

ESTUDIO HIDROLOGICO
DEL RIO TAGUACITA EN SITIO DE PRESA

"LA BOTICA"
Abril - 1974



200 000000
1974

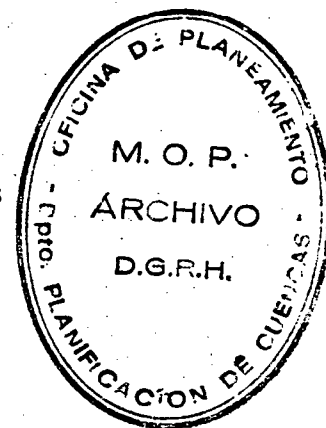
INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1 Descripción de la Cuenca.....	1
2. DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	2
2.1 Fluviográficos.....	2
2.2 Pluviométricos.....	2
2.3 Evaporimétricos.....	2
3. TIPO DE DATOS USADOS.....	
3.1 Fluviométricos.....	
3.2 Pluviométricos.....	
3.3 Evaporimétricos.....	
4. METODOLOGIA EMPLEADA.....	
4.1 Características Hidráulicas del Canal.....	
4.2 Hidrograma Unitario.....	
4.3 Análisis de Frecuencia de Gastos máximos instantá- neos anuales.....	9
4.4 Hidrogramas Totales.....	10
4.5 Análisis Probabilístico de gastos mínimos.....	10
4.6 Análisis de frecuencia de volúmenes máximos.....	11
4.7 Análisis probabilísticos de volúmenes mínimos.....	12
4.8 Rendimientos.....	13
4.9 Curva de duración de Caudales.....	13
5. CALCULO DE LA CAPACIDAD UTIL DEL EMBALSE	14
5.1 Análisis Estadístico de la serie histórica de Volúme- nes mensuales escurridos.....	14
5.2 Generación Estocástica.....	15
5.3 Determinación de la relación Rendimiento-Almace- namiento.....	17
5.4 Determinación de la Capacidad Util.....	19
6. Pérdidas o Ganancias.....	19
7. DIAS DE LLUVIA.....	20
8. LLUVIA DE DISEÑO (Tormenta Máxima Probable)..	20



A N E X O S

ANEXO N° 1	Mapa de la cuenca y red de canales
ANEXO N° 2	Características hidráulicas del canal en el sitio de presa
ANEXO N° 3	Crecientes analizados para el cálculo del hidrograma unitario.
ANEXO N° 4	Análisis de frecuencia de gastos máximos instantáneos anuales.
ANEXO N° 5	Hidrograma Unitario y Totales
ANEXO N° 6	Análisis probabilístico de gastos mínimos
ANEXO N° 7	Análisis de frecuencia de volúmenes máximos
ANEXO N° 8	Análisis probabilístico de volúmenes mínimos
ANEXO N° 9	Rendimientos en el sitio de presa
ANEXO N° 10	Curva de duración de caudales
ANEXO N° 11	Parámetros estadísticos de la serie histórica de volúmenes mensuales escurridos.
ANEXO N° 12	Ejemplo de 1 serie de volúmenes mensuales generados estocásticamente y relación rendimiento-capacidad correspondiente.
ANEXO N° 13	Curvas para obtención de la capacidad útil del embalse
ANEXO N° 14	Pérdidas o Ganancias en el sitio de presa
ANEXO N° 15	Días de Lluvia sobre la cuenca
ANEXO N° 16	Creciente de Diseño del Aliviadero



1. INTRODUCCION

En el sitio denominado 'La Botica', aproximadamente 2 Kms aguas arriba de la confluencia del río Taguacita y el río Tuy en el Estado Miranda, el río Taguacita presenta en su cauce características topográficas aptas para un sitio de presa. El Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos contempla el represamiento del río Taguacita en dicho sitio. Con la finalidad de dar los elementos hidrológicos básicos para el diseño de la presa 'La Botica', se emprendió la elaboración del presente estudio, a petición de la División de Proyecto-Construcción de la Dirección General de Recursos Hidráulicos. Fué elaborado en la Unidad Técnica de la División de Hidrología por el Ing. Francisco A. Obregón, contando con la asesoría del Ing. Alfredo Flores y la colaboración del Asistente de Hidrología III Luis F. Parada en la recolección y preparación de los datos.

