



Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Acatlán
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

SIMULACION DE SISTEMA DE VASO

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a :

MIGUEL ANGEL VIZCARRA LOPEZ

M-0040684

Santa Cruz Acatlán, Edo. de Méx.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

ENEP ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA
DE INGENIERIA Y ACTUARIA

CAI-C-0236-78

SR. MIGUEL ANGEL VIZCARRA LOPEZ
Alumno de la Carrera de
Ingeniería Civil
P r e s e n t e

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 27 de ---
abril de 1978, me complace notificarle que esta Coordinación
tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Simulación
de Sistema de Vaso", el cual se desarrollará como sigue:

- I. Introducción
- II. Planteamiento del problema
- III. Generación de Datos
- IV. Sistematización de los cálculos
- V. Diagrama de flujo
- VI. Programa
- VII. Entrada de Datos
- VIII. Aplicación Práctica
- IX. Conclusiones

Asimismo fue designado como Director de Tesis el señor -
Ing. Jesús Marines Vázquez, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo espe-
cificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio so
cial durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito bá
sico para sustentar examen profesional, así como de la dispo-
sición de la Dirección General de Servicios Escolares en el -
sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares-
de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunica-
ción deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Sta. Cruz Acatlán, Edo. de México a 3 de mayo de 1978

ING. IGNACIO LIZARRAGA G.,
Coordinador del Programa
de Ingeniería y Actuaría.

A mi padre el Sr. Feliciano
Vizcarra Holguin a quién
tanto quiero.

Con especial agradecimiento
a Los Ingenieros Javier
Vázquez Tirado y Jesus
Marinez Vázquez por la
Orientación Recibida.

Agradezco a Ingenieria y
Procesamiento Eléctronico, S.A.
Las facilidades brindadas para
la elaboración del presente
Trabajo.

I N D I C E

	PAG.
1.- INTRODUCCION	1
2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.- GENERACION DE DATOS	10
4.- SISTEMATIZACION DE LOS CALCULOS	29
5.- DIAGRAMAS DE FLUJO	39
6.- PROGRAMA	52
7.- ENTRADA DE DATOS	57
8.- EJEMPLO PRACTICO	59
9.- CONCLUSIONES	66

M-0040684

1. INTRODUCCION.

En nuestro país la distribución geográfica del agua y de población no es proporcional, ya que en el sureste que representa el 7% del territorio nacional habita sólo el 8% de la población y se produce más del 40% de los recursos hidráulicos actualmente aprovechados mientras que el 51% del territorio ocupado por el altiplano y las zonas norte de la república contiene el 60% de la población y cuenta con el 12% del agua. Por lo que el desarrollo del aprovechamiento de las cuencas beneficia a las poblaciones circunvecinas, esto hace necesario la construcción de presas de almacenamiento para captar y utilizar los escurrimientos y ser utilizados en: dotación de agua potable generación de energía eléctrica, riego; lo que redundará en un mejor nivel de vida para sus habitantes, puesto que se incrementarán sus ingresos y contarán con mejores servicios.

Existe la tendencia de lograr dicho desarrollo mediante la operación de sistemas de vasos en virtud de la escasez de boquillas adecuadas para la construcción de grandes presas ya sea que la presa esté en proyecto, en cuyo caso es preciso conocer la capacidad que deberá tener desde el punto de vista hidrológico para satisfacer las necesidades para las que va a ser creada, o esté ya funcionando y se requiere revisar su operación para tratar de mejorarla o para ver que esta operación esté dentro de lo previsto o sea que las deficiencias estén dentro de lo permisible es conveniente realizar el funcionamiento del vaso.

El presente trabajo pretende aclarar algunos conceptos de hidrología aplicados con el fin de ser utilizados en las materias de Presas de Almacenamiento y Derivación y Obras Hidráulicas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El objeto del funcionamiento de vaso es determinar la combinación más adecuada de los volúmenes disponibles de agua, la capacidad del vaso y la demanda.

El estudio analítico del funcionamiento de un vaso, proporciona el conocimiento de las fluctuaciones que sufre el nivel del agua en el vaso, por efecto de las aportaciones, extracciones y evaporaciones, dando a conocer además los derrames que se realizan por la obra de excedencias, así como las deficiencias que se tienen cuando el vaso no puede satisfacer las demandas.

El funcionamiento de vaso resuelve la ecuación de continuidad; expresándola algebraicamente.

$$V = E - S - e$$

Donde:

- V = Variación en el almacenamiento en el período t
- E = Entradas al vaso en un período de tiempo t
- S = Extracciones para los fines de aprovechamiento en el mismo período de t
- e = Evaporaciones netas y filtraciones en el mismo período t.

Las entradas a un vaso están integradas por los escurrimientos de su cuenca; cuando hay vasos en serie las entradas también incluyen los derrames del vaso inmediato arriba.

Las salidas están formadas por las extracciones para fines de aprovechamiento, evaporaciones, filtraciones y derrames. El aprovechamiento puede ser para riego, generación de energía, abastecimiento de agua potable o para fines múltiples.

La variación en el almacenamiento es igual al almacenamiento final menos el almacenamiento inicial.

$$E - S - e = V_f - V_i \quad (2.2)$$

$$V_f = V_i + E - S - e \quad (2.3)$$

Por lo que el volumen final es igual al volumen inicial más las entradas al vaso menos las salidas de aprovechamiento, menos la evaporación neta.

El almacenamiento varia entre dos límites el inferior capacidad muerta o de azolves y el superior capacidad total (Cap. muerta + Cap. útil). Si al resolver la ec. (2.3) se tiene un volumen almacenado mayor a la capacidad total propuesta se contabiliza como derrame todo el volumen excedente. En cambio si se tiene que es necesario extraer agua abajo de la capacidad muerta para satisfacer las demandas, lo cual no es posible se contabiliza como deficiencia el volumen que no se puede extraer.

Teniéndose en este caso una deficiencia que es igual al volumen demandado menos el volumen que fue posible extraer.

$$V_f = V_m \quad (2.4)$$

$$Def = V_i + E - S - e - V_m \quad (2.5)$$

V_m = Capacidad muerta

Def = Deficiencia en el período

V_f = Volumen final

En el caso que se cumpla que:

$$V_i + E - e \leq V_m \quad (2.6)$$

Se tendrá una deficiencia del 100% y el volumen final podrá ser menor que la capacidad muerta; esto es:

$$V_f = V_i + E - e \quad (2.7)$$

$$Def = S \quad (2.8)$$

Los volúmenes de evaporación se obtienen multiplicando el área de embalse promedio por la lámina de evaporación considerada medida en un evaporímetro. La evaporación que se tiene en un almacenamiento, como el de una presa, es menor que la registrada en un evaporímetro. Por lo que las láminas de evaporación que se utilizan en el funcionamiento de un vaso se calculan multiplicando las evaporaciones registradas por un factor, llamado coeficiente de evaporímetro; este factor varía generalmente entre 0.7 y 0.8. Las áreas de embalse se obtiene de la curva de elevaciones-áreas-capacidades.

El valuar las filtraciones presenta serios problemas, este fenómeno involucra varios factores, como la permeabilidad de las capas del subsuelo, las características geohidrológicas de la zona etc.

Por lo tanto las filtraciones generalmente no se toman en cuenta al dimensionar una presa. Esta consideración no afecta el dimensionamiento, ya que las pérdidas por infiltración no alcanzan valores apreciables, esto siempre y cuando el sitio de almacenamiento haya sido convenientemente seleccionado desde el punto de vista geológico y no se presentan fallas o fisuras sobre las cuales puedan tenerse infiltraciones de importancia.

De esta forma queda:

$$e = cv \left(\frac{A_i + A_f}{2} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

c = Coeficiente del evaporímetro

v = Evaporaciones registradas en el período.

A_i = Area de embalse al inicio del período

A_f = Area de embalse al final del período

En el cálculo de área final se deben tomar en cuenta las pérdidas por evaporación y viceversa; es por esto que las ecuaciones 2.9, 2.3 y 2.6 se deberán resolver por tanteos hasta obtener el área final y el volumen de evaporación correctos.

El intervalo de tiempo usado en el funcionamiento de vaso es generalmente un mes y el período total durante el cual se realiza la simulación es el número de años que se disponga con datos. Los resultados de esta simulación podrán ser tan buenos o tan malos como lo sean los datos de partida.

Los datos necesarios para realizar el funcionamiento, de vaso son: Capacidad total, Capacidad muerta, capacidad de partida o inicial, láminas de precipitación, láminas de evaporación, escurrimiento, coeficiente del evaporímetro, demandas y curvas de elevaciones áreas capacidades.

El volumen total de un vaso de almacenamiento está formado por 3 capacidades, capacidad muerta, capacidad útil y superalmacenamiento como lo muestra la figura 1 si el vertedor es de descarga libre sin compuertas.

CAPACIDAD MUERTA.

La capacidad muerta es aquella que se encuentra por abajo del nivel de la obra de toma y que no se puede aprovechar para los fines de la presa.

El NAMIN en una presa hidroeléctrica es la cota que proporciona la carga mínima de operación de las turbinas.

En obras que aprovechan el agua para fines industriales o municipales, el nivel mínimo de aguas, será aquel que garantice el gasto de demanda atendiendo a la elevación de la toma.

Las presas para riego agrícola son más flexibles en cuanto al gasto demandado y en realidad al NAMIN puede considerarse en el umbral de la toma que es el nivel mínimo del embalse para que pueda escurrir agua por la toma. Prácticamente se dice que la capacidad muerta corresponde con la de azolves.

La capacidad de azolves es un volumen perdido destinado a la acumulación de los azolves que entrarán a la presa durante su vida útil.

Se prevé esta capacidad para considerarla en el volumen total del almacenamiento. Además es uno de los datos que están limitando la mínima elevación de la obra de toma, ya que si ésta se localiza por abajo del nivel de azolves se corre el riesgo de que en el transcurso del tiempo, el conducto de la obra de toma llegue a taponearse por el azolve. También puede suceder en el caso de tener una compuerta cerrada a la entrada del conducto, que si el nivel de azolves supera a dicha estructura, ésta quedará trabada.

Los volúmenes de azolves que llegan a una presa están formados por sólidos en suspensión y acarreos de fondo. Los primeros son partículas pequeñísimas suspendidas en el agua, y que se precipitan al fondo, cuando el agua se estanca. Los acarreos de fondo son los materiales más grandes que el río arrastra a consecuencia de la velocidad del agua, uno de los métodos utilizados para cuantificar el volumen de sólidos en suspensión se obtiene con la fórmula:

$$\text{Vol. s. s.} = P \times \text{EMA} \times V.U. \quad (2.10)$$

Donde:

Vol.s.s. = Volumen de sólidos en suspensión.

P = Porcentaje medio anual de sólidos en suspensión respecto al EMA, que se obtiene de los registros de estaciones hidrométricas.

EMA = Escurrimiento medio anual de la corriente

V.U.= Vida útil de la presa.

El volumen de acarreo de fondo se puede estimar como un porcentaje del Vol. s.s.

$$\text{Vol. A.F.} = k \times \text{Vol. s.s.} \quad (2.11)$$

El porcentaje k depende de las condiciones físicas de la cuenca en cuanto al tipo de suelo, vegetación topografía etc y a la pendiente alimentadora del vaso. Para fines prácticos se puede suponer que k varia entre 0.25 y 0.40.

Otra forma de calcular el arrastre de fondo es mediante la cuarta fórmula de Peter Meyer and Muller, aplicable para cualquier material cuando el tirante es mayor o igual a 3 m.

PETER MEYER AND MULLER

4a. Fórmula.

$$q_{BT} = 8 D_m^{3/2} g^{1/2} \Delta^{1/2} \left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} (\bar{C}_* - 0.047)^{3/2} \dots 2.12$$

Donde:

$$\bar{C}_* = \frac{\gamma R S}{(\gamma_s - \gamma) D_m}$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

$R \approx d$; para canales anchos

$$R \approx \left(\frac{Qn}{b_s^{1/2}} \right)^{3/5}$$

$\left(\frac{n'}{n} \right) = 1$; para canales con fondo plano

R = Radio hidráulico

N = Coeficiente de rugosidad de Manning.

γ_s = Peso volumétrico de sólidos Kg/m^3

γ = Peso volumétrico del agua Kg/m^3

g = 9.81 m/s^2 (coeficiente de aceleración de gravedad).

s = Pendiente media de la superficie libre del cauce.

D_m = Diámetro medio m

b = Base del río o canal en m

d = Tirante en m

q_{BT} = Gasto sólido del fondo.

Finalmente la capacidad de azolves es:

$$\text{Capacidad de azolves} = \text{Vol. s.s.} + \text{Vol. A.F.}$$

CAPACIDAD UTIL.

La capacidad útil de una presa es el volumen que regulariza los escurrimientos aprovechables de una corriente: esto significa que cuando el nivel del embalse se encuentre por abajo del NAMIN no podrían hacerse extracciones demandas del vaso, y cuando el embalse supere el NAMO el agua en exceso será derramada por el vertedor.

La capacidad útil se determina mediante el análisis de funcionamiento de vaso explicado anteriormente.

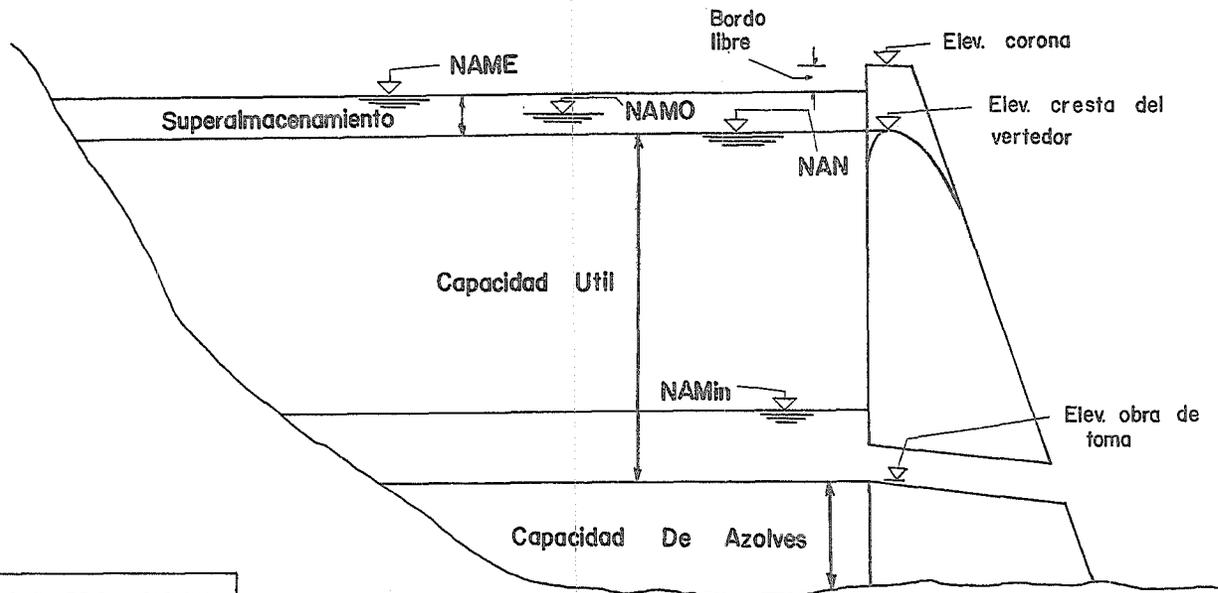
La capacidad total será la que resulte de sumar las capacidades útil y muerta.

SUPERALMACENAMIENTO,

El superalmacenamiento es el volumen destinado a la regulación de los escurrimientos producidos por las avenidas o sea el resultado de funcionamiento de la obra de excedencias al transitar de la avenida máxima supuesta controlable, de cuyo tránsito resultará un volumen máximo retenido sobre el NAMO.

La altura total de la presa será finalmente la que resulte de sumar al NAME, el bordo libre que toma en cuenta los efectos de oleaje y marea en el vaso.

CAPACIDADES DE UN VASO DE ALMACENAMIENTO



TESIS PROFESIONAL

ENEP - ACATLAN

MIGUEL A VIZCARRA LOPEZ

Figura 1

3. GENERACION DE DATOS.

El presente capítulo analiza los principales elementos que intervienen en el estudio de la cantidad de agua susceptible de aprovecharse mediante un almacenamiento.

La cuantificación de la lluvia, la evaporación y el escurrimiento, permitirán evaluar las disponibilidades de agua que, comparados con las demandas requeridas conducirá a la selección de la capacidad más adecuada.

3.1. PRECIPITACION.

Precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera. Cualquier forma de precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua y se expresa en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se almacena el agua producto de la lluvia, registrando su altura. Los aparatos de medición se clasifican, de acuerdo con el tipo de registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. Los datos de pluviómetro se obtienen por día. Los pluviógrafos proporcionan la altura de lluvia horaria y en consecuencia la duración de las tormentas.

3.2. ANALISIS DE LOS REGISTROS DE LLUVIA.

La precipitación media sobre una cuenca es el volumen total que ha llovido durante una tormenta dividido entre el área de la cuenca. Equivale a una altura de lluvia generada por una precipitación del mismo volumen, uniforme en toda la cuenca. Para obtener la precipitación media se utilizan los siguientes métodos:

3.2.1. PROMEDIO ARITMETICO.

Para obtener la altura media de lluvia, se suman las alturas registradas en un cierto tiempo en las estaciones de la zona y se divide entre el número de ellos. La precisión de este método dependerá del mayor número de estaciones con que se cuente y su distribución en la cuenca.

3.2.2. METODO DE THIESSEN.

Este método requiere el conocimiento de la localización de las estaciones existentes en la zona bajo estudio.

Considera una área de influencia para cada estación en la que se supone una altura media uniforme, e igual a la registrada en dicha estación.

Thiessen propone que la zona de influencia de cada estación se determine uniendo con rectas las estaciones más próximas entre si, de tal manera que se formen triángulos cuyos vértices sean las estaciones. Se trazan las mediatrices de cada lado de los triángulos obteniéndose así polígonos de influencia, como se muestra en la figura 3.1.

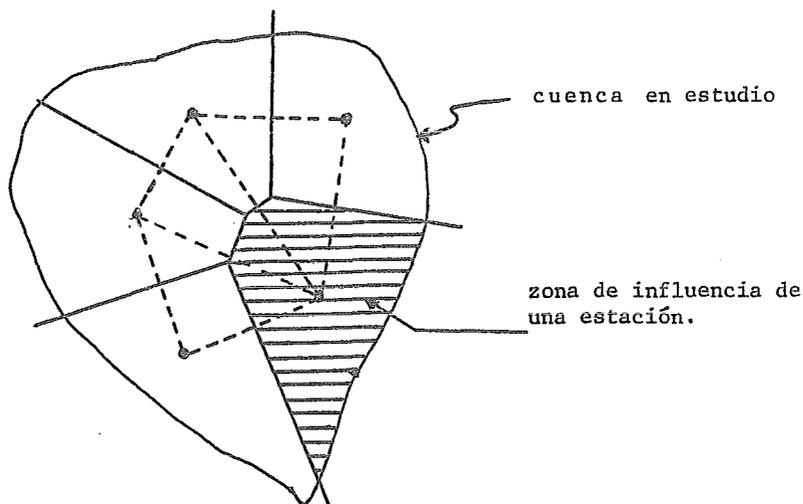


Figura 3.1 Polígono de Thiessen

La lámina de lluvia media sobre toda la zona se obtendrá sumando los productos de la altura registrada en cada estación por su respectiva área de influencia y dividiendo entre el área total de la cuenca.

$$hm = \frac{\sum_{i=1}^n h_i A_i}{A} \quad (3.2-1)$$

Donde:

hm = altura de lluvia media en la zona (mm)

h_i = altura de lluvia registrada por la estación i (mm)

A_i = área de influencia de la estación en (ha)

A = área total de la zona en (ha)

n = número de estaciones

3.2.3. METODO DE LAS ISOYETAS.

Este método es el más exacto, pues toma en cuenta la distribución de la lluvia en la zona a utilizar, para el cálculo de la altura media de lluvia el plano de isoyetas obtenido con los datos proporcionados por las estaciones dentro de la zona, entendiéndose por isoyeta la curva de igual altura de precipitación.

