4.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por otro año muy seco	88
5.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por otro año muy seco	89
6.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por otro año muy seco	90
7.	Trayectoria óptima del volumen total de agua para un año muy seco precedido por otro año muy seco	92
8.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por otro año muy seco	93
9.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por otro año muy seco	94
10.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por otro año muy seco	95
11.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por otro año muy seco	96
12.	Trayectoria nominal del total de agua para un año muy seco precedido por un año normal	98

13.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por un año normal	99
14.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por un año normal	100
15.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por un año normal	101
16.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por un año normal	102
17.	Trayectoria óptima del volumen total para un año muy seco precedido por un año normal	104
18.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por un año normal	105
19.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por un año normal	106
20.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por un año normal	107
21.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por un año normal	108
22.	Trayectoria nominal del total de agua para un año seco precedido por un año normal	110
23.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año seco precedido por un año normal	111
24.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año seco precedido por un año normal	112
25.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año seco precedido por un año normal	113

26.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año seco precedido por un año normal	114
27.	Trayectoria óptima del volumen total para un año seco precedido por un año normal	116
28.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año seco precedido por un año normal	117
29.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año seco precedido por un año normal	118
30.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año seco precedido por un año normal	119
31.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año seco precedido por un año normal	120
32.	Trayectoria nominal del total de agua para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	122
33.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	123
34.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	124
35.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	125
36.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	126
37.	Trayectoria óptima del volumen total de agua para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	128
38.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	129

39.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpina para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	130
40.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	131
41.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año abajo de lo normal precedido por un año normal	132
42.	Trayectoria nominal del total de agua para un año muy mojado precedido por un año normal	134
43.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy mojado precedido por un año normal	135
44.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy mojado precedido por un año normal	136
45.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año muy mojado precedido por un año normal	137
46.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy mojado precedido por un año normal	138
47.	Trayectoria óptima del volumen total para un año muy mojado precedido por un año normal	140
48.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy mojado precedido por un año normal	141
49.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy mojado precedido por un año normal	142
50.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy mojado precedido por un año normal	143
51.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy mojado precedido por un año normal	144

52.	Trayectoria nominal del total de agua para un año normal precedido por un año normal	146
53.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año normal precedido por un año normal	147
54.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año normal precedido por un año normal	148
55.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año normal precedido por un año normal	149
56.	Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año normal precedido por un año normal	150
57.	Trayectoria óptima del volumen total para un año normal precedido por un año normal	224
58.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año normal precedido por un año normal	225
59.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año normal precedido por un año normal	226
60.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año normal precedido por un año normal	227
61.	Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año normal precedido por un año normal	228

## L I S T A   D E   T A B L A S

1.	Costos de bombeo para el sistema de estaciones hacia el sur del condado de Marin	79
2.	Costos de bombeo para el sistema de estaciones en serie en la línea de transmisión Intertie	79
3.	Costos de bombeo entre las presas Alpine-Bon Tempe y Kent-Alpine	80
4.	Costos de operación de la estación de bombeo San Gerónimo	81
5.	Costos de operación de la estación de bombeo Lagunitas	82
6.	Costos de operación de la estación Tocaloma	83

## INTRODUCCION

La presente tesis tiene como objeto resolver un problema real de optimización de un sistema de gran escala: la coordinación del sistema de agua potable del condado de Marin en el estado de California de los E.E.U.U. El sistema consiste en 7 presas de agua, 3 plantas purificadoras, 7 estaciones de bombeo de transmisión y 5 estaciones de bombeo entre presas.

### Descripción del Trabajo

El trabajo para esta tesis se hizo en un tiempo de casi tres años. Se dividió en los siguientes siete pasos:

1) Se hizo un análisis histórico de las condiciones hidrológicas. De este estudio salieron cinco tipos de años lluvia normalmente recurrentes:

- a) año muy mojado
- b) año mojado, que constituye un año normal
- c) año abajo de lo normal
- d) año seco
- e) año muy seco.

No se incluyó el caso de extrema sequía.

De estos datos se obtuvieron los patrones de caudales de agua, trayectorias de volúmenes de agua y tasas de evaporación en las diferentes presas. También se obtuvo el patrón de la demanda global y los requisitos de agua en las diferentes áreas del condado.

2) Se hizo un análisis de las tablas de costo de la compañía de electricidad.

3) Se efectuaron experimentos y análisis de las líneas de transmisión y estaciones de bombeo para encontrar los flujos de agua y las formas más eficientes de coordinar las bombas en las estaciones de bombeo y las diferentes líneas de transmisión.

Los pasos dos y tres nos llevaron a modificar de inmediato el modo de operación de las estaciones de bombeo. En el caso de la línea de transmisión Southern Marin Transmission Line descubrimos que produciendo un vacío con una pequeña bomba en el punto más alto de la línea era posible enviar un flujo de 7.5 millones de galones de agua diario por gravedad. Estas modificaciones, y principalmente la última, significaron un ahorro de más de ochenta mil dólares anuales.



4) Se modelo matemáticamente el sistema y se investigaron los diferentes enfoques de solución hasta concluir con el que está expuesto es esta tesis. Decidido el método a usar se procedió a resolver el problema teóricamente y diseñar el algoritmo de solución.

5) Obtenida la solución teórica del problema y diseñado el algoritmo de solución, se procedió a diseñar y posteriormente a codificar los programas de Fortran necesarios para encontrar la solución.

6) Codificados los programas se procedió a correrlos y a cotajar los resultados con el funcionamiento real del sistema.

7) Finalmente, se elaboró el reporte final que está contenido en esta tesis.

Presentemente, una versión actualizada de este trabajo sirve al distrito municipal de agua del condado de Marin para planificar su modo de operación y analizar modificaciones y cambios en el sistema.

#### Contenido de los Capítulos

En el primer capítulo se plantea el problema en toda su complejidad. Se modela el problema

matemáticamente: se obtiene la función objetivo; las ecuaciones de estado; las ecuaciones de continuidad; y, las restricciones que describen al sistema. Se simplifica el problema incorporando todas las restricciones físicas y administrativas en la utilización de las fuentes agua y los requisitos en la demanda de agua en cada etapa de tiempo. Finalmente se presenta una formulación matricial del problema simplificado.

En el segundo capítulo se desarrolla la parte teórica de la tesis. Se trata el método de solución y se presenta el algoritmo que nos servirá para simular por computadora la solución del problema.

El método de solución que se emplea es el de la programación dinámica desarrollado por Richard Bellman, con las siguientes modificaciones:

- 1) Programación dinámica hacia adelante.
- 2) Sucesiones de aproximación.
- 3) Optimización por franjas con incremento de tiempo fijo.

El arte de este trabajo consiste en integrar las tres técnicas arriba mencionadas al método de programación dinámica con el objeto de reducir

significativamente los requisitos de memoria de alta velocidad y el tiempo de computación. Esta integración es necesaria ya que, como veremos adelante, la naturaleza del problema en sí y las características propias de la programación dinámica requieren un número tan alto de computaciones, las cuales a su vez requieren grandes cantidades de memoria de alta velocidad y tiempo de computación, que tornan al problema no práctico, sino imposible, de resolver.

En el tercer capítulo se obtiene la coordinación óptima de la línea de transmisión Southern Marin Line, que permite flujos paralelos en dos estaciones de bombeo y una línea de flujo a gravedad. Se utilizó el método de la programación lineal, el cual tuvo que ser adoptado para incorporar en su formulación una restricción variable debido a la fluctuación en la demanda.

En el cuarto capítulo se analiza el sub-sistema de bombeo Tocaloma-Lagunitas y se presentan las tablas de costo de las diferentes estaciones. Estas se obtuvieron mediante un análisis de costos históricos y experimentos en las estaciones de bombeo con el objeto de encontrar la relación potencia-caudal de flujo.

En el quinto capítulo se presenta la solución por

computación de la coordinación óptima del sistema para diferentes condiciones hidrológicas. La solución consiste en determinar:

A) la trayectoria de las variables de estado del sistema de presas Bon Tempe, Alpine, Kent y Nicasio;

B) los valores de las variables de control:

1) la coordinación en la producción de agua potable entre las plantas tratadoras Bon Tempe, San Gerónimo y San Ignacio (Fuente de importación Intertie);

2) la coordinación entre el consumo de agua de las presas paralelas Kent y Nicasio;

3) las transferencias de agua entre presas;

C) la coordinación del sistema de transmisión de agua;

D) la coordinación de las bombas de agua en las estaciones de bombeo con sus costos correspondientes;

que nos proporcionen un costo mínimo de operación en un período T.

En la solución del problema no se consideraron los

costos de tratamiento, pues en la práctica los costos de producción por unidad de agua potable (millones de galones por día) en las diferentes plantas eran lo suficientemente similares para no ameritar incluirlos en el análisis general de operación. Sin embargo, una solución más cercana a la realidad tendría que tomar en consideración las variaciones en costos que existen e incluirlos en el análisis.

El último capítulo contiene el diagrama de flujo de la simulación del sistema y el codificado en Fortran.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO Y FORMULACION MATEMATICA DEL PROBLEMA

En este capítulo se obtiene la función objetivo y se modela matemáticamente el sistema de agua del condado de Marin en California. Primero, se incluyen todas las variables y parámetros que describen al sistema. Posteriormente, el modelado se simplifica de acuerdo a su funcionamiento práctico y las restricciones de tipo administrativo que lo rigen.

#### Descripción del Sistema

El sistema de agua potable del condado de Marin en California consiste en:

- A) Un sistema de presas:
  - 1) Cuatro presas en serie en la cuenca de Lagunitas. Sólo tres de éstas, Bon Tempe, Alpine y Kent son accesibles para uso normal. La cuarta, Lagunitas, sólo puede ser utilizada en situaciones de extrema sequía.
  - 2) Una presa en la cuenca Nicasio.

Esta presa a su vez está en paralelo con la presa Kent en la cuenca Lagunitas.

3) Una presa en construcción en la cuenca SoulaJule en paralelo con la presa de Nicasio.

4) Una presa en la cuenca de Phoenix, que sólo puede ser utilizada en casos de extrema sequía. Tiene la capacidad de suplir el consumo total de agua para todo el condado por una semana.

B) Dos fuentes importadas:

1) North Marin Intertie, utilizable bajo condiciones de funcionamiento normal.

2) San Rafael Bridge Pipeline, utilizable bajo condiciones de extrema sequía.

C) Tres plantas de tratamiento de agua potable:

1) Planta de tratamiento Bon Tempe.

2) Planta de tratamiento San Gerónimo.

3) Planta de tratamiento San Ignacio.

0) Doce estaciones de bombeo:

1) Nueve estaciones utilizadas normalmente.

2) Tres estaciones utilizadas en condiciones de extrema sequía.



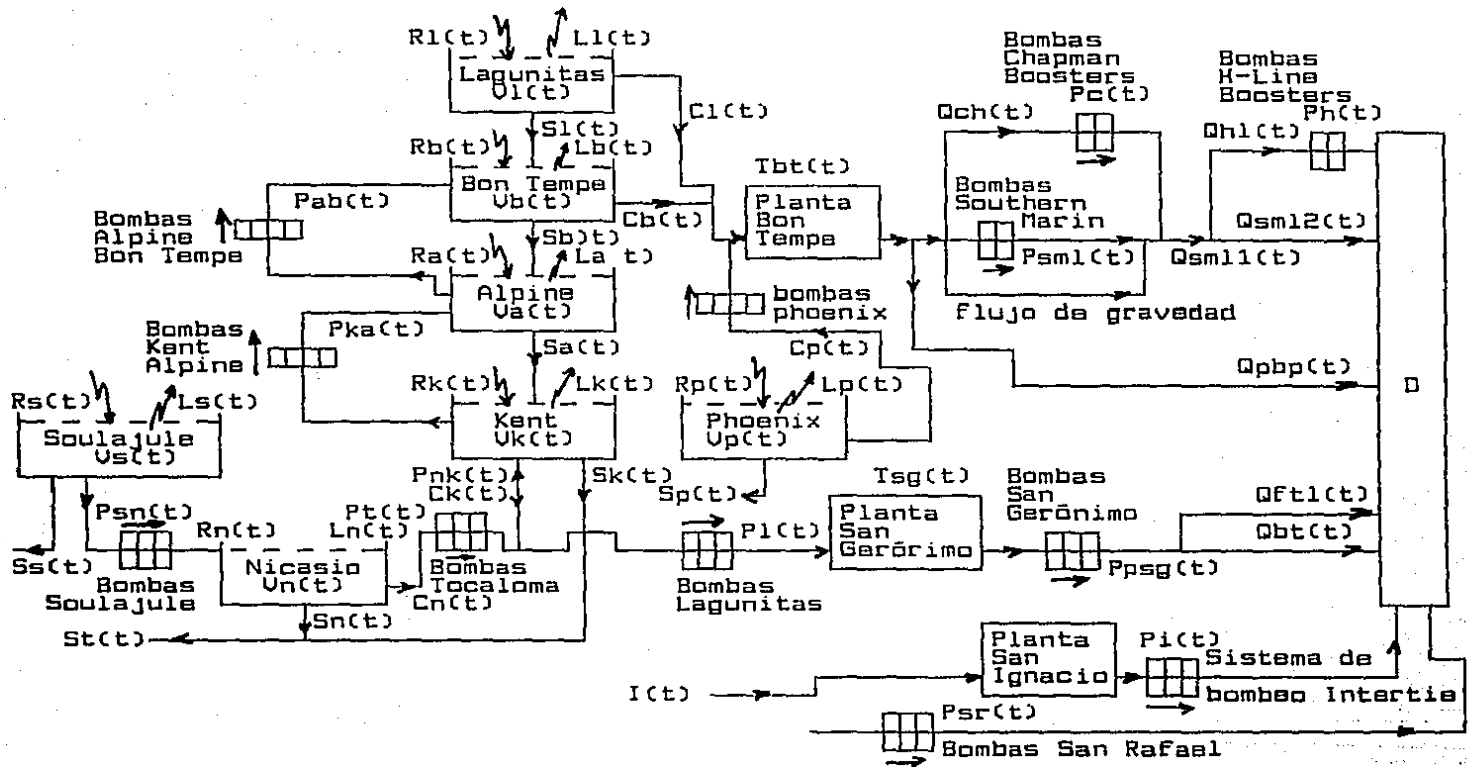


Diagrama No. 1. Sistema de agua potable del condado de Marin, estado de California.

Modelado del ProblemaDefinición de Variables:

$t$	tiempo
$Pka(t)$	velocidad de bombeo de la presa Alpine a Bon Tempe
$Pka(t)$	velocidad de bombeo de la presa Kent a Alpine
$Pnk(t)$	velocidad de bombeo de la presa Nicasio a Kent
$Psn(t)$	velocidad de bombeo de la presa SoulaJule a Nicasio
$Pl(t)$	velocidad de bombeo en la estación Lagunitas
$Ppsg(t)$	velocidad de bombeo en la estación San Gerónimo
$Pt(t)$	velocidad de bombeo en la estación Tocaloma
$Psm1(t)$	velocidad de bombeo en la estación Southern Marin Line
$Ph(t)$	velocidad de bombeo en la estación H Line
$Pc(t)$	velocidad de bombeo en la estación Chapman Booster
$Pi(t)$	velocidad de bombeo en la estación Intertie

Psr(t)            velocidad de bombeo en la estación San  
Rafael Bridge

D(t)             tasa de demanda de agua para todo el  
distrito

Cn(t)            tasa de consumo de agua de la presa  
Nicasio

Cb(t)            tasa de consumo de la presa Bon Tempe

Cl(t)            tasa de consumo de la presa Lagunitas

Cp(t)            tasa de consumo de la presa Phoenix

Ck(t)            tasa de consumo de la presa Kent

I(t)             tasa de importación de North Marin  
Intertie y de tratamiento en la planta  
San Ignacio

Sr(t)            tasa de importación de San Rafael Bridge  
Pipeline

Ibt(t)           tasa de tratamiento en la planta Bon  
Tempe

Isg(t)           tasa de tratamiento en la planta San  
Gerónimo

Ul(t)            volumen de agua almacenada en la presa  
Lagunitas

Ub(t)            volumen de agua almacenada en la presa  
Bon Tempe

Ua(t)            volumen de agua almacenada en la presa  
Alpine

$U_k(t)$	volumen de agua almacenada en la presa Kent
$U_n(t)$	volumen de agua almacenada en la presa Nicasio
$U_s(t)$	volumen de agua almacenada en la presa SoulaJule
$U_p(t)$	volumen de agua almacenada en la presa Phoenix
$R_l(t)$	caudal de lluvia en la presa Lagunitas
$R_b(t)$	caudal de lluvia en la presa Bon Tempe
$R_a(t)$	caudal de lluvia en la presa Alpine
$R_k(t)$	caudal de lluvia en la presa Kent
$R_n(t)$	caudal de lluvia en la presa Nicasio
$R_s(t)$	caudal de lluvia en la presa SoulaJule
$R_p(t)$	caudal de lluvia en la presa Phoenix
$L_l(t)$	tasa de evaporación en la presa Lagunitas
$L_b(t)$	tasa de evaporación de la presa Bon Tempe
$L_a(t)$	tasa de evaporación de la presa Alpine
$L_k(t)$	tasa de evaporación de la presa Kent
$L_n(t)$	tasa de evaporación de la presa Nicasio
$L_s(t)$	tasa de evaporación de la presa SoulaJule
$L_p(t)$	tasa de evaporación de la presa Phoenix
$S_l(t)$	caudal de derramamiento de la presa Lagunitas
$S_b(t)$	caudal de derramamiento de la presa Bon Tempe

Sa(t) caudal de derramamiento de la presa  
Alpine

Sk(t) caudal de derramamiento de la presa Kent

Sn(t) caudal de derramamiento de la presa  
Nicasio

Ss(t) caudal de derramamiento de la presa  
SoulaJule

Sp(t) caudal de derramamiento de la presa  
Phoenix

Qh1(t) caudal de agua en el tubo H Line

Qpbb(t) caudal de agua en el tubo Phoenix Bypass  
Line

Qsml1(t) caudal de agua en el tubo Southern Marin  
Line

Qsml2(t) caudal de agua hacia el tanque de  
almacenamiento Alto

Qbt(t) caudal de agua hacia los tanques de  
balance de agua de la línea de transmisión  
Northern Marin Line

Qft1(t) caudal de agua en el tubo de transmisión  
Fairfax Transmission Line

MinSt(t) mínima descarga de agua para conservación  
de la vida acuática en el río Lagunitas.

Función Objetivo:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \text{Min } & \int_{t=0}^T J [Pab(t), Pka(t), Pnk(t), Psn(t), Pt(t), \\
 & Psm1(t), Ph(t), Pc(t), Ppsg(t), Pl(t), Pl(t), \\
 & Psr(t), Tbt(t)I(t), Tsg(t), U1(t), Ub(t), Ua(t), \\
 & Uk(t), Un(t), Us(t), Up(t), t ] dt \\
 & + G [ U1(t), Ub(t), Ua(t), Uk(t), Un(t), Us(t), U(p) ]
 \end{aligned}$$

donde:

$J$  es un funcional de costo que toma en consideración la eficiencia, elevación de la cabeza, pérdidas en las válvulas, las tablas de costo de la compañía de electricidad, y podría incluir los costos de tratamiento del agua.

$G$  es una función de penalidad asociada con las variables de estado al final del período  $T$ .

Descripción matemática del sistema

A) Ecuaciones de estado:

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \frac{dUb(t)}{dt} &= Rb(t) + S1(t) \\
 &\quad - Lb(t) - Sb(t) + Pab(t) + Cb(t) \\
 (3) \quad \frac{dUa(t)}{dt} &= Ra(t) + Sb(t) \\
 &\quad - Pab(t) - La(t) - Sa(t) + Pak(t)
 \end{aligned}$$

- (4)  $\frac{dU_k(t)}{d(t)} = R_k(t) + S_a(t) - P_k(t) - L_k(t) - S_k(t) + P_n(t) - C_k$
- (5)  $\frac{dU_n(t)}{d(t)} = R_n(t) - P_n(t) - L_n(t) - S_n(t) + P_s(t) - C_n$
- (6)  $\frac{dU_s(t)}{d(t)} = R_s(t) - P_s(t) - L_s(t) - S_s(t)$
- (7)  $\frac{dU_p(t)}{d(t)} = R_p(t) - L_p(t) - S_p(t) - C_p(t)$

B) Requisitos de demanda de agua:

$$(8) D(t) = T_b(t) + T_s(t) + I(t) + S_r(t)$$

donde:

$$(9) T_b(t) = C_b(t) + C_l(t) + C_p(t)$$

$$(10) T_s(t) = C_k(t) + C_n(t)$$

C) Restricciones de volumen de agua en las presas:

$$(11) U_{lmin} \leq U_l(t) \leq U_{lmax}$$

$$(12) U_{bmin} \leq U_b(t) \leq U_{bmax}$$

$$(13) U_{amin} \leq U_a(t) \leq U_{amax}$$

$$(14) U_{kmin} \leq U_k(t) \leq U_{kmax}$$

$$(15) U_{smin} \leq U_s(t) \leq U_{smax}$$

$$(16) U_{pmin} \leq U_p(t) \leq U_{pmin}$$

D) Restricciones de capacidad de tratamiento de agua en las plantas San Gerónimo y Bon Tempe:

$$(17) T_{sgmin} \leq T_{sg}(t) \leq T_{sgmax}$$

$$(18) T_{btmin} \leq T_{bt}(t) \leq T_{btmax}$$

## E) Restricciones de bombeo de agua:

- (19)  $P_{abmin} \leq P_{ab}(t) \leq P_{abmax}$   
 (20)  $P_{kaamin} \leq P_{ka}(t) \leq P_{kamax}$   
 (21)  $P_{tmin} \leq P_t(t) \leq P_{tmax}$   
 (22)  $P_{snmin} \leq P_{sn}(t) \leq P_{snmax}$   
 (23)  $P_{lmin} \leq P_l(t) \leq P_{lmax}$   
 (24)  $P_{psgmin} \leq P_{psg}(t) \leq P_{psgmax}$   
 (25)  $P_{smlmin} \leq P_{sml}(t) \leq P_{smlmax}$   
 (26)  $P_{hmin} \leq P_h(t) \leq P_{hmax}$   
 (27)  $P_{cmin} \leq P_c(t) \leq P_{cmax}$   
 (28)  $P_{imin} \leq P_i(t) \leq P_{imax}$   
 (29)  $P_{pmin} \leq P_p(t) \leq P_{pmax}$   
 (30)  $P_{srmin} \leq P_{sr}(t) \leq P_{srmax}$

## F) Ecuaciones de continuidad:

- (31)  $P_t(t) = P_{nk}(t) + C_n(t)$   
 (32)  $T_{bt}(t) = C_b(t) + C_l(t) + C_p(t)$   
 (33)  $T_{sg}(t) = C_k(t) + C_n(t)$   
 (34)  $P_{psg}(t) = Q_{ft1}(t) + Q_{bt}(t)$   
 (35)  $T_{bt}(t) = Q_{sml1}(t) + Q_{pbp}(t)$   
 (36)  $Q_{sml1}(t) = Q_{h1}(t) + Q_{sml2}(t)$   
 (37)  $P_h(t) = Q_{h1}(t)$   
 (38)  $P_l(t) = P_{psg}(t) - T_{sg}(t)$   
 (39)  $P_p(t) = C_p(t)$   
 (40)  $P_i(t) = I(t)$   
 (41)  $P_{sr}(t) = S_r(t)$



$$(42) \quad St(t) = Sn(t) + Sk(t)$$

G) Restricciones de importación de agua de North Marin  
Intertie:

$$(43) \quad 0 \leq \int_{t=0}^T I(t)dt \leq I_t \text{ (capacidad máxima de importación en el período T)}$$

H) Requisitos de derramamiento de agua del río  
Lagunitas para preservar la vida acuática:

$$(44) \quad St(t) \geq \text{MinSt}(t)$$

#### Simplificación del Problema

Antes de proceder a resolver el problema es necesario introducir algunas modificaciones en el planteamiento del problema que nos facilitarán su solución:

A) El análisis se limitará a encontrar la solución óptima a la operación normal del sistema, es decir no se incluirán en el análisis aquellas fuentes cuya utilización sólo es admisible bajo condiciones de extrema sequía. Estas fuentes son:

- 1) las presas Lagunitas y Phoenix
- 2) la presa de SoulaJule

3) la fuente de importación San Rafael Bridge Pipe Line.

B) La presa Nicasio se considera una fuente finita de agua. Sin embargo no se tratará de controlar la trayectoria de su volumen de agua, ya que hacerlo significaría traer agua de la presa SoulaJule.

C) Los flujos en los tubos de transmisión H Line y Fairfax Transmission Line se definieron como un porcentaje del flujo total hacia la regiones del condado que sirven.

Matemáticamente:

$$(45) \quad Q_{h1}(K) = Per1(K) * Q_{sm11}(K)$$

$$(46) \quad Q_{ft}(K) = Per2(K) * T_{sg}(K)$$

donde  $Per1(K)$  i - 1,2 son los porcentajes promedio de agua requeridos para satisfacer, en la etapa K, la demanda histórica en las regiones mencionadas.

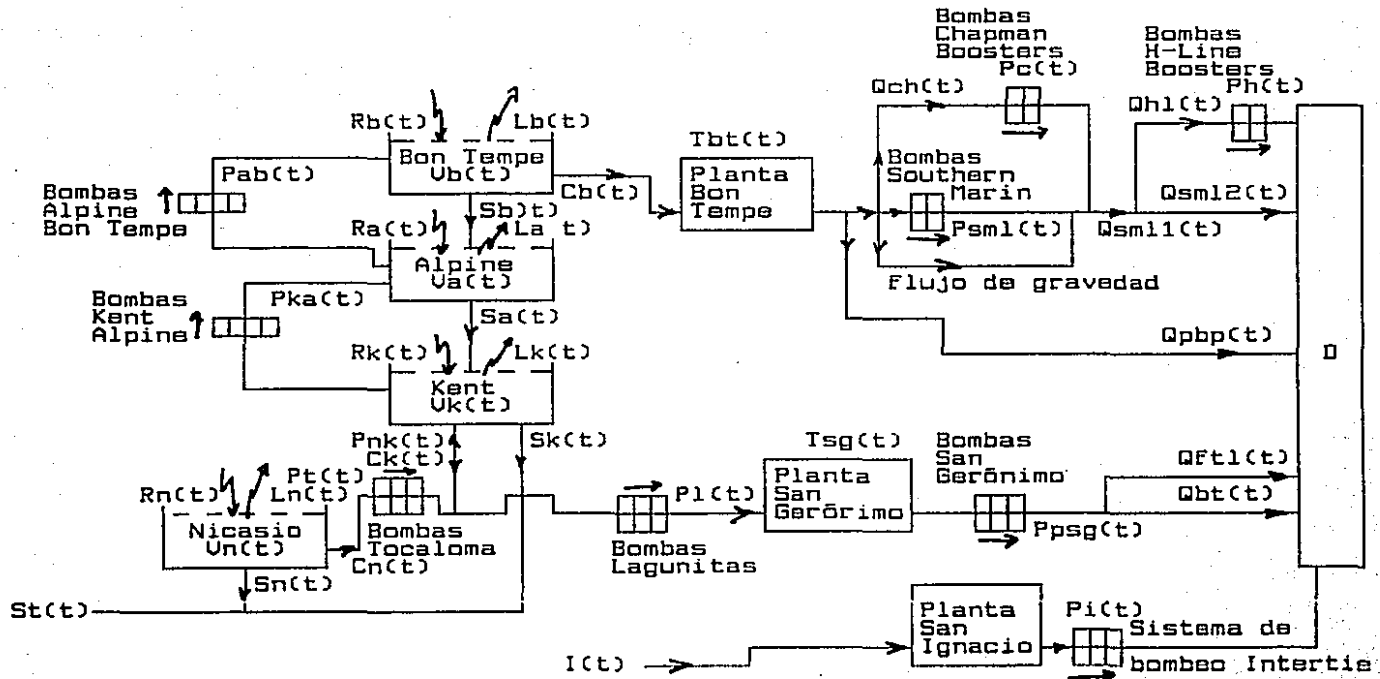


Diagrama No. 2. Sistema simplificado de agua potable del condado de Marin, estado de California.

Si introducimos en nuestro modelado las simplificaciones arriba descritas y eliminamos aquellas ecuaciones de continuidad en las cuales las variables tienen una relación simple de una a una tenemos la siguiente función objetivo simplificada:

$$(47) \quad \text{Min} \int_{t=0}^T J \{ P_{ab}(t), P_{ka}(t), P_t(t), Q_{sm11}(t), Q_{h1}(t), \\ Q_{pbp}(t), I_{sg}(t), I_{bt}(t), S_r(t), I(t), U_b(t), \\ U_a(t), U_k(t), U_n(t), t \} dt \\ + B \{ \dot{U}_b(t), U_a(t), U_n(t), U_k(t) \}$$

sujeto a las restricciones especificadas anteriormente, adecuadamente modificadas.

#### Formulación Matricial

Sean:

A) El vector del estado del sistema (volumen en cada presa) y el vector de bombeo de transferencia entre presas:

$$U(t) = \begin{bmatrix} U_b(t) \\ U_a(t) \\ U_k(t) \\ U_n(t) \end{bmatrix} \quad P(t) = \begin{bmatrix} P_{ab}(t) \\ P_{ka}(t) \\ P_{nk}(t) \end{bmatrix}$$

respectivamente.

- B) El vector de caudal de lluvia y el vector de derramamiento de agua en cada presa:

$$R(t) = \begin{bmatrix} R_b(t) \\ R_a(t) \\ R_k(t) \\ R_n(t) \end{bmatrix} \quad S(t) = \begin{bmatrix} S_b(t) \\ S_a(t) \\ S_k(t) \\ S_n(t) \end{bmatrix}$$

respectivamente.

- C) El vector de pérdidas de evaporación y el vector de consumo de agua de las presas:

$$L(t) = \begin{bmatrix} L_b(t) \\ L_a(t) \\ L_k(t) \\ L_n(t) \end{bmatrix} \quad C(t) = \begin{bmatrix} C_b(t) \\ C_k(t) \\ C_n(t) \end{bmatrix}$$

respectivamente.

D) El vector de producción de agua potable:

$$I_r(t) = \begin{bmatrix} I_{bt}(t) \\ I_{sg}(t) \end{bmatrix}$$

E) El vector de flujos de agua en las líneas de transmisión:

$$Q(t) = \begin{bmatrix} Q_{sm11}(t) \\ Q_{sm12}(t) \\ Q_{h1}(t) \\ Q_{pbt}(t) \\ Q_{ft1}(t) \\ Q_{bt}(t) \end{bmatrix}$$

F) Sean además:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$A4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$A5 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B1 = [1, 1]$$

$$B2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B4 = [-1, 1, 1, 0, 0, 0]$$

$$B5 = [0, 0, 1, 1]$$

Si hacemos las sustituciones pertinentes, nuestro problema en forma matricial se convierte en:

$$(49) \quad \text{Min} \int_{t=0}^T J ( P(t), Q(t), U(t), I(t), Tr(t), C(t), t ) dt \\ + B ( U(T) )$$

sujeto a:

$$(50) \quad \dot{U}(t) = [A1][R(t)] + [A2][S(t)] \\ + [A3][L(t)] + [A4][P(t)] + [A5][C(t)]$$

$$(51) \quad D(t) = [B1][Tr(t)] + I(t)$$

$$(52) \quad Tr(t) = [B2][C(t)]$$

$$(53) \quad Tr(t) = [B3][Q(t)]$$

$$(54) \quad [B4][Q(t)] = 0$$

$$(55) \quad St(t) = [B5][S(t)]$$

$$(56) \quad U_{\min} \leq U(t) \leq U_{\max}$$

$$(57) \quad Tr_{\min} \leq Tr(t) \leq Tr_{\max}$$

$$(58) \quad P_{\min} \leq P(t) \leq P_{\max}$$

$$(59) \quad I_{\min} \leq I(t) \leq I_{\max}$$

$$(60) \quad St(t) \geq St(t)_{\min}$$

$$(61) \quad 0 \leq \int_{t=0}^T I(t) dt \leq It(t)$$



## CAPITULO II

### APROXIMACION AL CONTROL OPTIMO DE LOS VOLUMENES DE AGUA EN LAS PRESAS

De las características físicas y económicas del sistema se tiene que las variables de control son: primero, los flujos de transferencia entre las presas; segundo, la coordinación de presas en el tratamiento e importación de agua; y, tercero, la coordinación del influjo de agua de las presas Kent y Nicasio hacia la planta de tratamiento San Gerónimo. De esto se deduce que el problema es uno de tres vectores de control.

Adicionalmente, tenemos que los flujos en las tuberías de transmisión hacia los tanques de distribución para el consumidor se reflejan en el costo total de operación del sistema. Por lo tanto, será necesario, en nuestro análisis, encontrar los flujos de transmisión óptimos  $Q^*(t)$  que minimizen la función objetivo. Esta parte se tratará en el próximo capítulo.

La solución del problema control óptimo descrito arriba implica encontrar los vectores de control  $P(t)$ ,

$I(t)$  y  $Tr(t)$ , y  $C(t)$ . Es obvio que los valores que pueden asumir los vectores de control variarán de acuerdo a los volúmenes de agua disponibles en las presas en el tiempo  $t$ .

Por lo tanto, tenemos que:

$$(1) \quad [P^*(t), I^*(t), Tr^*(t), C^*(t)] = F[U(t), t]$$

donde  $F$  se denomina la estrategia óptima de control malla cerrada. Más explícitamente, la función  $F$  nos dice cómo obtener de los valores específicos del vector de estado  $U(t)$  en el tiempo  $t$ , los valores óptimos de los vectores de control  $P^*(t)$ ,  $I^*(t)$ ,  $Tr^*(t)$ ,  $C^*(t)$ , en el mismo tiempo  $t$ .

Teóricamente existen dos métodos para resolver este problema:

- 1) el principio máximo de Pontryagin, y
- 2) programación dinámica.

El método que hemos decidido aplicar es el de la programación dinámica a la cual se le introducen las siguientes modificaciones:

- A) programación dinámica hacia adelante
- B) método de sucesiones de aproximación

C) optimización por franjas con tiempo incremental fijo.

### Método de la Programación Dinámica

El método de la programación dinámica nos proporciona una forma eficiente y sistemática de determinar una política de toma de decisiones en secuencia para un problema de control óptimo cuando es posible:

- A) Discretizar el proceso de toma de decisiones en un conjunto de etapas, cada cual con su conjunto propio de estrategias de decisión.
- B) Discretizar el número de estados de cada variable del vector de estado en cada etapa.
- C) Transformar el vector de estado actual en un vector de estado factible asociado a la próxima etapa.

La clave del método de programación dinámica reside en el principio de optimabilidad de Bellman. Una solución óptima tiene la propiedad de que, cualquiera que sea el estado y la decisión inicial, las decisiones restantes deben de constituir una política óptima con

respecto al estado que resultó de la primera decisión.

[3]

Esto significa de que, para la malla siguiente, si dada una trayectoria óptima, digamos 1,2,3 del punto 1 al punto 3, entonces el tramo del punto 2 al punto 3 también debe constituir un tramo óptimo.

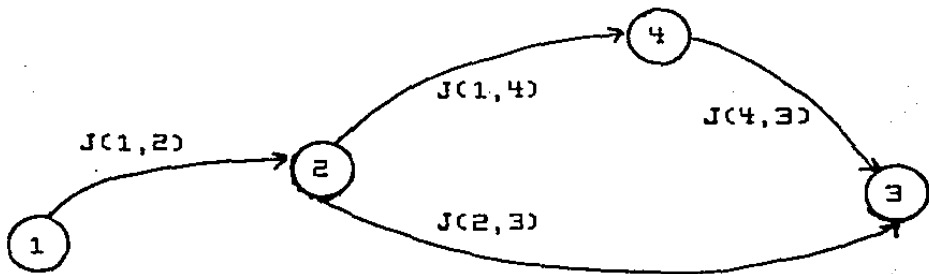


Diagrama No. 3. Malla de programación dinámica.

Es decir, para una funcional de costo  $J$ , si  $J^*(1,3) = J(1,2) + J(2,3)$  constituye una trayectoria óptima (costo mínimo), entonces  $J(2,3)$  debe ser también óptima. Esto debe de ser cierto porque supóngase que no fuese verdad y que exista otro tramo 2,4,3 entre los puntos 2 y 3 que sea más económico que 2,3, entonces tenemos que:

$$(2) \quad J(2,3) > J(2,4,3)$$

Por lo tanto:

$$(E) \quad J^*(1,3) - J(1,2) + J(2,3) > J(1,2) + J(2,3,4)$$

Esto sólo puede ser cierto si  $J^*(1,3)$  no es óptimo, lo que contradice la suposición inicial de que  $J(1,3)$  era óptimo. Por lo tanto  $J(2,3)$  debe de ser también óptimo.

Este resultado es muy poderoso pues reduce significativamente la cantidad de información que se debe de mantener al pasar de una etapa a otra. Además también reduce el número de calculaciones. Cada tramo que es dominado--como 2,4,3--es ignorado y sólo la información concerniente a la trayectoria óptima--como 1,2,3--se mantiene al pasar a la nueva etapa.

Dado que la solución obtenida por este método es la misma que se obtendría mediante una búsqueda directa, tenemos que la solución obtenida por este método es de hecho la solución óptima global.

### Discretización del Problema

A) Discretización del vector de estado:

Deje que la derivada de un vector definida como:

$$(4) \quad \dot{V}(t) = \frac{d[V(t)]}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} [V(t + \Delta t) - V(t)]$$

sea aproximada por:

$$(5) \quad \frac{d[V(t)]}{dt} \approx \frac{1}{\Delta t} [V(t + \Delta t) - V(t)]$$

Sustituyendo esta aproximación en la ecuación de estado tenemos:

$$(6) \quad \frac{1}{\Delta t} [V(t + \Delta t) - V(t)] = A1R(t) + A2S(t) \\ + A3L(t) + A4P(t) + A5C(t)]$$

de donde:

$$(7) \quad V(t + \Delta t) - V(t) = \Delta t [A1R(t) + A2L(t) \\ + A3P(t) + A4P(t) + A5C(t)]$$

Suponga que  $\Delta t$  es tal que todas las variables de la ecuación anterior se pueden aproximar por una función constante por trechos que sólo cambia en los instantes  $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, K\Delta t, \dots, N\Delta t$ . Entonces:

$$t = K\Delta t \quad \text{donde} \quad 1 \leq K \leq N$$

Y,

$$\begin{aligned}
 (8) \quad V(K + 1)\Delta t] &= V(K\Delta t) + \Delta t[A1R(K\Delta t) \\
 &+ A2S(K\Delta t) + A3L(K\Delta t) \\
 &+ A4P(K\Delta t) + A5C(K\Delta t)
 \end{aligned}$$

Ahora seleccione las unidades de  $t$  de tal forma que  $\Delta t = 1$ . Entonces:

$$\begin{aligned}
 (9) \quad V(K+1) &= V(K) + A1R(K) + A2S(K) + A3L(K) + \\
 &A4P(K) + A5C(K)
 \end{aligned}$$

para  $K = 1, 2, 3, \dots, N$ .

Este resultado completa la discretización de la ecuación de estado. Nótese de que la ecuación de arriba transforma al vector de estado en la etapa  $K$  en el vector de estado asociado con la próxima etapa  $K+1$ .

B) Discretización de la función objetivo:

$$\begin{aligned}
 (10) \quad Z &= \int_{t=0}^T J[P(t), Q(t), I(t), V(t), Tr(t), C(t), t] dt \\
 &+ G[V(t)]
 \end{aligned}$$

Sea  $T = N\Delta t$ , entonces:

$$\begin{aligned}
 (11) \quad Z = & \int_{t=0}^{\Delta t} J[P(t), Q(t), I(t), V(t), Tr(t), C(t), t] dt + \\
 & \int_{t=\Delta t}^{2\Delta t} J[P(t), Q(t), I(t), V(t), Tr(t), C(t), t] dt \\
 & \dots\dots\dots + \\
 & \int_{t=(K-1)\Delta t}^{K\Delta t} J[P(t), Q(t), I(t), V(t), Tr(t), C(t), t] dt \\
 & \dots\dots\dots + \\
 & \int_{t=(N-1)\Delta t}^{N\Delta t} J[P(t), Q(t), I(t), V(t), Tr(t), C(t), t] dt
 \end{aligned}$$

Sea  $\Delta t = \frac{t}{K}$  escogido de tal forma que  $\Delta t \rightarrow 0$ .

Entonces tenemos que desde una perspectiva práctica el funcional  $J$  en cualquier intervalo  $\Delta t$  es constante y asume el valor evaluado en el límite superior del intervalo [29], por lo que:

$$(12) \quad Z = J[P(\Delta t), Q(\Delta t), I(\Delta t), Tr(\Delta t),$$

$$C(\Delta t), V(\Delta t), \Delta t] t / \Delta t +$$

$$J[P(2\Delta t), Q(2\Delta t), I(2\Delta t), Tr(2\Delta t),$$

$$C(2\Delta t), V(2\Delta t), 2\Delta t] t / \Delta t +$$

..... +



$$J[P(K\Delta t), Q(K\Delta t), I(K\Delta t), Tr(K\Delta t),$$

$$C(K\Delta t), V(K\Delta t), K\Delta t]t / \frac{K\Delta t}{(K-1)\Delta t} +$$

.....+

$$J[P(N\Delta t), Q(N\Delta t), I(N\Delta t), Tr(N\Delta t),$$

$$C(N\Delta t), V(N\Delta t), N\Delta t]t / \frac{N\Delta t}{(N-1)\Delta t}$$

$$+ G[V(N\Delta t)]$$

que es igual a:

$$(13) \quad Z = \sum_{K=1}^N J[P(K\Delta t), Q(K\Delta t), I(K\Delta t), Tr(K\Delta t), \\ C(K\Delta t), V(K\Delta t), K\Delta t] \\ + G[V(N\Delta t)]$$

De nuevo seleccione las unidades de  $t$  de tal forma que  $\Delta t = 1$ , entonces:

$$(14) \quad Z = \sum_{K=1}^N J[P(K), Q(K), I(K), Tr(K), \\ C(K), V(K), K] + G[V(K)]$$

Esto representa el proceso de toma de decisiones discretizado en un conjunto de  $N$  etapas con estrategias de control  $P(K)$ ,  $I(K)$ ,  $Tr(K)$ ,  $C(K)$  y flujo en las

tuberías de transmisión  $Q(K)$  decididas en cada etapa  $K=1,2,3,..N$ .

Si en forma similar discretizamos el resto de las ecuaciones que describen al sistema y procedemos a resolver el problema por el método de la programación dinámica, tenemos:

$$(15) \quad \text{Min} \sum_{K=1}^N J[P(K), Q(K), I(K), Tr(K), \\ C(K), V(K), K] + G[V(K)]$$

sujeto a:

El principio de optimabilidad de Bellman

$$(17) \quad V(K+1) = V(K) + A_1R(K) + A_2S(K) + \\ A_3L(K) + A_4P(K) + A_5C(K)$$

$$(18) \quad D(K) = B_1Tr(K) + I(K)$$

$$(19) \quad Tr(K) = B_2C(K)$$

$$(20) \quad Tr(K) = B_3Q(K)$$

$$(21) \quad B_4Q(K) = 0$$

$$(22) \quad St(K) = B_5S(K)$$

$$(23) \quad V_{\min} \leq V(K) \leq V_{\max}$$

$$(24) \quad Tr_{\min} \leq Tr(k) \leq Tr_{\max}$$

$$(25) \quad P_{\min} \leq P(K) \leq P_{\max}$$

$$(26) \quad Q_{\min} \leq Q(K) \leq Q_{\max}$$

$$(27) \quad I_{\min} \leq I(K) \leq I_{\max}$$

$$(28) \quad St(K) \geq St(k)_{\min}$$

$$(29) \quad 0 \leq \sum_{K=1}^N I(K) \leq It$$

### Programación dinámica hacia adelante

Se utiliza el método de programación dinámica hacia adelante [21], y no el usual de programación dinámica hacia atrás, ya que lo que nos interesa es encontrar la trayectoria óptima hacia el horizonte--con punto final variable o fijo--partiendo de un punto inicial fijo.

Si se utilizara el método de programación dinámica hacia atrás se nos presentarían tres problemas prácticos:

- 1) Tendríamos que suponer un volumen de agua final fijo y trabajar hacia atrás, sin saber de antemano si este volumen es arriable (factible) partiendo de un volumen inicial dado.
- 2) Si estuviéramos interesados en encontrar la trayectoria óptima para todos los volúmenes finales posibles, nos tocaría resolver el problema el mismo número de veces. En el método la programación dinámica hacia adelante se vienen cargando todos los posibles valores óptimos hacia adelante.

3) Al trabajar hacia atrás nos veríamos obligados a realizar todas las computaciones, y cargar con todos los datos, de todas las trayectorias hacia todos los volúmenes iniciales posibles en el sistema de presas, aunque en realidad sólo estamos interesados en los volúmenes concretos. Aún si al llegar a la primera etapa escogieramos un solo volumen inicial por presa, muchas de las trayectorias y volúmenes para los que hemos venido calculando y almacenando datos, simplemente no figurarán en el conjunto de trayectorias factibles, o volúmenes por donde pasan las trayectorias factibles, que tienen como punto de partida los volúmenes iniciales escogidos.

Es obvio entonces de que, para nuestro problema, este método de programación dinámica hacia adelante reduce el número de computaciones y memoria necesarios sobre el método tradicional de programación dinámica hacia atrás.

Derivación de la Función Recurrente  
para Programación Dinámica Hacia Adelante

Sea  $J^*(1, M+1)$  el costo óptimo (mínimo) de operación de la etapa  $K=1$  a  $K=M+1$  dado por:

$$(30) \quad J^*(1, M+1) = \text{Min} \left( \sum_{K=1}^{M+1} J[P(K), Q(K), I(K), \right. \\ \left. Tr(K), C(K), V(K), K] \right)$$

Comenzemos suponiendo que el vector de estado óptimo para la etapa  $M+1$  es dado por  $V^*(M+1)$ . Entonces el costo óptimo de la etapa 1 a la etapa  $M+1$ ,  $J^*(1, M+1)$ , es dado por:

$$(31) \quad J^*(1, M+1) = \text{Min} \left( J(M, M+1)[P(M), Q(M), \right. \\ \left. I(M), Tr(M), C(M), V^*(M+1), V(M), M+1] + \right. \\ \left. \sum_{K=1}^M J[P(K), Q(K), I(K), Tr(K), C(K), V(K), K] \right)$$

De acuerdo al principio de optimabilidad de Bellman, si  $J^*(1, M+1)$  es óptimo, entonces  $J(M, M+1)$  debe de ser también óptimo. Por lo que  $V(M)$  debe ser seleccionado de tal forma que:

$$(32) \quad J^*(1, M+1) = \text{Min}_{V(M)} \left( J(M, M+1)[P(M), Q(M), \right. \\ \left. I(M), Tr(M), C(M), V^*(M+1), V(M), M+1] + \right. \\ \left. \text{Min}_{K=1}^M \sum_{K=1}^M J[P(K), Q(K), I(K), Tr(K), \right. \\ \left. C(K), V(K), K] \right)$$

de donde obtenemos el vector de estado óptimo para la

etapa M, es decir  $V^*(M)$ .

Ahora, analicemos el funcional óptimo  $J^*(1,M)$ .

$$(33) \quad J^*(1,M) = \text{Min}_{K=1}^M \sum J[P(K), Q(K), I(K), \\ \text{Tr}(K), C(K), V(K), K]$$

Como  $V^*(1,M)$  es el estado óptimo para la etapa M, tenemos que:

$$(34) \quad J^*(1,M) = \text{Min}_{V(M-1)} \{ J(M-1,M) [P(M-1), \\ Q(M-1), I(M-1), \text{Tr}(M-1), C(M-1), \\ V^*(M), V(M-1), M] + \\ \text{Min}_{K=1}^{M-1} \sum J[P(K), Q(K), I(K), \\ \text{Tr}(K), C(K), V(K), K] \}$$

Nuevamente, de acuerdo al principio de optimabilidad de Bellman,  $V(M-1)$  es seleccionado de tal forma que  $J(M-1,M)$  es también óptimo. Es decir,  $V^*(M-1)$  es el vector de estado óptimo en la etapa M-1.

Generalizando los resultados obtenidos arriba y aplicando el mismo proceso, analicemos el funcional de costo para las tres últimas etapas:

$$\begin{aligned}
 (35) \quad J^*(1,3) = & \text{Min}_{V(2)} \{ J(2,3) [P(2), Q(2), \\
 & I(2), Tr(2), C(2), V^*(3), V(2), 3] + \\
 & \text{Min}_{K=1}^2 \sum J [P(K), Q(K), I(K), \\
 & Tr(K), C(K), V(K), K] \}
 \end{aligned}$$

de donde, de acuerdo al razonamiento previo, obtenemos el vector de estado óptimo para la segunda etapa  $V^*(2)$ .

Por lo tanto:

$$\begin{aligned}
 (36) \quad J^*(1,2) = & \text{Min}_{K=1}^2 \sum J [P(K), Q(K), I(K), \\
 & Tr(K), C(K), V(K), K]
 \end{aligned}$$

que es igual a:

$$\begin{aligned}
 (37) \quad J^*(1,2) = & \text{Min}_{V(1)} \{ J(1,2) [P(1), Q(1), \\
 & I(1), Tr(1), C(1), V^*(2), V(1), 2] + \\
 & \text{Min}_{J} J (V(1), 1) \}
 \end{aligned}$$

De este resultado podemos obtener el estado óptimo inicial  $V^*(1)$  y el costo de penalidad por haber iniciado con volumen  $V(1)$ .

Nótese que el proceso desarrollado aplica tanto

para el caso en que  $V(M+1)$  está especificado como para aquel en que no está. Además nótese que  $V(1)$  no tiene que ser óptimo sino simplemente cualquier volumen disponible al inicio del proceso. De este estado inicial uno se mueve optimizando de etapa a etapa hasta llegar a la etapa final  $M+1$  y determinando entonces el costo mínimo para los estados permisibles en dicha etapa  $M+1$ .

Del resultado arriba obtengamos la función recurrente para cualquier etapa  $N$ :

$$\begin{aligned}
 (38) \quad J^*(1, N) = \text{Min}_{V(N-1)} \{ & J(N-1, N) [P(N-1), \\
 & Q(N-1), I(N-1), Tr(N-1), C(N-1), \\
 & V^*(N), V(N-1), N] + \\
 \text{Min}_{K=1}^{N-1} \sum & J [P(K), Q(K), I(K), \\
 & Tr(K), C(K), V(K), K] \}
 \end{aligned}$$

Ahora, como  $V(N)$  está relacionada con  $V(N-1)$  por medio de  $P(N-1)$  y  $C(N-1)$  a través de la ecuación de estado, tenemos que:



$$(39) \quad J^*(1,N) = \min_{V(N-1)} \{ J(N-1,N) [ P(N-1), Q(N-1), I(N-1), \\ Tr(N-1), C(N-1), V^*(N), V(N-1), N ] + \\ J^*(1, N-1) \}$$

que es la función recurrente deseada. Esta nos dice que si conocemos el costo óptimo del estado 1 al estado N-1,  $J^*(1, N-1)$ , podemos determinar el costo óptimo hacia adelante de la etapa 1 al etapa N,  $J^*(1, N)$ .