1.1. Descripción de la Cuenca

El río Taguacita es un afluente del río Tuy por su margen de recha, desemboca en él aproximadamente a 22 Kms de Santa Teresa en la vía Santa Teresa-Guatopo.

Tiene sus cabeceras en la fila El Colorado a 600 m.s.n.m. entre los $10^{\circ}05' LN$ y $66^{\circ}33' LW$. Recorre aproximadamente 25 Kms en dirección Norte, drenando una superficie de 145 Kms. La topogra fa de la cuenca se caracteriza por pendientes altas en toda su exten sión, lo que hace que su cauce sea muy accidentado y su caudal to-

rreroso, la vegetación predominante es de bosque denso (Parque Nacional Guatopo).

2. DISPONIBILIDAD DE DATOS

2.1 Fluviográficos

El Instituto Nacional de Obras Sanitarias tiene instalada en el sitio 'La Botica' sobre el río Taguacita, una estación registradora de niveles, cuyo período de registros comprende los años 1960 a 1972. La calidad de los datos obtenidos en esta estación de registros, se puede clasificar como buena.

2.2 Pluviométricos

En la cuenca del río Taguacita existen dos pluviógrafos registradores instalados en los sitios denominados 'Taguacita' y 'Lomas del Medio', ambos pertenecientes al Instituto Nacional de Obras Sanitarias y con un período de registros de 13 años (1960-1972). De los datos registrados en estas estaciones, se usaron los correspondientes a la estación instalada en 'Taguacita', por considerarlos de mejor calidad y más representativos para el tipo de estudio que nos ocupa.

2.3 Evaporimétricos

En la misma estación Taguacita existe una tina de evaporación al sol del tipo "A", con igual período de registros que la esta-

ción pluviométrica. Para la elaboración del presente estudio se to maron los datos provenientes de esta estación.

A continuación se presenta un cuadro con la información básica de las estaciones fluviográficas y pluvio-evaporimétricas, cu yos datos registrados fueron usados en el estudio.

Estación	Nombre	Pert.	Tipo	Inst.	Long.	Latitud
Fluviográfica	La Botica	INOS	PN	1960	66° 34'	10° 12'
Pluviométrica	Raguacita	INOS	PE	1960	66° 34'	10° 12'

3. TIPO DE DATOS USADOS

3.1 Fluvimétricos

La estación "La Botica" sobre el río Taguacita, suministra un registro horario de los niveles del río, mediante aforos practicados se trazó una curva de gastos vs niveles, de donde se obtienen luego los datos de escurrimiento. Es de notar que los aforos practicados corresponden a niveles bajos del río por lo cual hubo la necesidad de extrapolar las curvas de gastos para niveles altos. Esta extrapolación se efectuó mediante el uso del programa "SECTCAN" integrado al Módulo III del Sistema ESTUHIRO elaborado por el mismo autor de este trabajo. El principio usado para la extrapolación de la curva de gastos es el siguiente: Mediante aforos practicados se estima la N de Manning en la sección y se estima un valor inicial para

la pendiente del cauce. Mediante el levantamiento topográfico de la sección transversal del río en el sitio de estación se determinan los puntos característicos de la sección mediante su progresiva a partir de una margen y sus cotas con referencia a un datum, que en nuestro caso corresponde a la lectura de mira del fondo del canal. A partir de este nivel se colocan láminas de agua con incrementos de 0.10 mts y se calculan para los niveles resultantes las características hidráulicas, gasto y velocidad. En sucesivos corridos del programa "SECTCAN" variando la N de Manning y la pendiente, se ajustan los resultados obtenidos con los aforos practicados hasta obtener un buen calibrado, luego se corre el programa hasta el nivel máximo de la sección (sin desborde) y se obtiene la curva de gasto extrapolada, así como la curva de radio hidráulico vs nivel.

Se considera además que la sección transversal del río en el sitio "La Botica" presenta muy pocas variaciones en el período 1960-1972 como para obtener una sola curva de gastos válida para este período. Los resultados se muestran en el Anexo N° 2.

Los datos correspondientes a la curva de gastos extrapolada, se usaron para la obtención los gastos horarios de 9 crecientes seleccionadas (a partir de la inspección de las bandas del fluviógrafo para

el período 1960-1972), crecientes que se tomaron luego como base para el cálculo del hidrograma unitario de la cuenca hasta el sitio de presa "La Botica". También se usó esta curva de gastos para la obtención de los gastos máximos instantáneos anuales.

