

56
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL
DIMENSIONAMIENTO DE VÁSOS

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
PRESENTA EDUARDO DE LUNA DUARTE

DIRECTOR DE TESIS: M. I. OSCAR VEGA ROLDAN

DICIEMBRE DE 1998

269516

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-159/97

Señor
EDUARDO DE LUNA DUARTE
Presentes

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. L OSCAR VEGA ROLDAN, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"APLICACION DE LA TEORIA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS"

INTRODUCCION

- I. HIDROLOGIA Y PROBABILIDAD**
- II. PLANTEAMIENTO DE UN CASO**
- III. METODOS DETERMINISTICOS**
- IV. METODOS PROBABILISTICOS**
- V. COMPARACION ENTRE METODOS DETERMINISTICOS Y PROBABILISTICOS**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 19 de marzo de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf

**A mis padres, Guillermo y Margarita; este es el fruto de su esfuerzo en
mi formación. Este trabajo es para ustedes y por ustedes.
Gracias por creer en mí toda la vida.**

A mis hermanos, Guillermo y Roberto, por su apoyo continuo.

**A mi abuelita, Aurelia, quien siempre me brindó su confianza incondicional,
su cariño y comprensión.**

**A Pablo, Jorge, Chucho, Memo, Adolfo, Tomás, Carlos, César, Toño, René,
Fabián, Helio, Ezequiel, Poncho, mis grandes amigos de toda la vida.**

AGREDECIMIENTOS

De manera muy especial, al M. I. Oscar Vega Roldán, quien me ha brindado su apoyo, su tiempo, sus consejos. Gracias Oscar por prepararme para ser un buen ingeniero e inculcarme principios éticos para mi vida profesional. Gracias por ser una gran guía, un gran jefe, un gran profesor, y por encima de todo, un gran amigo.

A la M. I. Leda Speziale de Guzmán, quien también me brindó su apoyo en mis primeros años de la carrera, los más difíciles, por ser una excelente tutora, maestra y amiga.

Al Dr. Moisés Berezowsky Verduzco y todos los compañeros y amigos del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

A la Ing. Margarita Puebla, quien me enseñó que la Ingeniería Civil no es sólo una carrera técnica, sino una carrera con una gran carga social y humana.

Al Ing. Antonio Moreno Gómez, a quien debo mi gusto por la Ingeniería Marítima y Portuaria, y quien me ha apoyado en todo momento con sus consejos desinteresados.

A los Ings. José Luis Murillo Bagundo y Gustavo Alejandro Murillo Bagundo, quienes han creído en mí, dándome su confianza y amistad. Ambos han sido guías y ejemplo, espero no defraudarlos.

Por supuesto, al Ing. Juan Carlos Fernández Casillas. Gracias Juan, qué más puedo decir que gracias.

CONTENIDO

	<i>PÁGINA</i>
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES DE LA TESIS	5
RELACIONES INTERDISCIPLINARIAS EN EL DISEÑO DE PRESAS	6
HIDROLOGÍA Y PROBABILIDAD	11
APLICACIÓN A UN CASO	21
MÉTODOS DETERMINÍSTICOS	30
MÉTODOS PROBABILÍSTICOS	59
RESUMEN, COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	79

INTRODUCCIÓN

El hombre ha llegado a ser lo que es a través de un complicado proceso evolutivo. A pesar de esta evolución, el hombre sigue dependiendo de los elementos naturales básicos para la vida: aire, agua, fuego y tierra. Podemos decir que dentro de los elementos básicos, el agua es el recurso natural más precioso para el hombre; la vida se inició en el agua y no podría continuar sin ella.

El agua es, con mucho, el líquido más corriente en la Tierra. Incluida la que, en estado sólido, forma casquetes polares y glaciares, el agua cubre alrededor del 74 % de la superficie terráquea. Estas aguas, junto con las subterráneas, constituyen la hidrósfera. Más del 97 % de la hidrósfera la constituyen los océanos, un 2.16 % es hielo semipermanente, un 0.63 % son aguas subterráneas, y sólo un 0.03 % queda representado por todas las demás reservas de la superficie, mares interiores, lagos, ríos y el contenido del suelo. También hay agua en la atmósfera, en especial en forma de vapor acuoso, aunque también en estado sólido y líquido, pero ésta equivale a menos del 0.0001 % del total.

Desde las primeras civilizaciones existieron obras relacionadas con el agua y su consumo, tanto humano como para riego. A medida que las aldeas fueron convirtiéndose en pueblos y éstos en ciudades, la necesidad de abastecimiento de agua para todos los habitantes fue creciendo, y en algunos casos, se requirió traer el elemento vital desde otros sitios. Con la necesidad del agua vino el desarrollo, pero con el desarrollo aparecieron nuevas alternativas de uso del agua como son: la generación eléctrica, el uso en reacciones químicas, procesos de enfriamiento, procesos industriales, etc. Con estas alternativas surgieron obras de mayor complejidad. Así comenzaron a realizarse verdaderas obras de ingeniería: obras de almacenamiento, derivación, conducciones, pozos de extracción, etc., que logran satisfacer la demanda.

El hombre utiliza el agua para el riego y el transporte, para generar energía, para usos piscícolas, como refrigerante industrial y con fines recreativos, aparte de consumirla en su hogar. En términos absolutos, la cantidad de agua disponible para el uso del hombre es considerable, pero debido a estar desigualmente distribuida en el tiempo y en el espacio, se requieren importantes inversiones en mano de obra y construcciones para alejar la amenaza de las inundaciones destructoras y, al propio tiempo, asegurar un suministro constante para las necesidades industriales y domésticas.

Los ríos y lagos alimentados por precipitaciones directas, por el deshielo o por capas subterráneas a través de manantiales, satisfacen la mayor proporción de las necesidades actuales del hombre. La disponibilidad de agua superficial depende de numerosos factores climáticos y geológicos, entre ellos la extensión del área de captación y las relaciones entre precipitación y evapotranspiración y entre la infiltración y desagüe, lo que a su vez depende de la vegetación, tipo de suelo, geología y formato del paisaje. Pero gran parte de la superficie terráquea ofrece un suministro de agua incierto y variable, en el que la deficiencia alterna con el exceso, y debido a que las aguas superficiales son desiguales en calidad y particularmente susceptibles a la contaminación, a menudo se prefieren otras fuentes de suministro.

En este trabajo nos ocupa el control de estas aguas superficiales. Para este control, el hombre almacena el agua en depósitos construidos para tal fin o bien, en sus mismos cauces utilizando barreras que la contengan, como bordos o presas, creándose así los vasos de almacenamiento.

Un vaso de almacenamiento o embalse tiene diversos usos, por ejemplo: sirve para regular los escurrimientos de un río, es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente utilizarlo en las épocas de sequía cuando los escurrimientos son escasos; sirve para elevar el nivel del agua para rescatar su energía potencial; para derivar parte del agua para su uso o hacia otras cuencas; para protección contra inundaciones o contra la erosión que provoca el agua en las cuencas, etc.

Evidentemente, la construcción de estas obras representa una gran inversión de recursos físicos y humanos y surge la necesidad de optimarlos para obtener los mejores resultados. Mientras mejor sea el conocimiento del hombre acerca de los fenómenos relativos a las obras que necesita, mejor podrá controlarlos para su beneficio. La mayoría de los fenómenos naturales son sumamente complejos ya que en ellos intervienen una gran cantidad de variables que los modifican; el hombre utiliza su ingenio para crear modelos simplificados de los fenómenos y de esta forma poder acercarse a los resultados deseados.

Así, los ingenieros han desarrollado o aplicado distintos métodos para poder entender y modelar el funcionamiento de los embalses y poder con esto, diseñar las obras que se requieren para crearlos y utilizarlos de la mejor manera posible.

OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES DE LA TESIS

Este trabajo de aplicación de métodos probabilísticos al funcionamiento de vasos tiene como objetivo el siguiente:

- Planteamiento de diversos métodos para el diseño de embalses identificando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos para posteriormente hacer una comparación entre los mismos.

Para ilustrar lo anterior se aplicarán algunas teorías de probabilidad a datos obtenidos en la estación hidrológica Concordia para el proyecto de la presa Coyotes sobre el río del mismo nombre. Se cuenta con datos históricos de precipitación y evaporación medidos en la estación hidrológica mencionada, que se encuentra en la cuenca del proyecto. Asimismo, se tienen datos topográficos del sitio, resumidos en un juego de curvas de áreas y capacidades vs elevaciones.

Primeramente se trabajará con los datos de escurrimientos y demandas para tener una primera aproximación del dimensionamiento del vaso, mediante el uso de la Curva Masa o el Método del Pico Secuente. Posteriormente se utilizarán las series históricas y la curva de capacidades haciendo una simulación digital de funcionamiento de vaso con el método tradicional de continuidad. Con esto ya se puede realizar una primera comparación entre los resultados de ambos métodos. Después se aplicará el Método de Moran a los datos históricos para llegar a un nuevo resultado, que será comparado con los anteriores.

RELACIONES INTERDISCIPLINARIAS EN EL DISEÑO DE PRESAS

Para poder comprender correctamente el tema de esta tesis, es de suma importancia situarse en el contexto global del diseño de presas dentro del campo de estudio de la Ingeniería Civil, es decir, para el diseño y construcción de una presa, sin importar su uso o función, es necesario realizar las consideraciones pertinentes en las distintas áreas de la Ingeniería, tales como: hidráulica, planeación, geotecnia, ingeniería ambiental, estructuras y construcción. Además, dependiendo de la función que desempeñe la presa en cuestión, el proyecto puede involucrar otras áreas del conocimiento, tales como: ingeniería electromecánica, economía, agronomía y turismo, entre otras.

