

CAPÍTULO II

DIMENSIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE PRESAS DE ALMACENAMIENTO

2.1 Introducción

Las presas de almacenamiento tienen la función del suministro de agua a una población, ya sea para uso doméstico, generación de energía o para el riego de cultivos. Independientemente de cual sea el uso que se le da a una presa de almacenamiento, su función principal es mantener el depósito lleno para asegurar la disponibilidad del recurso en tiempos de sequía. Para asegurar que esto ocurrirá, es necesario plantear un adecuado diseño hidrológico de una presa de almacenamiento.

Para la realización de un diseño hidrológico de la capacidad útil de una presa de almacenamiento, es necesario que se cuente con una serie de registros históricos hidrometeorológicos del sitio en cuestión. Aunque generalmente éstos son insuficientes para el diseño de proyectos hidráulicos, sólo sirven únicamente para ver el proyecto desde una sola perspectiva. Es por ello que a partir de los registros históricos, se crean los registros sintéticos, que son datos que permitirán mirar el proyecto bajo varias perspectivas o bajo diferentes escenarios. No se debe descartar el hecho de la presencia de las pérdidas y volúmenes sobrantes, que dicho depósito de almacenamiento pueda tener, es por ello que la simulación hidrológica es una herramienta útil cuando se tienen este tipo de situaciones.

Por ello, se hace necesario crear un paquete para el análisis de dichos datos, para conocer los más críticos y así dar la capacidad más razonable en una presa de almacenamiento. Está es una razón por la cual se tomará como método de comparación, el Diagrama de Rippl.

2.2 Periodo crítico

Se define como el periodo durante el cual un almacenamiento va de una condición de presa llena a una presa vacía, sin que exista volumen vertido durante este periodo. El periodo crítico comienza desde que la presa de almacenamiento se encuentra llena y termina cuando ésta misma empieza a vaciarse.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (1975) (McMahon y Mein, 1986) define al periodo crítico como una condición de presa llena atravesando la condición de presa vacía, terminando cuando la presa de almacenamiento está totalmente llena nuevamente.

El periodo crítico, se encuentra en un registro histórico localizando la suma menor de entradas totales de 48 meses consecutivos, es decir 4 años. Con este periodo de tiempo se considera que la cantidad de agua que se recibe en el almacenamiento, es mínima con respecto al resto del registro, con esto se tiene la seguridad de que el almacenamiento pueda soportar un periodo de sequía de cuatro años como mínimo, satisfaciendo las necesidades de la población.

2.3 Diagrama de Rippl

Esta técnica, también llamada curva masa, fue propuesta en 1883 por Rippl y permite realizar un estimado del almacenamiento requerido de una presa. Este método se crea con el objetivo de tener un proceso racional con el cual se pueda estimar la capacidad de almacenamiento requerida para hacer frente a la demanda de cierta población. Este método consiste en tener una gráfica acumulativa del volumen neto de almacenamiento. Por medio del cálculo de los valores de los volúmenes de entrada históricos acumulados, para posteriormente trazar una gráfica con éstos y el intervalo de tiempo correspondiente, éste puede ser por varios meses o años. Este diagrama tendrá la forma

de la curva que se presenta en la figura 2.1. La pendiente de la curva masa en cualquier periodo de tiempo, es una medida del volumen de agua en ese periodo de tiempo.