Los gastos medios diarios y volúmenes mensuales de escurrimiento usados en el estudio se tomaron directamente de las publicaciones de Anuarios Fluviométricos del INOS.

En resumen los datos fluviométricos usados en el estudio son:

- Gastos horarios (m^3/seg) de 9 crecientes seleccionadas
- Gastos instantáneos máximos anuales (m^3/seg)
- Gastos medios diarios (m^3/seg)
- Volúmenes mensuales escurridos (Millones de metros cúbicos)

3.2 Pluviométricos

Para el período 1960-1972 provenientes de la estación Taguacita se usaron:

- Precipitación diaria (mm)
- Precipitación mensual (mm)

3.3 Evaporimétricos

Para el período 1960-1972 provenientes de la estación Taguacita se usó:

- Evaporación mensual (mm) afectada por el coeficiente de

transformación de evaporación de tina clase "A" (0.80)

4. METODOLOGIA EMPLEADA

El estudio fué elaborado mediante el procesamiento del Módulo III del sistema ESTU-HIDRO para computadora digital IBM/360 elaborado por el mismo autor de este trabajo. Este módulo abarca las siguientes fases de cálculo.

- ✓ - Características hidráulicas del canal en el sitio de presa
- ✓ - Hidrograma unitario
- Análisis de frecuencia de gastos máximos instantáneos anuales para frecuencias de 2.33, 5, 10, 25, 30 y 100 años.
- Hidrogramas totales para frecuencias 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años
- Análisis probabilísticos de gastos mínimos para 1, 2, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120 y 180 días consecutivos.
- Análisis de frecuencia de volúmenes máximos para 1 a 12 meses consecutivos.
- Análisis probabilístico de volúmenes mínimos para 1 a 12 meses consecutivos.
- ✓ Rendimientos mensuales, medios mensuales y medio anual en el sitio de presa.
- Curva de duración de caudales
- ✓ - Cálculo de la capacidad útil del embalse para diferentes regulaciones de la extracción y período de diseño de 100 años.
- ✓ - Precipitación y Evaporación mensual, media mensuales y pérdidas o ganancias sobre el embalse.
- Análisis de días de lluvias

Se describe a continuación la metodología empleada en cada una de las fases de cálculo.

4.1 Características Hidráulicas del Canal en el sitio de Presa (Ver punto 3.1)

4.2 Hidrograma Unitario

Del análisis de las bandas del fluviógrafo, se eligieron 9 crecientes que se consideraron representativas para la cuenca que contemplan además las siguientes características:

- Crecientes simples con uniformidad en la curva de recesión
- Tiempo base, tiempo del pico y valor del pico dentro de un rango de $\pm$ 25%.

Cada una de las 9 crecientes seleccionadas fueron sometidas al siguiente proceso:

En primer término se procedió a la separación del gasto base, para ello se determinó la pendiente de la línea que une el punto de comienzo del hidrograma total con el punto tangente a la estabilización de la curva de recesión del hidrograma total, a cada una de las ordenadas del hidrograma se le dedujo el valor resultante de la suma de la ordenada inicial más el producto de la pendiente de la línea del gasto base por el incremento horario de las ordenadas transformadas en segundos, obteniéndose así el hidrograma neto, luego se calcula el volumen de escurrimiento que corresponde al hidrograma neto y

la lámina de escurrimiento, dividiendo este volumen entre el área de recepción de la cuenca hasta el sitio de presa.

El hidrograma unitario para cada creciente se obtuvo dividiendo las ordenadas del hidrograma neto entre la lámina de escurrimiento correspondiente.

El paso siguiente consistió en determinar la duración de cada hidrograma unitario. Analizadas las bandas del pluviógrafo de la estación Taguacita, se observó que en las mayorías de las crecientes analizadas no había una buena correlación entre la lluvia registrada y las crecientes, lo que puede deberse a falta de sincronización de los relojes del pluviógrafo y pluviógrafo o a que las lluvias productoras de las crecientes, ocurrieron fuera del área de captación del pluviógrafo. Debido a esto, se utilizó el método de la curva "S" o de sumas sucesivas para establecer la duración del hidrograma unitario para cada creciente.