Aspectos hidráulicos

Dentro del campo de la hidráulica, se contemplan varios aspectos. Primeramente la hidrología, tema fundamental de esta tesis, estudia algunas características climáticas del sitio y el fenómeno del escurrimiento del agua. Posteriormente, se puede utilizar en el diseño de la presa, la hidráulica de canales en las obras de excedencias, la hidráulica de conductos cerrados a presión en la obra de toma y hasta el cálculo de fenómenos transitorios en las conducciones. Ya que los aspectos hidráulicos son el tema fundamental de esta tesis, no es necesario profundizar este tema en este inciso.

Planeación

Evidentemente, el correcto diseño de una presa está supeditado a la planeación adecuada en todas las etapas de la presa: concepción, factibilidad, diseño, construcción y operación; el éxito de cualquier proyecto es su buena planeación y control.

Independientemente de las disciplinas técnicas que se requieren para el diseño de una presa, se debe considerar un aspecto fundamental antes del diseño de la misma. Este aspecto es el que se refiere a la cuestión social, misma que involucra la posible reubicación de poblados, la satisfacción de requerimientos de éstos, la creación de empleos, la población beneficiada, el cambio de actividades y fuentes de ingresos, lo que se puede reflejar en cambios drásticos en la economía del lugar.

En casi todos los países en desarrollo y entre ellos México, los proyectos que involucran la construcción de presas para cualquier objetivo son manejados por el sector público. De aquí que, en la concepción y factibilidad de un proyecto hidráulico de esta magnitud, el sector público desempeña una función importante en la formulación y evaluación de dichos proyectos de inversión, debiendo seguir políticas orientadas al interés nacional, es decir, los proyectos deben formularse y evaluarse de tal forma, que se pueda escoger para su ejecución aquellos que contribuyan más a los objetivos últimos del país. Obviamente, esta planeación debe seguir reglas que rijan la selección de proyectos que dependen de las políticas que el gobierno aplica realmente. Así, se tiene una enorme cantidad de variables que determinar antes de la selección de un proyecto.

Una vez aceptado el anteproyecto, entra una nueva etapa de planeación en donde intervienen la factibilidad técnica y económica del proyecto por sí mismo, ya sin considerar los requerimientos sociales considerados inicialmente, con lo cual los planeadores determinarán si existen recursos suficientes, tanto tecnológica como financieramente para satisfacer las necesidades sociales del país o de cierto sector.

Ya en el diseño, construcción y operación, es más evidente la necesidad del uso de la planeación y control, con lo que podemos lograr la optimización de recursos humanos y materiales. En el diseño, la planeación es de suma importancia ya que no sólo interviene la economía sino la optimización de beneficios aportados por la presa. En general, el diseño, construcción y operación involucran ya la participación del sector privado, en donde el aspecto financiero puede cobrar una importancia mayor en comparación con los aspectos sociales, por supuesto sin descartar éstos últimos. De esta manera se vuelve importante la planeación y la utilización de sistemas y operaciones eficientes.

Topografía

Antes de realizar el diseño de una presa es necesaria la realización de diversos estudios previos, entre los cuales es necesario el estudio y levantamientos topográficos, con los cuales se dibujan planos detallados de la configuración de la boquilla cubriendo un área suficientemente amplia. Posteriormente se inician los estudios geológicos y geotécnicos.

Aplicación de la geotecnia en el diseño de presas

Dentro de los aspectos más importantes en el diseño y construcción de una presa se encuentra el que se refiere a la geotecnia.

La geología y estudios de mecánica de suelos en la cimentación nos permiten formar o preparar planos de geología superficial que muestren las formaciones, contactos, fracturas y fallas de la región y en los cuales también se muestre el programa de exploraciones con su localización. Además de estos planos en planta, se realizan perfiles de exploraciones y cortes geológicos de la boquilla en donde se deben mostrar los estratos, las fracturas, fallas y otros datos obtenidos de las perforaciones como el nivel freático, el grado de fracturamiento y el índice de calidad de la roca RQD.

También se realizan pruebas de campo para determinar la permeabilidad del terreno; entre estas pruebas se encuentran las pruebas Lugeon que consisten, a grandes rasgos, en introducir en la perforación una tubería con ranuras en su extremo inferior, proporcionar un gasto a la tubería y esperar que se estabilice, tomar lecturas y registrarlas, aumentar la presión, y repetir el mismo proceso hasta los 10 kg/cm², si se puede, y luego disminuir el gasto a cero. El procedimiento consiste en medir el gasto de agua en litros por minuto por metro lineal de perforación que absorbe un manto bajo una presión de 10 kg/cm². La prueba se realiza comúnmente en tramos de 3 a 5 m de longitud, aislándolos con empaques de hule. Para obtener el gasto de absorción en función de la presión de inyección, se varía en un mismo tramo la presión aplicada hasta los 10 kg/cm² y después disminuyéndola hasta cero. La presión leída en el manómetro debe ser corregida por pérdidas de carga en la tubería y por la altura del nivel freático con respecto al tramo probado. Finalmente se trazan curvas de gasto de absorción contra presión.

El programa de exploraciones debe ser tan amplio como sea posible, ya que el éxito del proyecto depende en gran medida del conocimiento del sitio y el subsuelo del mismo. El programa de exploraciones suele basarse en ejes paralelos al eje preliminar de la presa y deben tener una profundidad variable dependiendo del proyecto, que suele ser del orden de la altura de la presa. Finalmente se pueden obtener perfiles geológicos tanto verticales como horizontales.

También puede haber estudios geofísicos, que pueden ser “sísmicos”. Éstos consisten en colocar un geófono o sensor que capte las ondas de presión directas o reflejadas producidas por un “tiro”, el cual puede ser una descarga de explosivos en el suelo. Esto permite deducir la zonificación del subsuelo por rocas de diferente velocidad de transmisión de las ondas, estas distintas velocidades indican diferentes zonas más duras o más blandas; menos o más fracturadas; estimaciones de la calidad de la roca; zonas de material suelto (gravas), etc. Por último, se hace una correlación con los resultados de las exploraciones directas.

Obviamente, los principales estudios de suelos son menos complejos y consisten en socavones, trincheras y pozos a cielo abierto.

Si la presa se va a desplantar total o parcialmente en material no rocoso, es necesario realizar estudios de suelos para determinar posibles fallas por deslizamiento, investigar la compresibilidad, la resistencia al corte y la impermeabilidad del suelo, para lo cual se realizan muestreos inalterados para realizar pruebas de consolidación unidimensional, con las cuales obtenemos el coeficiente de compresibilidad y la capacidad de carga y pruebas de compresión triaxial en muestras saturadas de las que se obtiene resistencia al esfuerzo cortante. También se realizan pruebas físicas y clasificación SUCS y de permeabilidad in situ, sobre todo en materiales granulares, como las pruebas Lefranc, que consisten en dos tipos de pruebas, la primera se coloca agua en una perforación a un nivel superior al freático y se adiciona agua para mantener el nivel, o bien observando la rapidez con la que el agua baja hasta el nivel freático.

Impacto Ambiental

Finalmente, la presa no debe causar impactos ambientales negativos de consideración. Más aún, se realizará tratando de preservar y promover ecosistemas propios del lugar o que permita garantizar la supervivencia de las especies endémicas.

La presencia de una presa en una cuenca modifica el régimen hidrológico hacia aguas abajo; existe una reducción del caudal en ciertas épocas del año y tal vez un aumento en otras. Esto se refleja en efectos en la biodiversidad, en la sociedad, en la economía, en el clima.

Hacia aguas arriba de la cortina también existe una modificación del caudal a lo largo del tiempo debido a la formación de un nuevo cuerpo de agua. Esto se refleja en efectos en el clima, en la calidad del agua, en la sociedad, en la economía y en la biodiversidad, hasta el punto en que puede haber desaparición de especies en la región.

Por otro lado, se debe cuidar el aspecto contrario, que es cuando los efectos son del medio ambiente a la presa. Los efectos del medio pueden ser un factor importante en el diseño de la presa ya que estudiando estos efectos se definen el azolvamiento del vaso, el oleaje y la agresividad del medio mismo que deteriora las obras.

Así como fueron analizados los aspectos anteriores, podemos describir muchas más disciplinas que intervienen en el proceso de planeación, diseño, construcción y operación de una presa. Por ejemplo, todas las obras que se realicen en una presa requieren un diseño estructural que garantice el buen funcionamiento de las mismas; se realizan estudios de sismicidad para conocer la respuesta del subsuelo en la boquilla de la cortina y para determinar la respuesta de las estructuras de la presa.

En los siguientes capítulos se abordará a detalle el tema del dimensionamiento hidráulico de las presas a partir de diversas técnicas o métodos considerando condiciones similares para cada uno, para poder concluir las ventajas y desventajas de cada tipo de método

HIDROLOGÍA Y PROBABILIDAD

Antecedentes hidrológicos.

La hidrología involucra una gran cantidad de variables de gran importancia en las que se basan los estudios de esta tesis. Se analizarán las principales en este capítulo.

Hidrología. - Es la ciencia que estudia al agua, su ocurrencia y distribución en la tierra, sus propiedades físicas y químicas, así como su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. Es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hídricos e hidráulicos y el diseño de obras de protección.

El agua se encuentra sometida a distintos procesos naturales que permiten una estabilidad en todo el planeta, es decir, la cantidad de agua total en la Tierra es constante aunque cambie de lugar o de estado físico. Al seguir estos procesos se observa un ciclo, al que se denomina *ciclo hidrológico*.