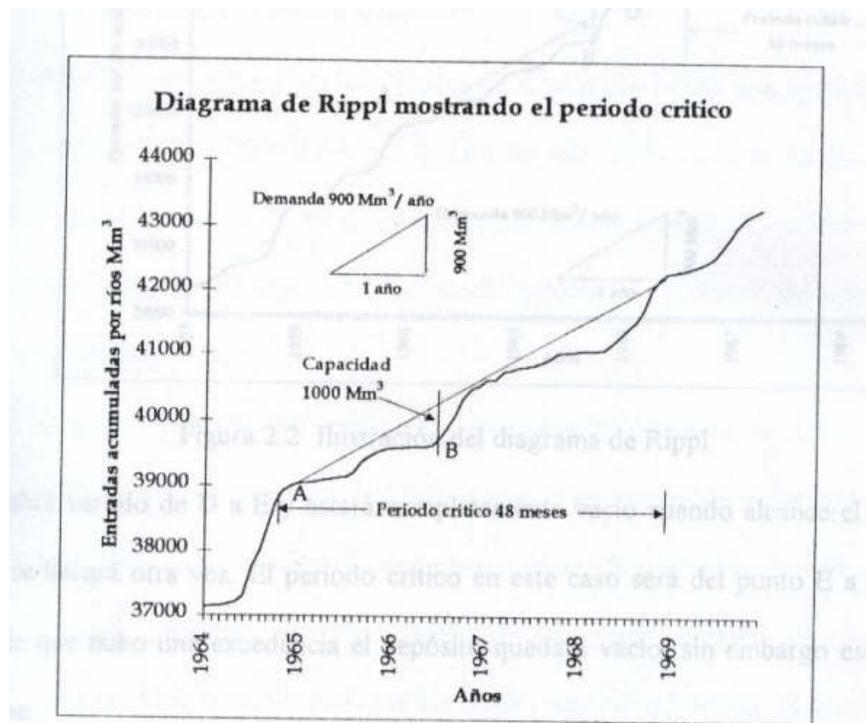


Figura 2.1 Diagrama de Rippl mostrando el periodo crítico

La curva de demanda representa la razón de salida del depósito y se dibuja tangente a los puntos más altos de la curva masa. Las curvas de demanda, que son líneas rectas representan una demanda constante. Según Raghunath (1985). Si la demanda no es uniforme, su línea correspondiente será curva.

Debe darse por sentado que el depósito está lleno donde quiera que la línea de demanda intercepte la curva masa, entonces la distancia máxima entre la línea de demanda y la curva, representa la capacidad requerida de la presa para satisfacer la demanda que se obtuvo. La distancia vertical entre las tangentes sucesivas indica el volumen de agua sobrante que pasará sobre el vertedor (Linsley et al., 1992).

En la Figura 2.1, se da a conocer el periodo crítico y la letra A representa el punto en donde la pendiente manifiesta la demanda, la cual es tangente a la curva. Por

otra parte el punto B representa la distancia mayor entre la tangente o pendiente y la curva. Esta distancia nos representa la capacidad requerida para la demanda que representa la pendiente.

En la figura 2.2 se muestra una gráfica en donde C_1 y C_2 , son intersecciones que representan las capacidades requeridas para satisfacer la demanda establecida. Y se puede observar que C_2 , es más grande que C_1 , por tanto la capacidad de diseño será C_2 . Se da por hecho que en el periodo de tiempo cero, en este caso en 1957, el depósito estará lleno, esto es, por que en el momento que la presa comience a funcionar, es por que esta al total de su capacidad. En el punto A indica que está lleno, comenzará a vaciarse de A a B y se llenará nuevamente de B a D.

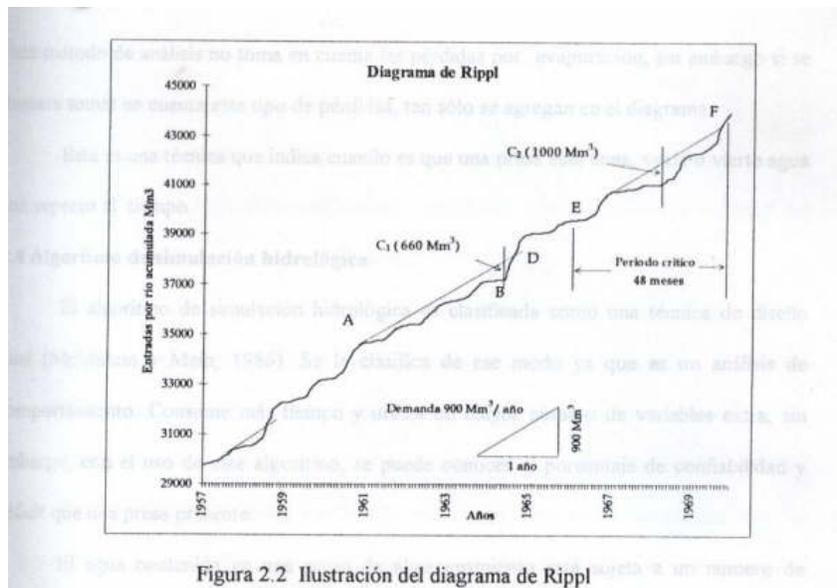


Figura 2.2 Ilustración del diagrama de Rippl

Habrà vertido de D a E y estarà completamente vacía cuando alcance el punto F y entonces se llenarà otra vez. El periodo crítico en este caso serà del punto E a F es

decir después de que hubo una excedencia el depósito quedará vacío, sin embargo esto no será permanente.

