



V Seminario Latinoamericano de Irrigación
III Jornadas Venezolanas de Riego

Caracas, 20 al 31 de Octubre de 1968
COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

Tema III

Documento 56

BASES DE UNA METODOLOGIA GENERAL PARA LA OPERACION DE EMBALSES

PARA RIEGO POR MEDIO DE COMPUTADOR ELECTRONICO

Trabajo presentado por:
Jorge Castillo Caycedo
Instituto Colombiano de Reforma
Agraria - INCORA
Bogotá - Colombia

BASES DE UNA METODOLOGIA GENERAL PARA EL ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO
DE EMBALSES PARA RIEGO POR MEDIO DE UN COMPUTADOR ELECTRONICO

Introducción

El notable incremento logrado en los últimos tiempos en el empleo de computadores electrónicos, ha traído consigo una gradual evolución en las técnicas de análisis de los factores que inciden en el estudio de proyectos específicos, de manera que bien puede decirse, que no basta actualmente la experiencia o intuición para decretar la conveniencia o bondad de un proyecto, sino que es necesario basar las decisiones en fundamentos numéricos racionales, sin que esto implique necesariamente, la aplicación de altas matemáticas o la formulación de complejos modelos estadísticos o matemáticos.

Por el contrario, en la gran mayoría de los casos, es posible encontrar procedimientos sencillos de evaluación, que permitan explotar ágil y eficientemente las informaciones recogidas para resolver los problemas planteados.

De estas disciplinas se ocupa la investigación de operaciones, matemática que aunque no ha llegado a la madurez deseada, ha tenido notable auge a raíz del desarrollo de las máquinas electrónicas de cálculo, cuyo empleo se hace indispensable cuando se tiene un número elevado de variables de cálculo.

En el presente trabajo se exponen los estudios adelantados en el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA) para procesar por medio de un computador electrónico las operaciones teóricas de los embalses, operaciones que como se verá más adelante, constituyen procesos iterativos de mayor o menor complejidad, de acuerdo a la información disponible de cada uno de los fenómenos que puedan afectar en un momento determinado el funcionamiento de los embalses.

II - ENFOQUE DEL PROBLEMA

Los estudios adelantados en el INCORA se han abocado bajo dos aspectos diferentes.

El primer enfoque abarca los problemas de optimización de operación para embalses de propósito múltiple en los cuales se determina simultáneamente, de período en período, la estrategia óptima y los beneficios netos esperados correspondientes, es decir, se busca una repartición de flujo que garantice un rendimiento máximo.

Dentro de este enfoque, el rendimiento total, en un conjunto de períodos determinado, depende de las decisiones que se pueden tomar en cada uno de ellos. Los problemas planteados en estos períodos dan lugar a la aplicación de un modelo de procesos de decisiones basado en la programación dinámica sobre procesos estocásticos, semisecuenciales, en donde las variables de decisión son las asignaciones a los usuarios y el volumen reservado para el futuro, en cada período.

La metodología para el desarrollo del modelo planteado en estas condiciones, ha sido ampliamente estudiada, en el Centro de Cómputo de la Universidad de los Andes por los Ingenieros ULPIANO AYALA y GERMAN HERRAN, cuyos planteamientos nos han servido de valiosa guía en el adelanto de nuestros estudios, pero que por limitaciones de espacio en esta publicación no nos es posible explicar con más detalles.

El segundo enfoque abarca el problema del funcionamiento de embalses bajo el punto de vista de la adopción previa de una estrategia definida para describir el funcionamiento del mismo ante esta estrategia y analizar objetivamente las consecuencias económicas de este comportamiento físico. Este enfoque se utiliza en problemas donde un determinado conjunto de condiciones se impone por sí mismo y se quieren medir sus consecuencias para tratar de obtener el diseño óptimo.

A continuación hacemos una ligera descripción de los factores que nos han servido de base para el estudio de este sistema, al cual le hemos tratado de dar la mayor generalidad posible, utilizando al máximo los procedimientos más sencillos de cálculo con el objeto de que el sistema diseñado sea fácilmente comprendido, aún por aquellas personas que no tengan conocimientos de programación.

Así que en ciertos casos, el lector desprevenido, podrá encontrar que el procedimiento empleado, puede no ser el más eficiente desde el punto de vista computacional, ya que, como dije atrás, hemos preferido sacrificar un poco de eficiencia operacional en pro de la sencillez del sistema.

III - FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACION DE EMBALSES

A continuación haremos un breve resumen de los principales factores que intervienen directa o indirectamente en el funcionamiento de embalses para riego.

1. PRECIPITACION

La precipitación es el fenómeno por el cual una masa de aire caliente y cargada de humedad sufre un proceso de enfriamiento, que ocasiona su precipitación en forma líquida o sólida.

El método de evaluación de las lluvias varía con el tipo de estudios que estemos efectuando. En nuestro caso nos interesa la precipitación promedio en un área determinada y la precipitación estacional o mensual.

El análisis de la distribución estacionaria o mensual de las lluvias permite diferenciar los períodos húmedos y los períodos secos pudiéndose así establecer los probables requerimientos de riego o de drenaje durante los períodos considerados.

De todas maneras debemos tener en cuenta dentro del estudio que esta distribución estacionaria no es una función continua, sino discreta cuyo volumen nos será suministrado, generalmente, en milímetros o pulgadas promedios de intensidad, que si deseamos cotejarlo con la capacidad del embalse y las demandas de riego, debemos reducirlo a unidades equivalentes, para lo cual es necesario determinar de antemano la relación área -vs- altura del embalse y el área de influencia de la zona de riego.

2. EVAPORACION

Debemos distinguir dos clases de evaporación según la naturaleza de la superficie. La evaporación que ocurre en una superficie de agua libre y la que se produce en el suelo.

El primero, como en el caso de la precipitación se determina en función del área del embalse. El segundo que afecta directamente los requerimientos de agua de las plantas, se estudia generalmente en forma conjunta con el fenómeno de la transpiración principalmente por las dificultades que se presentan para valorar cuantitativamente los factores que afectan estos dos fenómenos.

3. EVAPOTRANSPIRACION

Siendo la evapotranspiración un fenómeno complejo de efectos netamente locales, se debe tratar de determinar empíricamente un orden de magnitud de este fenómeno, indicando en forma conservativa la habilidad relativa de las plantas para consumir agua e involucrando su cuantía en la dotación de agua necesaria a la planta para su crecimiento.

4. INFILTRACION

El efecto que pueda tener la infiltración dentro de un embalse, depende, en gran parte, de la calidad de los suelos donde esté construido el almacenamiento. De todas maneras siempre es necesario determinar la rata de infiltración y analizar objetivamente la influencia que pueda tener en la capacidad del embalse o más concretamente en el volumen disponible.

5. ESCORRENTIA

La escorrentía es la cantidad de agua que fluye sobre la superficie del terreno o a través del subsuelo, hacia los cauces naturales. Para obras de riego y drenaje se deben tratar de determinar las escorrentías máxima o mínima, su frecuencia y el volumen total de la escorrentía, puesto que de estos factores depende la disponibilidad de agua y en consecuencia el área regable dentro de un proyecto de riego que se está estudiando.

6. DEMANDA DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Por requisito o demanda de agua de los cultivos se entiende la cantidad de agua necesaria para producir una cosecha determinada. Generalmente al aplicar riego a un cultivo, una parte del volumen aplicado se pierde por diversos fenómenos, siendo entonces necesario la aplicación de un volumen de agua mayor del que realmente necesita la planta para su proceso de crecimiento. La relación entre el agua transpirada por las plantas y el agua aplicada a un fundo se denomina eficiencia de irrigación.

En el caso específico de estudios de embalses, nos interesa esencialmente la dotación de riego o sea la cantidad total de agua aplicada incluyendo, tanto el agua consumida por las plantas como la que se pierde, ya sea por infiltración profunda o por escorrentía.

7. APORTES DE OTRAS FUENTES NATURALES O ARTIFICIALES

Los fenómenos que acabamos de describir los hemos considerado íntimamente relacionados con la hoya hidrográfica de la zona del embalse y el área de irrigación del mismo; sin embargo, en algunas oportunidades es necesario tener en cuenta el aporte de otras fuentes naturales o artificiales que por alguna razón estén ligadas al sistema de irrigación que estemos considerando. Tales fuentes pueden no pertenecer al sistema hidrográfico en estudio, siendo necesario entonces determinar de antemano, la naturaleza y volumen de los aportes suministrados.

Puesto que resultaría muy difícil prever a priori las características de tales aportes, no sería viable incluir dentro de un sistema general el estudio de su influencia, resultando más conveniente prever ciertas etapas opcionales para resolver aquellos problemas que por su naturaleza específica no pueden generalizarse.