El agua que se encuentra sobre la superficie de la tierra se evapora debido al viento y a la radiación solar (*evaporación*). Este vapor se eleva y forma nubes que se transportan en la atmósfera siguiendo las corrientes del viento hasta que se condensa y se precipita hacia la tierra (*precipitación*). Durante su descenso, el agua puede volver a evaporarse o bien, caer para infiltrarse (*infiltración*) o fluir por la superficie hasta las corrientes (*escurrimiento*). El agua interceptada por plantas y construcciones y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie vuelve a evaporarse. De la que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega a los océanos o a grandes cuerpos de agua, como son presas y lagos. El agua infiltrada puede ser absorbida por las plantas y posteriormente ser transpirada hacia la atmósfera (*transpiración*), casi en su totalidad, también puede fluir bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros, o bien, hacia zonas profundas del suelo (*infiltración profunda*) para ser almacenada como agua subterránea y luego, posiblemente, aflorar en manantiales, ríos o el mar.

Para entender mejor el ciclo hidrológico se presenta un esquema del mismo en la figura 2.1.

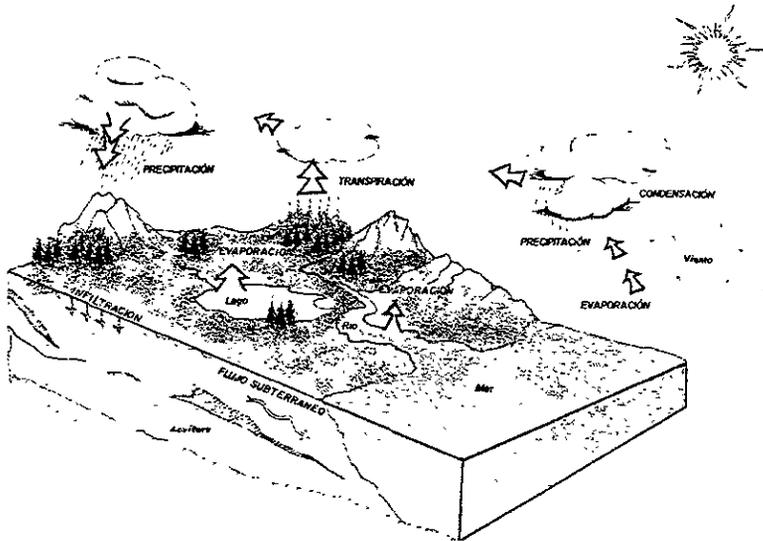
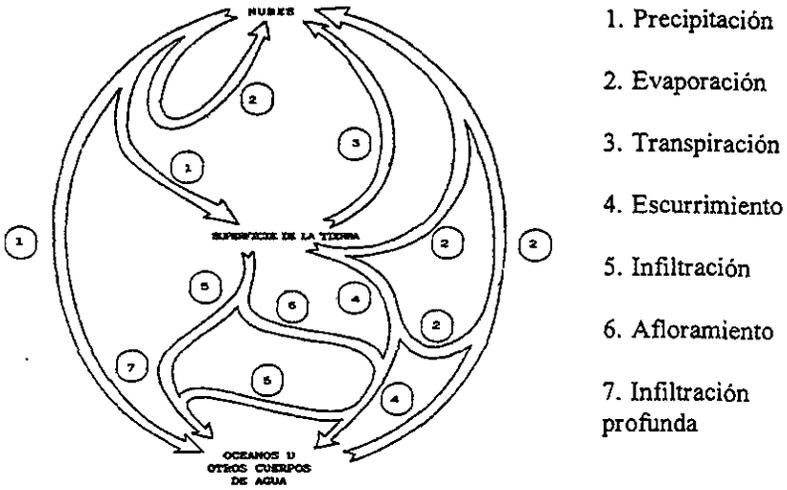


FIGURA 2.1

El concepto de ciclo hidrológico es muy global, ya que se refiere a todos los procesos naturales del agua ocurrientes en todo el mundo, pero podemos tomar cada uno de estos procesos y observar su influencia en una zona determinada, de tal manera que podamos conocer la cantidad de agua que existe en esa zona en cada período de tiempo.

Al hablar de una zona específica de estudio surge un concepto de suma importancia, la *cuenca*. Ésta es una zona de la superficie de la tierra tal, que si fuera impermeable, toda el agua que se precipita sobre ella tendería a ser drenada por un sistema de corrientes hacia un mismo punto denominado salida de la cuenca. El término cuenca siempre va ligado al nombre de su corriente principal y al de su punto de salida. Algunos de los elementos de una cuenca son los siguientes:

- *El parteaguas* de una cuenca es una línea imaginaria que divide el escurrimiento, es decir, que separa a la cuenca de las cuencas vecinas. Está formada por los puntos de mayor nivel topográfico de la cuenca, pasa por los puertos topográficos de la misma y resulta perpendicular a las curvas de nivel, líneas imaginarias también que unen los puntos con cotas iguales.
- *El área de la cuenca* es la superficie, en proyección horizontal, que está limitada por el parteaguas.
- *La corriente principal* es aquella que pasa por el punto de salida de la cuenca.

En la figura 2.2 se aprecia claramente estos elementos de una cuenca.

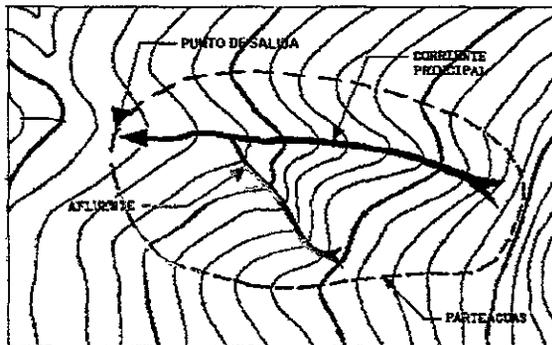


FIGURA 2.2

Una vez definida la zona de estudio se procede a analizar las aportaciones y pérdidas de agua en la cuenca en que se encuentre. Se aplican todos los fenómenos del ciclo hidrológico en la cuenca.

Las principales aportaciones se definen a continuación:

- Precipitación.- Toda aportación de agua de la atmósfera a la superficie de la tierra.

Para estimar la cantidad de lluvia en la cuenca en estudio se utilizan aparatos como los pluviómetros y los pluviógrafos. Estos aparatos se encuentran en las estaciones meteorológicas. A partir de los registros realizados en las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de interés se toma la altura de lluvia registrada por el área de la cuenca. Cuando se tiene más de una estación con datos confiables, se utilizan métodos que permiten evaluar el área de influencia de cada estación en la cuenca y de este modo poder utilizar de mejor manera las series de datos.

- Escurrimiento.- Toda el agua que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta el punto de salida de la cuenca.

De la precipitación total que cae en la tierra una parte se infiltra y otra se mantiene sobre la superficie; el agua infiltrada sigue dos caminos, la que escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él, se conoce como escurrimiento subsuperficial y la que se infiltra a niveles inferiores al freático, a la que se denomina escurrimiento subterráneo. El nivel freático se define como la superficie del agua contenida en el subsuelo que se encuentra en contacto con el aire, es decir, a presión atmosférica.

El agua que fluye sobre el terreno, junto con el escurrimiento en las corrientes, forma el escurrimiento superficial. Este último escurrimiento resulta ser muy importante porque es el que llega más rápido a la salida de la cuenca y está relacionado con tormentas particulares, por eso se dice que proviene de la precipitación en exceso y constituye el denominado escurrimiento directo. Por otro lado el escurrimiento subterráneo es muy lento y puede tardar años antes de que llegue al punto de salida de la cuenca, realmente no se le puede relacionar con una tormenta específica. Ya que este escurrimiento se produce bajo el nivel freático, es el único que puede alimentar a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

Es posible medir el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo (gasto) en un punto dado de la cuenca a lo largo de un periodo establecido, por ejemplo un año; a la curva que relaciona los gastos con el tiempo se le conoce con el nombre de *hidrograma*. El área bajo la curva representa el volumen total escurrido. La figura 2.3 representa un hidrograma y se puede observar el volumen de agua correspondiente al escurrimiento base y al escurrimiento directo.

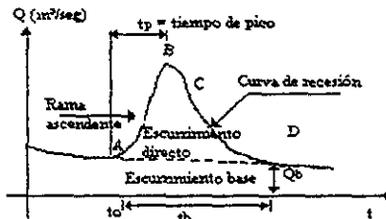


FIGURA 2.3

Para poder determinar los gastos en un sitio determinada se requiere realizar aforos en la corriente. Como es de suponerse, una sola medición no es suficiente para obtener gastos de diseño para una presa, por esta razón, se utilizan las series de datos obtenidas de las estaciones hidrométricas más cercanas al sitio de interés. En muchas ocasiones no es posible obtener series confiables o suficientes en las estaciones disponibles, por lo que se recurre a métodos que relacionan el escurrimiento que queremos conocer con la precipitación registrada en las estaciones climatológicas. Estos métodos son conocidos como métodos de relación lluvia – escurrimiento.

Una vez definidas las aportaciones al sitio se procede a estimar las pérdidas en el mismo. Las principales salidas de agua de la cuenca son:

- **Infiltración.**- Movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacional y capilar.
- **Evaporación.**- Es la transformación de un líquido en vapor sin que se produzca ebullición.

En primer lugar se analiza la evaporación, que es el fenómeno a través del cual, el agua que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en las capas del suelo cercanas a la superficie, se reintegra a la atmósfera, pasando del estado líquido al gaseoso. Puede medirse por medio de aparatos llamados evaporímetros, los cuales están formados por un recipiente en el que se coloca cierta cantidad de agua y se mide el cambio en el tirante en un tiempo determinado. Dado que, para las condiciones atmosféricas, la evaporación es mayor en depósitos pequeños que en los grandes, los datos registrados en un evaporímetro deben corregirse si se desea usar para estimar la evaporación en almacenamientos. Esta corrección se lleva a cabo multiplicando los valores registrados por un factor que varía entre 0.6 y 0.8.