Mientras tanto, se da por hecho, que el depósito está lleno en el tiempo cero y consecuentemente en el comienzo del periodo crítico. Al utilizar los datos históricos implica que no pueden existir sequías mayores a las existentes en el registro dado.

En este método se tiene algunas limitaciones, como por ejemplo, que la demanda es usualmente constante, y además que las capacidades estimadas por medio del procedimiento de curva masa se incrementan en la medida que el registro incrementa en tamaño, por lo tanto es difícil relacionar la vida útil de una presa relacionada con el tamaño de su capacidad útil. La evaporación en este tipo de análisis no se toma en cuenta, pero si se deseara tomar en cuenta este tipo de pérdidas, la curva masa tendría que ir un poco más abajo en cada año de estudio dependiendo la cantidad de la evaporación. En conclusión el diagrama de Rippl, es una técnica que indica cuando es que una presa está llena, vacía o vierte agua con respecto al tiempo.

2.4 Algoritmo de simulación hidrológica

El algoritmo de simulación hidrológica es clasificado como una técnica de diseño final (McMahon y Mein, 1986). Se le clasifica de ese modo ya que es un análisis de comportamiento. Consume más tiempo y utiliza un mayor número de variables extra, sin embargo, con el uso de este algoritmo, se puede conocer el porcentaje de confiabilidad y déficit que una presa presente.

Las pérdidas son un punto importante en el almacenamiento de agua en una presa, pudiendo citar como las más importantes la evaporación del agua de la superficie del depósito en cuestión, la distribución del agua o demanda y el volumen sobrante que se derrama sobre el vertedor. Por otro lado, en un almacenamiento no todo son pérdidas,

ya que también recibe entradas, por medio de la precipitación, escurrimiento por ríos e infiltraciones. Cabe mencionar que en los depósitos grandes y poco profundos se pierde más agua por evaporación, ya que la superficie es mayor que la de un depósito angosto y muy profundo.

La demanda, es la cantidad de agua extraída deseada del depósito para el uso por el cual fue creado. Ya sea, para abastecimiento de agua potable a las ciudades, a una industria, para el almacenamiento de riego en climas áridos y semiáridos, riego complementario en climas húmedos y subhúmedos o bien para satisfacer el déficit de las fuentes normales de abastecimiento, por ejemplo de acuíferos o lagos.

En lo que a volumen sobrante se refiere, éste se debe al exceso de agua que el depósito tiene cuando existen precipitaciones importantes y la presa tiene la cantidad de agua suficiente para el abastecimiento requerido.

La precipitación y el escurrimiento por ríos, generalmente se cuantifican en los almacenamientos, ya que estos volúmenes son de magnitud importante para éste.

En cuanto a las infiltraciones, éstas ordinariamente no son valoradas ya que es un elemento difícil de evaluar. Es por ellos que regularmente no se tienen los elementos necesarios para la medición de los volúmenes correspondientes a éste concepto, sin embargo, éstas contribuyen aunque de manera discreta, a las salidas que intervienen en la presa o vaso de almacenamiento.

El ciclo hidrológico representa un proceso entero de circulación y redistribución del agua por la atmósfera y la tierra. El proceso se mueve constantemente a través de un balance entre el agua de la tierra y la humedad de la atmósfera. En tierra, el balance se representa por la siguiente expresión de la ley de conservación de la masa.

$$\Delta S = E_s + PA - E_{TA} - D - V_v - I - F \quad (2.1)$$

donde:

ΔS : Cambio en el almacenamiento (L^3/T)

Es: Esguerrimiento superficial

P: Precipitación

A: Área de la presa de almacenamiento

E_T : Evaporación

D: Demanda

V_V : Volumen vertido

I: Infiltración

F: Filtraciones

Para cualquier vaso, la expresión mostrada anteriormente, representa un balance de masa entre las entradas, salidas y el cambio de almacenamiento producido dentro del vaso (Chow, 1969).

