

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO

#### 6.1 Introducción

Para probar las habilidades que tiene este paquete, se utilizaron datos de cinco presas de la República Mexicana. Las presas seleccionadas para este proyecto tienen diferentes capacidades, de esta manera se comprobará el comportamiento de los algoritmos para diferentes capacidades en vasos de almacenamiento. Las presas que se seleccionaron como casos de estudio fueron las siguientes:

- ❖ Francisco I. Madero (Chihuahua)
- ❖ Cuauhtémoc (Sonora)
- ❖ Abelardo L. Rodríguez (Sonora)
- ❖ La Boquilla (Chihuahua)
- ❖ Lázaro Cárdenas (Durango)

Los datos que se utilizaron para el estudio de las cinco presas seleccionadas fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, a través de su base de datos “BANDAS” (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales).

A través del algoritmo de Simulación Hidrológica, se verifica el comportamiento, que en cuestión de déficit y derrames, tiene la presa en estudio.

#### 6.2 Análisis con el Algoritmo de Simulación Hidrológica

Mediante el análisis de Simulación Hidrológica se obtienen los datos de porcentaje de déficit y el porcentaje de confiabilidad que la presa está presentando bajo sus características físicas, así como también el número y porcentaje de derrames que existen en la presa en estudio.

En este algoritmo se realizan dos pruebas. En la primera, se utilizan los datos de la demanda y el volumen inicial real, si con ésta prueba no llegamos a los resultados que se desean, se realiza otra prueba pero esta vez con el volumen inicial real pero con una demanda propuesta., de manera que se puede jugar con los valores para tener un déficit menor a 5% o lo que es igual a un 95% de confiabilidad.

El valor de evaporación que pide el programa, se toma de los datos que proporciona la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), que se muestran en los apéndices. En cuanto a la precipitación, ésta tendrá un valor de 0.0001, ya que los valores que fueron proporcionados por la institución anteriormente mencionado ya incluían los valores de las precipitaciones. Se le dio un valor lo más pequeño posible APRA que así no afectara a los resultados.

Posteriormente el programa pedirá que se introduzca los valores de volumen de la cresta vertedora y volumen del umbral de la obra de toma, los cuales se toman de los datos proporcionados por la institución antes mencionada.

El valor obtenido de la resta del valor de volumen inicial y el volumen al umbral de la obra de toma, equivale a la capacidad útil en este algoritmo.

### **6.3 Análisis con el método del Diagrama de Rippl**

Este análisis muestra el tamaño de la base de datos que tiene cada presa con los cuales, se realiza la suma acumulada que este método propone y cuyos resultados se muestran en sus respectivas secciones. Se determinará en qué mes del año empieza y en qué mes termina el periodo crítico. Para mencionar los meses del año se nombrará a Enero como el número uno a Febrero como el dos y así sucesivamente hasta llegar al doce (Diciembre). En México el periodo de riego para los campos de cultivo comienza en Octubre y concluye en Septiembre, es por eso que los valores estar ordenados

comenzando en Octubre y terminando en Septiembre, esto se conoce como “Año Hidráulico”.

La suma más pequeña de 48 valores consecutivos en el registro (que es lo mismo que decir 4 años) equivale al periodo crítico de la presa en estudio. Se realizará un diagrama donde se muestre el periodo crítico para cada presa en estudio. En este diagrama se observa la capacidad, que se obtiene con la distancia de la curva a la línea tangente que intercepta a la curva de este diagrama y la demanda que este método propone en cada caso.

La capacidad útil que la presa requiere se obtiene, de acuerdo al periodo más seco que se ha dado en el registro histórico. Este método también propone una demanda anual para la capacidad útil propuesta.

## **6.4 Presa Francisco I. Madero (Chihuahua)**

### **6.4.1 Ubicación**

La presa Francisco I. Madero (antes conocida con el nombre de Las Vírgenes) está localizada en el estado de Chihuahua. Situada sobre el cauce del Río San Pedro, afluente del Río Conchos, a 17 kilómetros aproximadamente al Oeste de Ciudad Delicias, en el Municipio de Rosales.



*Figura 6.1. Ubicación de la Presa Francisco I. Madero*

#### **6.4.2 Características**

La presa Francisco I. Madero fue inaugurada el 25 de mayo de 1949. Esta presa tiene por objetivo regularizar el régimen del río San Pedro, para satisfacer las necesidades de riego que tiene la población de Ciudad Delicias.

La capacidad total de almacenamiento con que cuenta esta presa, medida hasta la cresta del vertedor es de  $424 \text{ Mm}^3$  (Millones de Metros cúbicos), de los cuales  $340 \text{ Mm}^3$  son para riego y  $84 \text{ Mm}^3$  se utilizan para azolves. La capacidad muerta hasta la elevación del umbral de la toma es de  $19 \text{ Mm}^3$ , por lo que se tiene una capacidad de  $405 \text{ Mm}^3$ .

La cortina tiene una longitud de 236 metros con un ancho de 5 metros, está hecha de concreto, del tipo de machones cabeza redonda y en los extremos con sección de gravedad. La altura de la cresta vertedora de la obra de excedencias es de 1,237.5 m.s.n.m.

La demanda histórica en el último periodo del registro fue de  $330.7 \text{ Mm}^3$  y la demanda promedio entre los años 1992 y 2002 es de  $185.3 \text{ Mm}^3$ .

La obra de excedencias está constituida por un vertedor circular en planta de cresta libre, de 147.9 metros de longitud, situado en el margen derecho, con capacidad de  $3,460 \text{ m}^3/\text{s}$  y un tramo de 112 metros formado por 10 machones que para efecto de derrames sostienen una losa ondulada en forma de cimacio con perfil creager por la cual pueden descargarse  $2,540 \text{ m}^3/\text{s}$  al cauce formando una caída vertical de 44 metros de altura. La elevación de la cresta vertedora de la obra de excedencias es de 1,237.5 metros s.n.m.

La obra de toma se localiza en el lado izquierdo de la cortina y constituida por 2 tuberías de presión de acero, con 46 metros de longitud y 1.82 metros de diámetro, provista aguas arriba de rejillas cuyo umbral está a la elevación 1,210.75 metros. En el extremo de aguas arriba tiene válvulas de mariposa para emergencia y en el aguas abajo válvulas de aguja Larner Jonson para controlar las extracciones. La capacidad de la obra de toma es de 35 m<sup>3</sup>/s.

#### **6.4.3 Resultados del algoritmo de Simulación Hidrológica**

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la elevación, las cuales se obtienen de los boletines hidrológicos de la región hidrológica correspondiente a la presa presa Francisco I, Madero, localizada en el estado de Chihuahua.

Curva elevación-capacidad, donde la x= capacidad:

$$y = 1200 + 0.4135x - 0.002529167x^2 + 8.08333E-06x^3 - 1.208E-08x^4 + 6.6666E-12x^5$$

Curva área-elevación, donde x = elevación

$$y = -1.38112E+12 + 5661268560.75x - 9282043.044x^2 + 7609.05125x^3 - 3.118707x^4 + 0.00051128x^5$$

A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la Presa Francisco I. Madero.

**Datos sobre los años**

Tipo de cálculo

Anual

Mensual

No. de años

No. de años: 54

Año de inicio: 1949

Introducir valores

Leer desde archivo

Nombre de la presa

Francisco I. Madero

Función de normalización

Se uso lambda: -0.1

Se uso logaritmo natural

	Año	Anual
1	1949	4.538112
2	1950	4.17656
3	1951	3.515718
4	1952	4.402282
5	1953	4.112512
6	1954	4.466413
7	1955	4.502933
8	1956	3.727841

OK

Cancel

*Figura 6.2 Datos sobre los años de la Presa Francisco I. Madero, caso anual*

La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas

Con vertedor libre

OK

Precipitación: 0.001 m

Evaporación (Ev): 2.66 m

Demanda: 330.7 Mm3

Volumen hasta la cresta del vertedor: 424 Mm3

Volumen inicial: 424 Mm3

Volumen al umbral de la obra de la toma: 19 Mm3

Cancel

Coeficientes del polinomio para el cálculo de la elevación en función de la capacidad

6	a 0	a 1	a 2
	1200	0.4135	0.002529167

Coeficientes del polinomio para el cálculo de el área en función de la elevación

6	a 0	a 1	a 2
	81120000000	161268560.75	-982043.044

Figura 6.3 Valores y características de la presa, Francisco I. Madero en caso anual

**a) Caso anual**

Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Francisco I. Madero]

Archivo Datos Ayuda

Presa Francisco I. Madero

Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso anual

Demanda anual en Simulación hidrológica 330.7 Mm3

Volumen inicial 424 Mm3

Porcentaje de déficit : 17.82%

Porcentaje de confiabilidad : 83.18%

Porcentaje de derrames : 5.62%

Número total de derrames : 4362

Figura 6.4 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Francisco I. Madero, Chi., con demanda real y volumen inicial real