III - CONSIDERACIONES INICIALES

Generalmente la información requerida para el estudio del funcionamiento de un embalse se presenta de dos maneras diferentes: Tablas de valores promedios por períodos y relaciones gráficas de los elementos; de todas formas siempre podemos suponer que tendremos una distribución de frecuencias conocidas, que en el primero de los casos será una función discreta y en el segundo una función continua.

En el primer caso los valores deseados estarán bajo ciertos límites y no ofrecen dificultad para ser procesados por medio del computador; en el segundo caso es necesario encontrar una expresión matemática de los gráficos que le permita al computador efectuar los cálculos fácilmente; esto equivale a encontrar para cada relación gráfica su ecuación correspondiente.

Para la solución de este problema se usó el método de los mínimos cuadrados, cuyas bases enunciamos, a continuación:

Dados n puntos (X_i, Y_i) se puede encontrar un polinomio de grado m

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_m X^m$$

En el cual los coeficientes a_0, a_1, \dots, a_m se obtienen al resolver las ecuaciones normales siguientes:

$$n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n X_i + a_2 \sum_{i=1}^n X_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n X_i^m = \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^m a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} + a_2 \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n X_i^{m+m} = \sum_{i=1}^n Y_i X_i^m$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^m a_0 + \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} a_1 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n X_i^{2m} = \sum_{i=1}^n Y_i X_i^m$$

Resuelto el problema anterior el usuario estará en capacidad de conocer en un momento determinado el valor de cada uno de los elementos de cálculo, aunque es necesario aclarar que la información disponible debe ser reducida a unidades equivalentes antes de procederse a hacer el balance hidrológico del embalse, ya que el sistema estudiado y esto es muy importante de tener en cuenta, no constituye una metodología general, sino que fija ciertas bases y resuelve ciertos procesos específicos comunes a todo tipo de embalses para riego, facilitando de esta manera la programación, cuando se está estudiando un determinado proyecto de irrigación.

IV - PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Una vez obtenidos todos los elementos de cálculo, la operación del embalse consiste, esencialmente, en resolver la ecuación

$$A \, xdh = (Q_e - Q_s) \, dt$$

en la que A representa el área de embalse y $(Q_e - Q_s)$ la diferencia entre los caudales entrantes y salientes en el intervalo dt .

Por integración aritmética, reemplazando las diferencias por incrementos finitos, se tendrá:

$$A \, h = (Q_e - Q_s) \, t$$

Bajo ciertas restricciones, podremos reducir el procedimiento de cálculo a un proceso iterativo o ajuste sucesivo de volúmenes hasta obtener un equilibrio de cálculo aceptable; es decir podremos, partiendo de un embalse inicial (que será el embalse final del período inmediatamente anterior), hacer una simulación matemática del funcionamiento del embalse en un período de tiempo preestablecido dentro del cual será necesario suponer que los fenómenos que afectan las entradas y salidas de caudal varían linealmente. Por supuesto, esta suposición, será válida para período pequeño ya que para períodos grandes la simplificación es aventurada y asumirla podría significar errores apreciables en los resultados finales.

El procedimiento de cálculo adoptado, se puede resumir muy brevemente de la siguiente manera:

Una vez determinado un embalse inicial (que en el comienzo del ciclo será un dato de entrada) se calcula para un tiempo t tanto los aportes al embalse como las pérdidas y demandas de riego. Es fácil ver que la variación de alturas en el embalse conlleva una variación de los caudales de entrada y de las pérdidas experimentadas por el sistema.

No obstante y como inicialmente no se conoce el embalse al final del período de estudio, se supone que las condiciones iniciales del embalse permanecen invariables, con el objeto de calcular, en primera aproximación, el embalse final, para lo cual es necesario determinar de antemano los aportes y pérdidas por lluvias, escorrentía, evaporación, etc., por medio de las distribuciones de frecuencia analizadas en el numeral anterior.

Con la diferencia media de alturas en el embalse, así obtenida, se calcula de nuevo el embalse final y se compara con el anteriormente obtenido, repitiéndose el procedimiento hasta cuando los dos últimos resultados coincidan, caso en el cual, se ha logrado el equilibrio de cálculo buscado y se puede proceder a imprimir sus resultados.