- Transpiración.- es el proceso a través del cual las plantas reintegran a la atmósfera parte del agua que tomaron del suelo.

La combinación de los dos fenómenos anteriores se conoce como *evapotranspiración*. A la combinación de la evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para nutrirse se le denomina *uso consuntivo*. El uso consuntivo representa la cantidad de agua que requieren las plantas para un desarrollo normal, así, por ejemplo, se podría estimar la cantidad de agua necesaria para regar una zona de riego.

- Demanda.- Cantidad de agua que se extraerá del sitio para satisfacer alguna necesidad.

Posiblemente ésta sea la salida de agua más importante del embalse, la cantidad demandada depende del uso que tendrá el agua del embalse, por ejemplo, dar carga a maquinaria hidráulica, riego, consumo humano, etc. Para poder estimar esta salida de agua, se requiere establecer una ley de demandas correspondiente al tipo de aprovechamiento hidráulico.

Para establecer la ley de demandas se requiere estudiar las condiciones de requerimiento específicas de cada caso, pero para dar un orden de magnitud se puede establecer que $1\text{m}^3/\text{s}$ de agua puede dotar a 400,000 habitantes o dar riego a un área de 1000 ha.

Aprovechamientos hidráulicos.

Un embalse puede tener uno o varios propósitos como son: riego, generación de energía eléctrica, control de avenidas, abastecimiento de agua potable, navegación, acuicultura, recreación o retención de sedimentos. Para cada uno de estos usos se requiere conocer cuales deben ser las características del embalse.

Algunos valores característicos de un vaso de almacenamiento son:

- NAZ.- Nivel de azolves. Nivel al que, en teoría, llegarían los azolves al finalizar la vida útil de la presa, si se depositaran en forma horizontal.
- NAMu- Nivel de aguas muertas. Elevación del umbral de la toma más baja.
- NAMín.- Nivel de aguas mínimo de operación normal. Es el mínimo nivel de agua que, bajo condiciones normales, debe presentarse en la presa.
- NAMO.- Nivel de aguas máximo ordinario. Es el nivel máximo que debe tomar el embalse en condiciones normales.
- NAME.- Nivel de aguas máximo extraordinario. Es el máximo nivel que alcanza la superficie libre del agua en condiciones extraordinarias, es decir, el máximo nivel que puede alcanzar en condiciones de diseño.

Para cada nivel se asocia una capacidad del embalse, como se observa en la figura 2.4. Las principales se definen a continuación:

- Capacidad para azolves. Es el volumen que se puede almacenar hasta el NAZ.
 - Capacidad muerta. Es el volumen que cabe hasta el NAMín, incluyendo a los azolves.
 - Capacidad útil. Es el volumen que se puede almacenar entre el NAMu y el NAMO.
 - Superalmacenamiento. Es la capacidad que existe entre el NAMO y el NAME. Sirve para regular las avenidas que se presenten cuando el nivel en el vaso está al NAMO.
-

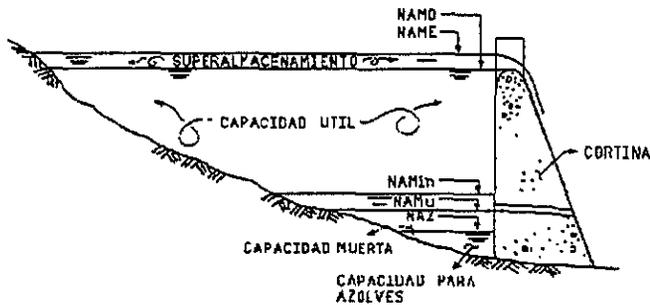


FIGURA 2.4

Así como las capacidades anteriores fueron definidas por elevaciones de la superficie libre del agua, para cualquier elevación corresponde una capacidad y un área inundada. Es posible construir curvas que representen lo anterior y que son de gran utilidad para las simulaciones del comportamiento del embalse. Estas curvas elevaciones-áreas y elevaciones-capacidades se obtienen a partir de planos topográficos del sitio.

Los datos básicos que se requieren para el diseño de un vaso de almacenamiento son los planos topográficos, los registros hidrológicos y las demandas de agua. De los planos topográficos se obtiene la relación entre los volúmenes, áreas y elevaciones del vaso como se vio anteriormente, y de los registros hidrológicos se estiman los volúmenes y gastos que posiblemente llegarán al embalse durante la operación del mismo.

Métodos para el dimensionamiento de vasos.

Existen diversos métodos que se utilizan para la estimación de los volúmenes y los gastos que llegarán al vaso: métodos determinísticos, probabilísticos y estocásticos.

Métodos determinísticos.

En los métodos determinísticos, la variabilidad real a través del tiempo se supone que está explicada por otras variables al ser procesadas por un modelo apropiado. Los modelos determinísticos se basan en una simulación del

funcionamiento de vasos, esto suele hacerse en forma digital. La simulación se realiza a partir de la serie de datos históricos del sitio. El funcionamiento de vasos consiste en aplicar la ecuación de continuidad; aportaciones menos salidas igual a cambio en el almacenamiento. Al hacer la simulación se establecen límites de deficiencias que permiten obtener porcentajes del tiempo que el vaso opera en condiciones favorables o desfavorables, por ejemplo, se puede definir como límite que sólo el 5% del tiempo se presenten condiciones desfavorables en el vaso.

Con los resultados del análisis del funcionamiento del vaso se puede establecer la capacidad útil conveniente para el embalse.

Métodos probabilísticos.

En la hidrología probabilística, la secuencia en el tiempo no importa, lo que interesa es la probabilidad de que un evento sea igualado o excedido. Estos métodos se utilizan en el diseño o en la planeación, en donde se refiere a eventos futuros que pueden ocurrir a lo largo de un lapso o a la frecuencia con que se pueden presentar. Los métodos probabilísticos son técnicas que permiten definir la probabilidad de eventos de interés a partir de series de datos. Estos datos deben ser significativos, adecuados y precisos, esto es, que los datos estén relacionados con el problema, que la serie tenga la longitud apropiada y que la serie de datos sean homogéneamente aceptable.

En los análisis de frecuencias de gastos, se pretende asignar una probabilidad de ser igualado o superado a cada gasto máximo de creciente en un año cualquiera. Se suele utilizar también el recíproco de esta probabilidad, al que se le conoce como *periodo de retorno*, Tr . El Tr se puede definir como el tiempo, medido en años, que en promedio debe transcurrir para que un evento sea igualado o superado.

Se suele ajustar la serie de datos a alguna curva de distribución de probabilidades. Se realiza un análisis de frecuencias de los caudales para obtener el nivel de probabilidad promedio o el período promedio de recurrencia. Esto tiene aplicación en muchos casos, por ejemplo, cuando se desea conocer la probabilidad de ocurrencia de una avenida durante un intervalo de tiempo específico, como puede ser la construcción de una presa.

Así se llega a establecer un gasto determinado que permite realizar el diseño de las obras sin la necesidad de conocer el momento exacto de la ocurrencia de dicho gasto.

Métodos estocásticos.

En la hidrología estocástica la secuencia en el tiempo es la parte principal, de hecho, se usa para referirse a series cronológicas que son parcialmente aleatorias. Una serie en hidrología suele representar la historia de gastos o de precipitaciones en un punto dado. Cada serie tiene limitada la información y tiene su descripción más completa en un registro continuo de observaciones en el tiempo. El mismo registro a veces se puede definir en términos de relaciones matemáticas. A diferencia de los métodos determinísticos, los estocásticos no sólo utilizan la serie histórica sino que generan series a partir de ésta, mediante técnicas de generación estocástica utilizando ciertos parámetros estadísticos de la serie histórica. Las series generadas son distintas de la observada pero conservan ciertas propiedades de la serie original. Cada serie generada se construye de tal manera que los eventos individuales tengan la misma probabilidad de ocurrencia que tienen en la serie observada.

Al igual que los métodos probabilísticos, los estocásticos se utilizan en el diseño o planeación de obras. En este caso se puede suponer que los eventos en el futuro tendrán las mismas propiedades estocásticas del registro histórico.

Los métodos estocásticos no serán aplicados en este trabajo.

APLICACIÓN A UN CASO

Antecedentes

Con el objeto de tener elementos para analizar los distintos métodos para el dimensionamiento de vasos expuestos en esta tesis, se utilizan los datos del proyecto de abastecimiento de agua Coyotes, Sin., mismo que se describe brevemente a continuación:

El Proyecto Coyotes consiste en el abastecimiento de agua potable a cuatro pequeñas poblaciones del Estado de Sinaloa: Concordia, Mesillas, El Verde y Zavala. Además de este abastecimiento, el proyecto contempla la dotación de agua para riego a 500 ha en ambas márgenes del Río Baluarte.

Ubicación

El proyecto se ubica en el Municipio Concordia en el Edo. de Sinaloa, sobre el cauce del arroyo Coyotes, mismo que es afluente del Río Presidio, que desemboca en el Océano Pacífico. El sitio del proyecto se localiza en la porción Sureste del Edo. de Sinaloa. El arroyo Coyotes pertenece a la región hidrológica No. 11, Ríos Presidio - San Pedro, con un área de cuenca drenada de 50 Km².

El arroyo nace a una altitud de 400 msnm; geográficamente, la boquilla se localiza en las coordenadas 23° 15' 30" de latitud Norte y 106° 01' 80" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 120 msnm.

El acceso al sitio del proyecto se realiza partiendo del puerto de Mazatlán, Sin. por la carretera federal No. 110 en un recorrido de 18 Km. En este punto se toma la desviación a Mesillas con un recorrido de 4 Km. Del poblado de Mesillas al sitio del eje de la presa, se toma una vereda de 3 Km. por la margen derecha del arroyo Coyotes

La figura 3.1 muestra un mapa de la localización del proyecto.