La curva S es el hidrograma resultante de una serie indefinida de escurrimientos unitarios, se construye sumando T/t hidrogramas unitarios desplazados cada uno t horas. T representa el tiempo base y t la duración asignada. En el desarrollo práctico del método se prueba con diversas duraciones (de 1 a 12 horas) hasta obtener una curva S sin fluctuaciones alrededor del gasto de equilibrio, esta duración será una buena aproximación de la duración de la lluvia efecu

tiva que produjo la creciente.

Finalmente una vez establecida la duración de cada hidrograma unitario, si existen hidrogramas unitarios de diferentes duraciones, se transforman todos a hidrogramas de 1 hora de duración mediante nueva aplicación de la curva "S".

El hidrograma unitario de la cuenca será el promedio gráfico de los hidrogramas unitarios de las crecientes, teniendo por pico, tiempo del pico y tiempo base el promedio aritmético de los correspondientes a los hidrogramas unitarios de las crecientes seleccionadas.

En el Anexo N° 3 se muestran los cálculos y resultados.

4.3 Análisis de frecuencia de gastos máximos instantáneos anuales

De las bandas del fluviógrafo se tomaron los niveles máximos instantáneos registrados en la estación "La Botica" sobre el río Taguacita, para cada año del período 1960-1972. Los gastos correspondientes a estos niveles se tomaron de la curva de gastos extrapolada a que se hace referencia en el Aparte 3.1. Se construye así una serie de 13 valores, se ordenan de mayor a menor y se aplica el método de Análisis de frecuencia de valores extremos de GUMBEL, obteniéndose como resultado los gastos máximos instantáneos a esperarse para períodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Estos valores ploteados en papel probabilístico normal se alinean según una

línea recta, lo que indica que la serie posee una distribución Gaussiana simétrica.

En el Anexo N° 4 se muestran los resultados.

4.4 Hidrogramas Totales

Los valores de gastos picos para frecuencias 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años obtenidos según como se explica en el Aparte 4.3 se dividen entre el pico del hidrograma unitario promedio, obteniéndose así los factores de transformación del hidrograma unitario a totales para las frecuencias antes mencionadas, para esto, se multiplican las ordenadas del hidrograma unitario por cada uno de los factores obtenidos. En el Anexo N° 5 se muestran los resultados, así como los volúmenes de escurrimiento correspondientes al ploteo por computadora de estos hidrogramas.

4.5 Análisis Probabilístico de gastos mínimos

En el análisis probabilístico de gastos mínimos, se usó el método de los "Promedios Cabalgantes". Con los gastos medios diarios para el período de registros de 13 años (1960-1972) se forma una serie de 365×13 valores. Para cada uno de los períodos de análisis (1, 2, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120 y 180 días consecutivos) se procedió de la siguiente manera: Se calcula el promedio del gasto medio diario para el período (N días consecutivos) desplazando sucesivamente 1 día el

período, teniéndose así $365 \times 13-N$ promedios cabalgantes, se calcula el valor medio de esta serie y se eliminan todos aquellos que sean iguales o mayor que el valor medio. Con los promedios cabalgantes restantes, se toman los valores mínimos de las fluctuaciones por debajo del valor medio (Eventos independientes). De esta serie parcial de mínimos se deduce una serie anual tomando el menor de los mínimos correspondientes a cada año del período de registros, es tos valores se ordenan de menor a mayor y se calcula sus probabilidades de ocurrencia y período de retorno.

En algunos casos para períodos de análisis largos (90 días o más) se obtienen series más pequeñas que el número de años de re gistros debido a que son menores las fluctuaciones por debajo de la media con relación a las que se presentan para períodos cortos de análisis. Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo N° 6 así como su ploteo en papel de escalas log-probabilístico.

4.6 Análisis de frecuencia de volúmenes máximos

Se usó para este análisis el método de los "Totales Cabalgantes" y "Análisis de frecuencia de valores extremos de Gumbel".

El proceso de aplicación del método de los Totales Cabalgantes es similar al método de los promedios cabalgantes descrito en el aparte anterior, con las variantes siguientes:

- a) Los datos de entrada son los volúmenes mensuales escurridos para el período de registros 1960-1972 expresados en millones de metros cúbicos.
- b) Los períodos de análisis son 1, 2, 3, 4, ..., 12 meses consecutivos.
- c) La serie parcial se construye con la suma de valores para el período de análisis.
- d) Se toman los valores máximos de las fluctuaciones por encima del valor medio (eventos independientes)
- e) Se construye la serie anual con los mayores de los máximos para cada año del período de registros.