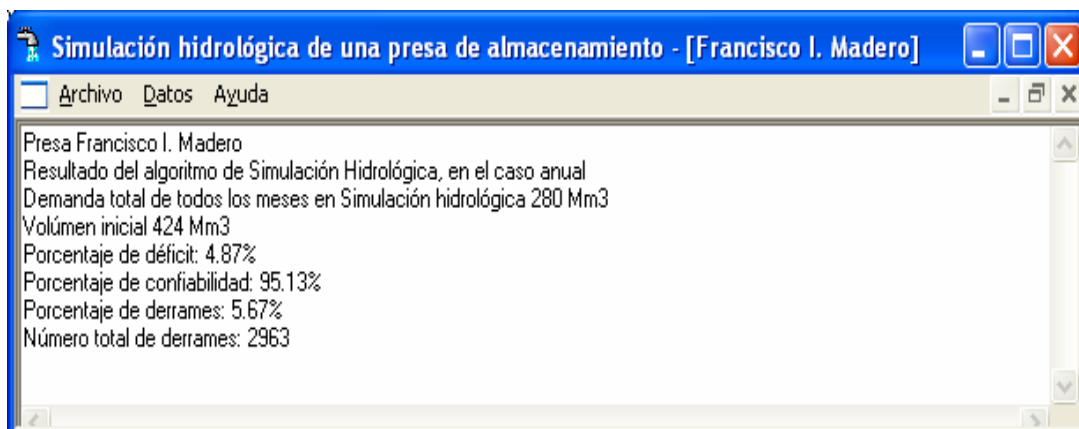


Figura 6.5 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Francisco I. Madero, Chi., con demanda propuesta y volumen inicial real

La siguiente pantalla muestra los datos sobre los años de la presa Francisco I. Madero, en el caso mensual



Figura 6.6 Datos sobre los años de la Presa Francisco I. Madero, caso mensual



La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma, en el caso mensual.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

OK

Cancel

	Oct	Nov	Di
Precipitación			
Demanda	1.8	1.7	
Evaporación			

Volumen hasta la cresta del vertedor: 424 Mm3

Volumen inicial: 424 Mm3

Volumen al umbral de la obra de toma: 19 Mm3

Coeficientes del polinomio para el cálculo de elevación en función de la capacidad

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	1200	0.4135	0.002529167	000000

Coeficientes del polinomio para el cálculo del área en función de la elevación

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	81120000000	61268560.75	-982043.044	760

Figura 6.7 Valores y características de la presa, Francisco I. Madero en caso mensual

## b) Caso mensual

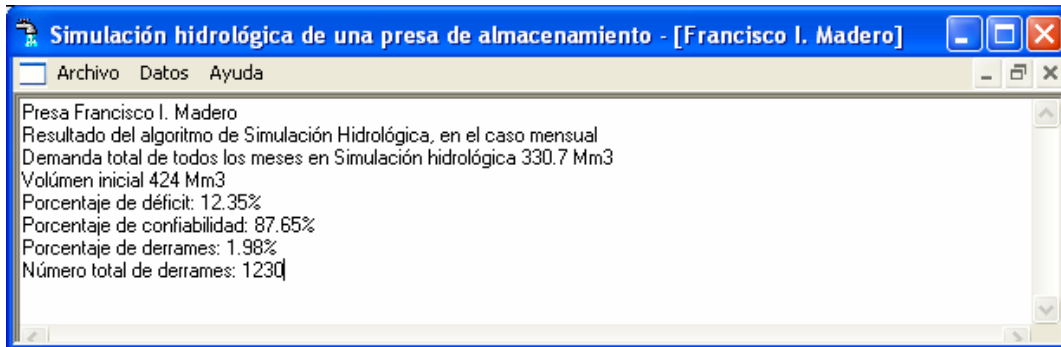


Figura 6.8 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Francisco I. Madero, Chi., con demanda real y volumen inicial real, en el caso mensual.

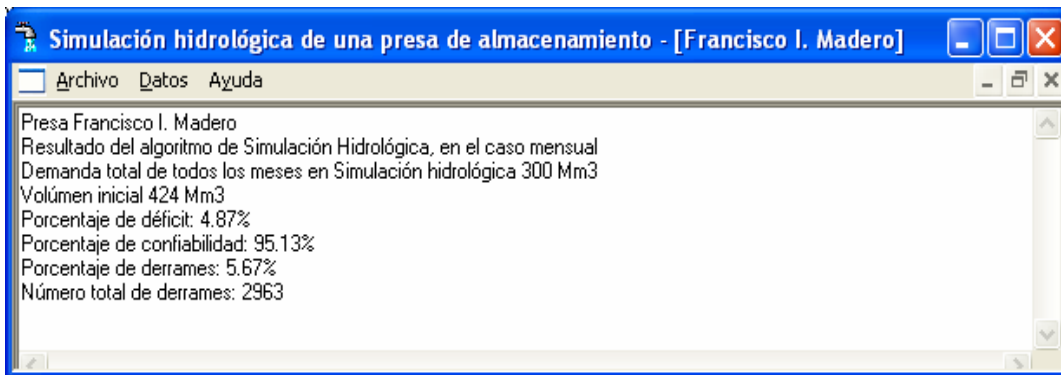


Figura 6.9 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Francisco I. Madero, Chi., con demanda propuesta y volumen inicial real, en el caso mensual.

Los resultados en cualquier tipo de estudio demuestran que entre mayor capacidad o menor demanda tenga la presa, ésta va a tener un mayor porcentaje de confiabilidad (tiene que ser lo más aproximado al 95%), es decir, que la capacidad útil de ésta presa es poca para el volumen de agua que se tiene en las demandas y por lo tanto esta siendo sobre explotada.

En esta presa la resiliencia es de 1.22467, que es el resultado de dividir la capacidad útil ( $405 \text{ Mm}^3$ ) entre el volumen medio anual ( $330.7 \text{ Mm}^3$ ). Este resultado muestra que la presa atraviesa por un periodo de sequía, por lo que no funciona adecuadamente, es decir, la presa no almacena la suficiente cantidad de agua que se le solicita.

## **6.5 Presa Cuauhtémoc (Sonora)**

### **6.5.1 Ubicación**

La construcción de la presa Cuauhtémoc se inició en el año de 1947, quedando terminada en el año de 1950. Esta presa se ubica a 8 kilómetros aguas arriba de la población de Atil, sobre el río Altar, en el estado de Sonora.



*Figura 6.10 Ubicación de la Presa Cuauhtémoc*

### **6.5.2 Características**

El objetivo con el que se hizo esta presa fue la de regularizar el régimen de la corriente para riego de 3000 hectáreas en el Distrito de riego de Altar y control de avenidas. La cortina está hecha de materiales graduados, constituida por cuatro zonas:

- ❖ Corazón de material impermeable compactado
- ❖ Respaldo permeable de rezaga aguas arriba
- ❖ Respaldo de rezaga del lado de aguas abajo
- ❖ Una chapa de enrocamiento, aguas arriba, para protección contra oleaje.

Ésta tiene una altura total de 54 metros, altura sobre el techo del río de 32 metros. La corona tiene una longitud de 650 metros, un ancho de 10 metros y de base 165 metros de anchura.

La obra de toma está ubicada en el margen izquierdo, constituida por un conducto de concreto reforzado, alojado dentro de una trinchera excavada en terreno natural y cubierto por el cuerpo de la cortina, provisto en su extremo de aguas arriba de una rejilla, de un tapón de concreto que sirve de apoyo a la tubería de presión, operándose con una válvula de mariposa colocada en una caseta construida en el extremo de aguas abajo del conducto. Su gasto máximo de diseño es de 3 m<sup>3</sup>/s. El conducto es una estructura de concreto reforzado, de sección rectangular con bóveda circular, de 2 metros de ancho, 1 metros de radio y 2.20 metros de altura, con una longitud total de 107.5 metros.

Posee un volumen hasta la cresta vertedor de 343 Mm<sup>3</sup>, y con un volumen hasta el umbral de la obra de toma de 41 Mm<sup>3</sup>.

La demanda histórica en el último periodo del registro fue de 27.3 Mm<sup>3</sup> y la demanda promedio entre los años 1992 y 2002 es de 25.8 Mm<sup>3</sup>.

La obra de excedencias quedó construida por un vertedor del tipo de cresta libre con cimacio creager y canal lateral, con un umbral deflector en su extremo, del cual se inicia el canal de descarga directo al río. Está ubicada en el extremo izquierdo de la cortina.

Posee las siguientes características:

- ❖ Elevación de la cresta: 594.5 metros
- ❖ Longitud de la cresta: 166.04 metros
- ❖ Avenida de diseño: 3,500 m<sup>3</sup>/s
- ❖ Capacidad máxima de descarga: 1,500 m<sup>3</sup>/s

### 6.5.3 Resultados del algoritmo de Simulación Hidrológica

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la elevación, las cuales se obtienen de los boletines hidrológicos de la región hidrológica correspondiente a la presa Cuauhtémoc, localizada en el estado de Sonora.

Curva elevación-capacidad, donde la  $x$  = capacidad:

$$y = 1E-05x^5 - 0,0398x^4 + 46,472x^3 - 27146x^2 + 8E+06x - 9E+08$$

Curva área-elevación, donde  $x$  = elevación

$$y = -4E-10x^4 + 7E-07x^3 - 0,0004x^2 + 0,1273x + 571,37$$

A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la Presa Cuauhtémoc.

The screenshot shows a software window titled "Datos sobre los años" with the following fields and controls:

- Tipo de cálculo:** Radio buttons for "Anual" (selected) and "Mensual".
- No. de años:** Input field with "53".
- Año de inicio:** Input field with "1950".
- Buttons: "Introducir valores" and "Leer desde archivo".
- Nombre de la presa:** Text field with "Cuauhtémoc".
- Función de normalización:** Radio buttons for "Se uso lambda" (selected) and "Se uso logaritmo natural".
- Input field for lambda: "0.4".
- Buttons: "OK" and "Cancel".
- Table:** A table with columns "Año" and "Anual" showing data for years 1950 to 1957.