#### Solución por Sucesiones de Aproximación

Antes de proceder a aplicar la técnica de sucesiones de aproximación al método de programación dinámica hacia adelante recordemos las partes que componen al problema:

- 1) Cuatro variables de estado que representan a los volúmenes de agua en las presas:

Presa de Bon Tempe:  $V_b(K)$

Presa Alpine:  $V_a(K)$

Presa Kent:  $V_k(K)$

Presa Nicasio:  $V_n(K)$

- 2) Ocho variables de control que afectan directamente los volúmenes de agua en las presas:

a) La distribución del consumo de agua en las plantas tratadoras y/o de importación:

Planta Bon Tempe: Tbt(K)

Planta San Gerónimo: Tsg(K)

San Ignacio: I(K)

b) La cantidad de agua transferida entre presas:

Alpine a Bon tempe: Pab(K)

Kent a Alpine: Pka(K)

Nicasio a Kent: Pnk(K)

c) Distribución de la cantidad de agua consumida de las presas paralelas Kent y Nicasio:

Kent: Ck(K)

Nicasio: Cn(K)

Como se puede apreciar aún con las simplificaciones que se han hecho, el sistema es altamente complejo y tiene un alto nivel de dimensionalidad. Esta situación nos lleva de inmediato a la "maldición de la dimensionalidad" de Bellman pues la cantidad de memoria de alta velocidad necesaria para resolver el problema mediante la aplicación directa del método de programación dinámica es prohibida. Una forma de circunscribir esta problemática es utilizar memoria

lenta. Sin embargo, este enfoque incrementa dramáticamente el tiempo de computación. La solución a este problema reside en la técnica de sucesiones de aproximación. [21]

El método de programación dinámica con sucesiones de aproximación descompone los problemas de alta dimensionalidad en un conjunto de sub-problemas de menor dimensionalidad a los cuales, uno por uno, se le aplica sucesivamente el método de programación dinámica hasta lograr una solución que aproxime la del problema de alta dimensionalidad.

La desventaja del método de sucesiones de aproximación es que, en general, la convergencia hacia el verdadero óptimo no es garantizable. Richard Bellman [2,3] ha demostrado que para este tipo de problema se obtiene una convergencia monótona. En general, Richard Larson [21] mantiene que, para problemas con convergencia monótona, si la trayectoria nominal está suficientemente cerca de la trayectoria verdaderamente óptima, se obtiene convergencia hacia esta trayectoria. En particular, Richard Larson y A. J. Korsak [20] afirman que, para el tipo de problema que estamos resolviendo, es posible comprobar convergencia hacia la trayectoria verdaderamente óptima.

Método de sucesiones de aproximación:

1) Supóngase que un escenario hidrológico y una concomitante trayectoria nominal,  $V_n(K)$   $1 \leq K \leq T$  están en ejecución. Ambos se obtuvieron en base a la experiencia pasada. Este escenario pudo haber sido tomado aleatoriamente o en forma determinística de los archivos históricos de funcionamiento del sistema.

2) Selecciónese una de las variables de estado, es decir una de las presas, y aplíquese el método de programación dinámica hacia adelante manteniendo fijas las demás variables de estado en la trayectoria nominal. El hecho de que los volúmenes de agua en las presas no seleccionadas sean mantenidos fijos le impone restricciones de igualdad a las transferencias de agua entre presas. Esto hace que dichas transferencias dejen de ser variables de control. La función objetivo al igual que las otras ecuaciones y restricciones que describen el sistema se mantienen sin cambiar. Como resultado se obtiene una nueva trayectoria nominal para la presa escogida y una descripción total del funcionamiento del sistema.

3) Una nueva variable de estado es seleccionada y el proceso anterior es repetido hasta haber optimizado sobre todas las presas por lo menos dos veces. El procedimiento termina cuando: a) una trayectoria optimizada se repite consecutivamente; o, b) la

minimización sobre todas las variables de estado logra consecutivamente una disminución de costo menor que un porcentaje definido a priori.

### Formulación Matemática

Sean:

- A)  $U_w$  la variable de estado sobre la cual estamos optimizando.
- B)  $U_x$ ,  $U_y$ , y  $U_z$  las variables de estado fijas (presas en la trayectoria nominal).
- C)  $U_n$  el vector de estado de las variables fijas en la trayectoria nominal, dado por:

$$U_n(K) = \begin{bmatrix} U_x(K) \\ U_y(K) \\ U_z(K) \end{bmatrix}$$

y denominado vector de volumen fijo.

De esto tenemos que:

$$(40) \quad \min_{K=1}^N \sum [J(P(K), Q(K), I(K), I_r(K), C(K), U(K), K) + G[U(K)]]$$

sujeto a:

El principio de optimabilidad de Bellman

y a:

$$(41) \quad U(K+1) = U(K) + A1R(K) \\ + A2S(K) + A3L(K) + A4P(K) + A5C(K)$$

$$(42) \quad D(K) = B1Tr(K) + I(K)$$

$$(43) \quad Tr(K) = B2C(K)$$

$$(44) \quad Tr(K) = B3Q(K)$$

$$(45) \quad B4Q(K) = 0$$

$$(46) \quad St(K) = B5S(K)$$

$$(47) \quad U_{wmin} \leq U_w(K) \leq U_{wmax}$$

$$(48) \quad U_n(K) = \text{Vector de volumen fijo.}$$

$$(49) \quad Tr_{min} \leq Tr(k) \leq Tr_{max}$$

$$(50) \quad P(K) = \text{Transferencia necesaria para} \\ \text{mantener los volúmenes nominales.}$$

$$(51) \quad Q_{min} \leq Q(K) \leq Q_{max}$$

$$(52) \quad I_{min} \leq I(K) \leq I_{max}$$

$$(53) \quad St(K) \geq St(k)_{min}$$

$$(54) \quad 0 \leq \sum_{K=1}^N I(K) \leq I_t$$

Con la siguiente función recurrente para cualquier etapa N:

$$\begin{aligned}
 (SS) \quad J^*(1,N) = \text{Min} \quad & \{ J(N-1,N) \{ P(N-1), \\
 & U(N-1) \\
 & Q(N-1), I(N-1), Tr(N-1), C(N-1), U^*(N), \\
 & U(N-1), N \} + J^*(1, N-1) \}
 \end{aligned}$$

### Optimización por Franjas con Tiempo

#### Incremental Filio

En la sección anterior discutimos la posibilidad de reducir significativamente la cantidad de datos almacenados para solucionar el problema. Esta cantidad de datos, denominada como el requisito de memoria de alta velocidad, puede ser disminuida aún más si limitamos la variación de la variable de estado sobre la cual se está optimizando a una franja de valores factibles.

Este método, que es un caso especial de programación dinámica con estado incremental [21], define una franja de valores factibles centrada en una trayectoria de la variable de estado sobre la que se está optimizando. Al inicio del proceso esta trayectoria es la nominal obtenida de los archivos históricos; posteriormente, es la última trayectoria que nos ha proporcionado el mejor avance en la minimización de la función objetivo. La variable de estado en cuestión asume valores que oscilan entre los límites establecidos por las franjas. El tiempo

incremental de las etapas es definido a priori y se mantiene fijo durante todo el proceso de optimización.

### Método de Optimización por Franjas con Tiempo

#### Incremental Fijo

1) De los archivos históricos de las presas, o de computaciones previas, obtenga una trayectoria nominal de las presas.

2) Defina una franja de valores centrada alrededor de la trayectoria nominal. Para casos en que la franja se sale de los límites factibles (volúmenes mínimo y máximo de las presas), ajuste la franja de tal forma que se ubique dentro de estos límites.

3) Divida la proyección en tiempo de la franja en  $K$  etapas de tiempo de igual duración.

4) Cuantifique cada etapa de la franja en  $N$  valores factibles. Esto nos provee  $NK$  rectángulos de factibilidad sobre los cuales optimizamos.

5) Aplíquese a esta franja el método de programación dinámica hacia adelante con sucesiones de aproximación.

La función objetivo, las restricciones y el resto de ecuaciones que describen el sistema continúan siendo las mismas, excepto que con esta modificación la restricción (47) de arriba se modifica a:



$$(56) \quad U_{winf} \leq U_w(K) \leq U_{wsup}$$

donde  $U_{winf}$  es la frontera inferior de la franja y  $U_{wsup}$  la frontera superior.

### Algoritmo de Solución

Sean:

w el índice de la presa cuyo volumen se va a controlar:

Bon Tempe  $w = 1$

Alpine  $w = 2$

Kent  $w = 3$ .

M el número de etapas en el período sobre el cual se está optimizando

K el índice de las etapas

N el número posible de sub-rectángulos de optimización en cada etapa

L1 el índice de los sub-rectángulo en la etapa  $K + 1$

L2 el índice de los sub-rectángulos en la etapa K

1. Sea  $I = 1$ .

2. Proceso de optimización por sucesiones de aproximación. De los archivos históricos o de calculaciones previas, seleccione una trayectoria nominal del vector de estado:

$U(K), K = 1, \dots, M$

3. Seleccione una variable de estado sobre la que se va a optimizar,  $U_w(K)$ . El resto de las variables de estado se mantienen fijas en el volumen nominal  $U_n(K)$ .
4. Sea  $K = 1$ .
5. Construcción de la Franja de optimización:  
Para la etapa  $K$  construya un rectángulo de optimización centrado alrededor de  $U_w(K)$  con límite superior  $U_{w\text{sup}}(K)$  y límite inferior  $U_{w\text{inf}}(K)$ :

$$U_{w\text{inf}}(K) \leq U_w(K) \leq U_{w\text{sup}}(K)$$

Si  $I = 1$  ó  $K = 1$ :

$$U_{w\text{inf}}(K) = U_w(K) = U_{w\text{sup}}(K)$$

6. ¿  $I = 1$  ?  
SI, continúe.  
No, pase al paso 8.

7. Determine el modo de operación y costo mínimo,  $J(\text{inicio}, \text{final})$  para la trayectoria nominal inicial  $U(K)$ :

$$L1 = L2 = N = 1.$$

8. Divida el rectángulo de optimización en  $N$  sub-rectángulos y cuantifique cada sub-rectángulo con un valor de agua. Designe cada sub-rectángulo con el índice  $L2$ , donde  $L2 = 1, \dots, N$ . Asigne a cada sub-rectángulo  $L2$  un costo inicial.
9. Para la etapa  $K + 1$  construya un rectángulo de optimización centrado alrededor de  $U_w(K+1)$  con límite superior  $U_{w\text{sup}}(K+1)$  y límite inferior  $U_{w\text{inf}}(K+1)$ :

$$U_{w\text{inf}}(K+1) \leq U_w(K+1) \leq U_{w\text{sup}}(K+1)$$

Si  $I = 1$ :

$$U_{w\text{inf}}(K+1) = U_w(K+1) = U_{w\text{sup}}(K+1)$$

10. Divida el rectángulo de optimización en  $N$  sub-rectángulos y cuantifique cada sub-rectángulo

con un valor de agua. Designe cada sub-rectángulo con el índice  $L1$ , donde  $L1 = 1, \dots, N$ . Asigne a cada sub-rectángulo  $L2$  un costo infinito.

11. Determine la trayectoria óptima y modo de operación de la etapa  $K - 1$  a  $K + 1$ .

Sea  $L1 = 1$ .

12. Seleccione el sub-rectángulo cuantificado  $L1$  para la etapa:  $K + 1$ .

13. Sea  $L2 = 1$ .

14. Seleccione el sub-rectángulo cuantificado  $L2$  para la etapa  $K$ .

15. Asígnale un costo infinito al modo de operación asociado con el segmento de trayectoria que nos lleva de  $L2$  a  $L1$ .

16. Coordine la producción de agua entre la planta Bon Tempe, y las plantas San Gerónimo y San Ignacio.

17. Determine los derramamientos de agua de las presas Bon Tempe y Alpine, y las transferencias de agua Alpine-Bon Tempe y Kent-Alpine.
18. Coordine la producción de agua entre las plantas San Gerónimo y San Ignacio.
19. Coordine el consumo de agua de las presas Kent y Nicasio.
20. Determine los derramamientos de agua de las presas Kent y Nicasio, y la transferencia de agua Nicasio-Kent.
21. Para los flujos determinados arriba, calcule la forma de transmisión de agua con costo mínimo hacia el sur del condado de Marin y el modo de operación con costo mínimo de las estaciones de bombeo.
22. ¿ Disminución en costo de L1 a L2 ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 24.

22. Actualize el modo y costo de operación para pasar de L2 a L1.
24. ¿ Existen más posibilidades de coordinar el consumo de las presas Kent y Nicasio ?  
Sí, retorne al paso 19.  
No, continúe.
25. ¿ Existen más posibilidades de coordinar la producción de agua entre las plantas San Gerónimo y San Ignacio ?  
Sí, retorne al paso 18.  
No, continúe.
26. ¿ Existen más posibilidades de coordinar la producción entre la presa Bon Tempe y la presas San Gerónimo y San Ignacio ?  
Sí, retorne al paso 16.  
No, continúe.
27. Calcule el costo para llegar del inicio de la trayectoria al sub-rectángulo de optimización L1 en la etapa  $K + 1$ , pasando por el rectángulo de optimización L2 de la etapa K.

28. ¿  $I = 1$  ?  
Sí, pase al paso 30.  
No, continúe.
29. ¿ Disminución en costo  $J(1, K+1)$  al sub-  
rectángulo  $L1$  ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 31.
30. Actualize el costo, modo de operación y  
trayectoria hacia  $L1$  en la etapa  $K + 1$ .
31. ¿ Existen más sub-rectángulos en la etapa  $K$  ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 33.
32.  $L2 = L2 + 1$ . Retorne al paso 12.
33. ¿ Existen más sub-rectángulos en la etapa  $K +$   
 $1$  ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 35.
34.  $L1 = L1 + 1$ . Retorne al paso 12.
35.  $K = K + 1$ .

36. ¿ K la última etapa ?  
Sí, pase al paso 41.  
No, continúe.
37. ¿ K + 1 la última etapa ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 39.
38. Punto final fijo  $N - L1 - 1$ .
39. Sean los rectángulos cuantificados de la etapa K los mismos que los rectángulos cuantificados de la etapa K-1.
40. Retorne al paso 9.
41. ¿ I = 1 ?  
Sí, continúe.  
No, pase al paso 44.
42.  $I = I + 1$ .
43. Retorne al paso 5.
44. ¿ Disminución en costo  $J(1, K+1)$  ?  
Sí, continúe.



No, pase al paso 47.

44. Actualize la trayectoria y solución óptima.

45. ¿ Es la disminución del costo menor que un porcentaje especificado ?

Si, continúe.

No, retorne al paso 1.

46. ¿ Es este nivel de disminución igual o menor al obtenido anteriormente ?

Si, pase al paso 48.

No, retorne al paso 1.

47. ¿ Es esta trayectoria igual a la trayectoria óptima obtenida anteriormente ?

Si, continúe.

No, retorne al paso 1.

48. ¿ Se ha optimizado un ciclo completo con el mismo resultado ?

Si, continúe.

No, retorne al paso 1.

49. Fin.

### Requisitos de Computación

Al analizar la factibilidad de la solución de un problema por computadora, básicamente estamos interesados en determinar: a) si existe suficiente memoria para almacenar los programas y datos necesarios para resolver el problema; y, b) si tenemos a nuestra disposición el tiempo de computación requerido para efectuar todas las calculaciones necesarias. Si alguna de estas respuestas es negativa entonces, aún teniendo una solución teórica al problema, decimos que el problema en la práctica no es resoluble o que no es solucionable.

El problema principal en la solución de problemas de gran escala es el elevado requisito de memoria de alta velocidad que debe de estar accesible durante el proceso de computación.

Sea:

- K - el número de etapas sobre las que se está optimizando
- N<sub>k</sub> - el número de estados cuantificados de la variable *i* en la etapa *K*
- N<sub>b</sub> - el número de bytes por unidad de memoria

- $N_r$  - la cantidad de memoria rápida  
 requerida para resolver el problema  
 $N_p$  - el número de parámetros que tenemos  
 que mantener en cada punto  
 cuantificado de la trayectoria  
 $T_c$  - tiempo de computación

Si resolvemos el problema mediante el método enumerativo tenemos que:

$$(58) \quad N_r \approx (N_b) * (N_p) \left[ \prod_{i=1}^n (N_{ik}) \exp(K-2) \right]$$

Si por simplicidad consideramos que  $N_{ik}$  es igual a  $N_i$  para cada etapa, entonces:

$$(59) \quad N_r = (N_b) * (N_p) \left[ \prod_{i=1}^n (N_i) \exp(K-2) \right]$$

Para  $n = 3$ ,  $N_1 = 30$ ,  $N_2 = 80$ ,  $N_3 = 430$ ,  $N_p = 63$  y  $N_b = 4$  tenemos:

$$\begin{aligned}
 N_r &\approx (63) * (4) * [30 \exp(10)] * [80 \exp(10)] * [430 \exp(10)] \\
 &\approx 3.45 \times 10 \exp(62) \text{ bytes}
 \end{aligned}$$

Los requisitos de memoria exceden dramáticamente

los 640K bytes de memoria de alta velocidad accesibles en la computadora personal NEC APC-IV al alcance de este estudio por casi  $5.4 \times 10^{\exp(56)}$  veces, lo cual hace el problema no factible a resolver.

Si para cada calculaci3n con punto flotante un co-procesador matemático 80287 operando a 8MHz se tarda  $60 \times 10^{-6}$  segundos, tenemos que el tiempo necesario de computaci3n es al menos:

$$T_c = [8.63 \times 10^{\exp(61)}] * [60 \times 10^{\exp(-6)}] \text{ segundos} \\ \approx 1.64 \times 10^{\exp(50)} \text{ a\u00f1os.}$$

Obviamente que la soluci3n a este problema no es pr\u00e1ctica mediante el m\u00e9todo enumerativo.

Si utilizamos el m\u00e9todo de programaci3n din\u00e1mica para investigar las posibles soluciones del problema, tenemos que la cantidad de memoria de alta velocidad requerida para solucionar el problema es dado por [21]:

$$(60) \quad N_r \approx (N_p)(N_b) \left[ \prod_{i=1}^3 N_i \right] (K-2)$$

Para nuestro caso:

$$N_r = (63)(4)(30)(80)(430)(10) \\ \approx 2.6 \times 10^9 \text{ bytes}$$

lo cual excede los 640K de memoria de alta velocidad accesibles en la computadora personal NEC APC-IV por casi 4000 veces.

El tiempo necesario de computación es al menos:

$$T_c = [6.5 \times 10^8] * [60 \times 10^{-6}] \text{ segundos} \\ \approx 10.83 \text{ horas}$$

Este tiempo, aunque no muy práctico, si es factible. Lo que torna no factible a esta metodología es el excesivo requisito de memoria rápida. Una solución a esta limitación es el uso del disco duro (memoria lenta) para almacenar resultados intermedios.

Si usamos el método de sucesiones de aproximación sin incluirle el método de optimización por franjas, tenemos que los requisitos de memoria al optimizar sobre Kent superan la cantidad de memoria rápida disponible.

Al optimizar sobre una sola presa i, tenemos que el

requisito de memoria  $N_r$  es dado por:

$$(61) \quad N_r \approx (N_p)(N_b)(N_i)(K-2)$$

Para el caso de Kent, si  $N_i = 4$  tenemos que:

$$\begin{aligned} N_r &\approx (63)(4)(340)(10) \\ &= 1,083,600 \text{ bytes} \end{aligned}$$

Esta cantidad de memoria requerida rebasa por más de 1.7 veces la cantidad de memoria rápida disponible.

Si resolvemos el problema con todas las modificaciones mencionadas anteriormente, tenemos que el requisito de memoria rápida por franja de acuerdo a la ecuación (61), con  $N_i = 4$  para cada  $i$ , es:

$$\begin{aligned} N_r &\approx (63)(4)(4)(10) \\ &= 1,008 \text{ bytes} \end{aligned}$$

Esto es una pequeña fracción,  $1.6 \times 10^{\text{exp}(-3)}$ , de la memoria que tenemos accesible.

El tiempo de convergencia al punto de operación óptimo fue en todo caso menor de nueve minutos.

### CAPITULO III

#### COORDINACION OPTIMA DEL BOMBEO DE AGUA EN EL SISTEMA DE TRANSMISION

Como vimos antes, para optimizar el sistema de control de agua de presas es necesario encontrar el modo de operación de costo mínimo del sistema de transmisión de agua desde las presas Bon Tempe, San Gerónimo y San Ignacio, ya que este se refleja indirectamente en la optimización del sistema de presas.

#### Sistema de Transmisión

Desde la perspectiva del consumo y distribución de agua el condado de Marin se divide en tres regiones: norte, centro y sur.

La cantidad de agua requerida por el norte del condado pueden ser suplidas por las plantas San Gerónimo y San Ignacio. El centro del condado por las plantas San Gerónimo, Bon Tempe y San Ignacio. El sur del condado sólo puede ser suplido por la planta Bon Tempe. Esta relación nos permite coordinar la producción de agua entre las tres plantas purificadoras.

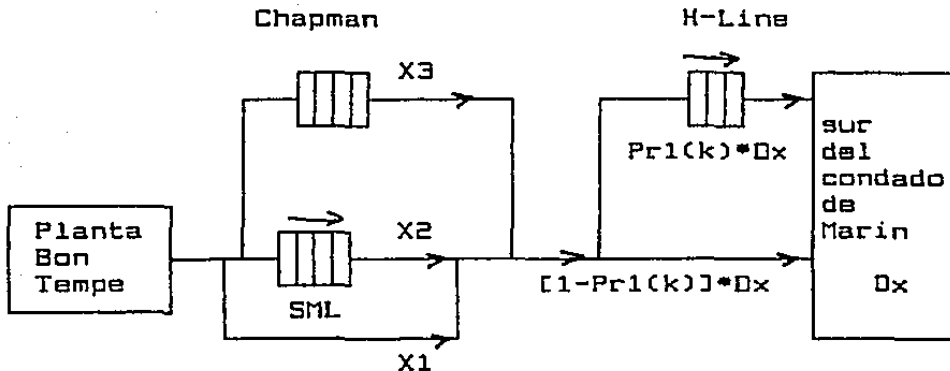


Diagrama No. 4. Sub-sistema de transmisión de agua para el sur del condado de Marin, estado de California.

Sea:

- X1: el flujo de gravedad en la línea Southern Marin Line
- X2: el flujo bombeado por la estación Southern Marin Line (SML)
- X3: el Flujo bombeado por la estación Chapman
- Dx: la demanda de agua en el sur del condado Marin

Todos los Flujos son en millones de galones por día (MGD).

Para obtener la función objetivo de este sub-sistema se realizaron una serie de experimentos y se analizaron los archivos de costo de operación de este



Históricamente se ha determinado que el consumo de agua en el sur del condado de Marin representa un 25 por ciento del consumo total en el condado. Esto nos permite dividir en dos la cantidad de agua producida en la planta Bon Tempe: una hacia el centro del condado a través de la tubería de gravedad Phoenix Bypass y la otra hacia el sur del condado mediante la línea de transmisión Southern Marin Line.

Anteriormente definimos porcentajes fijos de flujos en los tubos de transmisión H-Line y Fairfax Transmission Line:

- (1)  $Q_{h1}(K) = Per1(K) * Q_{sm11}(K)$   
 (2)  $Q_{ft}(K) = Per2(K) * T_{sg}(K)$

donde  $Per_i(K)$   $i = 1, 2$  son los porcentajes mínimos de agua, históricamente determinados, requeridos en la etapa K.

Estas modificaciones reduce la solución de los flujos óptimos en las líneas de transmisión, para un nivel determinado de coordinación en la producción de agua entre las diferentes plantas, a encontrar los flujos en la línea de transmisión Southern Marin Line (SML).

sub-sistema de transmisión y se determinó lo siguiente:

A) Costos por unidad de bombeo:

Estación Chapman:

\$52.00 por millón de galones

Estación Southern Marin Line:

\$34.00 por millón de galones

Estación H-line Boosters:

\$27.00 por millón de galones

B) Flujos máximos:

Hacia el sur del condado de Marin: 14.7 MGD

En la estación Chapman: 3.2 MGD

Gravedad en Southern Marin Line: 7.5 MGD

Bombada en Southern Marin Line: 11.5 MGD

En la estación H-line Boosters: 4.9 MGD

Flujos Optimos de Transmisión

Mediante la Programación Lineal

Si formulamos el problema mediante la programación lineal tenemos:

$$(3) \quad \text{Min } C = 34X_2 + 52X_3 + 27(\text{Pr1}(k) \cdot D_x)$$

sujeto a:

$$(4) \quad X_1 \leq 7.5$$

$$(5) \quad X_2 \leq 11.5$$

$$\begin{aligned}
 (6) \quad & X_1 + X_2 \leq 11.5 \\
 (7) \quad & X_1 + X_2 \leq D_x \\
 (8) \quad & X_3 \leq 3.2 \\
 (9) \quad & X_1 + X_2 + X_3 = D_x \\
 (10) \quad & 0 \leq D_x \leq 14.7 \\
 (11) \quad & X_1, X_2, X_3 \geq 0
 \end{aligned}$$

donde  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  son las variables de control cuyo valor óptimo hay que encontrar y  $D_x$  es la demanda de agua que varía de etapa en etapa.

De la ecuación (9) tenemos que:

$$(12) \quad X_3 = D_x - X_1 - X_2$$

Si sustituimos esta relación en todo el sistema de ecuaciones tenemos que:

$$\begin{aligned}
 (13) \quad \text{Min } C &= -52X_1 - 18X_2 + 52D_x + \\
 & 27[Cr1(K)*D_x]
 \end{aligned}$$

sujeto a:

$$\begin{aligned}
 (14) \quad X_1 &\leq 7.5 \\
 (15) \quad X_2 &\leq 11.5 \\
 (16) \quad X_1 + X_2 &\leq 11.5
 \end{aligned}$$

$$(17) X_1 + X_2 \leq D_x$$

$$(18) X_1 + X_2 \geq D_x - 3.2$$

$$(19) 0 \leq D_x \leq 14.7$$

$$(20) X_1, X_2 \geq 0$$

Esta sustitución nos ha reducido el problema a uno con dos variables y ha introducido el parámetro de la demanda de agua a la función objetivo. Como la demanda de agua se mantiene constante durante cada etapa, el problema se simplifica significativamente.

Nótese que el costo asociado con el flujo por la estación H-Line Boosters es independiente de la forma en que coordinemos  $X_1$ ,  $X_2$ , y  $X_3$  por lo que, si bien se añadirá al costo de transmisión de agua, no se incluirá en la solución del problema de programación lineal.

De acuerdo a la teoría de programación lineal, la solución óptima debe ocurrir en un punto extremo [22]. De acuerdo a la naturaleza del problema y el principio mencionado arriba se puede obtener de la Gráfica No. 1 que los puntos extremos ocurren de la siguiente manera:

$$A) \quad Si \quad 0 \leq Dx \leq 7.5$$

$$X1 = 7.5$$

$$X2 = 0.0$$

$$X3 = 0.0$$

$$B) \quad Si \quad 7.5 \leq Dx \leq 10.7$$

$$X1 = 7.5$$

$$X2 = 0.0$$

$$X3 = 3.2$$

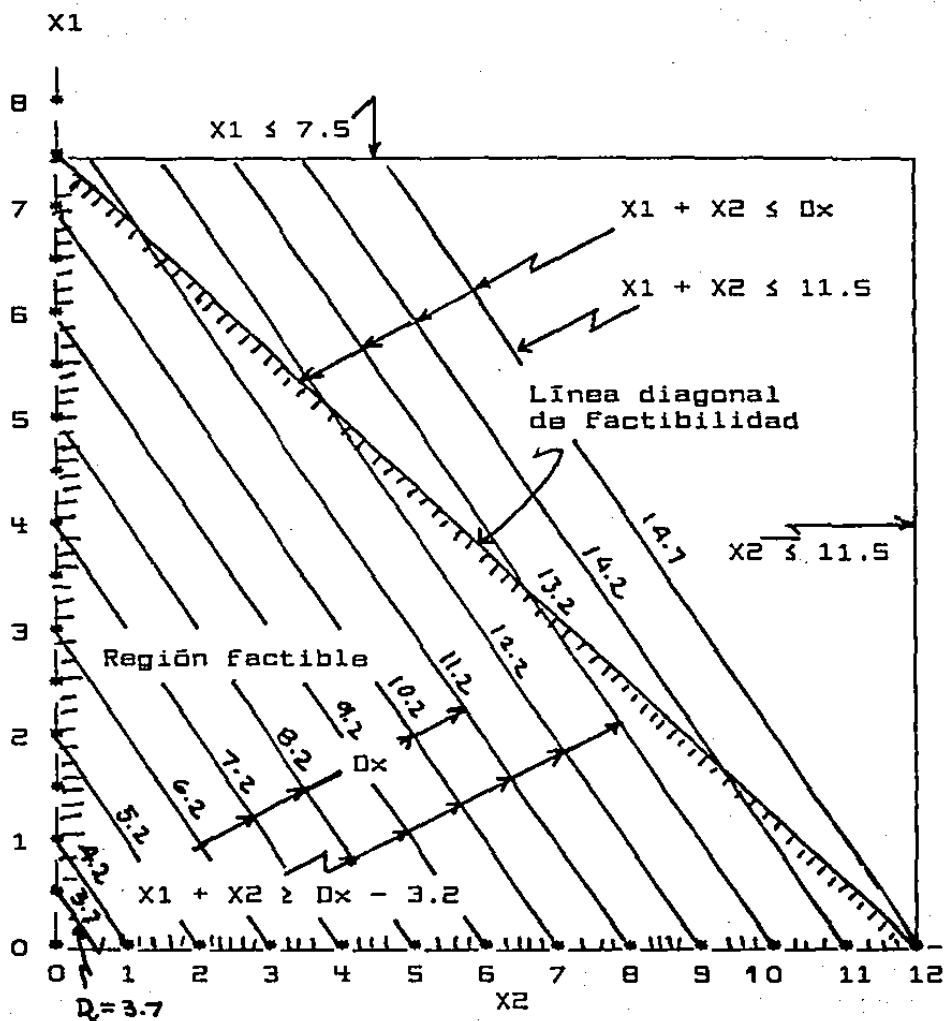
$$C) \quad Si \quad 10.7 \leq Dx \leq 14.7$$

En este caso  $X1$  y  $X2$  se obtienen resolviendo por el punto donde intersectan la línea de factibilidad con la ecuación  $X1 + X2 \geq Dx - 3.2$ . Matemáticamente:

$$(22) \quad X1 = 1.875 ( 14.7 - Dx )$$

$$(23) \quad X2 = 2.950x - 31.865$$

$$(24) \quad X3 = 3.2$$



Gráfica No 1. Solución gráfica de los flujos en el sub-sistema de transmisión Southern Marin Line.

## CAPITULO IV

### SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

El sistema de transmisión de agua del condado de Marin está conformado por los siguientes sub-sistemas de bombeo de agua cuyos costos de operación fueron necesarios determinar mediante experimentos y análisis de los archivos de costos históricos de operación.

Estos sub-sistemas son:

A) Un sub-sistema de estaciones bombas que impulsan el agua hacia el sur del condado. Esta se analizó en el capítulo anterior.

B) Un sub-sistema de estaciones en serie con bombas paralelo desde la planta San Ignacio [Sistema Intertia, I(K)].

C) Dos estaciones de bombeo: una de la presa Kent a la Alpine Pka(t) y otra de la presa Alpine a la Bon Tempe Pab(t).

D) Una estación de bombeo de agua desde la planta San Gerónimo (Psg).

E) El sub-sistema Tocaloma-Lagunitas compuesto de dos estaciones de bombeo múltiple: Tocaloma Pt(K) y Lagunitas Pl(K).

Sub-sistema Tocaloma-Lagunitas

Este sub-sistema de transmisión, incluye además un conjunto de válvulas de control de flujos. Dependiendo de cómo se coordinen las diferentes bombas y válvulas se obtienen diferentes modos de operación.

De acuerdo al Diagrama No. 5, si definimos los valores de las válvulas de tal forma que sean cero cuando están cerradas y uno cuando están abiertas, tenemos que:

$$(25) QI = (U1)(Q1) + (U2)(Q2)$$

$$(26) QI = (U3)(Q3) + (U4)(Q4)$$

y,

$$U1 = 0,1$$

$$U3 = 0,1$$

$$U2 = 0,1$$

$$U4 = 0,1$$

Nótese que U3 y U4 siempre tienen valores diferentes. Es decir si U3 = 1, U4 = 0 y vice versa, de otra manera se nos produciría un flujo circulante en estas tuberías.

De acuerdo a las características del sistema tenemos los siguientes modos de operación:



A) Si,  $20.5 \leq Q_T \leq 29.5$

1)  $U_1 - U_2 - U_4 - 1$

$U_3 - 0$

$Q_T - Q_1 + Q_2$

$Q_T - Q_4$

b,

2)  $U_2 - U_4 - 1$

$U_3 - U_1 - 0$

$Q_T - Q_2 - Q_4$

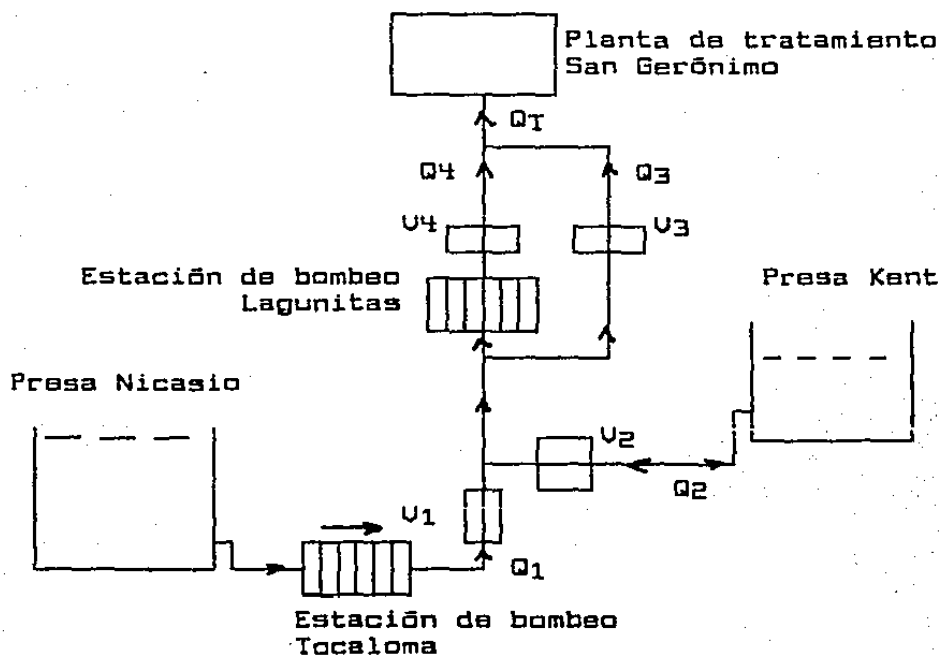


Diagrama No. 5. Sub-sistema de transmisión Tocaloma-Lagunitas.  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  y  $U_4$  son las válvulas de control que junto con las estaciones de bombeo regulan los flujos  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$  y  $Q_T$ .

B) Si  $18.5 \leq QT \leq 20.5$

$$1) \quad \begin{array}{ll} U1 - U4 - 1 & U2 - U3 - 0 \\ QT - Q1 - Q4 & \end{array}$$

o,

$$2) \quad \begin{array}{ll} U2 - U4 - 1 & U1 - U3 - 0 \\ QT - Q2 - Q4 & \end{array}$$

C) Si  $0.0 \leq QT \leq 18.5$  con  $Q2 \geq 0.0$

$$1) \quad \begin{array}{ll} U1 - U3 - 1 & U2 - U4 - 0 \\ QT - Q1 - Q3 & \end{array}$$

o,

$$2) \quad \begin{array}{ll} U2 - U4 - 1 & U1 - U3 - 0 \\ QT - Q2 - Q4 & \end{array}$$

D) Si  $0.0 \leq QT \leq 18.5$  con  $Q2 \leq 0.0$

$$1) \quad \begin{array}{ll} U1 - U2 - U4 - 1 & U3 - 0 \\ QT - Q1 - Q2 & \end{array}$$

En este último caso es necesario ajustar la válvula U2 para lograr el flujo deseado.

### Tablas de Costo de Bombeo

Para efectos de obtener las tablas de costo fue necesario determinar los costos por unidad de bombeo de agua de cada una de las estaciones. Esto se logró estableciendo: primero, la relación entre la tasa de flujo de agua en millones de galones por día y la necesidades de potencia en horas-kilovatio; segundo, la relación de costo en dólares con horas-kilovatio; y tercero, de estas dos relaciones se hizo la traslación lineal a costo en dólares por millón de galones.

Para lograr esta última relación se hicieron las siguientes suposiciones:

- i) Que las bombas operan en el punto de mayor eficiencia posible, por bomba o coordinación de bombas en serie o paralelo. [30]
- ii) Que para minimizar los costos de operación, los flujos de agua en el sistema se mantienen a una tasa permanente mientras están encendidas las estaciones de bombeo. [7]
- iii) Que el costo de encendido del sistema se distribuye en igual peso al costo de funcionamiento de cada bomba.
- iv) Los costos de operación de cada estación, o sistema de estaciones como es el caso de Intertie, representan los costos

concentrados del conjunto de bombas necesarias para producir el flujo requerido.

Esta información, junto con los resultados obtenidos en el tercer capítulo, conformaron posteriormente un solo módulo de costos que nos sirvió durante la simulación del sistema para determinar la coordinación de bombas en cada estación que satisficieran los requisitos de flujo a un costo mínimo.

A continuación se presentan las tablas de costo de las estaciones Southern Marin Line, Chapman, H-Line Boosters, Intertie (incluye cuatro estaciones en serie que funcionan simultáneamente: San Ignacio, Marinwood, Lucas Valley y Santa Margarita), Alpine-Bon Tempe, Kent-Alpine, San Gerónimo, Lagunitas y Tocaloma.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Rango de Flujo (MGD)	Estación	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 11.5	Southern Marin Line (SML) dos en paralelo	34.00
0.0 - 3.2	Chapman Boosters	52.00
0.0 - 4.9	H-Line Boosters	27.00

Tabla No. 1. Costos de bombeo para el sistema de estaciones hacia el sur del condado de Marin.

Rango de Flujo (MGD)	Bombas utilizadas	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 3.8	una por estación	121.00
3.8 - 6.68	dos en paralelo por estación	130.00
6.68 - 8.0	tres en paralelo por estación	195.00

Tabla No. 2. Costos de bombeo para el sistema de estaciones en serie en la línea de transmisión Intertie.

Rango de Flujo (MGD)	Estación de Bombeo	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 14.5	Alpine-Bon Tempe	31.00
0.0 - 7.5	Kent-Alpine	112.00

Tabla No. 3. Costos de bombeo entre las presas Alpine-Bon Tempe y Kent-Alpine.

Rango de Flujo (MGD)	Identificación de Bombas utilizadas	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 6.9	3	61.00
6.9 - 13.8	5,6	64.00
13.8 - 19.5	4,5,6	66.00
19.5 - 22.0	1,2,3,4	71.00
22.0 - 25.7	1,2,3,4,5	75.00
25.7 - 29.0	1,2,3,4,5,6	88.00
Costo Fijo de operación \$550.00		

Tabla No. 4. Costos de operación de la estación de bombeo San Gerónimo.

Rango de Flujo (MGD)	Identificación de Bombas utilizadas	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 6.5	3	14.10
6.5 - 9.9	1,3	17.00
9.9 - 12.2	3,4	19.00
12.2 - 15.5	1,3,4,5	26.00
15.5 - 18.1	7	37.00
18.1 - 20.0	3,4,7	48.00
20.0 - 29.0	7,8	70.00

Tabla No. 5. Costos de operación de la estación de bombeo Lagunitas.



Rango de Flujo (MGD)	Identificación de Bombas utilizadas	Costo por unidad (\$/MG)
0.0 - 3.5	1	42.00
3.5 - 6.3	4	51.00
6.3 - 9.9	1,4	57.00
9.5 - 11.7	3,4	64.00
11.7 - 12.1	1,2,3	65.00
12.1 - 13.7	2,3,4	73.00
13.7 - 15.1	1,2,3,4	82.00
15.1 - 15.8	2,3,4,5	83.00
15.8 - 18.3	2,3,4,5,6	93.00
18.3 - 20.5	1,2,3,4,5,6	110.00
Costo Fijo de operación \$550.00		

Tabla No. 6. Costos de operación de la estación Tocaloma.

## CAPITULO V

### EJEMPLOS

La simulación de la solución óptima del problema se formuló para cinco tipos de años de lluvia: muy mojado, mojado (que es la norma), abajo de lo normal, seco y muy seco.

A continuación se incluye un breve resumen de la solución para los siguientes tipos de años: un año muy seco que fue precedido por otro año muy seco (pág. 85); un año muy seco precedido por un año normal (pág. 97); un año seco precedido por un año normal (pág. 109); un año abajo de lo normal (pág. 121); y un año muy mojado (pág. 133). Adicionalmente, se incluye una descripción completa para un año de lluvia normal (pág. 145).

TIPO DE AÑO: MUY SECO  
MES INICIAL: NOVIEMBRE  
MES FINAL: OCTUBRE

## ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 9804.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 5104.0

## BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

## ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 950.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 950.0

## KENT

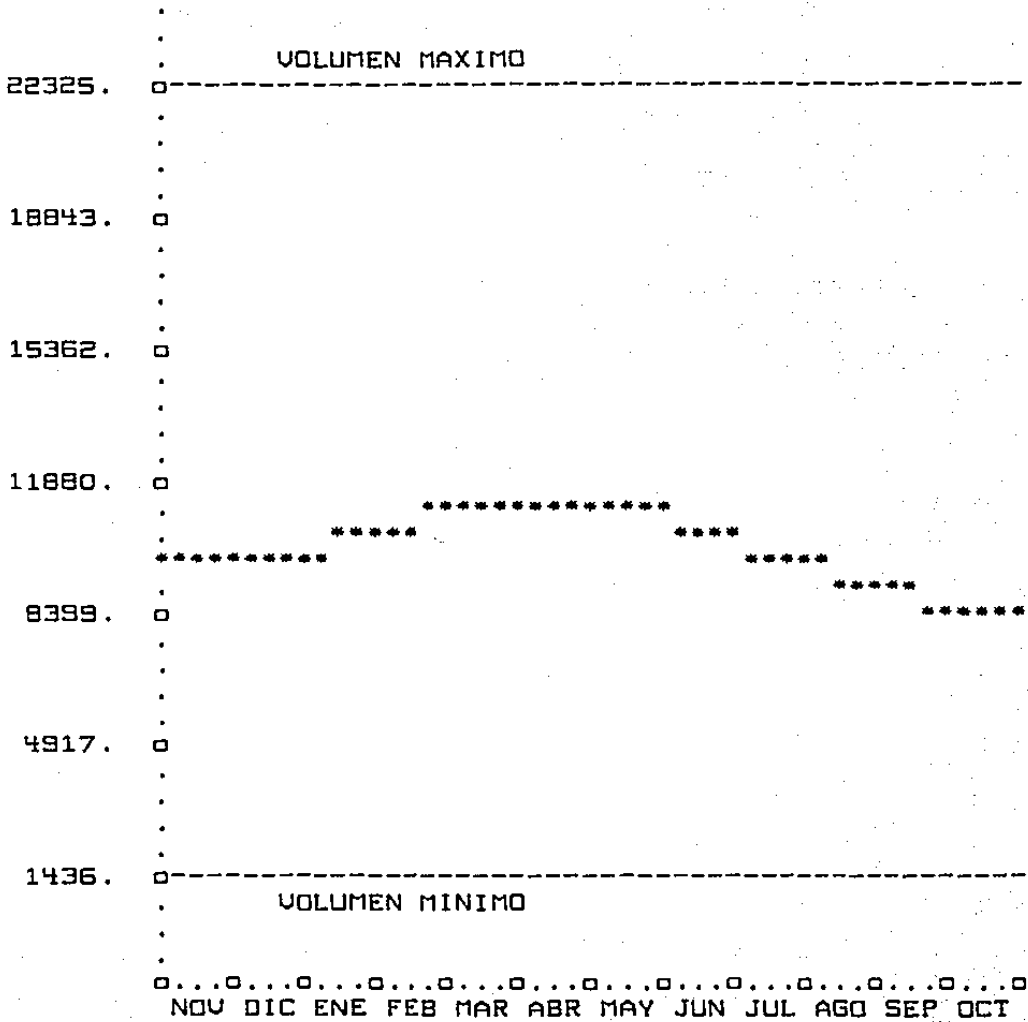
VOLUMEN INICIAL: 4200.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 2500.0

## NICASIO

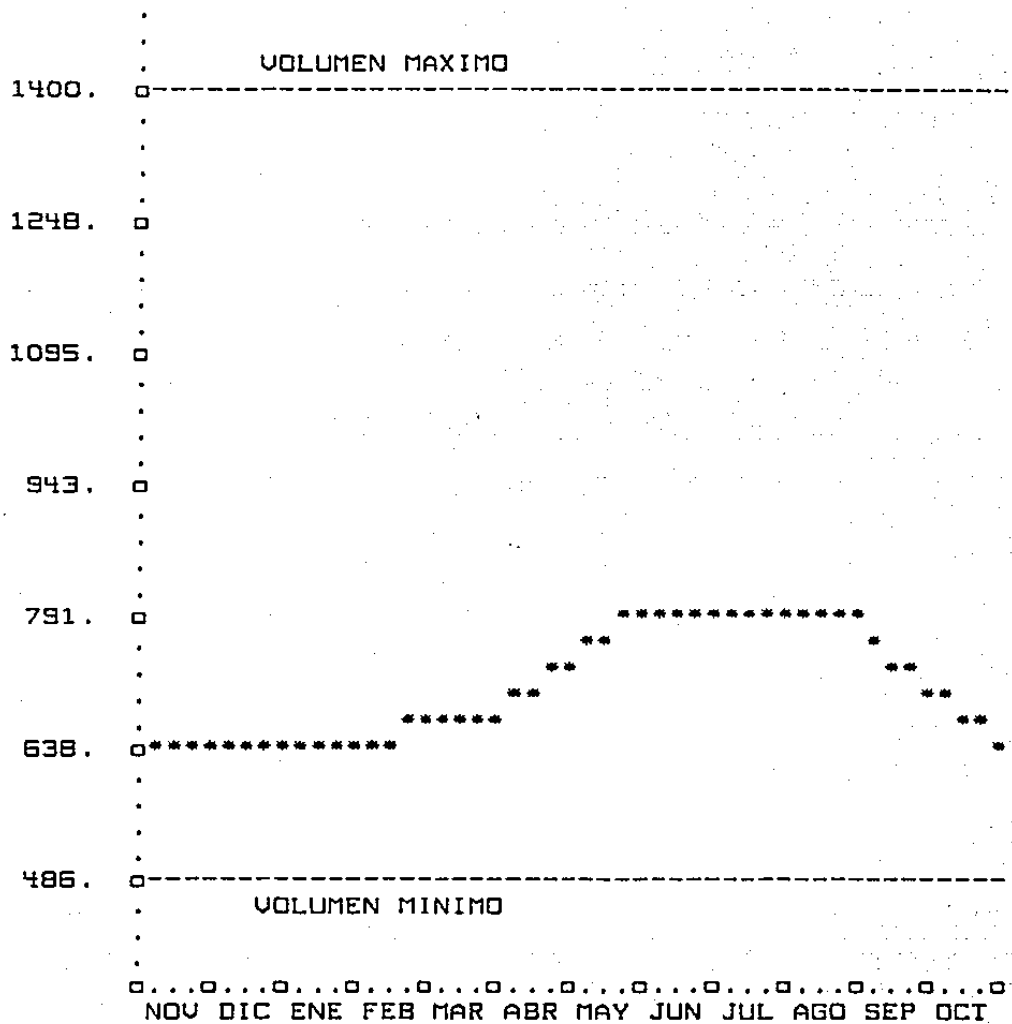
VOLUMEN INICIAL: 4000.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1000.0

POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:

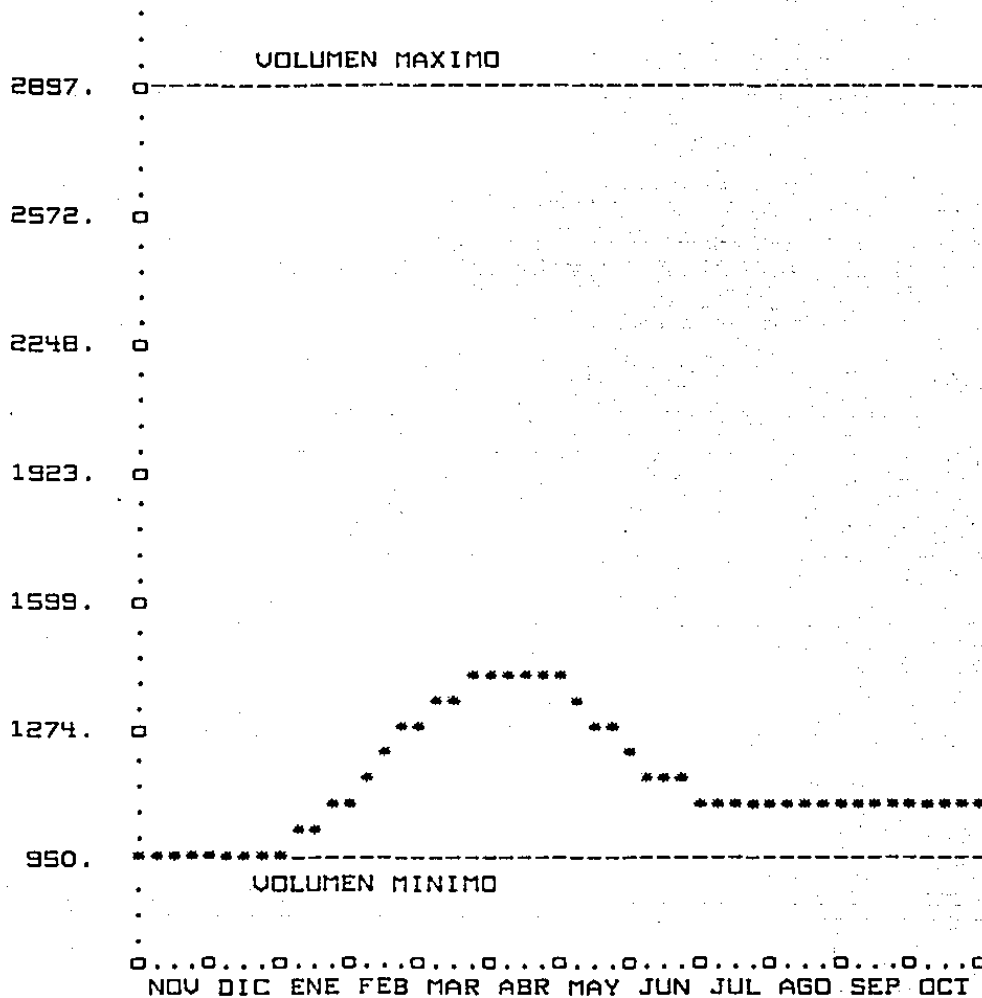
0.40 DEL CONSUMO NORMAL



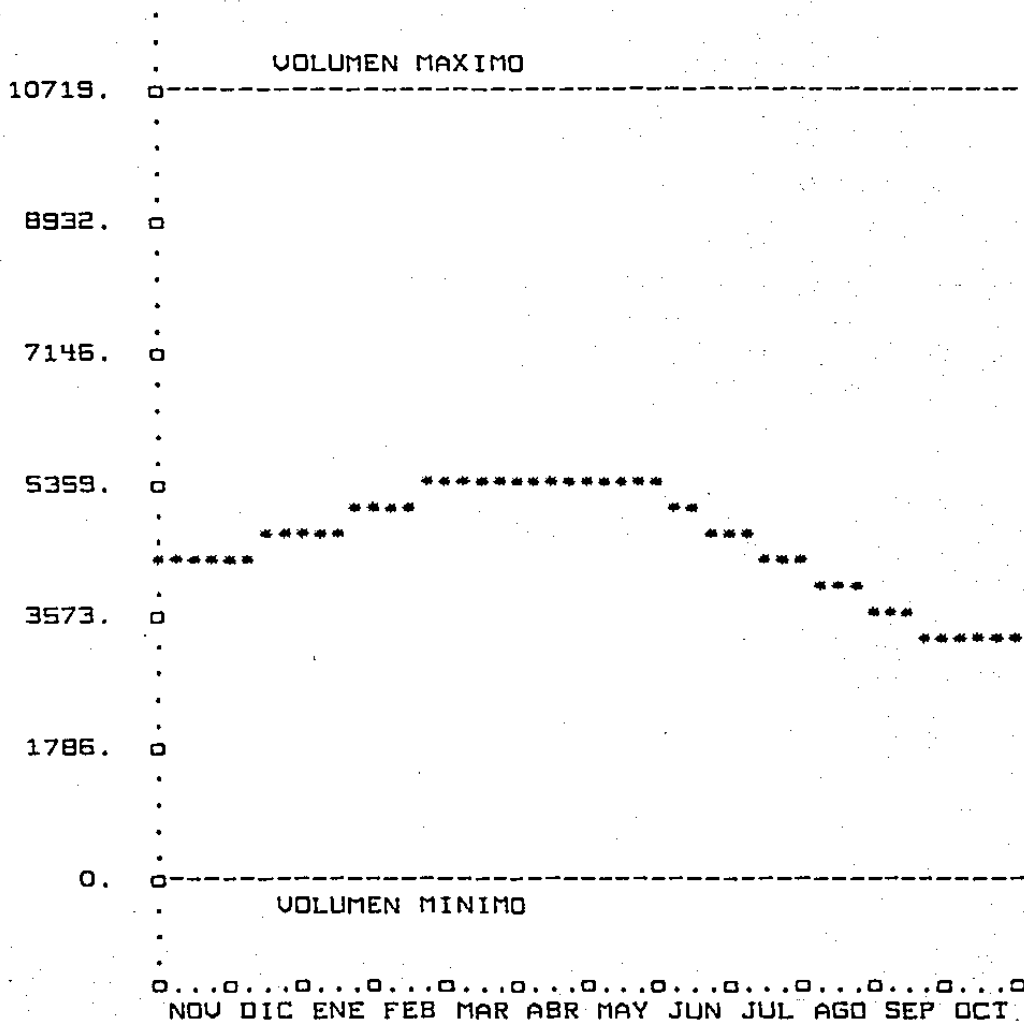
Gráfica No. 2. Trayectoria nominal del total de agua para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