La lámina de lluvia media se calcula con la misma ecuación (3.2-1), pero en este caso A_i es el área de influencia de cada isoyeta tomada como se muestra en la figura (3.2), h_i es el valor de la isoyeta correspondiente y n el número de isoyetas consideradas.

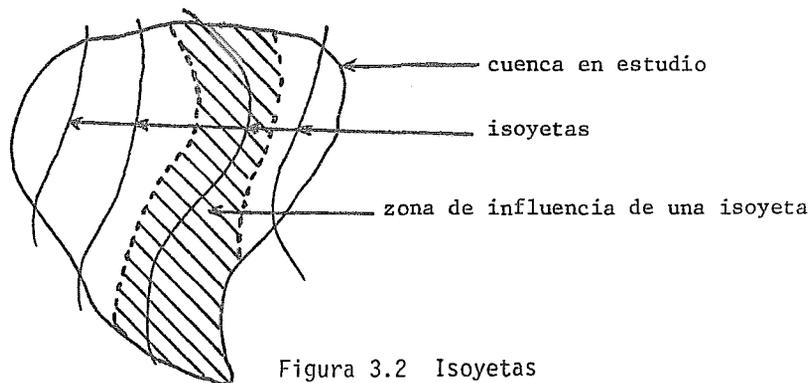


Figura 3.2 Isoyetas

3.2.4. DEDUCCION DE DATOS FALTANTES.

a) Método de la Relación Normalizada.

Si para una determinada estación faltan registros de lluvias de uno o varios días; se pueden completar con base en lluvias totales mensuales o anuales.

El método de la relación normalizada consiste en sopesar los valores de la relación de la precipitación anual normal.

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_c} P_c \right) \quad (3.2.2)$$

Donde:

N_a, N_b, N_c = precipitación normal anual de las estaciones A, B y C.

N_x = precipitación normal anual de la estación en estudio.

P_a, P_b, P_c = precipitación en las estaciones A, B y C adyacentes a la del estudio x para la misma fecha de la faltante.

P_x = precipitación faltante en la estación en estudio.

Si la precipitación normal anual en cada una de las estaciones está dentro del 10 por ciento de la registrada en la estación en estudio, se usará el promedio aritmético de las tres estaciones para estimar la otra cantidad, si difiere en más del 10 por ciento de la media, se usará el método de la relación normalizada.

Otra forma de valuar la precipitación faltante de una tormenta consiste en basarse en un plano de isoyetas preparado con el registro de las estaciones adyacentes para esa tormenta. Una vez conocida la distribución de la tormenta, se puede extrapolar y obtener el valor de la precipitación faltante en la estación en estudio.

b) Análisis de regresión y correlación.

Para obtener los datos faltantes de precipitación en una determinada estación, este método requiere de los datos obtenidos en estaciones vecinas. Se basa en la relación que existe entre dos variables aleatorias.

Si x y y son las variables, la curva que las relaciona se denomina "Curva de regresión lineal de x contra y ".

La correlación es el grado de asociación entre dichas variables.

La curva de regresión se obtiene encontrando el polinomio de menor grado u otra función (por ejemplo logarítmica, exponencial, etc.) que mejor se apegue a los datos, lo que generalmente se hace por el método de los mínimos cuadrados.

Cuando se utiliza una recta de regresión (polinomio de primer orden), los índices estadísticos más usuales para determinar la bondad de la correlación estudiada con el coeficiente de correlación lineal, el error estándar y el error estándar relativo.

El coeficiente de correlación lineal puede expresarse como:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad (3.7.2)$$



Donde:

$$S_{xy} = N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \quad (3.7.3)$$

$$S_{yy} = N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 \quad (3.7.4)$$

$$S_{xy} = N \sum X_i Y_i - (\sum X_i) (\sum Y_i) \quad (3.7.5)$$

En que (X_i, Y_i) representan las parejas de valores de los datos que se requieren relacionar, i toma valores de 1 hasta N , siendo N el número de puntos (X_i, Y_i) .

El coeficiente r_{xy} varía entre cero y uno. Valores muy cercanos a cero indican que no existe correlación lineal entre los datos.

Si $r_{xy} = 1$ los datos quedan sobre la recta de regresión.

Conocido el coeficiente de correlación lineal el error estándar (E.E.) puede valuarse como:

$$E.E. = \sqrt{S_y = \frac{N-1}{N-2} (1 - r_{xy})} \quad (3.7.6)$$

Donde:

S_y es la desviación estándar del conjunto de valores Y_i , que puede calcularse como:

$$S_y = \sqrt{\frac{N}{N-1} (\bar{y}^2 - \bar{y}^2)} \quad (3.7.7)$$

Donde:

\bar{y}^2 = representa el promedio de los cuadros de los valores Y_i .

\bar{y}^2 = es el cuadro del promedio de los valores de Y_i .

El error estándar relativo (E.E.R.) de la correlación y contra X , es el cociente expresado en porcentaje entre el error estándar y el promedio de las Y_i , entonces:

$$E.E.R. = 100 \left(\frac{E.E.}{\bar{y}} \right) \quad (3.7.8)$$

Por lo tanto, coeficientes de correlación altos y errores estándar relativos bajos indican que la regresión obtenida es aceptable y puede utilizarse para estimar una variable en función de la otra. Debe tenerse cuidado, sin embargo, de no rebasar el intervalo de confianza, al utilizar la regresión para valores que quedan fuera del rango de variación de los datos.

c) Método racional deductivo.

Se utiliza para estimar datos intermedios faltantes en una estación, con base en el registro obtenido en la misma, como se describe a continuación:

1. Se obtiene el promedio mensual, para cada año completo, como el cociente del total anual entre 12.
2. Para cada uno de los meses se divide su valor entre el promedio mensual del año. La suma de los cocientes (6), así obtenidos, debe ser igual a 12.
3. Obtenemos la suma de los valores c para cada mes del año y con ella el promedio mensual del período (Pm).
4. Para los años en que se tengan datos faltantes se calcula la suma de los valores conocidos (svc).
5. En los meses en que falte el dato se toma el Pm correspondiente y se obtiene su suma (SPm).

6. Calculamos el cociente $K = \frac{S \cdot P_m}{12 - S \cdot P_m}$
7. Se multiplica el valor de K por SVC obteniéndose la suma de datos desconocidos (SVD).
8. Obtenemos $F = \frac{SVD}{S \cdot P_m}$
9. Para obtener el valor estimado para un mes se multiplica el factor F por el Pm correspondiente. La suma de los datos así obtenidos debe ser igual a SVD.

3.3. ESCURRIMIENTO,

El escurrimiento es la parte de la lluvia que es drenada por las corrientes hacia la salida de una cuenca. Está dividido en escurrimiento directo, que es el producido por la lluvia no infiltrada y que escurre por la superficie; en escurrimiento base, que es el producido por la aportación de los mantos acuíferos subterráneos y en escurrimiento subsuperficial que se produce dentro del suelo sin haber alcanzado el nivel freático.

El escurrimiento superficial se ve afectado por dos tipos de factores: climáticos y fisiográficos.

Los factores climáticos incluyen principalmente los efectos de varias formas y tipos de precipitaciones, interceptación, evaporación y transpiración, todos los cuales varían con las estaciones.

Los factores fisiográficos pueden dividirse en dos clases: características de la cuenca y características del cauce. Los primeros involucran el tamaño, forma y pendiente de la cuenca, permeabilidad y capacidad de formaciones

subterráneas, presencia de lagos y pantanos uso de la tierra etc. Las segundas se relacionan con las propiedades hidráulicas del cauce los cuales gobiernan el movimiento de las corrientes y determinan la capacidad de almacenaje del canal.

La parte de la lluvia que produce escurrimiento directo se llama lluvia en exceso y su intensidad es igual a la diferencia entre la intensidad de la precipitación y la capacidad de infiltración, una vez que las depresiones del terreno han sido llenados totalmente. Este escurrimiento representa el mayor porcentaje de volumen en una avenida.

El escurrimiento base tiene como fuente el agua subterránea y en época de secas solo el contribuye al escurrimiento del río.

3.4. METODOS DE MEDICION DEL ESCURRIMIENTO,

Cuando se mide el gasto que pasa por una corriente se dice que se esta aforando. Existen diversos métodos para aforar una corriente, que se pueden agrupar como sigue:

- a) Método de la sección de control.
- b) Método de la sección y velocidad.
- c) Método de sección y pendiente.

3.4.1. METODO DE LA SECCION DE CONTROL.

Es necesaria la existencia de una sección donde la energía específica sea mínima; esto puede tenerse natural o artificialmente, sea que exista un levantamiento en el fondo del cauce, un estrechamiento de la sección o una combinación de ambos, o bien que se construya una obra para provocar el tirante crítico en la sección.

3.4.2. METODO DE SECCION Y VELOCIDAD.

Se basa en el principio de continuidad, y es el criterio más aplicable en los ríos.

$$Q = AV \quad (3.4.1.)$$

Donde:

Q = gasto que pasa por una sección en m³/s

A = área de la sección en m²

V = velocidad media de la corriente en m/s

Es necesario conocer la sección para valuar su área a diferentes elevaciones del agua. El método se reduce a medir en la sección la elevación y velocidad media del agua para calcular el gasto.

3.4.3. METODO DE SECCION Y PENDIENTE.

Generalmente se emplea para obtener un gasto de avenida aprovechando las huellas que deja el agua. Para aplicarlo se escoge un tramo del río en estudio procurando que no existan secciones de control y oquedades que originen un cambio en el flujo. Escogido el tramo a estudiar se determinan las características de las secciones transversales extremas, así como sus respectivos niveles.

La hipótesis fundamental es que el régimen es uniforme para el tramo en estudio.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.4.2)$$

Donde:

A = área media en m^2

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

Q = gasto en m^3/s

R = radio hidráulico medio, en m

S = pendiente de la superficie libre del tramo en estudio.

3.5. OBTENCION DE DATOS.

Para la obtención del gasto en una sección de aforos es necesario conocer la elevación del agua, el área hidráulica para diferentes tirantes y la velocidad media de la corriente.

3.5.1. MEDICION DE ELEVACIONES.

La elevación del agua se obtiene por medio de aparatos manuales o automáticos.

Los manuales se llaman limnímetros y consisten en una regla graduada que se introduce en la corriente esta información está sujeta al número de lecturas que se hagan en el día.

Los aparatos automáticos miden elevaciones del agua con respecto al tiempo y se les denomina limnógrafos. Consisten en un flotador ligado a una aguja que marca en un papel de registro que está montado en un cilindro, el cual funciona por un mecanismo de relojería. El registro de un limnógrafo permite conocer la elevación máxima y la hora exacta en que se presenta.

3.5.2. MEDICION DEL AREA HIDRAULICA.

Para obtener una mayor exactitud en la medición de un gasto, el área hidráulica de la sección se puede dividir en fajas verticales (fig. 3.3.).

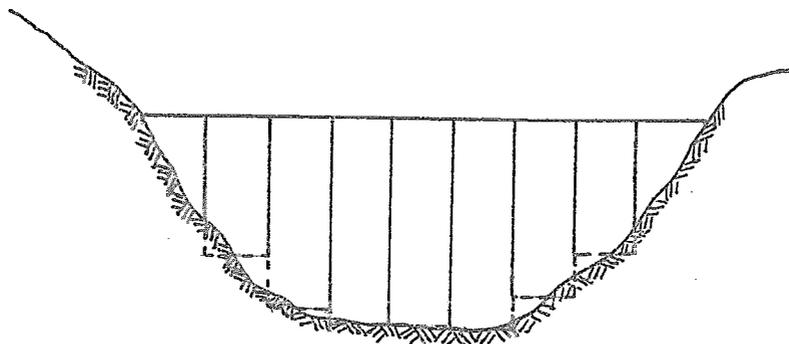


Figura 3.5 Área hidráulica de la sección de aforos

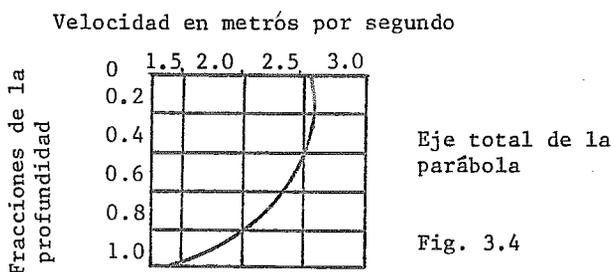
Si la sección no varía, es posible obtener su contorno en época de estriaje, lo cual permite calcular el área de las fajas verticales para diferentes elevaciones del agua.

Por lo contrario, si la sección varía constantemente, es necesario medir la profundidad de cada faja vertical, para lo cual se utiliza un escandallo.

3.5.3. MEDICIONES DE VELOCIDADES.

Para conocer la velocidad media en cada una de las fajas en que se haya dividida la sección, debido a que la velocidad de la corriente varía a lo largo de la sección.

Se considera que la distribución de la velocidad en una vertical tiene la forma de una parábola (fig. 3.4).



La velocidad media de una franja vertical se puede obtener por cualquiera de los tres criterios siguientes:

- a) Considerando el promedio de las velocidades que se midan al 20 por ciento y 80 por ciento del tirante, a partir del nivel de la superficie del agua.
- b) Cuando los tirantes son pequeños, la velocidad media se considera como la medida al 60 por ciento del tirante.
- c) La velocidad media se puede considerar como el promedio de las velocidades medias al 20 por ciento y 80 por ciento del tirante.

El aparato que comúnmente se utiliza para medir las velocidades del agua a diferentes profundidades es un molinete, que consiste en una hélice que gira sobre un eje montado sobre un depósito de suspensión, transmitiendo su movimiento a un sistema registrador que permite conocer el número de revoluciones. La relación entre la velocidad de la corriente y las revoluciones del molinete se determina en laboratorio.

3.5.4. CURVA ELEVACIONES - GASTOS.

Conociendo los gastos para diferentes elevaciones, se puede dibujar una curva continua que nos relacione los parámetros anteriores, cuando la sección sea constante y el régimen esté establecido.

En caso de que lo anterior no se cumpla se hacen correcciones a la curva de gastos, que dependen del fenómeno que alteró dicho régimen. Las correcciones más importantes se deben a la variación de la sección, el paso de una avenida o por efecto de remanso.

3.6. EVAPORACION Y TRANSPIRACION.

3.6.1. EVAPORACION.

Se llama evaporación al proceso por medio del cual algunas de las moléculas de agua que existen en la precipitación, la retención, la infiltración, el almacenamiento o el escurrimiento superficial, regresan a la atmósfera en forma de vapor.

La evaporación está relacionada con las presiones de vapor existentes en el aire y en la superficie de agua.

Los factores que intervienen en la evaporación son:

- a) Contenido de humedad del aire en relación con la máxima posible, o sea la presión de vapor en relación con la presión de saturación, que dependen, a su vez, de la temperatura del aire.
- b) Presión de saturación de la película superficial, que es función de la temperatura del agua.
- c) Velocidad del viento, puesto que es el que mueve la capa superficial del agua.

Calidad del agua.

3.6.2. MEDICION DE EVAPORACION.

El método más empleado para conocer la evaporación, consiste en su medición directa por medio de tanques expuestos a la intemperie y establecidos en condiciones tales que la evaporación se produzca en ellos de un modo semejante a la de los depósitos o cursos de agua, como presas, lagos, ríos y canales, y que, por consiguiente, los datos obtenidos se puedan aplicar a dichas masas de agua, si se les afecta de un factor denominado coeficiente de evaporímetro. Los tanques antes mencionados reciben el nombre de evaporímetros, y consisten en un cilindro de lámina galvanizada abierto en su parte superior y de aproximadamente 1.22 m de diámetro y 0.26 m de altura. El recipiente se llena de agua hasta cierto nivel y se mide su variación después de un intervalo de tiempo por medio de un vernier, el que se encuentra dentro de un cilindro pequeño que mantiene el mismo nivel que en el tanque, pero sin perturbaciones que afecten la lectura.

3.6.3. FORMULAS DE EVAPORACION.

Cuando no existen los datos de evaporación obtenidos de mediciones directas o no sean confiables, se recurre a la aplicación de fórmulas empíricas propuestas por varios autores.

1. Fórmula del U. S. Departament of Agriculture.

El USDA propone una fórmula basada en datos de presiones de vapor y barométrico así como la velocidad del viento, mediante la siguiente expresión:

$$E = 0.771 (1.465 - 0.0186 B) (0.44 + 0.118V) (pve - pva) \quad (3.6.1)$$

Donde:

E = evaporación de almacenamiento, en pulg/día.

B = presión barométrica media, en pulgadas de Hg a 32° F

v = velocidad del viento, en millas/hr.

p_{ve} = presión de vapor de la película superficial del agua, en pulg. de Hg.

p_{va} = presión de vapor de la masa de aire, en pulg. de Hg.

2. Fórmula de Dalton.

Esta fórmula toma en cuenta que la evaporación es proporcional a la diferencia entre la presión de vapor de agua y la presión de vapor del aire que se encuentra sobre la superficie del agua es decir:

$$E = K (p_{ve} - p_{va}) \quad (3.6.2)$$

Donde:

K = coeficiente de proporcionalidad
 p_{ve} tienen el mismo significado que en la
 fórmula anterior. (3.6.1)

3. Fórmula de Meyer.

Calcula las evaporaciones mensuales y se basa en la ecuación de Dalton, y dice:

$$E = C (p_s - p_{va}) \left(1 + \frac{V w}{16.09} \right) \quad (3.6.3)$$

Donde:

E = evaporación mensual, en cm

C = constante empírica con un valor de 38 para evaporímetros y pequeños depósitos y de 28 para grandes depósitos.

p_{va} = presión de vapor del aire basada en la temperatura media mensual del aire, en pulgadas de Hg.

p_s = presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura media mensual del aire si se trata de depósitos pequeños, y a la temperatura media mensual del agua si se trata de depósitos grandes, en pulgadas de Hg.

V_w = Velocidad media mensual del viento en km/hr.

4. Fórmula de Horton.

Calcula las evaporaciones diarias mediante la ecuación:

$$E = 1.016 (\psi P_s - P_{va}) \quad (3.6.4)$$

Donde:

$$\psi = 2 - e^{-0.0128}$$

Las variables tienen el mismo significado que en la fórmula de Meyer (3.6.3), sólo que ahora se usan valores diarios.

La fórmula de Horton sólo es útil para pequeños depósitos, en el caso de depósitos grandes, deberá multiplicarse el valor de E por el factor:

$$(1 - P) + \frac{P \psi - 1}{\psi - h}$$

Donde:

h = humedad relativa

P = fracción del tiempo durante el cual el viento es turbulento.

5. Fórmula de Thornwhaite - Holzman.

Supone una condición atmosférica adiabática y una distribución logarítmica en la vertical de la velocidad del viento y de la humedad mediante la expresión:

$$E = \frac{210.43 (p_1 - p_2) (V_{w2} - V_{w1})}{(T - 459.4) \ln (h_2/h_1)^2}$$

Donde:

E = evaporación en centímetros por hora.

p₁, p₂ = presión de vapor en la altura h₁ y en la superior h₂, respectivamente, sobre la superficie del agua, en pulgadas de Hg.

T = temperatura media del aire entre h₁ y h₂ en °F.

V_{w1}, V_{w2} = velocidad del viento para h₁ y h₂ respectivamente, en km/hr.

3.6.4. TRANSPIRACION

El agua que absorben las plantas por las raíces; una parte regresa a la atmósfera en forma de vapor a través, principalmente, de las hojas, constituyendo lo que se llama transpiración.

Los principales factores que afectan la transpiración pueden agruparse en fisiológicos y ambientales:

- a) Factores fisiológicos, podemos citar el tipo de planta, densidad de las hojas y el grado de desarrollo.
- b) Factores ambientales, los más importantes son la temperatura, horas luz, humedad del suelo y el viento.

3.6.4.1. MEDICION DE LA TRANSPIRACION.

Debido a la dificultad existente para medir la transpiración en condiciones naturales, se han desarrollado métodos de muestreo en laboratorio. entre los que se pueden citar los siguientes:

- a) Medición del Agua Transpirada.