El lector podrá darse cuenta que el procedimiento descrito es bastante sencillo y tal vez la única etapa que ofrece alguna dificultad es la determinación de los factores de cálculo, aunque como se verá en el ejemplo de aplicación que explicaremos a continuación si se ha hecho un buen análisis hidrológico de la zona del proyecto y se cuenta con un buen volumen de información, el análisis de estos factores resulta relativamente sencillo.

PROYECTO ATLANTICO N° 3

ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE DEL GUAJARO

1. ANTECEDENTES

En desarrollo del Proyecto de Irrigación denominado ATLANTICO N° 3 del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria se vió la conveniencia de estudiar varias alternativas de funcionamiento del embalse del Guajaro con el objeto de determinar aquella alternativa que requiriera menos volumen de bombeo.

En el estudio de estas alternativas se tomaron en cuenta los registros y estadísticas de 27 años de observaciones hidrológicas y meteorológicas, analizándose ciclos completos, correspondientes a los períodos que se consideraron críticos. En las páginas siguientes haremos un breve bosquejo del programa e incluiremos los resultados obtenidos para una alternativa de las descritas.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

La base primordial del proyecto que pretende adecuar unas 5.000 hectáreas de buenas tierras, inútiles y mal aprovechadas en la actualidad, mediante la creación de un Distrito de Riego, es el embalse de Guajaro, amplio lago artificial formado por las actuales lagunas de Guajaro, Ciénaga Limpia y otros de menor importancia, confinadas por una presa de tierra de 5.375 metros de longitud construída entre las colinas de Punta Bolonia y El Limón y por un dique de tierra de 7.160 metros de longitud, construído entre El Limón y Villa Rosa.

La capacidad total del embalse es de 360 millones de metros cúbicos, con un embalse útil de 29 millones de metros cúbicos entre las cotas 102 y 104.80; el coronamiento de los dos diques mencionados, se encuentran en la cota 106.30; es decir, que la altura libre del embalse es de 1.50 metros.

Se ha previsto que el embalse sea alimentado en parte por el canal del dique y en parte por bombeo. La cota proyectada para las compuertas de entrada del canal del dique al embalse, garantiza el caudal suficiente en aquel, para que la navegación por el canal no sea afectada.

En la figura N° 1 se pueden apreciar los tres sectores naturales en que se encuentra dividido el Proyecto: En primer lugar los de Repe-lón y Molinero, relativamente altos situados al Norte y al Oriente del embalse del Guajaro, que serán regados por aguas de este, únicamente; y en segundo lugar el sector Sur, más bajo, será regado en parte con aguas del mismo embalse, derivadas por gravedad y en parte con aguas del río Magdalena, elevadas por bombeo.

3. BASES PARA LA OPERACION DEL EMBALSE

Para verificar el más probable funcionamiento del embalse de Guajaro y su capacidad para satisfacer las demandas de riego en los períodos críticos, se analizaron los siguientes factores:

- a) Disponibilidad de agua en el canal del dique.
- b) Escorrentía.
- c) Demandas de Riego.
- d) Pérdidas por evaporación e infiltración.
- e) Gasto de las compuertas de admisión.
- f) Capacidad y áreas de embalse.

a) DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL CANAL DEL DIQUE

El Canal del Dique que se desprende del río Magdalena en Calamar, tiene una longitud de 105 kilómetros desde este punto hasta Cartagena sobre el Océano Atlántico.

A lo largo de su curso está comunicado con varias ciénagas que desempeñan una función regularizadora de su caudal, ya que en verano le devuelven parte de las aguas, que en el invierno han recibido por los desbordamientos del Magdalena y del mismo canal.

Para el estudio se disponían de los registros diarios de la altura de agua en el canal en el sitio de Calamar, durante los últimos 26 años. Las alturas en Calamar se relacionaron con las observaciones y aforos llevados a cabo en las estaciones fluviométricas de Santa Lucía y San Cristóbal, encontrándose el gráfico mostrado en la figura 2.

b) ESCORRENTIA

Para estimar los aportes de la hoya hidrográfica al embalse de Guajaro se utilizó el método llamado racional, que no es el caso mencionado en este informe.