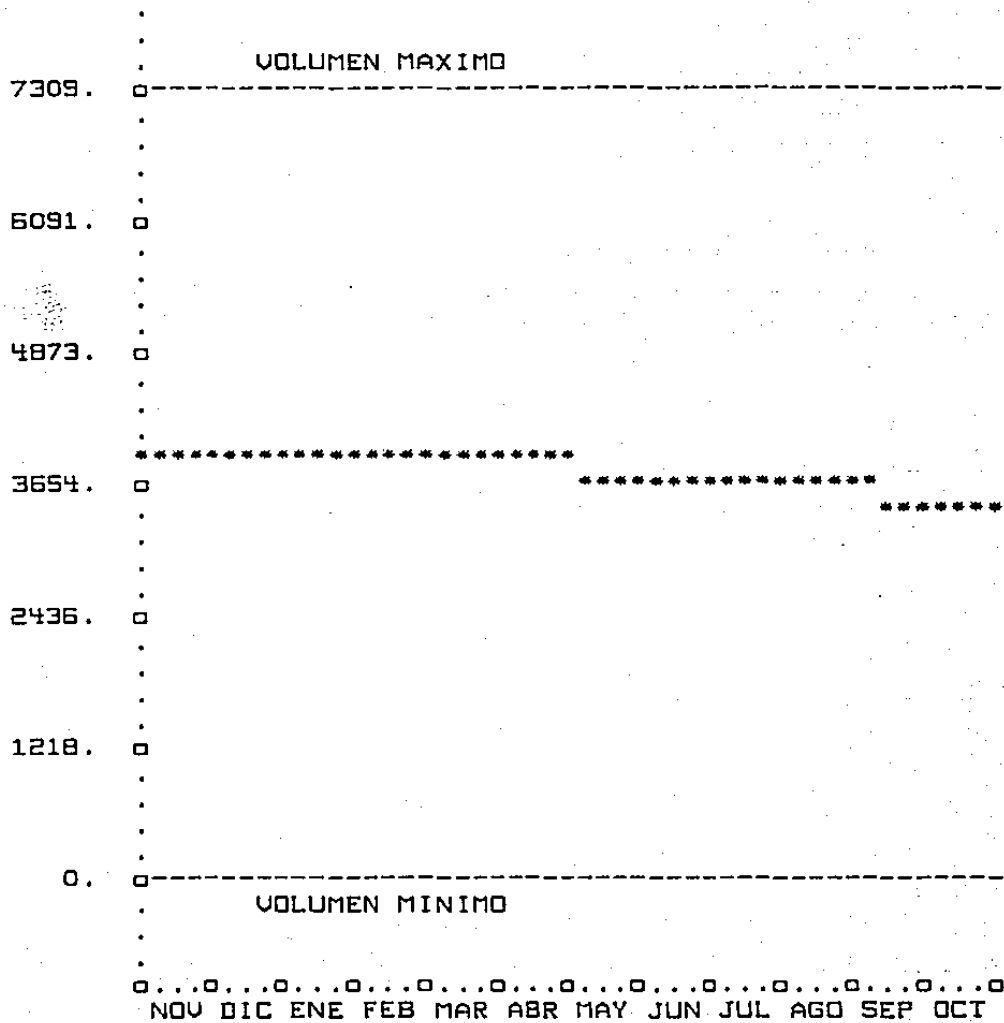
Gráfica No. 3. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 4. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 5. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 6. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

328995.75

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

315481.22

311897.00

309227.31

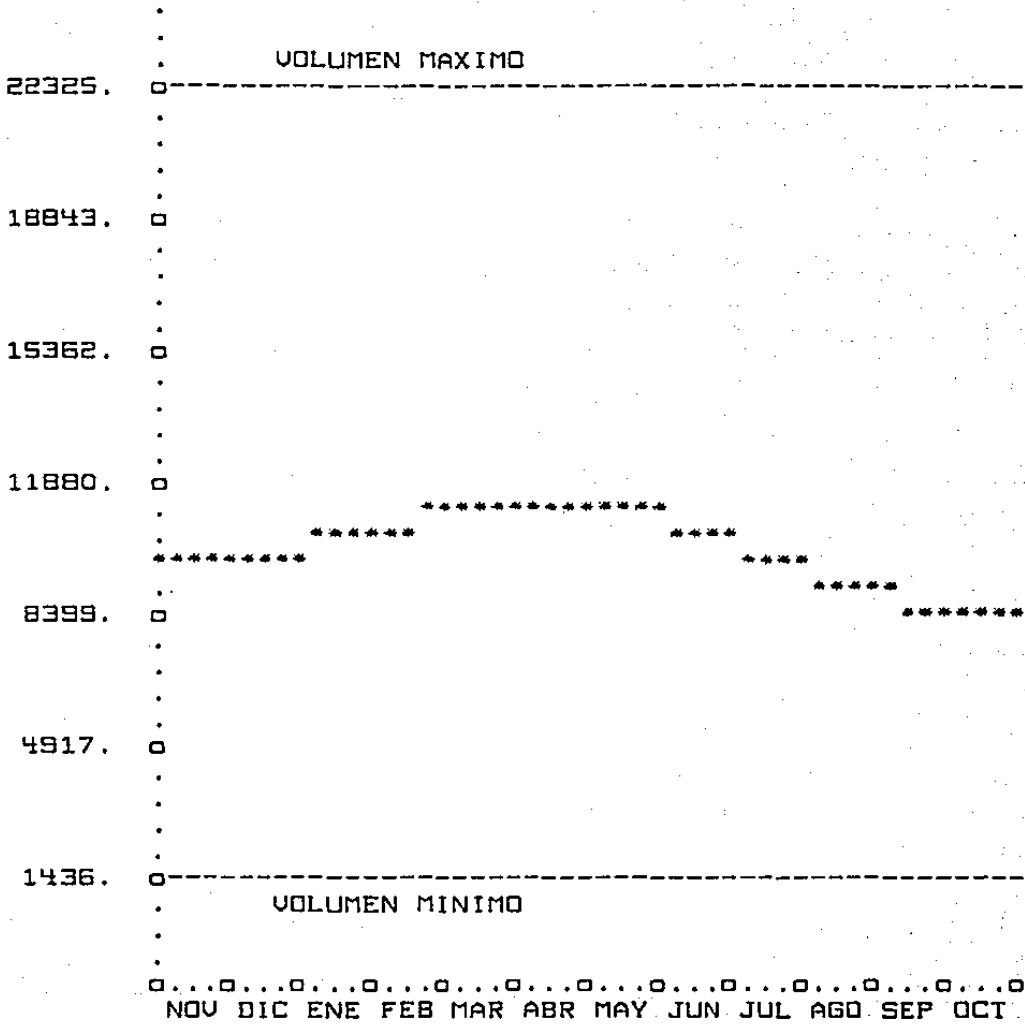
307396.91

305164.78

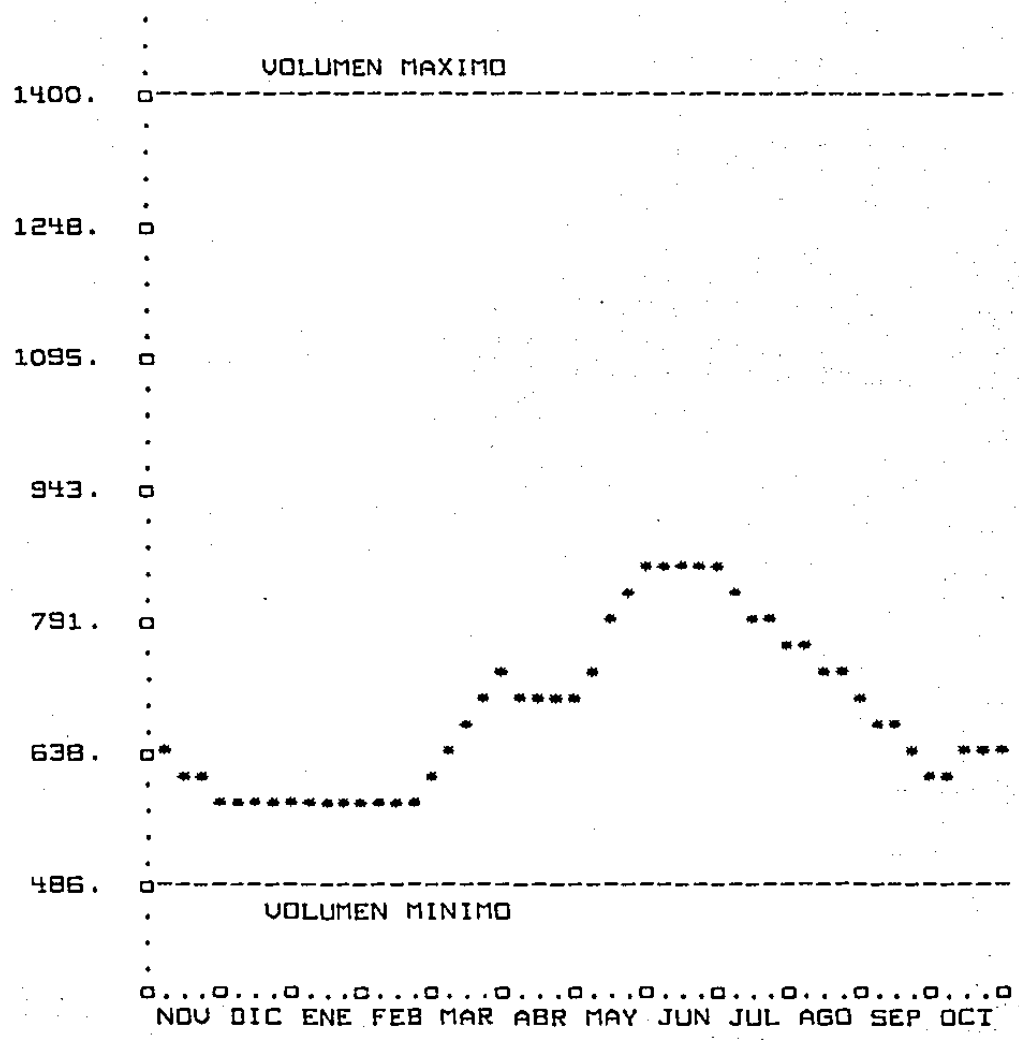
305021.53

305021.53

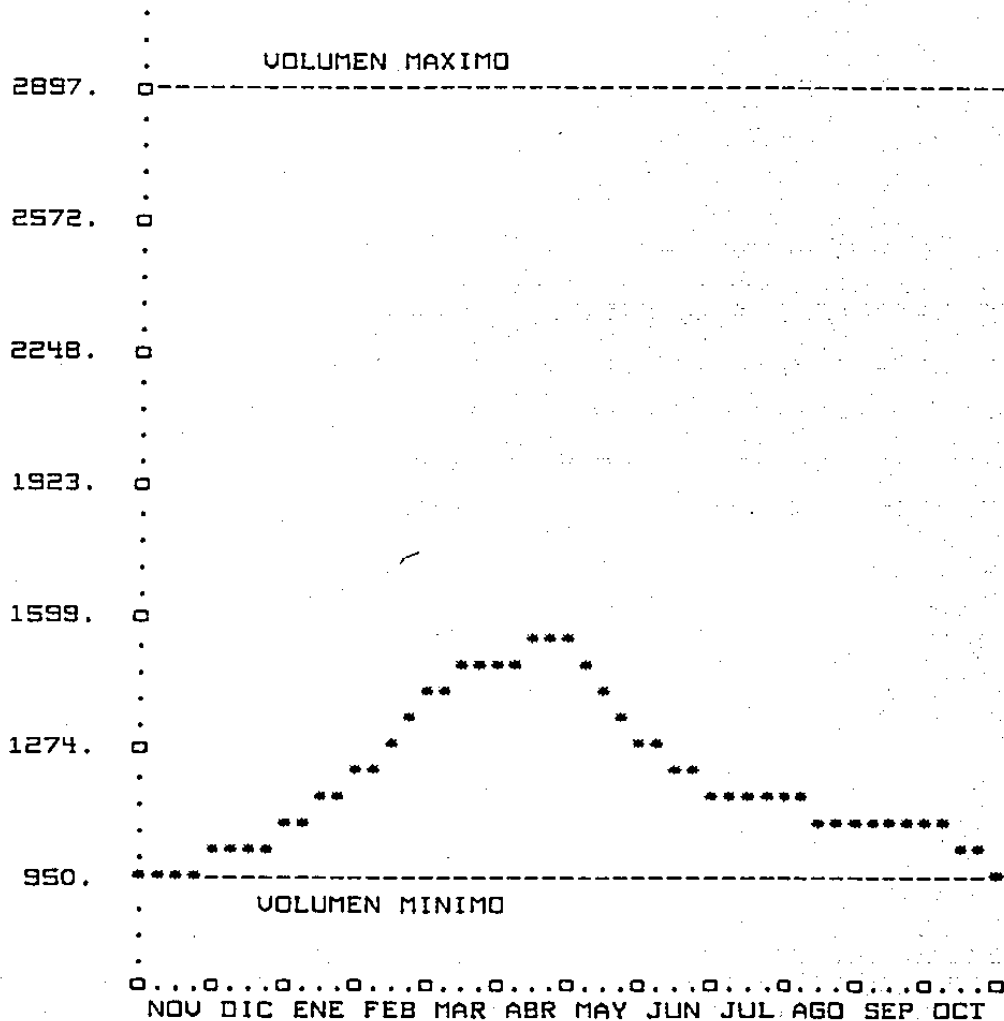
TIEMPO DE COMPUTACION            5.00    MINUTOS



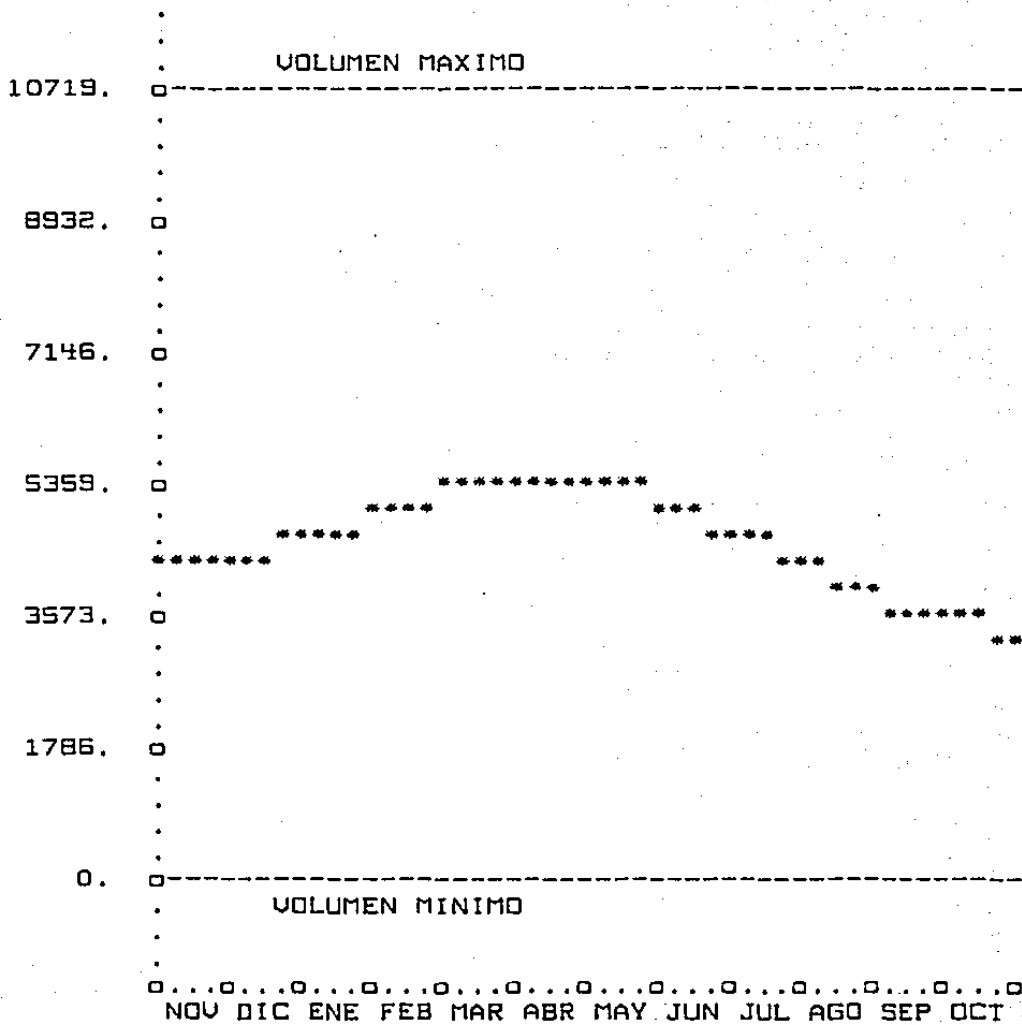
Gráfica No. 7. Trayectoria óptima del volumen total para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



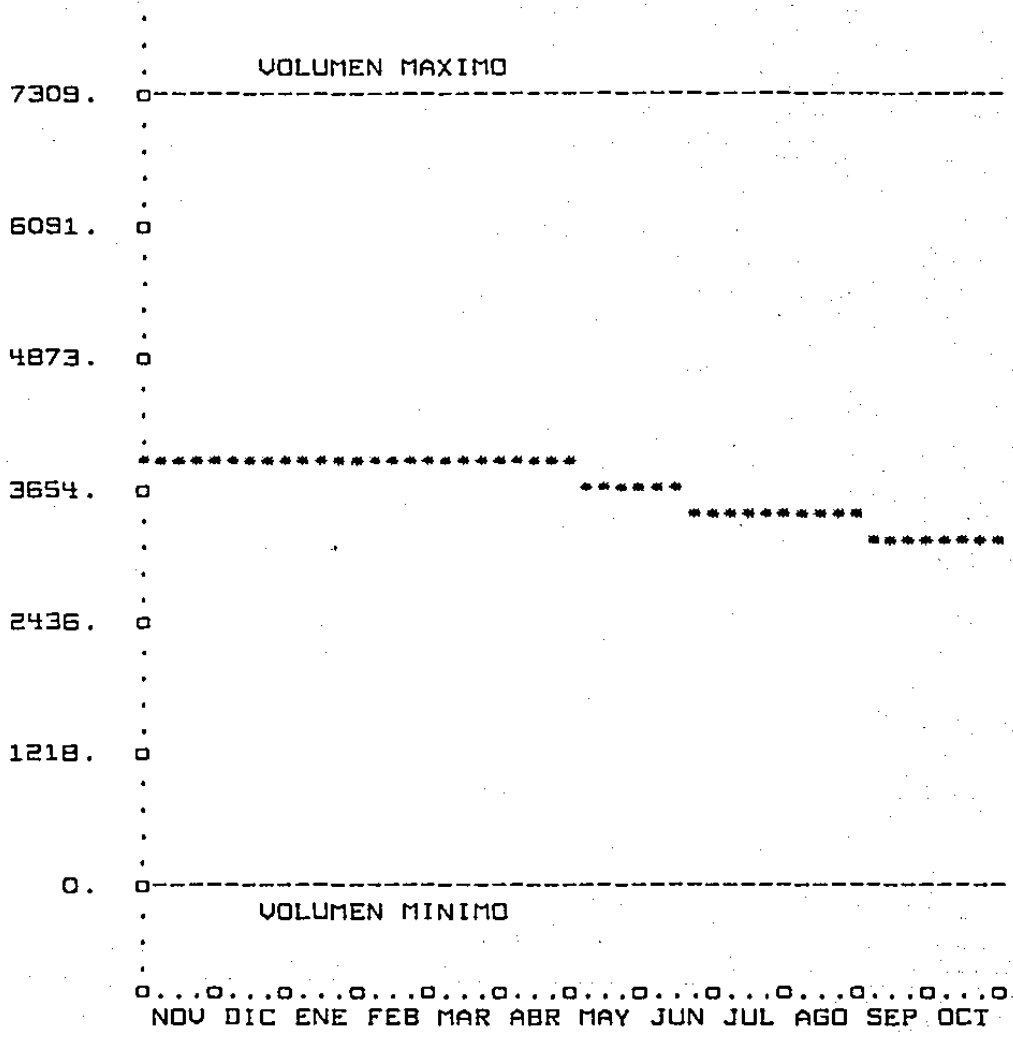
Gráfica No. B. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 9. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 10. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por otro año muy seco.



Gráfica No. 11. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por otro año muy seco.

TIPO DE AÑO: MUY SECO  
MES INICIAL: NOVIEMBRE  
MES FINAL: OCTUBRE

ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 11980.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 7568.0

BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 1400.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1150.0

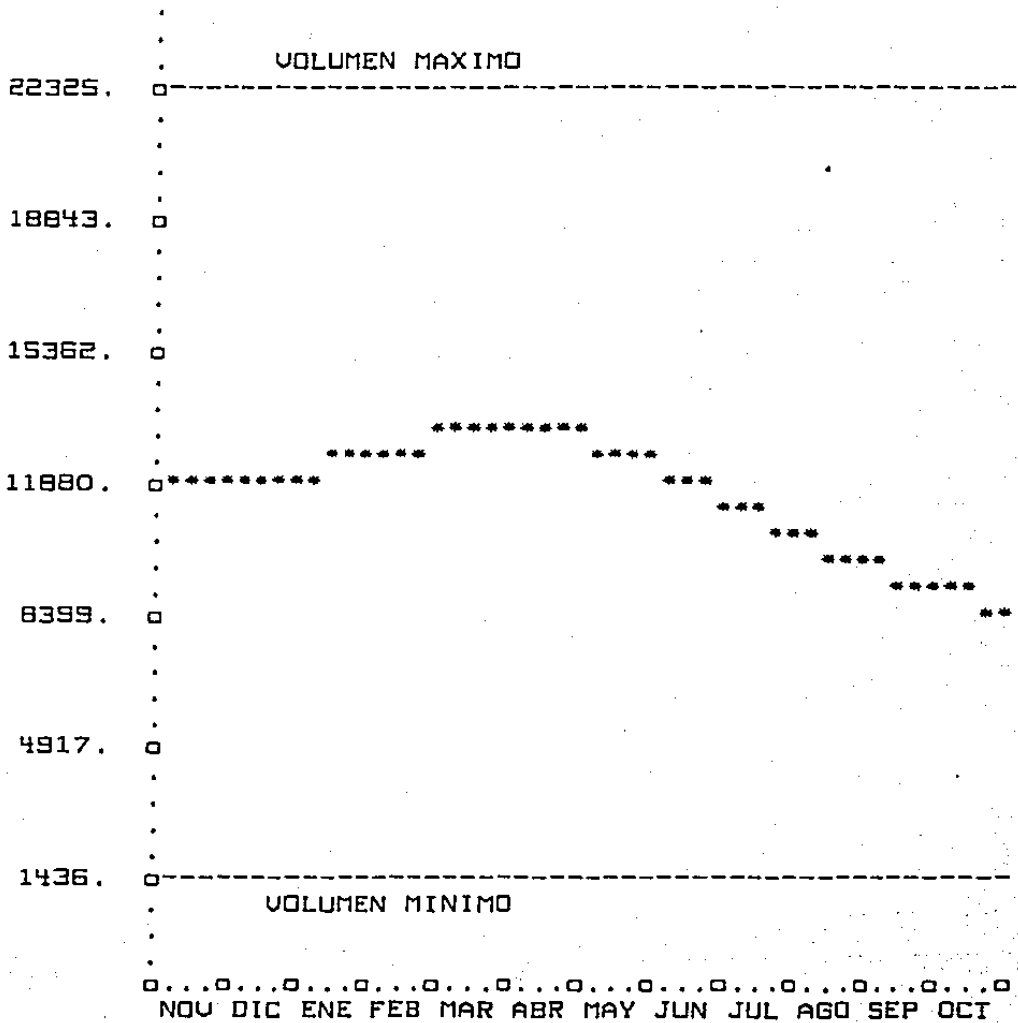
KENT

VOLUMEN INICIAL: 5212.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 4200.0

NICASIO

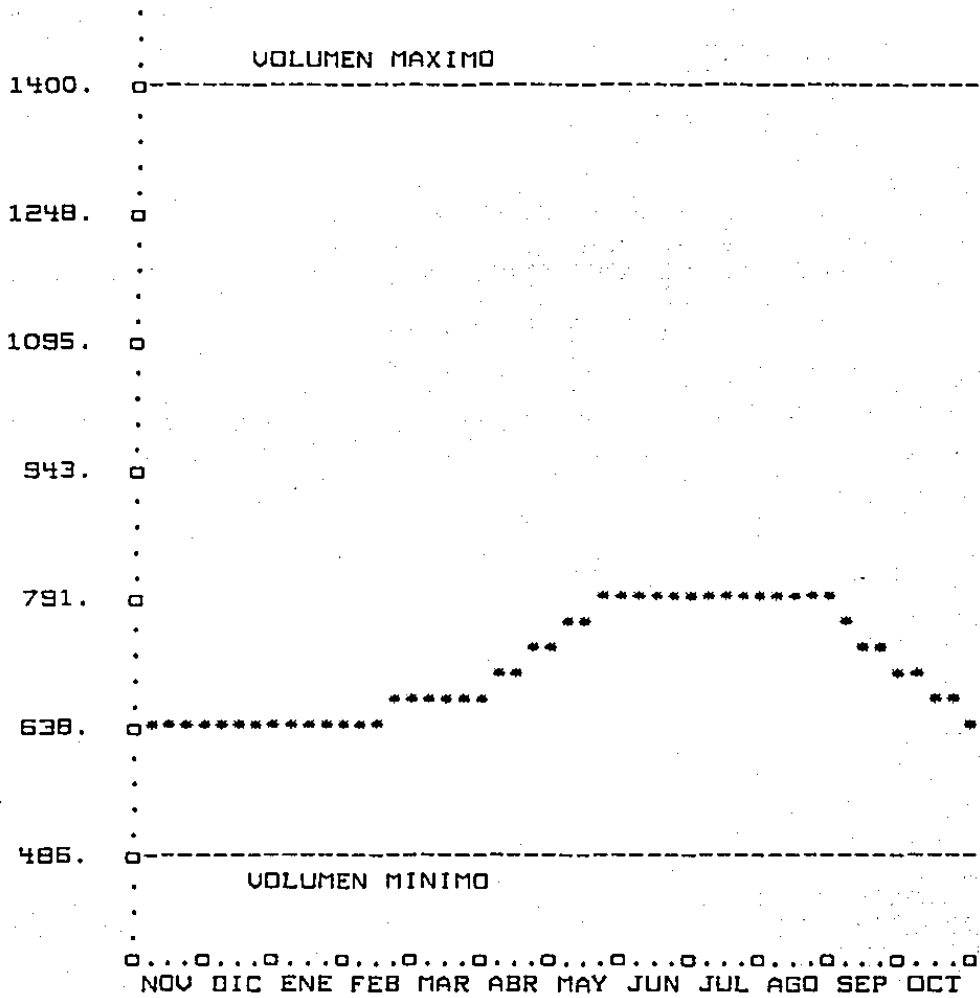
VOLUMEN INICIAL: 4714.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1564.0

POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:  
0.60 DEL CONSUMO NORMAL

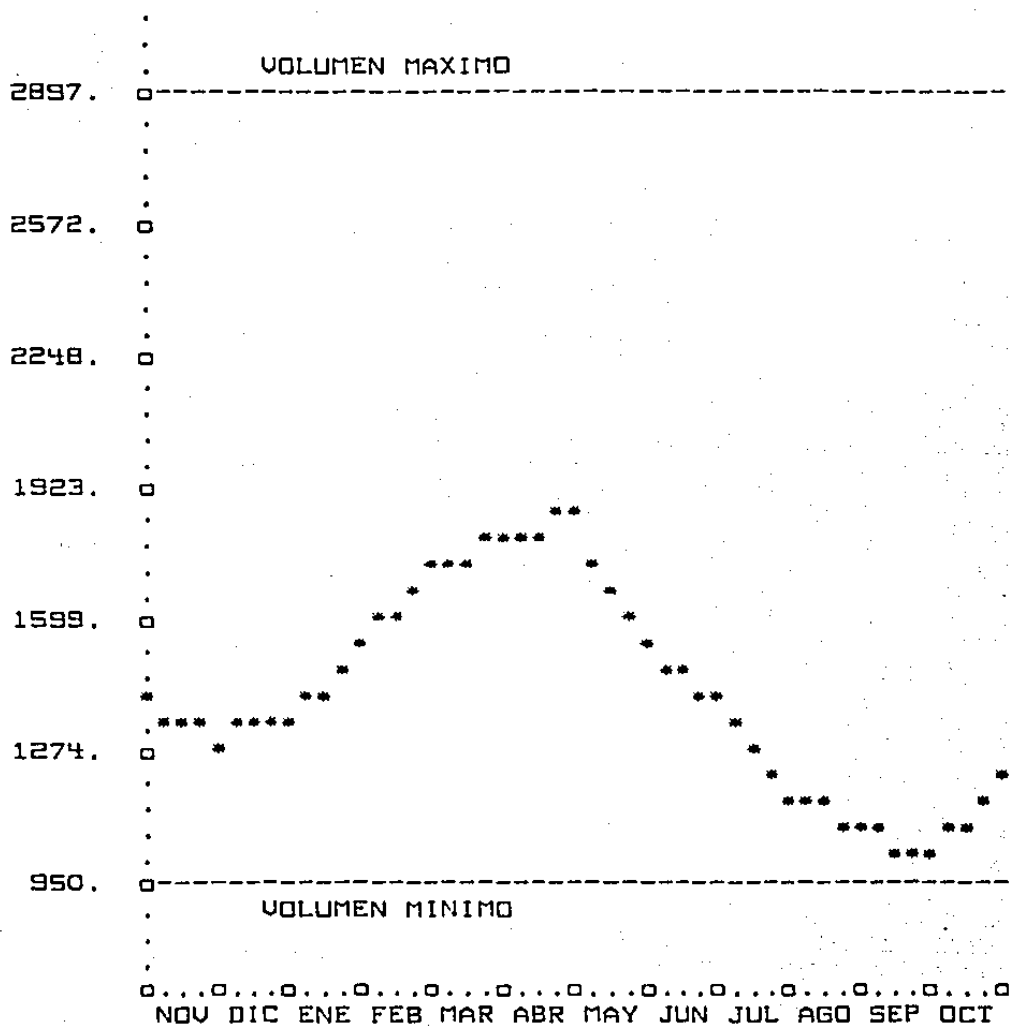


Gráfica No. 12. Trayectoria nominal del total de agua para un año muy seco precedido por un año normal.

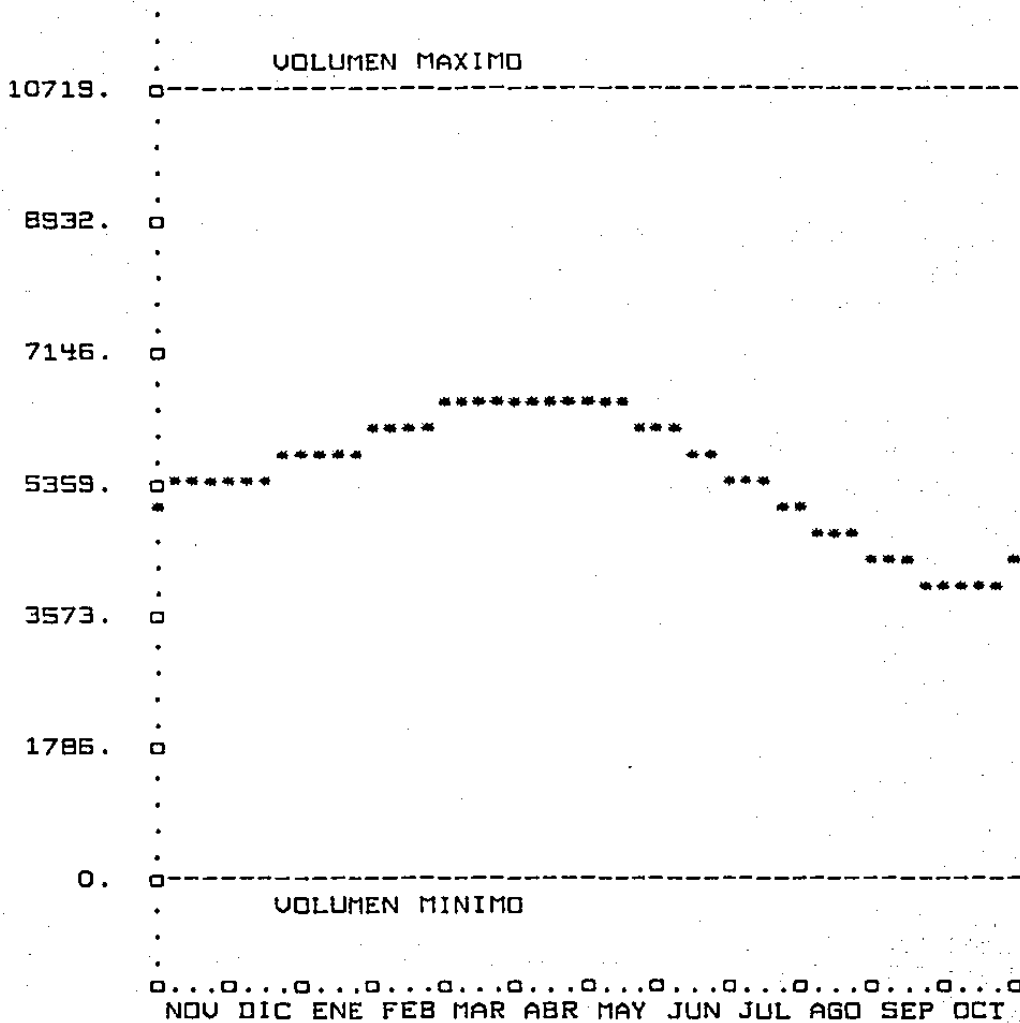




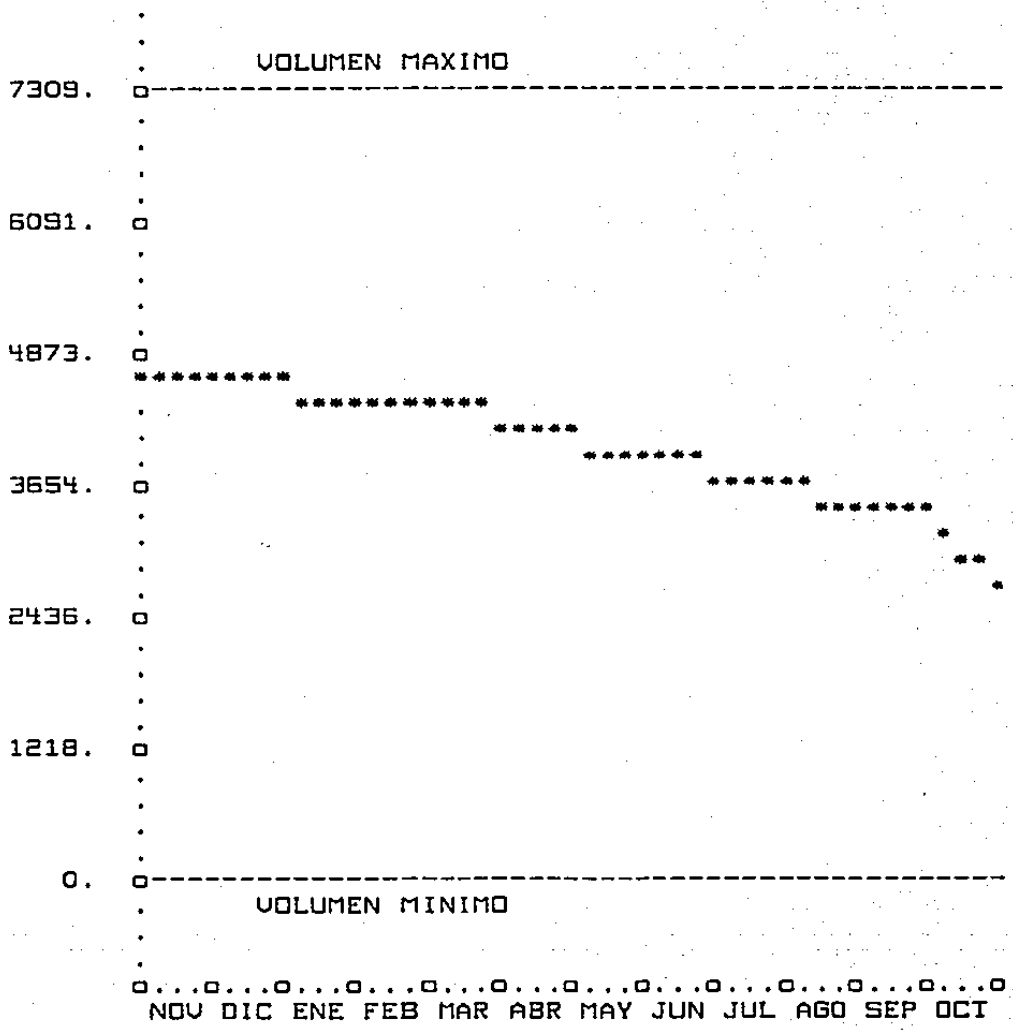
Gráfica No. 13. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tampe para un año muy seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 14. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 15. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 16. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por un año normal.

COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

566346.87

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

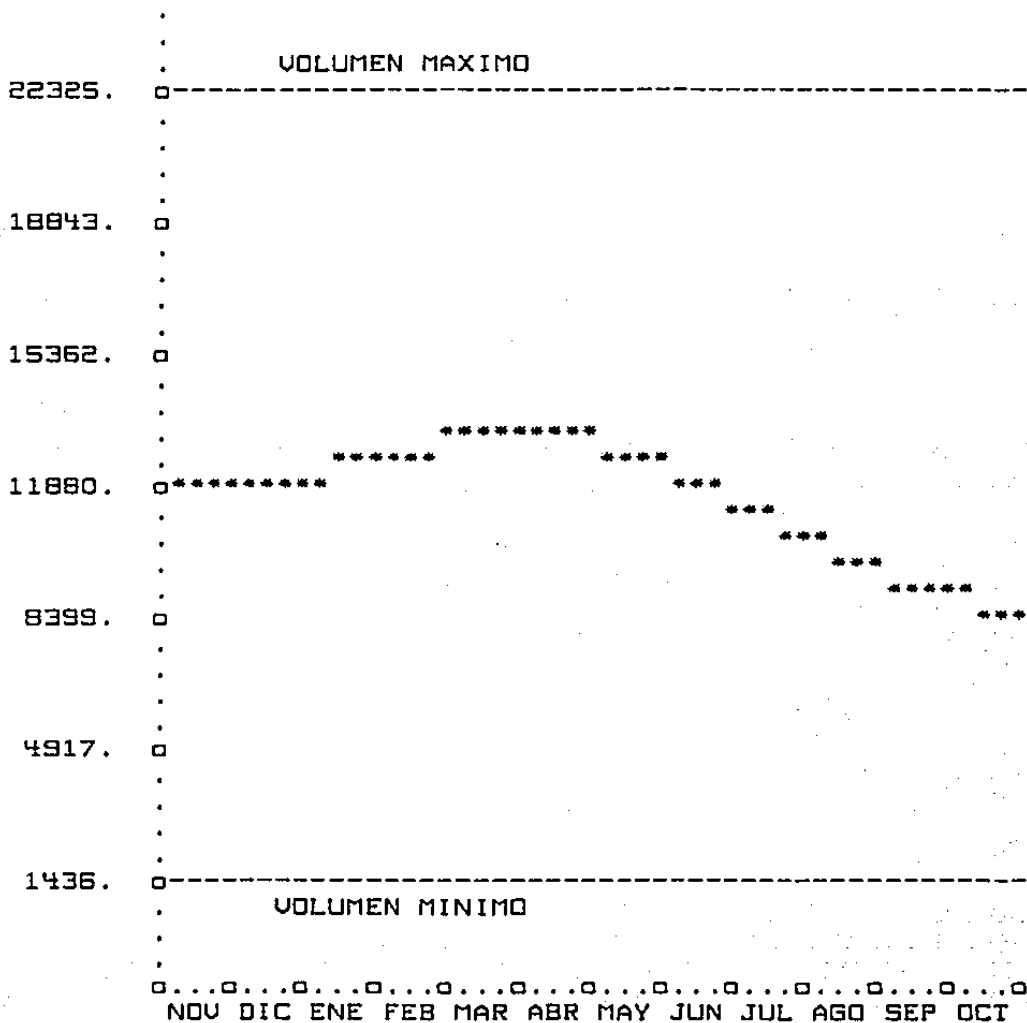
554388.19

551968.37

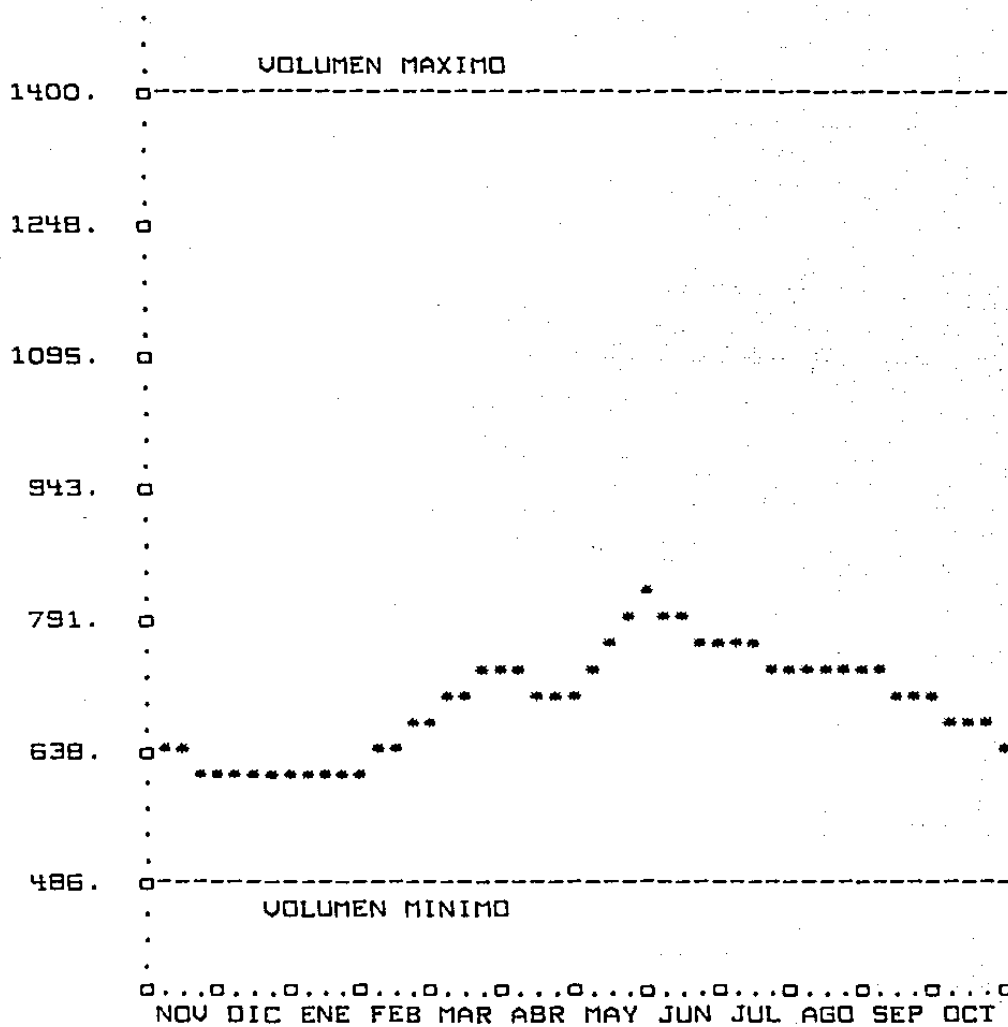
551319.19

551319.19

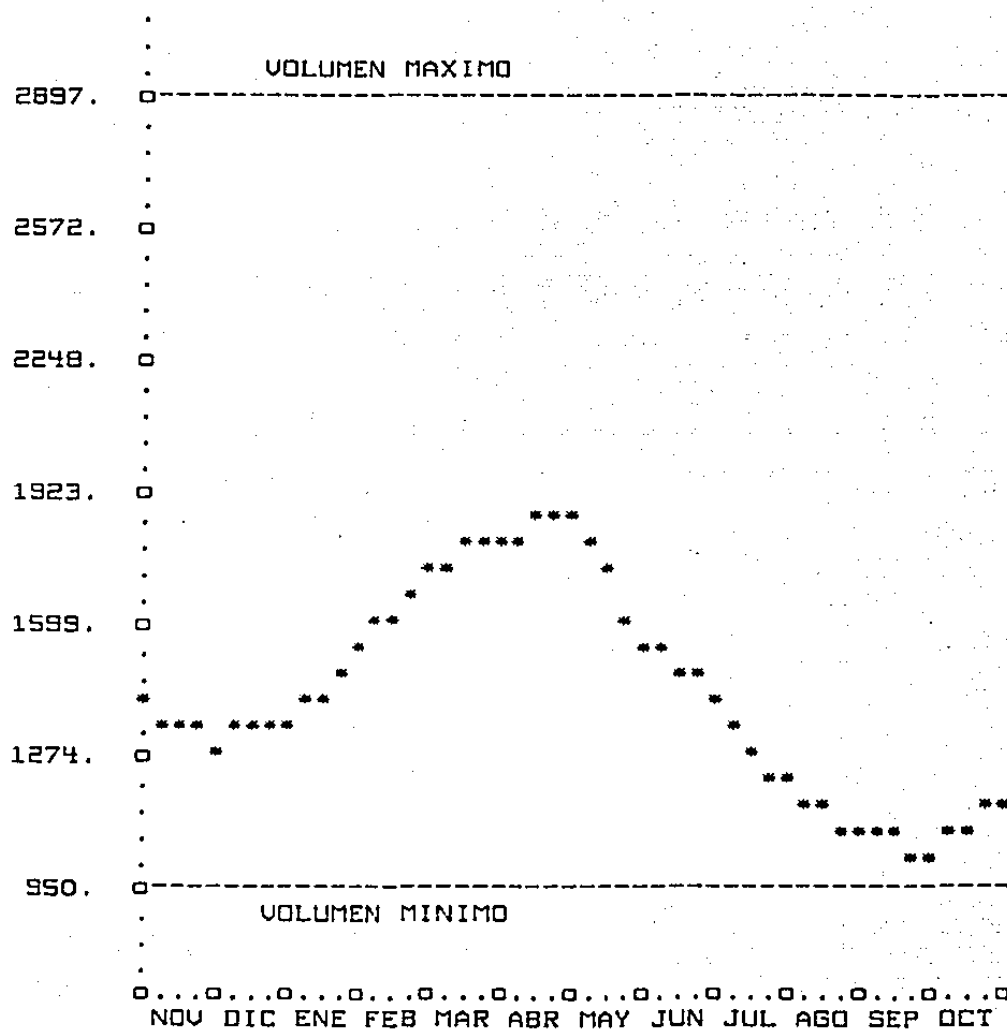
TIEMPO DE COMPUTACION            3.00    MINUTOS



Gráfica No. 17. Trayectoria óptima del volumen total para un año muy seco precedido por un año normal.

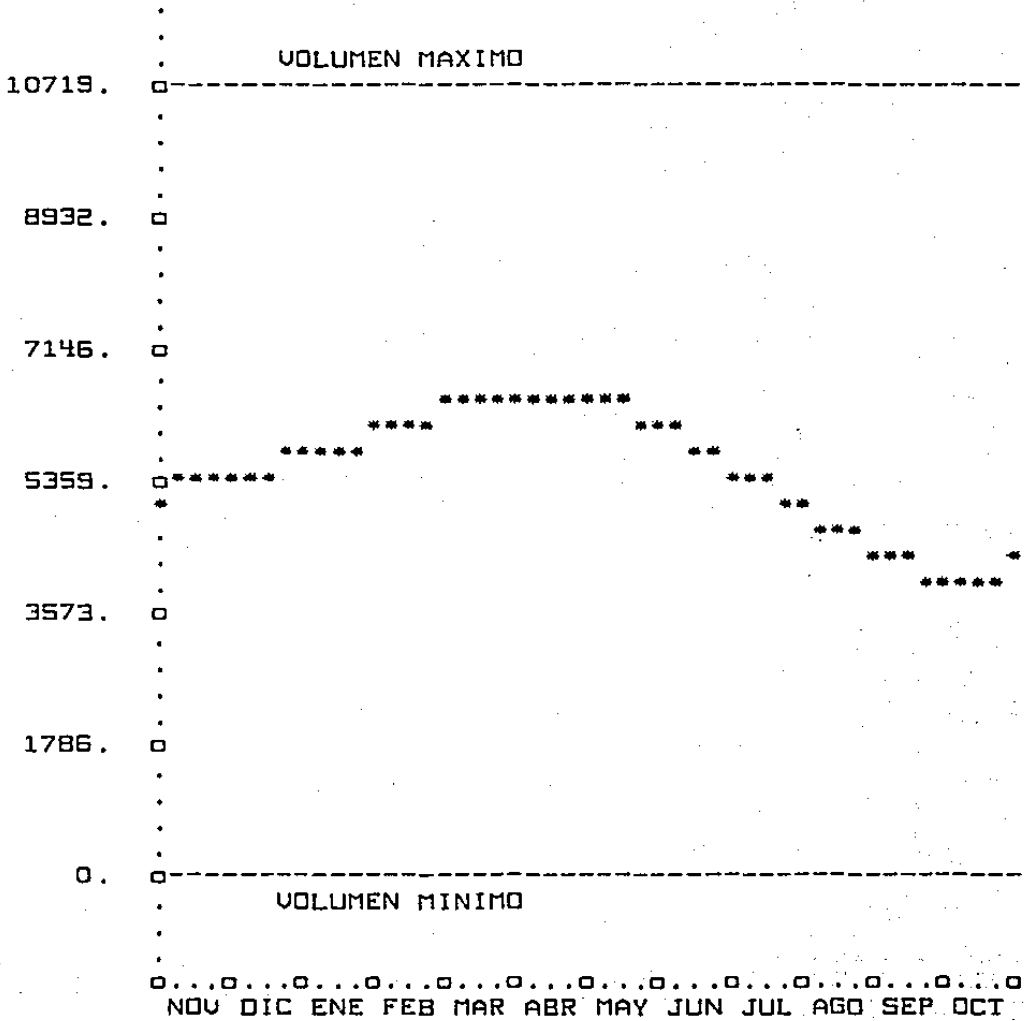


Gráfica No. 18. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy seco precedido por un año normal.