Calcula la transpiración como el cambio de humedad en un recipiente cerrado que contiene una planta. Los resultados así obtenidos no son satisfactorios por la humedad desarrollada en el recipiente y por estar limitado a períodos cortos de medición. Además sólo es aplicable a plantas pequeñas.

- b) Medición de la Variación de Peso debido a la pérdida de agua en las plantas.

Consiste en colocar una o varias plantas en un recipiente lleno de tierra el cual se sella para quitar la evaporación del agua contenidas en la tierra, logrando de esta manera que la única pérdida de humedad sea debido a la transpiración de las plantas.

La transpiración queda determinada por la pérdida de peso en el recipiente. Los resultados así obtenidos son buenos si las condiciones del laboratorio son comparables con las existentes en la naturaleza.

Debido a lo difícil de estas condiciones, se acostumbra calcular la transpiración combinada con la evaporación que se produce en las zonas de influencia de las plantas, constituyendo la evapotranspiración o uso consuntivo.

4. SISTEMATIZACION DE LOS CALCULOS.

Los principios básicos del Planteamiento y proyecto de embalses se rigen por el empleo y utilización del mismo. Si el abastecimiento de agua aprovechable para un propósito determinado, tal como la producción de energía hidroeléctrica es menor que la demanda durante una estación (Estiaje), y mayor en temporada de lluvia necesita un embalse de reserva. Esto es un embalse interanual.

En embalse para fines hidroeléctricos se basa en la relación entre la cantidad de agua disponible, la demanda de agua o volumen turbina-ble, y el volumen que ha de tener el embalse o vaso.

Los estudios preliminares para el funcionamiento de vaso.

- Curvas áreas-capacidades.

Se determina en función de las cotas del embalse. El procedimiento para la obtención de tales curvas es el estudio topográfico del área de la cuenca.

- Curvas de régimen o hidrogramas.

Representan los gastos medios en las ordenadas en función del tiempo tomado como abscisa, y constituyen la expresión más característica y común del gasto. El período de tiempo es mensual.

En la aplicación de las curvas de régimen o hidrogramas, es a menudo útil el superponer a la curva de gastos la curva de demanda o de consumo. Esta curva puede ser una recta en el caso de un proyecto hidroeléctrico.

POTENCIALIDAD DE UN RIO.

Es la facilidad que presenta los elementos hidráulicos, gasto y carga de poder ser transformados en energía electromecánica desde el punto de vista de la magnitud y número requerido de instalaciones civiles, mecánica y eléctricas.

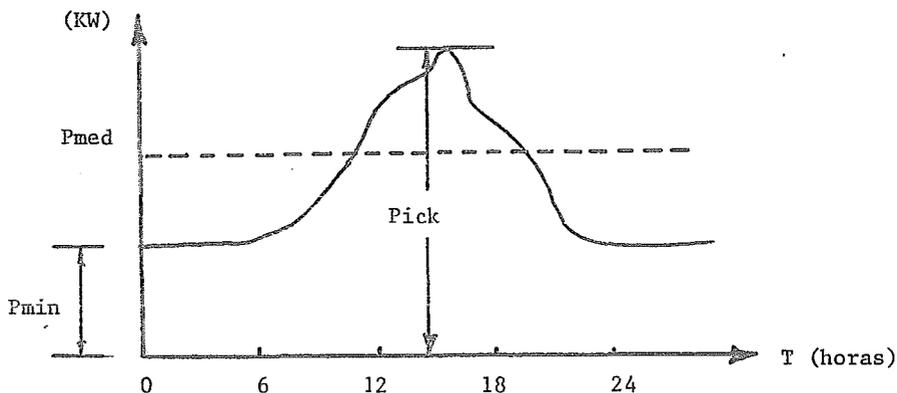
La potencialidad de un río lo definen los siguientes factores:

- Cantidad total de potencia; el valor de $P = \gamma Q H$ donde Q es el gasto de extracción seleccionado.
- El porcentaje con que interviene el gasto en la potencia. Este punto es de importancia en la potencialidad del río, ya que depende del valor de Q y H el mejor aprovechamiento es el que se realiza en base a transformar carga (H). Pues se requieren almacenamientos pequeños y además las obras de conducción y la casa de máquinas son también más económicas; por que a mayor carga los diámetros de las tuberías son más pequeños a las máquinas más compactas por que la velocidad angular normal de operación es proporcional a la carga (H).

La potencia que es capaz de dar un tramo de río está dada por $P = \gamma Q H$ o sea que es función de los elementos hidráulicos Q y H . Donde la carga esta bien definida, ya que aunque los escurrimientos del río varíen de acuerdo con el ciclo hidrológico los desniveles entre las dos secciones del tramo del río serán siempre sensiblemente los mismos al variar el gasto. Por lo que el problema, en la generación de energía es llegar a saber que gasto es el que se debe usar.

La demanda de energía varía de instante a instante, en forma errática y durante todo el tiempo, ya que depende de las necesidades de los usuarios y de las industrias. Si se grafican las demandas en función del tiempo (Figura 4.1) obtenemos una curva de demandas.

Demanda de energía Figura 4.1 Demandas de energía



De la figura 4.1 se puede observar que:

- Hay un consumo mínimo en horas de mínima actividad industrial.
- Un Pick máximo como resultado de la actividad industrial aunados otros tipos de actividad que se realizan en esos momentos del día.
- El consumo medio de energía se obtiene del área bajo la curva dividido entre las 24 hr.

Se pueden obtener curvas de demandas duración para lapsos de una semana, un mes o un año; en las que llevados en forma de registro se pueden observar que existen consumos máximos que se presentan en determinadas horas, días, meses, etc., en forma bastante regular y predecibles pero con la única diferencia de que los pick y consumos medios de energía

van aumentando con el transcurso del tiempo debido al crecimiento del desarrollo industrial y de la actividad social de los núcleos de población.

Del estudio de las gráficas se han obtenido los siguientes conceptos:

Energía Firme.

Es la que puede suministrar constantemente la central. Esta viene determinada por un gasto mínimo, teniendo en cuenta el gasto de regulación aprovechable.

Energía Secundaria.

Es la energía aprovechable en exceso sobre la Energía Firme. Está limitada por la capacidad de los generadores de la central, por la carga y por el agua aprovechable en exceso sobre el gasto constante.

Potencia Instalada.

Es la potencia total que pueden producir trabajando en conjunto todas las turbinas.

La potencia instalada es siempre mayor que la potencia continua de generación por el hecho de que en algunas épocas del año se necesita dar Pick superiores al consumo medio diario y para las necesidades de mantenimiento y reparación de éstas de tal forma que siempre exista seguridad en la producción de energía.

La aportación o volumen de entrada depende esencialmente de las condiciones hidrológicas de la cuenca del río en estudio. Generalmente

la relación entre aportaciones y demandas no coinciden ni en tiempo ni en magnitud; ya que cuando hay más demanda la aportación es mínima y además con el transcurso del tiempo mientras la aportación se mantienen más o menos del mismo orden las demandas van siendo cada vez mayores.

Para poder producir la cantidad necesaria de energía en el momento en que se necesita, será necesario hacer obras que permitan almacenar grandes volúmenes de agua cuando la aportación es máxima para gastarla cuando las necesidades lo exijan, desde luego esto depende de la magnitud del aprovechamiento y de la potencialidad del río.

La energía de una central hidroeléctrica dada, o de un sistema está limitada por la capacidad del equipo instalado. También puede quedar limitada por la cantidad de agua utilizable, características del salto y embalse.

El proceso de Cálculo considera; los volúmenes disponibles y las cargas existentes, mes a mes (teniendo en cuenta la ecuación de continuidad), con objeto de definir la energía susceptible a generarse para una capacidad dada. Esto es definiendo el nivel de aguas mínimas de operación y el nivel de aguas máximas ordinarias.

Se rige mediante el criterio de considerar:

- El rango de cargas para generación debe cumplir que $0.8 H_d < H < 1.2 H_d$

Donde:

H_d = carga de diseño

H = carga

La formula para calcular la energía tiene un coeficiente de conversión de unidades de kilográmetros a kilowatts hora que es obtenido de la siguiente manera:

$$\text{Potencia } P = \gamma \eta \text{ QH}$$

$$\text{Donde: } A = \frac{V}{t}$$

$$P = \gamma \eta \frac{V}{t} H$$

Y la energía es:

$$E = Pt$$

$$E = (\gamma \eta \frac{V}{t} H) t$$

$$E = 1\,000 \text{ VH}\eta \text{ en kgm}$$

$$\text{Donde: } 1 \text{ kgm} = 0.000002722 \text{ KWH}$$

$$\therefore E = 0.002722 \text{ VH}\eta$$

Cambiando las literales por las que se usarán en el programa.

$$D2 = 0.002722 *DI *H4 *P5$$

$$\text{Donde: } P = \text{Potencia}$$

$$\gamma = \text{Peso volumétrico del agua}$$

$$\eta = \text{Eficiencia} = P5$$

$$H = \text{Carga} = H4$$

$$Q = \text{Gasto}$$

$$V = \text{Volumen} = DI$$

$$t = \text{Tiempo}$$

$$E = \text{Energía} = D2$$

Esta formula tiene como constante la eficiencia y varian el volumen turbinable y la carga. La eficiencia se considerará constante por variar la carga entre 0.65 y 1.0 de la carga de diseño (1).

La carga de diseño determina el volumen turbinable a máxima eficiencia para cada carga H' según las leyes de semejanza de las turbinas, que dice; Una turbina calculada para una carga de diseño H con potencia P y gasto Q funcionará a máxima operación para un H' diferente de H con una P' y Q' que sigue las siguientes relaciones.

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}} \quad , \quad \frac{P'}{P} = \frac{\sqrt{H'^3}}{\sqrt{H^3}}$$

Cuando la carga H' es menor que la carga de diseño H .

Tenemos $H' < H$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}}$$

Donde: $Q = \frac{V}{t}$

$$\frac{\frac{V'}{t}}{\frac{V}{t}} = \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H}}$$

$$\therefore V' = V \sqrt{\frac{H'}{H}}$$

Cambiando los literales por los que utilizará el programa, Kitty.

(1) Centrales hidroeléctricas, Zoppetti J. Caudencio.

$$Z_4 = Z_3 * \sqrt{\frac{H_4}{Z_2}}$$

Cuando la carga es mayor que la carga de diseño: $H' > H$

La potencia de diseño no puede ser excedida, por lo tanto.

$$\frac{P'}{P} = 1$$

Y como la potencia es $P = \gamma_n QH$

$$P' = P$$

$$\gamma_n Q'H' = \gamma_n QH$$

Dividiendo entre γ_n

$$Q'H' = QH$$

Donde: $Q = \frac{V}{t}$

$$\frac{V'}{t} H' = \frac{V}{t} H$$

Multiplicando por t

$$V'H' = VH$$

$$\therefore V' = V \frac{H}{H'}$$

Cambiando los literales por las que se utilizarán en el programa Kitty.

$$Z_4 = Z_3 * \frac{Z_2}{H_4}$$

Donde $Z_4 = \text{Volumen turbinable} = V'$

$Z_3 = \text{Volumen turbinable a máxima eficiencia} = V$

$Z_2 = \text{Carga de diseño} = H$

$H_4 = \text{Carga} = H'$

La manera en que influye la potencia es que mayor potencia instalada mayor energía generada.

El coeficiente del volumen turbinable a máxima eficiencia es deducido de la siguiente manera:

Potencia $P = \gamma \eta QH$ en kilogrametros /segundo

El Gasto $Q = \frac{V}{t}$

$$P = \gamma \eta \frac{V}{t} H$$

$$V = \frac{Pt}{\gamma \eta H}$$

Donde: $t = \frac{365.54}{12} \times 86\,400$

Haciendo la conversión de kgm/seg a kilowatts.

$$1 \text{ kgm/seg} = 0.009807$$

$$V = \frac{2631888 P}{1000 \times 0.009807 \times \eta \times H} = \frac{268369 P}{\eta H} \text{ en kilowatts}$$

Dado que la potencia esta en Megawatts y $1 \text{ Mw} = 1\,000 \text{ kw}$

$$V = \frac{268.369 P}{\eta_H}$$

Cambiando las literales por las que utiliza el programa Kitty.

$$Z3 = \frac{268.369 * Z1}{(P5 * Z2)}$$

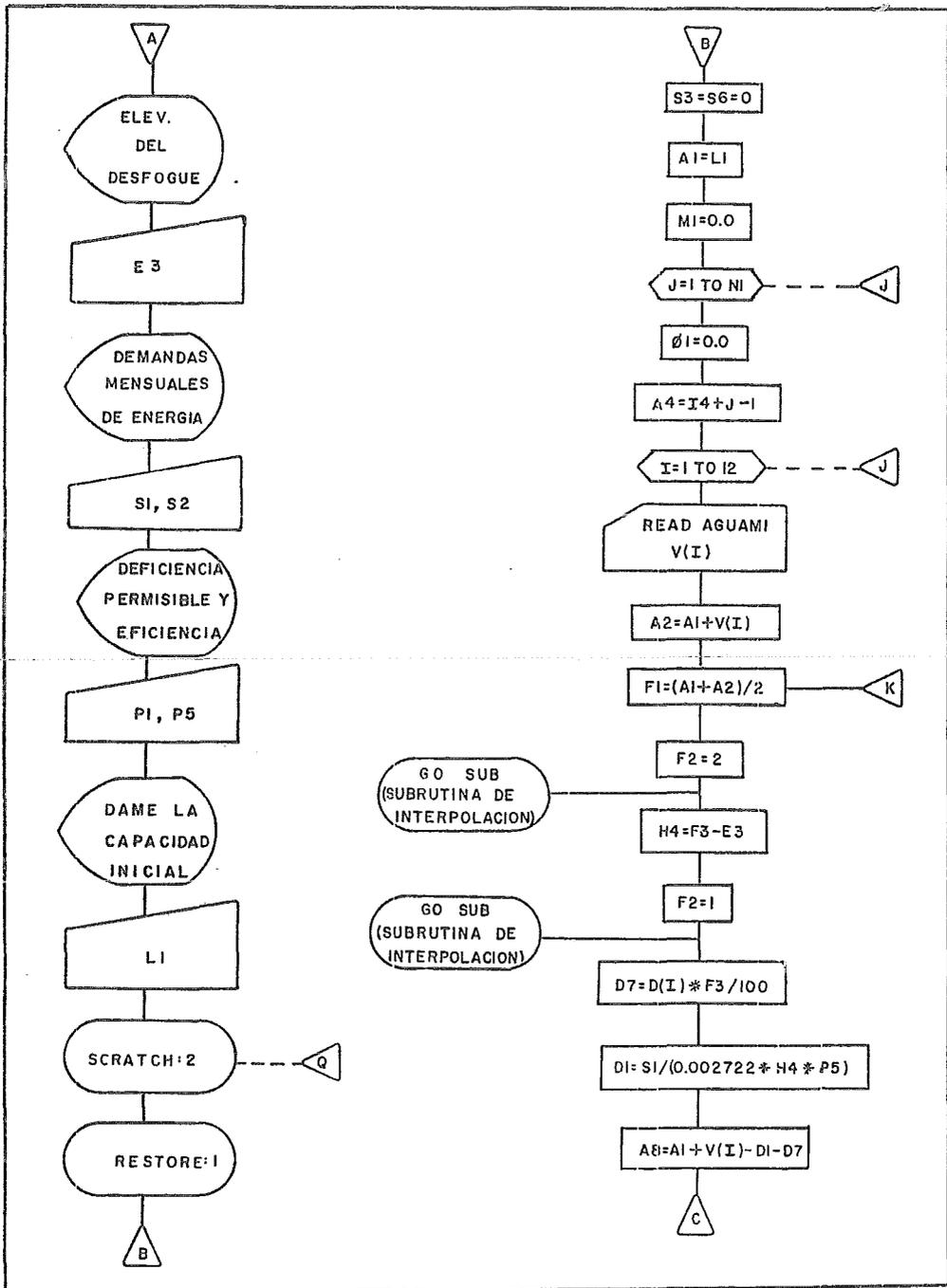
5.- DIAGRAMAS DE FLUJO.

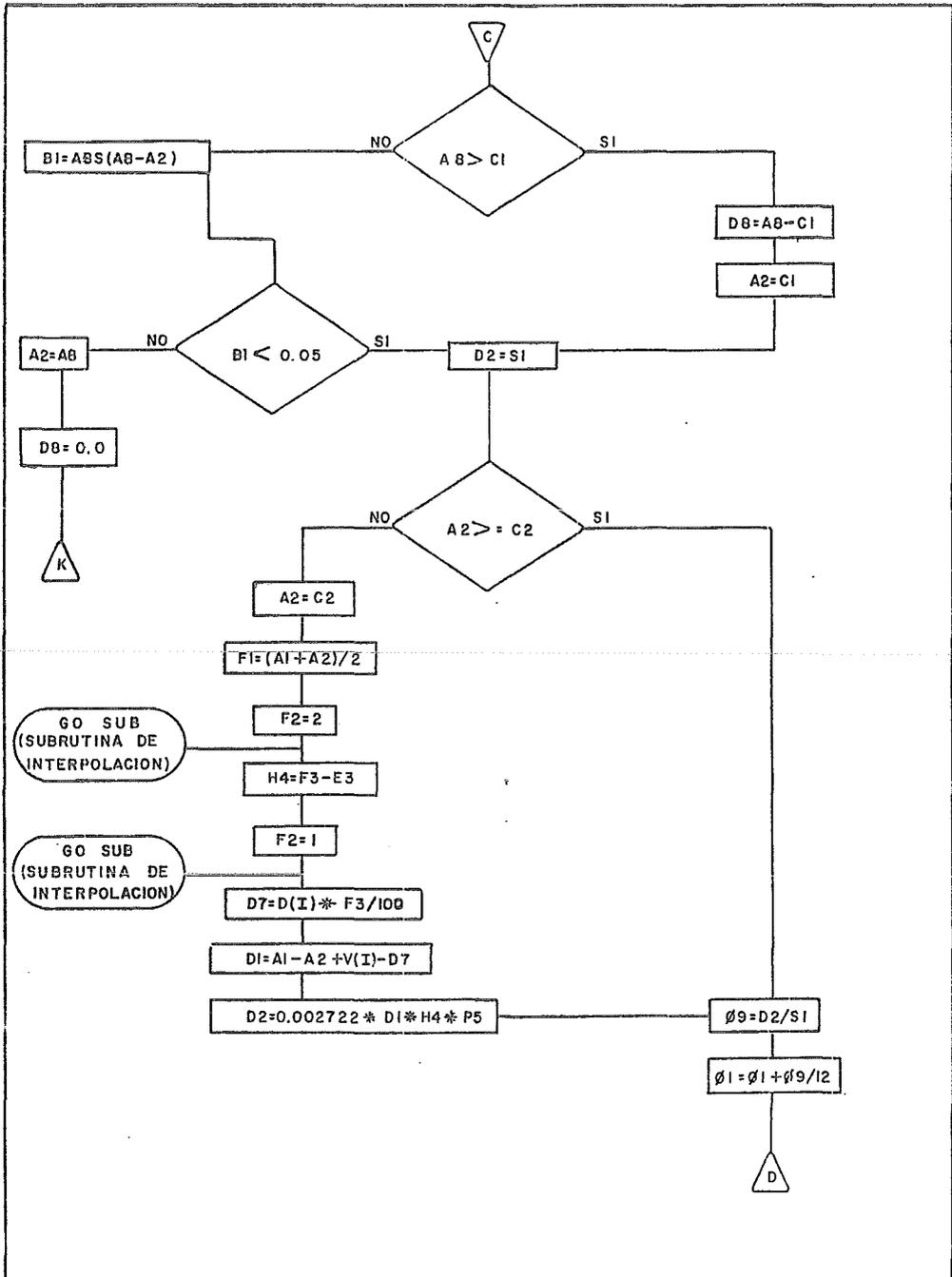
El Diagrama de Flujo proporciona una representación visual útil, no solamente para el programador, sino para cualquier otra persona interesada en la interpretación y uso del programa, con un mínimo de dificultad.