La aplicación de la fórmula racional dió los resultados que se muestran en el cuadro N° 3, en donde están consignados los promedios generales basados en los datos estadísticos disponibles, a los cuales se les ha deducido los porcentajes sugeridos por la apreciación de los factores físicos que intervienen en su análisis. Con estas reducciones se considera que el estimativo de los aportes de la hoya hidrográfica al embalse es adecuadamente seguro y confiable.

c) DEMANDAS DE RIEGO

Las necesidades de agua de los cultivos adoptados para el Proyecto Atlántico 3, fueron objeto de un detenido estudio, cuyos resultados describiremos más adelante al detallar las alternativas procesadas.

d) EVAPORACION E INFILTRACION

Debido a la escasez de datos experimentales, la evaporación se calculó por la fórmula de MEYER, basada en las condiciones meteorológicas locales. Los resultados obtenidos están consignados en el gráfico N° 4.

No se han tenido en cuenta las pérdidas por infiltración, dado que la naturaleza arcillosa del fondo del embalse, las hace prácticamente despreciables.

e) GASTOS DE LAS COMPUERTAS DE ADMISION

Considerando que las compuertas de admisión estarían completamente abiertas, se simplificó el cálculo del caudal afluente a través de las compuertas, considerando toda la estructura de toma como un aliviadero de fondo o vertedero practicado en muro de altura nula.

La aplicación de las fórmulas correspondientes produjo los resultados consignados en el gráfico N° que relacionan los volúmenes de entrada de flujo al embalse y la altura del agua en el canal del dique.

f) CAPACIDAD Y AREA DE EMBALSE

La relación existente entre el área y el volumen para las diferentes cotas del embalse, se muestra en el gráfico N° 5.

4. DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema fué diseñado de acuerdo a las normas establecidas en los capítulos anteriores, es decir, la primera parte del programa trata del estudio de los gráficos y determina las relaciones matemáticas necesarias para el cálculo de los diferentes factores que afectan la operación del embalse.

También se previó una subrutina especial para relacionar los niveles de agua del Canal del Dique, en San Cristóbal y Calamar.

En el caso presente y para no ampliar demasiado este informe no incluimos la primera parte del programa, que trata del estudio de los gráficos y determina las relaciones matemáticas necesarias para el cálculo de los diferentes factores que afectan la operación del embalse y que consideramos no tenga mucho interés práctico para el lector; así que consideramos como conocidos los coeficientes, los cuales entrarán como datos para el programa principal.

5. PROCEDIMIENTO DE CALCULO

Aunque dentro del programa se previeron aportes provenientes de bombeo, para satisfacer los déficit de demandas, las alternativas estudiadas en esta primera etapa de estudio, no contemplan esta posibilidad, así que los únicos factores que afectan el funcionamiento del embalse son las entradas por compuertas desde el Canal del Dique, los aportes por esorrentía, las pérdidas por evaporación y las demandas de riego.

La teoría de funcionamiento empleada es la misma que explicamos cuando nos referimos al procedimiento general de cálculo, con la salvedad de que en este caso, el factor predominante en el funcionamiento del sistema es el volumen aportado por el Canal del Dique, el cual solamente se sucede cuando se dispone de alguna altura de carga; es decir cuando el nivel de las aguas en el Canal del Dique es mayor que el de las aguas en el embalse. Lógicamente, fué necesario asumir que el nivel en el Canal del Dique se mantenía constante durante el período de análisis; esto nos condujo a efectuar un análisis diario en aquellos períodos en que se presentaban entradas por las compuertas de admisión.

De la misma manera el hecho de que la entrada de flujo por las compuertas de admisión estuviera condicionada a una relación de alturas que variaba de acuerdo a los cambios de volumen en el embalse, nos llevó a asumir una variación lineal de esta relación, es decir a efectuar los cálculos con alturas medias; de este modo, se pudo comprobar, que las diferencias obtenidas en los resultados finales eran poco significativas.

El procedimiento de cálculo adoptado para este caso, lo podemos resumir de la siguiente manera:

1. Inicialmente se calculan los aportes por escorrentía y las demandas de riego, datos que se consideran fijos para el período de tiempo del análisis; se asume un área promedio y se calcula el nivel promedio en el embalse, correspondiente a esta área promedio.
2. Con los datos de áreas y alturas promedios en el embalse, se calculan los aportes por lluvias, las pérdidas por evaporación y los volúmenes de agua suministrados por el Canal del Dique.
3. Se calcula el embalse al final del período de acuerdo a la siguiente relación:

$$E_f = E_i + A - D$$

en la cual:

E_i : Embalse inicial, el cual es siempre conocido, por cuanto al comienzo del ciclo será un dato de entrada y en los períodos siguientes será igual al embalse final del período inmediatamente anterior.

A : Suma de los aportes por escorrentía, lluvias y compuertas de admisión.