Esta serie anual se ordena de mayor a menor y se le aplica el análisis de frecuencia de valores extremos de Gumbel, con el objeto de obtener los valores máximos a esperarse para períodos de retorno de 2, 33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, además los resultados probabilísticos.

En el Anexo N° 7 se muestran los resultados y su ploteo en papel de escalas Normal-Probabilístico.

4.7 Análisis Probabilístico de Volúmenes Mínimos

El método usado fué el de los Totales Cabalgantes en un proceso similar al descrito en el aparte anterior con las siguientes variantes:

- a) Se tomaron los valores mínimos de las fluctuaciones por debajo de la media.
- b) Se construye la serie anual con el menor de los mínimos correspondientes a cada año del período de registros.

- c) La serie anual se ordena de menor a mayor y se calculan las probabilidades de ocurrencias y período de retorno.

En el Anexo N° 8 se muestran los resultados y su ploteo en pa
pel escala log-probabilístico.

4.8 Rendimientos

En el Anexo N° 9 se muestran los volúmenes mensuales escurridos para el período 1960-1972, tomados de las publicaciones de Anuarios Hidrométricos del INOS como se explicó en el Aparte 3.1. Se muestran además el cálculo de los rendimientos medios mensuales y ren
dimiento medio anual, así como el ploteo del histograma de rendimien
tos medios mensuales.

4.9 Curva de Duración de Caudales

Los gastos medios diarios forman una serie contínua en el tiem
po. La curva de duración de caudales es una curva acumulativa de fre
cuencias.

Para su construcción basada en gastos medios diarios, se formó
con estos una serie de 365×13 valores (13 años de registros), se toma
ron 16 intervalos no iguales a saber: 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0,
2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100.0 m³/seg.
Se computó el número de veces en que los valores de la serie igualaba
o excedía cada uno de estos rangos, este número de ocurrencias di
vidida entre el número total de valores de la serie (365×13) nos da

el porcentaje en el tiempo en que cada uno de los rangos antes mencionados era igualado o excedido, formándose así una curva acumulativa de frecuencia. En el Anexo N° 10 se muestran los resultados así como los valores característicos de la serie de gastos medios diarios (máximo, medio y mínimo) y el ploteo de la curva de frecuencia en escalas log-probabilística.

5. CALCULO DE LA CAPACIDAD UTIL DEL EMBALSE

Se introduce aquí un método para el cálculo de la capacidad útil del embalse del río Taguacita en el sitio "La Botica". Este cálculo se efectúa para diferentes regulaciones de extracción (en base a diferentes porcentajes del rendimiento medio mensual) y período de diseño de 100 años. El método se fundamenta en los siguientes aspectos:

- Análisis estadístico de la serie histórica de volúmenes mensuales escurridos.
- Generación sintética por métodos estocásticos de 99 series de 99 años cada serie de volúmenes mensuales.
- Determinación para cada serie generada la relación rendimiento-almacenamiento.
- Determinación de la capacidad útil de la presa para período de diseño de vida útil 100 años.

Se describe a continuación cada uno de los procesos mencionados.

5.1 Análisis Estadístico de la serie histórica de Volúmenes Ecurridos

La serie histórica de volúmenes mensuales (Mill. M3) es sometida a un

procesamiento con la finalidad de determinar los parámetros estadísticos de ella.

Los valores de la serie para el período de registros (Vol. I, J) (13 años 1960-1972) se ordenan en una matriz de subíndices (I, J) correspondiendo el subíndice I al año y J a los meses, para cada fila Vol. $(I, J) I=1, \dots, N$ se determinan la Media y Desviación Standard y una Media y Desviación especial para el mes de diciembre (Vol. $(I, 12) I=1, \dots, N$) en función de un dato auxiliar a la serie que puede ser el volumen registrado en el mes de diciembre del año anterior al año de comienzo de la serie o la media aritmética de los valores correspondientes al mes de diciembre en la serie histórica, en el caso de no disponer del primero de los nombrados. Para cada fila (Mes) Vol. $(I, J) I=1, \dots, N$ se determina el coeficiente de correlación con respecto a la fila (Mes-1) Vol. $(I, J-1) I=1, \dots, N$. El coeficiente de correlación para el mes de enero, será por supuesto, con respecto al mes de diciembre.