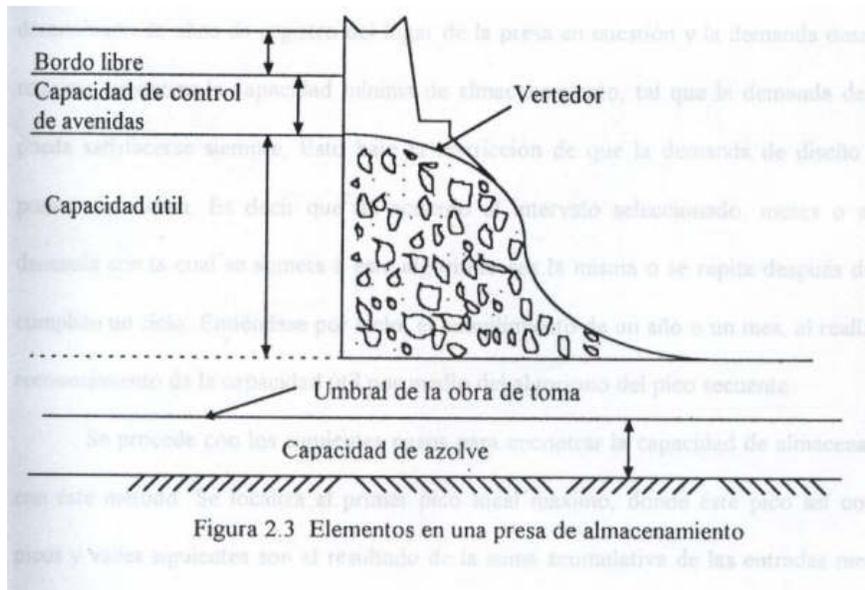
Para poder ser empleada en el algoritmo de simulación hidrológica, la ecuación deberá sufrir una pequeña modificación, la cual consiste en eliminar el término de infiltraciones, las cuales como ya se dijo anteriormente, son difíciles de cuantificar y el término de filtración puede llegar a tener un valor significativo. Con la ayuda de la ecuación ya modificada, se podrá encontrar la confiabilidad de regulación que la presa posee, bajo las características físicas que se le proporcionen al programa que ejecutará a esta ecuación. Al hablar de confiabilidad se refiere a un índice numérico que indica de alguna forma, la confianza o garantía que se tienen de que la extracción posible no sea menor que la demanda (Thomas, 1979). Es decir, que se contabilizan el número de veces que la presa de almacenamiento estuviera por debajo de la capacidad muerta, con los valores correspondientes a entradas por ríos. Con cada cantidad alcanzada, se obtiene el porcentaje correspondiente, el que complementa a la unidad, representa el porcentaje de confiabilidad que la presa posee bajo las características físicas dadas

inicialmente, este porcentaje de confiabilidad debe de estar lo más cercano al 95%.. En este proyecto, el porcentaje de déficit que se consideró como ideal fue de un 5%.

En la Figura 2.3, se muestran los elementos constitutivos de una presa de almacenamiento. Donde, la capacidad útil, se utiliza para regular los escurrimientos o entradas por ríos y hace posible los abastecimientos. El siguiente elemento hace referencia a la capacidad muerta o al umbral de la obra de toma. La capacidad de control de avenidas, está reservada para reducir el potencial de daños aguas abajo por inundación.

Cuando el viento sopla sobre un canal abierto de agua, se forman olas, y el nivel principal de la superficie del agua puede cambiar. El fenómeno llamado marea de viento, es significativo solo en reservas poco profundas. Cuando se diseña una presa, la cresta de la presa debe ser diseñada mayor al nivel máximo de la presa de almacenamiento para prever el efecto generado por el viento. La altura adicional de la cresta de la presa por el efecto de las olas, se conoce como bordo libre (Roberson, 1988).

Todos estos elementos son sumados para calcular la capacidad total de una presa de almacenamiento, pero para el caso en específico de este proyecto, solo se calculará la capacidad útil de la presa de almacenamiento.



2.5 Resiliencia

La resiliencia, es la probabilidad de que un sistema se recupere de una falla una vez que ésta sobrevenga. La resiliencia tiene como función primordial, expresar cómo se comporta la presa de almacenamiento, y se calcula como la razón del volumen de la capacidad útil de la presa entre el volumen promedio de los escurrimientos anuales. La manera en que se expresa este indicador es la siguiente: si éste es mayor que dos, entonces quiere decir, que la presa almacena agua por completo y la derrama normalmente, si el indicador es menor que dos, la presa atraviesa por un periodo de sequía.

En conclusión, la resiliencia es un valor que ayuda a detectar la deficiencia que pueda tener un almacenamiento.

$$\text{Resiliencia} = \frac{\text{Capacidad útil de la presa}}{\text{Vol. promedio de escurrimientos anuales}}$$