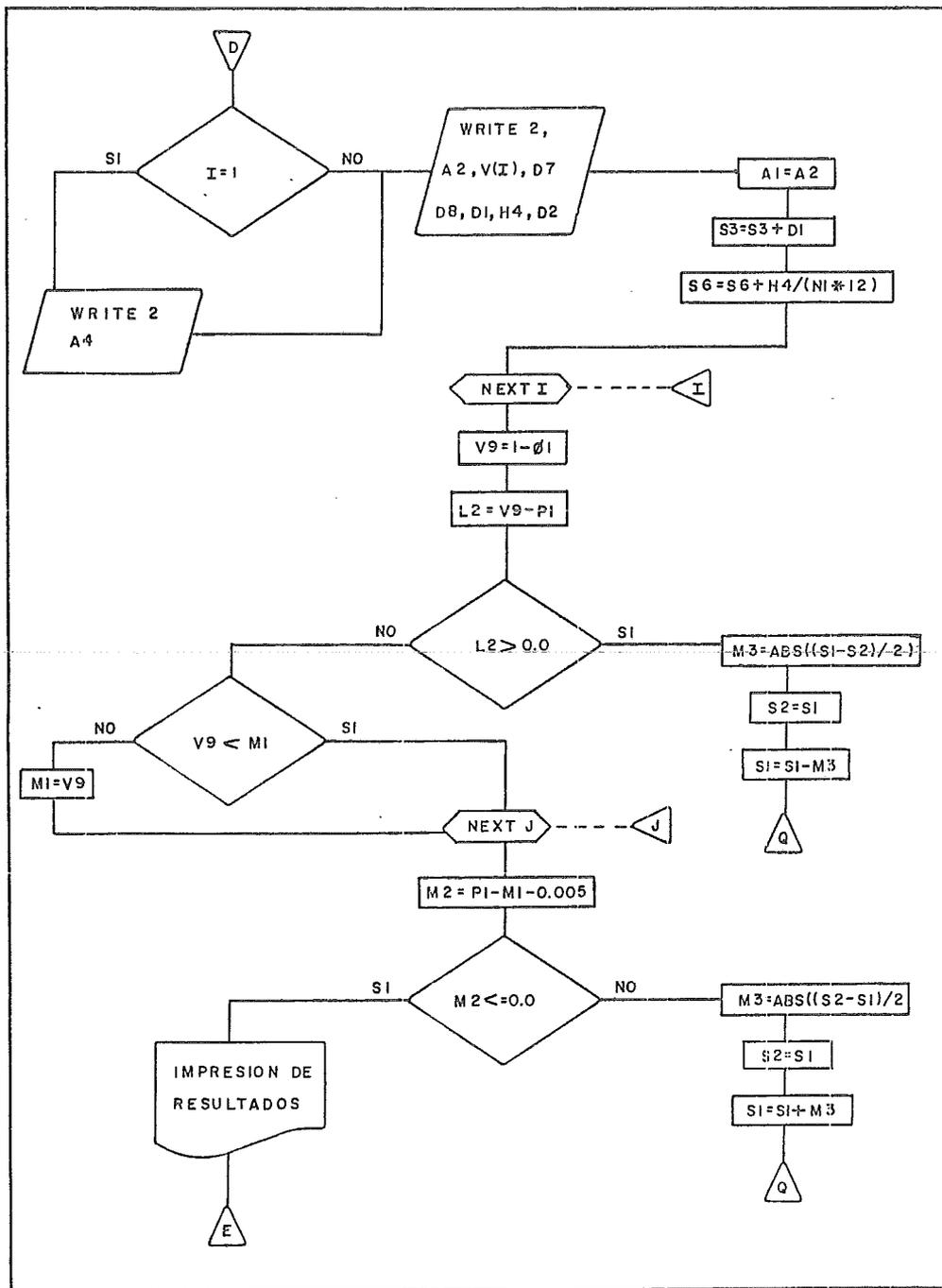
El Diagrama de Flujo es un esquema muy simple del tipo de un mapa de carreteras. Con éste diagrama se describen todas las instrucciones lógicas de un programa de computadora y se indican claramente las secciones y circuitos, así como las correlaciones de uno con otro.

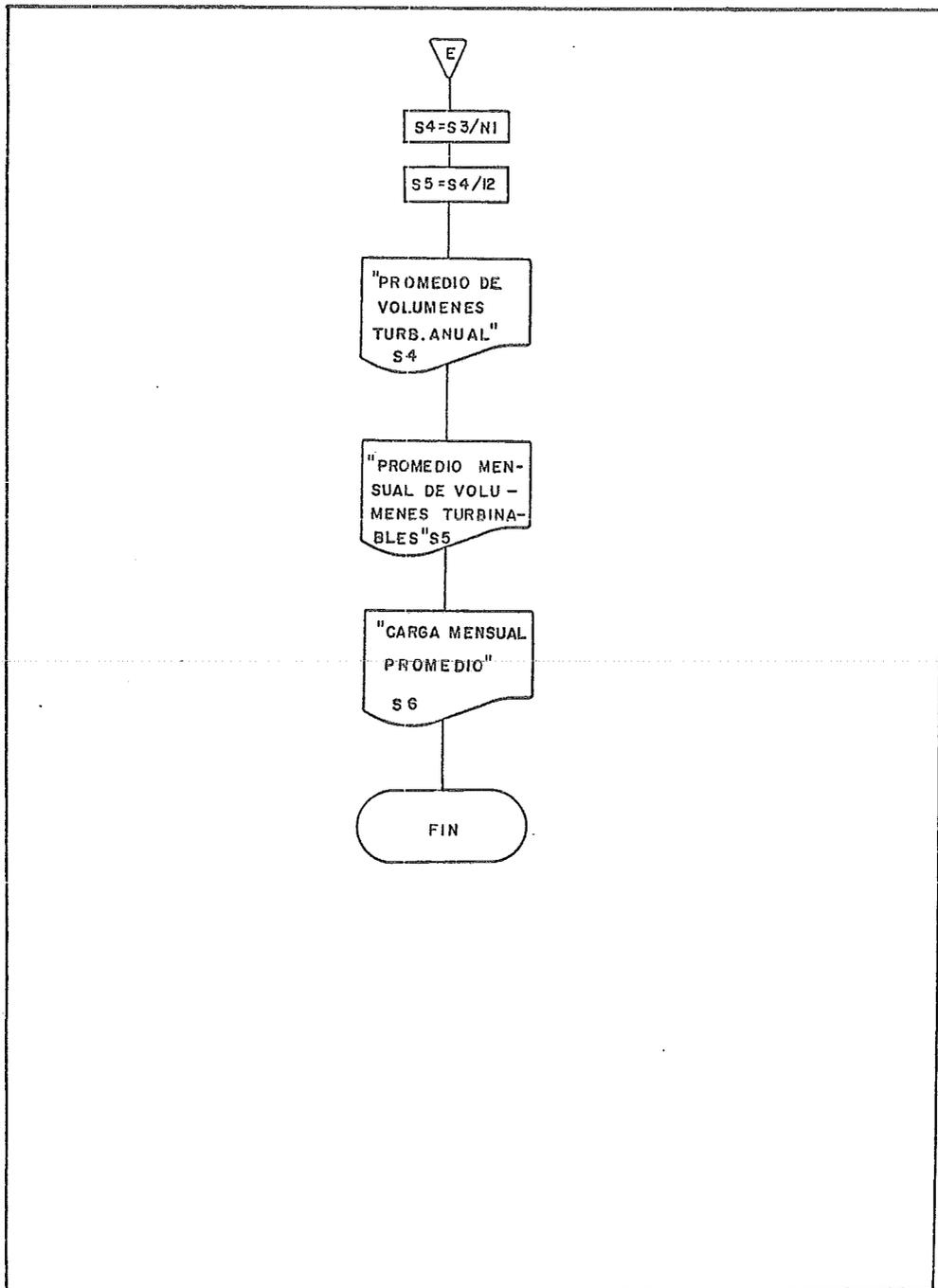
El Diagrama de Flujo indica los "flujos de control" entre las diferentes instrucciones que forman el programa. Está compuesto generalmente, por una colección de figuras geométricas que tienen ya una codificación convencional, para indicar la naturaleza de las operaciones que se presentan.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de los programas ALIFUE y KITTY que calculan energía firme y energía firme más secundaria respectivamente, así como la subrutina de interpolación de ambos programas.