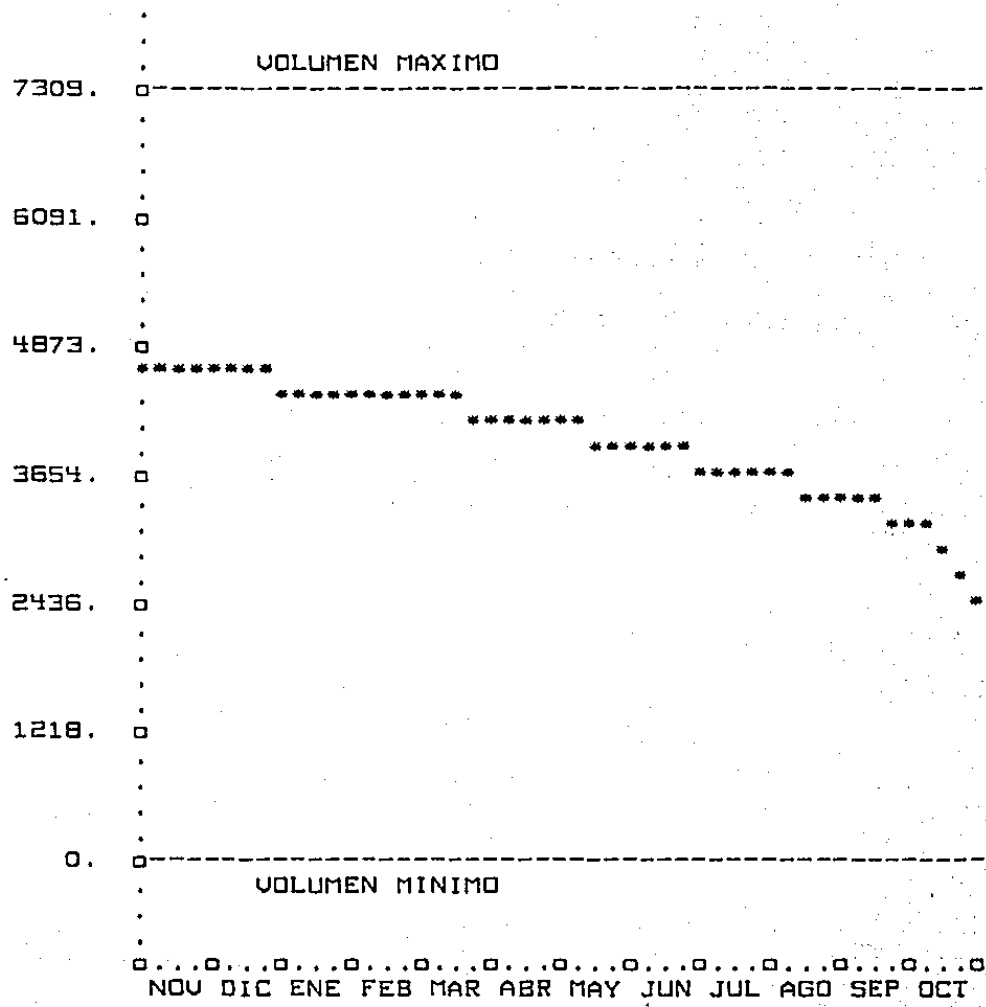


Gráfica No. 19. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy seco precedido por un normal.





Gráfica No. 20. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 21. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy seco precedido por un año normal.

TIPO DE AÑO: SECO  
MES INICIAL: NOVIEMBRE  
MES FINAL: OCTUBRE

## ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 11980.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 9954.0

## BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

## ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 1400.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1350.0

## KENT

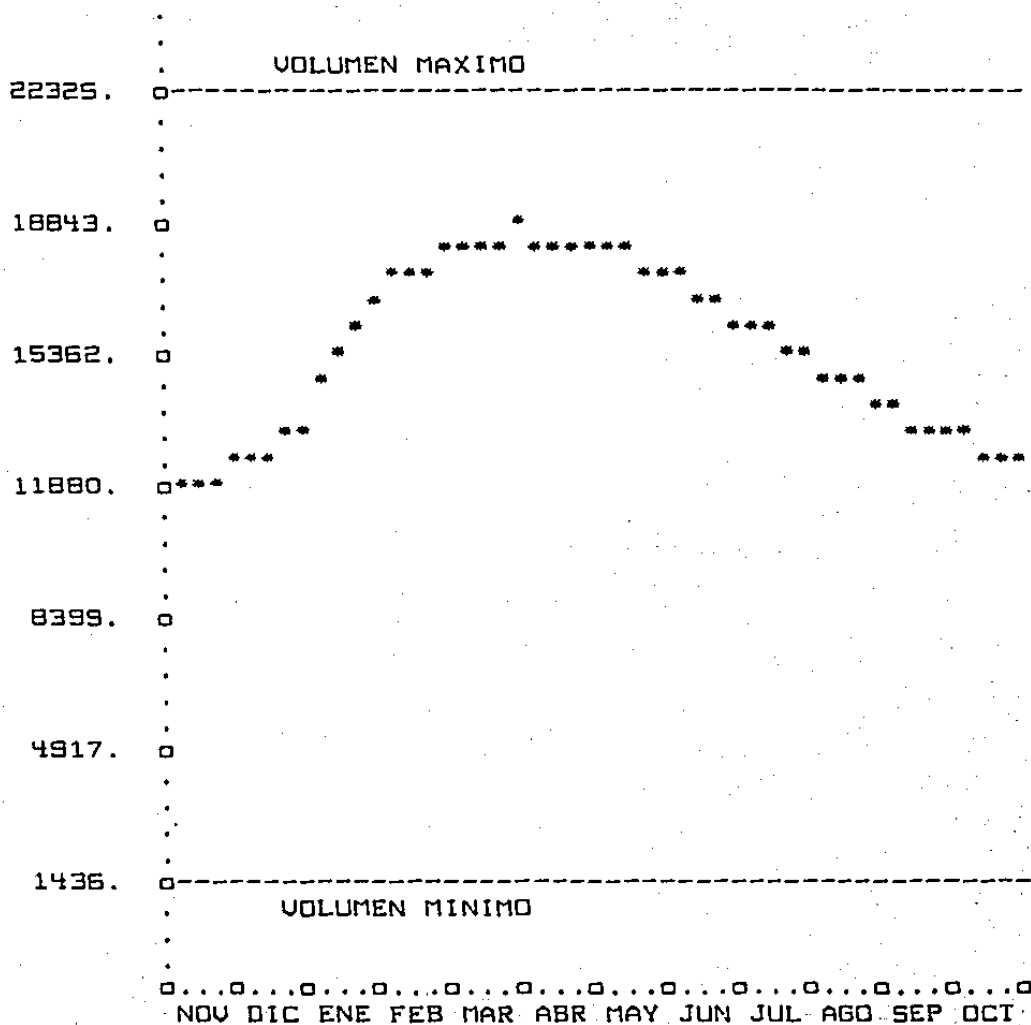
VOLUMEN INICIAL: 5212.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 4150.0

## NICASIO

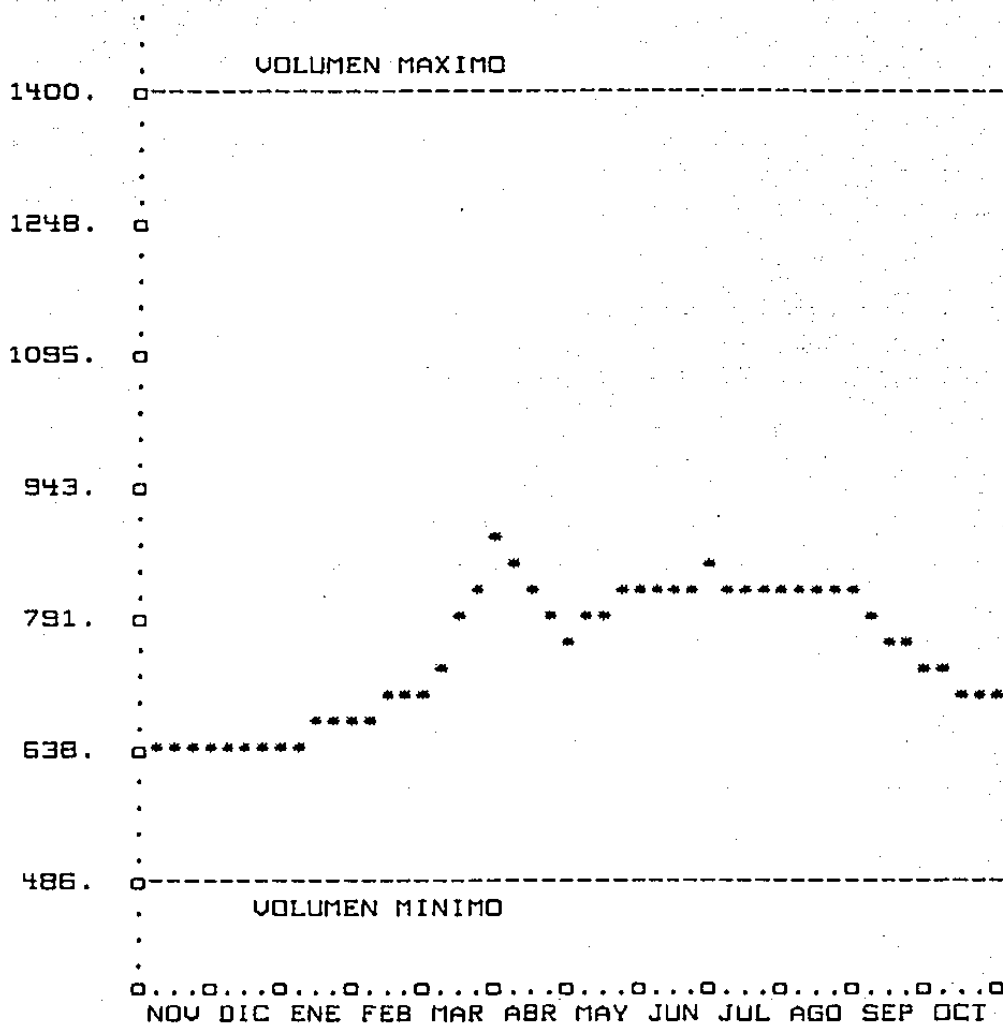
VOLUMEN INICIAL: 4714.0  
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 3800.0

## POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:

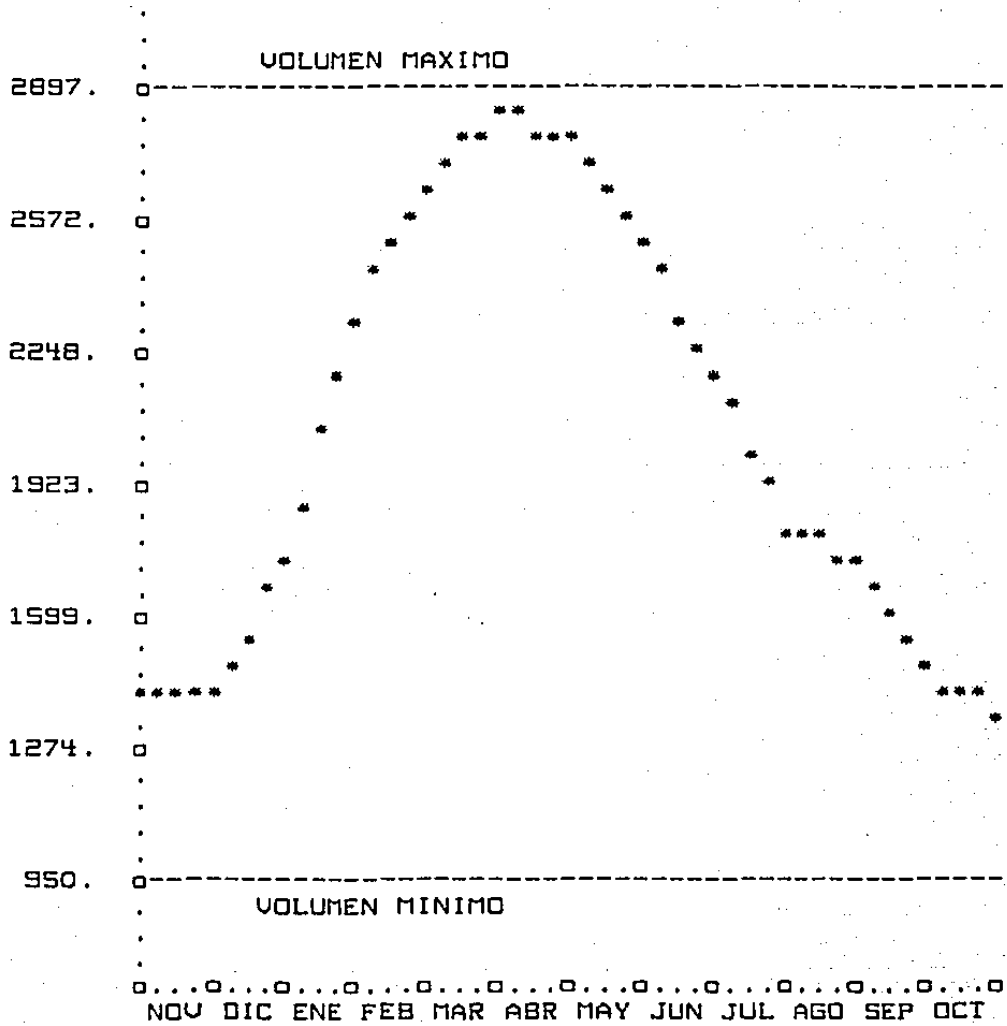
0.70 DEL CONSUMO NORMAL



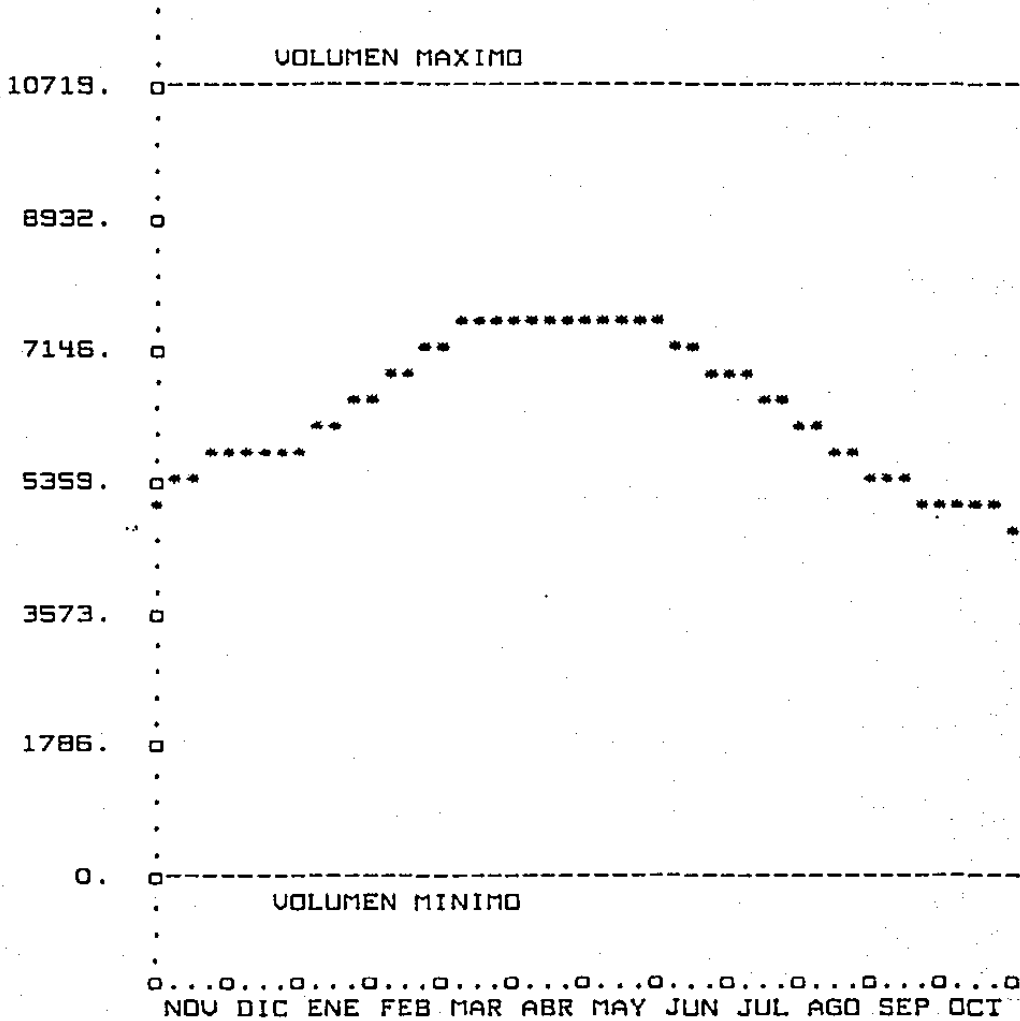
Gráfica No. 22. Trayectoria nominal del total de agua para un año seco precedido por un año normal.



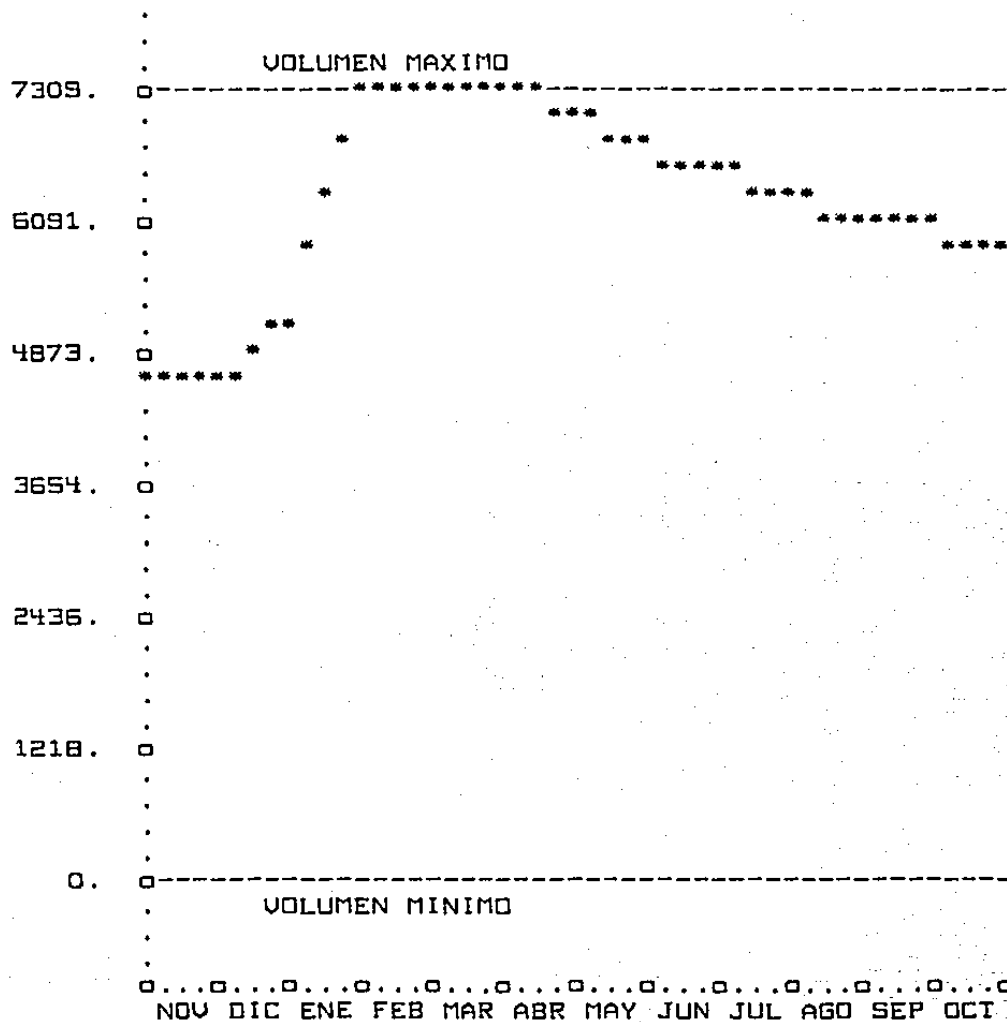
Gráfica No. 23. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 24. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 25. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 26. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año seco precedido por uno normal.



COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

606608.56

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

585199.06

575680.87

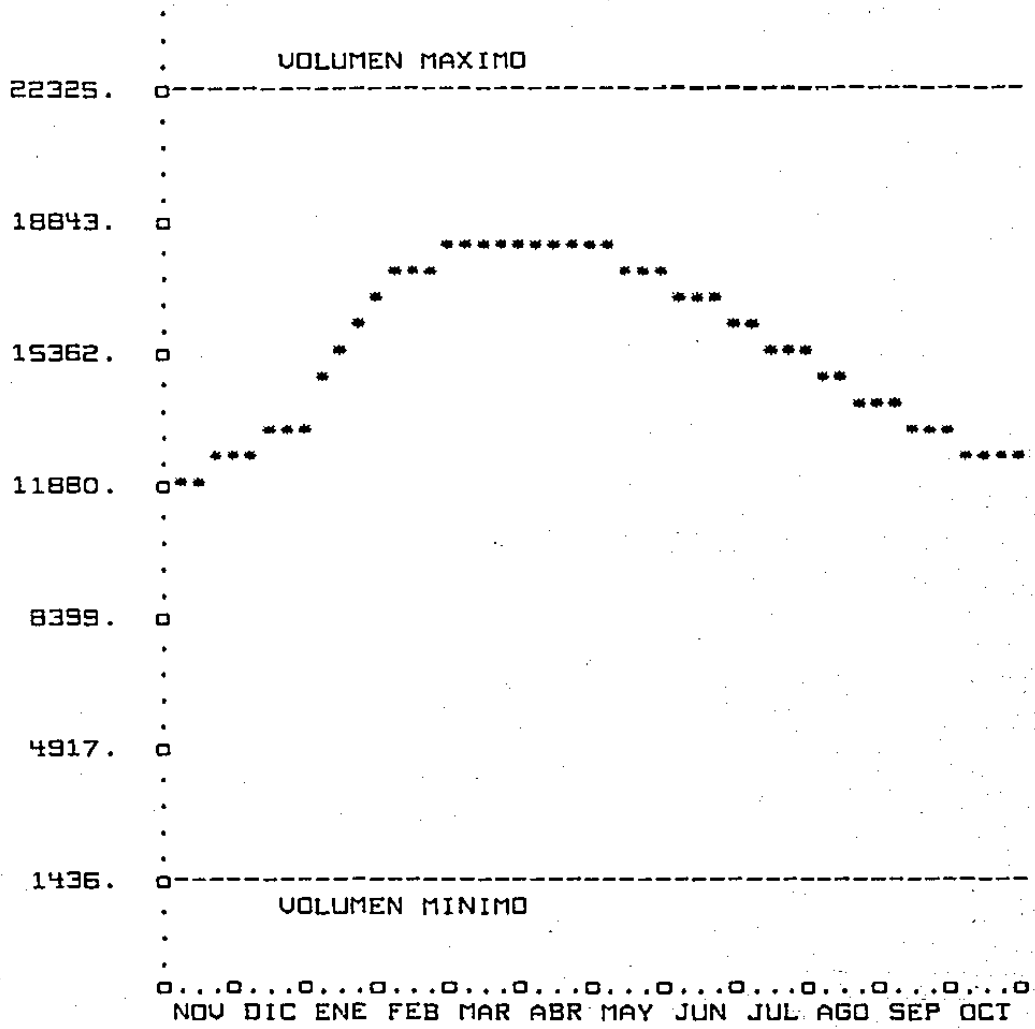
568234.12

568234.12

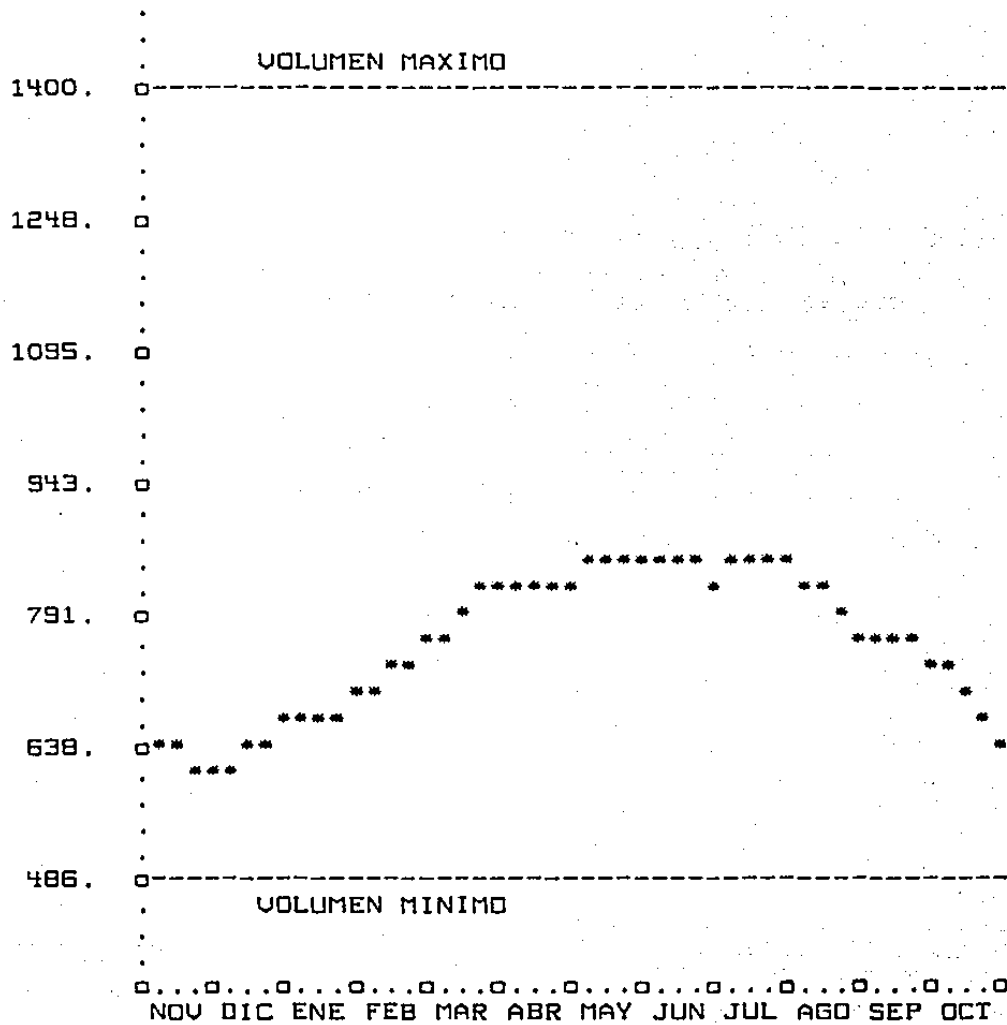
568234.12

568234.12

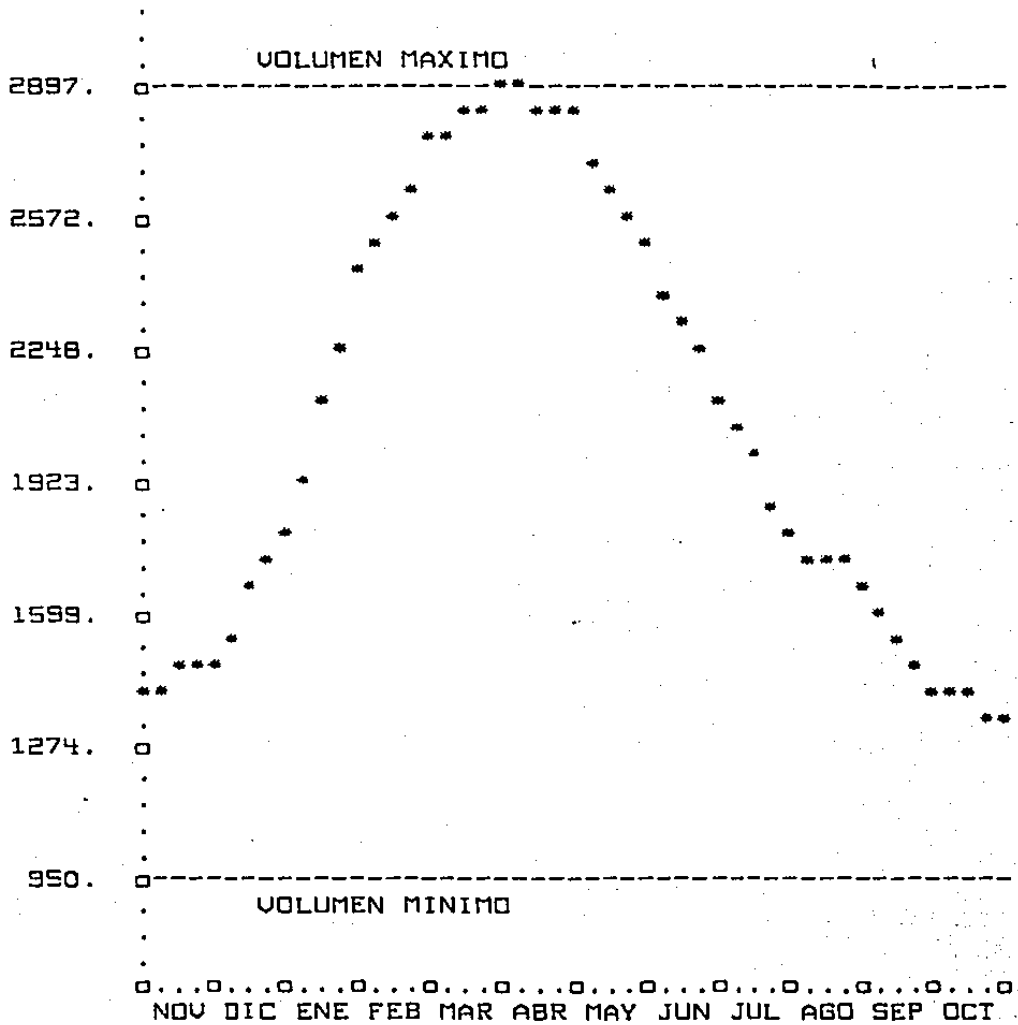
TIEMPO DE COMPUTACION            4.00    MINUTOS



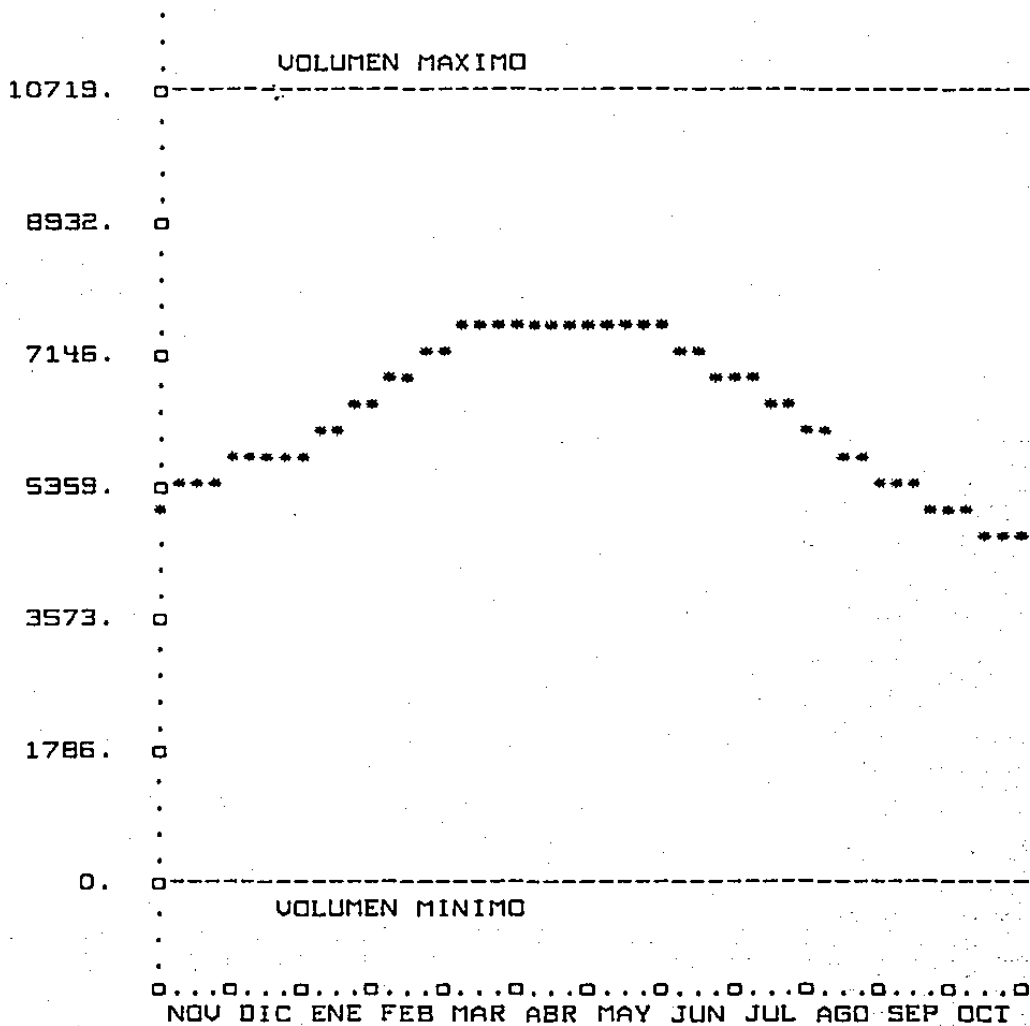
Gráfica No. 27. Trayectoria óptima del volumen total para un año seco precedido por un año normal.



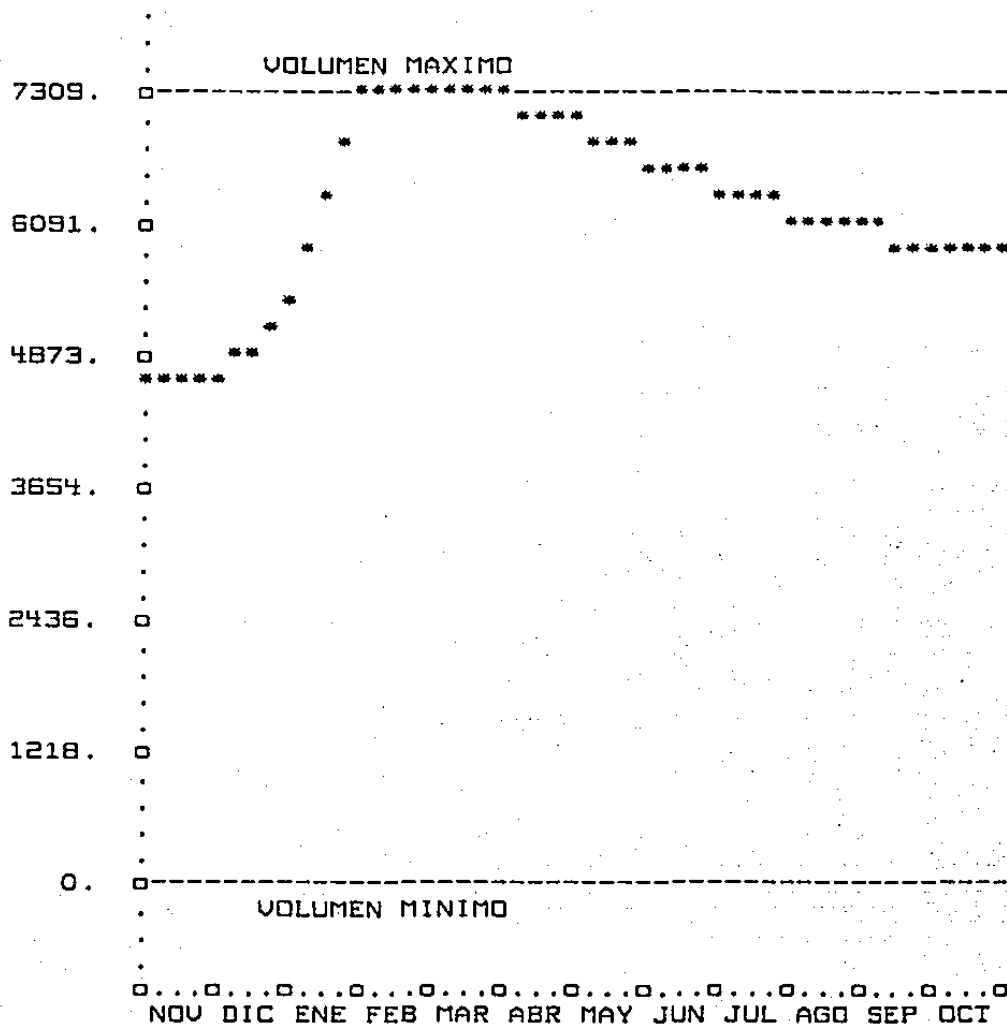
Gráfica No. 28. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 29. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 30. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año seco precedido por un año normal.



Gráfica No. 31. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año seco precedido por un año normal.

TIPO DE AÑO: ABAJO DE LO NORMAL

MES INICIAL: NOVIEMBRE

MES FINAL: OCTUBRE

ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 11980.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 11980.0

BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 1400.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1400.0

KENT

VOLUMEN INICIAL: 5212.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 5212.0

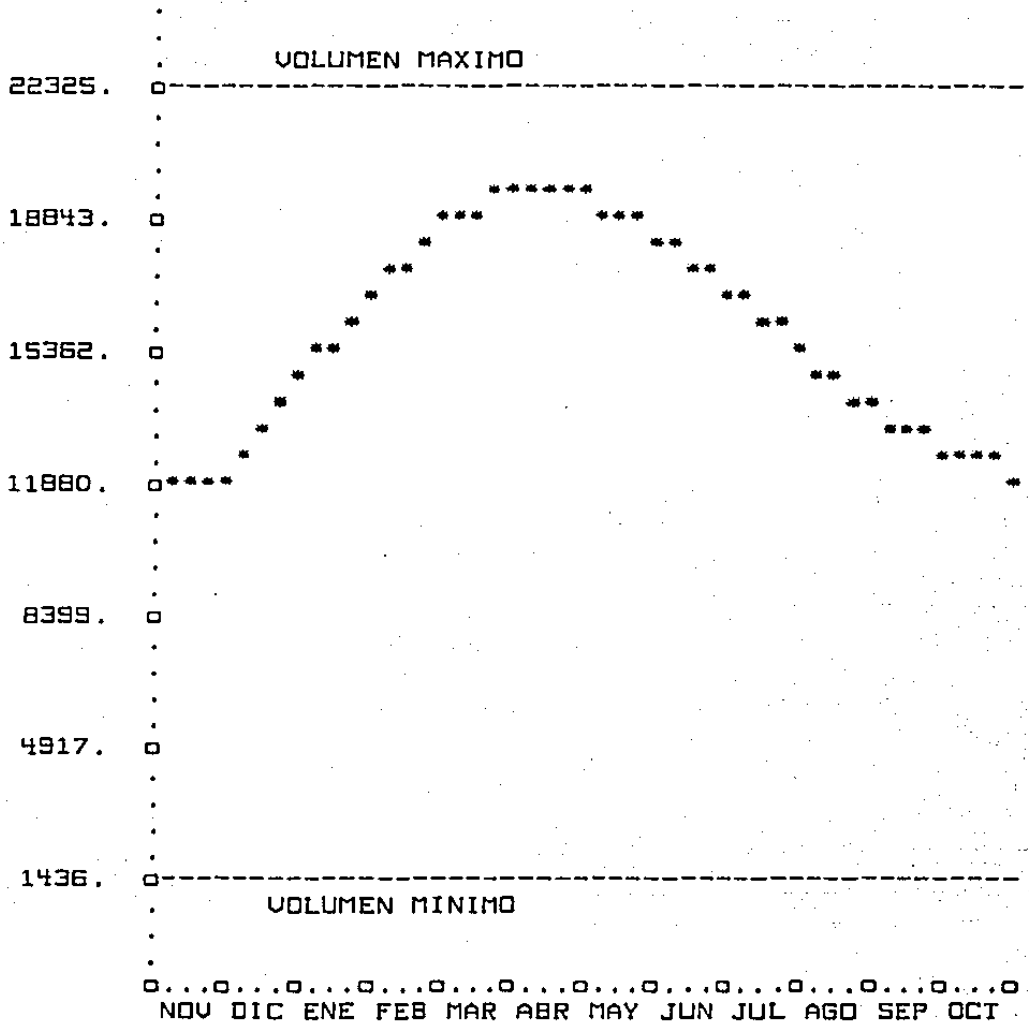
NICASIO

VOLUMEN INICIAL: 4714.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 4714.0

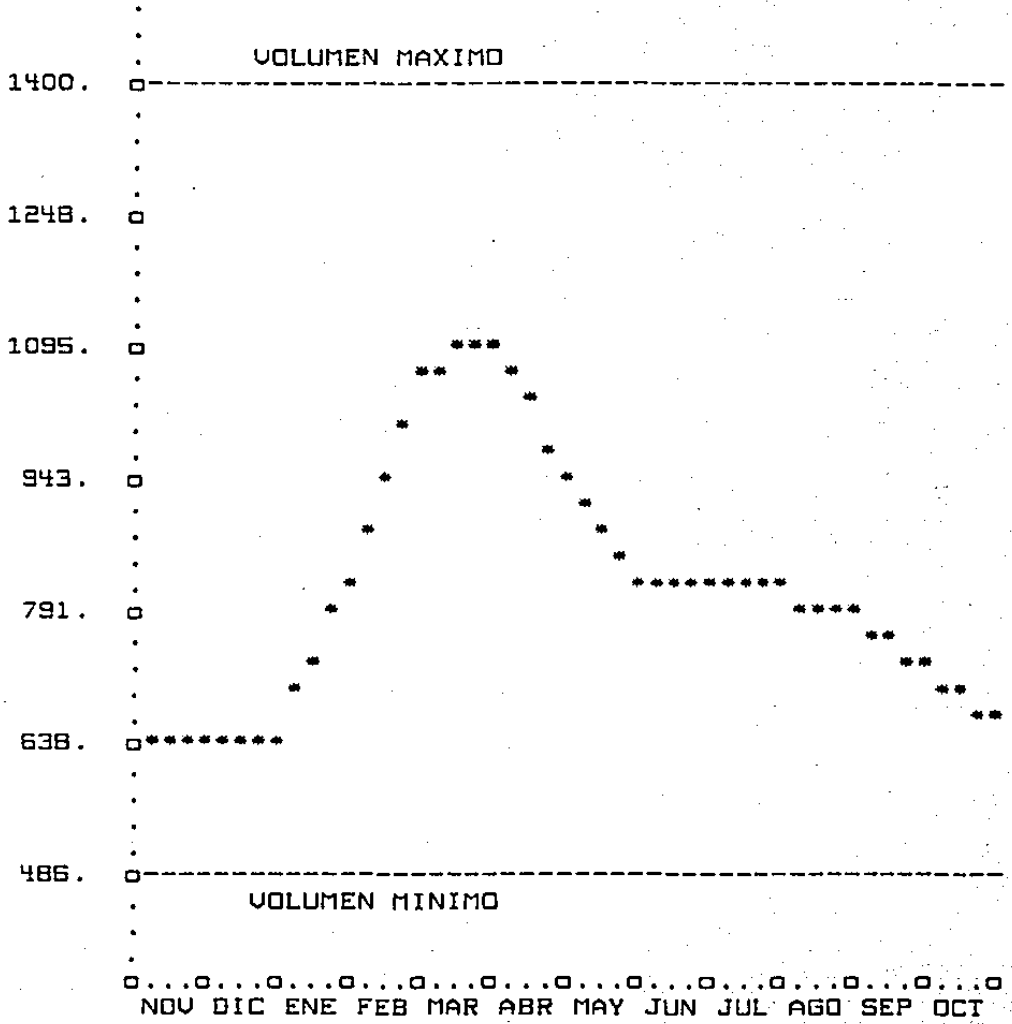
POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:

1.00 DEL CONSUMO NORMAL

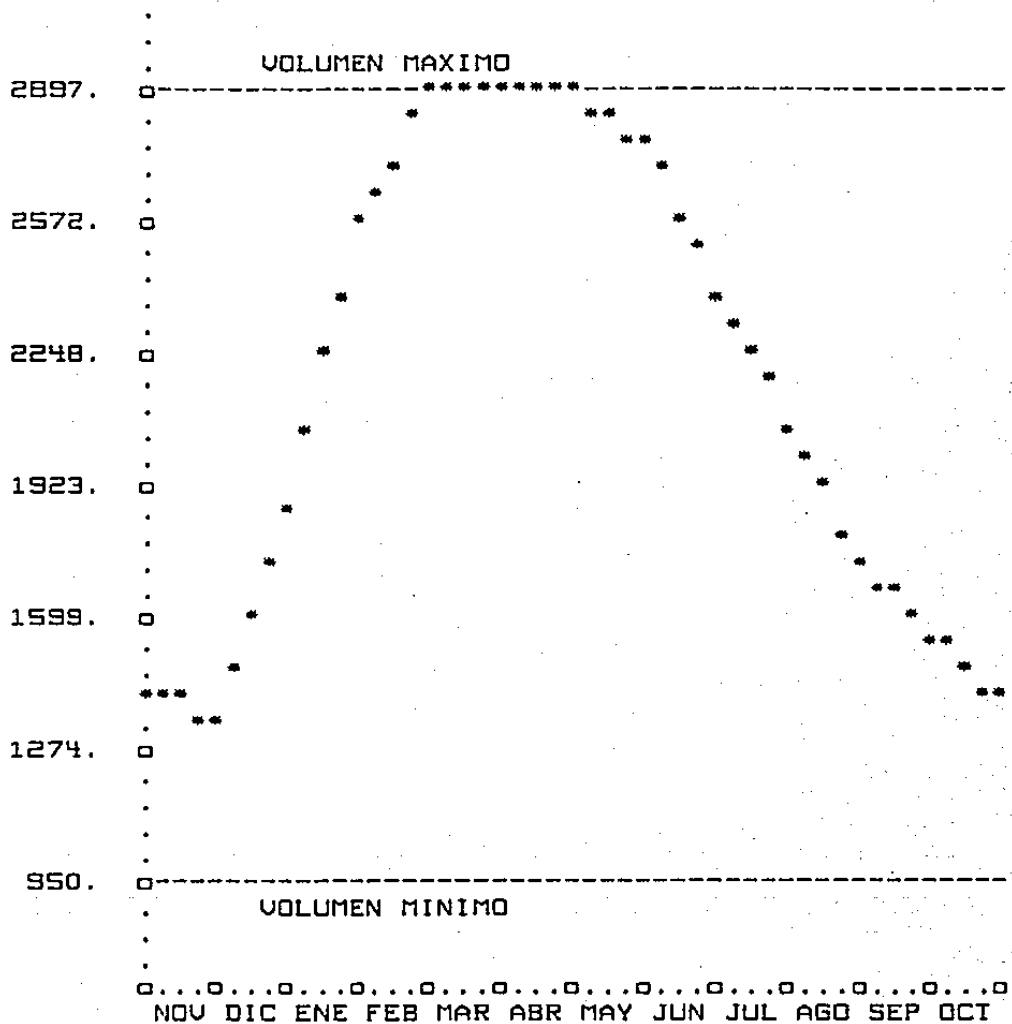


Gráfica No. 32. Trayectoria nominal del total de agua para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.

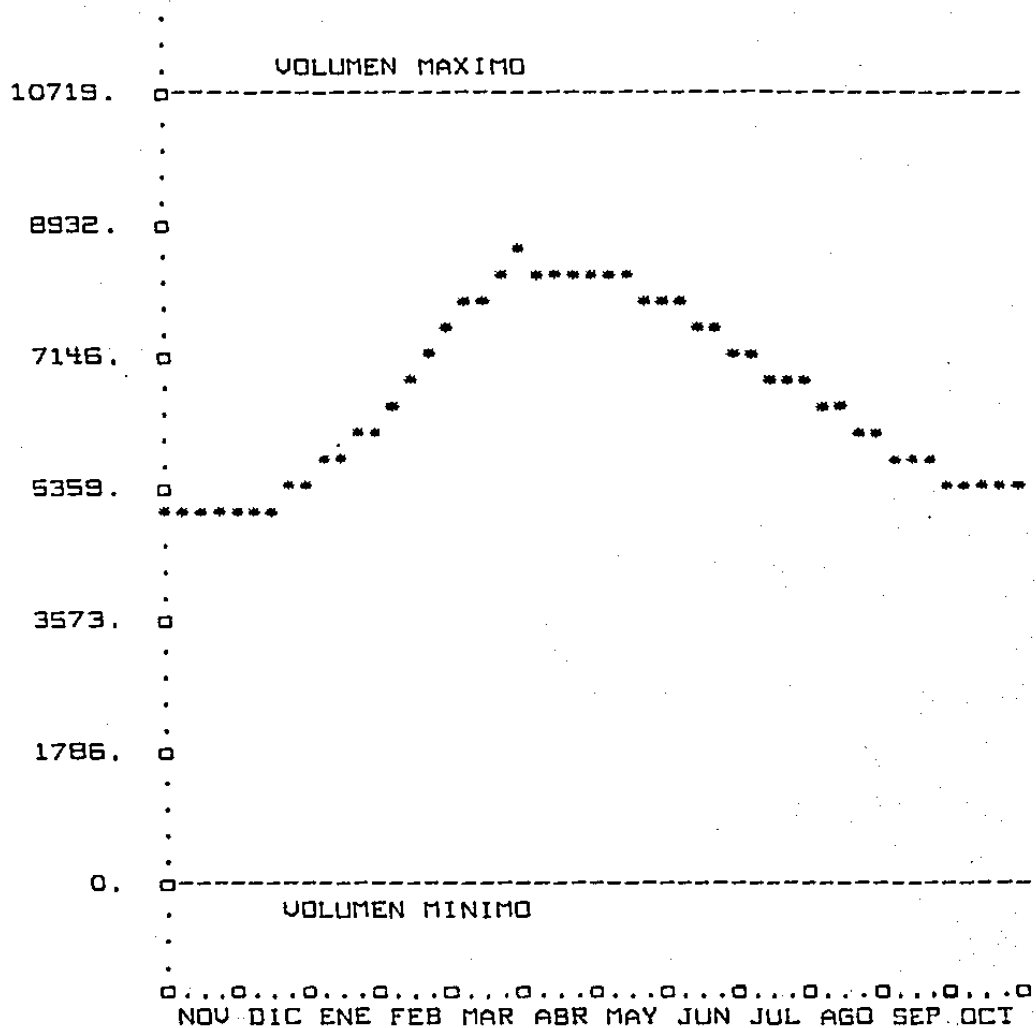




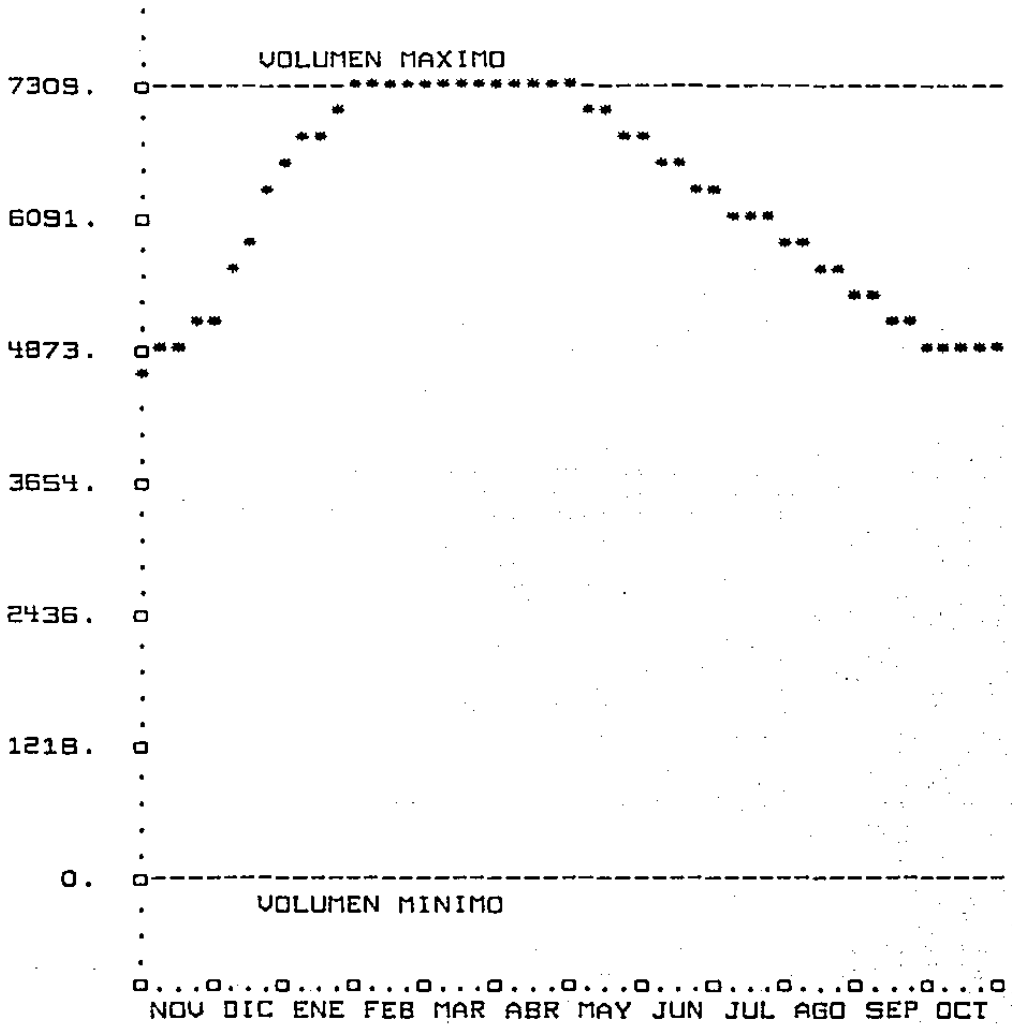
Gráfica No. 33. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 34. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 35. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 36. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.

COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

1033206.37

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

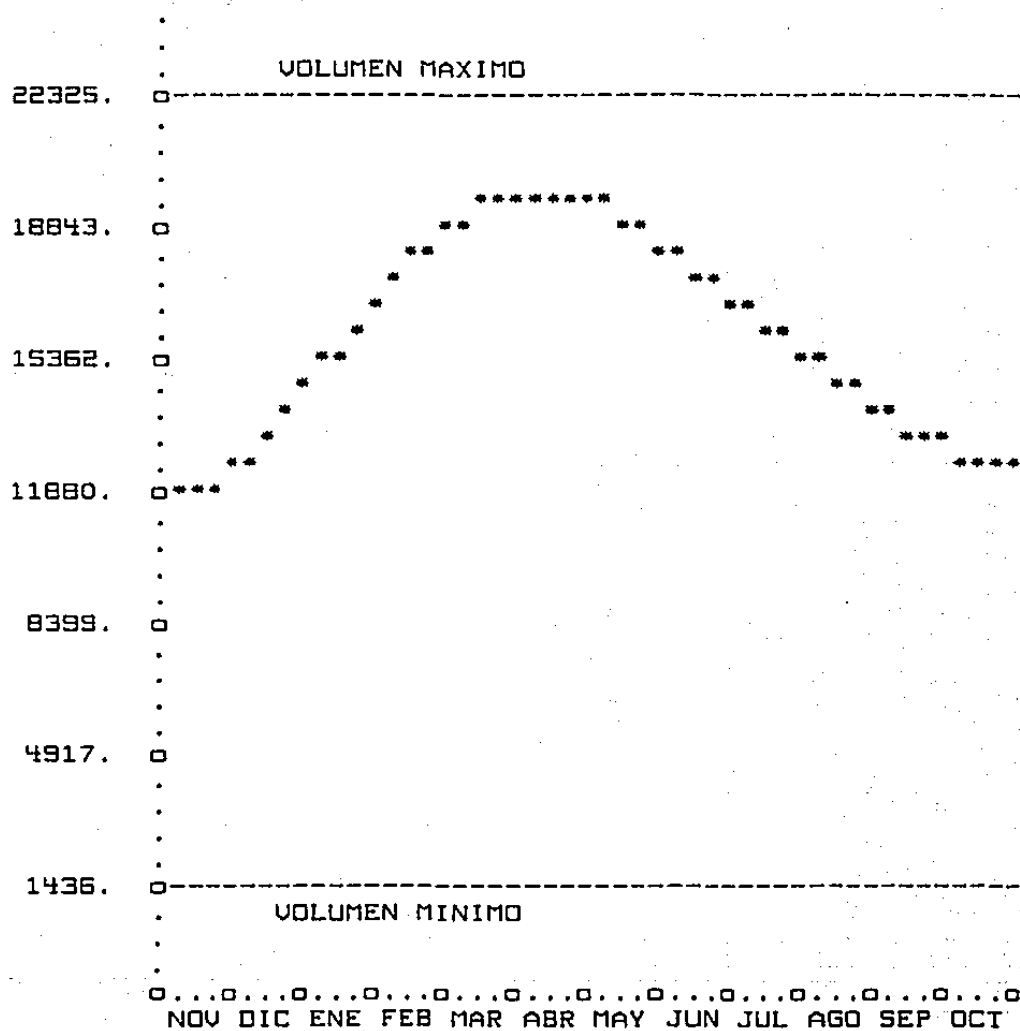
954735.62

950941.94

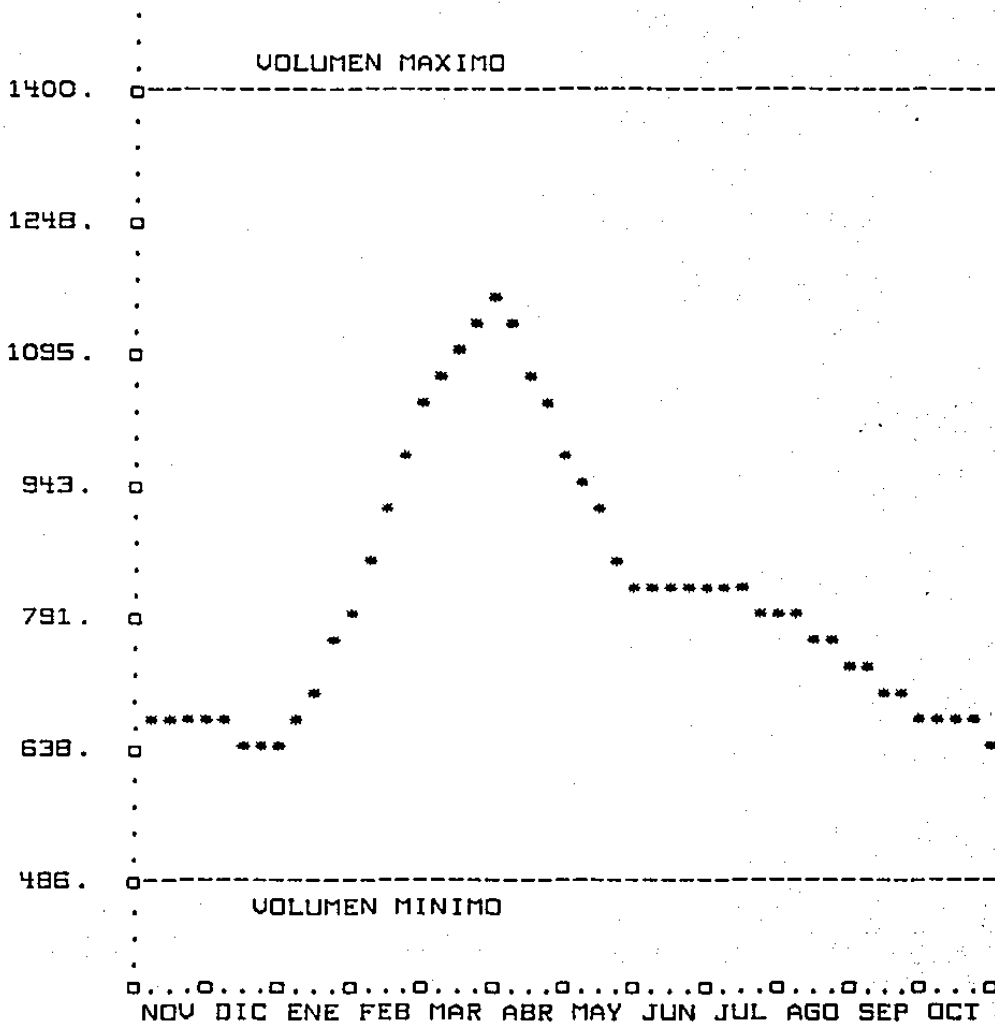
948141.06

945914.87

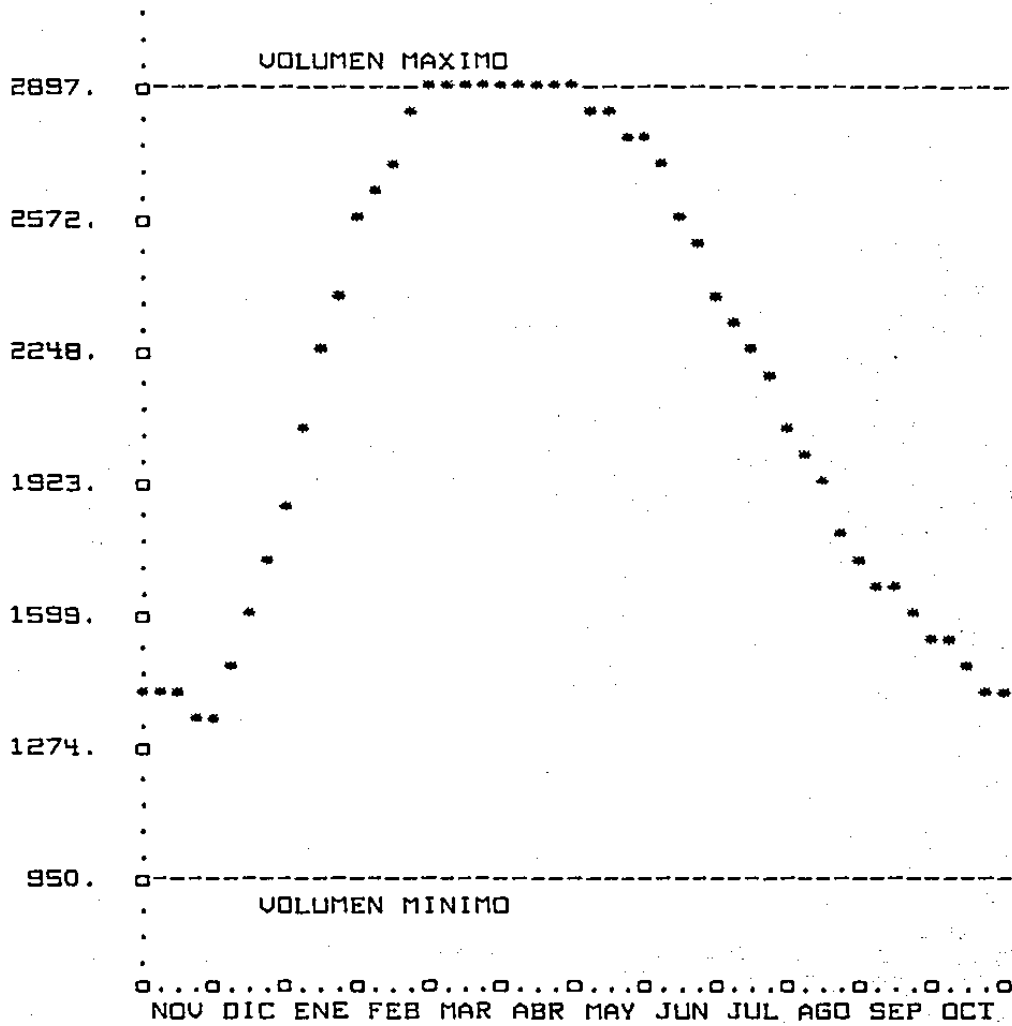
TIEMPO DE COMPUTACION            2.00    MINUTOS



Gráfica No. 37. Trayectoria óptima del volumen total para un año abajo de lo normal precedido un año normal.

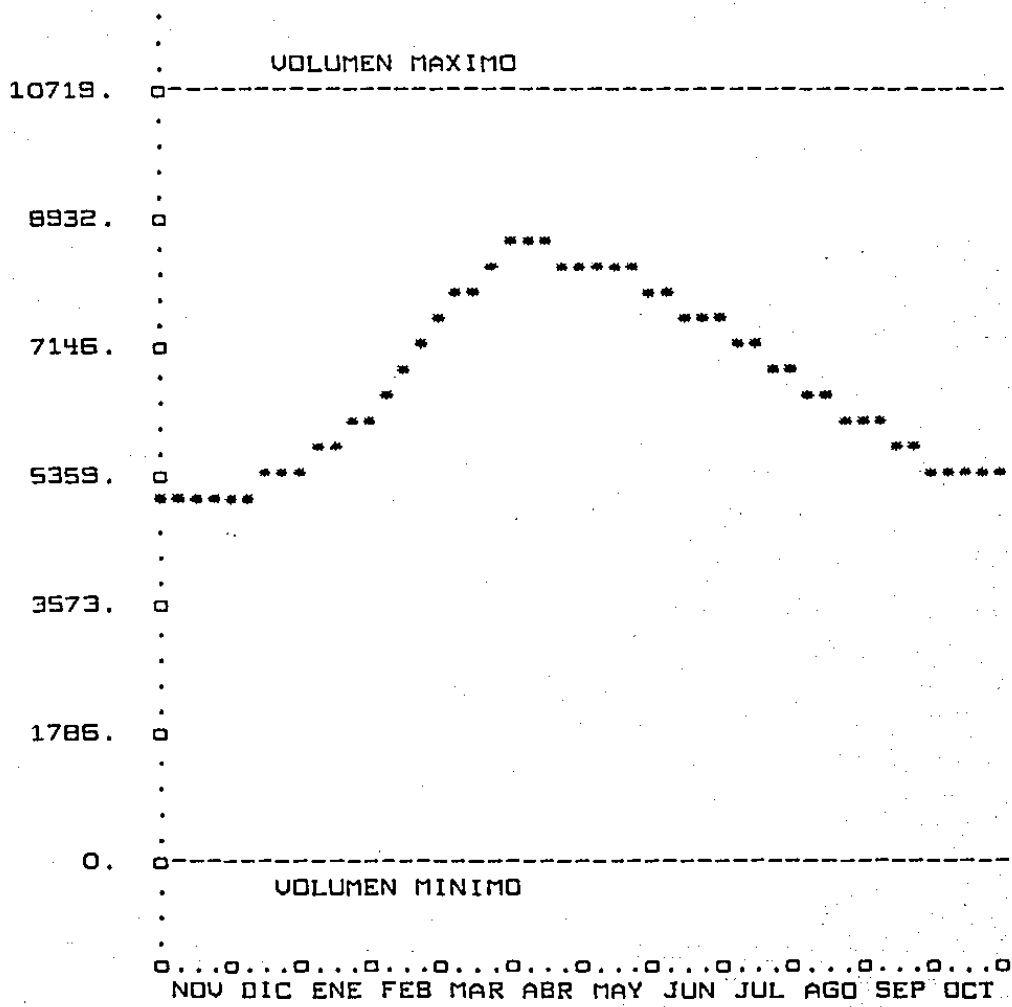


Gráfica No. 38. Trayectoria Óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.

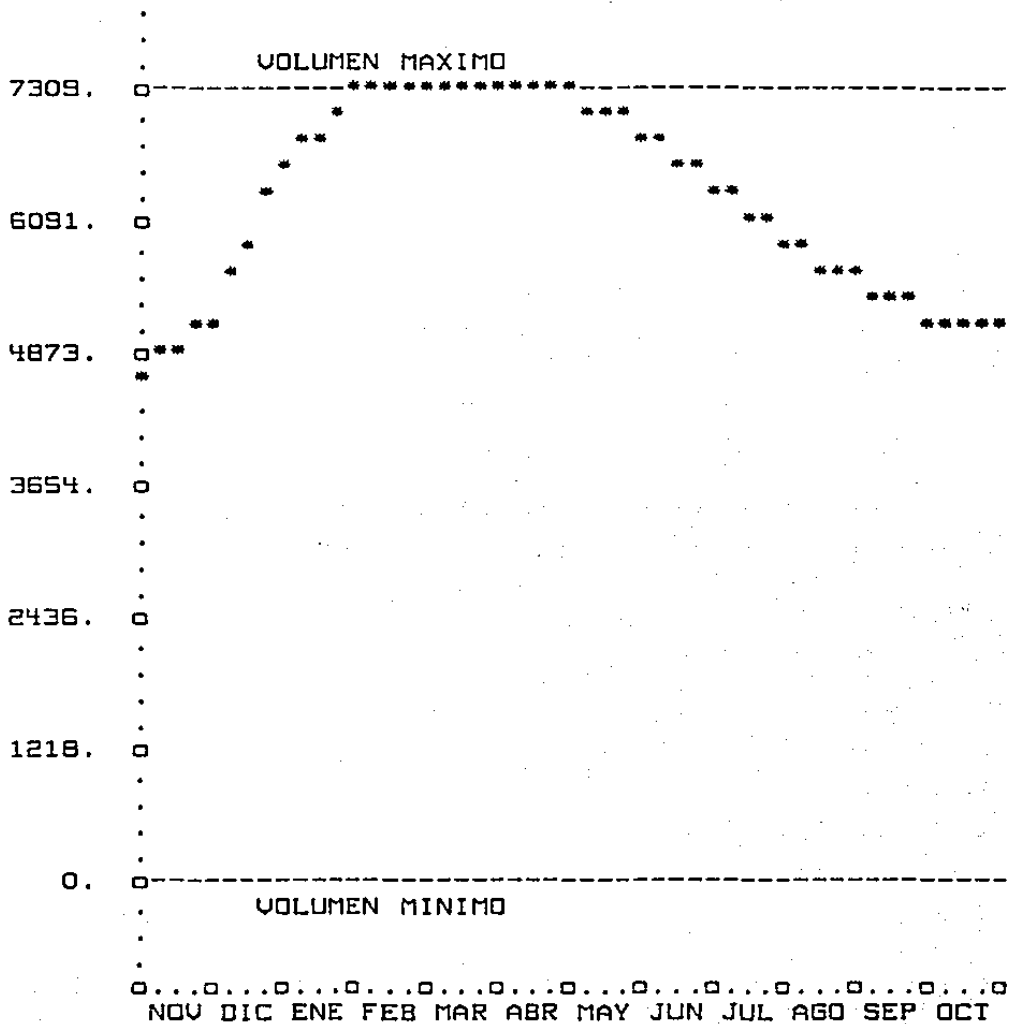


Gráfica No. 39. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.





Gráfica No. 40. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 41. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año abajo de lo normal precedido por un año normal.

TIPO DE AÑO: MUY MOJADO

MES INICIAL: NOVIEMBRE

MES FINAL: OCTUBRE

ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 11980.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 11980.0

BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 1400.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1400.0

KENT

VOLUMEN INICIAL: 5212.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 5212.0

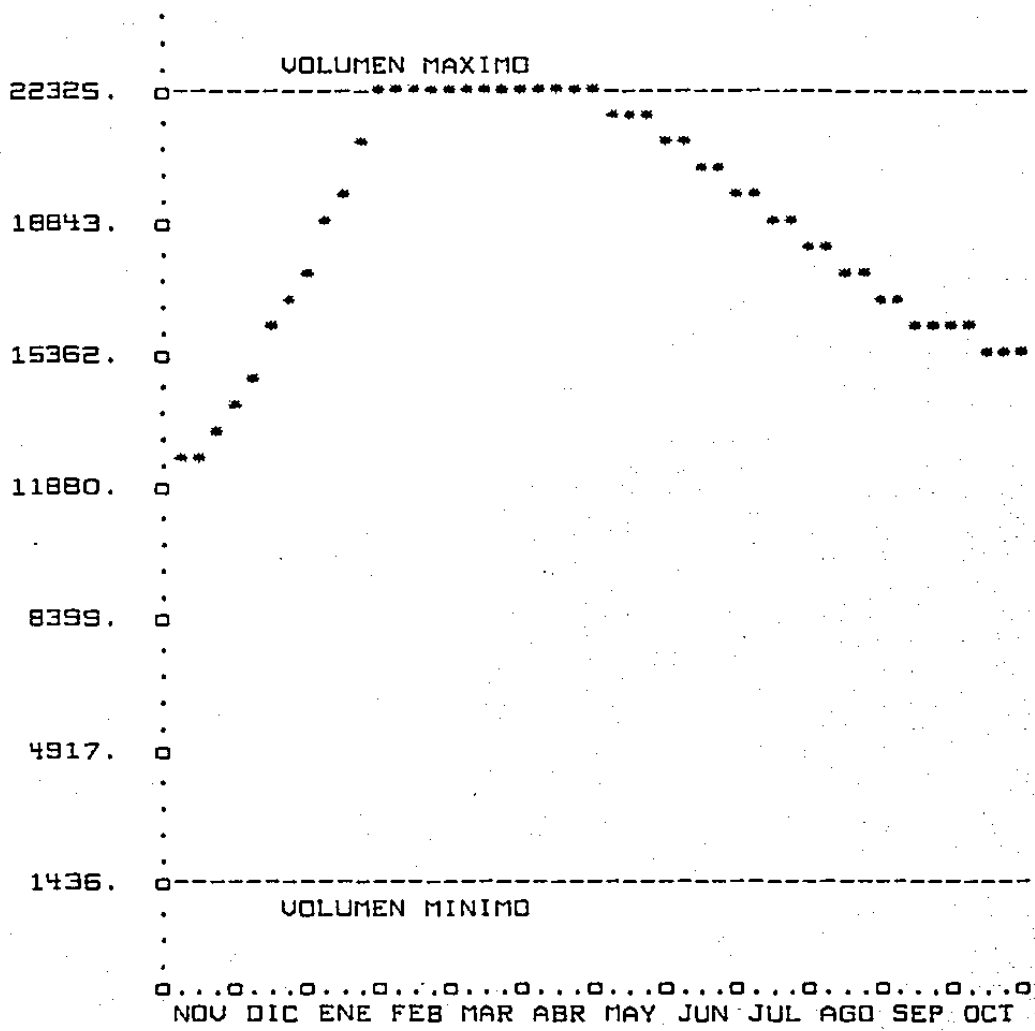
NICASIO

VOLUMEN INICIAL: 4714.0

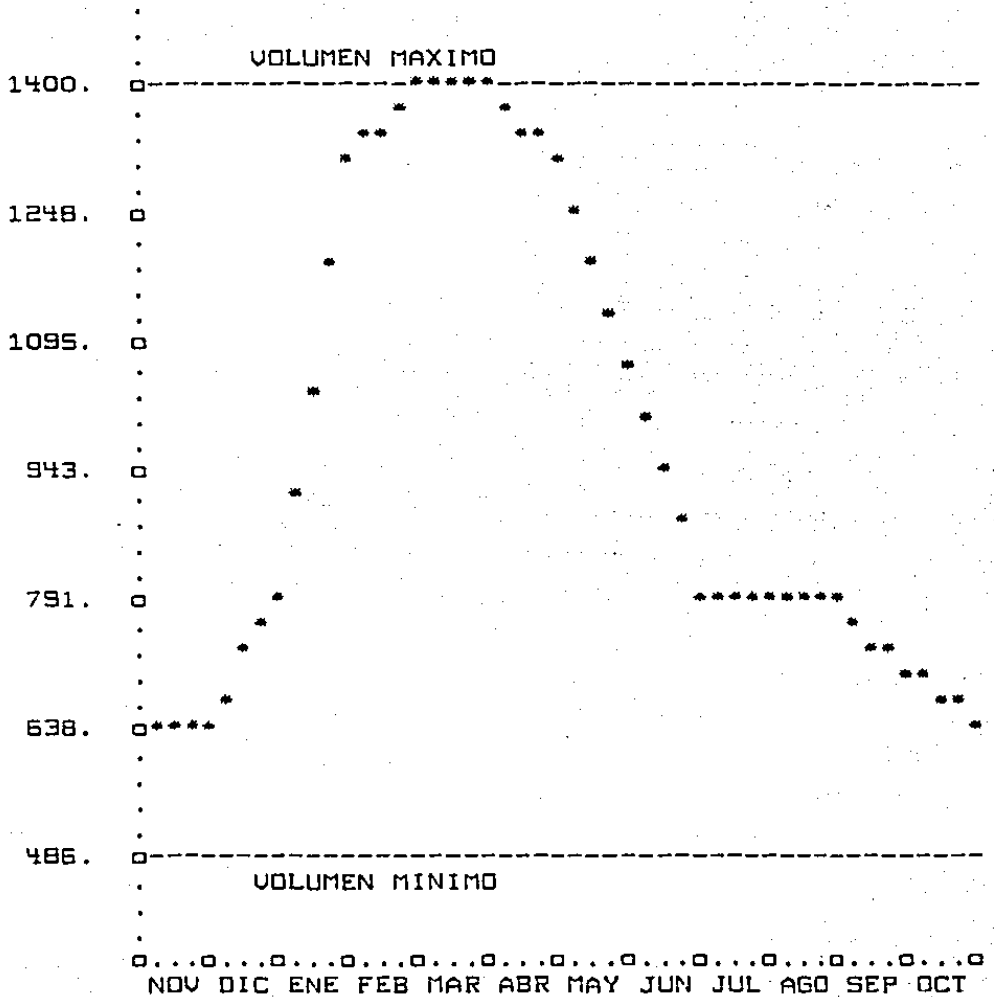
VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 4714.0

POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:

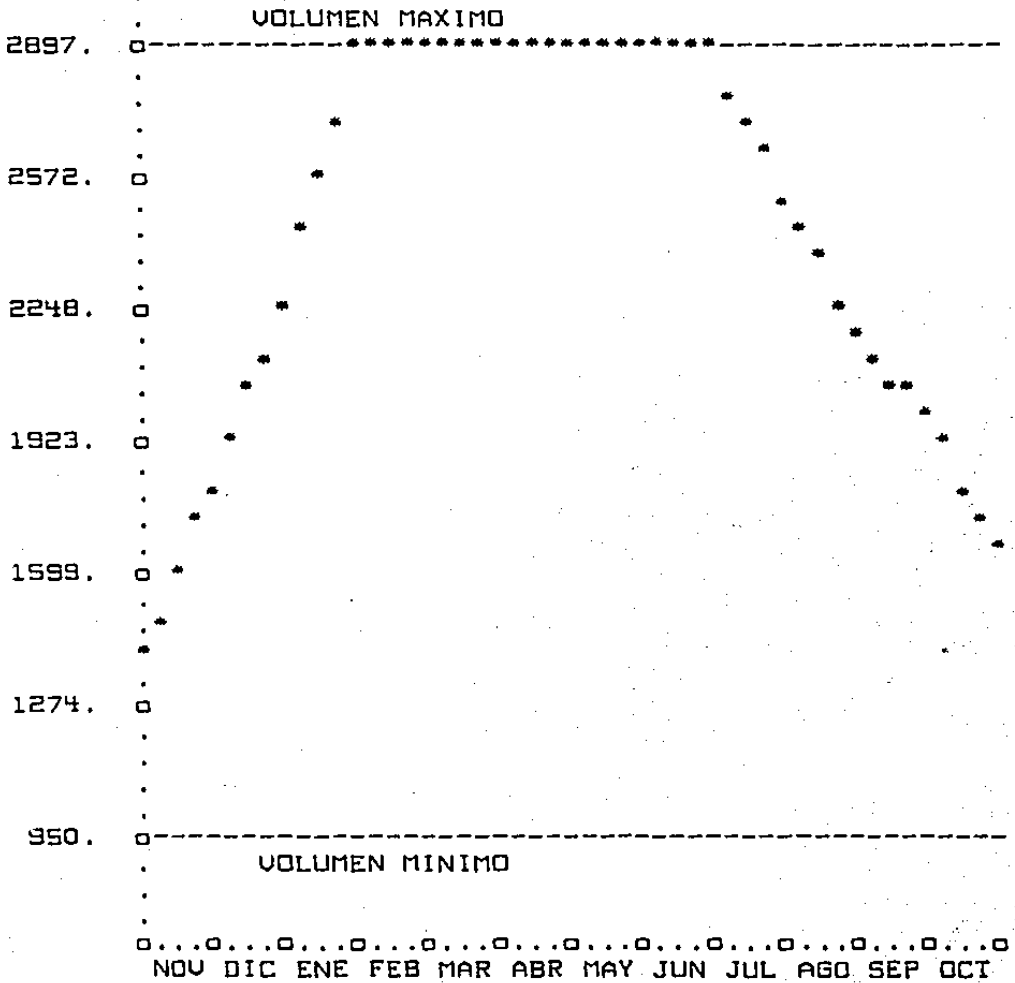
0.95 DEL CONSUMO NORMAL



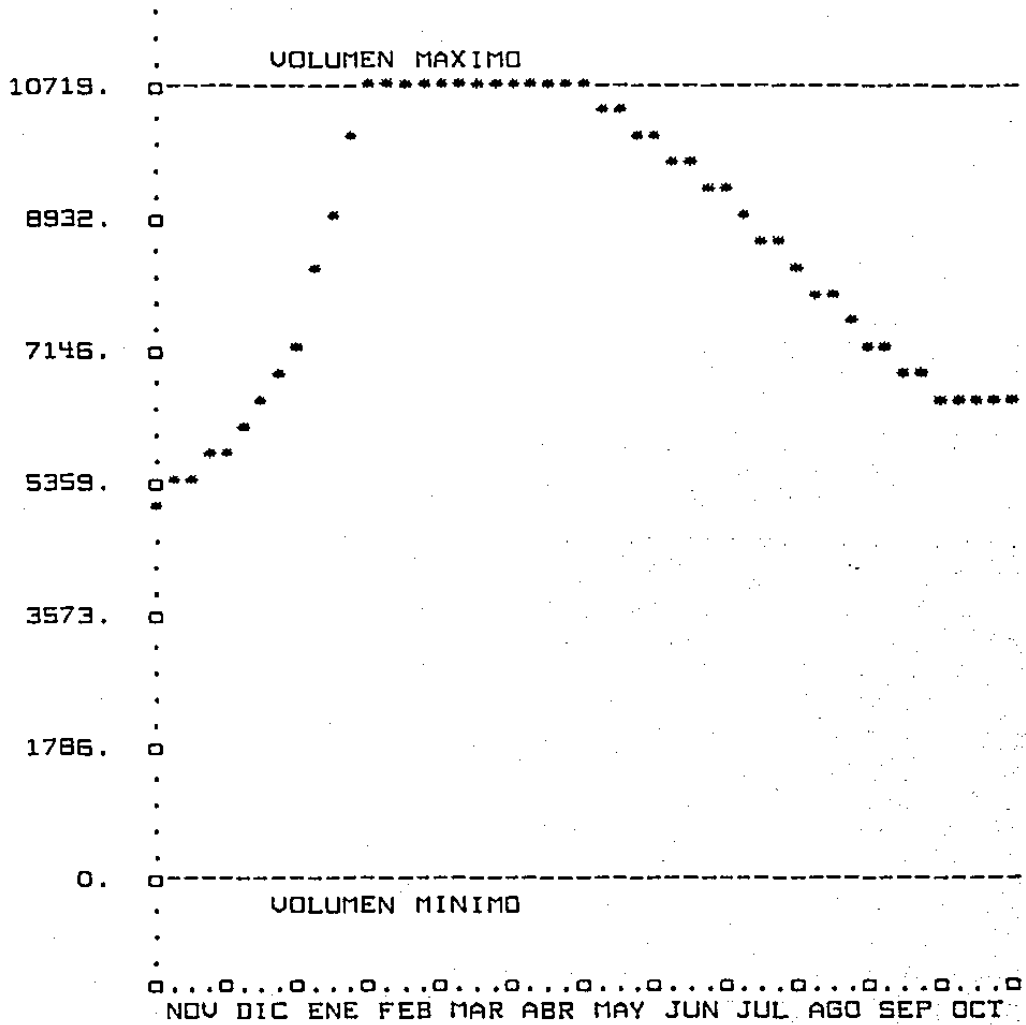
Gráfica No. 42. Trayectoria nominal del total de agua para un año muy mojado precedido por normal.



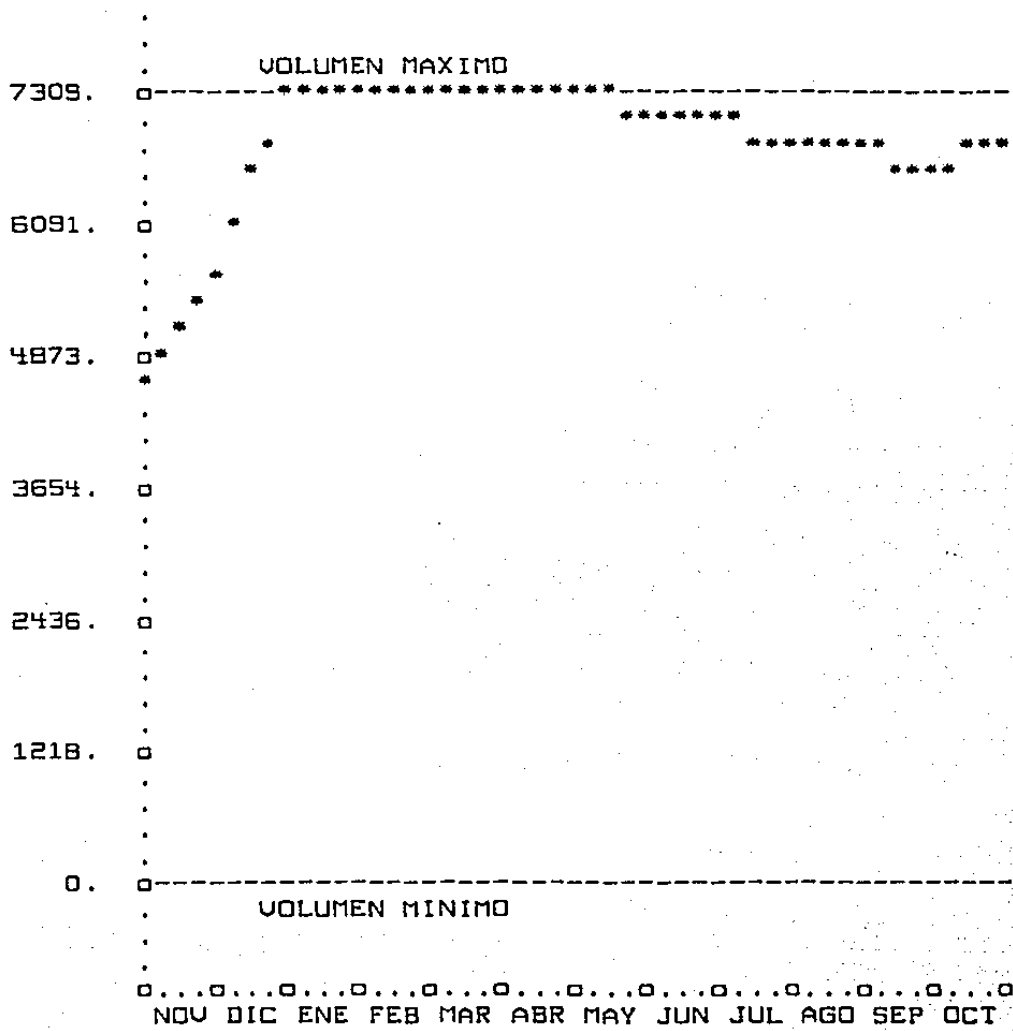
Gráfica No. 43. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempo para un año muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 44. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 45. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 46. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy mojado precedido por un año normal.



COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

729810.62

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

685603.56

676028.44

676017.62

666058.31

658725.37

658686.69

654450.12

651921.56

651898.62

644276.12

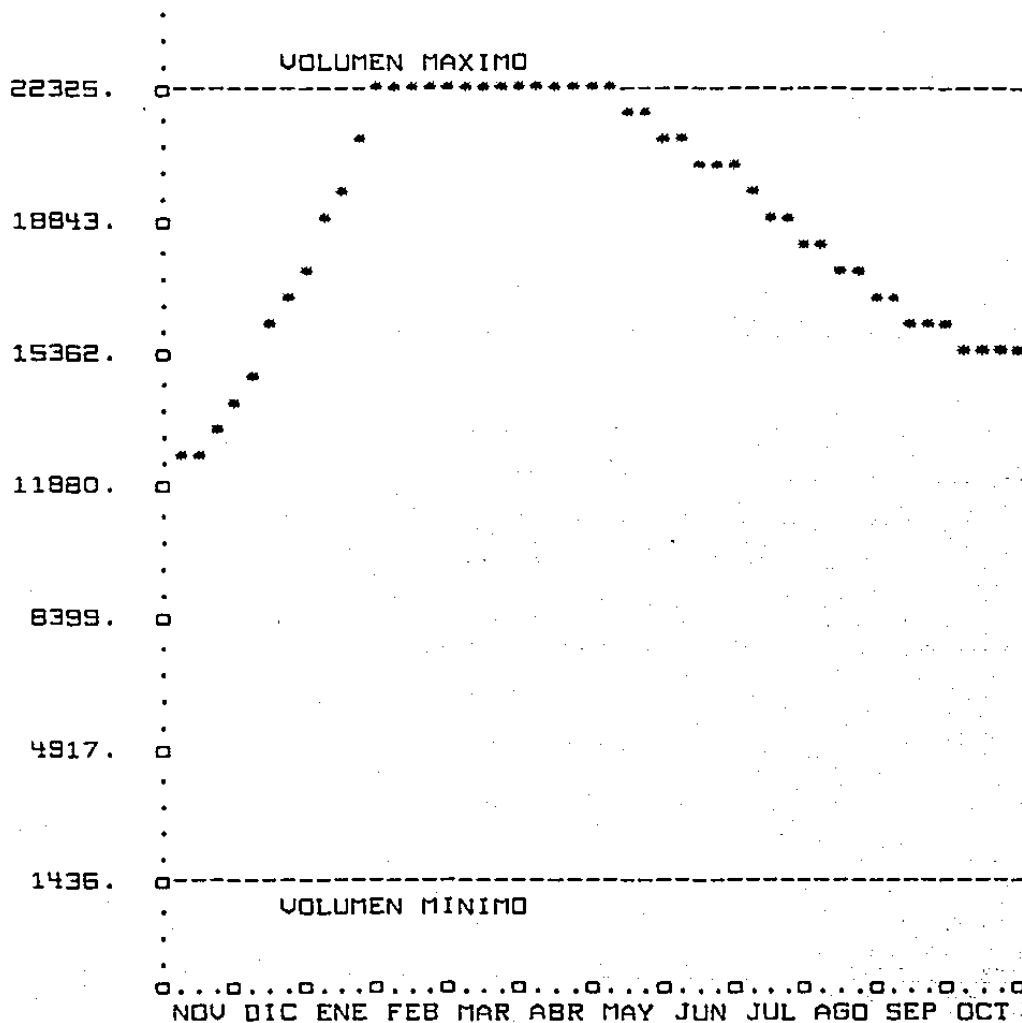
641240.69

641240.69

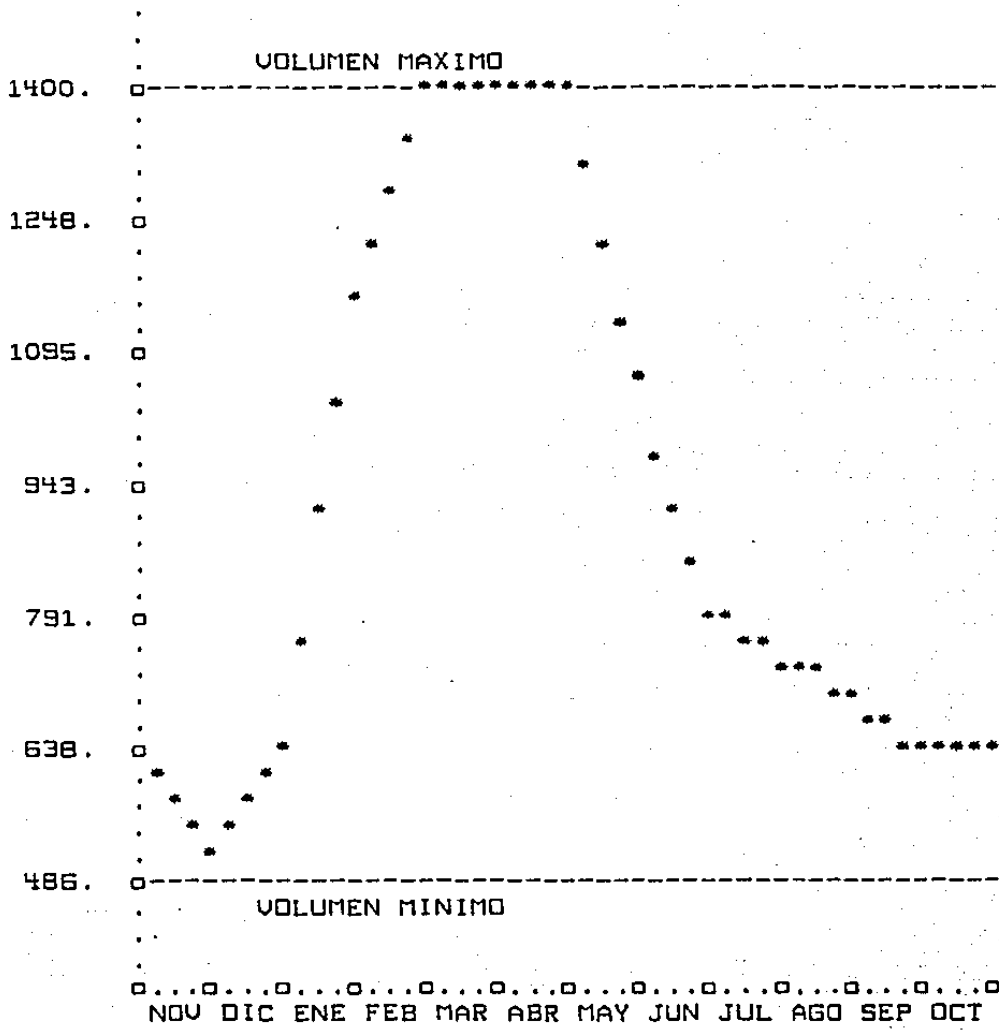
641240.69

TIEMPO DE COMPUTACION

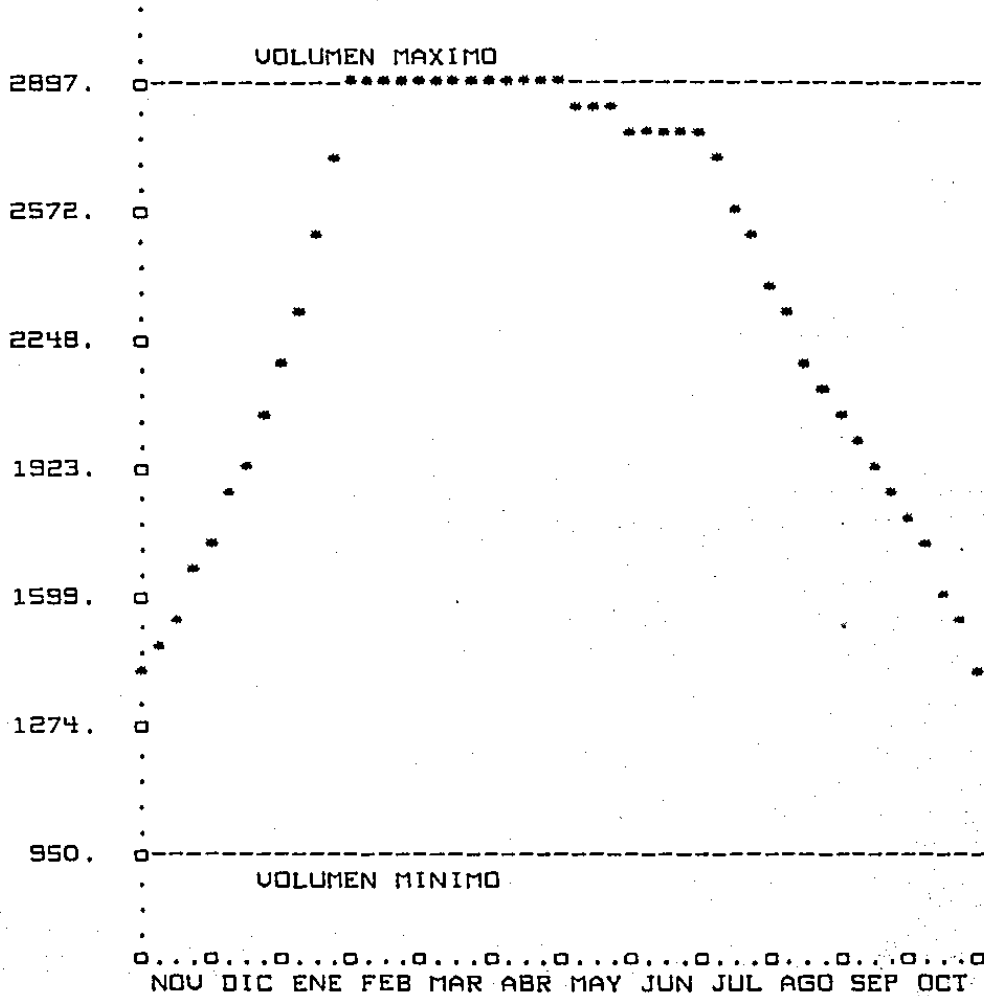
8.00 MINUTOS



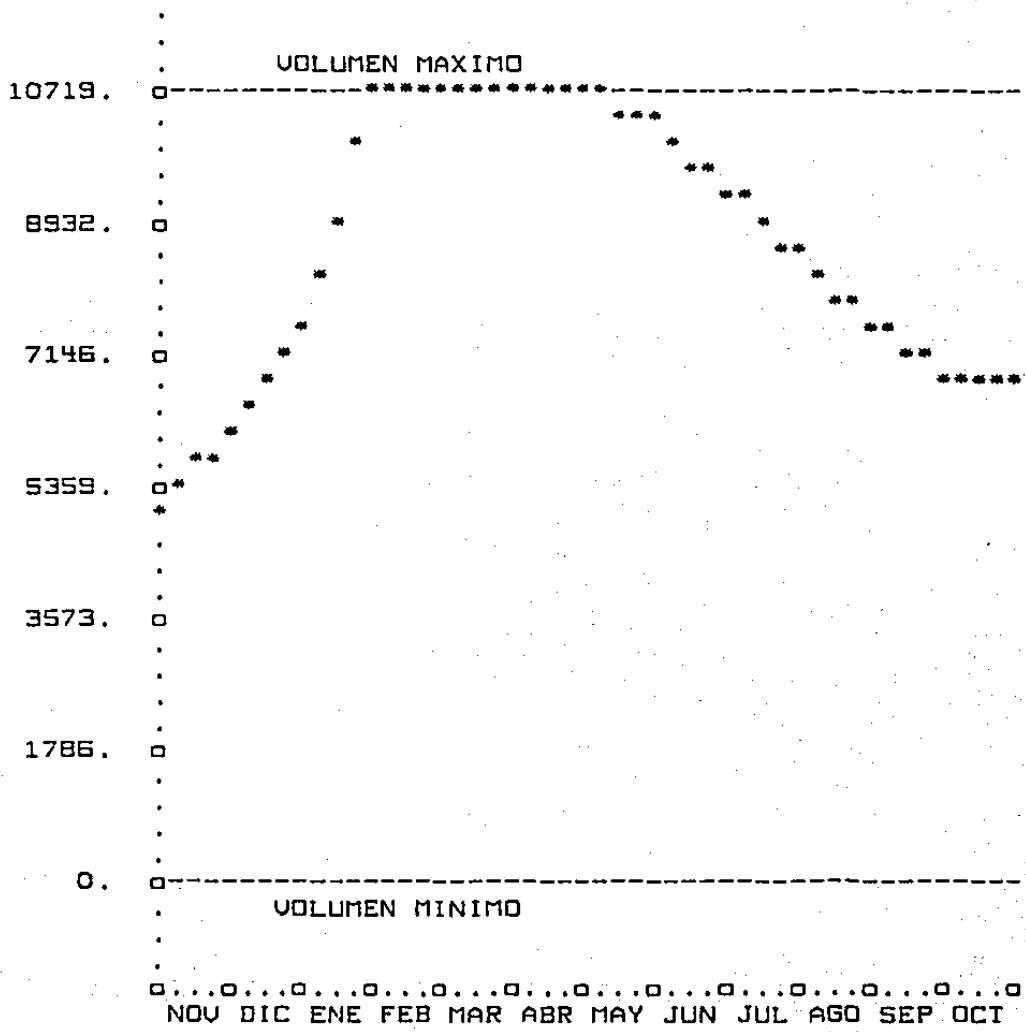
Gráfica No. 47. Trayectoria óptima del volumen total para un año muy mojado precedido por un año normal.



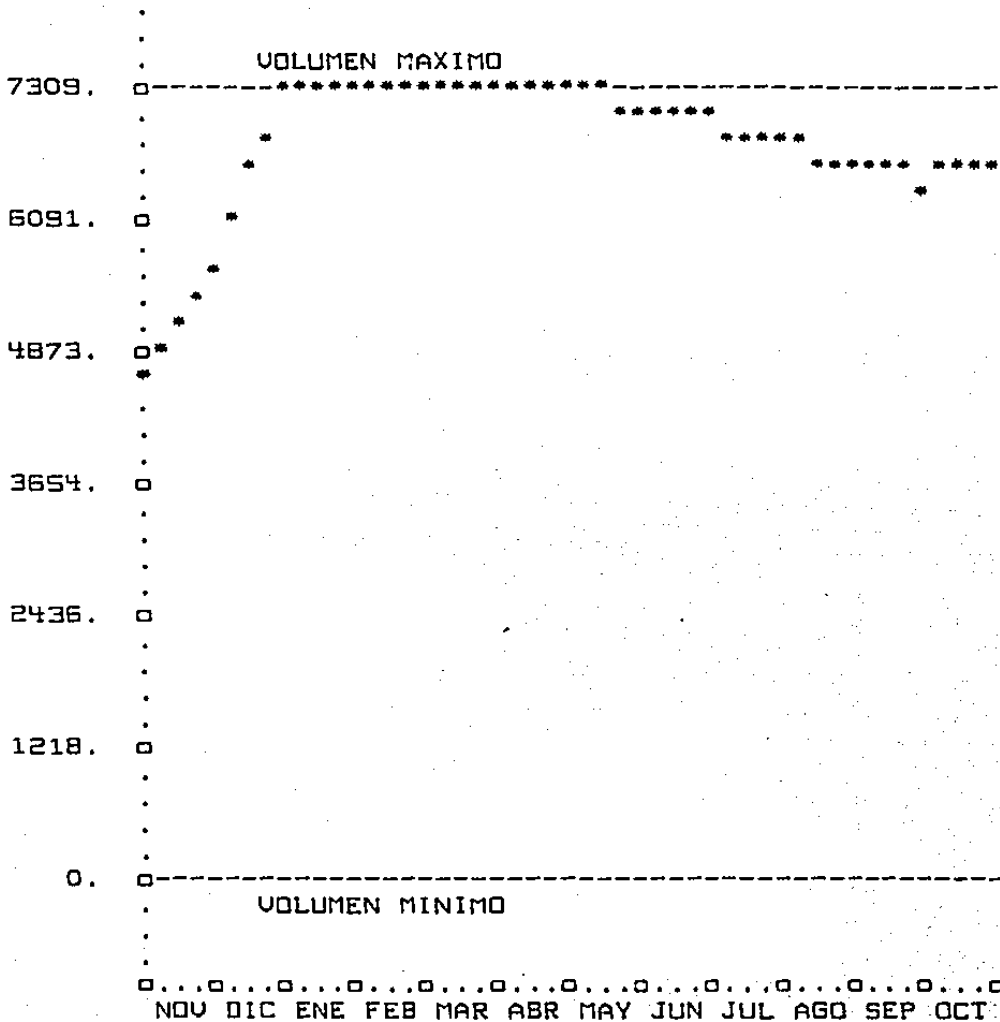
Gráfica No. 48. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 49. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpina para un año muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 50. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año muy mojado precedido por un año normal.



Gráfica No. 51. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año muy mojado precedido por un año normal.