	Año	Anual
1	1950	1,242447
2	1951	1,336652
3	1952	1,236966
4	1953	1,091627
5	1954	1,46005
6	1955	1,570854
7	1956	1,363968
8	1957	1,378719

Figura 6.11 Datos sobre los años de la presa Cuauhtémoc, en el caso anual

La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas

Con vertedor libre

OK

Precipitación: 0.0001 m

Evaporación (Ev): 2.71823 m

Demanda: 27.3 Mm3

Volumen hasta la cresta del vertedor: 343 Mm3

Volumen inicial: 343 Mm3

Volumen al umbral de la obra de la toma: 41 Mm3

Cancel

Coficientes del polinomio para el cálculo de la elevación en función de la capacidad

5

a 0	a 1	a 2
-900000000	8000000	-27146

Coficientes del polinomio para el cálculo de el área en función de la elevación

5

a 0	a 1	a 2
100000000	-838085	2151,7

Figura 6.12 Valores y características de la presa Cuauhtémoc, en el caso anual

#### a) Caso anual

**Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Cuauhtémoc]**

Archivo Datos Ayuda

Presa Cuauhtémoc

Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso anual

Demanda anual en Simulación hidrológica 27.3 Mm3

Volumen inicial 343 Mm3

Porcentaje de déficit : 2.452%

Porcentaje de confiabilidad : 97.548%

Porcentaje de derrames : 25.6514%

Número total de derrames : 12574

Figura 6.13 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Cuauhtémoc, Son., con demanda real y volumen inicial real

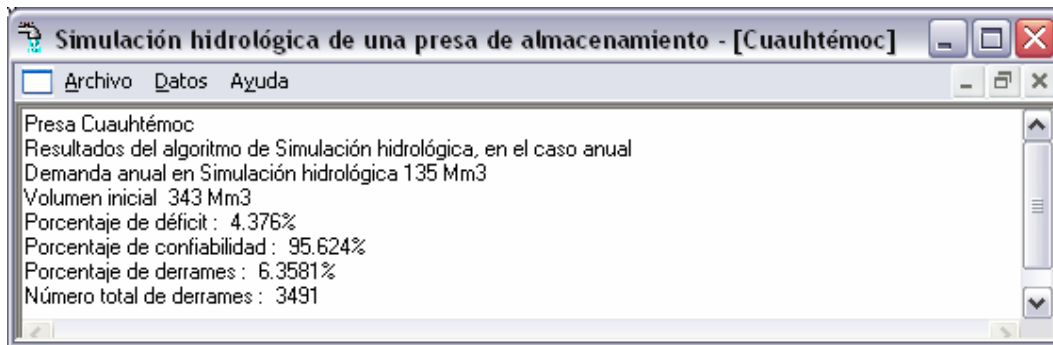


Figura 6.14 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Cuauhtémoc, Son. con demanda propuesta y volumen inicial real

La siguiente pantalla muestra los datos sobre los años de la Presa Cuauhtémoc, en el caso mensual

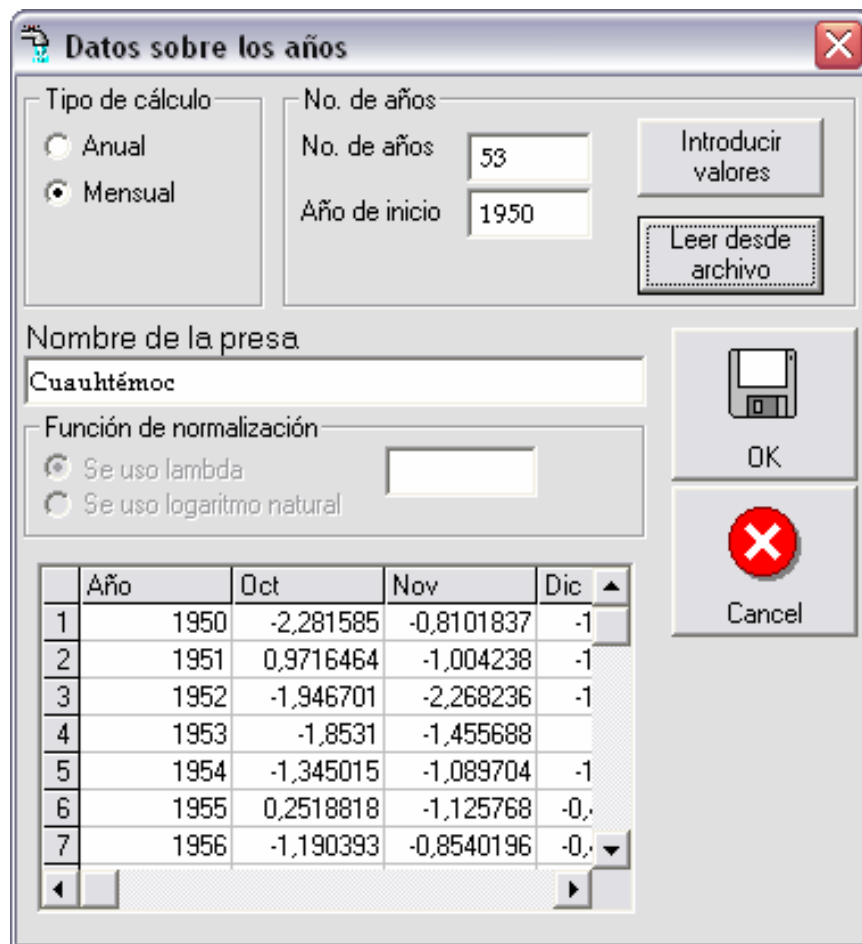


Figura 6.15 Datos sobre los años en la Presa Cuauhtémoc, caso mensual

A continuación se presenta la pantalla con las características de la presa, así como los valores que se deben de introducir en el caso mensual

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

OK

Cancel

	Oct	Nov	Di
Precipitación			
Demanda			
Evaporación			

Volumen hasta la cresta del vertedor  Mm3

Volumen inicial  Mm3

Volumen al umbral de la obra de toma  Mm3

Coefficientes del polinomio para el cálculo de elevación en función de la capacidad

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	1200	0,4135	0,002529167	000000

Coefficientes del polinomio para el cálculo del área en función de la elevación

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	81120000000	61268560,75	-982043,044	760

Figura 6.16 Valores y características de la presa, Cuauhtémoc el en caso mensual

## b) Caso Mensual

Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Cuauhtémoc]

Archivo Datos Ayuda

Presa Cuauhtémoc  
 Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso mensual  
 Demanda total de todos los meses en Simulación hidrológica 27.3 Mm3  
 Volumen inicial 343 Mm3  
 Porcentaje de déficit : 1.375%  
 Porcentaje de confiabilidad : 98.625%  
 Porcentaje de derrames : 8.751%  
 Número total de derrames : 8054

Figura 6.17 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Cuauhtémoc, Son., con demanda real y volumen inicial real, en el caso mensual.



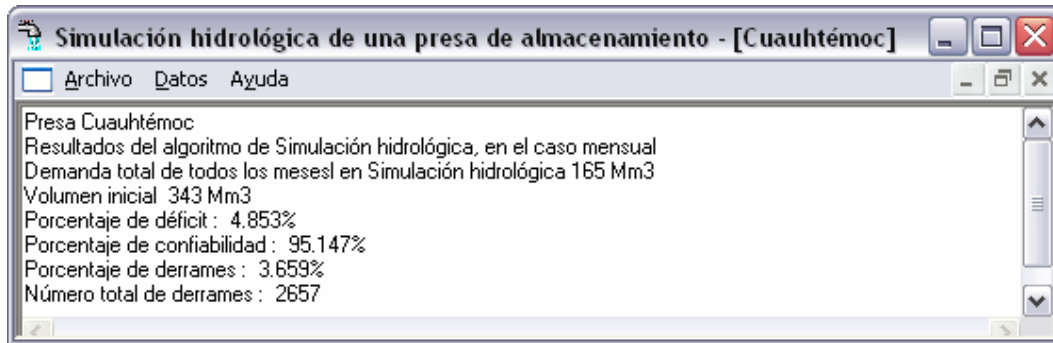


Figura 6.18 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Cuauhtémoc, Son con demanda real y volumen inicial propuesto, en el caso mensual.

En esta presa la resiliencia obtenida es de 6.43. Este resultado muestra que la presa almacena agua por completo y la derrama normalmente. En esta presa se tuvo que aumentar la demanda para poder llegar el porcentaje de confiabilidad deseado, por lo que la presa esta siendo subutilizada.

## 6.6 Presa La Boquilla (Chihuahua)

### 6.6.1 Ubicación

La presa La Boquilla esta situada a 32 kilómetros aguas arriba de la Ciudad Carmargo en el estado de Chihuahua. La corriente de esta presa es el río Conchos cuya cuenta principal es la del río Bravo.



Figura 6.19 Ubicación presa La Boquilla

### **6.6.2 Características**

En 1909 la Compañía Agrícola y de Fuerza Eléctrica del Río Conchos S.A, obtuvo la concesión de usar las aguas de este río para la generación de energía eléctrica; iniciando en 1910 la construcción de la presa La Boquilla. A consecuencia de la Revolución Mexicana se suspendieron los trabajos de construcción, y fue hasta el mes de septiembre de 1916 cuando se concluyó la obra, poniéndose a trabajar la planta hidroeléctrica localizada al pie de la cortina. A partir de 1929 la Comisión Nacional de Irrigación emprendió los estudios encaminados a desarrollar el actual Distrito de Riego de Ciudad Delicias.

La cortina es de tipo de gravedad, de concreto ciclópeo, con una altura máxima de 74 metros. La corona tiene 259 metros de longitud, con un ancho de 6 metros. El vertedor es del tipo de cresta libre, localizado en el margen derecho. La capacidad hasta el umbral de la obra de toma es de  $159 \text{ Mm}^3$ . El vaso de esta presa se conoce con el nombre de “Lago Toronto”, con una capacidad total de  $2982 \text{ Mm}^3$ , siendo su capacidad disponible de  $2893 \text{ Mm}^3$ . El área de embalse es de 17500 hectáreas. La cuenca de captación de la presa, se extiende hasta los límites del estado de Durango, con una superficie de  $21003 \text{ km}^2$ .