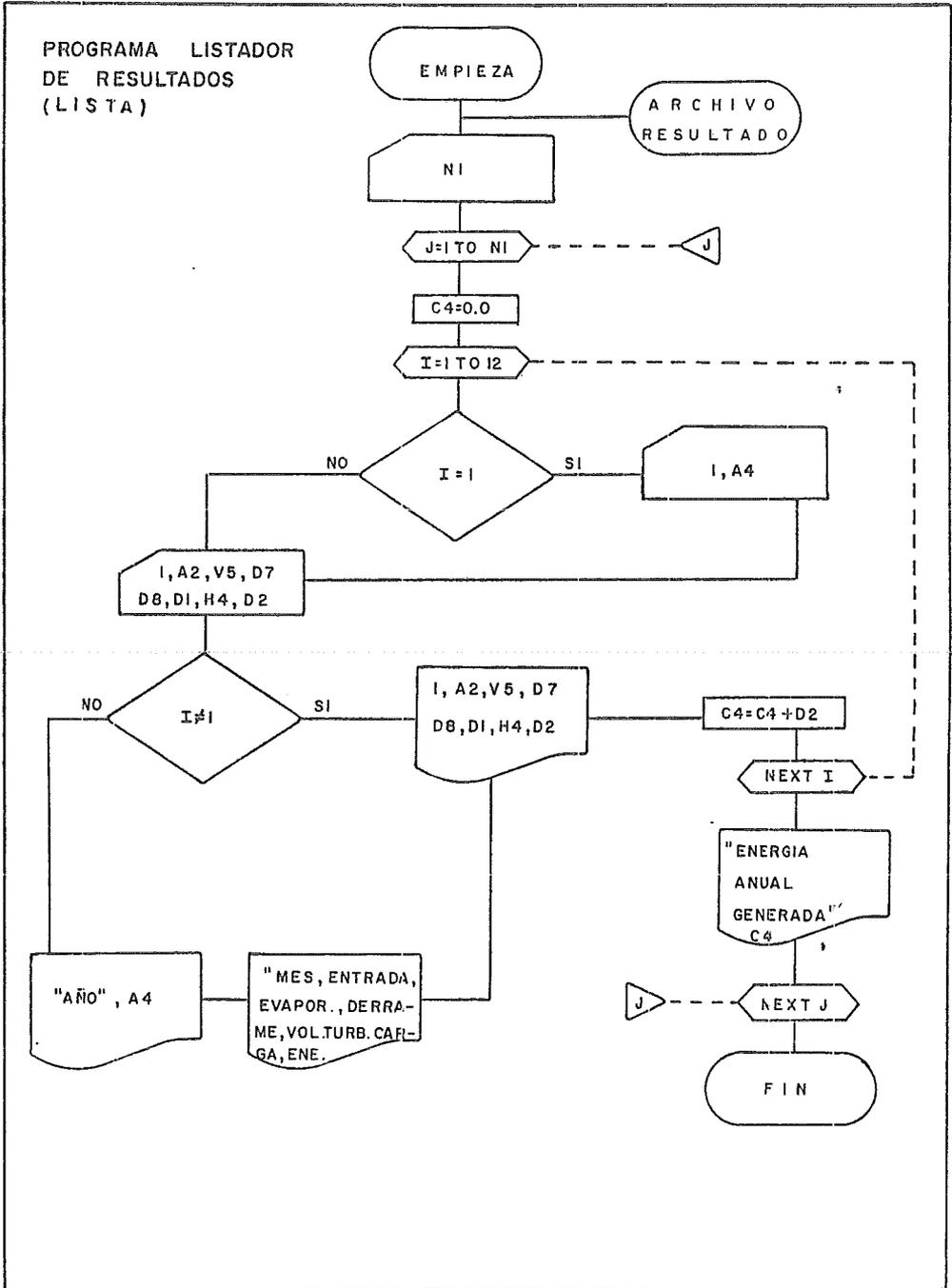


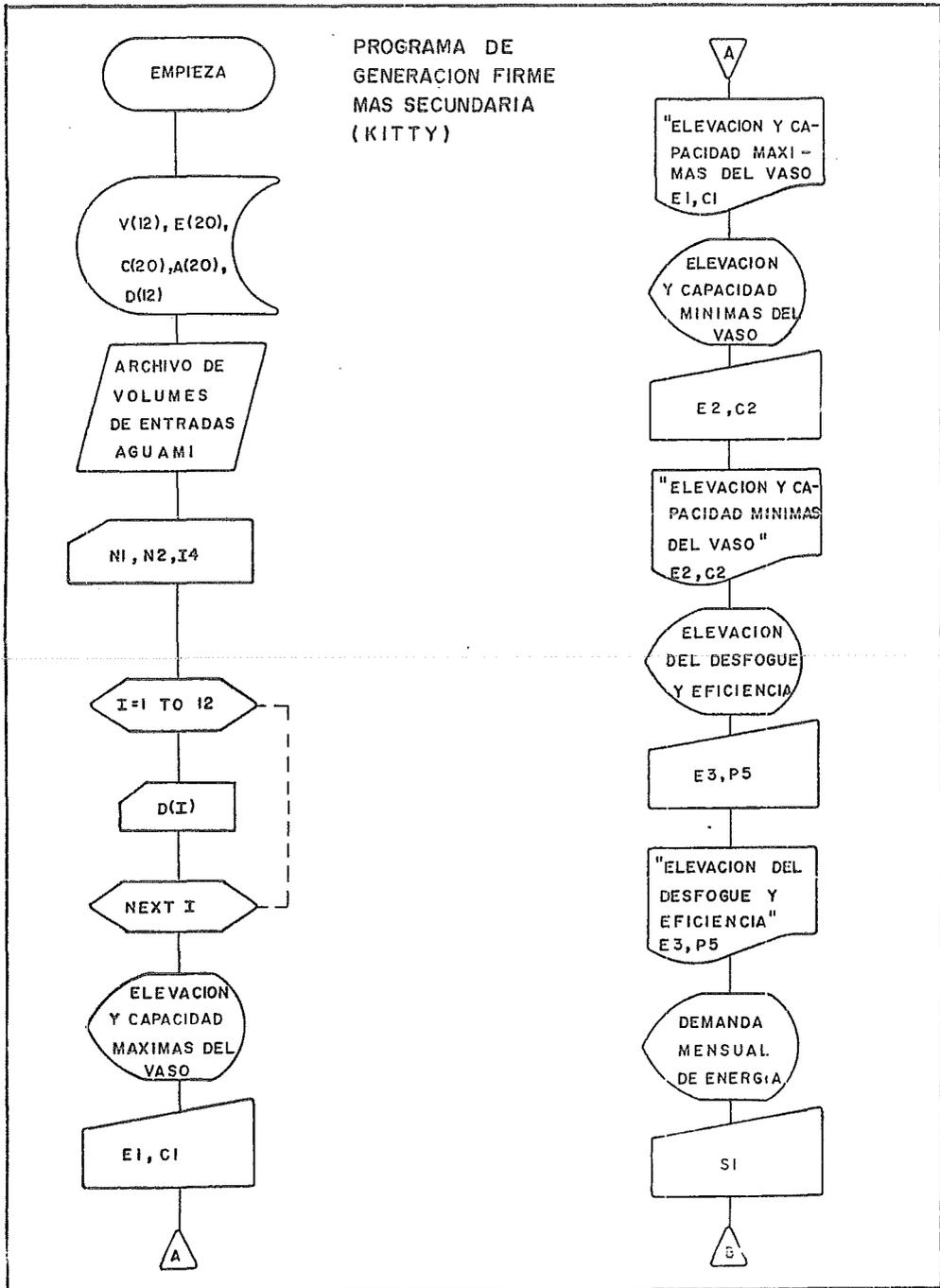


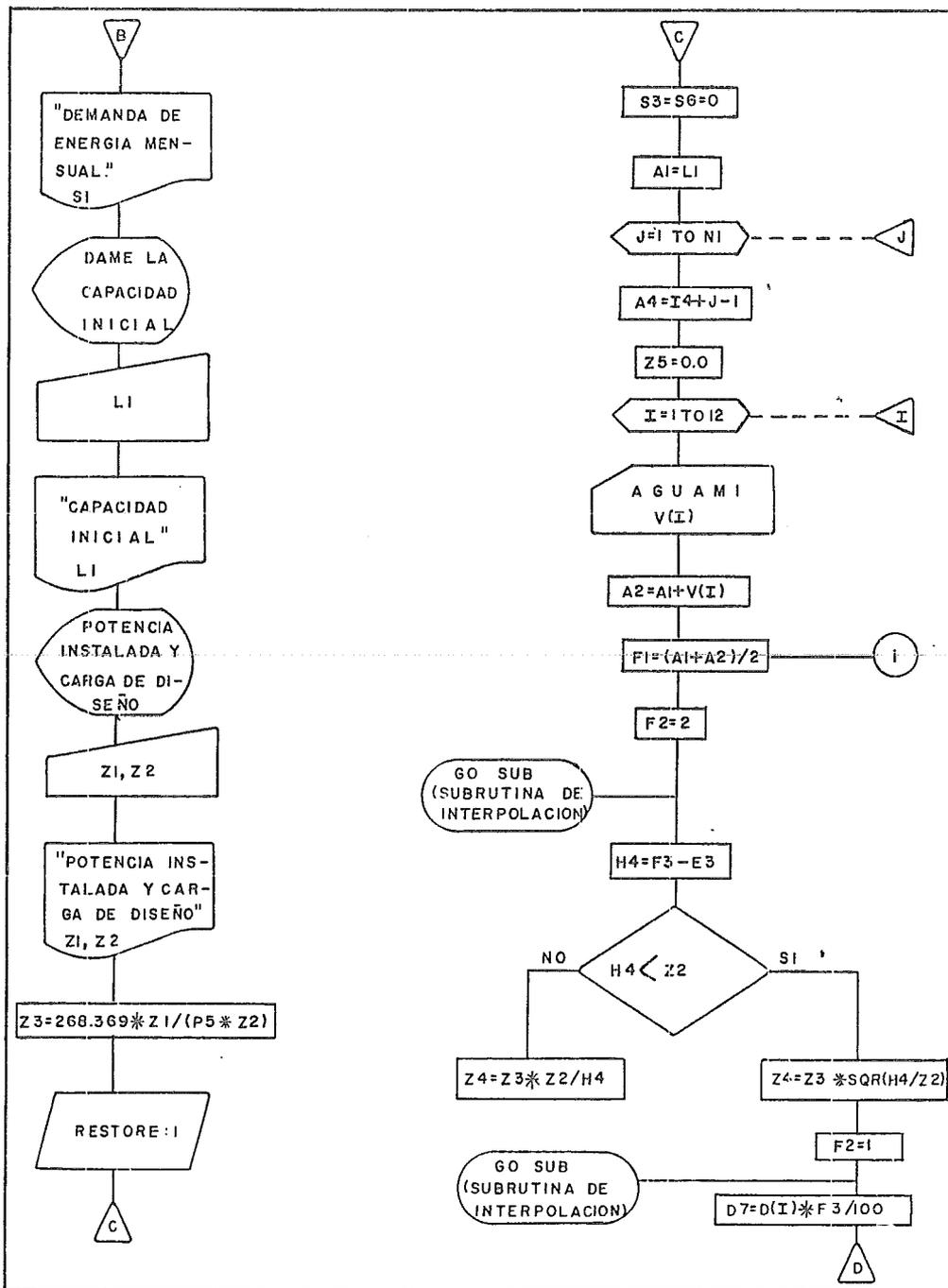


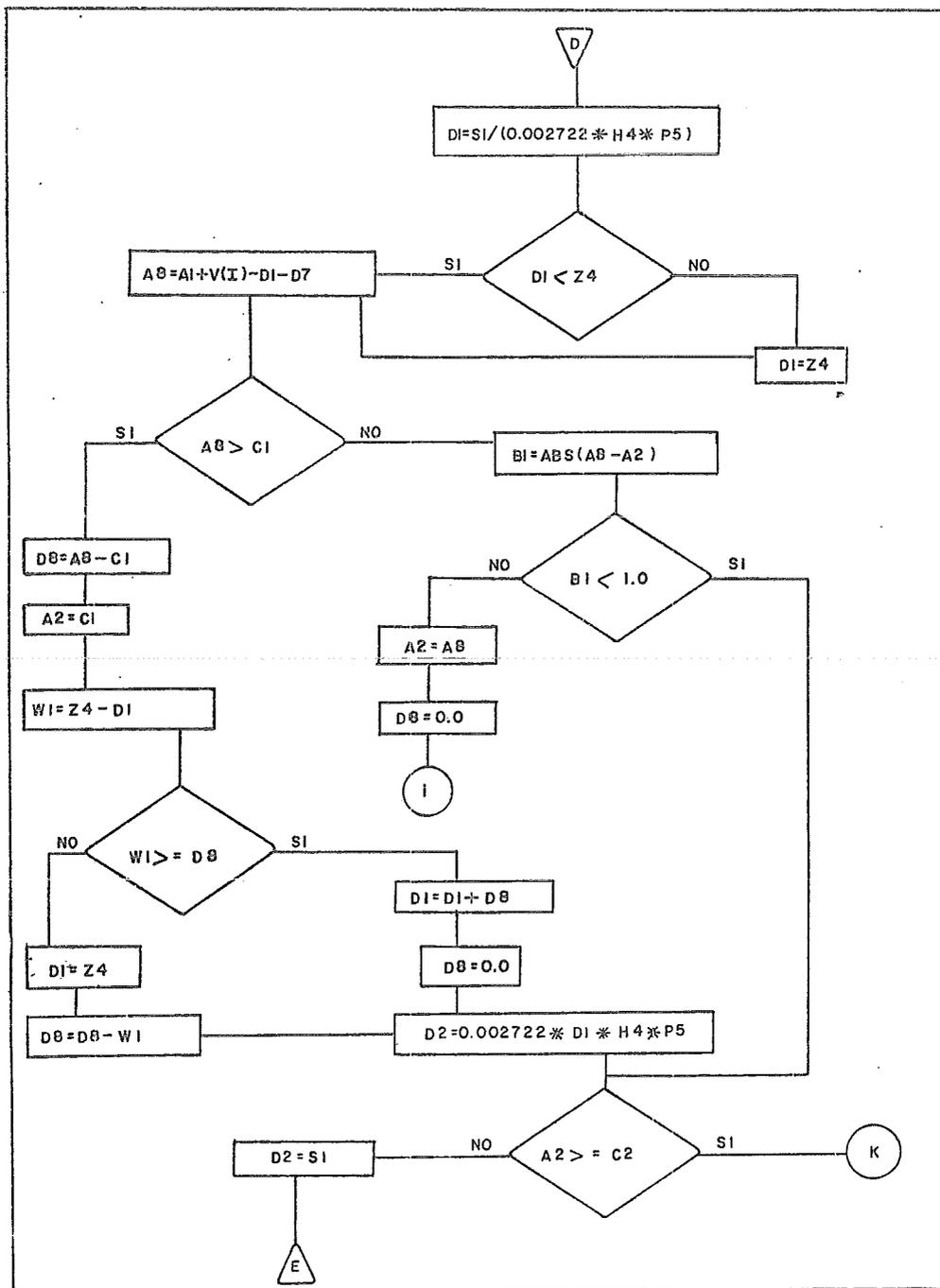


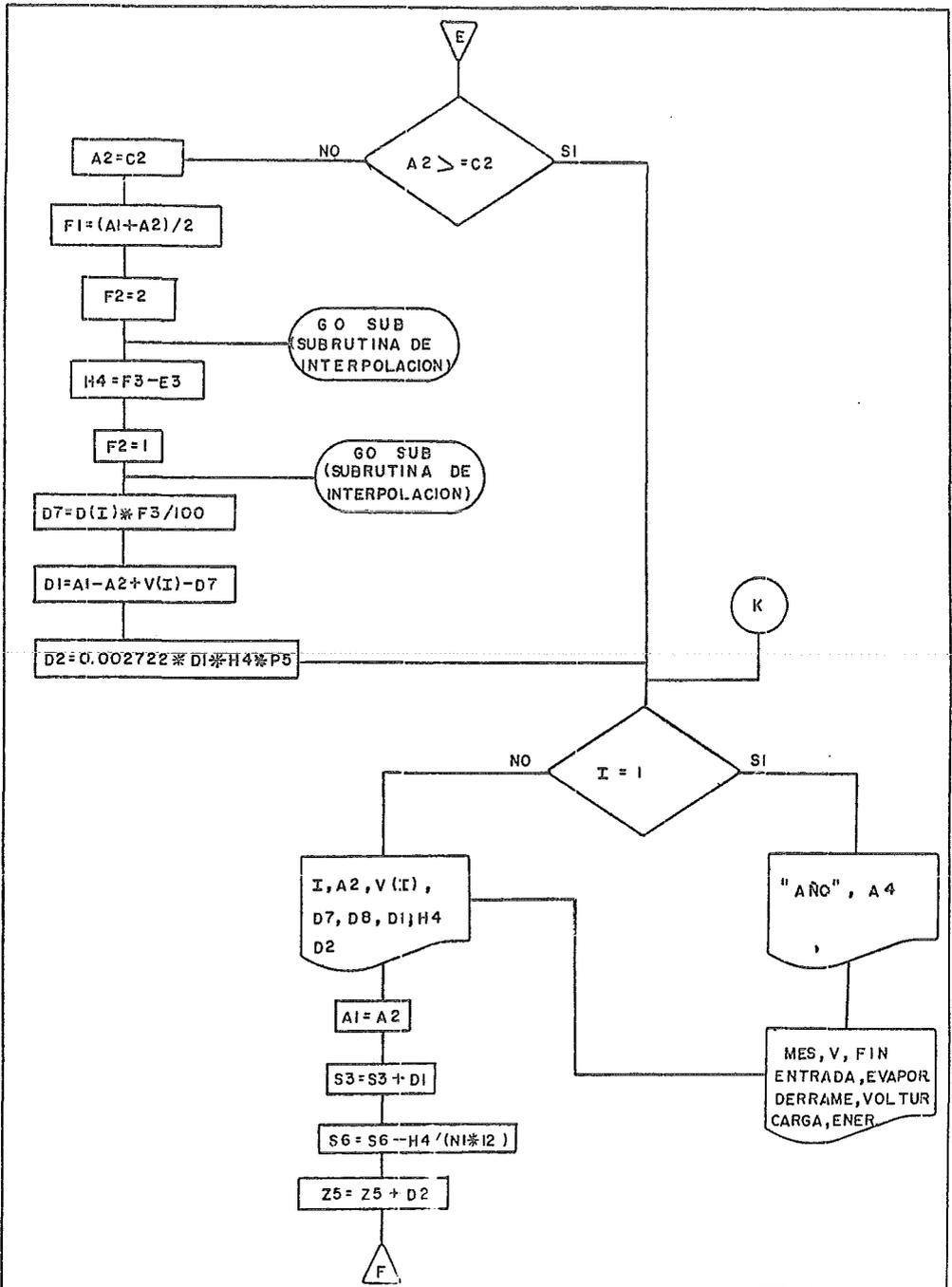
PROGRAMA LISTADOR
DE RESULTADOS
(LISTA)

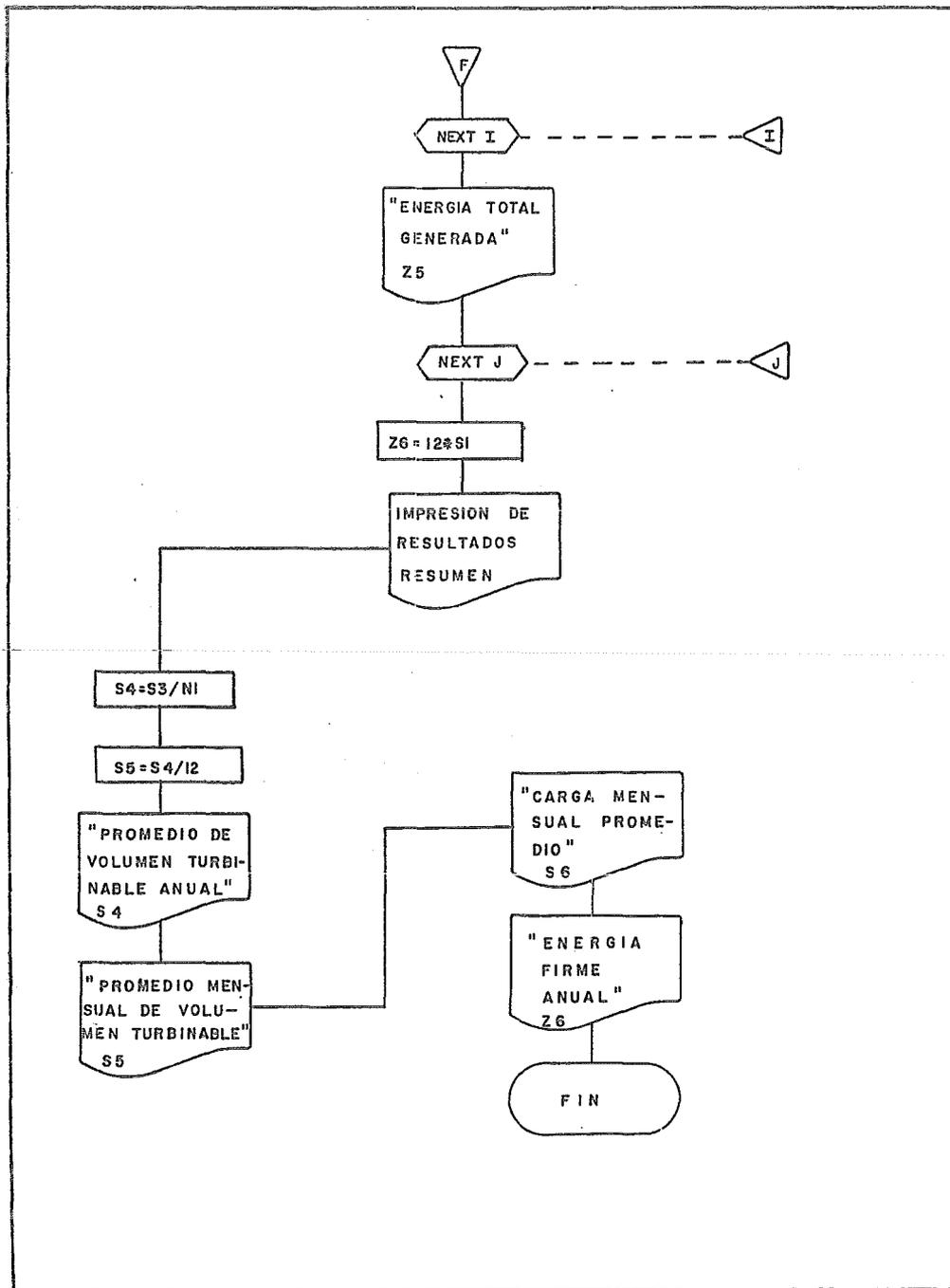


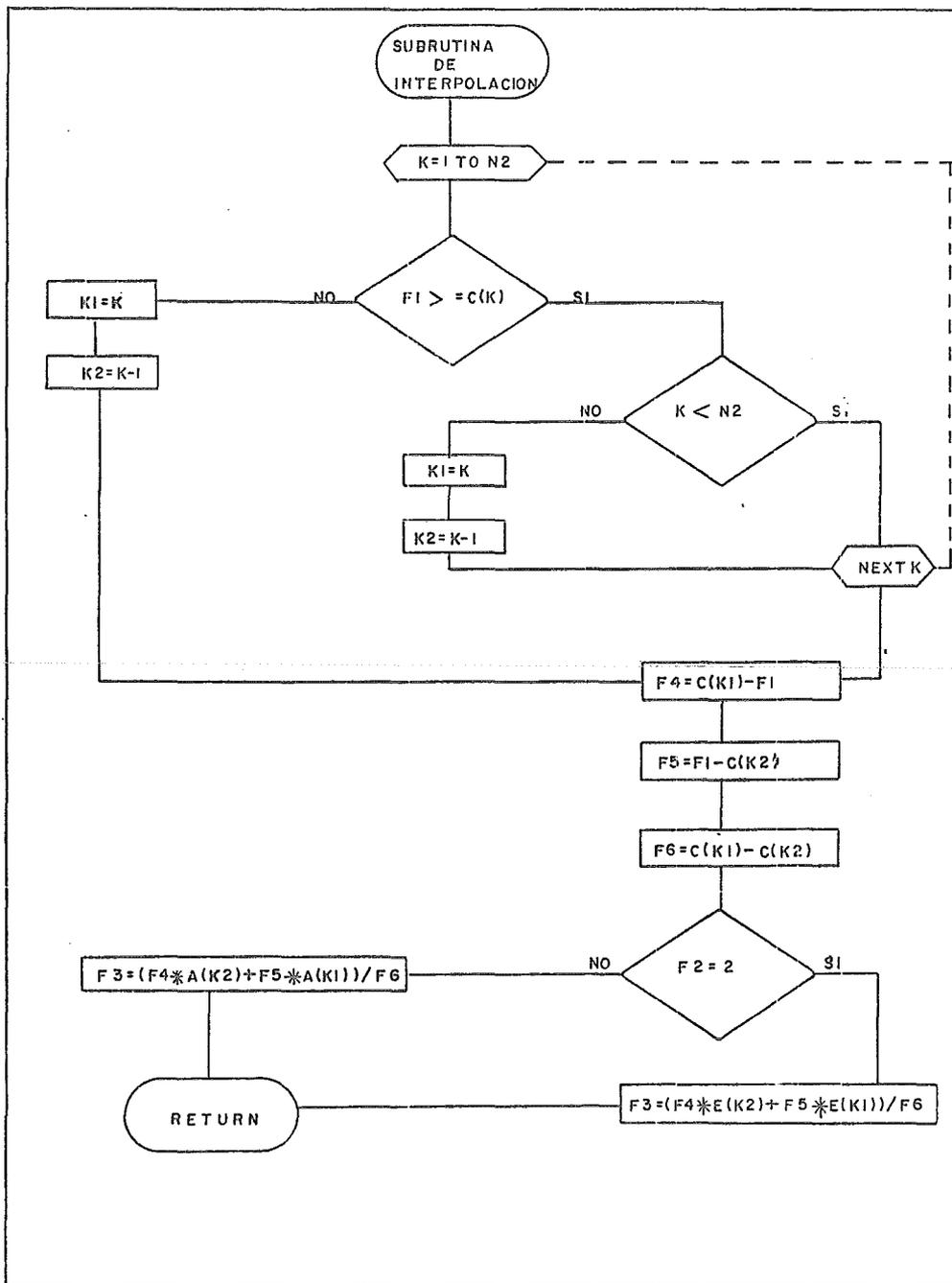












6. PROGRAMAS DE FUNCIONAMIENTO DE VASO,

Los programas para el funcionamiento de vaso ALIFUE y KITTY están escritos en lenguaje BASIC, y se procesaron en un minicomputador OLIVETTI P6060, la cantidad de datos a procesar (volúmenes mensuales escurridos en 36 años) y lo reducido de la memoria usuario, requiere de archivos externos para almacenar datos.

El funcionamiento del vaso se apoya en las siguientes hipótesis:

1. El registro histórico se repetirá en la vida útil de la presa.
2. El intervalo de tiempo considerado en el análisis es el mes promedio (365 días/12).
3. Las entradas y evaporaciones son mensuales, así mismo el volumen disponible.

El programa ALIFUE determina mediante tanteos la energía fija garantizable mes a mes, (generación firme), y da como resultado la carga promedio y el volumen mensual promedio que se turбина.

Una vez determinada la energía firme con el programa ALIFUE, se realiza el funcionamiento de vaso con el programa KITTY, el cual además de la energía firme, genera energía secundaria en el momento de existir derrames.

6.1 PROGRAMA DE GENERACION FIRME (ALIFUE).

El programa ALIFUE calcula la energía fija susceptible de generarse para una capacidad dada.

La demanda de energía es ajustada a partir de una demanda inicial propuesta mediante comparaciones con parámetros de deficiencia que actúan como restricciones.

Los resultados obtenidos los almacena en un archivo y los va modificando hasta cumplir con las restricciones impuestas por el proceso.

Este programa funciona con volúmenes mensuales, con un rango de energía propuesto (uno superior y otro inferior) que puede rebasar si el cálculo del programa lo requiere.

El programa se auxilia de dos archivos externos; uno contiene los datos de volúmenes escurridos (ARCHIVO AGUAMI), y el otro guarda los resultados procesados obtenidos (ARCHIVO RESULT). Figura 6.1

Para impresión de resultados se hizo un programa LISTA que lee e imprime los resultados guardados en el archivo RESULT. Este programa llama al archivo e imprime mensualmente en el siguiente orden:

Mes.	Adimensional
Entrada	Millones de m ³
Evaporación	mm
Derrame	Millones de m ³
Volumen Turbinable	Millones de m ³
Carga	m
Energía	GWH

A continuación se presenta su diagrama de bloques y su listado:

GENERACION FIRME

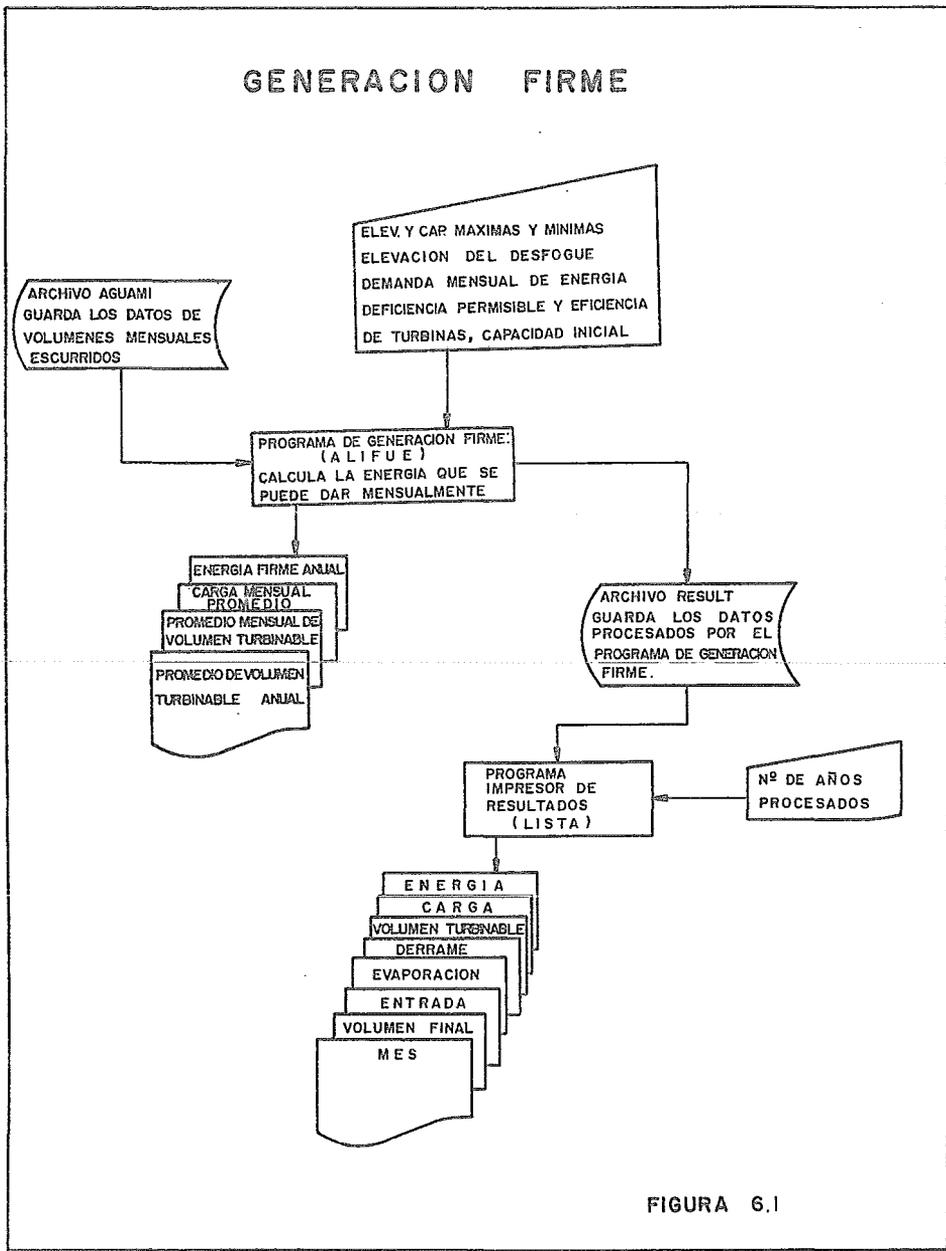


FIGURA 6.1

FILE ALIFUE

```
0010 DCL SINGLE
0020 DIM V(12),E(20),C(20),A(20),D(12)
0030 FILES AGUAMI:RESULT
0040 READ N1,N2,I4
0050 FOR I=1 TO 12 STEP 1
0060 READ D(I)
0070 NEXT I
0080 FOR I=1 TO N2 STEP 1
0090 READ E(I),C(I),A(I)
0100 NEXT I
0110 DISP "ELEV Y CAP MAXIMAS DEL VASO";
0120 INPUT E1,C1
0130 PRINT "ELEVACION Y CAPACIDAD MAXIMAS DEL VASO",E1,C1
0140 DISP "ELEV Y CAP MINIMAS DEL VASO";
0150 INPUT E2,C2
0160 PRINT "ELEVACION Y CAPACIDAD MINIMAS DEL VASO",E2,C2
0170 DISP "ELEVACION DEL DESFOGUE";
0180 INPUT E3
0190 PRINT "ELEVACION DEL DESFOGUE",E3
0200 DISP "DEMANDAS MENSUALES DE ENERGIA";
0210 INPUT S1,S2
0220 PRINT "DEMANDAS DE ENERGIA MENSUAL",S1,S2
0240 DISP "DEFICIENCIA PERMISIBLE Y EFICIENCIA";
0250 INPUT P1,P5
0260 PRINT "DEFICIENCIA PERMISIBLE Y EFICIENCIA TURBINAS",P1,P5
0270 DISP "DAME LA CAPACIDAD INICIAL";
0280 INPUT L1
0290 PRINT "CAPACIDAD INICIAL",L1
0300 SCRATCH :2
0310 RESTORE :1
0315 LET S3=S6=0.0
0320 LET A1=L1
0330 LET M1=0.0
0340 FOR J=1 TO N1 STEP 1
0350 LET O1=0.0
0360 LET A4=I4+J-1
0370 FOR I=1 TO 12 STEP 1
0380 READ :1,U(I) EOF 390
0390 LET A2=A1+U(I)
0400 LET F1=(A1+A2)/2
0410 LET F2=2
0420 GOSUB 950
0430 LET H4=F3-E3
0440 LET F2=1
```

```
0450 GOSUB 950
0460 LET D7=D(I)*F3/100
0470 LET D1=S1/(0.002722*H4*P5)
0480 LET A8=A1+U(I)-D1-D7
0490 IF A8>C1 THEN 550
0500 LET B1=ABS(A8-A2)
0510 IF B1<1.0 THEN 570
0520 LET A2=A8
0530 LET D8=0.0
0540 GOTO 400
0550 LET D8=A8-C1
0560 LET A2=C1
0570 LET D2=S1
0580 IF A2>=C2 THEN 690
0590 LET A2=C2
0600 LET F1=(A1+A2)/2
0610 LET F2=2
0620 GOSUB 950
0630 LET H4=F3-E3
0640 LET F2=1
0650 GOSUB 950
0660 LET D7=D(I)*F3/100
0670 LET D1=A1-A2+U(I)-D7
0680 LET D2=0.002722*D1*H4*P5
0690 LET O9=D2/S1
0700 LET O1=O1+O9/12
0710 IF I=1 THEN 730
0720 GOTO 740
0730 WRITE :2,A4 EOF 740
0740 WRITE :2,A2,U(I),D7,D8,D1,H4,D2 EOF 750
0750 LET A1=A2
0755 LET S3=S3+D1
0756 LET S6=S6+H4/(N1*12)
0760 NEXT I
0770 LET U9=1-O1
0780 LET L2=U9-P1
0790 IF L2>0.0 THEN 890
0800 IF U9<M1 THEN 820
0810 LET M1=U9
0820 NEXT J
0830 LET M2=P1-M1-0.01
0840 IF M2<=0.0 THEN 930
0850 LET M3=ABS((S2-S1)/2)
0860 LET S2=S1
0870 LET S1=S1+M3
0880 GOTO 300
0890 LET M3=ABS((S1-S2)/2)
0900 LET S2=S1
```

```

0910 LET S1=S1-M3
0920 GOTO 300
0930 PRINT "IMPRESION DE RESULTADOS"
0931 LET S4=S3/N1
0932 LET S5=S4/12
0933 PRINT "PROMEDIO DE VOLUMEN TURBINABLE ANUAL",S4
0935 PRINT "PROMEDIO MENSUAL DE VOLUMEN TURBINABLE",S5
0937 PRINT "CARGA MENSUAL PROMEDIO",S6
0940 GOTO 1190
0950 REM SUBROUTINA DE INTERPOLACION
0960 FOR K=1 TO N2 STEP 1
0970 IF F1>=C(K) THEN 1010
0980 LET K1=K
0990 LET K2=K-1
1000 GOTO 1050
1010 IF K<N2 THEN 1040
1020 LET K1=K
1030 LET K2=K-1
1040 NEXT K
1050 LET F4=C(K1)-F1
1060 LET F5=F1-C(K2)
1070 LET F6=C(K1)-C(K2)
1080 IF F2=2 THEN 1110
1090 LET F3=(F4*A(K2)+F5*A(K1))/F6
1100 GOTO 1120
1110 LET F3=(F4*E(K2)+F5*E(K1))/F6
1120 RETURN
1130 DATA 36,11,1942
1140 DATA 108.31,147.68,230.69,276.46,314.19,142.71,-49.62,-11.22,3.18,96.11
1150 DATA 118.3,85.77
1160 DATA 60.0,.03,80.24,37.213,100,115.26,.695,120,333.13,1.48,140,752.89,2.71
1170 DATA 160,1430.05,4.06,180,2456.49,6.2,200,3930.27,8.53,220,5884.38,11.01
1180 DATA 250,9614.01,15.209,300,20072.26,26.624
1190 END

```

END OF LISTING

6.2. PROGRAMA LECTOR DE DATOS (LETY)

Lee los volúmenes mensuales de escurrimiento del archivo externo AGUAMI, y los proporciona mensualmente, para el año correspondiente.

De esta manera sólo se ocupan 12 valores en la memoria usuario.

Los datos de volúmenes escurridos del archivo AGUAMI aparecen en el listado del programa LETY

6.3. PROGRAMA LISTADOR DE RESULTADOS (LISTA),

Imprime los resultados del programa (ALIFUE) de generación firme, éstos resultados están guardados en el archivo RESULT.

Los resultados los imprime mensualmente en el siguiente orden:

Mes, volumen final, entrada, evaporación, derrame, volumen turbinable, carga y energía.

El listado de éste programa se presenta a continuación:

6.4. PROGRAMA GENERACION FIRME MAS SECUNDARIA (KITTY),

Satisface la demanda de energía mensual propuesta, (calculados con el programa ALIFUE) y con el volumen sobrante a punto de derramarse una vez satisfecha la energía propuesta calcula la energía secundaria. Los factores que influyen en el aprovechamiento son, la potencia instalada y la carga de diseño.

El programa se auxilia del archivo externo de datos de volúmenes escurridos (AGUAMI).

La figura 6.2 muestra de manera gráfica los datos que necesita el programa y los datos que calcula. A continuación se presenta un listado.

FILE LETY

```
0010 FILES AGUAMI
0020 SCRATCH :1
0030 READ M1
0040 FOR I=1 TO M1 STEP 1
0050 READ U1,U2,U3,U4,U5,U6,U7,U8,U9,W1,W2,W3
0060 WRITE :1,U1,U2,U3,U4,U5,U6,U7,U8,U9,W1,W2,W3
0070 NEXT I
0080 DATA 36
0090DATA316.9,414.8,350.2,306.3,295.4,592.7,1341.3,1879.9,1216.4,314.2,143,150.7
0100DATA166.9,102.6,101.6,77.9,78.9,957.9,1005.4,1224.2,2269.5,1567.1,277.8,205
0110DATA168.4,164.3,186.1,130.3,125.5,253.2,1202.7,1258.7,2730.8,613.8,350.1,239
0120 DATA 176.1,160.6,141.6,121,137.6,169.1,1343.5,1266.6,818.3,570.1,168.8,159
0130 DATA 192.6,119.2,122.8,111.8,111.8,558,1265.3,1588,1017.2,809.5,216.4,142.7
0140 DATA 498.3,122.91,3.64,9.68,9,360.3,397.3,1639.1,1695,299.8,191.3,112.8
0150 DATA 137.3,84.4,81,82.3,96.6,810.2,2459.2,1825.3,1599,384.3,176.5,142.4
0160 DATA 114.94,4,81,9,88.7,84.8,351.2,1626.1,1186.5,951,504.5,131.4,115.6
0170 DATA 111,86,92,2,68,7,65,1,328,1313.8,839.2,1209.3,356.8,184.9,91.6
0180 DATA 95.7,77.2,73,65,9,65.4,188,1173.8,944.5,869.9,164.3,106.3,89.1
0190 DATA 74.7,65.8,59.2,55.5,64.1,302,1326.4,1250.1,669.6,354.2,130.6,102.5
0200 DATA 92.7,105,86.1,72.7,73.2,202.5,712.8,1391.1,1110.6,312.2,136.3,123
0210 DATA 109.8,79,84.5,81.5,74,492.7,1499.2,1517.1,751.1,467.7,107.9,97.9
0220 DATA 107.6,75,68.1,45.1,38.2,106.8,1046.2,2786.2,2279.5,847.7,162.8,116.9
0230 DATA 96.6,85.3,88.9,78.4,143.3,377.5,1169,1114.8,481,155,106.1,104.3
0240 DATA 98,81.9,90.5,88.7,88.2,100.7,472.8,471.6,543.5,482.3,142.2,120.8
0250DATA107.1,87.5,133.4,84.9,91.7,416.5,1578.2,1087.8,1967.3,1326.7,1056,289.3
0260DATA208.7,128.9,121.6,481.9,145.1,415.4,1694.7,2638.3,1144.8,776.5,507.5,161
0270 DATA 172,117.5,103.9,104.7,117.8,125.2,869,1455.8,793.3,156,113.7,312.6
0280 DATA 142.7,95.1,87.6,73.8,93.2,335.6,1801.4,2097,1043.1,272,130.6,118.9
```

0290 DATA 104.1,115.9,96.8,94.7,85.8,197.9,1256.3,729.5,1480.2,609.6,164.5,123.2
0300 DATA 110.8,86.6,87,70.1,87.5,270,2064.3,2155.1,1441.5,705.6,204.1,299.6
0530 DATA 209.84,98.82,24.38,22.56,82.07,254.65,762.69,932.5,1822.74,864.64
0540 DATA 158.78,149.22
0550 DATA 123.13,92.67,136.58,121.3,123.76,195.94,497.57,3102.27,2313.29,1302.89
0560 DATA 333.3,310.29
0570 DATA 230.61,299.9,152.84,177.42,201.38,602.03,953.59,2579.55,1999.54,615.22
0580 DATA 182.33,144.52
0590 DATA 256.04,131.91,144.97,177.32,176.62,343.83,1700.96,2990.64,5371.23
0600 DATA 1939.68,1114.9,722.77
0610 DATA 321.7,277.79,726.12,306.91,303.4,252.46,1957.3,2642.46,1769.91,476.25
0620 DATA 195.54,275.87
0630 DATA 192.04,179.68,187.19,141.33,144.63,167.04,668.27,383.24,770.95,479.53
0640 DATA 125.78,212.9
0650 DATA 172.26,145.95,129.98,139.23,131.69,288.41,1339.29,1414.98,1712.02,921.56
0660 DATA 194.6,156.92
0670 DATA 167.45,140.63,152.15,141.71,194.98,418.2,1328.66,2604.88,2489.01,2492.64
0680 DATA 740.53,289.69
0690 DATA 204.46,202.96,242.69,207.15,191.54,367.63,615.19,784.03,1007.05,196.75
0700 DATA 347.85,215.97
0710 DATA 285.51,124.44,113.35,155.04,155.76,194.53,2837.28,5304.05,3075.44
0720 DATA 1276.03,384.17,190.51
0730 DATA 175.83,160.2,198.9,137.83,205.15,387.78,1312.49,1498.43,1479.32,397.93
0740 DATA 128.8,154.59
0750 DATA 141.71,119.2,147.56,147.03,175.96,276.85,2314.65,3523.6,1433.64,232.95
0760 DATA 133.37,151.07
0770 DATA 142.46,155.35,164.65,152.97,153.03,210.4,3146.29,2635.47,1619.51,1091.73
0780 DATA 1354.43,1013.18
0790 DATA 304.93,152.06,222.31,218.82,248.68,601.3,1861.92,1617.26,1883.74,424.82
0800 DATA 186.56,178.83
9000 END

END OF LISTING

FILE LISTA

```
0010 DCL SINGLE
0020 PRINT "                               INFRAESTRUCTURA RECURSOS Y SERVICIOS   S.C."
0030 FILES RESULT
0040 READ N1
0050 FOR J=1 TO N1 STEP 1
0060 LET C4=0.0
0070 FOR I=1 TO 12 STEP 1
0080 IF I=1 THEN 100
0090 GOTO 110
0100 READ :1,A4 EOF 110
0110 READ :1,A2,U5,D7,D8,D1,H4,D2 EOF 120
0120 IF I<>1 THEN 150
0121 PRINT
0122 PRINT
0123 PRINT
0130 PRINT "                               ANO",A4
0140 PRINT "MES U.FIN      ENTRADA EVAPOR.  DERRAME VOL TURB  CARGA  ENERGIA"
0150 PRINT USING 160,I,A2,U5,D7,D8,D1,H4,D2
0160 :### ##### #####.## #####.## #####.## #####.##
0170 LET C4=C4+D2
0180 NEXT I
0190 PRINT "ENERGIA ANUAL GENERADA ",C4
0200 NEXT J
0220 GOTO 240
0230 DATA 36
0240 END
```

END OF LISTING

GENERACION FIRME MAS SECUNDARIA

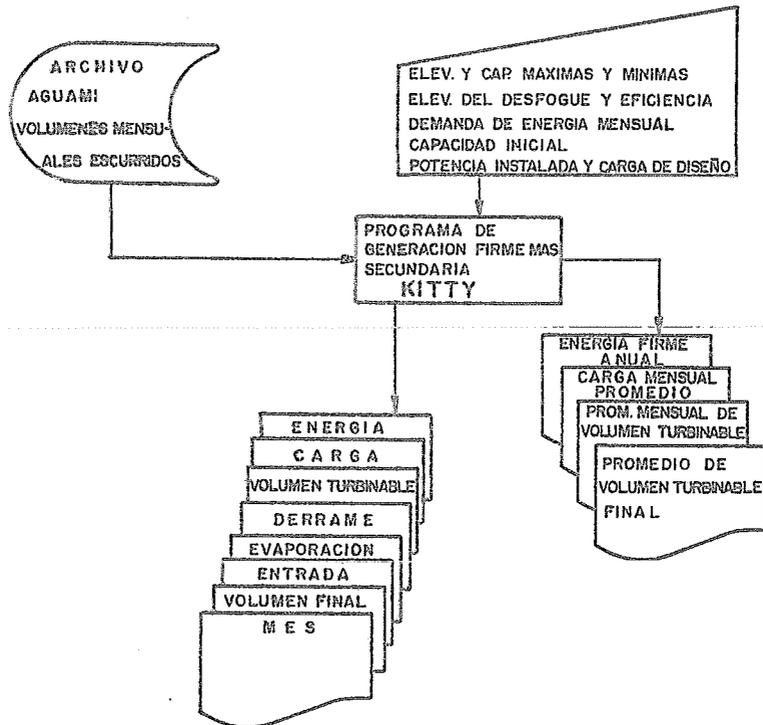


FIGURA 6.2

FILE KITTY

```
0010 DCL SINGLE
0020 DIM U(12),E(20),C(20),A(20),D(12)
0030 FILES AGUAMI
0040 PRINT "                INFRAESTRUCTURA RECURSOS Y SERVICIOS, S. C."
0050 PRINT
0060 PRINT
0070 READ N1,N2,I4
0080 FOR I=1 TO 12 STEP 1
0090 READ D(I)
0100 NEXT I
0110 FOR I=1 TO N2 STEP 1
0120 READ E(I),C(I),A(I)
0130 NEXT I
0140 DISP "ELEV Y CAP MAXIMAS DEL VASO";
0150 INPUT E1,C1
0160 PRINT "ELEVACION Y CAPACIDAD MAXIMAS DEL VASO",E1,C1
0170 DISP "ELEV Y CAP MINIMAS DEL VASO";
0180 INPUT E2,C2
0190 PRINT "ELEVACION Y CAPACIDAD MINIMAS DEL VASO",E2,C2
0200 DISP "ELEVACION DEL DESFOGUE Y EFICIENCIA";
0210 INPUT E3,P5
0220 PRINT "ELEVACION DEL DESFOGUE Y EFICIENCIA",E3,P5
0230 DISP "DEMANDA MENSUAL DE ENERGIA";
0240 INPUT S1
0250 PRINT "DEMANDA DE ENERGIA MENSUAL",S1
0260 DISP "DAME LA CAPACIDAD INICIAL";
0270 INPUT L1
0280 PRINT "CAPACIDAD INICIAL",L1
0290 DISP "POTENCIA INSTALADA Y CARGA DE DISENO";
0300 INPUT Z1,Z2
0310 LET Z3=268.369*Z1/(P5*Z2)
0320 PRINT "POTENCIA INSTALADA Y CARGA DE DISENO",Z1,Z2
0340 RESTORE :1
0350 LET S3=S6=0.0
0360 LET A1=L1
0370 FOR J=1 TO N1 STEP 1
0380 LET A4=I4+J-1
0390 LET Z5=0.0
0400 FOR I=1 TO 12 STEP 1
0410 READ :1,U(I) EOF 420
0420 LET A2=A1+U(I)
0430 LET F1=(A1+A2)/2
```

```

0440 LET F2=2
0450 GOSUB 1180
0460 LET H4=F3-E3
0470 IF H4<Z2 THEN 500
0480 LET Z4=Z3*Z2/H4
0490 GOTO 520
0500 LET Z4=Z3*SQR(H4/Z2)
0520 LET F2=1
0530 GOSUB 1180
0540 LET D7=D(I)*F3/100
0550 LET D1=S1/(0.002722*H4*P5)
0560 IF D1<Z4 THEN 580
0570 LET D1=Z4
0580 LET A8=A1+U(I)-D1-D7
0590 IF A8>C1 THEN 650
0600 LET B1=A8*(A8-A2)
0610 IF B1<1.0 THEN 780
0620 LET A2=A8
0630 LET D8=0.0
0640 GOTO 430
0650 LET D8=A8-C1
0660 LET A2=C1
0670 LET W1=Z4-D1
0680 IF W1>D8 THEN 720
0690 LET D1=Z4
0700 LET D8=D8-W1
0710 GOTO 760
0720 LET D1=D1+D8
0730 LET D8=0.0
0760 LET D2=.002722*D1*H4*P5
0770 IF A2>=C2 THEN 920
0780 LET D2=S1
0790 IF A2>=C2 THEN 920
0800 LET A2=C2
0810 LET F1=(A1+A2)/2
0820 LET F2=2
0830 GOSUB 1180
0840 LET H4=F3-E3
0850 LET F2=1
0860 GOSUB 1180
0870 LET D7=D(I)*F3/100
0880 LET D1=A1-A2+U(I)-D7
0890 LET D2=0.002722*D1*H4*P5
0910 :###* *###*###* *###*###* * *###*###* * *###*###* * *###*###* * *###*###* *
0920 IF I=1 THEN 940
0930 GOTO 990