D : Suma de las pérdidas por evaporación y demandas de riego.

4. Conocidos los embalses inicial y final se calcula de nuevo el área y altura promedios en el embalse y se vuelven a determinar el embalse final el cual se compara con el anteriormente obtenido, repitiéndose el procedimiento hasta cuando dos resultados consecutivos sean sensiblemente iguales.

6. DATOS DE ENTRADA

Básicamente la información de entrada está consignada en tres tipos de tarjetas que se detallan a continuación (figura 7).

a) Tarjeta N° 1

Contiene información referente al embalse y al área de riego, según la siguiente distribución:

COLUMNAS 1- 6	Area de riego en hectáreas.
COLUMNAS 7-12	Area correspondiente al volumen máximo del embalse en hectáreas.
COLUMNAS 13-16	Area correspondiente al volumen mínimo del embalse en hectáreas.
COLUMNAS 19-24	Area correspondiente al volumen inicial del embalse en hectáreas.
COLUMNAS 25-32	Capacidad máxima del embalse, en millones de metros cúbicos y con tres cifras decimales.
COLUMNAS 33-40	Capacidad mínima del embalse, en millones de metros cúbicos y con tres cifras decimales.
COLUMNAS 41-48	Embalse inicial; si se asume que la operación se va a comenzar con embalse lleno, este dato sería igual al de la capacidad máxima del embalse; el dato debe suministrarse en millones de metros cúbicos con tres cifras decimales.
COLUMNAS 49-54	Cota correspondiente al embalse inicial, en metros y con dos cifras decimales.
COLUMNAS 55-60	Cota correspondiente al embalse máximo, en metros y con dos cifras decimales.

b) Tarjeta N° 2

Contiene la siguiente información:

COLUMNAS 1- 2	Número de datos de niveles en el Canal del Di- que, que se van a suministrar en el mes. Es condición indispensable que los intervalos de tiempo para análisis, que se tomen en el mes sean iguales; así, por ejemplo, si se va ha ha cer un análisis diario, N será igual al número de días que contenga el mes correspondiente.
COLUMNAS 3- 4	Mes que se esté analizando.
COLUMNAS 5- 8	Año correspondiente.

c) Tarjeta N° 3

Contiene los datos correspondientes a los niveles en el Canal del Dique, en grupos de 5 posiciones, de las cuales las dos primeras corresponden al día y las tres últimas a la altura del nivel de aguas, con una cifra decimal.

Sí el análisis se va a hacer mensual, solamente es necesario introducir el dato correspondiente al último día del mes, a excepción del primer mes, en el cual se debe suministrar el dato del primer día.

7. DATOS DE SALIDA

Los resultados finales suministrados por el computador son los siguientes:

a) PERIODO DE ANALISIS

Año, mes y día correspondientes.

b) NIVELES DEL CANAL DEL DIQUE

Cota y altura sobre el umbral de las compuertas de admisión.

c) APORTES AL EMBALSE

Aportes por compuertas y escorrentía.

d) PERDIDAS Y DEMANDAS

Pérdidas por evaporación y demandas de riego en el período.

e) EMBALSE AL FINAL DEL PERIODO

Volumen final, cota y altura sobre el nivel de las compuertas.

8. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

En esta primera parte del estudio fueron analizados tres grupos de alternativas, a saber:

1. VARIAS DEMANDAS DE RIEGO

Para este grupo de alternativas, se asumió un embalse máximo en la cota 104.80 y se tomaron datos medios de lluvia y escorrentía comprendiendo:

ALTERNATIVA 1 Demandas del sector de Repelón en una extensión de 3.500 hectáreas.

ALTERNATIVA 2 Demandas del sector de Repelón, 1.500 hectáreas del sector Molinero, 5.000 hectáreas del sector Sur.

ALTERNATIVA 3 Demandas del sector de Repelón, 3.000 hectáreas del sector Molinero, 5.000 hectáreas del sector Sur.

b) DATOS MENORES DE LLUVIA

En este grupo de alternativas, también se tomó un embalse máximo en la cota 104.80, haciéndose el balance del embalse con datos mínimos de lluvia y escorrentía.

ALTERNATIVA 1-A Demandas del sector Repelón (3.500 hectáreas)

ALTERNATIVA 2-A Demandas del sector Repelón, 1.500 hectáreas del sector Molinero, 5.000 hectáreas sector Sur.

c) AMPLIACION DEL EMBALSE

En este grupo de alternativas se estudió la posibilidad de ampliar el embalse de Guajaro, reduciendo el borde libre. Se asumió una cota máxima de embalse de 105.20 y el análisis se efectuó con datos medios de lluvia y escorrentía.