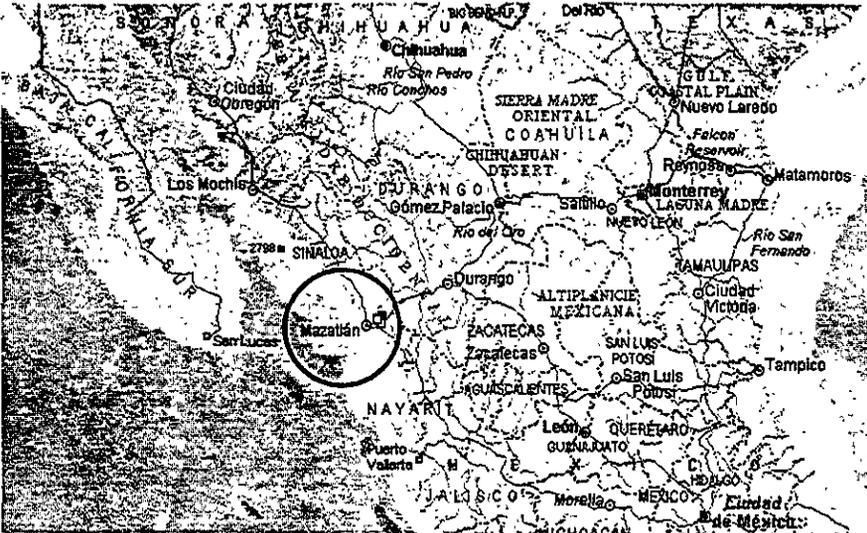


FIGURA 3.1

Condiciones hidrológicas y fisiográficas

Para evaluar las características climatológicas del arroyo Coyotes se recopiló información disponible en las estaciones aledañas, de cuyo análisis se determinó que Concordia, Siqueiros, Rosario, Pánuco y el Palmito son las que tienen mayor influencia a la zona en estudio. La estación climatológica más cercana al sitio del proyecto es la de Concordia, localizada al Noroeste de la cuenca en estudio y cercana al borde de su parteaguas.

El arroyo Coyotes se clasifica como intermitente, y que no conduce agua todo el año, la temperatura media anual es de 24.8° C y la precipitación media anual es de 804.8 mm con un promedio de lluvias de junio a enero.

En la corriente del arroyo, donde se localiza el proyecto, no se cuenta con estación hidrométrica que registre sus escurrimientos, por lo cual se recopiló información hidrométrica de la región, encontrándose que la estación El Dorado que se localiza sobre el arroyo del mismo nombre, presenta características fisiográficas similares a la que se está estudiando por lo que, en una primera alternativa de generación se analizó la probabilidad de trasladar esta información. Otra alternativa de generación de escurrimientos fue por medio de la aplicación de diversas metodologías que emplean las características fisiográficas de la cuenca, tales como área, cobertura vegetal, pendiente media, etc., así como el análisis climatológico de la zona. Los escurrimientos a nivel mensual se obtuvieron por medio de la distribución de precipitación observada en la estación climatológica Concordia.

A partir de esta recopilación y generación de datos se obtuvieron series históricas de, escurrimiento, evaporación neta y precipitación, las cuales se muestran en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

Por otro lado, se cuenta con las curvas de elevaciones-áreas-capacidades del embalse, mismas que se observan en la tabla 3.4 y en las figuras 3.2 y 3.3.

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

ESCURRIMIENTOS MENSUALES (MILES DE M³)
PROYECTO COVOTES

	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	116.80	0.00	0.00	0.00	0.00	412.40	1092.80	1945.00	1168.40	240.60	0.00	208.20	5182.20
2	1968	355.20	247.80	247.80	0.00	0.00	0.00	1090.50	1206.20	3288.10	313.90	917.00	247.80	7914.30
3	1969	17.40	191.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1824.80	2567.80	1429.40	2029.00	26.10	608.20	8694.00
4	1970	105.60	88.00	0.00	0.00	0.00	1355.10	1610.30	1451.90	4434.90	0.00	0.00	0.00	9045.80
5	1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	599.00	1703.80	2851.50	2478.10	319.50	0.00	0.00	8331.90
6	1972	349.70	0.00	0.00	0.00	0.00	608.40	1368.70	3336.80	1728.40	2118.00	1668.40	929.10	12108.50
7	1973	47.90	319.20	0.00	0.00	0.00	824.10	1292.10	1808.90	1960.90	121.60	0.00	81.60	6508.20
8	1974	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.20	1013.90	2172.40	2157.30	115.40	115.40	548.90	6517.80
9	1975	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2105.90	1085.50	1049.20	1280.90	0.00	0.00	5536.10
10	1976	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	319.30	1375.70	1359.90	849.20	310.20	553.00	188.80	4956.60
11	1977	153.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	751.20	752.30	735.30	406.00	21.90	0.00	2826.20
12	1978	0.00	194.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1276.90	1151.70	1370.80	56.30	0.00	0.00	4049.70
13	1979	582.90	13.00	0.00	0.00	0.00	64.80	1055.70	2247.40	356.20	0.00	0.00	0.00	4320.00
14	1980	64.60	86.10	0.00	0.00	0.00	141.50	1643.50	1916.20	732.00	897.10	215.30	0.00	5698.20
15	1981	356.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1122.20	1431.20	576.80	2000.90	14.20	0.00	5511.20
16	1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1429.00	1056.50	1071.70	1352.90	691.70	532.10	6133.90
17	1983	338.00	173.40	560.40	0.00	569.20	17.80	2508.20	1947.90	1823.40	1087.40	26.70	355.80	9348.40
18	1984	721.90	0.00	0.00	0.00	0.00	750.00	1051.40	1710.70	848.10	0.00	294.40	448.60	5433.10
19	1985	916.70	14.70	0.00	0.00	0.00	105.20	1259.90	1574.90	877.70	516.90	0.00	114.50	5698.20
20	1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1087.80	1846.60	1054.50	711.90	0.00	107.40	4828.00
21	1987	0.00	153.80	0.00	0.00	0.00	0.00	846.10	504.80	386.50	0.00	0.00	0.00	2091.20
22	1988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	336.50	1436.50	1436.50	7.10	0.00	209.70	3454.50
23	1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	988.20	1845.60	793.80	0.00	728.90	336.20	4692.70
24	1990	147.50	22.70	0.00	0.00	0.00	804.70	1828.30	519.10	1411.40	476.00	0.00	0.00	5210.20
25	1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	318.20	1978.10	753.90	116.80	1174.50	173.80	4515.30
26	1992	2031.70	195.70	0.00	0.00	0.00	199.50	1213.80	1766.30	1323.50	133.10	0.00	514.70	7378.20
	SUMA	6319.60	1659.20	808.20	0.00	569.20	7240.50	33213.90	42919.70	36306.40	14689.20	6667.50	5605.50	159990.00
	MEDIA	241.16	63.82	11.08	0.00	21.90	278.48	1277.46	1650.76	1196.40	564.97	256.44	215.60	5999.96

TABLA 3 I

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

EVAPORACIÓN NETA (mm)
ESTACIÓN: CONCORDIA

	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	42.80	79.30	125.40	150.20	165.30	73.60	-65.10	-200.90	-95.70	35.10	64.90	11.30	386.20
2	1968	19.70	63.20	63.20	117.80	164.00	130.10	-15.00	-49.00	-311.00	46.70	-51.60	9.20	187.30
3	1969	56.10	33.30	114.00	133.20	148.60	130.40	-84.50	-204.60	-78.30	-159.70	49.70	-30.10	108.10
4	1970	38.80	58.80	98.60	140.10	172.50	7.70	-72.10	-72.60	-415.50	90.90	60.10	53.10	160.40
5	1971	64.90	82.40	127.80	134.80	162.50	22.50	-103.20	-245.90	-216.50	32.20	59.90	44.00	165.40
6	1972	13.40	73.60	119.40	138.60	165.60	55.30	-35.40	-247.80	-82.90	-131.90	-117.00	-56.10	-105.20
7	1973	40.60	18.20	91.60	124.30	138.60	17.40	-56.80	-143.30	-181.00	65.60	68.50	49.40	233.10
8	1974	65.50	89.30	114.00	154.80	152.30	136.80	-29.80	-174.90	-196.80	66.20	14.50	-33.50	358.40
9	1975	46.50	71.60	122.40	150.90	177.10	143.90	-179.40	-56.10	-58.80	-83.80	70.10	52.90	457.30
10	1976	66.20	98.60	127.80	149.40	177.90	70.80	-99.30	-95.00	-52.90	40.20	-28.10	6.70	482.30
11	1977	19.70	80.90	116.90	144.00	160.20	153.20	-32.50	-76.30	-52.40	3.80	52.20	54.70	674.40
12	1978	63.80	34.50	120.10	140.10	164.80	184.90	-60.80	-78.50	-136.60	65.70	72.40	61.90	632.30
13	1979	-19.20	75.80	116.30	144.00	169.50	167.10	-19.80	-240.00	33.60	99.30	82.40	53.40	662.40
14	1980	62.60	72.70	122.40	152.00	185.60	169.40	-102.70	-183.10	-20.40	-45.70	31.90	62.40	509.10
15	1981	6.20	80.10	107.90	137.10	172.50	125.40	-58.10	-105.50	-6.30	-207.90	57.30	57.80	366.50
16	1982	65.50	86.20	125.50	149.40	162.50	148.70	-77.90	-48.10	-54.80	-92.50	-27.90	-25.30	411.30
17	1983	7.40	48.90	24.00	121.70	80.80	129.70	-176.50	-134.60	-131.50	-51.60	55.80	14.50	-11.40
18	1984	-58.10	67.00	100.90	114.70	143.20	17.70	-73.20	-96.10	-27.80	80.90	27.10	-12.30	284.00
19	1985	-81.80	61.80	114.30	125.50	164.80	92.80	-70.50	-106.00	-37.80	5.10	69.30	44.10	381.60
20	1986	68.00	76.60	138.60	138.60	154.80	150.30	-45.70	-188.00	-79.20	-41.40	58.40	32.20	469.20
21	1987	53.70	44.20	114.70	138.30	161.70	148.60	-65.40	-12.30	-39.50	80.30	62.60	50.30	737.20
22	1988	57.70	76.20	114.10	137.60	162.70	145.40	53.00	-157.60	-163.10	79.10	62.60	14.40	582.10
23	1989	57.20	76.20	114.70	138.30	162.70	146.70	-38.60	-186.00	-37.40	80.30	-47.50	-0.50	466.10
24	1990	36.40	72.90	114.70	137.90	161.90	33.60	-152.90	15.00	-120.90	11.60	62.60	47.20	420.00
25	1991	57.70	75.70	114.70	138.30	162.70	146.00	-61.80	-20.70	-33.10	62.40	-117.50	33.60	481.60
26	1992	-194.10	51.90	108.90	138.30	162.70	124.90	-39.80	-126.20	-81.50	63.80	61.80	-13.50	257.20
	SUMIA	657.20	1749.90	2872.90	3589.90	4157.50	2878.90	-1640.20	-3404.10	-2678.10	194.70	756.30	571.80	9706.90
	MEDIA	25.28	67.30	110.50	138.07	159.90	110.73	-63.08	-130.93	-103.00	7.49	29.10	21.99	373.34