TIPO DE AÑO: NORMAL (MOJADO)

MES INICIAL: NOVIEMBRE

MES FINAL: OCTUBRE

ALMACENAJE TOTAL DE AGUA

VOLUMEN INICIAL: 11980.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 11980.0

BON TEMPE

VOLUMEN INICIAL: 654.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 654.0

ALPINE

VOLUMEN INICIAL: 1400.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 1400.0

KENT

VOLUMEN INICIAL: 5212.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 5212.0

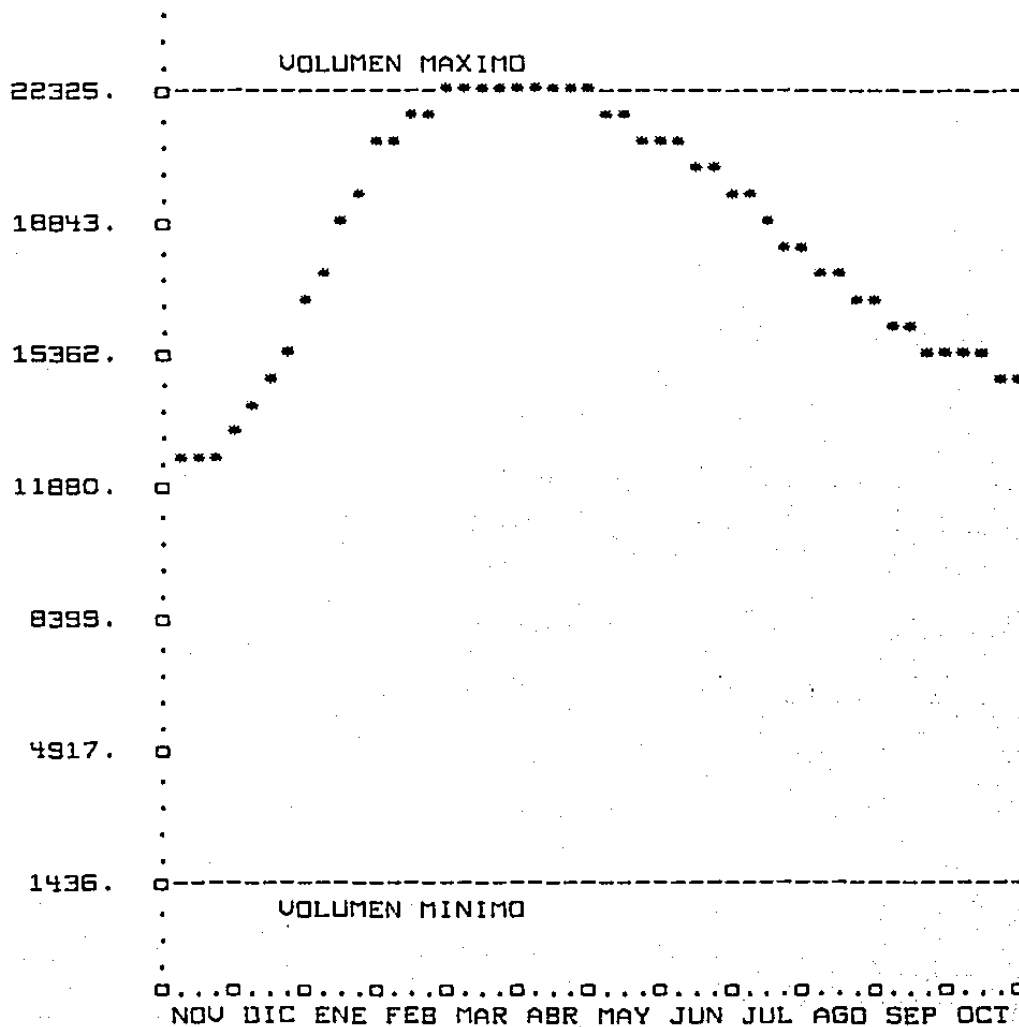
NICASIO

VOLUMEN INICIAL: 4714.0

VOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: 4714.0

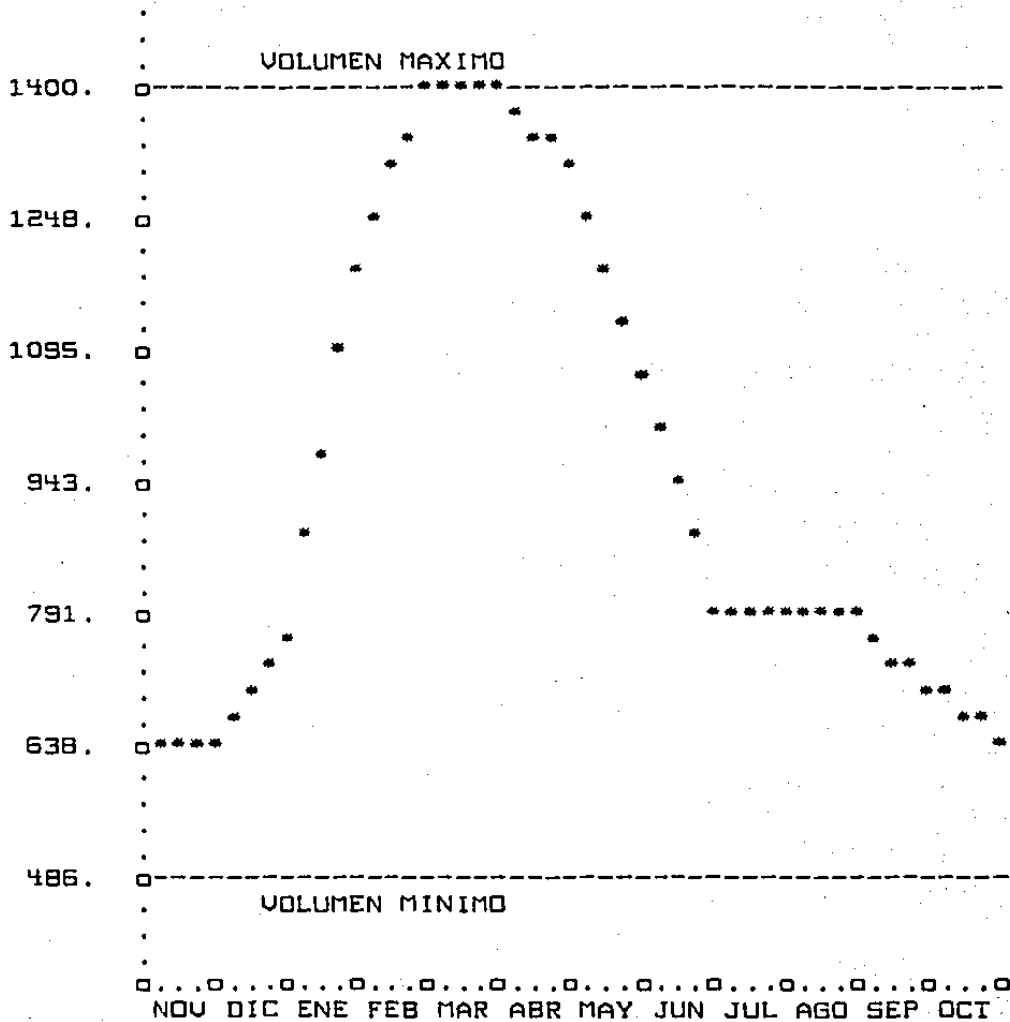
POLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA:

1.00 DEL CONSUMO NORMAL

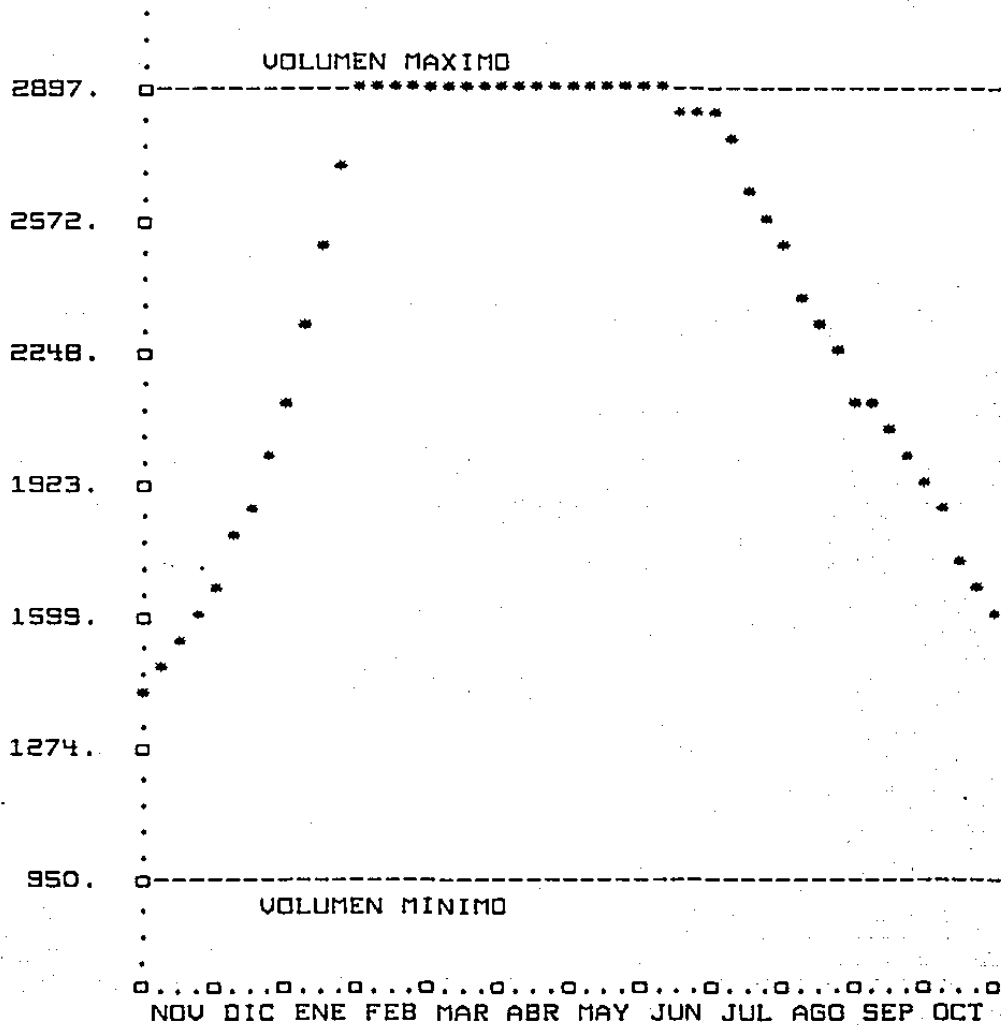


Gráfica No. 52. Trayectoria nominal del total de agua para un año normal precedido por un año normal.

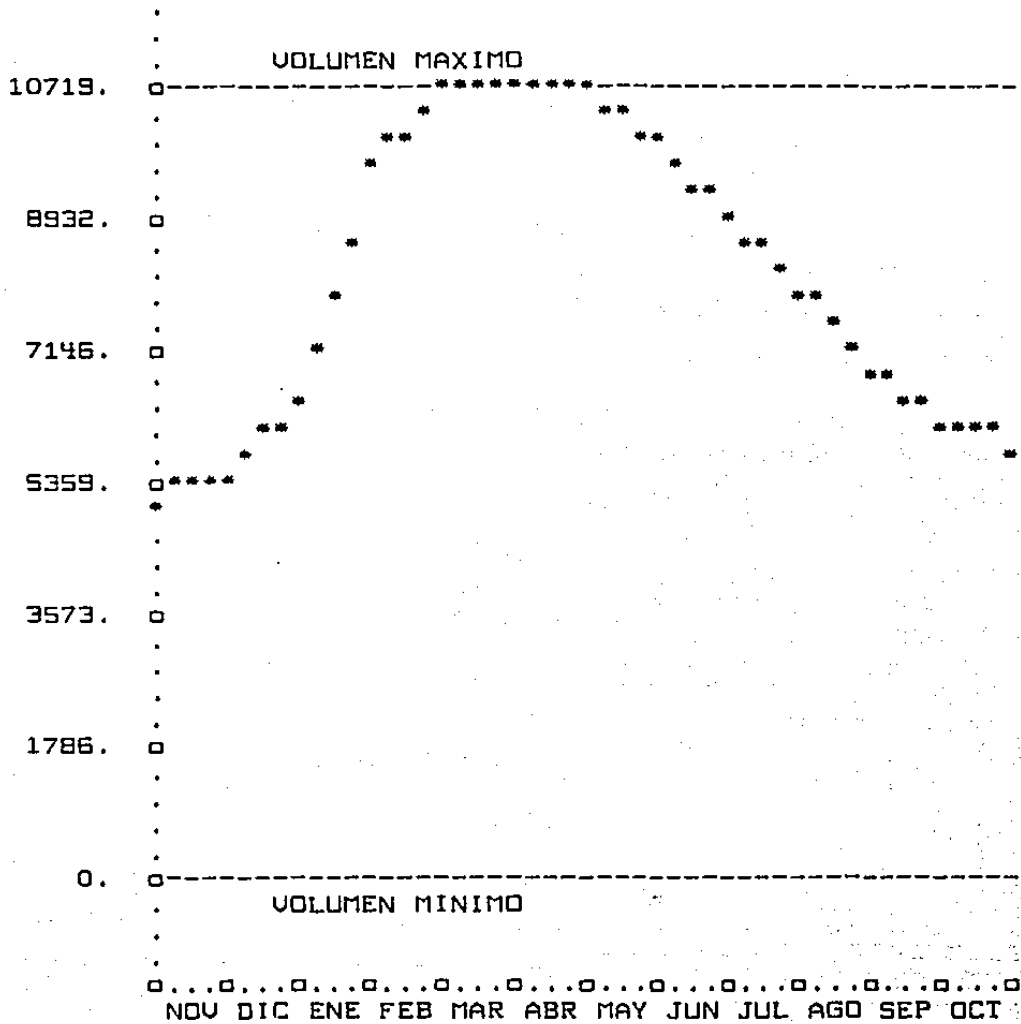




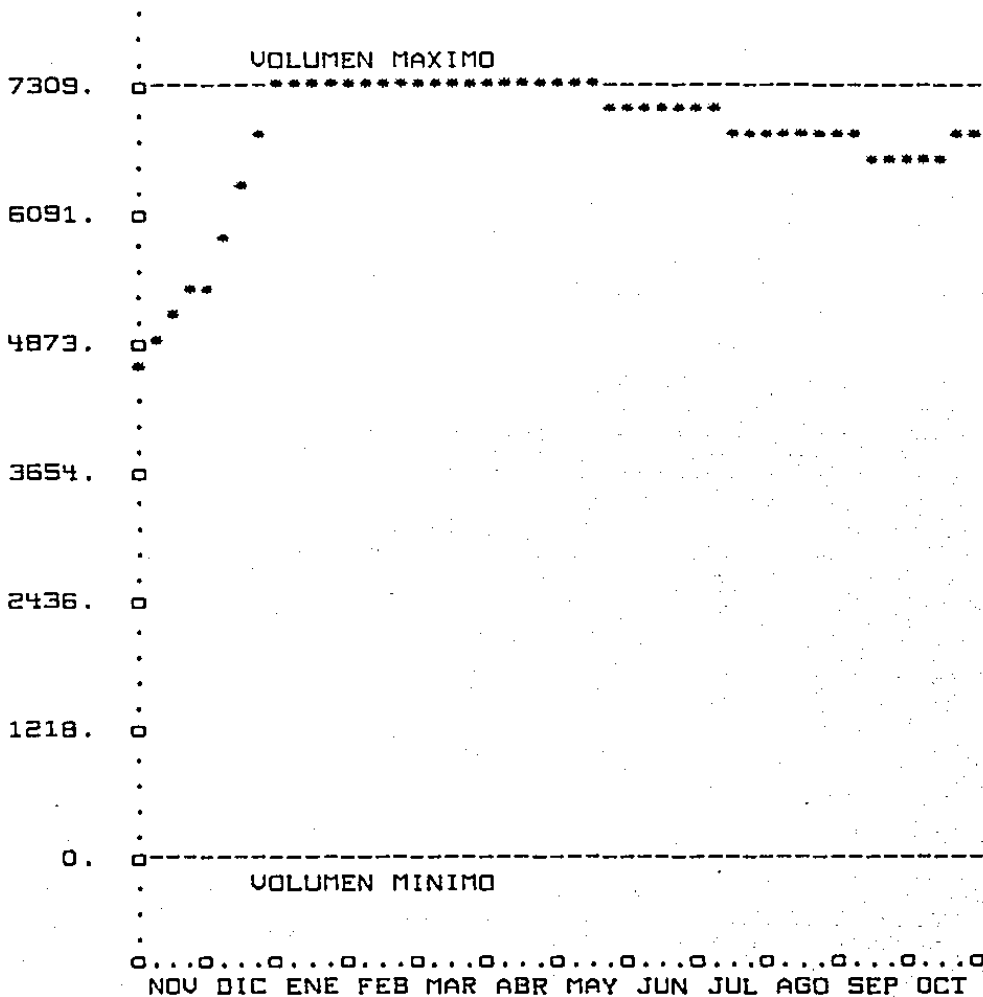
Gráfica No. 53. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Bon Tempe para un año normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 54. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Alpine para un año normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 55. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Kent para un año normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 56. Trayectoria nominal del volumen de agua en la presa Nicasio para un año normal precedido por un año normal.

COSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL

842925.25

COSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS

787025.87

776330.62

775121.25

767679.75

759603.19

757788.37

750225.87

747721.81

747721.81

747721.81

TIEMPO DE COMPUTACION

6.00 MINUTOS

## NOVIEMBRE

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	11980.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	585.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	19.50
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1797.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	0.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	13192.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	654.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	264.60
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	8.82
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	63.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	567.67
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	115.27
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	3.84

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1400.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	369.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1655.42
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	1.68
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.06

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	5212.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	616.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	320.40
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	10.68
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	5505.92
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	4714.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	749.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	5463.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	254.60
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	8.82
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	320.40
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	10.68
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	585.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	19.50
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	585.00



## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	33321.27
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	56.96
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	33321.27
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	56.96

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	146.25
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	4.87
FLUJO POR GRAVEDAD.....	146.25
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	4.87
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	48.75
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.62
COSTO DE BOMBEO.....	1316.25
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	115.27
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.84
COSTO DE BOMBEO.....	3573.27
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	1.68
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.06
COSTO DE BOMBEO.....	188.54
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	320.40
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	10.68
COSTO DE BOMBEO.....	21055.60
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	64.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 5+6

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	320.40
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	10.68
COSTO DE BOMBEO.....	6637.60
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	19.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3+4

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	118.35
TASA DIARIA DE FLUJO.....	3.94

## DICIEMBRE

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	13192.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	575.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	18.55
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	3693.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	0.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	16310.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	567.67
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	273.42
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	8.82
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	253.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	610.25
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	63.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	2.03

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1655.42
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	410.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2002.41
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	5505.92
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1232.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	301.58
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	9.73
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6436.34
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	5463.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1798.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7261.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	273.42
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	8.82
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	301.58
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	9.73
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	575.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	18.55
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	1160.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	29324.84
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	51.00
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	62646.10
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	54.01

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	143.75
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	4.64
FLUJO POR GRAVEDAD.....	143.75
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	4.64
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	47.92
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.55
COSTO DE BOMBEO.....	1293.75
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	63.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	2.03
COSTO DE BOMBEO.....	1953.10
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00



## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	301.58
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	9.73
COSTO DE BOMBEO.....	19851.12
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	64.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 5+6

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	301.58
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	9.73
COSTO DE BOMBEO.....	5676.86
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	17.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1+3

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	129.67
TASA DIARIA DE FLUJO.....	4.18

## ENERO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	16310.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	555.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	17.90
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	11852.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	6844.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	20763.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	610.25
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	589.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1053.25
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	309.70
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	9.99

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2002.41
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	2171.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	966.71
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2897.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6436.34
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	2200.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	99.30
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	3.20
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	9503.75
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7261.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	6892.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	6844.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7309.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	99.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	3.20
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	555.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	17.90
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	1715.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	19956.87
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	35.96
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	82602.98
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	48.17

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	138.75
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	4.48
FLUJO POR GRAVEDAD.....	138.75
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	4.48
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	46.25
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.49
COSTO DE BOMBEO.....	1248.75
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	309.70
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	9.99
COSTO DE BOMBEO.....	9600.69
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	99.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.20
COSTO DE BOMBEO.....	6607.30
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	61.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	99.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.20
COSTO DE BOMBEO.....	1950.13
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	14.10
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	316.95
TASA DIARIA DE FLUJO.....	10.22

## FEBRERO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	20763.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	536.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	18.48
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	7248.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	5150.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	22325.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1053.25
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	426.30
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	653.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1400.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	120.05
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	4.14



## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2897.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	614.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	493.95
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2897.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	9503.75
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1936.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	1105.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	109.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	3.78
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	10719.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7309.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	4045.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	0.00
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	4045.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7309.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	426.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	109.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	3.78
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	536.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	18.48
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	2251.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	14816.02
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	27.64
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	97419.00
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	43.28

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	134.00
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	4.62
FLUJO POR GRAVEDAD.....	134.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	4.62
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	44.67
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.54
COSTO DE BOMBEO.....	1206.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	120.05
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	4.14
COSTO DE BOMBEO.....	3721.55
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	109.70
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.78
COSTO DE BOMBEO.....	7241.70
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	61.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	109.70
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.78
COSTO DE BOMBEO.....	2096.77
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	14.10
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	292.30
TASA DIARIA DE FLUJO.....	10.08

## MARZO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	22325.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	624.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	20.13
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	3127.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	223.03
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	2279.97
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	22325.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1400.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	274.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	14.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1400.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	195.70
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	6.31

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2897.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	246.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	28.97
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	21.33
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2897.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	10719.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1408.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	107.19
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	1153.84
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	168.30
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	5.43
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	10719.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7309.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1199.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	72.87
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	1126.13
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7309.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	168.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	5.43
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	624.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	20.13
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	2875.00



## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	21760.03
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	34.87
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	119179.03
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	41.45

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	156.00
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	5.03
FLUJO POR GRAVEDAD.....	156.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	5.03
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	52.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.68
COSTO DE BOMBEO.....	1404.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

	180
ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	195.70
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	6.31
COSTO DE BOMBEO.....	6066.70
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00
ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE	
FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

	181
ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	168.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	5.43
COSTO DE BOMBEO.....	10816.30
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	61.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3
ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	168.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	5.43
COSTO DE BOMBEO.....	2923.03
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	14.10
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3
ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0
FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS	
FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	299.70
TASA DIARIA DE FLUJO.....	9.67

## ABRIL

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	22325.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	702.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	23.40
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	1492.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	223.03
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	566.97
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	22325.00

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1400.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	352.80
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	11.75
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	210.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	14.00
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1400.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	156.80
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	5.23

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2897.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	164.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	28.97
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2897.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	21.77
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.73

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	10719.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	968.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	107.19
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	489.84
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	349.20
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	11.64
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	10719.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7309.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	150.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	72.87
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	77.13
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7309.00

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	352.80
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	11.76
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	349.20
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	11.64
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	702.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	23.40
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	3577.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	39512.14
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	56.29
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	158691.17
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	44.36

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	175.50
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	5.85
FLUJO POR GRAVEDAD.....	175.50
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	5.85
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	58.50
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.95
COSTO DE BOMBEO.....	1579.50
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	156.80
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	5.23
COSTO DE BOMBEO.....	4860.80
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	21.77
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.73
COSTO DE BOMBEO.....	2438.24
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00



## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	349.20
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	11.64
COSTO DE BOMBEO.....	22898.80
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	64.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 5+6

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	349.20
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	11.64
COSTO DE BOMBEO.....	7184.80
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	19.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3+4

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	177.30
TASA DIARIA DE FLUJO.....	5.91

## MAYO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	22325.00
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	907.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	29.26
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	150.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	433.27
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	0.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	21134.73

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1400.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	21.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	24.51
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1051.33
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	110.55
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	3.57

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2897.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	41.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	57.27
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2830.33
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	60.15
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	1.94

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	10719.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	88.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	207.90
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	451.30
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.56
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	10087.65
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7309.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	143.58
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7165.42

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	451.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	14.56
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	907.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	29.26
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	4484.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	55374.46
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	61.05
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	214065.62
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	47.74

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	226.75
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	7.31
FLUJO POR GRAVEDAD.....	226.75
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	7.31
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	75.58
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	2.44
COSTO DE BOMBEO.....	2040.75
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	110.55
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.57
COSTO DE BOMBEO.....	3426.94
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	60.15
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.94
COSTO DE BOMBEO.....	6737.17
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	451.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	14.56
COSTO DE BOMBEO.....	30335.80
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	66.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 456

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	451.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	14.56
COSTO DE BOMBEO.....	12283.80
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	26.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	#1345

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	228.95
TASA DIARIA DE FLUJO.....	7.39

## JUNIO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	21134.73
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	1122.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	37.40
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	170.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	407.71
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	39.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	19736.02

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1051.33
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	441.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	18.42
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	790.33
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	198.42
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	6.61



## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2830.33
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	82.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	56.11
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2780.33
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	122.52
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	4.08

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	10087.65
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	88.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	192.35
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	680.51
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	22.68
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	9180.26
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7165.42
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	140.84
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	39.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.49
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.02
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6985.09

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	441.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	681.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	22.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	1122.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	37.40
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	5606.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	125699.77
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	112.03
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	339785.41
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	60.61

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	225.00
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	7.50
FLUJO POR GRAVEDAD.....	225.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	7.50
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	93.50
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.12
COSTO DE BOMBEO.....	2524.50
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	55.50
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.85
COSTO DE BOMBEO.....	2886.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	52.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	198.42
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	6.61
COSTO DE BOMBEO.....	6150.93
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	122.52
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	4.08
COSTO DE BOMBEO.....	13722.68
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	681.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	22.70
COSTO DE BOMBEO.....	51625.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	75.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1-5

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	681.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	22.70
COSTO DE BOMBEO.....	48220.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	70.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 7+8

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.49
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.02
COSTO DE BOMBEO.....	570.67
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	42.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	160.50
TASA DIARIA DE FLUJO.....	5.35

## JULIO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	19736.02
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	1171.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	37.77
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	377.66
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	59.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	18128.37

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	790.33
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	15.35
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	745.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	425.72
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	13.73

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2780.33
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	51.68
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2388.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	85.07
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	2.74

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	9180.26
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	173.55
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	714.16
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	23.04
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	8207.49
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6985.09
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	137.07
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	59.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	1.14
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.04
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6787.88

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	715.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	23.07
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	1171.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	37.77
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	6777.00



## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	133909.25
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	114.35
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	473674.66
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	69.89

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	232.50
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	7.50
FLUJO POR GRAVEDAD.....	232.50
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	7.50
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO X-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	97.58
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.15
COSTO DE BOMBEO.....	2634.75
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	60.25
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.94
COSTO DE BOMBEO.....	3133.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	52.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	425.72
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	13.73
COSTO DE BOMBEO.....	13197.32
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	85.07
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	2.74
COSTO DE BOMBEO.....	9527.85
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	715.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	23.07
COSTO DE BOMBEO.....	54197.50
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	75.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1-5

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	715.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	23.07
COSTO DE BOMBEO.....	50821.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	70.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 7+8

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	1.14
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.04
COSTO DE BOMBEO.....	597.83
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	42.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	162.95
TASA DIARIA DE FLUJO.....	5.26

## AGOSTO

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	18128.37
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	1122.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	36.19
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	346.32
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	59.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	16601.04

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	745.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	14.41
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	695.67
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	420.77
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	13.57

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2388.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	44.37
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	2049.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	126.14
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	4.07

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	8207.49
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	154.37
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	664.32
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	21.43
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	7262.65
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6787.88
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	133.17
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	59.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	1.98
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.06
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6593.72

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	666.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	21.49
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	1122.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	36.19
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	7899.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	127874.15
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	113.97
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	601548.81
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	76.16

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	232.50
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	7.50
FLUJO POR GRAVEDAD.....	232.50
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	7.50
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO X-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	93.50
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	3.02
COSTO DE BOMBEO.....	2524.50
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

	210
ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	48.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.55
COSTO DE BOMBEO.....	2496.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	52.00

ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	420.77
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	13.57
COSTO DE BOMBEO.....	13043.97
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE	
FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	126.14
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	4.07
COSTO DE BOMBEO.....	14128.06
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE	
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00



## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	666.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	21.48
COSTO DE BOMBEO.....	47857.30
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	71.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1-4

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	666.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	21.48
COSTO DE BOMBEO.....	47191.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	70.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 7+8

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	1.98
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.06
COSTO DE BOMBEO.....	633.31
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	42.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	175.20
TASA DIARIA DE FLUJO.....	5.65

## SEPTIEMBRE

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	16601.04
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	1063.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	35.43
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	21.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	124.40
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	4.15
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	159.23
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	59.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	15465.21

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	695.67
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	441.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	21.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	6.61
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	626.67
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	357.61
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	11.92

## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	2049.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	19.41
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1833.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	161.02
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	5.37

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	7262.65
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	68.83
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	495.84
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	16.53
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6536.96
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6593.72
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	0.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	64.38
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	59.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	1.76
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.06
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6468.59

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	441.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	497.60
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	16.59
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	124.40
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	4.15
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	1063.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	35.43
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	8962.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	102779.62
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	96.69
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	704328.44
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	78.59

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	225.00
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	7.50
FLUJO POR GRAVEDAD.....	225.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	7.50
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	88.58
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	2.95
COSTO DE BOMBEO.....	2391.75
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	40.75
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	1.35
COSTO DE BOMBEO.....	2119.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	52.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	357.61
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	11.92
COSTO DE BOMBEO.....	11085.96
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	161.02
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	5.37
COSTO DE BOMBEO.....	18034.37
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	112.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	124.40
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	4.15
COSTO DE BOMBEO.....	16172.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	130.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	497.60
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	16.59
COSTO DE BOMBEO.....	33391.60
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	66.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 456

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	497.60
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	16.59
COSTO DE BOMBEO.....	18961.20
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	37.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 7

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	1.76
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.06
COSTO DE BOMBEO.....	623.73
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	42.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 1

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	175.25
TASA DIARIA DE FLUJO.....	5.84

## OCTUBRE

## HISTORIA HIDROLOGICA

## EN MILLONES DE GALONES

ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...	15465.21
CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	800.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	25.81
CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....	409.00
IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....	0.00
EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....	136.28
DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.	0.00
ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....	14937.93

## PRESA BON TEMPE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	626.67
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....	455.70
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	14.70
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	42.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	6.40
DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	654.00
TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....	447.44
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	14.43



## PRESA ALPINE

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	1833.00
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	41.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	16.16
DERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	1410.40
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA KENT

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6536.96
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	176.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	58.66
DERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....	344.30
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	11.11
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6309.99
TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.	0.00
PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....	0.00

## PRESA NICASIO

ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....	6468.59
CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....	150.00
EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....	55.05
DERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....	0.00
CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....	0.00
PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....	0.00
ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....	6563.54

## POLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE

## EN MILLONES DE GALONES

PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....	455.70
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....	14.70
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....	344.30
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....	11.11
PRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....	0.00
PRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN INGNACIO.....	0.00
PRODUCCION TOTAL DE AGUA.....	800.00
PRODUCCION DIARIA DE AGUA.....	25.81
PRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....	9762.00

## POLITICA DE BOMBEO DE AGUA

COSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....	45897.43
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA..	57.37
COSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....	750225.87
COSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....	76.85

## ESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE

FLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....	200.00
TASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....	6.45
FLUJO POR GRAVEDAD.....	200.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....	6.45
FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
TASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## ESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	66.67
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	2.15
COSTO DE BOMBEO.....	1800.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS	27.00

## ESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	447.44
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	14.43
COSTO DE BOMBEO.....	13870.53
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	31.00

## ESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE

FLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## SISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	0.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00

## ESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO

FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	344.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	11.11
COSTO DE BOMBEO.....	22585.20
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	64.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 5+6

## ESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS

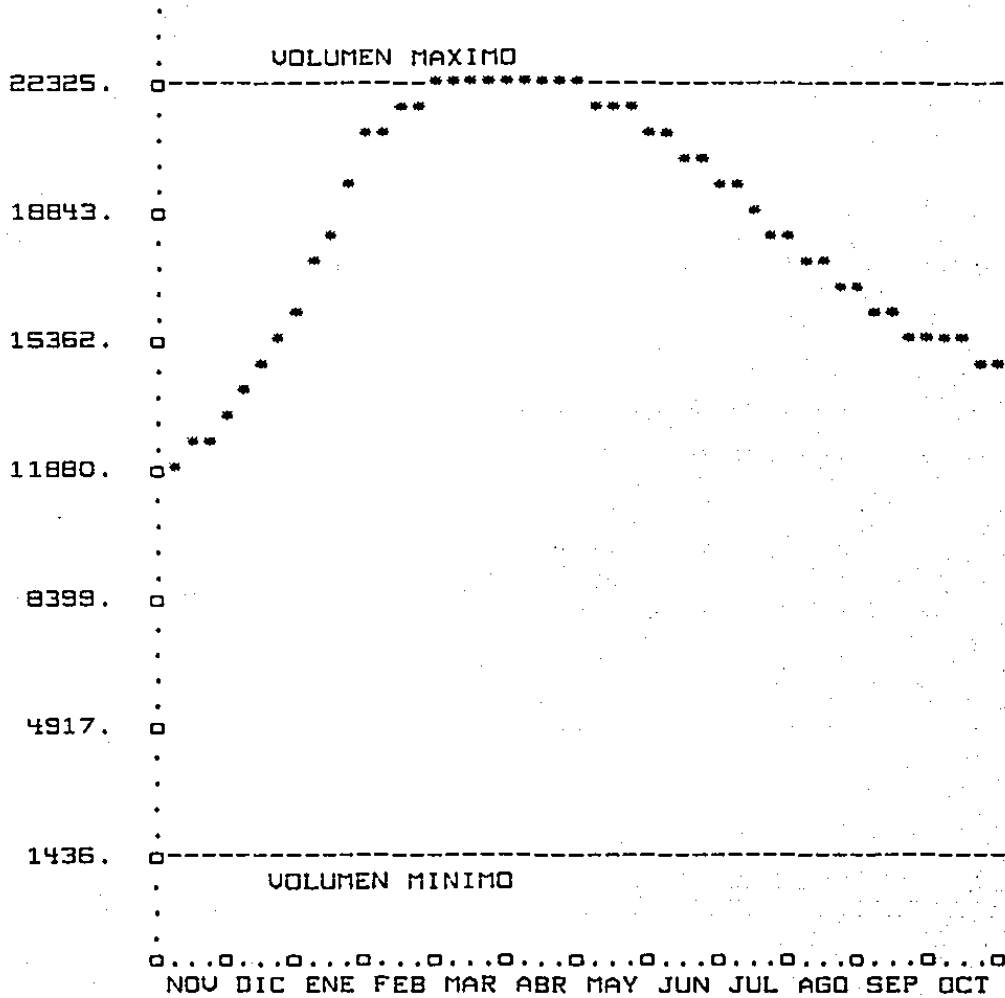
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	344.30
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	11.11
COSTO DE BOMBEO.....	7091.70
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	19.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 3+4

## ESTACION DE BOMBEO TOCALOMA

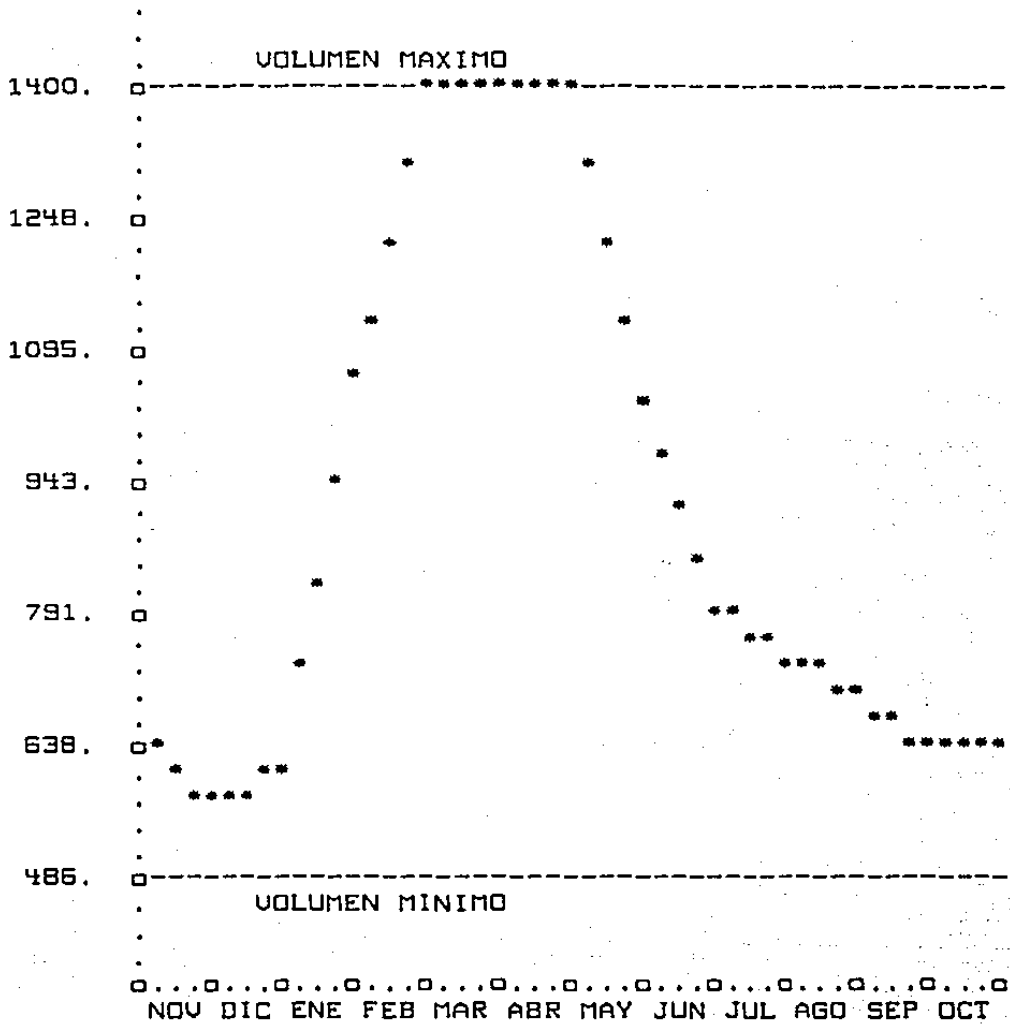
FLUJO EN MILLONES DE GALONES.....	0.00
TASA DIARIA DE BOMBEO.....	0.00
COSTO DE BOMBEO.....	550.00
COSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..	0.00
BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....	# 0

## FLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS

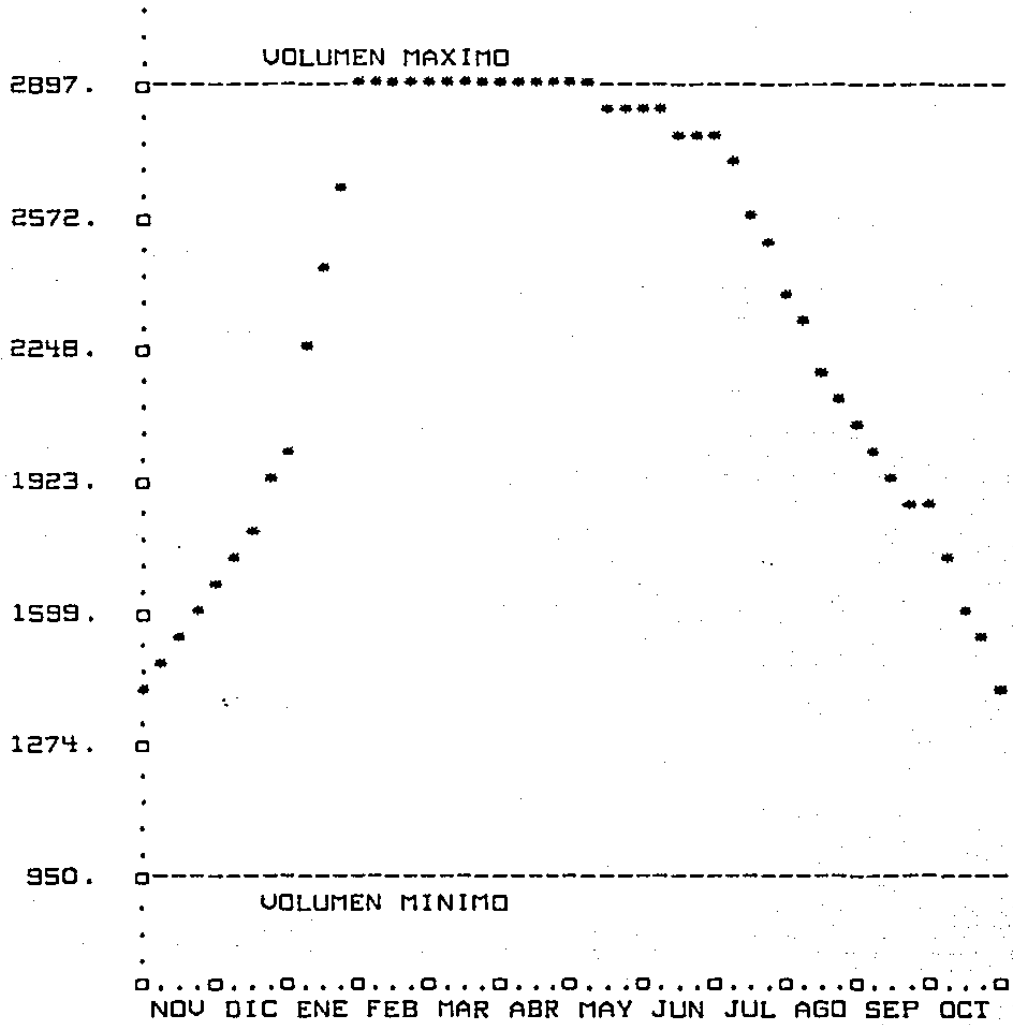
FLUJO EN MILLON DE GALONES.....	255.70
TASA DIARIA DE FLUJO.....	8.25



Gráfica No. 57. Trayectoria óptima del volumen total para un año normal precedido por un año normal.

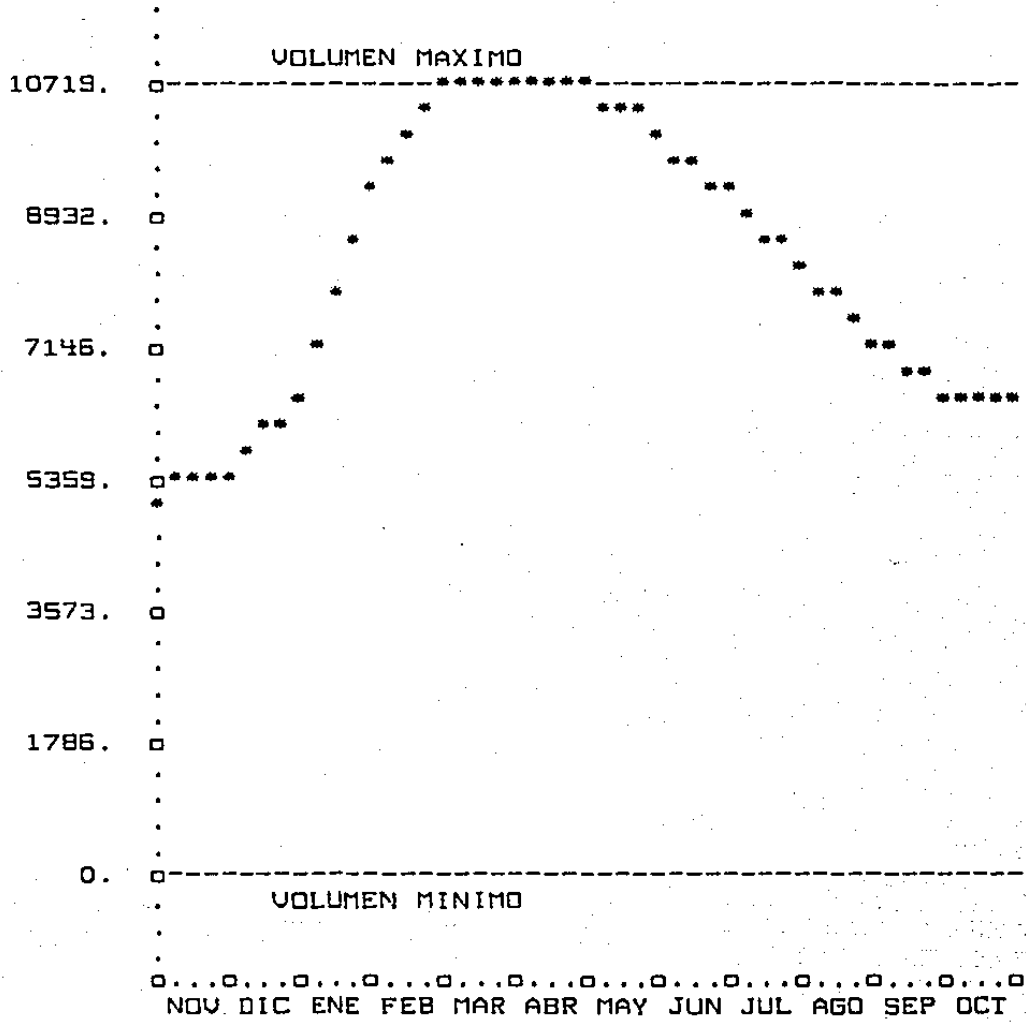


Gráfica No. 58. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Bon Tampe para un año normal precedido por un año normal.

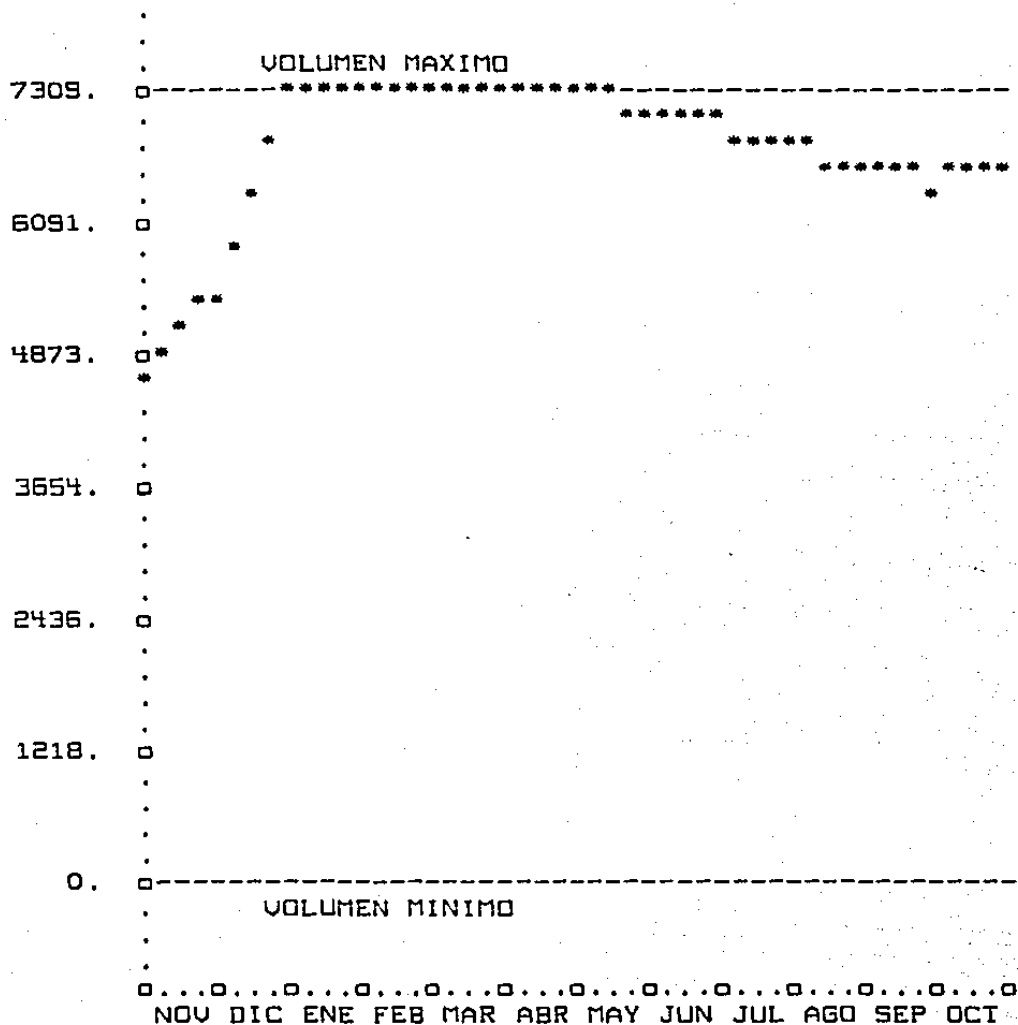


Gráfica No. 59. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Alpine para un año normal precedido por un año normal.





Gráfica No. 60. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Kent para un año normal precedido por un año normal.



Gráfica No. 61. Trayectoria óptima del volumen de agua en la presa Nicasio para un año normal precedido por un año normal.

## CAPITULO VI

### SISTEMA DE PROGRAMAS DE SOLUCION "OPTICOR"

OPTICOR es un sistema de programas que simulan y aproximan la solución óptima del sistema de agua potable del condado de Marin en el estado de California. Consiste de un programa principal y once sub-programas codificados en el lenguaje RM/FORTRAN para ser ejecutados en una computadora personal NEC APC-IV con un co-procesador matemático.

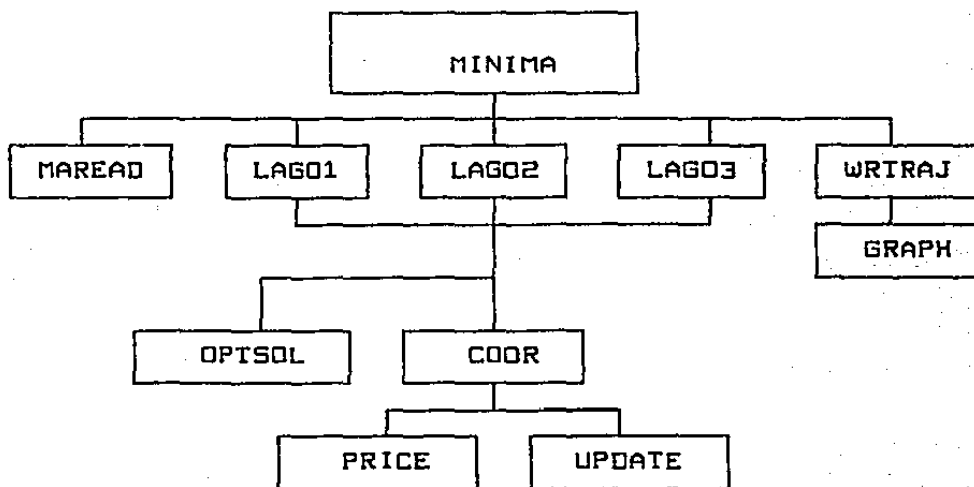


Diagrama No. 6. Organigrama del sistema de programas OPTICOR.

## Descripción de Programas

### Programa MINIMA

Convoca a los sub-programas de entrada y salida, MAREAD y WRIRAJ respectivamente, y a los sub-programas LAGO1, LAGO2 y LAGO3. Estos tres últimos son convocados sucesivamente por MINIMA para que optimizen dentro de rectángulos de optimización ubicados en una franja factible centrada alrededor de una trayectoria de volúmenes de agua factibles. La trayectoria óptima que resulta de la optimización sobre una presa se convierte en la trayectoria alrededor de la cual se centra la franja factible para la optimización sobre la siguiente presa.

El proceso iterativo se continúa hasta que se cesa de obtener mejoras significativas en la reducción del costo de operación del sistema. Cuando esto sucede, MINIMA convoca a los programas de salida que escriben el resultado en copia dura.

### Sub-programa MAREAD

Contiene la historia hidrológica de las presas-- trayectorias de volúmenes factibles de agua, precipitación fluvial y evaporación--para distintos tipos de años-lluvia (precipitación) esperados, las

posibilidades de importación de agua a través del sistema North Marin Intertie, los requisitos de derrame de agua en el río Lagunitas, y el patrón de demanda histórica de agua.