```

```

0940 PRINT
0950 PRINT
0960 PRINT
0970 PRINT "      ANO      ";A4
0980 PRINT "MES U.FIN  ENTRADA  EVAPOR.  DERRAME  VOL TURB  CARGA  ENERGIA
0990 PRINT USING 910,I,A2,U(C1),D7,D8,D1,H4,D2
1000 LET A1=A2
1010 LET S3=S3+D1
1020 LET S6=S6+H4/(N1*12)
1030 LET Z5=Z5+D2
1040 NEXT I
1050 PRINT "ENERGIA TOTAL GENERADA ";Z5
1060 NEXT J
1070 LET Z6=12*S1
1080 PRINT
1090 PRINT
1100 PRINT "IMPRESION DE RESULTADOS RESUMEN"
1110 LET S4=S3/N1
1120 LET S5=S4/12
1130 PRINT "PROMEDIO DE VOLUMEN TURBINABLE ANUAL",S4
1140 PRINT "PROMEDIO MENSUAL DE VOLUMEN TURBINABLE",S5
1150 PRINT "CARGA MENSUAL PROMEDIO",S6
1160 PRINT "ENERGIA FIRME ANUAL";Z6
1170 GOTO 1420
1180 REM SUBROUTINA DE INTERPOLACION
1190 FOR K=1 TO N2 STEP 1
1200 IF F1>=C(K) THEN 1240
1210 LET K1=K
1220 LET K2=K-1
1230 GOTO 1280
1240 IF K<N2 THEN 1270
1250 LET K1=K
1260 LET K2=K-1
1270 NEXT K
1280 LET F4=C(K1)-F1
1290 LET F5=F1-C(K2)
1300 LET F6=C(K1)-C(K2)
1310 IF F2=2 THEN 1340
1320 LET F3=(F4*A(K2)+F5*A(K1))/F6
1330 GOTO 1350
1340 LET F3=(F4*E(K2)+F5*E(K1))/F6
1350 RETURN
1360 DATA 36,10,1942
1370 DATA 100,31,147,68,230,69,276,46,314,19,142,71,-49,62,-11,22,3,18,96,11
1380 DATA 118,3,85,77
1390 DATA 60,0,83,80,24,37,213,100,115,26,695,120,333,13,1,48,140,752,89,2,7
1400 DATA 160,1430,85,4,06,100,2456,49,6,2,200,3930,27,8,53,220,5884,38,11,81
1410 DATA 250,9614,01,15,209
1420 END

```

END OF LISTING

6.5. DEFINICION DE VARIABLES.

1. Variables comunes a los programas de generación de energía firme y energía firme más secundaria.

V (I).	Volúmenes de entrada mensuales.
N1.	Número de años por analizar.
N2.	Número de puntos de la curva elevaciones-áreas-cap.
I4	Año inicial del período por analizar.
E(I).	Elevaciones.
C(I)	Capacidades.
A(I)	Areas.
D (I)	Evaporaciones netas.
E1, C1.	Elevación y capacidad máximas del vaso.
E2, C2.	Elevación y capacidad mínimas del vaso.
E3.	Elevación del desfogue.
P5.	Eficiencia de turbinas.
L1.	Capacidad inicial.
A4.	Año en cuestión.
F1.	Almacenamiento promedio.
A2.	Almacenamiento final.
H4.	Carga promedio.
F2.	Contador de entrada a la subrutina de interpolación
D7.	Evaporación.
D1.	Volumen turbinable
A8.	Volumen disponible.
B1.	Variable de paso.
D8.	Derrames.
D2.	Energía Generados
S4	Promedio de volumen turbinable anual
S5.	Promedio mensual de volumen turbinable.
S6.	Carga mensual promedio.

2. Variables que sólo aparecen en el programa de energía firme (ALIFUE).

- P1 Deficiencia permisible
- S1, S2. Demandas mensuales de energía
- Ø9, Ø1. Variables de paso
- V9, L2, M3, M2. Variables de comparación.

3. Variables que sólo aparecen en el programa de generación de energía firme más secundaria AGUAMI.

- S1 Demanda de energía mensual.
- Z1 Potencia Instalada
- Z2 Carga de diseño
- Z3 Volumen turbinable a máxima eficiencia
- Z4 Volumen turbinable
- W1 Volumen de derrames turbinables
- Z5 Energía total generada
- Z6 Energía firme anual.

7. ENTRADA DE DATOS.

Como ya se dijo anteriormente los volúmenes mensuales escurridos se encuentran almacenados en un archivo externo, dada la reducida capacidad de memoria de la computadora empleada, éstos datos se dan una vez abierto dicho archivo en forma seguida, o sea una vez teclado diciembre sigue enero del siguiente año, hasta cumplir el período por analizar. Estos volúmenes se dan en millones de m^3 .

Los datos siguientes se dan al final de los programas ALIFUE Y KITTY en el siguiente orden:

Primero. El número de años por analizar, el número de puntos de la curva elev.- áreas-capacidades y el año inicial del período por analizar.

Segundo. Las evaporaciones netas mensuales en mm.

Tercero. Los datos de la curva elev-capacidades-áreas en forma creciente, dados en metros, millones de metros cúbicos y miles de hectáreas respectivamente.

Los datos que requieran los programas de generación firme y generación firme más secundaria, a parte de los anteriormente citados son los siguientes y aparecerán en el display de la máquina en el siguiente orden:

a) PROGRAMA ALIFUE GENERACION FIRME.

1º Elevación y capacidad máximas del vaso; en m y millones de m^3 respectivamente.

- 2º Elevación y capacidad mínimas del vaso; en m y millones de m respectivamente.
- 3º Elevación del desfoque; en metros.
- 4º Demandas mensuales de energía; en Gigawatts hora.
- 5º Deficiencia permisible y eficiencia de turbinas; en porciento y adimensional.
- 6º Capacidad inicial en millones de m³.

b) PROGRAMA KITTY GENERACION FIRME MAS SECUNDARIA.

- 1º Elevación y Capacidad máximas del vaso; en metros y millones m³.
- 2º Elevación y Capacidad mínima del vaso; en metros y millones de m³.
- 3º Elevación del desfoque y eficiencia de turbinas en m y adimensional.
- 4º Demanda mensual de energía en GWH.
- 5º Capacidad inicial del vaso; en millones de m³.
- 6º Potencia instalada y cargas de diseño; en MW y m.

8. EJEMPLO PRACTICO

El uso al que estará destinado el almacenamiento de la presa será la generación de energía eléctrica.

VOLUMEN DE ENTRADAS AL VASO.

Los volúmenes de escurrimiento son los aforados en la estación "A" que se localiza en el sitio de la boquilla de la presa, por lo que se considera representativa de las entradas al vaso, contando con información a partir de agosto de 1962. La estación "B" se localiza 64 km aguas abajo de la anterior, con un inicio de operación de 1942, su cercanía con el sitio de proyecto fue aprovechada para ampliar el registro de escurrimientos, correlacionando los datos en común registrados en las dos estaciones. Obteniéndose un índice de correlación aceptable que permitirá la ampliación del período de volúmenes escurridos en la estación "A", desde enero de 1942 a diciembre de 1977. (Figura 8.1). La curva áreas-capacidades propuesta se presenta en la figura 8.2

La determinación de la evaporación neta, se obtiene a partir de los datos climatológicos de la estación "A" (Por estar junto al vaso de almacenamiento), tomando los promedios mensuales de evaporación menos el promedio mensual de lluvias.

CAPACIDAD DE AZOLVES.

Se ha considerado como capacidad de azolves el volumen de material producto de la desintegración de la roca que pueda ser transportado por el cauce hasta el sitio de proyecto durante la vida útil de la obra; la estimación del mismo se hizo considerando en forma independiente el material transportado en suspensión y el material arrastrado en el fondo como se explica a continuación.

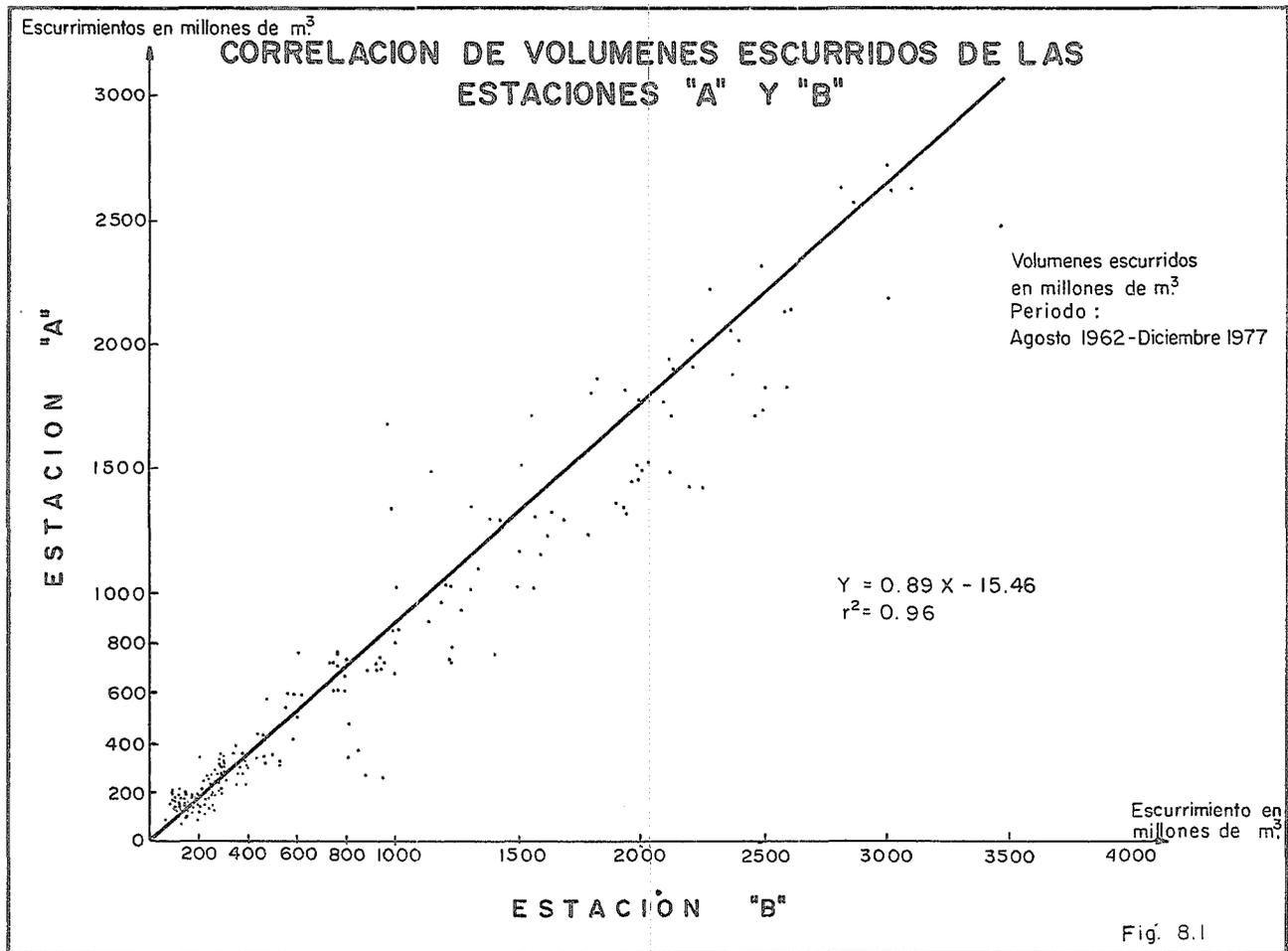
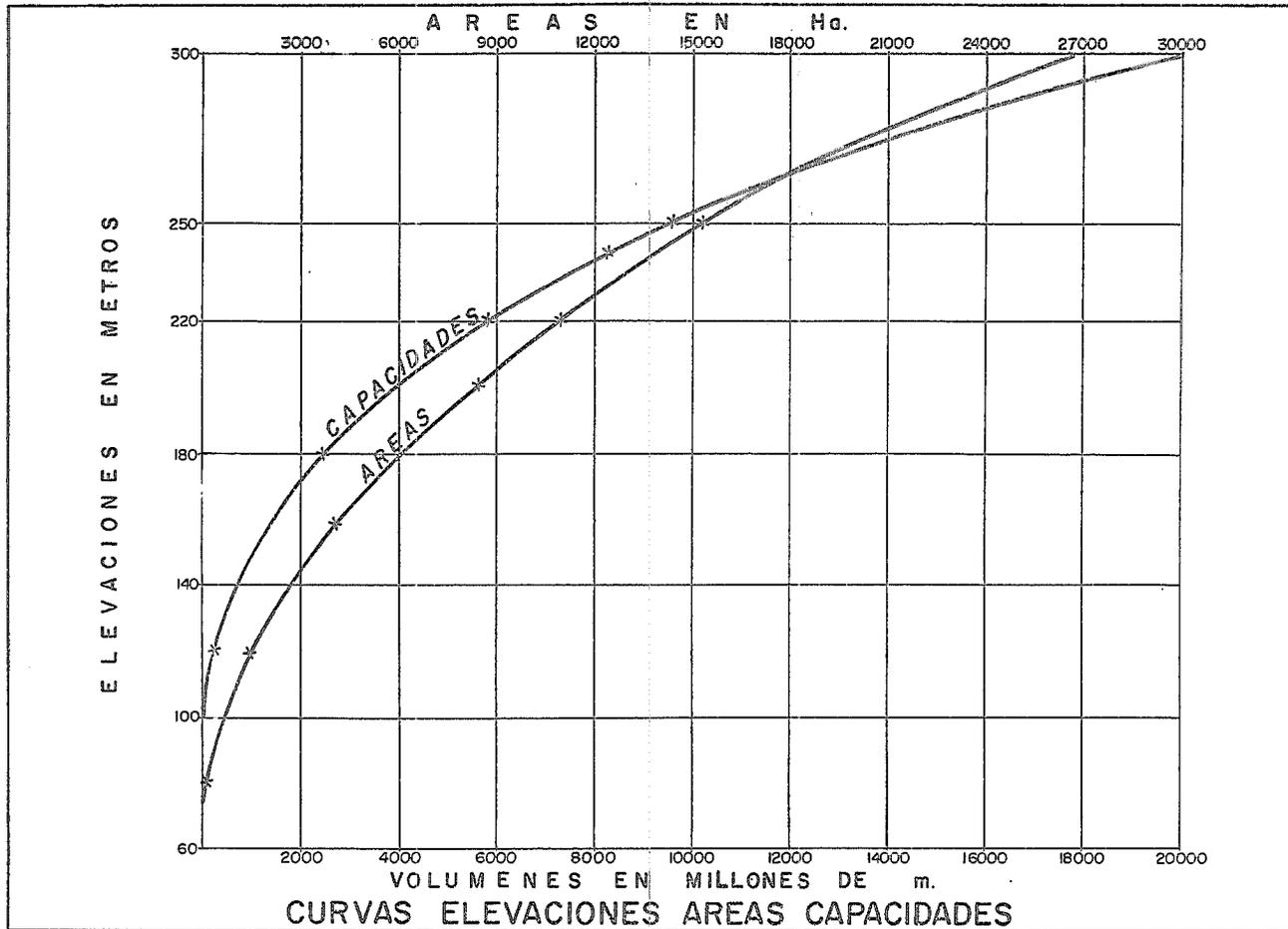


Fig. 8.1

FIG. 8.2



SOLIDOS DE SUSPENSION.

Es el producto del lavado de la cuenca y corresponde a partículas de material medidas en las estaciones hidrométricas.

En la estimación del volumen correspondiente a los sólidos en suspensión se ha considerado que la vida útil de la obra es de 50 años; en el cálculo del material de arrastre se ha hecho la misma consideración.

Las concentraciones de material indicadas en los boletines hidrométricos se tomaran como representativos del material de lavado (partículas menores de 0.062 mm) y que no hay material de fondo que correspondan a tamaños mayores al indicado; si hubiera partículas mayores estas se toman en cuenta nuevamente al calcular el arrastre de fondo y por lo tanto el resultado es conservador.

Debido a la poca disponibilidad de datos sobre material de acarreo en suspensión con que se cuenta para la estación "A", se utilizaron los datos de la estación "B", formando un registro continuo de datos de volumen escurrido desde 1943 y datos en suspensión interrumpidos solo en los periodos 1955 - 1957 y 1965 - 1966.

La relación Volumen escurrido en "A"/volumen escurrido en "B", para los años con que se contaba con estos datos en ambas estaciones es de aproximadamente 0.9, por lo que para aumentar el registro de afectación las lecturas de "B" por dicho valor; los porcentajes de acarreo de sólidos en suspensión por unidad de volumen se consideraron semejantes para ambas estaciones.

ARRASTRE DE FONDO.

Corresponde a partículas gruesas de material, producto de la desintegración de las rocas, que contribuyen a la formación y equilibrio del lecho del cauce. Estos elementos son transportados sobre el fondo por rodadura, deslizamiento, saltos, etc., y también parcialmente en suspensión.

TABLA 8.1

RESUMEN DE ACARREO DE SOLIDOS EN SUSPENSION

AÑO	VOL. ESC. EN MILLONES DE m ³	ACARREO POR VOLUMEN	VOL. ACARREO EN MILES DE m ³
1943	9 109.552*	.176 030+	16 035.54
1944	8 387.966*	.141 149+	11 839.53
1945	5 697.095*	.154 493+	8 801.61
1946	6 905.408*	.206 416+	14 253.86
1947	6 129.125*	.242 562+	14 866.93
1948	9 019.616*	.353 185+	31 855.93
1949	5 868.774*	.203 915+	11 967.31
1950	5 088.507*	.177 007+	9 077.01
1951	4 039.763*	.326 198+	13 177.62
1952	5 697.621*	.250 761+	14 287.41
1953	5 312.462*	.330 294+	17 546.74
1954	6 085.220*	.291 103+	17 714.26
1958	9 867.128*	.261 067+	25 759.81
1959	8 269.844*	.102 319+	8 461.62
1960	4 527.252*	.107 338+	7 711.63
1961	6 248.377*	.194 041+	12 124.41
1962	5 718.145*	.222 355+	12 714.58
1963	7 582.435	.159 216+	12 072.45
1964	5 382.904	.144 665+	7 787.18
1967	15 070.873	.108 956+	16 420.62
1968	9 505.535	.047 001+	4 467.70
1969	3 642.536	.048 238+	1 757.08
1970	6 746.862	.095 998+	6 476.85
1971	11 160.535	.085 990+	9 596.94
1972	5 890.806	0.0530 +	3 122.128
1973	13 296.094	0.1319	17 543.40
1974	5 746.816	0.0539	3 096.14
1975	8 728.299	0.1285	11 217.52
1976	11 839.462	0.0962	11 391.79
1977	8 493.351	0.0503 +	4 272.16

Σ = 357 347.939

* El volumen corresponde al 90% del registrado en la estación "B"

+ Dato tomado de la estación "B".

El método utilizado es el de Peter Meyer 4a formula, por ser aplicable para cualquier material, ecuación 2.12 y por lo cual da un volumen de 487.335 millones de m^3 para una vida útil de 50 años.

La sección del cauce considerada fue la correspondiente a la estación "B"; los factores que intervienen en el cálculo fueron:

$$\begin{aligned} D_m &= 0.035 \text{ m} \\ \gamma_s &= 2\,650 \text{ kg/m}^3 \\ \gamma &= 1\,000 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9.81 \text{ m/s} \\ S &= 0.00334 \text{ m/m} \\ n'/n &= 0.7 \\ b &= 297 \text{ m} \\ R = d &= 0.383 Q_m^{0.339} \end{aligned}$$

Donde Q_m es el gasto medio diario registrado al cual corresponda un tirante de 3 m o mayor. Los gastos medios diarios utilizados son los correspondientes a los años representativos del escurrimiento mínimo medio y máximo del período, así como los representativos del acarreo en suspensión mínimo, medio y máximo.