TABLA 3.2

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

PRECIPITACIÓN PLUVIAL (mm)
ESTACIÓN: CONCORDIA

	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1967	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00	159.00	283.00	170.00	35.00	0.00	30.00	754.00
2	1968	43.00	30.00	30.00	0.00	0.00	0.00	132.00	146.00	398.00	38.00	111.00	30.00	958.00
3	1969	2.00	22.00	0.00	0.00	0.00	9.00	210.00	295.50	164.50	233.50	3.00	70.00	1009.50
4	1970	12.00	10.00	3.00	0.00	0.00	154.00	183.00	165.00	504.00	0.00	1.00	0.00	1032.00
5	1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.00	201.00	336.00	292.00	40.00	1.00	3.00	986.00
6	1972	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.00	137.00	334.00	173.00	212.00	167.00	93.00	1212.00
7	1973	6.30	42.00	0.00	0.00	0.00	115.00	170.00	238.00	258.00	16.00	0.00	11.00	858.30
8	1974	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	18.00	133.00	285.00	283.00	20.00	44.00	72.00	859.00
9	1975	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	291.00	150.00	145.00	177.00	0.00	1.00	783.00
10	1976	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.00	204.00	172.00	126.00	46.00	82.00	28.00	735.00
11	1977	28.00	0.00	4.00	0.00	0.00	10.00	138.00	137.10	134.00	74.00	4.00	0.00	529.10
12	1978	2.00	31.00	0.00	0.00	0.00	1.00	204.00	184.00	219.00	9.00	0.00	2.00	654.00
13	1979	90.00	2.00	0.00	0.00	3.00	10.00	163.00	347.00	55.00	0.00	0.00	9.00	679.00
14	1980	9.00	12.00	0.00	0.00	0.00	20.00	229.00	267.00	102.00	125.00	30.00	0.00	796.00
15	1981	50.00	0.00	3.00	0.00	0.00	4.00	159.00	201.00	81.00	281.00	2.00	0.00	781.00
16	1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00	188.00	139.00	141.00	178.00	91.00	70.00	830.00
17	1983	38.00	15.00	63.00	0.00	64.00	2.00	282.00	219.00	205.00	120.00	3.00	40.00	1051.00
18	1984	103.00	0.00	0.00	0.00	0.00	107.00	150.00	187.00	121.00	0.00	42.00	64.00	774.00
19	1985	128.00	2.00	0.00	0.00	0.00	55.00	176.00	220.00	124.00	75.00	0.00	16.00	796.00
20	1986	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	162.00	275.00	157.00	109.00	0.00	16.00	724.00
21	1987	4.00	32.00	0.00	0.00	1.00	1.00	176.00	105.00	122.00	s.d	s.d.	s.d	441.00
22	1988	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	4.10	57.60	250.30	245.60	1.20	0.00	35.90	595.90
23	1989	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	149.30	278.80	119.90	0.00	110.10	50.80	712.30
24	1990	21.30	3.30	0.00	0.30	0.80	116.00	263.50	71.70	203.40	68.70	0.00	3.00	758.00
25	1991	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	3.60	48.80	303.40	115.60	17.90	180.10	26.70	696.60
26	1992	251.80	24.30	5.80	0.00	0.00	24.70	150.40	218.90	164.00	16.50	0.90	63.80	921.10
	SUMA	842.90	231.10	109.40	4.90	72.80	1010.30	4516.60	5814.70	4823.00	1892.80	872.10	735.20	20925.80
	MEDIA	32.42	8.89	4.21	0.19	2.80	38.86	173.72	223.64	185.50	72.80	33.54	28.28	804.84

TABLA 3.3

CURVAS DE ÁREAS Y CAPACIDADES

ELEVACIONES	ÁREAS	CAPACIDADES
120	0,00	0,000
121	0,30	0,002
122	1,54	0,011
123	2,94	0,033
124	4,43	0,070
125	6,74	0,126
126	9,69	0,208
127	12,39	0,318
128	15,21	0,456
129	18,04	0,622
130	20,86	0,817
131	24,55	1,044
132	28,23	1,308
133	31,92	1,609
134	35,60	1,946
135	39,29	2,321
136	44,71	2,741
137	50,13	3,215
138	55,56	3,743
139	60,98	4,326
140	66,40	4,963
141	72,28	5,656
142	78,16	6,409
143	84,04	7,220
144	89,92	8,089
145	95,80	9,018
146	103,04	10,012
147	110,29	11,079
148	117,53	12,218
149	124,77	13,429
150	132,01	14,713

TABLA 3.4

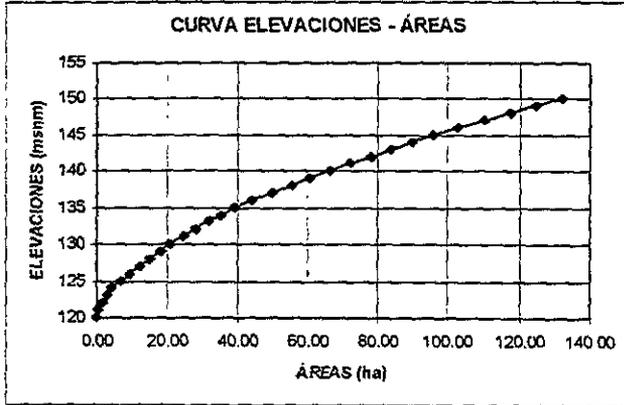


FIGURA 3.2

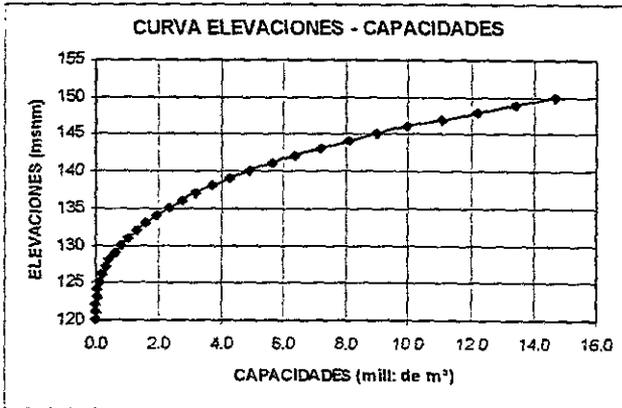


FIGURA 3.2

Algunas consideraciones

Para fines de esta tesis, se harán algunas simplificaciones que permitan trabajar con mayor facilidad en la aplicación de los diversos métodos descritos en el capítulo anterior y así poder definir fácilmente las principales características de la presa. Basándose en estas simplificaciones, se determinarán los niveles y capacidades que definirán, a final de cuentas, las dimensiones del embalse.

En lo referente a la demanda por satisfacer, se mencionó anteriormente que se requiere dotar de agua a cuatro poblaciones y a zonas de riego. Sin embargo, el objetivo de la tesis es la comprensión de diversos métodos de dimensionamiento de vaso y no el satisfacer óptimamente un requerimiento, por lo cual el gasto de demanda considerado se propone a través de la utilización de estos métodos y no a partir de la dotación para las cuatro poblaciones antes mencionadas y las zonas de riego. Además, para lograr una mejor comprensión de los resultados que se obtengan a partir de los métodos de dimensionamiento de vasos, es recomendable utilizar una demanda constante. De este modo se utilizará una demanda de 400 mil m^3 /mes durante todo el año, a lo largo del período de estudio.

Por otro lado, se debe analizar la capacidad de azolves, mismos que se dan por erosión, transporte y depósito de partículas sólidas. Este análisis se realiza en las estaciones hidrométricas, midiendo y llevando un registro de sólidos en suspensión en volumen y en peso para obtener un porcentaje del gasto total que es "gasto sólido". Con esto podemos estimar el volumen de sólidos acumulados en el período de medición y extrapolar linealmente a la vida útil de la presa; también se considera el arrastre de fondo multiplicando el volumen obtenido anteriormente por un factor de arrastre que puede variar entre 1.05 y 1.30. En este análisis se cuidará de incluir las posibilidades de modificación del uso del suelo de la cuenca, mismo que puede incrementar el volumen de azolves. Con base en lo anterior se hace la consideración de que durante la vida útil de la presa, el embalse contendrá 600 mil m^3 de azolves, mismos que se depositarán formando un plano horizontal en el fondo del embalse.