La demanda histórica anual promedio que se ha presentado en ésta presa ha sido de  $1132.06 \text{ Mm}^3$ . La obra de excedencias tiene un vertedor del tipo de cresta libre, localizado en el margen derecho y alojado en el puerto de Babisas, consistiendo en una estructura de concreto ciclópeo de 9 metros de altura máxima. La longitud de la cresta es de 720 metros estando ésta a la elevación de 1317 metros s.n.m.

La avenida máxima que puede descargar el vertedor de la presa “La Boquilla” se ha calculado en  $10000 \text{ m}^3/\text{s}$  con un tirante de 4 metros sobre la cresta.

En el año de 1952 debido a la prolongada sequía que imperó en el norte del país y con objeto de sortear este problema. aprovechando al máximo el caudal de las aguas en el vaso de la presa, después de un racional estudio de la situación, se decidió construir en dicha presa una toma baja con compuerta metálica y válvula de aguja, perforando la cortina e insertando tubería de hierro de 1.8 metros de diámetro, cuyo eje se encuentra a 1279.8 metros s.n.m y con descarga a la elevación 1252.67 metros s.n.m que es la cota del eje de la válvula de aguja que se instaló, el gasto de la válvula a toda capacidad es de  $28\text{m}^3/\text{s}$ .

La planta hidroeléctrica está situada al pie de la cortina y la toma alta se encuentra a 1293 metros s.n.m. La planta está provista de 4 turbinas de eje horizontal de 10000 H con gasto máximo de  $44\text{ m}^3/\text{s}$  y 4 generadores de corriente alterna trifásica de 6250 KwH, 60 ciclos, 130 amperes y 4000 voltios.

### **6.6.3 Resultados del algoritmo de Simulación Hidrológica**

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la elevación, las cuales se obtienen de los boletines hidrológicos de la región hidrológica correspondiente a la presa La Boquilla, localizada en el estado de Chihuahua.

Curva elevación-capacidad, donde la x= capacidad:

$$y = 1270 + 0.0521x - 0.000028683x^2 + 8.82\text{E-}09x^3 - 1.31667\text{E-}12x^4 + 7.5\text{E-}17x^5$$

Curva área-elevación, donde x = elevación

$$y = -7.30711\text{E+}11 + 2825976345.99x - 4371616.64x^2 + 3381.24532x^3 - 1.3076x^4 + 0.00020226x^5$$

A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la Presa La Boquilla.

The screenshot shows a software window titled "Datos sobre los años" with a close button in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Tipo de cálculo:** Radio buttons for "Anual" (selected) and "Mensual".
- No. de años:** A text box containing "67".
- Año de inicio:** A text box containing "1935".
- Buttons:** "Introducir valores" and "Leer desde archivo".
- Nombre de la presa:** A text box containing "La Boquilla".
- Función de normalización:** Radio buttons for "Se uso lambda" (selected) and "Se uso logaritmo natural". A text box next to "Se uso lambda" contains "0.4".
- Table:** A table with columns "Año" and "Anual".

	Año	Anual
2	1971	4.530904
2	1972	4.721101
2	1973	4.415602
2	1974	4.891408
2	1975	4.567424
2	1976	4.585731
2	1977	6.272101
3	1978	4.910221

At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 6.20 Datos sobre los años en la presa La Boquilla, en el caso anual

La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma.

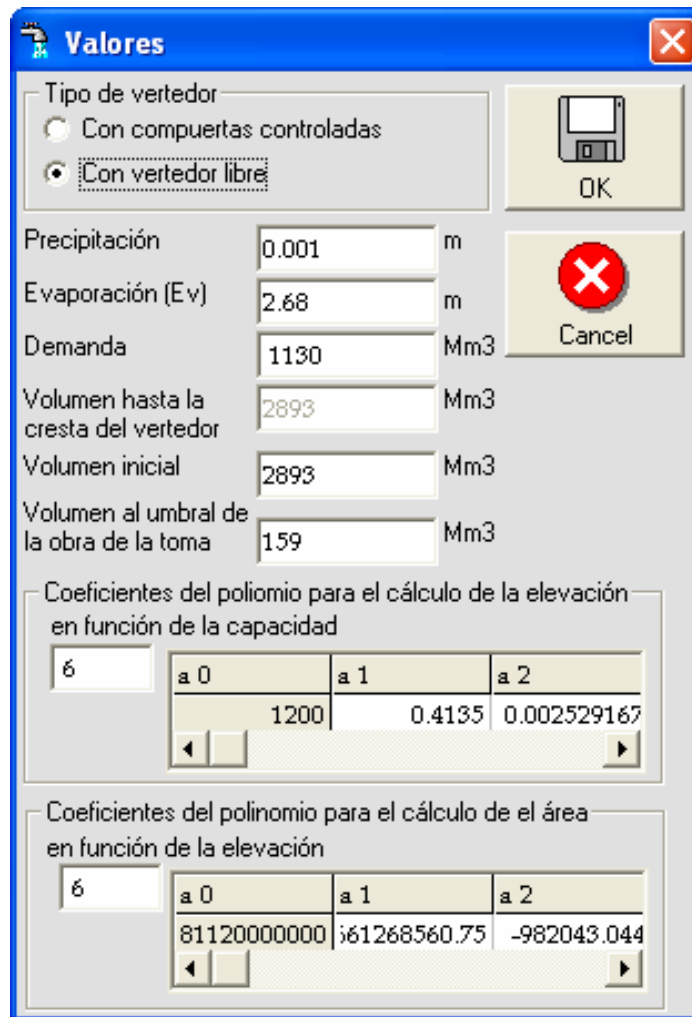


Figura 6.21 Valores y características de la Presa La Boquilla, en el caso anual

**a) Caso anual**

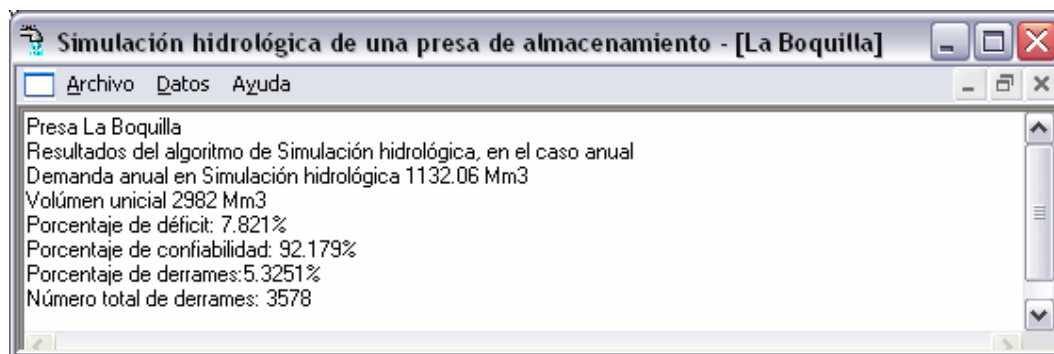


Figura 6.22 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa La Boquilla, Chi. con demanda real y volumen inicial real

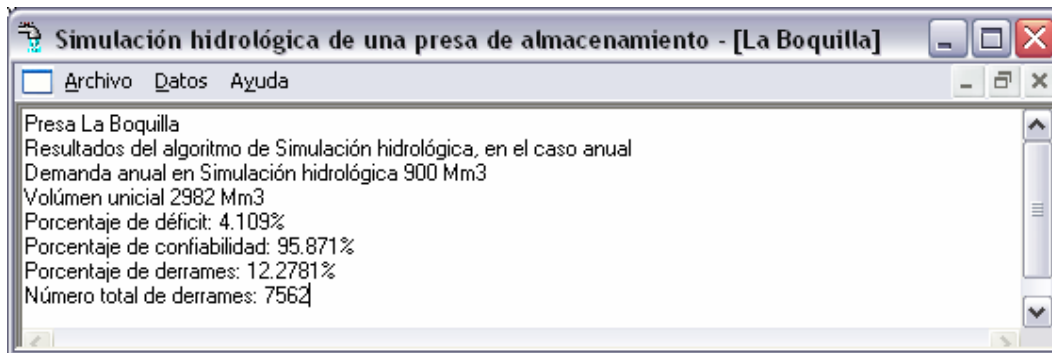


Figura 6.23 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa La Boquilla, Chi. con demanda propuesta y volumen inicial real

Para el caso anual, como para el mensual, se necesita meter una serie de datos sobre los años, en la siguiente pantalla se ilustra, para el caso mensual.