5.2 Generación Estocástica

Una vez determinados los parámetros estadísticos de la serie histórica (Media, Desviación Standar y coeficiente de correlación) se generan 99 series de 100 años cada serie, es decir 100 x 12 valores generados para cada serie. Esta generación sintética se fundamenta en la técnica propuesta por Fiering (1964) basada en el siguiente modelo de Markov.

$$X(I, J) = U(J) + B(J) \times (X(I, J-1) - U(J) + R \times \sqrt{(1-RO(J)^2)} \times D(J)$$

donde: $X(J, J)$ es el Volumen calculado para el año I, mes J

- $U(J)$ es la media del mes J
- $B(J)$ es el coeficiente de regresión del mes J con respecto al mes J-1.
- $RO(J)$ es el coeficiente de correlación del mes J con respecto al mes J-1.
- R es un número al azar con distribución normal de desviación=0 y varianza = 1.
- $D(J)$ es la desviación Standard del mes J

Se asume que la distribución de valores generados es log-normal, de manera que la Media, Desviación Standard de la distribución se transforma en:

Media Transformada

$$U'(J) = 0.5 \times \text{Log} \left(\frac{U(J)^4}{U(J)^2 + D(J)^2} \right)$$

Desviación Standar Transformada

$$D'(J) = \sqrt{\text{Log} \frac{U(J)^2 + D(J)^2}{U(J)^2}}$$

En el Anexo N° 11 se muestran los valores de los parámetros estadísticos de la serie histórica que intervienen en los cálculos de las series generadas estocásticamente.

5.3 Determinación de la Relación Rendimiento-Almacenamiento

Para cada una de las 100 series generadas como se explica en el aparte anterior, se determinó la relación rendimiento-almacenamiento para 6 ratas diferentes de extracción expresadas en porcentajes del rendimiento medio mensual (40% a 90% del rendimiento medio).

Para el cálculo de la función rendimiento-almacenamiento se utilizó el algoritmo de secuencia de picos de Thomas (1). El cual dice: "dado un registro de escurrimiento de período T en el sitio propuesto para una presa y dada las extracciones para T -períodos, se requiere calcular la capacidad mínima de embalse tal que no ocurra deficiencia en la extracción si ésta y los aportes se repiten en una progresión cíclica, de ciclos de T períodos cada uno".

La solución propuesta por Thomas sólo requiere dos ciclos y es equivalente a una solución de programación lineal para la optimización del patrón de derrame W_i . El algoritmo es aplicado a varias ratas de extracción y en cada caso el embalse se vacía por lo menos una vez en el intervalo $1, 2, \dots, T$.

Si llamamos (X_i) los aportes y (D_i) el patrón de demanda, el procedimiento de cálculo se resume en:

1. Calcular: $X_i - D_i$, para todo $i = 1, 2, \dots, 2T$, y el aporte neto acumulado $(X_i - D_i)$ para $T = 1, 2, \dots, 2T$.
2. Localizar en la serie anterior el primer pico, P_1 , (máximo local) y el siguiente, P_2 , de magnitud mayor que el primero.
3. Entre ellos buscar la depresión más baja en la serie (mínimo local), T_1 , y calcular $P_1 - T_1$.
4. Comenzando con P_2 , localizar el siguiente pico, P_3 , de magnitud mayor que P_2 , y la depresión baja, T_2 , entre P_2 y P_3 . Calcular $P_2 - T_2$.
5. Continuar el procedimiento para toda la secuencia de picos en la serie de $2T$ períodos.
6. El tamaño requerido de embalse será $S_m = \max (P_j - T_j) = P_m - T_m$.
7. El programa de derrames es ahora identificado. El embalse llegará vacío en el momento de la ocurrencia de la mínima depresión, T_m , entre el par de picos secuentes P_m y P_{m+1} . El índice m , necesariamente no se identifica con el máximo pico o la mínima depresión, sino se asocia con la máxima diferencia, $P_j - T_j$.
8. El almacenamiento S_i , al final de período i -ésimo (mes o estación) y el flujo derramado durante éste, pueden calcularse por medio de las relaciones:

$$S_i = \min_i S_m, \quad S_{i-1} + (X_i - D_i)$$

$$W_i = \max_i 0, \quad (X_i - D_i) - (S_m - S_{i-1})$$

Debido al volumen de los cálculos efectuados, en el Anexo N°

12 se muestra 1 serie generada tomada al azar entre las 100 del total

así como la relación Rendimiento-Almacenamiento correspondiente a la serie.