VOLUMEN TOTAL DE AZOLVES.

Este se tomó como la suma de los volúmenes obtenidos por concepto de sólidos en suspensión y acarreo de fondo.

Capacidad requerida.

Para azolves = $598.580 + 487.335 = 1\,085.915$ millones de m^3

Debido a que parte de los sólidos en suspensión son transportados por el volumen turbinado se considera aceptable una capacidad de 1 000 millones para los azolves.

CAPACIDAD MUERTA.

Definida la capacidad de azolves de 1 000 millones m correspondiendo a una elevación de 150 m.s.n.m., misma elevación de la obra de toma. Para que no se produzca cavitaciones en los álaves de las turbinas se recomienda que el nivel mínimo de operación se eleve 2.5 veces al diámetro de la tubería de la obra de toma, por arriba de la clave de ésta.

Por lo que la capacidad muerta es de 1 900 millones de m³ correspondiendo a la elevación de 170 m.s.n.m.

ANALISIS DE CAPACIDAD UTIL.

METODOLOGIA DE ANALISIS.

Con el objeto de definir la capacidad conveniente de la presa se hizo un análisis de sensibilidad mediante la aplicación de dos políticas de operación en el funcionamiento de vaso, para capacidades entre 4 000 y 7 000 millones de m³ al NAMO.

Las políticas empleadas son las siguientes:

POLITICA A

Política de generación firme. Consiste en obtener de la presa una generación constante garantizable durante todo el período de análisis, lo cual implica una regulación interanual de los escurrimientos con el objeto de guardar agua de los años húmedos para ser usada en los años secos. Esto conduce a destinar capacidades considerables para guardar volúmenes de agua ocupables para generación, un porcentaje del orden del 3% del tiempo total del período (con esta política se tienen grades volúmenes derramados).

POLITICA B

Política de deficiencias del 2.5% en el período. Esta política trata de garantizar una generación fija aceptando una deficiencia total en el período del 2.5% con lo cual se logra el no tener que almacenar grandes volúmenes de los años húmedos por períodos largos de tiempo para poder utilizarlos en años secos.

De las dos políticas planteadas anteriormente se realizaron los funcionamientos de vaso con la elevación del desfogue a 70 m.s.n.m. para diferentes capacidades. El factor de planta considerado es de 0.3. La generación promedio anual para cada política y capacidades se consignan en la tabla 8.2 en la cual se dan además las generaciones en el pico, base y secundaria.

Para calcular la energía en el pico se tomaron dos horas diarias como pick para los días hábiles teniéndose 522 horas pico al año.

Al multiplicar la potencia instalada por las horas pico se obtienen la generación en el pico.

La energía en la base es obtenida de la energía firme anual menos la energía en el pico y la energía secundaria es la diferencia de la generación promedio anual y la generación firme anual.

COSTOS.

Los costos de cortina fueron determinados a partir de las cubicaciones y precios índice de una presa de materiales graduados para diferentes alturas de cortina. Figura 8.3.

CURVA ELEVACIONES - COSTOS

TALUDES 1.8:1-A, ABAJO Y 2:1-A ARRIBA

ESCALA HORIZONTAL 1:500 000 000.00

ESCALA VERTICAL 1:2000

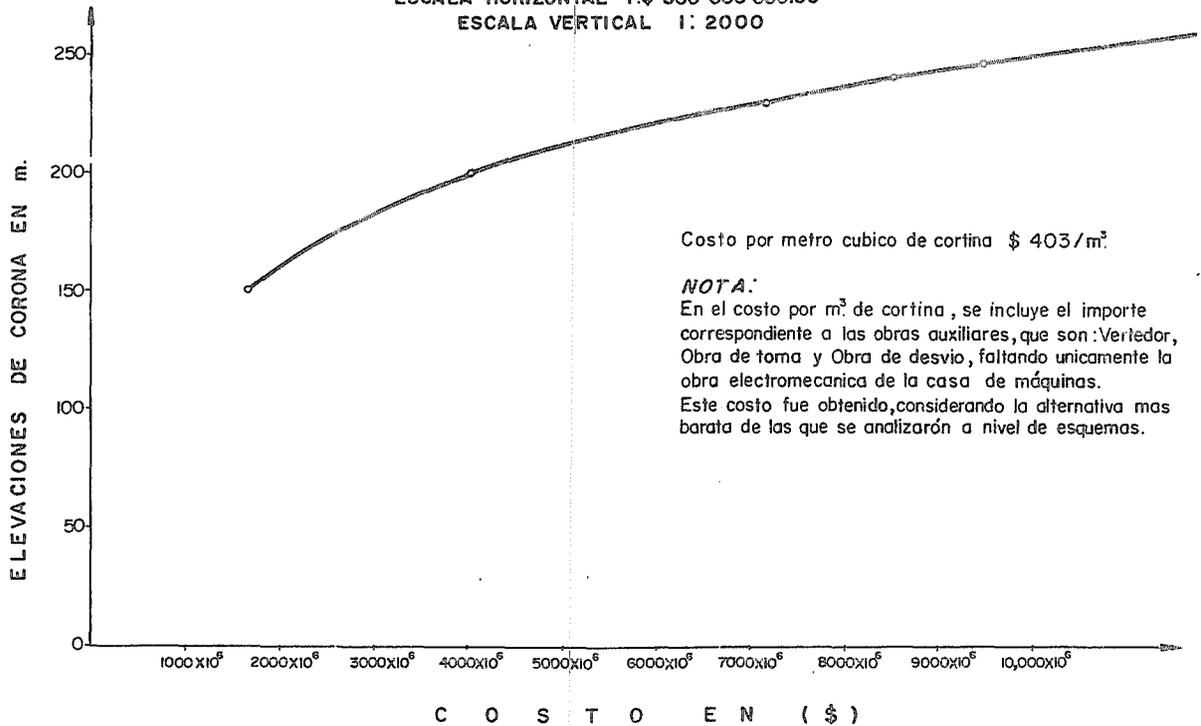


Figura 8.3

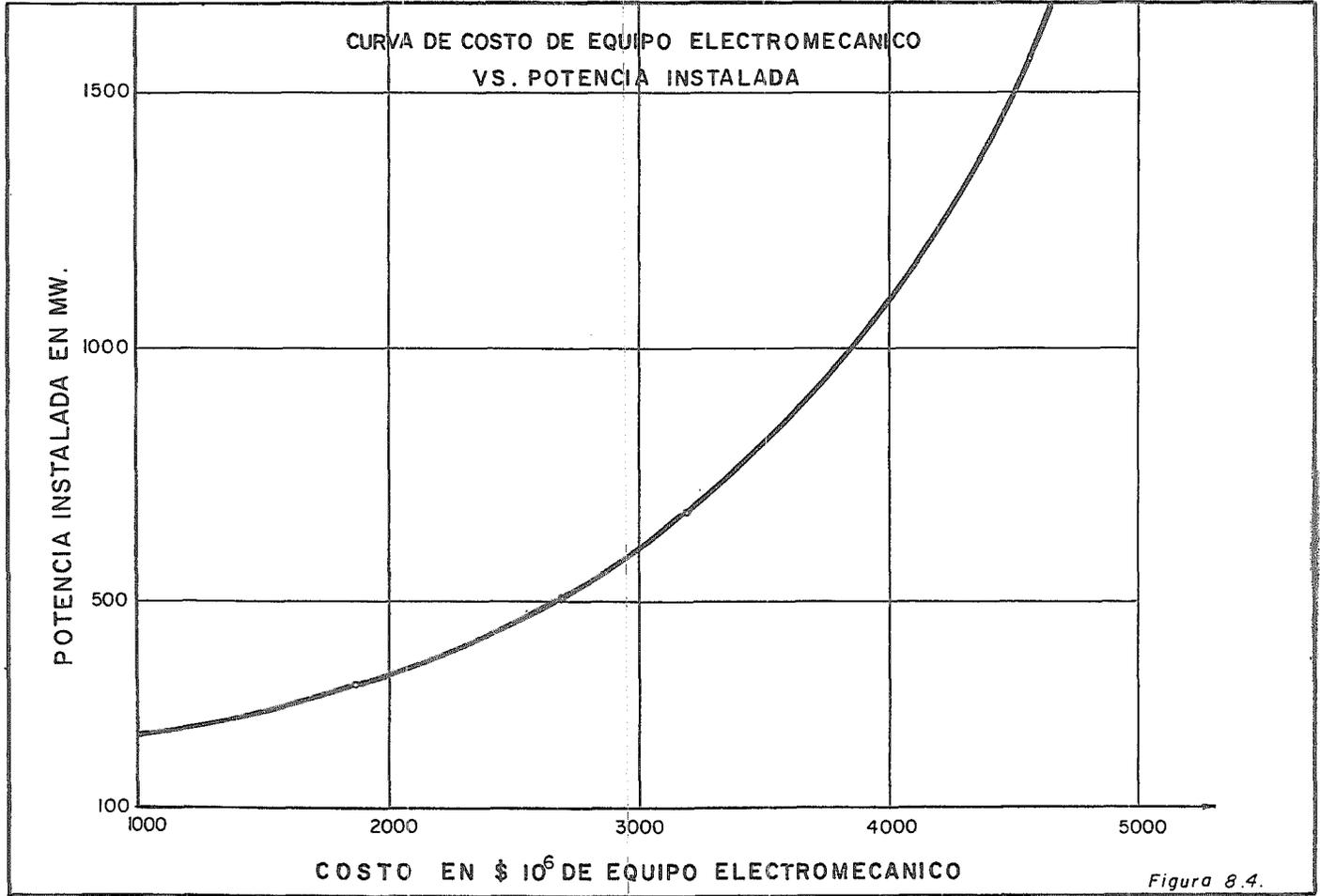


Figura 8.4.

POLITICA	CAPACIDAD AL NAMO	ELEVACION AL NAMO	CARGA DE DISEÑO	POTENCIA INSTALADA	ENERGIA FIRME ANUAL	ENERGIA PROMEDIO ANUAL	ENERGIA EN EL PICC	ENERGIA EN LA BASE	ENERGIA SECUNDARIA
	10 ⁶ m ³	m	m	MW	GWH	GWH	GWH	GWH	GWH
A	4 000	200	130	508	840	1 338	265	575	498
	5 000	212	140	596	1 054	1 571	311	743	517
	6 000	222	149	676	1 260	1 778	353	907	518
	7 000	230	158	733	1 440	1 930	383	1 057	490
B	4 000	200	130	551	1 080	1 450	288	792	370
	5 000	212	140	643	1 236	1 700	336	900	464
	6 400	226	150	740	1 560	1 948	386	1 174	388
	7 500	235	160	798	1 800	2 100	417	1 383	300

TABLA 8,2

Con el objeto de determinar los costos de equipo electromecánico en casa de máquinas se obtuvieron las curvas de potencia instalada contra costos a partir de los considerados para el P.H. Itzantún. Figura 8.4.

BENEFICIOS.

El valor de los beneficios fue determinado mediante parámetros utilizadas por la C.F.E., en lo que se refiere a los conceptos de generación secundaria, en el pico y en la base y KW intalado. Estos valores son el resultado del análisis económico de la demanda tipo de obra, posibilidades hidroeléctricas y térmicas, etc.

Los valores del beneficio por generación en el pico, en la base, secundaria son la suma actualizada de las ganancias desde su fecha de inicio hasta el infinito y el beneficio por potencia instalada es el que se obtiene al reducir la probabilidad de falla en el sistema mediante la instalación de 1 KW adicional.

El valor de los beneficios por cada concepto son los siguientes:

Beneficio por Generación en el Pico	\$	5.02/kwh
Beneficio por Generación en la Base	\$	4.39/kwh
Beneficio por Generación Secundaria.	\$	3.33/kwh
Beneficio por Potencia Instalada	\$	6 900.00/kw

Los beneficios y costos por concepto, se presentan en la tabla 8.3.

SELECCION DE LA CAPACIDAD MAS CONVENIENTE.

Con base en los costos y beneficios derivados de la construcción de la presa se considera, con el fin de obtener la capacidad más conveniente, la relación beneficio/costo como indicador económico de selección, la cual fue calculada para capacidades entre 4 000 y 7 000 millones de m³.

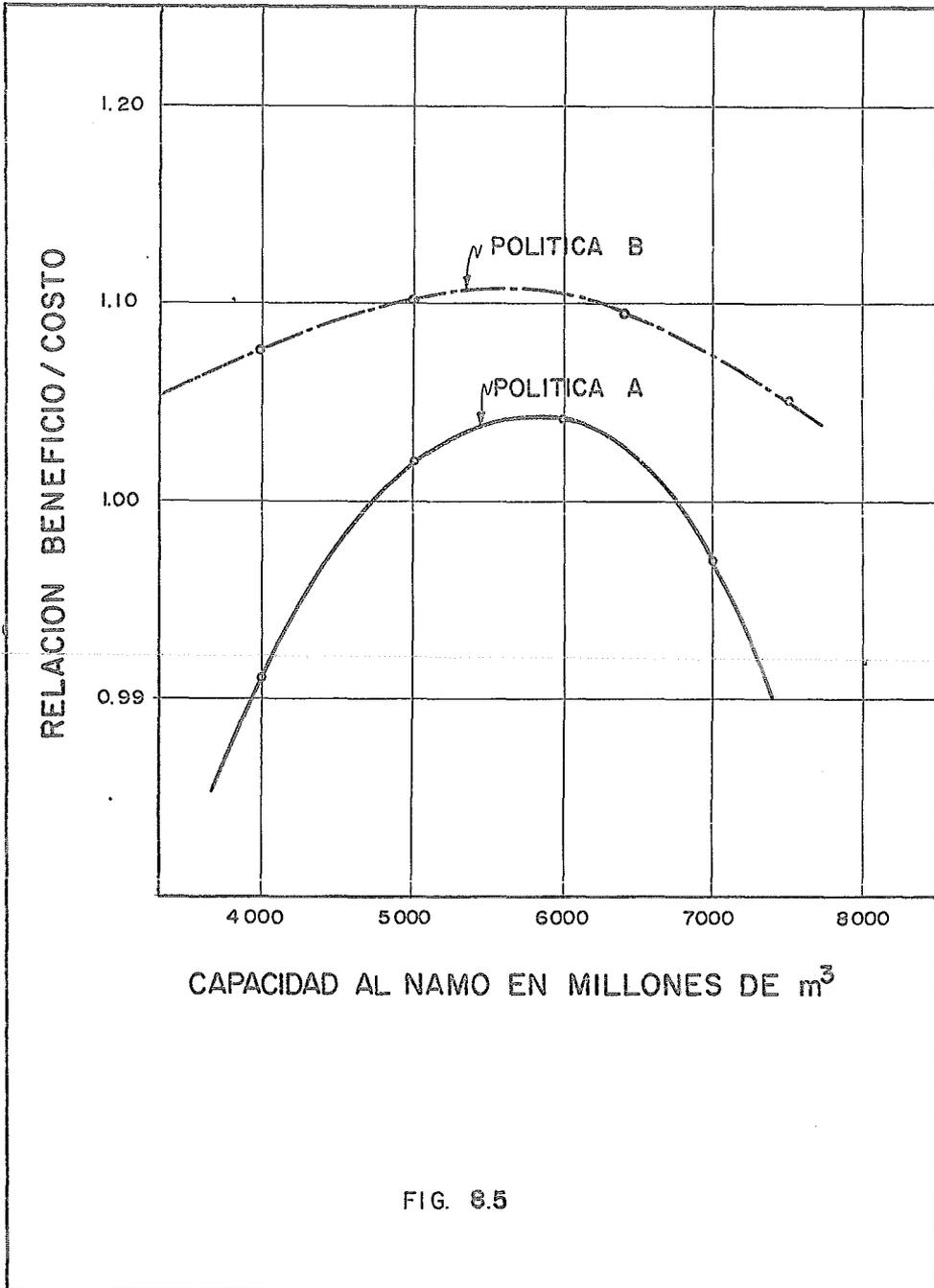


FIG. 8.5

T A B L A N° 8.3

POLITICA	CAPACIDAD 10 ⁶ m ³	BENEFICIOS EN MILLONES DE PESOS				COSTOS EN MILLONES DE PESOS				BENEFICIO/ COSTO
		POTENCIA INTALADA	G E N E R A C I O N		SECUNDA- RIA	T O T A L	OBRA CIVIL	EQUIPO ELECTRO- MECANICO	T O T A L	
		EN EL PICO	EN LA BASE							
A	4 000	3 505	1 330	2 524	1 658	9 017	6 400	2 700	9 100	0.991
	5 000	4 112	1 561	3 262	1 722	10 657	7 500	2 950	10 450	1.020
	6 000	4 664	1 772	3 982	1 725	12 143	8 500	3 150	11 650	1.042
	7 000	5 058	1 923	4 640	1 632	13 253	10 000	3 290	13 290	0.997
B	4 000	3 800	1 446	3 477	1 232	9 955	6 400	2 800	9 200	1.082
	5 000	4 437	1 687	3 951	1 545	11 620	7 500	3 050	10 550	1.101
	6 400	5 106	1 939	5 154	1 290	13 489	9 000	3 300	12 300	1.097
	7 500	5 506	2 093	6 071	1 000	14 670	10 500	3 450	13 950	1.052

Como resultado del análisis se presentan las gráficas, obtenidas a partir de la aplicación de las políticas de operación mencionadas anteriormente, los cuales indican que la variación en el tipo de manejo de la presa no hacen variar la decisión y que la capacidad más conveniente es la de 5 800 millones de m³ a la elevación del NAMO. Estas gráficas se presentan en la figura 8.5.

En estos análisis se considera una capacidad de control de 1 500 millones de metros cúbicos.

9. CONCLUSIONES.

Para la elección de la capacidad útil se debe tener en cuenta el factor económico como principal. La alternativa ganadora será aquella que tenga mayores beneficios para menor costo.

Los costos y beneficios tendrán que estar actualizados a la fecha que estará operando la presa.

De las políticas de operación empleadas se observa que para una misma capacidad es diferente la generación de energía. Así la política B de deficiencias del 2.5% en el período genera más energía que la Política A de generación firme. Al graficar la relación beneficio/costo contra capacidad al NAMO las dos políticas indican que la capacidad útil más conveniente es de 5 800 millones de m³ por tener mayor relación beneficio/costo.

El funcionamiento de un vaso es sencillo pero sumamente laborioso por lo que es inobjetable el empleo de una computadora electrónica ya que por la rapidez con que trabajan al operar la cantidad de datos que se requieren, se pueden estudiar diferentes alternativas de Políticas de Operación, con variaciones en los parámetros restrictivos que son: Elevaciones y capacidades máximas y mínimas del vaso, elevación del desfogue, eficiencia de turbinas, Potencia instalada y carga de diseño.

Para así escoger de estas alternativas la que obtenga la capacidad útil más conveniente.

Los programas empleados permiten ser utilizados como guía por los estudiantes de las materias de hidrología y presas de almacenamiento y derivación.

BIBLIOGRAFIA

- Handbook of Applied Hydraulics.
Calvin Víctor Davis
Editorial Mc. Graw-Hill - 1970.
- Hidrología para Ingenieros
Linsley, Kohler y Paulus
Editorial Mc Graw - Hill - 1970
- Manual de Diseño de Obras Civiles C.F.E.
Datos Hidrológicos
Editorial C.F.E. - 1970
- Lenguaje de Programación Basic
Paul W. Morril y Cecil L. Smith
Representaciones y Servicios de Ingenieria - 1972.
- Centrales Hidroeléctricas.
Zoppetti J. Gaudenvie
Editorial Gustavo Gili - 1974
- Aplicación de las Computadoras Electrónicas al Funcionamiento
de Sistemas de Vaso.
Teodoro G.C. Krap Pastrana. Tesis Profesional - 1970
- Sedimentation Eengeeniering
A.S.C.E. - 1969
- Design of Water Resouce Systems
Artur Maass Maynard M. Hufschmidt. Robert Dorfman
Editorial Haivar University Press
- Estudio Hidrológico y Análisis de factibilidad Técnico-económica
de la presa Chilatan sobre el río Tepalcatepec, Mich
Gildardo Vázquez Tirado. Tesis Profesional - 1976

M-0040684