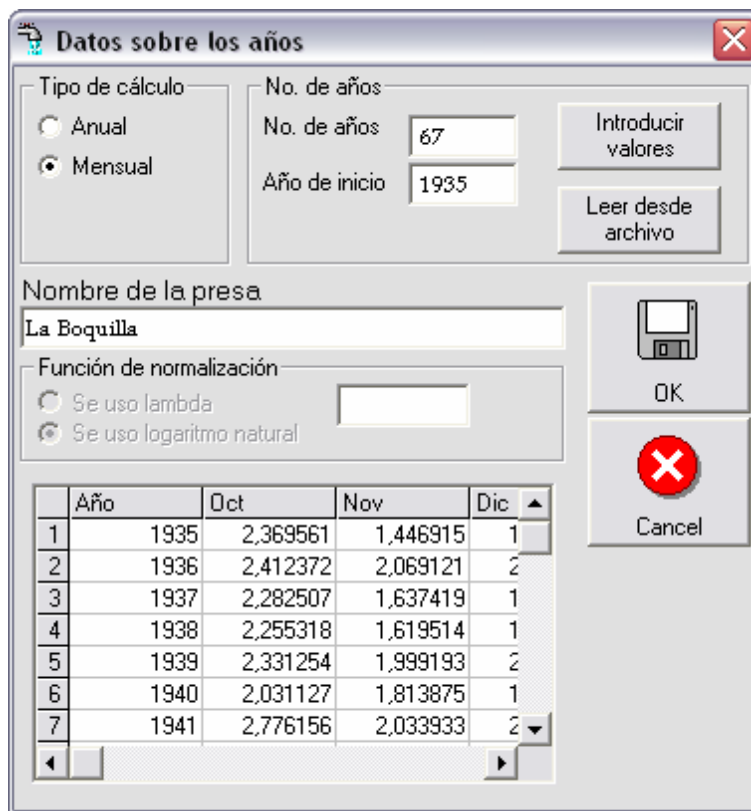


Figura 6.24 Datos sobre los años en la Presa La Boquilla, caso mensual

En todos los casos de estudio es necesario proporcionar al programa los valores y características que posee la presa, como a continuación se muestra.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

OK

Cancel

	Oct	Nov	Di
Precipitación			
Demanda			
Evaporación			

Volumen hasta la cresta del vertedor  Mm3

Volumen inicial  Mm3

Volumen al umbral de la obra de toma  Mm3

Coeficientes del polinomio para el cálculo de elevación en función de la capacidad

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	1270	0,0521	-0,000028683	000000

Coeficientes del polinomio para el cálculo del área en función de la elevación

6	a 0	a 1	a 2	a 3
	90711000000	325976345,99	-4371616	338

Figura 6.25 Valores y características de la presa La Boquilla, en el caso mensual

**b) Caso mensual**

Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [La Boquilla]

Archivo Datos Ayuda

Presa La Boquilla  
 Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso mensual  
 Demanda total de todos los meses en Simulación hidrológica 1132.06 Mm3  
 Volumen unicial 2982 Mm3  
 Porcentaje de déficit: 11.584%  
 Porcentaje de confiabilidad: 88.416%  
 Porcentaje de derrames: 2.793%  
 Número total de derrames: 5032

Figura 6.26 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa La Boquilla, Chi. con demanda real y volumen inicial real, en el caso mensual

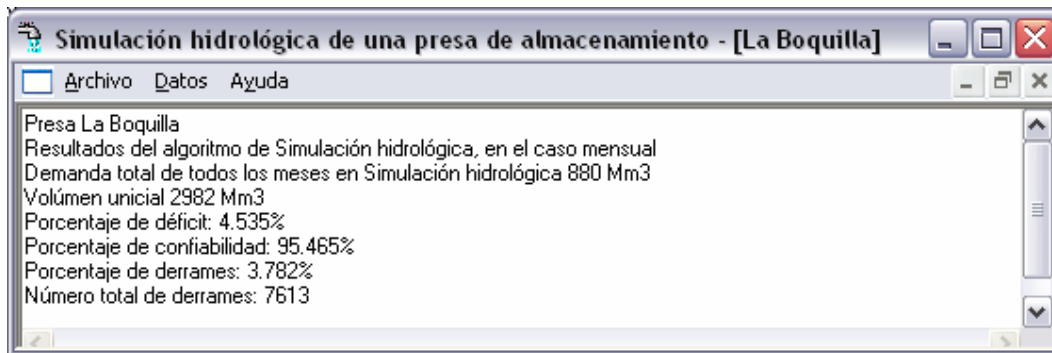


Figura 6.27 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa La Boquilla, Chi. con demanda real y volumen inicial propuesto, en el caso mensual

En esta presa la resiliencia es de 1.87185, que es el resultado de dividir la capacidad útil entre el volumen medio anual, este resultado muestra que la presa no trabaja normalmente, pero como bien muestra el resultado, no es muy extremo.

En este caso de estudio, se tuvo que disminuir la demanda, ya que con la demanda real o una mayor, el porcentaje de confiabilidad no se acercaba al 95% deseado. Finalmente como conclusión, la presa se encuentra sobre explotada.

## 6.7 Presa Lázaro Cárdenas (Durango)

### 6.7.1 Ubicación

La presa Lázaro Cárdenas está ubicada sobre el río Nazas, a unos 200 kilómetros aguas arriba de Torreón (Coahuila), dentro del municipio de Indé, en el estado de Durango, a unos 4 kilómetros aguas arriba de la confluencia de los ríos Ramos y del Oro.



Figura 6.28 Ubicación de la Presa Lázaro Cárdenas



### 6.7.2 Características

A mediados del siglo pasado se iniciaron las actividades agrícolas en la Región Lagunera aprovechando la humedad que dejaban las avenidas del río Nazas. A medida que las áreas de cultivo aumentaron, en número y extensión hubo necesidad de hacer derivaciones. En el periodo entre 1936 y 1946 se construyó la presa Lázaro Cárdenas, también llamada El Palmito, por la Comisión Nacional de Irrigación. Con esta presa, el área de riego aumentó considerablemente.

La cortina es de tierra, construida por un corazón impermeable central, asimétrico, desplantando sobre tobas, protegido en el lado aguas arriba por una zona de grava y arena, y en el lado aguas abajo, por una zona formada por pizarras provenientes de la excavación del vertedor, Su altura total es de 97 metros y la longitud es de 360 metros con un ancho de 10 metros en la corona. La capacidad total de la presa es de 4438 Mm<sup>3</sup> y el área de embalse es de 11122 hectáreas. La presa cuenta con un vertedor controlado, que consta de 5 compuertas radiales de 6x8 metros, las cuales estando cerradas, hasta el borde superior de las mismas el almacenamiento es de 3382 Mm<sup>3</sup>. La capacidad hasta la cresta vertedor es de 2873 Mm<sup>3</sup> y con una capacidad hasta el umbral de la obra de toma de 273 Mm<sup>3</sup>.

La demanda promedio histórica anual que ha tenido ésta presa es de 1170.29 Mm<sup>3</sup>. La demanda histórica promedio que se presentó en el periodo de registro de 1992 a 2002 fue de 886.34 Mm<sup>3</sup>.

La obra de excedencias está localizada en el puerto de La Soledad, sobre el margen izquierdo. Descarga los excedentes al arroyo del mismo nombre, que a su vez los conduce al río Nazas, a unos 600 metros aguas debajo de la cortina.

El vertedor es de tipo de cresta libre, de planta curva y perfil Creager. Al pie del cimacio, hay un plano horizontal a la elevación 1014.66 metros, en forma de abanico,

que converge a un canal de 29 metros de ancho y 600 metros de longitud. La longitud de la cresta libre es de 230.91 metros y le corresponde una elevación de 1620.15 metros. Tiene una capacidad máxima de descarga de 6895 m<sup>3</sup>/s para una elevación de 1626 metros.

La obra de toma está formada por tres túneles de sección circular perforados en la ladera izquierda y revestidos de concreto simple, de 6 metros de diámetros y aproximadamente de unos 600 metros de longitud, espaciados 25 metros de centro a centro. En la parte media se colocaron tapones de concreto donde están embebidas tuberías de acero de 3.7 metros de diámetro y 18 metros de longitud, con sus respectivos abocinamientos. Inmediatamente aguas debajo de este tapón está la válvula de servicio, del tipo de mariposa, de 2.18 metros de diámetro, que descarga desde el centro de cada túnel. Estas válvulas se operan desde una galería a la que se tiene acceso por medio de una lumbrera.

A la entrada de los túneles se instalaron rejillas montadas en estructuras especiales de forma circular, en cuya base se instalaron compuertas inclinadas del tipo Broome de 4x6 metros, para emergencias, mediante las cuales es posible inspeccionar los túneles en los tramos situados aguas arriba de las válvulas de mariposa.

### **6.7.3 Resultados del algoritmo de Simulación Hidrológica**

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la elevación, las cuales se obtienen de los boletines hidrológicos de la región hidrológica correspondiente a la presa Lázaro Cárdenas, localizada en el estado de Durango.

Curva elevación-capacidad, donde la x= capacidad:

$$y = 1559.189189 + 0.058155896x - 2.565591E-05x^2 + 6.83793E-09x^3 - 1.0483E-12x^4$$

Curva área-elevación, donde  $x$  = elevación

$$y = -32783387272 + 101246733.43x - 12051.59x^2 + 77.2167932x^3 - 0.023834483x^4$$

A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la Presa Lázaro Cárdenas.

The screenshot shows a software window titled "Datos sobre los años" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Tipo de cálculo:** Two radio buttons are present: "Anual" (selected) and "Mensual".
- No. de años:** A text box contains the value "58".
- Año de inicio:** A text box contains the value "1947".
- Buttons:** "Introducir valores" and "Leer desde archivo" are located to the right of the input fields.
- Nombre de la presa:** A text box contains "Lázaro Cárdenas".
- Función de normalización:** Two radio buttons are present: "Se uso lambda" and "Se uso logaritmo natural" (selected). A small empty text box is to the right.
- Table:** A table with 3 columns: "Año", "Anual", and a third column with numerical values. The data is as follows:

	Año	Anual	
1	1947	7.6702	
2	1948	6.448477	
3	1949	7.089894	
4	1950	6.429867	
5	1951	5.700454	
6	1952	5.618287	
7	1953	6.125966	
8	1954	6.432958	
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons are located on the right side of the window.

Figura 6.29 Datos sobre los años en la presa Lázaro Cárdenas, en el caso anual

La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma.