MAREAD contiene además una declaración de datos con información sobre la finura con que se simula y calcula la optimización del sistema. Estos son: la amplitud de la franja factible; el número de estados cuantificados a definir en los rectángulos de optimización; y, las posibilidades de coordinación en la producción de agua entre las diferentes plantas de tratamiento. Para efecto de análisis es posible estudiar el comportamiento de la solución variando estos parámetros.

El sub-programa lee los meses inicial y final sobre los cuales se busca la solución de operación óptima, el tipo de precipitación esperado, la política de consumo de agua en efecto (porcentaje de consumo normal impuesto sobre la ciudadanía), los volúmenes iniciales de agua en las presas, y los volúmenes mínimos finales de agua requeridos en las presas.

#### Sub-programas LAGO1, LAGO2 Y LAGO3

Generan sucesiones de aproximación a la programación dinámica hacia adelante. Esta optimización la realizan dentro de la franja factible y rectángulos

de optimización. LAGO1, LAGO2 y LAGO3 optimizan sobre las presas Bon Tempe, Alpine y Kent, respectivamente. Convocan los sub-programas COOR y OPTSOL.

El resultado de la ejecución de cada uno de estos programas es enviado al programa MINIMA donde se determina si se finaliza o continúa el proceso de optimización.

#### Sub-programa COOR

Establece los niveles óptimos de coordinación en la producción de agua entre las plantas Bon Tempe, San Gerónimo y San Ignacio. Coordina además el consumo óptimo entre las presas Nicasio y Kent. De estas coordinaciones resultan los flujos de transmisión y las transferencias de agua entre presas. Convoca los sub-programas PRICE y UPDATE.

#### Sub-programa PRICE

Para determinados flujos de transmisión y transferencias de agua entre las presas determina la coordinación óptima de bombas en las diferentes estaciones de bombeo y los flujos óptimos (costos mínimos) en el sistema de líneas de transmisión paralelas de la Southern Marin Line.

### Sub-programa UPDATE

Mantiene y actualiza el espectro posible de soluciones que va produciendo la programación dinámica hacia adelante dentro de una franja de factibilidad dada.

### Sub-programa OPTISOL

Partiendo del punto con costo mínimo al final de la última etapa para una presa y franja de factibilidad dados, OPTISOL rastrea la trayectoria hacia la etapa inicial con la solución óptima. Balancea las ecuaciones de diferencia que rigen el sistema y mantiene todos los datos e información actualizados de la última y mejor aproximación a la solución óptima.

### Sub-programa WRTRAJ

Produce una copia dura detallada de la solución óptima. Esta incluye: la historia hidrológica, trayectorias de volúmenes de agua; archivo de transferencias de agua entre presas; políticas de producción, importación, distribución y bombeo de agua; y, consumo de agua.

### Sub-programa GRAPH

Gráfica las trayectorias del volumen total de agua y el volumen de agua en cada una de las cuatro presas.

Programas de Fortran

A continuación se presentan las codificaciones de los sub-programas MINIMA, MAREAD, LAGO1, LAGO2, LAGO3, COOR, PRICE, UPDATE, OPTSOL, WRITRAJ y GRAPH.



```

1      PROGRAM MINIMA
2
3  C    PROGRAMA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE PROGRAMAS OPTCOOR
4
5      REAL LR,I
6
7      COMMON VA(13),VB(13),VK(13),VN(13),D(12),LR(12),RB(12),RA(12),
8      1RA(12),RN(12),I(12),S(12)
9      COMMON/ENDPTS/VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,VKE,VNS,VNE
10     COMMON/BLOCB/ACCC(18)
11     COMMON/BLOC10/NB
12     COMMON/BLOC11/KIKE,KOO
13     COMMON/BLOC15/DELTA,SBT
14     COMMON/BLOC18/N1,N2,N3
15     COMMON/BLOC23/LBAND
16     COMMON/BLOC24/COST
17     COMMON/TRY/NUM
18     DIMENSION OPTIMO(12,63),VECTOR(13,41,63),RESULT(12,63)
19
20  C    INDICES DE COORDINACION
21
22  C    NB = NUMERO DE VALORES CUANTIFICADOS EN LA FRANJA DE OPTIMIZACION
23  C    N1 = NUMERO DE POSIBILIDADES DE COORDINACION ENTRE LA PLANTA BON
24  C        TEMPE Y LA PLANTA SAN GERONIMO.
25  C    N2 = NUMERO POSIBLE DE COORDINACION ENTRE LA PLANTA SAN GERONIMO
26  C        Y SAN IGNACIO.
27  C    N3 = INDICE DE COORDINACION DE CONSUMO ENTRE LAS PRESAS KENT Y
28  C        NICASIO.
29  C    LBAND = DIVISOR DE LA MAXIMA FRANJA POSIBLE (600M6).
30
31     NB = 1
32     N1 = 4
33     N2 = 4
34     N3 = 4
35     LBAND = 1
36
37     DELTA=0.0
38     SBT=0.0
39
40     CALL MAREAD
41
42     CALL GETTIM(HH,MM,SS,HD)
43     TIME1 = 60.0*HH + FLOAT(MM) + SS/60.0
44
45     NY1=KIKE-KOO+1
46     NY2=NY1+1
47
48 20  ACCC(KOO)=0.0
49     DO 10 KO=KOO,KIKE

```

```
50 10 ACCC(KG+1)=ACCC(KG)+D(KG)
51
52 COST=8.0E18
53
54 C OPTIMIZACION SOBRE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL
55
56 CALL LAGOI(OPTIMO,VECTOR,NY1,NT2,NB)
57
58 IF(COST.GE.8.0E18)GO TO 110
59
60 DO 200 KI=1,NY1
61 DO 210 KJ=1,63
62 RESULT(KI,KJ)=OPTIMO(KI,KJ)
63 210 CONTINUE
64
65 MONE=KGG-1+KI
66
67 C ACTUALIZACION DE LA TRAYECTORIA NOMINAL
68
69 VB(MONE)=RESULT(KI,1)
70 VA(MONE)=RESULT(KI,8)
71 VK(MONE)=RESULT(KI,14)
72 VN(MONE)=RESULT(KI,21)
73 200 CONTINUE
74 VB(KIKE+1)=RESULT(NY1,6)
75 VA(KIKE+1)=RESULT(NY1,12)
76 VK(KIKE+1)=RESULT(NY1,19)
77 VN(KIKE+1)=RESULT(NY1,26)
78
79 LOOP=1
80
81 NUM=1
82
83 C GRAFIQUE LA TRAYECTORIA NOMINAL
84
85 CALL WRTRAJ(RESULT,NY1)
86
87 NUM=2
88
89 write (6,556)cost
90 556 FORMAT(1H1////////18X,
91 146HCOSTO MINIMO DE LA TRAYECTORIA NOMINAL INICIAL//36X,F10.2//
92 118X,46HCOSTO MINIMO DE LAS SUBSIGUIENTES TRAYECTORIAS)
93 555 FORMAT(/36X,F10.2)
94
95 BEST = COST
96
97 DATA NNB,NN1,NN2,NN3,LLBAND/4,5,5,5,10/
98 NB = NNB
```

```
99      N1 = NN1
100     N2 = NN2
101     N3 = NN3
102     LBAND = LLSAND
103
104 C    READ(5,660)NB,N1,N2,N3,LSAND
105 C 660 FORMAT(5I4)
106
107     DELTA=1000.0/FLOAT(LBAND)
108     SBT=DELTA/FLOAT(NB-1)
109
110     40 CONTINUE
111
112 C    OPTIMIZACION SOBRE EL LAGO BON TEMPE
113
114     CALL LAGO1(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
115
116     write(6,555)cost
117
118     IMPRO=(BEST-COST)*100.0/BEST
119     IF (IMPRO.GT.0.005)LOOP = 1
120     IF (IMPRO.GT.0.005)BEST=COST
121
122     IF (IMPRO.GT.0.005)THEN
123     CONTINUE
124     DO 220 KI=1,NY1
125     DO 230 KJ=1,63
126     RESULT(KI,KJ)=OPTIMO(KI,KJ)
127     230 CONTINUE
128
129     MONE=K00-1+KI
130
131 C    ACTUALIZACION DE LA TRAYECTORIA NOMINAL
132
133     VB(MONE)=RESULT(KI,1)
134     VA(MONE)=RESULT(KI,8)
135     VK(MONE)=RESULT(KI,14)
136     VN(MONE)=RESULT(KI,21)
137     220 CONTINUE
138     VB(KIKE+1)=RESULT(NY1,6)
139     VA(KIKE+1)=RESULT(NY1,12)
140     VK(KIKE+1)=RESULT(NY1,19)
141     VN(KIKE+1)=RESULT(NY1,26)
142     END IF
143
144     IF (IMPRO.LE.0.005)LOOP = LOOP+1
145     IF (LOOP.GT.3)GO TO 100
146
147 C    OPTIMIZACION SOBRE EL LAGO ALPINE
```

```
148
149 CALL LAGO2(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
150
151 write(6,555)cost
152
153 IMPRO=(BEST-COST)*100.0/BEST
154 IF(IMPRO.GT.0.005)LOOP = 1
155 IF(IMPRO.GT.0.005)BEST=COST
156
157 IF(IMPRO.GT.0.005)THEN
158 CONTINUE
159 DO 240 KI=1,NY1
160 DO 250 KJ=1,63
161 RESULT(KI,KJ)=OPTIMO(KI,KJ)
162 250 CONTINUE
163
164 MONE=KGD-1+KI
165
166 C ACTUALIZACION DE LA TRAYECTORIA NGMINAL
167
168 VB(MONE)=RESULT(KI,1)
169 VA(MONE)=RESULT(KI,8)
170 VK(MONE)=RESULT(KI,14)
171 VN(MONE)=RESULT(KI,21)
172 240 CONTINUE
173 VB(KIKE+1)=RESULT(NY1,6)
174 VA(KIKE+1)=RESULT(NY1,12)
175 VK(KIKE+1)=RESULT(NY1,19)
176 VN(KIKE+1)=RESULT(NY1,26)
177 END IF
178
179 IF(IMPRO.LE.0.005)LOOP = LOOP+1
180 IF(LOOP.GT.3)GO TO 100
181
182 C OPTIMIZACION SOBRE EL LAGO KENT
183
184 CALL LAGO3(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
185
186 write(6,555)cost
187
188 IMPRO=(BEST-COST)*100.0/BEST
189 IF(IMPRO.GT.0.005)LOOP = 1
190 IF(IMPRO.GT.0.005)BEST=COST
191
192 IF(IMPRO.GT.0.005)THEN
193 DO 260 KI=1,NY1
194 DO 270 KJ=1,63
195 RESULT(KI,KJ)=OPTIMO(KI,KJ)
196 270 CONTINUE
```

```
197
198     NONE=K00-1+KI
199
200 C   ACTUALIZACION DE LA TRAYECTORIA NOMINAL
201
202     VB(NONE)=RESULT(KI,1)
203     VA(NONE)=RESULT(KI,5)
204     VK(NONE)=RESULT(KI,14)
205     VN(NONE)=RESULT(KI,21)
206 260 CONTINUE
207     VB(KIKE+1)=RESULT(NY1,6)
208     VA(KIKE+1)=RESULT(NY1,12)
209     VK(KIKE+1)=RESULT(NY1,19)
210     VN(KIKE+1)=RESULT(NY1,26)
211     END IF
212
213     IF(IMPRD.LE.0.005)LOOP = LOOP+1
214     IF(LOOP.GT.3)GO TO 100
215
216     50 GO TO 40
217
218 100 CONTINUE
219
220 C   CALCULACION DEL TIEMPO DE COMPUTACION
221
222     CALL GETTIM(HH,MM,SS,HD)
223     TIME2 = 50.0*HH + FLOAT(MM) + SS/60.0
224     TIEMPO = ABS(TIME2 - TIME1)
225
226     WRITE(6,105)TIEMPO
227 105 FORMAT(//18X,22HTIEMPO DE COMPUTACION ,F10.2,3X,7HMINUTOS)
228
229 C   ESCRIBA LOS RESULTADOS Y GRAFIQUE LA TRAYECTORIA OPTIMA
230
231     CALL WRTRAJ(RESULT,NY1)
232
233 110 CONTINUE
234
235     IF(COST.GE.8.0E10)WRITE(6,120)
236 120 FORMAT(18X,
237 120HCOMPUTACION ABORTADA//18X,
238 140HPUNTO INICIAL Y/O FINAL NO SON FACTIBLES)
239
240     STOP
241     END
```

MAREAD.FOR

Thursday, October 6, 1988

Page 1

```

1  SUBROUTINE MAREAD
2
3
4  REAL LR,I
5
6  COMMON VA(13),VB(13),VK(13),VN(13),D(12),LR(12),RB(12),RA(12),
7  IRK(12),RN(12),I(12),S(12)
8  COMMON/ENDPTS/VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,VKE,VNS,VNE
9  COMMON/BLOC11/KIKE,KOO
10 CHARACTER*10 XNES(12)
11
12  DIMENSION VB10P(13),VB30P(13),VB50P(13),VB70P(13),VB90P(13)
13  DIMENSION VA10P(13),VA30P(13),VA50P(13),VA70P(13),VA90P(13)
14  DIMENSION VK10P(13),VK30P(13),VK50P(13),VK70P(13),VK90P(13)
15  DIMENSION VN10P(13),VN30P(13),VN50P(13),VN70P(13),VN90P(13)
16  DIMENSION RB10P(12),RB30P(12),RB50P(12),RB70P(12),RB90P(12)
17  DIMENSION RA10P(12),RA30P(12),RA50P(12),RA70P(12),RA90P(12)
18  DIMENSION RK10P(12),RK30P(12),RK50P(12),RK70P(12),RK90P(12)
19  DIMENSION RN10P(12),RN30P(12),RN50P(12),RN70P(12),RN90P(12)
20  DIMENSION XD(12),XLR(12),IT(12),XLS(12)
21
22  DATA (XNES(J),J=1,12)/10HNOVIEMBRE ,10HDICIEMBRE ,10HENERO
23  110HFEBRERO ,10HMARZO ,10HABRIL ,10HMAYO ,
24  110HJUNIO ,10HJULIO ,10HAGOSTO ,10HSEPTIEMBRE,
25  110HOCTUBRE /
26
27  C  TRAYECTORIAS HISTORICAS PROMEDIO
28
29  DATA(VB10P(IX),IX=1,13)/654,651,646,641,664,
30  1685,738,795,807,795,779,710,654/
31  DATA(VB30P(IX),IX=1,13)/654,651,646,671,670,
32  1839,738,795,807,795,779,710,654/
33  DATA(VB50P(IX),IX=1,13)/654,651,648,820,1054,
34  11095,923,795,807,795,779,710,654/
35  DATA(VB70P(IX),IX=1,13)/654,651,753,1196,1309,
36  11400,1309,1068,807,795,779,710,654/
37  DATA(VB90P(IX),IX=1,13)/654,651,795,1309,1400,
38  11400,1309,1074,807,795,779,710,654/
39  DATA(VA10P(IX),IX=1,13)/1457,1370,1370,1539,1726,
40  11810,1848,1541,1398,1180,1068,1029,1000/
41  DATA(VA30P(IX),IX=1,13)/1440,1448,1762,2391,2705,
42  12880,2784,2557,2223,1870,1751,1500,1370/
43  DATA(VA50P(IX),IX=1,13)/1398,1370,1870,2566,2897,
44  12897,2897,2766,2415,2082,1743,1559,1400/
45  DATA(VA70P(IX),IX=1,13)/1400,1681,2091,2897,2897,
46  12897,2897,2880,2852,2488,2149,1933,1836/
47  DATA(VA90P(IX),IX=1,13)/1400,1805,2240,2897,2897,
48  12897,2897,2893,2896,2531,2190,1978,1900/
49  DATA(VK10P(IX),IX=1,13)/5215,5437,5678,6035,6421,

```

```

50 14673,6568,6195,5606,5015,4458,4014,4000/
51 DATA(VK70P(IX),IX=1,13)/5215,5725,5258,5914,6638,
52 16718,6920,6722,6167,5556,4787,4300,4129/
53 DATA(VK50P(IX),IX=1,13)/5215,5020,5315,6151,7427,
54 13387,8247,7899,7278,6578,5929,5444,5210/
55 DATA(VK70P(IX),IX=1,13)/5215,5421,6250,7416,10719,
56 110719,10719,9695,8909,7820,6787,5560,5407/
57 DATA(VK90P(IX),IX=1,13)/5215,5742,7214,10719,10719,
58 110719,10719,9939,8999,7908,6672,5964,5526/
59 DATA(VN10P(IX),IX=1,13)/4714,4431,4177,3937,3704,3439,
60 12858,2647,2414,2180,1954,1753,1564/
61 DATA(VN30P(IX),IX=1,13)/4714,5168,5233,7309,7309,7309,
62 16876,6330,5785,5244,4715,4249,3797/
63 DATA(VN50P(IX),IX=1,13)/4714,5231,6608,7309,7309,7309,
64 17309,6808,6315,5934,5362,4950,4714/
65 DATA(VN70P(IX),IX=1,13)/4714,5463,7261,7309,7309,7309,
66 17609,7163,7023,6885,6751,6684,6768/
67 DATA(VN90P(IX),IX=1,13)/4714,5575,7309,7309,7309,7309,
68 17309,7163,7023,6885,6751,6684,6890/
69
70 C CAUDALES DE AGUA HISTORICOS PROMEDIO
71
72 DATA(RB10P(IX),IX=1,12)/11,48,80,154,180,25,4,0,0,0,0,9/
73 DATA(RB30P(IX),IX=1,12)/33,90,174,220,261,33,0,0,0,0,0,0/
74 DATA(RB50P(IX),IX=1,12)/45,148,319,375,216,23,0,0,0,0,0,11/
75 DATA(RB70P(IX),IX=1,12)/63,253,589,653,274,210,21,0,0,0,21,42/
76 DATA(RB90P(IX),IX=1,12)/74,295,689,763,320,243,25,0,0,0,25,49/
77 DATA(RA10P(IX),IX=1,12)/53,63,254,307,201,74,21,0,11,0,11,42/
78 DATA(RA30P(IX),IX=1,12)/166,370,529,314,203,92,37,37,0,0,0,0/
79 DATA(RA50P(IX),IX=1,12)/78,520,675,650,390,156,52,26,26,0,52,0/
80 DATA(RA70P(IX),IX=1,12)/369,410,2171,614,246,164,41,82,0,0,0,41/
81 DATA(RA90P(IX),IX=1,12)/482,535,2837,903,321,214,54,107,0,0,0,54/
82 DATA(RK10P(IX),IX=1,12)/155,202,249,264,311,171,47,16,31,16,31,
83 193/
84 DATA(RK30P(IX),IX=1,12)/245,459,949,643,337,214,122,31,0,0,0,92/
85 DATA(RK50P(IX),IX=1,12)/215,599,1135,1342,1129,322,161,54,0,0,
86 154,107/
87 DATA(RK70P(IX),IX=1,12)/616,1232,2200,1936,1408,968,88,88,0,0,
88 10,176/
89 DATA(RK90P(IX),IX=1,12)/937,1875,3348,2946,2142,1473,134,134,
90 10,0,0,268/
91 DATA(RN10P(IX),IX=1,12)/21,50,64,71,74,53,14,0,0,0,0,4/
92 DATA(RN30P(IX),IX=1,12)/195,649,3114,1622,908,0,0,0,0,0,0/
93 DATA(RN50P(IX),IX=1,12)/517,1377,3185,1980,1033,430,0,0,0,0,0,
94 1172/
95 DATA(RN70P(IX),IX=1,12)/749,1798,6892,4045,1199,150,0,0,0,0,0,
96 1150/
97 DATA(RN90P(IX),IX=1,12)/986,2067,7923,4650,1378,172,0,0,0,0,0,
98 1172/

```

```

  99
100 C   PATRON HISTORICO DE LA DEMANDA NORMAL
101
102     DATA(ID(IX),IX=1,12)/EB5,575,555,536,624,702,907,1122,1171,
103     11122,1063,800/
104
105 C   TASAS HISTORICAS DE EVAPORACION
106
107     DATA(XLR(IX),IX=1,12)/0,0,0,0,0.01,0.01,0.02,0.02,0.02,0.02,
108     10.01,0.01/
109
110 C   POSIBLES CANTIDADES DE IMPORTACION DE AGUA DEL NORTE DE MARIN
111
112     DATA(IT(IX),IX=1,12)/200.0,248.0,240.0,140.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
113     10.0,0.0,140.0,140.0/
114
115 C   REQUISITOS DE DERRAMES DE AGUA EN EL RIO LASUNITAS
116
117     DATA(RLS(IX),IX=1,12)/0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,39.0,59.0,
118     159.0,59.0,59.0/
119
120
121 C   MES INICIAL Y FINAL, Y TIPO DE AÑO DE LLUVIA
122
123     READ(5,225)K00,K1K,IRAIN
124     225 FORMAT(3I5)
125
126     KING=K1K+1
127
128     DO 10 K1I=K00,K1K
129     I(K1I)=IT(K1I)
130     S(K1I)=RLS(K1I)
131     10 CONTINUE
132
133 C   ESCOJA LA TRAYECTORIA NOMINAL DE ACUERDO AL AÑO DE LLUVIA
134
135     GO TO(20,40,60,80,100),IRAIN
136
137     20 CONTINUE
138     DO 30 K1I=K00,K1K
139     VB(K1I)=VB1OP(K1I)
140     VA(K1I)=VA1OP(K1I)
141     VK(K1I)=VK1OP(K1I)
142     VN(K1I)=VN1OP(K1I)
143     IF (K1I.EQ.KING) GO TO 120
144     RB(K1I)=RB1OP(K1I)
145     RA(K1I)=RA1OP(K1I)
146     RK(K1I)=RK1OP(K1I)
147     30 RN(K1I)=RN1OP(K1I)

```



```
148
149 40 CONTINUE
150   DO 50 KII=K00,KING
151   VB(KII)=VB30P(KII)
152   VA(KII)=VA30P(KII)
153   VK(KII)=VK30P(KII)
154   VN(KII)=VN30P(KII)
155   IF(KII.EQ.KING) GO TO 120
156   RB(KII)=RB30P(KII)
157   RA(KII)=RA30P(KII)
158   RK(KII)=RK30P(KII)
159 50 RN(KII)=RN30P(KII)
160
161 60 CONTINUE
162   DO 70 KII=K00,KING
163   VB(KII)=VB50P(KII)
164   VA(KII)=VA50P(KII)
165   VK(KII)=VK50P(KII)
166   VN(KII)=VN50P(KII)
167   IF(KII.EQ.KING) GO TO 120
168   RB(KII)=RB50P(KII)
169   RA(KII)=RA50P(KII)
170   RK(KII)=RK50P(KII)
171 70 RN(KII)=RN50P(KII)
172
173 80 CONTINUE
174   DO 90 KII=K00,KING
175   VB(KII)=VB70P(KII)
176   VA(KII)=VA70P(KII)
177   VK(KII)=VK70P(KII)
178   VN(KII)=VN70P(KII)
179   IF(KII.EQ.KING) GO TO 120
180   RB(KII)=RB70P(KII)
181   RA(KII)=RA70P(KII)
182   RK(KII)=RK70P(KII)
183 90 RN(KII)=RN70P(KII)
184
185 100 CONTINUE
186   DO 110 KII=K00,KING
187   VB(KII)=VB90P(KII)
188   VA(KII)=VA90P(KII)
189   VK(KII)=VK90P(KII)
190   VN(KII)=VN90P(KII)
191   IF(KII.EQ.KING) GO TO 120
192   RB(KII)=RB90P(KII)
193   RA(KII)=RA90P(KII)
194   RK(KII)=RK90P(KII)
195 110 RN(KII)=RN90P(KII)
196
```

```

197 C   POLITICA DE CONSUMO DE AGUA
198
199   120 READ(5,130)PERCON
200   130 FORMAT(F4.2)
201
202 C   VOLUMENES INICIALES Y FINALES DESEADOS
203
204   READ(5,140)VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,VKE,VNS,VNE
205   140 FORMAT(2F10.1)
206
207 C   ESCRIBA LA DESCRIPCION INICIAL Y FINAL DE LOS VOLUMENES
208 C   DE AGUA, TIPO DE AÑO DE AGUA Y POLITICA DE CONSUMO
209
210   60 TO (505,515,525,535,545),1RAIN
211   505 WRITE(6,510)
212   510 FORMAT(1H1////////12X,21HTIPO DE AÑO: MUY SECO/)
213   60 TO 600
214   515 WRITE(6,520)
215   520 FORMAT(1H1////////19X,17HTIPO DE AÑO: SECO/)
216   60 TO 600
217   525 WRITE(6,530)
218   530 FORMAT(1H1////////19X,31HTIPO DE AÑO: ABAJO DE LO NORMAL/)
219   60 TO 600
220   535 WRITE(6,540)
221   540 FORMAT(1H1////////19X,26HTIPO DE AÑO: NORMAL (MOJADO)/)
222   60 TO 600
223   545 WRITE(6,550)
224   550 FORMAT(1H1////////19X,23HTIPO DE AÑO: MUY MOJADO/)
225
226   600 VTI = VBS + VAS + VKS + VNS
227   VTF = VBE + VAE + VKE + VNE
228   WRITE(6,500)XMS(K00),XMS(K1KE),VTI,VTF,VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,
229   1VKE,VNS,VNE,PERCON
230   500 FORMAT(19X,13HMS INICIAL: ,A10//19X,13HMS FINAL: ,A10////19X,
231   124HALMACENAJE TOTAL DE AGUA//19X,
232   135HVOLUMEN INICIAL: ,F10.1//19X,
233   135HVOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: ,F10.1////19X,
234   19HBON TEMPE//19X,
235   135HVOLUMEN INICIAL: ,F10.1//19X,
236   135HVOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: ,F10.1////19X,
237   16HALPINE//19X,
238   135HVOLUMEN INICIAL: ,F10.1//19X,
239   135HVOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: ,F10.1////19X,
240   14HKENT//19X,
241   135HVOLUMEN INICIAL: ,F10.1//19X,
242   135HVOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: ,F10.1////19X,
243   17HNICASIO//19X,
244   135HVOLUMEN INICIAL: ,F10.1//19X,
245   135HVOLUMEN MINIMO FINAL DESEADO: ,F10.1////19X,

```

```

246 134HPOLITICA DE RACIONAMIENTO DE AGUA://19X,
247 1F4.2,19K DEL CONSUMO NORMAL///)
248
249 C BALANCEE LA TRAYECTORIA NOMINAL DE ACUERDO A LOS VOLUMENES
250 C INICIALES
251
252 IF(VBS.6E.VB(K00))60 TO 280
253 DVBSR=VB(K00)-VBS
254 DO 270 LECH=K00,K1KE
255 IF(IRAIN.6T.2)VBC=VB(LECH+1)-DVBSR/(FLOAT(LECH)/12.0+11.0/12.0)
256 IF(IRAIN.LE.2)VBC=VB(LECH+1)-DVBSR
257 IF(VBC.LT.486.0)VBC=486.0
258 270 VB(LECH+1)=VBC
259 280 VB(K00)=VBS
260 VB(K1KE+1)=VBE
261
262 IF(VAS.6E.VA(K00))60 TO 300
263 DVASR=VA(K00)-VAS
264 DO 290 LECH=K00,K1KE
265 IF(IRAIN.6T.2)VAC=VA(LECH+1)-DVASR/(FLOAT(LECH)/12.0+11.0/12.0)
266 IF(IRAIN.LE.2)VAC=VA(LECH+1)-DVASR
267 IF(VAC.LT.950.0)VAC=950.0
268 290 VA(LECH+1)=VAC
269 300 VA(K00)=VAS
270 VA(K1KE+1)=VAE
271
272 IF(VKS.6E.VK(K00))60 TO 260
273 DVKSR=VK(K00)-VKS
274 DO 250 LECH=K00,K1KE
275 IF(IRAIN.6T.2)VKC=VK(LECH+1)-DVKSR/(FLOAT(LECH)/12.0+11.0/12.0)
276 IF(IRAIN.LE.2)VKC=VK(LECH+1)-DVKSR
277 IF(VKC.LE.2770.0)VA(LECH+1)=VA(LECH+1)-235.0
278 IF(VA(LECH+1).LT.0.0)VA(LECH+1)=0.0
279 IF(VKC.LT.0.0)VKC=0.0
280 250 VK(LECH+1)=VKC
281 260 VK(K00)=VKS
282 VK(K1KE+1)=VKE
283
284 IF(VNS.6E.VN(K00))60 TO 320
285 DVNSR=VN(K00)-VNS
286 DO 310 LECH=K00,K1KE
287 IF(IRAIN.6T.2)VNC=VN(LECH+1)-DVNSR/(FLOAT(LECH)/12.0+11.0/12.0)
288 IF(IRAIN.LE.2)VNC=VN(LECH+1)-DVNSR
289 IF(VNC.LT.0.0)VNC=0.0
290 310 VN(LECH+1)=VNC
291 320 VN(K00)=VNS
292 VN(K1KE+1)=VNE
293
294 DO 130 KLM=K00,K1KE

```

```
295      LR(KLM)=XLR(KLM)
296
297 C      CALCULACION DEL PATRON DE DEMANDA DE ACUERDO AL AÑO DE AGUA
298
299      130 D(KLM)=XD(KLM)*PERCON
300
301      RETURN
302      END
```

```

1      SUBROUTINE LAG01(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA OPTIMIZA SOBRE EL LAGO BON TEMPE CON
4      C      PUNTOS INICIAL Y FINAL FIJOS
5
6      REAL LR,LRW,I,IM
7
8      COMMON VA(13),VB(13),VK(13),VN(13),D(12),LR(12),RB(12),RA(12),
9      IRK(12),RN(12),I(12),S(12)
10     COMMON/ENDPTS/VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,VKE,VNS,VNE
11     COMMON/BLOC3/K
12     COMMON/BLOC5/L2
13     COMMON/BLOC6/L1
14     COMMON/BLOC8/ACCC(13)
15     COMMON/BLOC11/KIKE,KOO
16     COMMON/BLOC12/VOLFXD
17     COMMON/BLOC15/DELTA,SBT
18     COMMON/BLOC17/VB1,VB2,VA1,VA2,VK1,VK2,VN1,VN2,RBW,RAW,RKW,RNW,
19     IDW,IM,LRW,SR
20     COMMON/BLOC18/N1,N2,N3
21     COMMON/BLOC23/J
22     COMMON/BLOC24/COST
23
24     DIMENSION OPTIMO(NY1,63),VECTOR(NY2,NB,63)
25
26     DATA VBMAX,VBMIN,VAMAX,VAMIN,VKMAX,VKMIN,VNMAX,VNMIN
27     1/1400.0,486.0,2897.0,950.0,10719.0,0.0,7309.0,0.0/
28
29
30     C      OPTIMIZACION SOBRE EL LAGO BON TEMPE
31
32
33     DIVUP=VBMAX-FLOAT(NB-1)/2.*SBT
34     DIVDN=VBMIN+FLOAT(NB-1)/2.*SBT
35     VOLIMI=VBS
36     VOLIMA=VBE
37
38     29 VECTOR(1,1,36)=0.0
39
40     VB1=VBS
41     VA1=VAS
42     VK1=VKS
43     VN1=VNS
44     DO 162 K=KOO,KIKE
45     J=K+1-KOO
46
47     VK2=VK(K+1)
48     VA2=VA(K+1)
49     VN2=VN(K+1)

```

```
50      VB2=VB(K+1)
51      IF(K.EQ.KIKE)VB2=VBE
52      IF(K.EQ.KIKE)VA2=VAE
53      IF(K.EQ.KIKE)VK2=VKE
54      IF(K.EQ.KIKE)VN2=VNE
55
56      LRW=LR(K)
57      RBW=RB(K)
58      RAW=RA(K)
59      RKW=RK(K)
60      RNW=RN(K)
61      DW=D(K)
62      IW=I(K)
63      SR=S(K)
64
65 C     DETERMINE LA FRANJA DE OPTIMIZACION PARA LA ETAPA K
66
67      IF(VB2.GE.DIVUP)VOL2MA=VBMAX
68      IF(VB2.GE.DIVUP)VOL2MI=VBMAX-FLOAT(NB-1)*$BT
69      IF(VB2.LE.DIVDN)VOL2MA=VBMIN+FLOAT(NB-1)*$BT
70      IF(VB2.LE.DIVDN)VOL2MI=VBMIN
71      IF(VB2.LT.DIVUP.AND.VB2.GT.DIVDN)
72      IVOL2MA=VB2+FLOAT(NB-1)/2.*$BT
73      IF(VB2.LT.DIVUP.AND.VB2.GT.DIVDN)
74      IVOL2MI=VB2-FLOAT(NB-1)/2.*$BT
75      IF(VOL2MI.LT.VBMIN)VOL2MI=VBMIN
76      VB2 = VOL2MA
77      IF(K.EQ.KIKE)VB2=VB(KIKE+1)
78      IF(K.EQ.KIKE)VOL2MI= VB(KIKE+1)
79      NB2=NB
80      IF(K.EQ.KIKE)NB2=1
81
82      DO 5 L1=1,NB2
83      5 VECTOR(J+1,L1,36)=8.888E10
84
85 C     INICIO DEL CICLO EXTERNO PARA LOS DIFERENTES ESTADOS DE LA
86 C     ETAPA HACIA ADELANTE
87
88      DO 160 L1=1,NB2.
89
90      VB1=VOL1MA
91      NB1=NB
92      IF(K.EQ.X00)NB1=1
93      IF(K.EQ.X00)VB1=VB(X00)
94
95 C     INICIO DEL CICLO INTERNO PARA LOS DIFERENTES ESTADOS DE LA ETAPA
96 C     PREVIA
97
98      DO 130 L2=1,NB1
```

```
99
100 CALL COBR(VECTOR,NY2,N9)
101
102 IF(K.EQ.K00)GO TO 130
103 IF(VB1 .LE. VOL1M)GO TO 135
104 IF(VB1 .LE. VBMIN)GO TO 135
105
106 128 VB1=VB1-SBT
107 IF(VB1 .LT. VOL1M) VB1=VOL1M
108 IF(VB1 .LT. VBMIN)VB1=VBMIN
109
110 130 CONTINUE
111
112 C FIN DEL CICLO INTERNO
113
114 135 CONTINUE
115
116 IF(K.EQ.K1K)GO TO 162
117 IF(VB2 .LE. VOL2M)GO TO 161
118 IF(VB2.LE.VBMIN)GO TO 161
119
120 158 VB2=VB2-SBT
121 IF(VB2 .LT. VOL2M) VB2=VOL2M
122 IF(VB2 .LT. VBMIN) VB2=VBMIN
123
124 160 CONTINUE
125
126 C FIN DEL CICLO EXTERNO
127
128 161 CONTINUE
129
130 VK1=VK2
131 VA1=VA2
132 VN1=VN2
133 VOL1A=VOL2MA
134 VOL1M=VOL2M
135
136 162 CONTINUE
137
138 IF(VECTOR(NY2,1,36).GE.COST)GO TO 200
139
140 C UPDATE TO NEW OPTIMAL SOLUTION
141
142 CALL OPTSOL(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,N9)
143
144 200 CONTINUE
145 RETURN
146 END
```

```

1      SUBROUTINE LAG02(OPTIMO, VECTOR, NY1, NY2, NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA OPTIMIZA SOBRE EL LA60 ALPINE CON PUNTOS
4      C      INICIAL Y FINAL FIJOS
5
6      REAL LR, LRW, I, IW
7
8      COMMON VA(13), VB(13), VK(13), VN(13), D(12), LR(12), RB(12), RA(12),
9      1FK(12), RN(12), I(12), S(12)
10     COMMON/ENDPTS/VBS, VBE, VAS, VAE, VKS, VKE, VNS, VNE
11     COMMON/BLOC3/K
12     COMMON/BLOC5/L2
13     COMMON/BLOC6/L1
14     COMMON/BLOC8/ACCD(13)
15     C      COMMON/BLOC10/NB
16     COMMON/BLOC11/KIKE, K00
17     COMMON/BLOC12/VOLFXD
18     COMMON/BLOC15/DELTA, SBT
19     COMMON/BLOC17/VB1, VB2, VAI, VA2, VK1, VK2, VN1, VN2, RBW, RAW, RKW, RNW,
20     1DW, IW, LRW, SR
21     COMMON/BLOC18/N1, N2, N3
22     COMMON/BLOC23/J
23     COMMON/BLOC24/COST
24
25     DIMENSION OPTIMO(NY1, 63), VECTOR(NY2, NB, 63)
26
27     DATA VBMAX, VBMIN, VAMAX, VAMIN, VKMAX, VKMIN, VNMAX, VNMIN
28     1/1400.0, 486.0, 2897.0, 950.0, 10719.0, 0.0, 7309.0, 0.0/
29
30
31     C      OPTIMIZACION SOBRE EL LA60 ALPINE
32
33     DIVUP=VAMAX-FLOAT(NB-1)/2.*SBT
34     DIVDN=VAMIN+FLOAT(NB-1)/2.*SBT
35     VOLIMI=VAS
36     VOLIMA=VAS
37
38     29 VECTOR(1,1,36)=0.0
39
40     VB1=VBS
41     VAI=VAS
42     VK1=VKS
43     VN1=VNS
44     DO 1&2 K=K00, KIKE
45     J=K+1-K00
46
47     VK2=VK(K+1)
48     VA2=VA(K+1)
49     VN2=VN(K+1)

```



```
50      VB2=VB(K+1)
51      IF(K.EQ.KIKE)VB2=VBE
52      IF(K.EQ.KIKE)VA2=VAE
53      IF(K.EQ.KIKE)VK2=VKE
54      IF(K.EQ.KIKE)VN2=VNE
55
56      LRW=LR(K)
57      RNW=RB(K)
58      RAW=RA(K)
59      RKW=RK(K)
60      RNW=RN(K)
61      DW=D(K)
62      IW=I(K)
63      SW=S(K)
64
65 C     ESPECIFIQUE LA FRANJA DE OPTIMIZACION EN LA ETAPA K
66
67      IF(VA2.GE.DIVUP)VOL2MA=VAMAX
68      IF(VA2.GE.DIVUP)VOL2MI=VAMAX-FLOAT(NB-1)*SBT
69      IF(VA2.LE.DIVDN)VOL2MA=VAMIN+FLOAT(NB-1)*SBT
70      IF(VA2.LE.DIVDN)VOL2MI=VAMIN
71      IF(VA2.LT.DIVUP.AND.VA2.GT.DIVDN)
72      1VOL2MA=VA2+FLOAT(NB-1)/2.*SBT
73      IF(VA2.LT.DIVUP.AND.VA2.GT.DIVDN)
74      1VOL2MI=VA2-FLOAT(NB-1)/2.*SBT
75      IF(VOL2MI.LT.VAMIN)VOL2MI=VAMIN
76      VA2 = VOL2MA
77      IF(K.EQ.KIKE)VA2=VA(KIKE+1)
78      IF(K.EQ.KIKE)VOL2MI= VA(KIKE+1)
79      NB2=NB
80      IF(K.EQ.KIKE)NB2=1
81
82 C     INICIO DEL CICLO EXTERNO PARA LOS DIFERENTES ESTADOS DE LA ETAPA
83 C     HACIA ADELANTE
84
85      DO 5 L1=1,NB2
86 5 VECTOR(J+1,L1,36)=8.888E18
87
88
89      DO 160 L1=1,NB2
90
91      VA1=VOL1MA
92      NB1=NB
93      IF(K.EQ.K00)NB1=1
94      IF(K.EQ.K00)VA1=VA(K00)
95
96 C     INICIO DEL CICLO INTERNO PARA LOS DIFERENTES ESTADOS DE LA ETAPA
97 C     PREVIA
98
```

```
99      DO 130 L2=1,NB1
100     CALL COGR(VECTOR,NY2,NB)
101
102     IF(K.EQ.X00)GO TO 130
103     IF(VA1.LE.VAMIN)GO TO 132
104     IF(VA1 .LE. VOL1M1)GO TO 132
105
106     128 VA1=VA1-SBT
107     IF(VA1 .LT. VOL1M1) VA1=VOL1M1
108     IF(VA1 .LT. VAMIN)VA1=VAMIN
109
110     130 CONTINUE
111
112 C     FIN DEL CICLO INTERNO
113
114     132 CONTINUE
115
116     IF(K.EQ.K1KE)GO TO 162
117     IF(VA2.LE.VAMIN)GO TO 161
118     IF(VA2 .LE. VOL2M1)GO TO 161
119
120     158 VA2=VA2-SBT
121     IF(VA2 .LT. VOL2M1) VA2=VOL2M1
122     IF(VA2 .LT. VAMIN)VA2=VAMIN
123
124     160 CONTINUE
125
126 C     FIN DEL CICLO EXTERNO
127
128     161 CONTINUE
129
130     VK1=VK2
131     VB1=VB2
132     VN1=VN2
133     VOL1M1=VOL2M1
134     VOL1M1=VOL2M1
135
136     162 CONTINUE
137
138     IF(VECTOR(NY2,1,36).GE.COST)GO TO 200
139
140 C     UPDATE TO NEW OPTIMAL SOLUTION
141
142     CALL OPTSOL(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
143
144     200 CONTINUE
145
146     RETURN
147     END
```

```
1      SUBROUTINE LAG03(OPTIMO, VECTOR, NY1, NY2, NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA OPTIMIZA SOBRE EL LAGO KENT CON PUNTOS
4      C      INICIAL Y FINAL FIJOS
5
6      REAL LR,LRM,I, IW
7
8      COMMON VA(13),VB(13),VK(13),VN(13),D(12),LR(12),RB(12),RA(12),
9      IRK(12),RM(12),I(12),S(12)
10     COMMON/ENDPTS/VBS,VBE,VAS,VAE,VKS,VKE,VNS,VNE
11     COMMON/BLOC3/K
12     COMMON/BLOC5/L2
13     COMMON/BLOC6/L1
14     COMMON/BLOC8/ACCC(13)
15     COMMON/BLOC11/KIKE,KOO
16     COMMON/BLOC12/VOLFI
17     COMMON/BLOC15/DELTA, SBT
18     COMMON/BLOC17/VB1,VB2,VA1,VA2,VK1,VK2,VN1,VN2,RBM,RAW,EKM,RNW,
19     IDW,IW,LRM,SR
20     COMMON/BLOC18/N1,N2,N3
21     COMMON/BLOC23/J
22     COMMON/BLOC24/COST
23
24     DIMENSION OPTIMO(NY1,63),VECTOR(NY2,NB,63)
25
26     DATA VBMAX,VBMIN,VAMAX,VAMIN,VKMAX,VKMIN,VNMAX,VNMIN
27     /1/1400.0,496.0,2897.0,950.0,10719.0,0.0,7309.0,0.0/
28
29     C      OPTIMIZACION SOBRE EL LAGO KENT
30
31     DIVUP=VKMAX-FLOAT(NB-1)/2.*SBT
32     DIVDN=VKMIN+FLOAT(NB-1)/2.*SBT
33     VOLIMI=VKS
34     VOLIMA=VKS
35
36     29 VECTOR(1,1,36)=0.0
37
38     VA1=VAS
39     VB1=VBS
40     VK1=VKS
41     VN1=VNS
42
43     DO 162 K=KOO,KIKE
44     J=K+1-KOO
45
46     VK2=VK(K+1)
47     VA2=VA(K+1)
48     VN2=VN(K+1)
49     VB2=VB(K+1)
```

```

50      IF(K.EQ.KIKE)VK2=VKE
51      IF(K.EQ.KIKE)VA2=VAE
52      IF(K.EQ.KIKE)VN2=VNE
53      IF(K.EQ.KIKE)VB2=VBE
54
55      LRW=LR(K)
56      RBW=RB(K)
57      RAW=RA(K)
58      RKN=RK(K)
59      RNW=RN(K)
60      DW=D(K)
61      IW=I(K)
62      SR=S(K)
63
64 C      ESPECIFICACION DE LA FRANJA PARA LA ETAPA K
65
66      IF(VK2.GE.DIVUP)VOL2MA=VKMAX
67      IF(VK2.GE.DIVUP)VOL2MI=VKMAX-FLOAT(NB-1)*$BT
68      IF(VK2.LE.DIVDN)VOL2MA=VKMIN+FLOAT(NB-1)*$BT
69      IF(VK2.LE.DIVDN)VOL2MI=VKMIN
70      IF(VK2.LT.DIVUP.AND.VK2.GT.DIVDN)
71      1VOL2MA=VK2+FLOAT(NB-1)/2.*$BT
72      IF(VK2.LT.DIVUP.AND.VK2.GT.DIVDN)
73      1VOL2MI=VK2-FLOAT(NB-1)/2.*$BT
74      IF(VOL2MI.LT.VKMIN)VOL2MI=VKMIN
75      VK2 = VOL2MA
76      IF(K.EQ.KIKE)VK2=VK(KIKE+1)
77      IF(K.EQ.KIKE)VOL2MI= VK(KIKE+1)
78      NB2=NB
79      IF(K.EQ.KIKE)NB2=1
80
81 C      INICIO DEL CICLO EXTERNO PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE LA
82 C      ETAPA HACIA ADELANTE
83
84      DO 5 L1=1,NB2
85      5 VECTOR(J+1,L1,36)=8.988E18
86
87      DO 160 L1=1,NB2
88
89      VK1=VOL1MA
90      NB1=NB
91      IF(K.EQ.K00)NB1=1
92      IF(K.EQ.K00)VK1=VK(K00)
93
94 C      INICIO DEL CICLO INTERNO PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE LA
95 C      ETAPA PREVIA
96
97      DO 130 L2=1,NB1
98

```

```
99      CALL COOR(VECTOR,NY2,NB)
100
101      IF(K.EQ.KCO)GO TO 130
102      IF(VK1 .LE. VOL1MI)GO TO 132
103      IF(VK1.LE.VKMIN)GO TO 132
104
105      128 VK1=VK1-SBT
106      IF(VK1 .LT. VOL1MI) VK1=VOL1MI
107      IF(VK1 .LT. VKMIN)VK1=VKMIN
108
109      130 CONTINUE
110
111 C      FIN DEL CICLO INTERNO
112
113      132 CONTINUE
114
115      IF(K.EQ.KIKE)GO TO 162
116      IF(VK2.LE.VKMIN)GO TO 161
117      IF(VK2 .LE. VOL2MI)GO TO 161
118
119      158 VK2=VK2-SBT
120      IF(VK2 .LT. VOL2MI) VK2=VOL2MI
121      IF(VK2 .LT. VKMIN)VK2=VKMIN
122
123      160 CONTINUE
124
125 C      FIN DEL CICLO EXTERNO
126
127      161 CONTINUE
128
129      VA1=VA2
130      VB1=VB2
131      VN1=VN2
132      VOL1MA=VOL2MA
133      VOL1MI=VOL2MI
134
135      162 CONTINUE
136
137      IF(VECTOR(NY2,1,36).GE.COST)GO TO 200
138
139 C      UPDATE TO NEW OPTIMAL SOLUTION
140
141      CALL OPTSOL(OPTIMO,VECTOR,NY1,NY2,NB)
142
143      200 CONTINUE
144
145      RETURN
146      END
```

```

1      SUBROUTINE COOR(VECTOR,NY2,NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA COORDINA LAS DIFERENTES POSIBILIDADES DE
4      C      COORDINACION DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE AGUA, DETERMINA
5      C      LAS TRANSFERENCIAS DE AGUA ENTRE LAS PRESAS, Y LOS DERRAMES
6      C      DE AGUA
7
8      REAL LB1, IT, LA1, LK1, LM1, LRW, IW
9
10     COMMON/ENDPTS/VBS, VBE, VAS, VAE, VKS, VKE, VMS, VNE
11     COMMON/BLOC1/PAB, PKA, TSG, CH, IT, COSTO, CK, PNK, TBT
12     COMMON/BLOC3/K
13     COMMON/BLOC4/COSTA
14     COMMON/BLOC5/L2
15     COMMON/BLOC6/L1
16     COMMON/BLOC9/ACCC(13)
17     COMMON/BLOC9/LB1, LA1, LK1, LX1, SB, SA, SK, SN, ST
18     COMMON/BLOC11/KIKE, KOO
19     COMMON/BLOC15/DELTA, SBT
20     COMMON/BLOC17/VB1, VB2, VA1, VA2, VK1, VK2, VN1, VN2, RBW, RAW, RKM, RHW,
21     LDW, IW, LRW, SR
22     COMMON/BLOC18/N1, N2, N3
23     COMMON/BLOC19/UCAB, UCKA, UCIT, UCT, UCL, UCS6, UCSML, UCHAP, UCHL
24     COMMON/BLOC20/CABPS, CKAPS, CITPS, CTPS, CLPS, CSGPS, CSMLPS, CCHAP, CHL
25     COMMON/BLOC21/TPS, XLP5, SGPS, SMLPS
26     COMMON/BLOC22/QSNL, QSHLP, QCHAP, QPSPG, QHL
27     COMMON/BLOC23/J
28     COMMON/BLOC25/NDAY
29
30     DIMENSION VECTOR(NY2, NB, 63)
31
32     DATA PABMXD, PKAMXD, PNKMXD, PBTHXD, PSEMXD
33     1/14.5, 7.5, 20.5, 14.7, 29.0/
34     DATA VSMAX, VBMIN, VAMAX, VAMIN, VKMAX, VKMIN, VNMAX, VNMIN
35     1/1400.0, 486.0, 2897.0, 950.0, 10719.0, 0.0, 7309.0, 0.0/
36
37     NDAY=31
38     IF (K.EQ.4) NDAY=29
39     IF (K.EQ.6) NDAY=30
40     IF (K.EQ.8) NDAY=30
41     IF (K.EQ.11) NDAY=30
42     IF (K.EQ.1) NDAY=30
43
44     PABMAX=FLOAT(NDAY) * PABMXD
45     PKAMAX=FLOAT(NDAY) * PKAMXD
46     PNKMAX=FLOAT(NDAY) * PNKMXD
47     PBTHMAX=FLOAT(NDAY) * PBTHXD
48     PSEMAX=FLOAT(NDAY) * PSEMXD
49