MÉTODOS DETERMINÍSTICOS

Para poder realizar una comparación, se aplicarán algunos de los métodos determinísticos al Proyecto Coyotes con las suposiciones realizadas en el capítulo anterior. Como ya se mencionó anteriormente, estos métodos se basan en la aplicación, a lo largo del tiempo, de la ecuación de continuidad, es decir, entradas menos salidas igual a cambio en el almacenamiento.

El primer paso es determinar la capacidad útil que requerimos para satisfacer nuestras necesidades. Es posible llegar a una primera aproximación de esta capacidad utilizando los datos mensuales de escurrimientos y las demandas, despreciando otros factores de menor importancia. Para esta primera estimación se suele utilizar el método de la Curva Masa, el Diagrama de Rippl, o bien, el llamado Algoritmo del Pico Secuente.

Curva Masa y Algoritmo del Pico Secuente

La Curva Masa es una gráfica de volúmenes acumulados contra tiempo. Esta curva se crea con los datos de escurrimiento de la tabla 3.1 por un lado y por otro, los datos de demanda. Los datos graficados son acumulados mensualmente. La fig. 4.1 muestra la curva masa con los datos de la estación Concordia. La pendiente (m) de la curva es el gasto que pasa por el sitio; cuando m de la curva de demandas es mayor que la de escurrimiento, el gasto demandado es mayor que el aportado por el río y viceversa. Esta curva masa es muy útil cuando las demandas son constantes, como es nuestro caso.

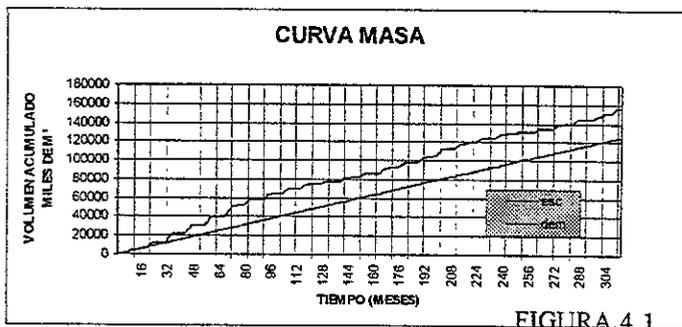


FIGURA 4.1

La demanda se va variando hasta lograr que la pendiente de la misma sea lo más cercano posible a la pendiente promedio del escurrimiento. De este modo, en la gráfica se observa una pendiente de 400 miles de m³ al mes, lo que equivale a un gasto de 154.32 l/seg.

También es posible aplicar el método del Pico Secuente para obtener una capacidad útil del embalse. Aunque este método suele utilizarse para demandas variables, también es muy útil para demandas constantes y tiene la ventaja de ser muy fácil de aplicar. Estrictamente, este proceso es la solución aritmética del método gráfico utilizado en la curva masa. Este método sigue los siguientes pasos:

- a) Calcular la entrada neta al vaso ($E_i - D_i$) para $i = 1, 2, \dots, 2T$ y la entrada neta acumulada:

$$\sum_{j=1}^i (E_j - D_j) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 2T.$$

Donde: E = escurrimiento
 D = Demanda
 T = Tiempo total de la serie de datos

- b) Hallar el primer pico de las entradas netas acumuladas, P_1 ; esto es, el primer volumen máximo que se genere en los valores de entrada neta acumulada.
- c) Encontrar el pico secuente, P_2 , es decir, el siguiente pico mayor que P_1 .
- d) Hallar el valor más bajo V_1 entre P_1 y P_2 . La diferencia entre P_1 y V_1 equivale al volumen S_1 . Los valores de V , al igual que P son volúmenes de entradas netas acumuladas.
- e) Encontrar el pico secuente P_3 mayor que P_2 .
- f) Encontrar V_2 entre P_2 y P_3 y calcular S_2 .
- g) Repetir lo dos pasos anteriores para todos los picos hasta $2T$. El método se realiza hasta $2T$ para poder eliminar los efectos iniciales en la serie, es decir, las entradas netas acumuladas en un principio sólo dependen de las entradas y las, mientras que al repetir la serie, ya contamos con volumen acumulado en los primeros meses de la segunda vuelta de simulación.

La capacidad útil mínima necesaria para que no se tenga déficit en el período de datos es: $S_o = \max(P_j - V_j) \quad \forall_j$

Se realizan estos cálculos con los datos de la Estación Concordia para el Proyecto Coyotes. Para ejemplificar el método, en la tabla 4.1 se presenta los resultados de la aplicación del método con los datos de la estación Concordia para los primeros 34 meses; el resto de los cálculos se aprecia en el Anexo I de esta tesis. En esta tabla, la primera columna muestra la consecución de meses; la segunda y la tercera corresponden a las entradas mensuales y las demandas, que en este caso es constante; la cuarta columna es la diferencia entre entradas y salidas; la quinta muestra el acumulado de la columna anterior y finalmente en la sexta columna se aprecian los cálculos entre picos sucesivos.

MES	X_i	D_i	$(X_i - D_i)$	$(X_i - D_i)_{ACUM}$	
1	116.8	400	-283.2	-283.2	
2	0	400	-400	-683.2	
3	0	400	-400	-1083.2	
4	0	400	-400	-1483.2	
5	0	400	-400	-1883.2	
6	412.4	400	12.4	-1870.8	
7	1092.8	400	692.8	-1178	
8	1945	400	1545	367	
9	1168.4	400	768.4	1135.4	
10	240.6	400	-159.4	976	
11	0	400	-400	576	
12	206.2	400	-193.8	382.2	
13	355.2	400	-44.8	337.4	
14	247.8	400	-152.2	185.2	
15	247.8	400	-152.2	33	
16	0	400	-400	-367	
17	0	400	-400	-767	1135.4
18	0	400	-400	-1167	-1167
19	1090.5	400	690.5	-476.5	2302.4
20	1206.2	400	806.2	329.7	
21	3288.1	400	2888.1	3217.8	
22	313.9	400	-86.1	3131.7	
23	917	400	517	3648.7	
24	247.8	400	-152.2	3496.5	
25	17.4	400	-382.6	3113.9	
26	191.2	400	-208.8	2905.1	
27	0	400	-400	2505.1	
28	0	400	-400	2105.1	
29	0	400	-400	1705.1	3648.7
30	0	400	-400	1305.1	1305.1
31	1824.8	400	1424.8	2729.9	2343.6
32	2567.8	400	2167.8	4897.7	
33	1429.4	400	1029.4	5927.1	
34	2029	400	1629	7556.1	

TABLA 4.1

El resumen de esta última columna se aprecia en la tabla 4.2, en donde observamos que la capacidad útil es de 7146.9 miles de m^3 . Como se mencionó en el capítulo anterior, se considera un total de 600 mil m^3 de azolve, de tal forma que, si consideramos a la capacidad muerta igual a la capacidad de azolve, entonces nuestra capacidad útil más la muerta es igual a 7746.9 miles de m^3 .

DIFERENCIAS ENTRE PICOS Y VALLES	
Diferencias	Diferencias en orden ascendente
2302.4	1592
2343.6	1632.9
1972	1695.6
3200	1972
2510.8	2302.4
1632.9	2343.6
3257.6	2385.5
2385.5	2510.8
5953.2	3085.5
1695.6	3200
1592	3257.6
3085.5	5953.2
7146.9	7146.9
La capacidad útil mínima necesaria es de 7146.9 Miles de m^3	

TABLA 4.2

Para demostrar que esta es la capacidad útil mínima necesaria para no tener déficits en la presa, basta con agregar dos columnas a la tabla 4.1. La primera contendrá los volúmenes en el embalse considerando que el volumen inicial es 7,146.9 miles de m^3 . La segunda cuantificará los derrames de la presa si su capacidad máxima es 7,146.9 miles de m^3 . Los resultados se encuentran en el Anexo 2, en el cual se aprecia que en la columna de volúmenes no se tiene ningún número negativo y por lo tanto ningún déficit, tal como se mencionó al plantear el método. También sabemos que en total se presentarán 64,691.70 miles de m^3 de derrames.

Para obtener la elevación del NAMO es necesario sumar a la capacidad útil, la capacidad muerta que es de 600,000 m³. Esto representa un total de 7,746.9 miles de m³.

Al entrar a la curva elevaciones - capacidades se determina que el NAMO está a la elevación 143.61 m.s.n.m. Si se considera esta capacidad para establecer el NAMO, no deberán presentarse déficits en la dotación de la demanda pero se se presentarán escurrimientos que provoquen derrames en algunas épocas, como se observó en el anexo 2.

Funcionamiento de Vaso

Como se mencionó en el capítulo anterior, el funcionamiento de vaso está basado en la ecuación fundamental de la continuidad, que en forma muy simple es:

$$E - S = \Delta V$$

donde: E = volumen de estradas al vaso en el intervalo Δt
 S = volumen de salidas del vaso en el intervalo Δt
 ΔV = cambio de volumen almacenado en el intervalo Δt

Usualmente Δt se toma igual a un mes pero depende del tamaño del embalse y de las condiciones específicas del sitio.

Las entradas al vaso pueden ser:

- E_C = entradas por cuenca propia
- E_T = entradas por transferencia de otras cuencas
- E_P = entradas por lluvia directa sobre el vaso

Para el caso que nos ocupa, sólo se consideran E_C y E_P .

Por otro lado, las salidas se componen de:

- S_D = volumen que se extrae para satisfacer la demanda
 - S_E = volumen de evaporación directa en el vaso
 - S_I = volumen de infiltración
 - S_{DERR} = volumen que se derrama por la obra de excedencias (resultado del cálculo).
-

Para la finalidad de esta tesis, se consideran S_D , S_E y S_{DERR} .