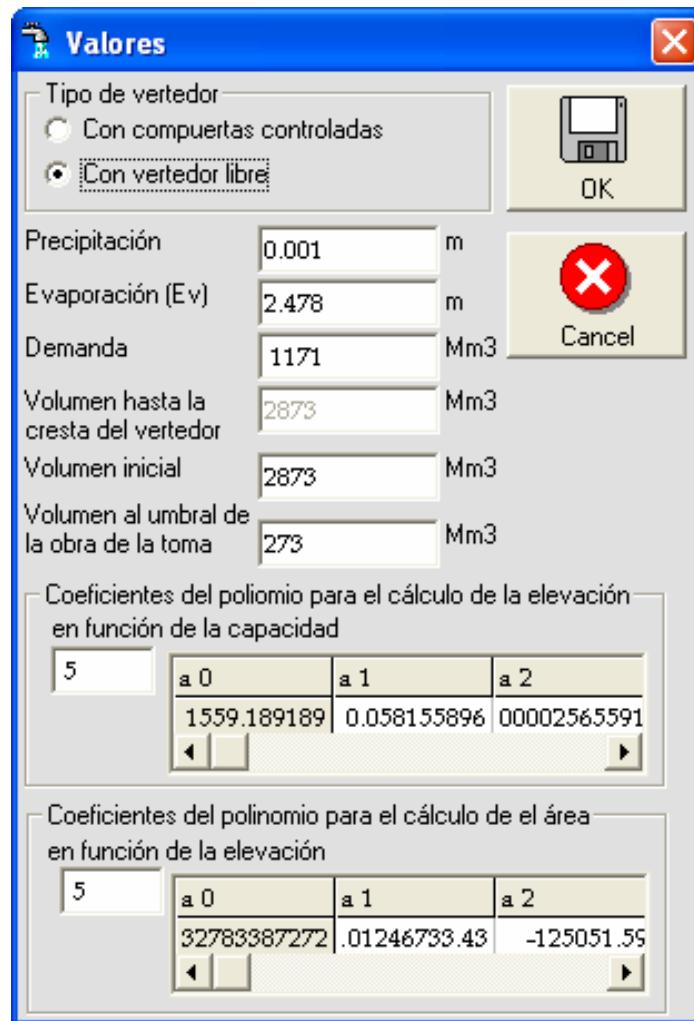


Figura 6.30 Valores y características sobre la presa Lázaro Cárdenas, en el caso anual

**a) Caso anual**

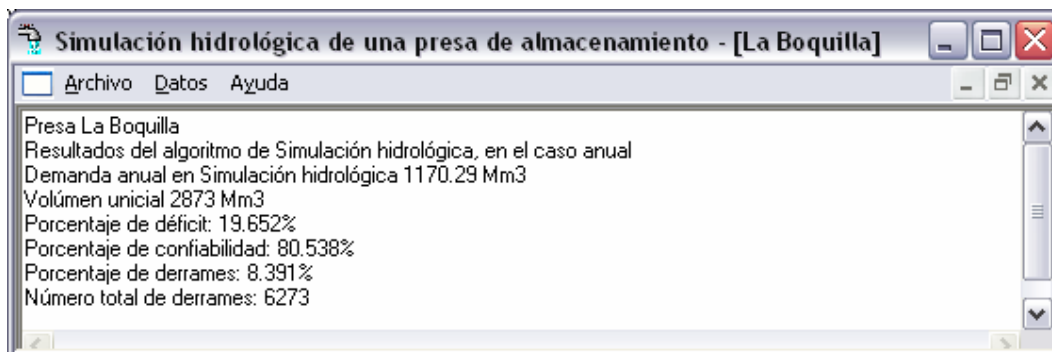


Figura 6.31 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Lázaro Cardenas, Drg. con demanda real y volumen inicial real

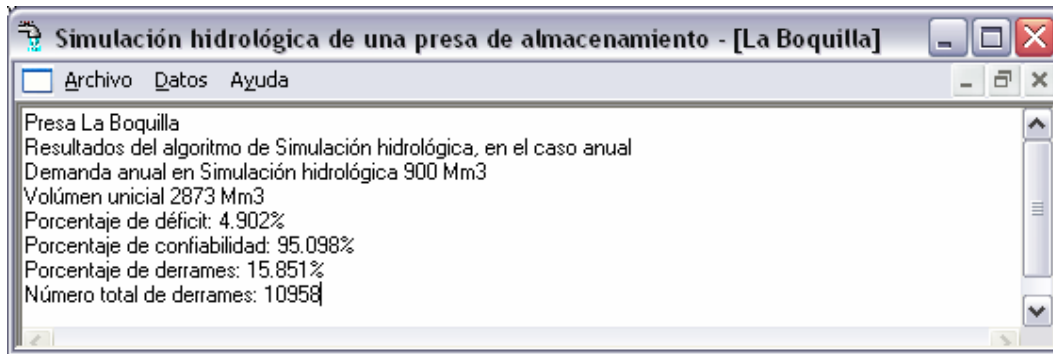


Figura 6.32 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Lázaro Cardenas, Drg. con demanda propuesta y volumen inicial real

Igual que se presentó para el caso anual los datos sobre los años, a continuación se muestra pero para el caso mensual:

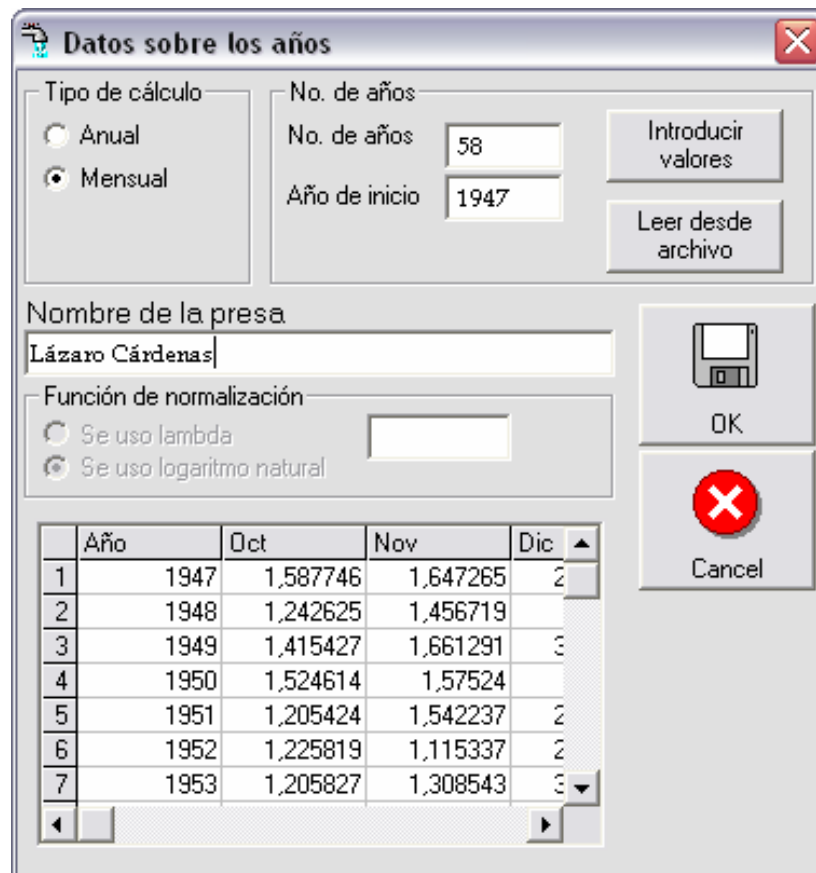


Figura 6.33 Datos sobre los años de la Presa Lázaro Cárdenas, en el caso mensual

A continuación se presenta la pantalla donde se deben de introducir los valores y características de la presa Lázaro Cárdenas, en el caso mensual.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

OK

Cancel

	Oct	Nov	Di
Precipitación			
Demanda			
Evaporación			

Volumen hasta la cresta del vertedor  Mm3

Volumen inicial  Mm3

Volumen al umbral de la obra de toma  Mm3

Coefficientes del polinomio para el cálculo de elevación en función de la capacidad

a 0 a 1 a 2 a 3

	1559,189189	0,058155896	00002565591	000000
--	-------------	-------------	-------------	--------

Coefficientes del polinomio para el cálculo del área en función de la elevación

a 0 a 1 a 2 a 3

	32783387272	.01246733,43	-125051,59	77,
--	-------------	--------------	------------	-----

Figura 6.34 Valores y características de la presa Lázaro Cárdenas, caso mensual

### b) Caso mensual

Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Lázaro Cárdenas...]

Archivo Datos Ayuda

Presa Lázaro Cárdenas

Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso mensual

Demanda total de todos los meses en Simulación hidrológica 1170.29 Mm3

Volumen inicial 2873 Mm3

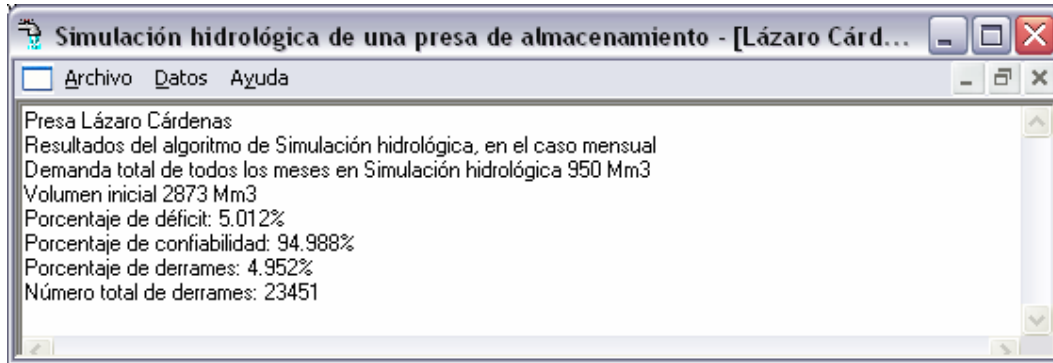
Porcentaje de déficit: 14.562%

Porcentaje de confiabilidad: 85.438%

Porcentaje de derrames: 4.106%

Número total de derrames: 19547

Figura 6.35 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Lázaro Cardenas, Drg. con demanda real y volumen inicial real, en el caso mensual



*Figura 6.36 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Lázaro Cárdenas, Drg. con demanda propuesta y volumen inicial real, en el caso mensual*

La resiliencia obtenida fue de 2.72, lo que quiere decir que almacena y derrama agua normalmente. Para este caso de estudio se bajó la demanda para poder tener el nivel óptimo de confiabilidad, lo que es síntoma que la presa se encuentra sobre explotada.