ALTERNATIVA 1-B Demandas del sector Repelón.

ALTERNATIVA 2-B Sector Repelón, 1.500 hectáreas del sector Molinero, 5.000 hectáreas del sector Sur.

Para cada uno de estos grupos de alternativas se analizaron dos ciclos de años que se consideraron críticos, de acuerdo a sus características pluviográficas; el primer ciclo abarcando los años 1941 a 1948 y el segundo, abarcando los años 1957 a 1961.

En las páginas siguientes se incluyen los resultados obtenidos para la siguiente alternativa 3.

TAPE OPERATING SYSTEM/360 FORTRAN 360M- FO - 409 20

```
DIMENSION IDIA (31), COTDIQ (31), DATO (20), COEFLU (7), DLIMFL (7)
COEE (1.12), COEVC (14), DLIMVC (7), COEAC (14), DLIMAC (7), MES (12)
PRECI (12), COER 21E (12)
5 READ (1,5) (COEVC (I), I=1,14), BLANCO
  FORMAT ( 7F5.5, 7F5, 2 A4)
10 READ (1.10) (COEAC (I), I=1,14)
  FORMAT (7F 5.4, 7F 6.3)
15 READ (1.15) (DLIMVC (I), I=1.7), (DLIMAC (J), J=1.7)
  FORMAT (14F5.2)
  READ (1.15) (COEEVA (I), I=1.12)
  READ (1.15) (PRECI (I), I=1.12)
  READ (1.15) (COEFLU (I), I=1.7), (DLIMFL (J), J=1.7)
  READ (1.20) (MES (I), I=1.12)
  READ (1.20) (DATO (I), I=1.20)
  READ (1.15) (COERIE (I), I=1.12)
  READ (1.25) AREPTE, AREMAX, AREMIN, AREINI, CAPMAX, CAPMIN, EMBINI,
    COTEMB.
25 FORMAT (4F6.0, 3F8.3, F6.2)
  KC= 1
  COTEMI = COTEMB
  AREPRO = AREINI/1000.0
  EMBMAN = EMBINI
  EMBGUA = EMBINI
27 READ (1.30) N, MON, YEAR
  YEAPRO = YEAR
  READ (1.35) (IDIA (I), COTDIQ (I), I=1,N)
  ESCORR = (PRECI (MON) ) /N
  RIEGO = (COERIE (MON) ) /N
  IDIANI = 0
  DO 40 J= 1,N
  YEAR = YEAPRO
  ITER = * 0
  COTDIQ (J) = COTDIQ (J) -2.00
  KP = 1
  GO TO ( 31, 44, 44 ), KC
31 MESAN = MES (MON)
  IDIAN = IDIA (J)
  COTAN = COTDIQ (J) + 102.00
  ALTANI = COTDIQ (J)
  ALTAN2 = COTEMB - 102.00
  YEAN = YEAR
  GO TO ( 175, 44, 580 ), KC
44 DIFDIA = IDIA (J) - IDIAN
  COTDM = (COTDIQ (J) + COTAN ) /2
45 EVAPOR = ( COEEVA (MON) * AREPRO ) / (100*N)
  IF ( COTDM-0.00 ) 50, 50, 55
50 VOLCOM = 0.0
  GO TO = 100
55 RELAC = ( COTEMB - 102.0 ) /COTDM
  IF ( RELAC-0.99) 60, 60, 50
```

```
60 DO 75 I=1.7
   IF ( RELAC-DLIMFL (I) 65, 70, 85
85   L=I-1
   GO TO 80
70   L=I
80   I=7
   GO TO 75
65   L=I
75   CONTINUE
   VOLCOM-COEFLU (L) * ( COTDIQ (J) -0.0 ) **1.5*86400.0*DIFDIA/ (10**6)
100  EMBGUA-EMBINI+ESCORR+VOLCOM-EVAPOR-RIEGO
545  FORMAT ( ' * ', A4, 2X, A4, 3X, 13.3X, ' * ', 3X, F7.2, 3X, F5.2, 5X, ' * ',
          26X, ' * ' 1.24X, ' * ' 1.24X, ' * ' 4X, F7.2, 3X, F5.2, 2X, F7.2,
          3X, ' * ' )
550  FORMAT ( ' * ', 21X, ' * ', 23X, ' * ', 2 (4X,F6.2), 4X, ' * ', 2 (4X,
          F6.2), 4X, ' * ', 131X, ' * ' )
20   FORMAT (20A4)
30   FORMAT (212,A4)
35   FORMAT ( 16 (12,F3.21) )
   EMBMAC= ( EMBGUA + EMBINI )/2.0
   DIFAB = ABS ( EMBMAC-EMBMAN )
   IF ( DIFAB-1.0 ) 110, 110, 105
105  IF ( EMBGUA - CAPMAX ) 115, 120, 120
115  DO 125 I=1.7
   IF ( EMBMAC-DLIMVC (I) ) 130, 130, 135
130  L = I
   I = 7
   GO TO 125
135  L = I
125  CONTINUE
   COTEMB = COEVC (L) *EMBMAC + COEVC ( L+7 )
   GO TO ( 140, 160 ), KP
120  EMBGUA=CAPMAX
   COTEMB=140,80
   GO TO 160
140  DO 145 I=1.7
   IF ( COTEMB-DLIMAC (I) ) 150, 150, 155
150  L = I
   I = 7
   GO TO 145
155  L = I
145  CONTINUE
   EMBMAN - EMBMAC
   AREPRO = ( COEAC (L)* COTEMB-COEAC ( L+ 7 )
   ITER = ITER + 1
   IF ( ITER - 100 ) 45, 45, 110
110  TOTAL = VOLCOM + ESCORR - EVAPOR - RIEGO
   KP = 2
   EMBMAC = EMBGUA
   GO TO 115
160  GO TO ( 175, 547, 175 ), KC
170  WRITE ( 3.510 )
   LP = 0
```