5.4 Determinación de la Capacidad Util

De cada serie generada estocásticamente se obtiene un almacenamiento por cada porcentaje de regulación, teniéndose en total 99 almacenamientos para cada porcentaje de regulación, estos valores se ordenan de mayor a menor y se calculan las probabilidades $P(X \leq x)$ y $1 - P(X \leq x)$, es decir las probabilidades de que el almacenamiento sea igual o menor al indicado o viceversa.

Estas probabilidades nos indican el riesgo del diseño de la capacidad útil para el período de 100 años de vida útil de la presa, base de los cálculos. Tendremos en resumen 6 curvas de almacenamiento vs riesgo (una para cada porcentaje de extracción). Asumiendo un riesgo y fijando el porcentaje de regulación, entramos a la curva correspondiente y encontramos la capacidad útil de la presa. En el Anexo N° 13 se muestran los resultados obtenidos.

6. PRECIPITACION, EVAPORACION Y PERDIDAS O GANANCIAS MENSUALES Y MEDIA MENSUAL SOBRE EL EMBALSE.

De la estación pluvio-evaporimétrica Taguacita, situada en las inmediaciones del vaso de la presa "La Botica" se han tomado los valores mensuales de precipitación y evaporación mensual, en base a ellos se han calcula-

do las pérdidas o ganancias sobre el embalse de acuerdo a la expresión.

$$P \text{ o } G = \text{Precipitación} - \text{Evaporación}$$

previamente transformada la evaporación de tina a evaporación de lago. En el Anexo N° 14 se muestran las tablas de precipitación, evaporación y pérdidas o ganancias, así como el ploteo de los histogramas medio mensual correspondiente.

7. DIAS DE LLUVIA

Con los datos diarios de precipitación provenientes de la estación Tanguacita, se calculan para cada mes/año y mes/período el número de ocurrencias de precipitación, estas ocurrencias además se discriminan en rangos de:

- Mayores de 0.1 mm
- Mayores de 10.0 mm
- Mayores de 20.0 mm
- Mayores de 30.0 mm
- Mayores de 40.0 mm
- Mayores de 50.0 mm

En el Anexo N° 15 se muestran los resultados así como el ploteo de los histogramas correspondientes.

8. LLUVIA DE DISEÑO (Tormenta Máxima Probable)

Se establece en este punto, la lluvia a usarse en el cálculo de la creciente de diseño del aliviadero del embalse.

Se ha usado para el cálculo de la lluvia a aplicarse para la obtención de la creciente de diseño, el trabajo 'Lluvias de diseño para las hoyas de los ríos Tuy y Guapo' elaborado por el Departamento de Meteorología de la División de Hidrología y presentado en el Informe Técnico N° 1 con fecha Noviembre de 1964.

El trabajo se basa en la aplicación de principios hidrometeorológicos para el análisis de la potencialidad de lluvias sobre la cuenca del Tuy en razón a su lluvia media anual normalizada.

En el aspecto aplicativo del Informe, se obtiene la lluvia de diseño mediante los siguientes pasos:

- Se localiza la posición de la subcuenca del río Taguacita en el mapa de lluvia media anual normalizada para toda la cuenca del Tuy.
- Se calcula sobre el mapa la lluvia media anual para la subcuenca del río Taguacita.
- Con la lluvia media anual normalizada y el área de la subcuenca, se entra en un gráfico coaxial, cuya alteración final es la profundidad de la tormenta máxima probable para diferentes duraciones de la lluvia asignada, que en nuestro caso es de 1 hora por haber establecido esa duración en el cálculo del hidrograma unitario.
- Esta profundidad de lluvia obtenida se le aplica al hidrograma unitario (1 hora de duración) y se obtiene la creciente de diseño.

En el Anexo N° 16 se muestran los resultados.

A N E X O S

ANEXO N° 1