## **6.8 Presa Abelardo L. Rodríguez (Sonora)**

### **6.8.1 Ubicación**

La presa se encuentra sobre el curso medio del río Sonora, a una distancia aproximada de 5 Kilómetros, hacia el norte de la ciudad de Hermosillo, en el municipio de Hermosillo, en el estado de Sonora.



*Figura 6.37 Ubicación de la presa Abelardo L. Rodríguez*

### 6.7.2 Características

El objetivo de la construcción de esta presa fue aprovechar las aguas del río Sonora para el riego de 10000 Ha, la recarga de acuíferos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Hermosillo, regularización de avenidas y otros usos secundarios.

Su ejecución se llevó a cabo en los años de 1945 a 1948 por la Comisión Nacional de Irrigación y la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Las características principales de la presa Abelardo L. Rodríguez son las siguientes:

CONCEPTO	ELEVACIÓN (metros)	CAPACIDAD (Mm <sup>3</sup> )
Lecho del cauce en la boquilla	204	
Umbral de la obra de toma	211	
Cresta vertedor	225.8	254
Altura corona de la cortina	231.6	

Tiene una altura total de 36.00 m y 29.00 sobre el lecho del río, una longitud, por la corona, de 1411 m y una anchura de 10 m en la corona y de 465 m en la base.

La obra de toma está localizada en la margen derecha está constituida por un conducto de sección de herradura, alojada en la excavación del terreno natural y cubierta por el cuerpo de la cortina, provista en su extremo de aguas arriba de compuertas deslizantes operadas desde una torre a la que se tiene acceso por medio de un puente. En el extremo de aguas abajo se une al Canal Principal del Distrito de Riego por medio de una transición. Su gasto máximo de diseño es de 15 m<sup>3</sup>/s con el agua en el vaso a la elevación de 213.61 m.

La obra de excedencias está situada al extremo de la margen izquierda de la cortina, está constituida por un vertedor de cresta libre, canal lateral y dos umbrales deflectores, uno en la sección de control y otro en el extremo del canal de descarga al río.



La obra tiene las siguientes características:

- ❖ Elevación de la cresta: 225.80 m
- ❖ Longitud de la cresta: 328.76 m
- ❖ Pico de la avenida de diseño: 10000 m<sup>3</sup>/s
- ❖ Gasto de diseño del vertedor: 2735 m<sup>3</sup>/s
- ❖ Carga de diseño: 3.0 m
- ❖ Bordo libre: 2.80 m

La demanda promedio histórica anual que ha tenido ésta presa es de 123.65 Mm<sup>3</sup>. La demanda histórica promedio que se presentó en el periodo de registro de 1990 a 2000 fue de 95.815 Mm<sup>3</sup>.

### **6.8.3 Resultados del algoritmo de Simulación Hidrológica**

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para el cálculo de la elevación, las cuales se obtienen de los boletines hidrológicos de la región hidrológica correspondiente a la presa Abelardo L. Rodríguez, localizada en el estado de Sonora.

Curva elevación-capacidad, donde la x= capacidad:

$$y = -0,0009x^5 + 0,9726x^4 - 420,51x^3 + 90877x^2 - 1E+07x + 4E+08$$

Curva área-elevación, donde x = elevación

$$y = -1E-12x^4 + 8E-09x^3 - 2E-05x^2 + 0,0207x + 206,04$$

A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la Presa Abelardo L. Rodríguez

**Datos sobre los años**

Tipo de cálculo

Anual

Mensual

No. de años

No. de años: 54

Año de inicio: 1948

Introducir valores

Leer desde archivo

Nombre de la presa

Abelardo L. Rodríguez

Función de normalización

Se uso lambda

Se uso logaritmo natural

	Año	Anual
1	1948	16,1162
2	1949	15,86171
3	1950	16,71223
4	1951	19,01791
5	1952	19,33595
6	1953	16,00325
7	1954	18,77895
8	1955	20,08269

OK

Cancel

*Figura 6.38 Datos sobre los años de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso anual*

La siguiente pantalla muestra las características de la presa, así como los valores de la misma.

**Valores**

Tipo de vertedor  
 Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

Precipitación: 0.001 m  
 Evaporación (Ev): 2.94155 m  
 Demanda: 123.65 Mm3  
 Volumen hasta la cresta del vertedor: 254 Mm3  
 Volumen inicial: 254 Mm3  
 Volumen al umbral de la obra de la toma: 55 Mm3

Coeficientes del polinomio para el cálculo de la elevación en función de la capacidad

5	a 0	a 1	a 2
	400000000	10000000	90877

Coeficientes del polinomio para el cálculo de el área en función de la elevación

5	a 0	a 1	a 2
	206,04	0,0207	0,00002

Figura 6.39 Valores y características de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso anual

**a) Caso anual**

**Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Presa Abelar...**

Archivo Datos Ayuda

Presa Presa Abelardo L. Rodríguez  
 Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso anual  
 Demanda anual en Simulación hidrológica 123.65 Mm3  
 Volumen inicial: 254 Mm3  
 Porcentaje de déficit: .6870371%  
 Porcentaje de confiabilidad: 99.31297%  
 Porcentaje de derrames: 95.07592%  
 Número total de derrames: 51341

Figura 6.40 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Abelardo L. Rodríguez, Son. con demanda real y volumen inicial real

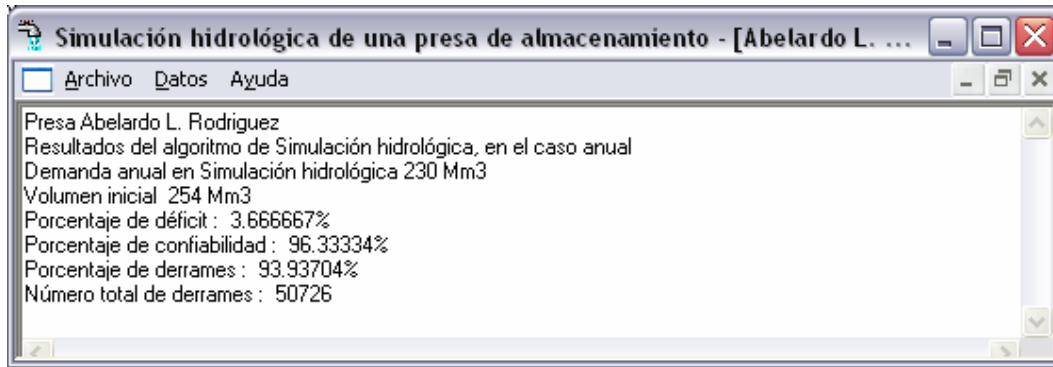


Figura 6.41 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Abelardo L. Rodríguez, Son. con demanda propuesta y volumen inicial real

Al igual que como en las otras presas, a continuación se presenta los datos sobre los años de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso mensual.

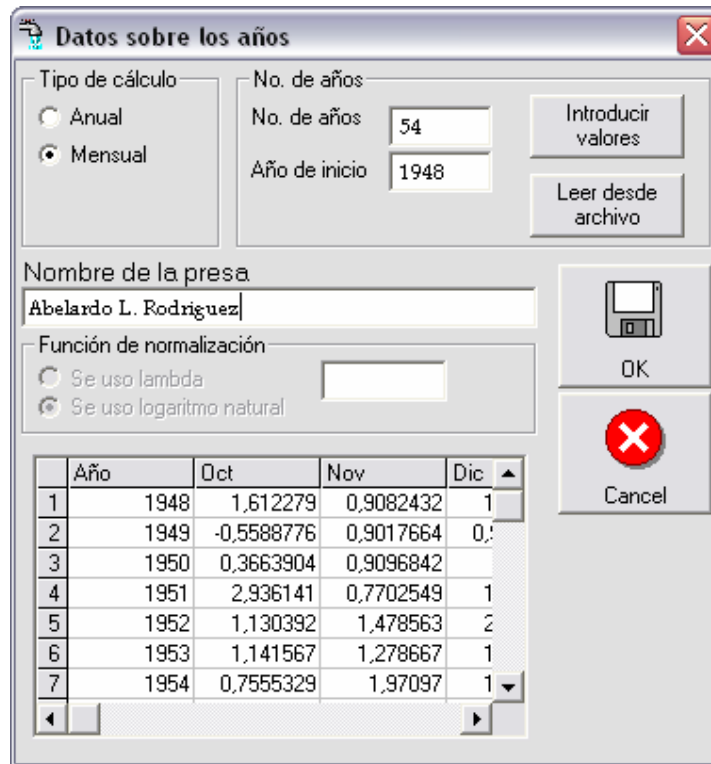


Figura 6.42 Datos sobre los años de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso mensual

La siguiente pantalla muestra los valores y características de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso mensual.