```

```
50 IF(K.EQ.KIKE)VB2=VBE
51 IF(K.EQ.KIKE)VA2=VAE
52 IF(K.EQ.KIKE)VK2=VKE
53 IF(K.EQ.KIKE)VN2=VNE
54
55 IF(K.EQ.K00)VB1=VBS
56 IF(K.EQ.K00)VA1=VAS
57 IF(K.EQ.K00)VK1=VKS
58 IF(K.EQ.K00)VN1=VNS
59
60 LA1=LRW*(VA1+VA2)*0.5
61 LK1=LRW*(VK1+VK2)*0.5
62 LN1=LRW*(VN1+VN2)*0.5
63 LB1=LRW*(VB1+VB2)*0.5
64
65 PSGC=PSGMAX+IW
66
67 PBT=PBTMAX
68 IF(DW.LT.PBTMAX)PBT=DW
69 TBT=DW*0.25
70
71 C COORDINACION DE LA PRODUCCION DE AGUA
72
73 20 PRI=1.0/FLOAT(N1)
74
75 DO 140 L3=1,N1
76
77 TBT=PRI*PBT*FLOAT(N1-L3+1)
78 IF(TBT.LT.TBTS)TBT=TBTS
79 OPBP6=TBT-TBTS
80 PSG=DW-TBT
81
82 IF(PS6.GT.PSGC)THEN
83 COSTA=8.887E18
84 GO TO 150
85 END IF
86
87 C BALANCE DE LA ECUACION DE DIFERENCIA PARA EL LAGO BON TEMPE
88
89 delVB=VB1-VB2+RBW-LB1-TBT
90
91 IF(delVB.GE.0.0)THEN
92 SB=delVB
93 PAB=0.0
94 END IF
95
96 IF(delVB.LT.0.0)THEN
97 SB=0.0
98 PAB=-delVB
```

```
99      END IF
100
101      IF (PAB.GT.0.0 .AND. (VA1.LT.VAMIN.AND.VA2.LT.VAMIN)) THEN
102          COSTA=8.887E18
103          GO TO 140
104      END IF
105
106      IF (PAB.GT.PABMAX) THEN
107          COSTA=8.887E18
108          GO TO 140
109      END IF
110
111  C    BALANCE DE LA ECUACION DE DIFERENCIA PARA EL LAGO ALPINE
112
113      delVA=VA1-VA2+RAM-LAI+S9-PAB
114
115      IF (delVA.GT.0.0) THEN
116          SA=delVA
117          PKA=0.0
118      END IF
119
120      IF (delVA.LE.0.0) THEN
121          SA=0.0
122          PKA=-delVA
123      END IF
124
125      IF (PKA.GT.0.0.AND. (VK1.LT.2770.0.AND.VK2.LT.2770.0)) THEN
126          COSTA=8.887E18
127          GO TO 140
128      END IF
129
130      IF (PKA.GT.PKAMAX) THEN
131          COSTA=8.887E18
132          GO TO 140
133      END IF
134
135
136      DO N2A=N2
137
138          IF (IW.LT.0.1) N2A=1
139
140          PR2=1.0/FLOAT(N2A)
141
142          DO 130 L4=1,N2A
143
144              TSG=PR2*PS6*FLOAT(N2A-L4+1)
145              IT=PS6-TSG
146              IF (IT.LE.0.1) IT=0.0
147
```



```
148     IF(IT.GT.IM)THEN
149     COSTA=8.387E19
150     GO TO 140
151     END IF
152
153
154     PR3=1.0/FLOAT(N3)
155
156     DO 120 L5=1,N3
157
158     CK=PR3*TS6*FLOAT(N3-L5+1)
159     CN=TS6-CK
160
161 C    BALANCE DE LA ECUACION DE DIFERENCIA PARA EL LAGO KENT
162
163     de1VK=VK1-VK2+RKW-LK1+SA-PKA-CK
164
165     IF(de1VK.GE.0.0)THEN
166     SK=de1VK
167     PNK=0.0
168     END IF
169
170     IF(de1VK.LT.0.0)THEN
171     SK=0.0
172     PNK=-de1VK
173     END IF
174
175     IF(PNK.GT.0.0.AND.(VN1.LT.VNMIN.AND.VN2.LT.VNMIN))THEN
176     COSTA=8.897E18
177     GO TO 120
178     END IF
179
180     IF(PNK.GT.PNKMAX)THEN
181     COSTA=8.887E18
182     GO TO 120
183     END IF
184
185     IF(SK.GT.CN)GO TO 340
186     CN=CN-SK
187     CK=CK+SK
188     SK=0.0
189     GO TO 350
190
191 340 SK=SK-CN
192     CK=CK+CN
193     CN=0.0
194
195 350 CONTINUE
196
```

```
197 C    BALANCE DE LA ECUACION DE DIFERENCIA PARA EL LAGO NICACIO
198
199    100 SN=VN1-VN2+RNW-LN1-CN-PNK
200      IF(SN.GE.O.O.AND.VN2.GE.VNMAX)GO TO 240
201      VN2=VN2+SN
202      IF(VN2.GT.VNMAX)GO TO 236
203      SN=0.0
204      GO TO 240
205
206    236 SN=VN2-VNMAX
207      VN2=VNMAX
208
209    240 ST=SK+SN
210      IF(ST.GE.SR)GO TO 250
211      DS=SR-ST
212      ST=SR
213      SN=SN+DS
214      VN2=VN2-DS
215    250 CONTINUE
216
217      IF(PNK.GE.CK.AND.CK.GT.O.0)GO TO 300
218      IF(CK.GT.PNK.AND.PNK.GT.O.0)GO TO 310
219      GO TO 320
220
221    300 PNK=PNK-CK
222      CN=CN+CK
223      CK=0.0
224      GO TO 320
225
226    310 CK=CK-PNK
227      CN=CN+PNK
228      PNK=0.0
229    320 CONTINUE
230
231 C    DETERMINE EL PRECIO MENOR DE OPERACION
232
233      CALL PRICE(VECTOR,NY2,NB)
234
235      IF(VECTOR(J+1,L1,36).LT.COSTA)GO TO 120
236
237 C    UPDATE PARAMETERS
238
239      CALL UPDATE(VECTOR,NY2,NB)
240
241    120 CONTINUE
242
243    130 CONTINUE
244
245      IF(TBT.LE.TBTS)GO TO 150
```

246  
247 140 CONTINUE  
248  
249 150 CONTINUE  
250  
251 RETURN  
252 END

```

1      SUBROUTINE FRICE(VECTOR,NY2,NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA DETERMINA EL PRECIO MAS BAJO DE OPERACION PARA
4      C      UNA ETAPA DADA
5
6      REAL IT,ITD
7
8      COMMON/BLOC1/PAB,PKA,TSG,CN,IT,COSTO,CK,PNK,TST
9      COMMON/BLOC3/K
10     COMMON/BLOC4/COSTA
11     COMMON/BLOC5/L2
12     COMMON/BLOC19/UCAB,UCA,UCIT,UCT,UCL,UCSG,UCSML,UCHAP,UCHL
13     COMMON/BLOC20/CABPS,CKAPS,CITPS,CTPS,CLPS,CSGPS,CSMLPS,CCHAP,CHL
14     COMMON/BLOC21/TPS,XLPS,S6PS,SMLPS
15     COMMON/BLOC22/QSML6,BSMLP,GCHAP,GF8FS,DHL
16     COMMON/BLOC23/J
17     COMMON/BLOC25/NDAY
18
19     DIMENSION VECTOR(NY2,NB,63)
20
21     DATA TPS0,TPS1,TPS2,TPS3,TPS4,TPS5,TPS6,TPS7,TPS8,TPS9,TPS10
22     1/4H 0,4H 1,4H 4,4H 1+4,4H 3+4,4H 123,4H 234,4H 1-4,
23     24H2345,4H 2-6,4H 1-6/
24     DATA XLPS0,XLPS1,XLPS2,XLPS3,XLPS4,XLPS5,XLPS6,XLPS7
25     1/4H 0,4H 3,4H 1+3,4H 3+4,4H1345,4H 7,4H 347,4H 7+8/
26     DATA S6PS0,S6PS1,S6PS2,S6PS3,S6PS4,S6PS5,S6PS6
27     1/4H 0,4H 3,4H 5+6,4H 456,4H 1-4,4H 1-5,4H 1-6/
28     DATA SMLPS1,SMLPS2/4H 0,4H 2/
29
30
31     C      DETERMINE LOS REQUISITOS DE BOMBEO DIARIO
32
33     TBTS=TBT-8P8P6
34     CND=(CN+PNK)/FLOAT(NDAY)
35     IF(CND.GT.20.5)GO TO 50
36     TSGD=TSG/FLOAT(NDAY)
37     IF(TSGD.GT.29.0)GO TO 50
38     TBTS0=TBTS/FLOAT(NDAY)
39     IF(TBTS0.GT.14.7)GO TO 50
40     TABD=PAB/FLOAT(NDAY)
41     IF(TABD.GT.14.5)GO TO 50
42     TKAD=PKA/FLOAT(NDAY)
43     IF(TKAD.GT.7.5)GO TO 50
44     ITD=IT/FLOAT(NDAY)
45     IF(ITD.GT.8.0)GO TO 50
46
47     C      COORDINACION Y ASIGNACION DE COSTOS MINIMOS PARA EL SISTEMA
48     C      DE BOMBEO TOCALOMA
49

```

50 UCT=0.0  
 51 CTPS=550.0  
 52 TPS=TPS0  
 53 IF(CND.LE.0.001)GO TO 4  
 54 IF(0.001.LE.CND.AND.CND.LE.3.5)UCT=42.0  
 55 IF(0.001.LE.CND.AND.CND.LE.3.5)TPS=TPS1  
 56 IF(0.001.LE.CND.AND.CND.LE.3.5)GO TO 2  
 57 IF(3.5.LE.CND.AND.CND.LE.6.3)UCT=51.00  
 58 IF(3.5.LE.CND.AND.CND.LE.6.3)TPS=TPS2  
 59 IF(3.5.LE.CND.AND.CND.LE.6.3)GO TO 2  
 60 IF(6.3.LE.CND.AND.CND.LE.9.9)UCT=57.00  
 61 IF(6.3.LE.CND.AND.CND.LE.9.9)TPS=TPS3  
 62 IF(6.3.LE.CND.AND.CND.LE.9.9)GO TO 2  
 63 IF(9.9.LE.CND.AND.CND.LE.11.7)UCT=64.00  
 64 IF(9.9.LE.CND.AND.CND.LE.11.7)TPS=TPS4  
 65 IF(9.9.LE.CND.AND.CND.LE.11.7)GO TO 2  
 66 IF(11.7.LE.CND.AND.CND.LE.12.1)UCT=65.00  
 67 IF(11.7.LE.CND.AND.CND.LE.12.1)TPS=TPS5  
 68 IF(11.7.LE.CND.AND.CND.LE.12.1)GO TO 2  
 69 IF(12.1.LE.CND.AND.CND.LE.13.7)UCT=73.00  
 70 IF(12.1.LE.CND.AND.CND.LE.13.7)TPS=TPS6  
 71 IF(12.1.LE.CND.AND.CND.LE.13.7)TPS=GO TO 2  
 72 IF(13.7.LE.CND.AND.CND.LE.15.1)UCT=82.00  
 73 IF(13.7.LE.CND.AND.CND.LE.15.1)TPS=TPS7  
 74 IF(13.7.LE.CND.AND.CND.LE.15.1)GO TO 2  
 75 IF(15.1.LE.CND.AND.CND.LE.15.8)UCT=83.00  
 76 IF(15.1.LE.CND.AND.CND.LE.15.8)GO TO 2  
 77 IF(15.8.LE.CND.AND.CND.LE.18.3)UCT=93.00  
 78 IF(15.8.LE.CND.AND.CND.LE.18.3)TPS=TPS9  
 79 IF(15.8.LE.CND.AND.CND.LE.18.3)TPS=GO TO 2  
 80 TPS=110.00  
 81 TPS=TPS10  
 82 2 CTPS=UCT\*(CND+PNK)+CTPS  
 83 4 CONTINUE  
 84  
 85 C COORDINACION Y ASIGNACION DE COSTOS MINIMOS PARA EL SISTEMA  
 86 C DE BOMBEO LAGUNITAS  
 87  
 88 UCL=0.0  
 89 CLPS=550.0  
 90 XLPS=XLPS0  
 91 IF(TSGD.LE.0.001)GO TO 7  
 92 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.5)UCL=14.10  
 93 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.5)XLPS=XLPS1  
 94 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.5)GO TO 6  
 95 IF(6.6.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.9.9)UCL=17.00  
 96 IF(6.6.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.9.9)XLPS=XLPS2  
 97 IF(6.6.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.9.9)GO TO 6  
 98 IF(9.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.12.2)UCL=19.00

99 IF(9.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.12.2)XLPS=XLPS3  
 100 IF(7.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.12.2)GO TO 6  
 101 IF(12.2.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.15.5)UCL=26.00  
 102 IF(12.2.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.15.5)XLPS=XLPS4  
 103 IF(12.2.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.15.5)GO TO 5  
 104 IF(15.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.18.1)UCL=37.00  
 105 IF(15.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.18.1)XLPS=XLPS5  
 106 IF(15.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.18.1)GO TO 5  
 107 IF(18.1.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.20.0)UCL=48.00  
 108 IF(18.1.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.20.0)XLPS=XLPS6  
 109 IF(18.1.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.20.0)GO TO 6  
 110 UCL=70.00  
 111 XLPS=XLPS7  
 112 6 CLPS=UCL+TSG+CLPS  
 113 7 CONTINUE  
 114  
 115 C COORDINACION Y ASIGNACION DE COSTOS MINIMOS PARA EL SISTEMA  
 116 C DE BOMBEO SAN GERONIMO  
 117  
 118 UCS6=0.0  
 119 SGPS=SGP50  
 120 CSGPS=550.00  
 121 IF(TSGD.LE.0.001)GO TO 9  
 122 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.9)UCS6=61.00  
 123 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.9)SGPS=SGPS1  
 124 IF(0.001.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.6.9)GO TO 8  
 125 IF(6.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.13.8)UCS6=64.00  
 126 IF(6.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.13.8)SGPS=SGPS2  
 127 IF(6.9.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.13.8)GO TO 8  
 128 IF(13.8.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.19.5)UCS6=66.00  
 129 IF(13.8.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.19.5)SGPS=SGPS3  
 130 IF(13.8.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.19.5)GO TO 8  
 131 IF(19.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.22.0)UCS6=71.00  
 132 IF(19.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.22.0)SGPS=SGPS4  
 133 IF(19.5.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.22.0)GO TO 8  
 134 IF(22.0.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.25.7)UCS6=75.00  
 135 IF(22.0.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.25.7)SGPS=SGPS5  
 136 IF(22.0.LT.TSGD.AND.TSGD.LE.25.7)GO TO 8  
 137 UCS6=86.00  
 138 SGPS=SGPS6  
 139 8 CSGPS=UCS6+TSG + CSGPS  
 140 9 CONTINUE  
 141  
 142 C COORDINACION Y ASIGNACION DE COSTOS PARA LA TUBERIA DE  
 143 C TRANSMISION SOUTHERN MARINE LINE  
 144 C SOLUCION POR MEDIO DE LA PROGRAMACION LINEAL  
 145  
 146 IF(TBTSO.GT.7.5)GO TO 10  
 147 OSML6=TBTS

```

148      UCSML=0.0
149      QSMLP=0.0
150      SMLPS=SMLPS1
151      QCHAP=0.0
152      UCHAP=0.0
153      CSMLPS=0.0
154      CCHAP=0.0
155      GO TO 45
156 10 CONTINUE
157
158      IF(TBTSD.GT.10.7160 TO 20
159      QSMLG=7.5*FLOAT(NDAY)
160      UCSML=0.0
161      QSMLP=0.0
162      SMLPS=SMLPS1
163      QCHAP=TBTS-QSMLS
164      UCHAP=52.00
165      CSMLPS=0.0
166      GO TO 40
167 20 CONTINUE
168
169      QSMLS=7.3/4.0*(14.7*FLOAT(NDAY)-TBTS)
170      UCSML=34.00
171      UCHAP=52.00
172      SMLPS=SMLPS2
173      QCHAP=3.2*FLOAT(NDAY)
174      QSMLP=TBTS-(QSMLG+QCHAP)
175      CSMLPS=UCSML+QSMLP
176 40 CCHAP=UCHAP+QCHAP
177
178 45 UCHL=27.00
179      QHLD=(1.0/3.0)*TBTSD
180      IF(QHLD.GT.4.9)QHLD=4.9
181      QHL=QHLD*FLOAT(NDAY)
182      CHL=UCHL+QHL
183
184 C      COSTO DEL SISTEMA DE BOMBEO ALPINE-BON
185
186      UCAB=31.00
187      IF(TABD.LE.0.001)UCAB=0.0
188      CABPS=UCAB+PAB
189
190 C      COSTO DEL SISTEMA DE BOMBEO KENT-ALPINE
191
192      UCKA=112.0
193      IF(TKAD.LE.0.001)UCKA=0.0
194      CKAPS=UCKA+PKA
195
196 C      COSTO DEL SISTEMA DE BOMBEO INTERTIE

```

197  
198 UCIT=0.0  
199 CITPS=0.0  
200 IF(ITD.LE.0.001)GO TO 48  
201 IF(0.001.LT.ITD.AND.ITD.LE.3.8)UCIT=121.00  
202 IF(0.001.LT.ITD.AND.ITD.LE.3.8)GO TO 46  
203 IF(3.8.LT.ITD.AND.ITD.LE.6.6)UCIT=150.00  
204 IF(3.8.LT.ITD.AND.ITD.LE.6.6)GO TO 46  
205 UCIT=195.00  
206 46 CITPS=UCIT\*IT  
207 48 CONTINUE  
208  
209 C DETERMINE LOS COSTOS DE BOMBEO PRESENTES Y ACUMULADOS  
210  
211 COSTO=CABPS+CKAPS+CITPS+CSG6PS+CTPS+CLFS+CSMLPS+CCHAP+CHL  
212 COSTA=COSTO+VECTOR(J,L2,36)  
213 GO TO 60  
214  
215 50 COSTA=8.887E18  
216 COSTO=8.887E18  
217  
218 60 CONTINUE  
219  
220 RETURN  
221 END



```
1      SUBROUTINE UPDATE(VECTOR,NY2,NB)
2
3  C    ESTA SUBROUTINA ACTUALIZA LA SOLUCION OPTIMA
4
5      COMMON/BLOC1/PAB,PKA,TSG,CN,IT,COSTO,CK,PNK,TBT
6      COMMON/BLOC3/K
7      COMMON/BLOC4/COSTA
8      COMMON/BLOC5/L2
9      COMMON/BLOC6/L1
10     COMMON/BLOC8/ACCC(13)
11     COMMON/BLOC9/LB1,LA1,LK1,LN1,SB,SA,SK,SN,ST
12     COMMON/BLOC17/VB1,VB2,VA1,VA2,VK1,VK2,VN1,VN2,RBW,RAW,RKM,RNW,
13     IDW
14     COMMON/BLOC19/UCAB,UCA,UCIT,UCT,UCL,UCSG,UCSML,UCHAP,UCHL
15     COMMON/BLOC20/CABPS,CAKPS,CITPS,CTPS,CLPS,CSGSPS,CSMLPS,CCHAP,CHL
16     COMMON/BLOC21/TPS,TLPS,SSPS,SMSPS
17     COMMON/BLOC22/DSMLG,OSMLP,UCHAP,OPBPG,OH
18     COMMON/BLOC23/J
19     DIMENSION VECTOR(NY2,NB,63)
20
21     REAL LB1,IT,LA1,LK1,LN1
22
23  C    ACTUALIZE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA
24
25     VECTOR(J+1,L1,1)=VB1
26     VECTOR(J+1,L1,2)=TBT
27     VECTOR(J+1,L1,3)=RBW
28     VECTOR(J+1,L1,4)=LB1
29     VECTOR(J+1,L1,5)=SB
30     VECTOR(J+1,L1,6)=VB2
31     VECTOR(J+1,L1,7)=PAB
32     VECTOR(J+1,L1,8)=VA1
33     VECTOR(J+1,L1,9)=RAW
34     VECTOR(J+1,L1,10)=LA1
35     VECTOR(J+1,L1,11)=SA
36     VECTOR(J+1,L1,12)=VA2
37     VECTOR(J+1,L1,13)=PKA
38     VECTOR(J+1,L1,14)=VK1
39     VECTOR(J+1,L1,15)=RKM
40     VECTOR(J+1,L1,16)=LK1
41     VECTOR(J+1,L1,17)=SK
42     VECTOR(J+1,L1,18)=CK
43     VECTOR(J+1,L1,19)=VK2
44     VECTOR(J+1,L1,20)=PNK
45     VECTOR(J+1,L1,21)=VN1
46     VECTOR(J+1,L1,22)=RNW
47     VECTOR(J+1,L1,23)=LN1
48     VECTOR(J+1,L1,24)=SN
49     VECTOR(J+1,L1,25)=CN
```

```
50 VECTOR(J+1,L1,25)=VM2
51 VECTOR(J+1,L1,27)=ST
52 VECTOR(J+1,L1,28)=TSG
53 VECTOR(J+1,L1,29)=IT
54 VECTOR(J+1,L1,30)=DM
55 VECTOR(J+1,L1,31)=COSTD/VECTOR(J+1,L1,30)
56 VECTOR(J+1,L1,32)=COSTO
57 VECTOR(J+1,L1,33)=FLOAT(L2)
58 VECTOR(J+1,L1,34)=ACCC(K+1)
59 VECTOR(J+1,L1,35)=COSTA/VECTOR(J+1,L1,34)
60 VECTOR(J+1,L1,36)=COSTA
61 VECTOR(J+1,L1,37)=CSMLPS
62 VECTOR(J+1,L1,38)=UCSML
63 VECTOR(J+1,L1,39)=SMLPS
64 VECTOR(J+1,L1,40)=QSMLG
65 VECTOR(J+1,L1,41)=QSMLP
66 VECTOR(J+1,L1,42)=CCHAP
67 VECTOR(J+1,L1,43)=UCHAP
68 VECTOR(J+1,L1,44)=QCHAP
69 VECTOR(J+1,L1,45)=CABPS
70 VECTOR(J+1,L1,46)=UCAB
71 VECTOR(J+1,L1,47)=CKAPS
72 VECTOR(J+1,L1,48)=UCKA
73 VECTOR(J+1,L1,49)=CITPS
74 VECTOR(J+1,L1,50)=UCIT
75 VECTOR(J+1,L1,51)=CSGPS
76 VECTOR(J+1,L1,52)=UCSG
77 VECTOR(J+1,L1,53)=SGPS
78 VECTOR(J+1,L1,54)=CLPS
79 VECTOR(J+1,L1,55)=UCL
80 VECTOR(J+1,L1,56)=XLPS
81 VECTOR(J+1,L1,57)=CTPS
82 VECTOR(J+1,L1,58)=UCT
83 VECTOR(J+1,L1,59)=TPS
84 VECTOR(J+1,L1,60)=QBP6G
85 VECTOR(J+1,L1,61)=QHL
86 VECTOR(J+1,L1,62)=CHL
87 VECTOR(J+1,L1,63)=UCHL
88
89 RETURN
90 END
```

```

1      SUBROUTINE OPTSOL (OPTIMO, VECTOR, NY1, NY2, NB)
2
3      C      ESTA SUBROUTINA RASIREA LA NUEVA SOLUCION FACTIBLE-OPTIMA
4
5      COMMON/BLOC24/COST
6      COMMON/BLOC11/K I N E, K00
7      DIMENSION OPTIMO (NY1,63), VECTOR (NY2,NB,63)
8      DATA VBMAX, VMAX, VJMAX, VJMAX
9      1/1400.0, 2897.0, 1.0719.0, 7309.0/
10
11     C      RASTREE LA NUEVA SOLUCION FACTIBLE-OPTIMA
12
13     NOOL=1
14
15     DO 30 MOON=1, NY1
16     MONTH=NY2+1-MOON
17
18     DO 20 LUZ=1, 63
19     20 OPTIMO (MONTH-1, LUZ)=VECTOR (MONTH, NOOL, LUZ)
20
21     30 NOOL=INT (VECTOR (MONTH, NOOL, 33))
22     LOOK=NY1
23     COST=OPTIMO (LOOK, 36)
24
25     C      BALANCEE LA NUEVA TRAYECTORIA
26
27     DO 180 MON=1, NY1
28
29     OPTIMO (MON, 6)=OPTIMO (MON, 1)+OPTIMO (MON, 3)+OPTIMO (MON, 7)
30     1-(OPTIMO (MON, 2)+OPTIMO (MON, 4)+OPTIMO (MON, 5))
31     IF (OPTIMO (MON, 6) .LT. VBMAX .AND. OPTIMO (MON, 5) .GT. 0.0) THEN
32     OPTIMO (MON, 6)=OPTIMO (MON, 6)+OPTIMO (MON, 5)
33     OPTIMO (MON, 5)=0.0
34     END IF
35     IF (OPTIMO (MON, 6) .GT. VBMAX ) OPTIMO (MON, 5)=OPTIMO (MON, 5)
36     1+OPTIMO (MON, 5)-VBMAX
37     IF (OPTIMO (MON, 6) .GT. VBMAX ) OPTIMO (MON, 6)=VBMAX
38     IF (MON.LT.NY1) OPTIMO (MON+1, 1)=OPTIMO (MON, 6)
39
40     OPTIMO (MON, 12)=OPTIMO (MON, 5)+OPTIMO (MON, 8)+OPTIMO (MON, 9)
41     1+OPTIMO (MON, 13)-(OPTIMO (MON, 7)+OPTIMO (MON, 10)+OPTIMO (MON, 11))
42     IF (OPTIMO (MON, 12) .LT. VMAX .AND. OPTIMO (MON, 11) .GT. 0.0) THEN
43     OPTIMO (MON, 12)=OPTIMO (MON, 12)+OPTIMO (MON, 11)
44     OPTIMO (MON, 11)=0.0
45     END IF
46     IF (OPTIMO (MON, 12) .GT. VMAX ) OPTIMO (MON, 11)=OPTIMO (MON, 11)
47     1+OPTIMO (MON, 12)-VMAX
48     IF (OPTIMO (MON, 12) .GT. VMAX ) OPTIMO (MON, 12)=VMAX
49     IF (MON.LT.NY1) OPTIMO (MON+1, 8)=OPTIMO (MON, 12)

```

```
50
51     OPTIMO(MON,19)=OPTIMO(MON,11)+OPTIMO(MON,14)+OPTIMO(MON,15)
52     1+OPTIMO(MON,20)-(OPTIMO(MON,13)+OPTIMO(MON,16)+OPTIMO(MON,17)
53     1+OPTIMO(MON,18))
54     IF (OPTIMO(MON,19).LT.VKMAX.AND.OPTIMO(MON,17).GT.0.0) THEN
55     OPTIMO(MON,19)=OPTIMO(MON,19)+OPTIMO(MON,17)
56     OPTIMO(MON,17)=0.0
57     END IF
58     IF (OPTIMO(MON,19).GT.VKMAX) OPTIMO(MON,17)=OPTIMO(MON,17)
59     1+OPTIMO(MON,19)-VKMAX
60     IF (OPTIMO(MON,19).GT.VKMAX) OPTIMO(MON,19)=VKMAX
61     IF (MON.LT.NY1) OPTIMO(MON+1,14)=OPTIMO(MON,19)
62
63     OPTIMO(MON,26)=OPTIMO(MON,21)+OPTIMO(MON,22)
64     1-(OPTIMO(MON,20)+OPTIMO(MON,23)+OPTIMO(MON,24)+OPTIMO(MON,25))
65     IF (OPTIMO(MON,26).GT.VNMAX) OPTIMO(MON,24)=OPTIMO(MON,24)
66     1+OPTIMO(MON,26)-VNMAX
67     IF (OPTIMO(MON,26).GT.VNMAX) OPTIMO(MON,26)=VNMAX
68     IF (MON.LT.NY1) OPTIMO(MON+1,21)=OPTIMO(MON,26)
69     OPTIMO(MON,27)=OPTIMO(MON,17)+OPTIMO(MON,24)
70
71     180 CONTINUE
72
73     RETURN
74     END
```

```

1  SUBROUTINE WRTRAJ (RESULT, NY1)
2
3  C  ESTA SUBROUTINA ESCRIBE LOS RESULTADOS OPTIMOS
4
5  COMMON/BLOC11/KIKE, K00
6  COMMON/BLOC6/VOL(5, 12, 2)
7  COMMON/TRY/NUM
8  DIMENSION RESULT (NY1, 63)
9  CHARACTER*10 XMES(12)
10 DIMENSION TOTALS(12, 6)
11 DIMENSION DAYFLO(12, 16)
12
13 DATA (XMES(J), J=1, 12)/10HNOVIEMBRE ,10HDICIEMBRE ,10H ENERO ,
14 110H FEBRERO ,10H MARZO ,10H ABRIL ,10H MAYO ,
15 110H JUNIO ,10H JULIO ,10H AGOSTO ,10HSEPTIEMBRE,
16 110H OCTUBRE/
17
18 DD 300 MONTH=1, NY1
19 MESS=MONTH-1*K00
20
21
22 TOTALS (MONTH, 1)=RESULT (MONTH, 1)+RESULT (MONTH, 8)+RESULT (MONTH, 14)
23 1 +RESULT (MONTH, 21)
24 TOTALS (MONTH, 2)=RESULT (MONTH, 3)+RESULT (MONTH, 9)+RESULT (MONTH, 15)
25 1 +RESULT (MONTH, 22)
26 TOTALS (MONTH, 3)=RESULT (MONTH, 4)+RESULT (MONTH, 10)+RESULT (MONTH, 16)
27 1 +RESULT (MONTH, 23)
28 TOTALS (MONTH, 4)=RESULT (MONTH, 6)+RESULT (MONTH, 12)+RESULT (MONTH, 19)
29 1 +RESULT (MONTH, 26)
30 TOTALS (MONTH, 5)=RESULT (MONTH, 40)+RESULT (MONTH, 41)
31 TOTALS (MONTH, 6)=RESULT (MONTH, 20)+RESULT (MONTH, 25)
32
33 IF (NUM.EQ. 1) GO TO 99
34
35 C  DETERMINE LAS TASAS DE FLUJOS DIARIOS
36
37 NDAY=31
38 IF (MESS.EQ. 4) NDAY=29
39 IF (MESS.EQ. 1) NDAY=30
40 IF (MESS.EQ. 6) NDAY=30
41 IF (MESS.EQ. 8) NDAY=30
42 IF (MESS.EQ. 11) NDAY=30
43
44 DAYFLO (MONTH, 1)=RESULT (MONTH, 30)/FLOAT (NDAY)
45 DAYFLO (MONTH, 2)=RESULT (MONTH, 2)/FLOAT (NDAY)
46 DAYFLO (MONTH, 3)=RESULT (MONTH, 28)/FLOAT (NDAY)
47 DAYFLO (MONTH, 4)=RESULT (MONTH, 29)/FLOAT (NDAY)
48 DAYFLO (MONTH, 5)=RESULT (MONTH, 7)/FLOAT (NDAY)
49 DAYFLO (MONTH, 6)=RESULT (MONTH, 13)/FLOAT (NDAY)

```

```

50     DAYFLO(MONTH,7)=RESULT(MONTH,20)/FLOAT(NDAY)
51     DAYFLO(MONTH,8)=RESULT(MONTH,25)/FLOAT(NDAY)
52     DAYFLO(MONTH,9)=TOTALS(MONTH,6)/FLOAT(NDAY)
53     DAYFLO(MONTH,10)=TOTALS(MONTH,5)/FLOAT(NDAY)
54     DAYFLO(MONTH,11)=RESULT(MONTH,40)/FLOAT(NDAY)
55     DAYFLO(MONTH,12)=RESULT(MONTH,41)/FLOAT(NDAY)
56     DAYFLO(MONTH,13)=RESULT(MONTH,44)/FLOAT(NDAY)
57     DAYFLO(MONTH,14)=RESULT(MONTH,60)/FLOAT(NDAY)
58     DAYFLO(MONTH,15)=RESULT(MONTH,18)/FLOAT(NDAY)
59     DAYFLO(MONTH,16)=RESULT(MONTH,61)/FLOAT(NDAY)
60
61 C   ESCRIBA LA SOLUCION OPTIMA
62
63     WRITE(6,410)XMES(MESS)
64     410 FORMAT(1#1/////37X,A10///)
65
66     WRITE(6,225)TOTALS(MONTH,1),RESULT(MONTH,30),DAYFLO(MONTH,1),
67     1TOTALS(MONTH,2),RESULT(MONTH,29),DAYFLO(MONTH,4),TOTALS(MONTH,3),
68     2RESULT(MONTH,27),TOTALS(MONTH,4)
69
70     225 FORMAT(1#X,
71
72     134#HISTORIA HIDROLOGICA           //1#X,
73     122#EN MILLONES DE GALONES//1#X,
74     149#ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL INICIO DEL MES...,F10.2//1#X,
75     249#CONSUMO TOTAL DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
76     349#PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....,F10.2//1#X,
77     449#CAUDAL TOTAL DE LLUVIA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
78     549#IMPORTACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
79     649#PROMEDIO DIARIO DE IMPORTACION DE AGUA.....,F10.2//1#X,
80     749#EVAPORACION TOTAL DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
81     849#DERRAME TOTAL DE AGUA AL RIO LAGUNITAS EN EL MES.,F10.2//1#X,
82     949#ALMACENAMIENTO TOTAL DE AGUA AL FINAL DEL MES....,F10.2//1#X
83
84
85     WRITE(6,250)(RESULT(MONTH,LP),LP=1,2),DAYFLO(MONTH,2),
86     1(RESULT(MONTH,LP),LP=3,7),DAYFLO(MONTH,5)
87
88     250 FORMAT(1#X,
89     115#PRESA BON TEMPE//1#X,
90     149#ALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....,F10.2//1#X,
91     149#CONSUMO DE AGUA DE LA PRESA BON TEMPE.....,F10.2//1#X,
92     149#PROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....,F10.2//1#X,
93     249#CAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
94     349#EVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//1#X,
95     449#DERRAME DE AGUA DE BON TEMPE A LA PRESA ALPINE...,F10.2//1#X,
96     549#ALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....,F10.2//1#X,
97     649#TRANSFERENCIA DE AGUA DE ALPINE A BON TEMPE.....,F10.2//1#X,
98     749#PROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....,F10.2)

```

```
99
100
101      WRITE(6,275) (RESULT(MONTH,LP),LP=8,13),DAYFLO(MONTH,6)
102
103 275 FORMAT(1H1////////18X,
104      112HPRESA ALPINE//18X,
105      149HALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....,F10.2//18X,
106      249HCAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....,F10.2//18X,
107      349HEVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//18X,
108      449HDERRAME DE AGUA DE ALPINE A LA PRESA KENT.....,F10.2//18X,
109      549HALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....,F10.2//18X,
110      649HTRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA KENT A ALPINE .,F10.2//18X,
111      749HPROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....,F10.2//1)
112
113
114      WRITE(6,325) (RESULT(MONTH,LP),LP=14,19),DAYFLO(MONTH,15),
115      11RESULT(MONTH,LP),LP=19,20),DAYFLO(MONTH,7)
116
117
118 325 FORMAT(18X,
119      110HPRESA KENT//18X,
120      149HALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....,F10.2//18X,
121      249HCAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....,F10.2//18X,
122      349HEVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//18X,
123      449HDERRAME DE AGUA DE KENT AL RIO LAGUNITAS.....,F10.2//18X,
124      549HCONSUMO DE AGUA DE LA PRESA KENT.....,F10.2//18X,
125      649HPROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....,F10.2//18X,
126      749HALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....,F10.2//18X,
127      849HTRANSFERENCIA DE AGUA DE LA PRESA NICASIO A KENT.,F10.2//18X,
128      949HPROMEDIO DIARIO DE TRANSFERENCIA DE AGUA.....,F10.2)
129
130
131      WRITE(6,350) (RESULT(MONTH,LP),LP=21,25),DAYFLO(MONTH,8),
132      11RESULT(MONTH,26)
133
134 350 FORMAT(1H1////////18X,
135      113HPRESA NICASIO//18X,
136      149HALMACENAMIENTO DE AGUA AL INICIO DEL MES.....,F10.2//18X,
137      249HCAUDAL DE LLUVIA EN EL MES.....,F10.2//18X,
138      349HEVAPORACION DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//18X,
139      449HDERRAME DE AGUA DE NICASIO AL RIO LAGUNITAS.....,F10.2//18X,
140      549HCONSUMO DE AGUA DE LA PRESA NICASIO.....,F10.2//18X,
141      649HPROMEDIO DIARIO DE CONSUMO DE AGUA.....,F10.2//18X,
142      749HALMACENAMIENTO DE AGUA AL FINAL DEL MES.....,F10.2//1)
143
144
145      WRITE(6,375) RESULT(MONTH,2),DAYFLO(MONTH,2),RESULT(MONTH,28),
146      10DAYFLO(MONTH,31),RESULT(MONTH,29),DAYFLO(MONTH,4),RESULT(MONTH,30),
147      10DAYFLO(MONTH,1),RESULT(MONTH,34)
```

```
148
149 375 FORMAT(18X,
150
151 138HPOLITICA DE PRODUCCION DE AGUA POTABLE//19X,
152 122HEN MILLONES DE GALONES//18X,
153
154 149HPRODUCCION DE AGUA POTABLE EN BON TEMPE.....,F10.2//18X,
155 149HPRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA BON TEMPE.....,F10.2//19X,
156 249HPRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN GERONIMO.....,F10.2//18X,
157 249HPRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN GERONIMO.....,F10.2//18X,
158 349HPRODUCCION DE AGUA POTABLE EN SAN IGNACIO.....,F10.2//18X,
159 349HPRODUCCION DIARIA EN LA PLANTA SAN IGNACIO.....,F10.2//18X,
160 449HPRODUCCION TOTAL DE AGUA.....,F10.2//18X,
161 449HPRODUCCION DIARIA DE AGUA.....,F10.2//18X,
162 549HPRODUCCION TOTAL ACUMULADA DE AGUA.....,F10.2)
163
164
165 WRITE(6,425) RESULT(MONTH,32),RESULT(MONTH,31),RESULT(MONTH,36),
166 1RESULT(MONTH,35)
167
168 425 FORMAT(1H1/////18X,
169
170 126HPOLITICA DE BOMBEO DE AGUA//18X,
171
172 149HCOSTO TOTAL DE BOMBEO DE AGUA EN EL MES.....,F10.2//18X,
173 249HCOSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES DE AGUA.,F10.2//18X,
174 349HCOSTO TOTAL ACUMULADO DE BOMBEO DE AGUA.....,F10.2//18X,
175 449HCOSTO POR UNIDAD ACTUALIZADO.....,F10.2//1)
176
177
178 WRITE(6,450) TOTALS(MONTH,5),DAYFLO(MONTH,10),RESULT(MONTH,40),
179 1DAYFLO(MONTH,11),RESULT(MONTH,41),DAYFLO(MONTH,12),
180 1(RESULT(MONTH,LP),LP=37,39)
181
182 450 FORMAT(18X,
183 139HESTACION DE BOMBEO SOUTHERN MARINE LINE//18X,
184 149HFLUJO TOTAL EN MILLONES DE GALONES DE AGUA.....,F10.2//18X,
185 249HTASA DIARIA DEL FLUJO TOTAL.....,F10.2//18X,
186 349HFLUJO POR GRAVEDAD.....,F10.2//18X,
187 449HTASA DIARIA DE FLUJO POR GRAVEDAD.....,F10.2//18X,
188 549HFLUJO POR BOMBEO.....,F10.2//18X,
189 649HTASA DIARIA DE FLUJO POR BOMBEO.....,F10.2//18X,
190 749HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
191 849HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS.,F10.2//18X,
192 949HBOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....,5X,1H8,A4//1)
193
194 WRITE(6,460)RESULT(MONTH,61),DAYFLO(MONTH,16),
195 1(RESULT(MONTH,LP),LP=62,63)
196
```



```
197 460 FORMAT(18X,  
198 134HESTACION DE BOMBEO H-LINE BOOSTERS//18X,  
199 249HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,  
200 349HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
201 449HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
202 549HCOSTO POR UNIDAD DE MILLONES DE GALONES BOMBEADOS,F10.2)  
203  
204 WRITE(6,475)RESULT(MONTH,44),DAYFLO(MONTH,13),  
205 1(RESULT(MONTH,LP),LP=42,43)  
206  
207 475 FORMAT(18X,//////18X,  
208 135HESTACION DE BOMBEO CHAPMAN BOOSTERS//18X,  
209 249HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,  
210 349HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
211 449HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
212 549HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..,F10.2//)  
213  
214  
215 WRITE(6,525)RESULT(MONTH,7),DAYFLO(MONTH,5),  
216 1(RESULT(MONTH,LP),LP=45,46)  
217  
218 525 FORMAT(18X,  
219 135HESTACION DE BOMBEO ALPINE-BON TEMPE//18X,  
220 149HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,  
221 249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
222 349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
223 449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..,F10.2//)  
224  
225  
226 WRITE(6,550)RESULT(MONTH,13),DAYFLO(MONTH,6),  
227 1(RESULT(MONTH,LP),LP=47,48)  
228  
229 550 FORMAT(18X,  
230 130HESTACION DE BOMBEO KENT-ALPINE//18X,  
231 149HFLUJO DE AGUA EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,  
232 249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
233 349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
234 449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..,F10.2//)  
235  
236  
237 WRITE(6,575)RESULT(MONTH,29),DAYFLO(MONTH,4),  
238 1(RESULT(MONTH,LP),LP=49,50)  
239  
240 575 FORMAT(18X,  
241 150HSISTEMA DE BOMBEO DEL TUBO DE TRANSMISION INTERTIE//18X,  
242 149HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,  
243 249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
244 349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,  
245 449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS..,F10.2)
```

```

246
247
248     WRITE(6,625)RESULT(MONTH,28),DAYFLO(MONTH,3),
249     1(RESULT(MONTH,LP),LP=51,53)
250
251     625 FORMAT(1H1////////18X,
252     131HESTACION DE BOMBEO SAN GERONIMO//18X,
253     149HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,
254     249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
255     349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
256     449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS.,F10.2//18X,
257     549HBOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....,5X,1H#,A4//)
258
259
260     WRITE(6,650)RESULT(MONTH,28),DAYFLO(MONTH,3),
261     1(RESULT(MONTH,LP),LP=54,56)
262
263     650 FORMAT(18X,
264     128HESTACION DE BOMBEO LAGUNITAS//18X,
265     149HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,
266     249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
267     349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
268     449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS.,F10.2//18X,
269     549HBOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....,5X,1H#,A4//)
270
271
272     WRITE(6,675)TOTALS(MONTH,6),DAYFLO(MONTH,9),
273     1(RESULT(MONTH,LP),LP=57,59)
274
275     675 FORMAT(18X,
276     127HESTACION DE BOMBEO TICALOMA//18X,
277     149HFLUJO EN MILLONES DE GALONES.....,F10.2//18X,
278     249HTASA DIARIA DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
279     349HCOSTO DE BOMBEO.....,F10.2//18X,
280     449HCOSTO POR UNIDAD DE MILLON DE GALONES BOMBEADOS.,F10.2//18X,
281     549HBOMBAS EN FUNCIONAMIENTO.....,5X,1H#,A4//)
282
283
284     WRITE(6,725)RESULT(MONTH,60),DAYFLO(MONTH,14)
285
286     725 FORMAT(18X,
287     160HFLUJO POR GRAVEDAD EN LA LINEA DE TRANSMISION PHOENIX BYPASS
288     1//18X,
289     149HFLUJO EN MILLON DE GALONES.....,F10.2//18X,
290     249HTASA DIARIA DE FLUJO.....,F10.2)
291
292     99 CONTINUE
293
294     VOL(1,MONTH,1) * TOTALS(MONTH,1)

```

```
295 VOL(1,MONTH,2) = TOTALS(MONTH,4)
296 VOL(2,MONTH,1) = RESULT(MONTH,1)
297 VOL(2,MONTH,2) = RESULT(MONTH,6)
298 VOL(3,MONTH,1) = RESULT(MONTH,8)
299 VOL(3,MONTH,2) = RESULT(MONTH,12)
300 VOL(4,MONTH,1) = RESULT(MONTH,14)
301 VOL(4,MONTH,2) = RESULT(MONTH,19)
302 VOL(5,MONTH,1) = RESULT(MONTH,21)
303 VOL(5,MONTH,2) = RESULT(MONTH,26)
304
305 300 CONTINUE
306
307 CALL GRAPH
308
309 RETURN
310 END
```

```

1      SUBROUTINE GRAPH
2
3 C    ESTA SUBROUTINA GRAFICA LAS TRAYECTORIAS DE LAS VARIABLES
4 C    DE ESTADO
5
6      COMMON/SLOC11/KIKE,KOO
7      COMMON/SLOC6/VOL(5,12,2)
8      DIMENSION X(49),Y(49)
9      CHARACTER ROW(49),IB,IP,IC,ID,IA
10     DATA IB,IP,IC,ID,IA /IH ,IH+,IH-,IH.,IHo/
11     DATA VTMX,VTMN,VBMAX,VBMIN,VAMAX,VAMIN,VKMAX,VKMIN,VNMAX,VNMIN
12     /1/22325.0,1436.0,1400.0,486.0,2897.0,950.0,10719.0,0.0,7309.0,0.0/
13
14     NY1 = KIKE - KOO + 1
15     DO 110 LAKE = 1,5
16     VMAX = VTMX
17     VMIN = VTMN
18     IF(LAKE.EQ.2) VMAX = VBMAX
19     IF(LAKE.EQ.2) VMIN = VBMIN
20     IF(LAKE.EQ.3) VMAX = VAMAX
21     IF(LAKE.EQ.3) VMIN = VAMIN
22     IF(LAKE.EQ.4) VMAX = VKMAX
23     IF(LAKE.EQ.4) VMIN = VKMIN
24     IF(LAKE.EQ.5) VMAX = VNMAX
25     IF(LAKE.EQ.5) VMIN = VNMIN
26     DEL = (VMAX - VMIN)/30.0
27
28 C    DETERMINE LOS PUNTOS EN LA GRAFICA DE LA TRAYECTORIA DE ESTADO
29
30     X(1)=0.0
31     DO 1 IX=1,48
32 1    X(IX+1)=X(IX) + 0.25
33
34     DO 5 I=1,NY1
35     A = VOL(LAKE,I,2) - VOL(LAKE,I,1)
36
37     I1 = 4*(KOO + I - 2)
38     DO 5 IT=1,6
39     I2 = I1 + IT
40 5 Y(I2) = VOL(LAKE,I,1) + 0.25*A*(IT-1)
41     I3 = 4*KOO - 3
42     I4 = 4*KIKE + 1
43
44 C    COLOQUE LOS PUNTOS EN LA GRAFICA
45
46     LINE = 30
47 15 CONTINUE
48     DO 20 KO=1,49
49     ROW(KO) = IB

```

```

50     IF(LINE .EQ. 30 .OR. LINE .EQ. 0)ROW(KG)=IC
51     ROW(1) = ID
52     IF(LINE .EQ. 30 .OR. LINE .EQ. 0)ROW(1) = IA
53 20  CONTINUE
54     DO 30 J=13,I4
55     IY = (Y(J) - VMIN)/DEL + 0.4
56     IF(IY.LE.0)IY=0
57     IF(IY.NE.LINE)GO TO 30
58     ROW(J) = IP
59 30  CONTINUE
60
61 C    GRAFIQUE LA TRAYECTORIA DE ESTADO
62
63     IF(LINE .EQ. 30)WRITE(6,10)VMAX,ROW
64 10  FORMAT(1H1//////
65     125X,1H./25X,1H./25X,1H.,
66     120H      VOLUMEN MAXIMO/15X,F8.0,2X,49A1)
67
68     IF(LINE .EQ. 0)WRITE(6,90)VMIN,ROW
69 90  FORMAT(15X,F8.0,2X,49A1/
70     125X,1H.,20H      VOLUMEN MINIMO/
71     125X,1H./25X,1H./25X,1H.,12(4H...0)/25X,
72     146H NOV DIC ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT)
73
74     IF(LINE .EQ.30 .OR. LINE .EQ. 0)GO TO 80
75
76     IF((LINE/5)15 .EQ. LINE)GO TO 60
77
78     WRITE(6,50)ROW
79 50  FORMAT(25X,49A1)
80     GO TO 80
81
82 60  YLABLE = DEL*FLOAT(LINE) + VMIN
83     ROW(1) = IA
84     WRITE(6,70) YLABLE,ROW
85 70  FORMAT(15X,F8.0,2X,49A1)
86
87 80  LINE = LINE - 1
88
89     IF(LINE .GE. 0)GO TO 15
90
91 110 CONTINUE
92
93     RETURN
94     END

```

## BIBLIOGRAFIA

- [ 1 ] Anderson, Brian D.O. y Moore, John B. Linear Optimal Control. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1971.
- [ 2 ] Bellman, Richard. Adaptive Control Processes: A Guided Tour. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1961.
- [ 3 ] ----- . Dynamic Programming. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1957.
- [ 4 ] Bernard, P.J.; Dopazo, J.F.; y Stagg, G.W. "A Method for Economic Scheduling of a Combined Pumped Hydro and Steam Generating System." Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Transactions on Power Apparatus and systems, Vol. 83, No. 1 (January 1964), pp. 23-30.
- [ 5 ] Bryson, Jr., Arthur E. y Ho, Yu-Chi. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation, and Control. Washington, D.C., Hemisphere Publishing Corporation, 1975.
- [ 6 ] Canales Ruiz, Roberto y Barrera Rivera, Renato. Análisis de Sistemas Dinámicos y Control Automático. México, Editorial Limusa, 1977.
- [ 7 ] Chao, Junn-Ling. "Can Off-Peak Pumping Cut Utility Power Costs?" Journal of the American Water Works Association, Vol.71 No. 5 (May 1979), pp. 259-263.
- [ 8 ] Cooper, Leon y Steinberg, David. Introduction to Methods of Optimization. Philadelphia, W.B. Saunders, 1970.
- [ 9 ] Elgerd, Olle I. Control Systems Theory. New York, McGraw-Hill, 1967.
- [10] Eykhoff, Pieter. System Identification. New York, John Wiley & Sons, 1974.
- [11] Gajda, Jr., Walter J. and Biles, William E. Engineering: Modeling and Computation. Boston, Houghton Mifflin, 1978.

- [12] Gass, Saul I. Linear Programming, Methods and Applications. New York, McGraw Hill, 1969.
- [13] Grabbe, Eugene M.; Ramo, Simon; y, Wooldridge, Dean E. Control Fundamental: Handbook of Automation, Computation, and Control, Vol. 1. New York, John Wiley & Sons, 1958.
- [14] Hadley, G. Nonlinear and Dynamic Programming. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1964.
- [15] Hall, Arthur D. A Methodology For Systems Engineering. Princeton, New Jersey, D. Van Nostrand Company Inc., 1968.
- [16] Hano, I., Tamura, Y. y Narita, S. An Application of the Maximum Principle to the Most Economical Operation of Power Systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-85, No. 5 (May 1966), pp. 486-494.
- [17] Hansen, A.J. y Crabtree, B.W. "The Rathation Method of Solving for Fluid Flow." Journal of the American Water Works Association, Vol. 72 No.2 (February 1980), pp. 119-120.
- [18] Hillier, Frederick S. y Lieberman, Gerald J. Introduction to Operations Research. San Francisco, Holden-Day, 1967.
- [19] Kirk, Donald E. Optimal Control Theory, an Introduction. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1970.
- [20] Larson, Robert E. y Korsak A.J. "A Dynamic Programming Successive Approximations Technique with Convergence Proofs." Automatica, Vol. 6 No. 2 (March 1970), pp. 245-260.
- [21] ----- State Increment Dynamic Programming. New York, American Elsevier Publishing Co., 1968.
- [22] Luenberger, David G. Introduction to Linear and Nonlinear Programming. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1973.
- [23] ----- Optimization by Vector Space Methods. New York, John Wiley & Sons, 1969.

- [24] Marks, David H.; A.S.C.E., M.; y Alarcon, Luis. "Energy Us. Irrigation Conflicts for the Operation of the High Aswan Dam, Egypt." In Proceedings of the Specialty Conference on Conservation and Utilization of Water and Energy Resources, New York, American Society of Civil Engineers, 1979, pp. 486-492.
- [25] Matsumoto, Junji y Mays, Larry W. "Computerized Pump Analysis for Water Systems." Journal of Environmental Engineering Division-ASCE Vol., 105 No. 1 (1979), pp. 154-160.
- [26] Naylor Thomas H.; Blintfy, Joseph L.; Burdick Donald S.; y Chu Kong. Computer Simulation Techniques. New York, John Wiley & Sons, 1966.
- [27] O'Flynn, Michael. Linear Systems. New York, Harper and Row, 1987.
- [28] Ogata, Katsuhiko. Modern Control Engineering. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1970.
- [29] Polak, E. Computational Methods in Optimization. A Unified Approach. New York, Academic Press, 1971.
- [30] "Practical Hydraulics for the Public Works Engineer." S.l., s.f.
- [31] Reid, T. Anthony. "Municipal Water System Energy Conservation Studies." In Proceedings of the Specialty Conference on Conservation and Utilization of Water and Energy Resources, New York, American Society of Civil Engineers, 1979, pp. 399-404.
- [32] Salas, J.D.; Delleur, J.W.; Yevjevich, U.; y Lane, W.L. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Littleton, Co., Water Resources Publications, 1980.
- [33] Shannon, Robert E. Systems Simulation, the Art and Science. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1975.
- [34] Spivey, W. Allen y Thrall, Robert M. Linear Optimization. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1970.



- [35] Svanidze, G.G. Mathematical Modeling of Hydrologic Series, for Hydroelectric and Water Resources Computations. Fort Collins, Co., 1980.
- [36] Takahashi, Yasundo; Rabins, Michael; y Auslander, David M. Control and Dynamic Systems. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1972.
- [37] Turgeon, Andre. "A Composite Model of Several Hydroplants in Series." In Proceedings of the Specialty Conference on Conservation and Utilization of Water and Energy Resources, New York, American Society of Civil Engineers, 1979, pp. 92-97.