TAPE OPERATING SYSTEM/360 FORTRAN 360M-FO-409 20

RELACION DE NIVELES DEL CANAL DEL DIQUE

```
DIMENSION DATO ( 31, 12 ), DATA ( 31,12 ), DPROM (12), DMAX (12),  
RPROM (12), RMAX (12)  
1 READ (1.5) AÑO  
N = 31  
DO 120 I=1,12  
L = 0  
DMAX (I) = 0  
RMAX (I) = 0  
SUMR = 0  
SUM = 0.0  
READ ( 1.20 ) ( DATO (J.I), J = 1,N)  
20 FORMAT (20F4.2 )  
DO 25 J=1,N  
SUM = SUM + DATO ( j,I)  
IF ( DATO (J,I) - 1.80 ) 30, 30, 35  
30 IF ( DATO (J.I) 31, 31, 32  
31 DATA (J.I) = 0.0  
L = L+1  
GO TO 40  
32 DATA (J.I) = 3.6* DATO ( J.I ) - 5.98  
GO TO 40  
35 IF ( DATO (J.I) - 2.00 ) 45, 45, 50  
45 DATA (J.I) = 1.25 * DATO ( J.I ) - 1.75  
GO TO 40  
50 IF ( DATO (J.I) - 2.50 ) 55, 55, 60  
55 DATA ( J.I ) = 1.2 * DATO ( J.I ) - 1.65  
GO TO 40  
60 IF ( DATO (J.I) - 3.00 ) 65, 65, 70  
65 DATA (J.I) = 0.96 * DATO (J.I) - 1.05  
GO TO 40  
70 IF ( DATO (J.I) - 5.00 ) 75, 75, 80  
75 DATA (J.I) = 0.85 * DATO (J.I) - 0.72  
GO TO 40  
80 IF ( DATO (J.I) - 5.75 ) 85, 85, 90  
85 DATA (J.I) = 0.73 * DATO (J.I.) - 0.13  
GO TO 40  
90 IF ( DATO (J.I) - 7.00 ) 95, 95, 100  
95 DATA (J.I) = 0.624* DATO (J.I) + 0.492  
GO TO 40  
100 DATA (J.I) = 0.528 * DATO (J.I) = 1.164  
40 DMAX (I) = AMAX1 ( DMAX (I), DATO (J.I) )  
RMAX (I) = AMAX1 ( RMAX (I), DATA (J.I) )  
25 SUMR = SUMR + DATA (JI)  
DPROM (I) = SUM/ (N-L)  
RPROM (I) = SUMR/ (N-L)  
120 CONTINUE  
KC = 1  
121 WRITE ( 3.200 )
```