**Valores**

Tipo de vertedor

Con compuertas controladas  
 Con vertedor libre

OK  
Cancel

	Oct	Nov	Di
Precipitación			
Demanda			
Evaporación			

Volumen hasta la cresta del vertedor: 254 Mm3  
Volumen inicial: 254 Mm3  
Volumen al umbral de la obra de toma: 70 Mm3

Coeficientes del polinomio para el cálculo de elevación en función de la capacidad

5

a 0	a 1	a 2	a 3
400000000	10000000	90877	

Coeficientes del polinomio para el cálculo del área en función de la elevación

5

a 0	a 1	a 2	a 3
206,04	0,0207	0,00002	0,0

Figura 6.43 Valores y características de la presa Abelardo L. Rodríguez, en el caso mensual

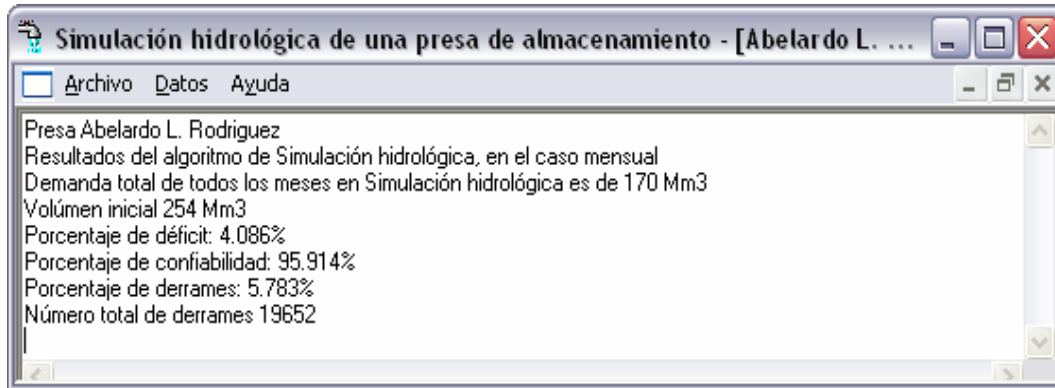
### b) Caso mensual

Simulación hidrológica de una presa de almacenamiento - [Presa Abelar...]

Archivo Datos Ayuda

Presa Presa Abelardo L. Rodríguez  
Resultados del algoritmo de Simulación hidrológica, en el caso mensual  
Demanda total de todos los meses en Simulación hidrológica 123.65 Mm3  
Volumen inicial: 254 Mm3  
Porcentaje de déficit: 6.265%  
Porcentaje de confiabilidad: 93.735%  
Porcentaje de derrames: 4.365%  
Número total de derrames: 6789

Figura 6.44 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Abelardo L. Rodríguez, Son. con demanda real y volumen inicial real, en el caso mensual.



*Figura 6.45 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Abelardo L. Rodríguez, Son. con demanda propuesta y volumen inicial real, en el caso mensual.*

En esta presa la resiliencia fue de 2.87, que es el resultado de dividir la capacidad útil entre el volumen medio anual, este resultado muestra que la presa trabaja normalmente, es decir almacena y derrama agua dentro de lo normal. En este caso de estudio, se tuvo que aumentar la demanda, ya que con la demanda real o una menor, el porcentaje de confiabilidad no se acercaba al 95% deseado, esto demuestra que la presa está subutilizada.

### **6.9 Calibración y valoración del paquete (Presa Francisco I. Madero, Chih.)**

Así como se realizaron los cinco casos de estudio, a continuación se presenta una calibración de la Presa Francisco I. Madero, ubicada en el estado de Chih. Para esta calibración se utilizó una demanda de 350 Mm<sup>3</sup> y un volumen inicial de 600 Mm<sup>3</sup>, es decir estos valores son propuestos, ya que los originales se encuentran en el apartado 6.4 de este mismo capítulo. Al igual como se hizo para los casos de estudio el primer paso en meter los datos sobre los años, así como seleccionar el tipo de cálculo y que normalización se utilizó. A continuación se muestra la pantalla de datos sobre los años de la presa Francisco I. Madero.

**Datos sobre los años**

Tipo de cálculo

Anual

Mensual

No. de años

No. de años: 54

Año de inicio: 1949

Introducir valores

Leer desde archivo

Nombre de la presa

Francisco I. Madero

Función de normalización

Se uso lambda: -0.1

Se uso logaritmo natural

	Año	Anual
1	1949	4,538112
2	1950	4,17656
3	1951	3,515718
4	1952	4,402282
5	1953	4,112512
6	1954	4,466413
7	1955	4,502933
8	1956	3,727841

OK

Cancel

*Figura 6.46 Datos sobre los años de la presa Francisco I. Madero*

A seguir se muestra la pantalla donde se deben introducir los valores antes mencionados, el valor de precipitación y evaporación son reales.

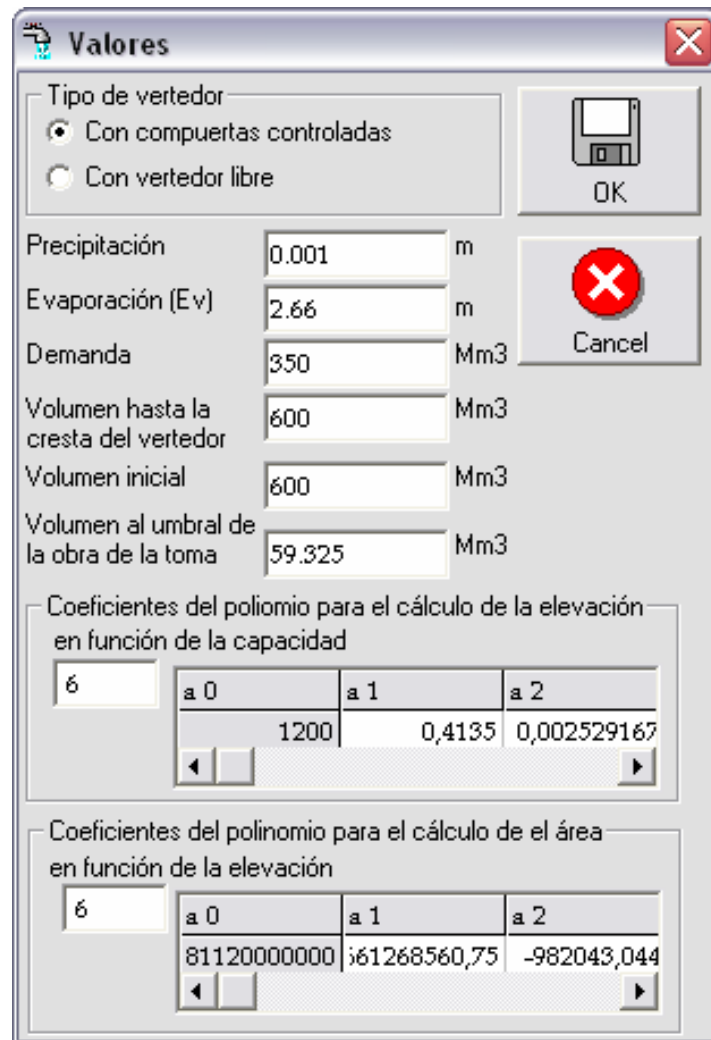


Figura 6.47 Valores y características de la presa Francisco I. Madero, Chic, caso anual.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por el Paquete Interactivo de Simulación Hidrológica.

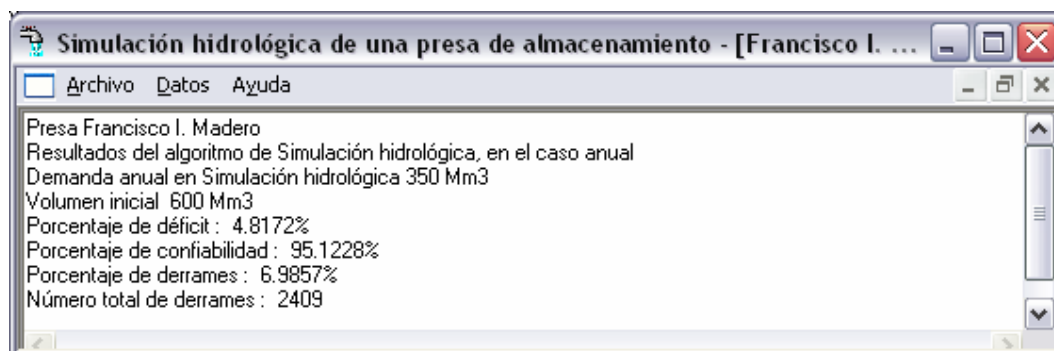


Figura 6.48 Resultado dado por el paquete de Simulación Hidrológica, en la presa Francisco I. Madero, Chih, con demanda propuesta y volumen inicial propuesto.



Los resultados dados por el paquete de Simulación Hidrológica en el caso anual demuestran que entre mayor capacidad o menor demanda tenga la presa, ésta va a tener un mayor porcentaje de confiabilidad (tiene que ser lo más aproximado al 95%), es decir, que la capacidad útil de ésta presa es poca para el volumen de agua que se tiene en las demandas y por lo tanto esta siendo sobre explotada, lo mismo pasó en el apartado 6.4, que se tuvo que bajar la demanda, en este estudio se utilizó una demanda de  $500 \text{ Mm}^3$  y el porcentaje de déficit y confiabilidad no estaban en sus rangos, al bajar la demanda a  $350 \text{ Mm}^3$ , con el mismo volumen inicial de  $600 \text{ Mm}^3$ .

En esta presa la resiliencia es de 1.15714. Este resultado muestra que la presa en estudio atraviesa por un periodo de sequía, por lo que no funciona adecuadamente, es decir, la presa no almacena la suficiente cantidad de agua que se le solicita.