Una vez conocidas las series de datos de entradas y salidas, se puede iniciar el proceso de simulación del funcionamiento del vaso, con el cual se establecerá definitivamente el valor de la capacidad útil y, en consecuencia, la elevación del NAMO. El proceso de simulación es como sigue:

El cambio de volumen almacenado ΔV se puede escribir como:

$$\Delta V = V_{i+1} - V_i$$

donde: V_i = Volumen almacenado al inicio del intervalo
 V_{i+1} = Volumen almacenado al final del intervalo

de donde podemos despejar V_{i+1}

$$V_{i+1} = V_i + \Delta V$$

$$V_{i+1} = V_i + E_i - S_i$$

$$V_{i+1} = V_i + (E_c + E_T)_i - S_{D_i} + (E_p - S_E)_i$$

Tanto E_p como S_E se calculan con la altura de precipitación y evaporación multiplicada por el área media del embalse en el intervalo considerado.

$$(E_p - S_E)_i = [(h_p - h_{ev})A_m]_i$$

Además, como se mencionó anteriormente, E_T será despreciado en este caso, por lo que se tiene:

$$V_{i+1} = V_i + E_c - S_{D_i} + [(h_p - h_{ev})A_m]_i$$

donde:

$$A_m = \frac{A_{i+1} + A_i}{2}$$

A_i = área inundada al inicio del intervalo

A_{i-1} = área inundada al final del intervalo

Para resolver la ecuación se procede por tanteos. Para el primer mes es necesario suponer una elevación inicial de la superficie libre del agua (S.L.A.); una primera simulación puede realizarse considerando que la elevación inicial

corresponde al NAMO, para lo cual se utiliza la capacidad útil calculada con el método del pico secante.

En todos los meses de la simulación se debe cumplir que:

$$V_{\text{NAMIN}} \leq V_i \leq V_{\text{NAMO}}$$

El cálculo comienza en el primer mes, $i = 0$, donde:

V_0 = volumen al NAMO

A_0 = área inundada al NAMO

En la primera aproximación de V_1^I se desprecian los términos dependientes del área media.

$$V_1^I = V_0 + Ec_0 - S_{D0}$$

con V_1^I podemos calcular H_1^I , y con H_1^I podemos calcular A_1^I , con lo cual obtenemos:

$$Am^I = \frac{A_1^I + A_0}{2}$$

ahora, ya se tiene suficientes datos para conocer una primera iteración de:

$$(Ep - S_E)_0^I = [(hp - hev)Am^I]_0$$

hacemos una segunda aproximación de V_1^I con la ecuación completa:

$$V_1^{II} = V_0 + Ec_0 - S_{D0} + (Ep - S_E)_0^I$$

con V_1^{II} podemos calcular H_1^{II} , y con H_1^{II} podemos calcular A_1^{II} , con lo cual obtenemos:

$$Am^{II} = \frac{A_1^{II} + A_0}{2}$$

así como:

$$(Ep - S_E)_0^{II} = [(hp - hev)Am^{II}]_0$$

hacemos una tercera aproximación:

$$V_i^{III} = V_0 + EC_0 - S_{D0} + (E_p - S_E)_0^{II}$$

Se termina de iterar cuando V_i^{k-1} es suficientemente parecido a V_i^k .

Para calcular el segundo mes, los datos finales del primer mes corresponden a los datos iniciales del segundo.

Ahora bien, cuando en alguno de los meses no se cumpla la restricción $V_{NAMO} \leq V_{i-1} \leq V_{NAMO}$, entonces se procede como sigue:

a) Si V_{i-1} es mayor que V_{NAMO} :

$$\begin{aligned} S_{DERR} &= V_{i+1} - V_{NAMO} \\ V_{i+1} \text{ (corregido)} &= V_{NAMO} \end{aligned}$$

b) Si V_{i-1} es menor que V_{NAMO} , se repite la iteración, pero sin considerar S_D :

b.1) V_{i-1} continua siendo menor que V_{NAMO} . En este caso:

$$\begin{aligned} V_{DEFICIENCIA} &= S_{Di} \quad \text{y} \\ V_{i-1} &= V_{NAMO} \end{aligned}$$

b.2) V_{i-1} es mayor que V_{NAMO} . En este caso, la diferencia entre V_{i-1} y V_{NAMO} es el volumen surtido.

$$\begin{aligned} V_{SURTIDO} &= V_{i+1} - V_{NAMO} \\ V_{DEFICIENCIA} &= S_{Di} - V_{SURTIDO} \\ V_{i-1} &= V_{NAMO} \end{aligned}$$

En la figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo de la simulación del funcionamiento de vaso.

La capacidad útil y por lo tanto, el NAMO calculados con el método del Pico Secuente, nos servirán como datos iniciales para realizar el dimensionamiento por medio de la Simulación del Funcionamiento de Vaso.

El proceso de simulación se realiza variando la capacidad útil y la elevación inicial hasta encontrar el dimensionamiento más adecuado, es decir, con una relación costo - beneficio óptima.

Los objetivos y alcances de esta tesis no demandan la ejecución de muchas simulaciones, ya que lo que se busca es la comparación cualitativa de los métodos, por lo tanto, se realiza el funcionamiento con la capacidad útil obtenida con el método del pico secuento que es considerar el NAMO a la elevación 143.61 m. s. n. m.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO

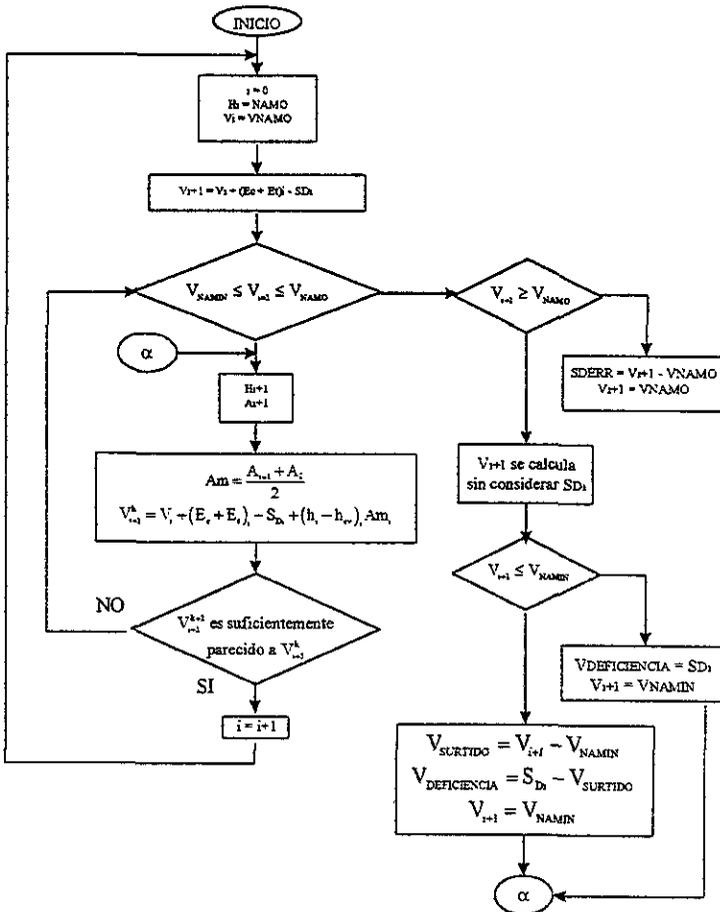


FIGURA 4.2

Para mayor agilidad y facilidad en los cálculos, se programó el funcionamiento de vaso en lenguaje QBASIC. Este programa se muestra a continuación:

```

DECLARE SUB IMPRESION ()
DECLARE SUB INTERPOLAAREA ()
DECLARE SUB INTERPOLAELEV ()
DECLARE SUB DERRAME ()
DECLARE SUB DEFICIENCIA ()
DECLARE SUB INTERPOLAVOL ()
    
```

- * SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN VASO
- * EDUARDO DE LUNA DUARTE

CLS

LAS VARIABLES INVOLUCRADAS SON:

```

N = NUMERO DE MESES POR SIMULAR
NAC = NUMERO DE ORDENADAS DE LAS CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES
VE(I) = VOLUMEN DE ENTRADA
VOL(I,J) = CURVA DE AREAS Y CAPACIDADES
VS(I) = VOLUMEN DE SALIDA
DERR(I) = DERRAME
DS(I) = DEMANDA SURTIDA
DEFIC(I) = DEFICIENCIA
HVEN(I) = EVAPORACION NETA
LDEM(I) = LEY DE DEMANDAS
NAMO = NIVEL DE AGUA MAXIMO EXTRAORDINARIO
NAMIN = NIVEL DE AGUA MINIMO EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION
    
```

DIMENSIONA ARREGLOS

```

DIM SHARED I, J, NAC, ELEV, AREA, AREA1, VPRIMERA, VOL, V(500)
DIM SHARED VE(500), VOL(40, 3), VS(500), DERR(500), DS(500)
DIM SHARED DEFIC(500), HEVN(500), LDEM(12), NAMO, NAMIN, VOLNAMO
DIM SHARED N, VOLNAMIN, NINIC, DEM(500), VENETA(500), ITER
    
```

* LEE DATOS

* LEE UN ARCHIVO DE DATOS ESTILO PROGRAMA DE FORTRAN PERO CON FORMATO LIBRE

ABRE EL ARCHIVO DE DATOS

OPEN "SFV1.PRN" FOR INPUT AS #1

ABRE EL ARCHIVO DE RESULTADOS

OPEN "SFV1.OUT" FOR OUTPUT AS #2

LEE NUMERO DE MESES DE LA SIMULACION

INPUT #1, N

LEE VOLUMEN DE ENTRADA Y EVAPORACION NETA PARA LOS N MESES

FOR I = 1 TO N

INPUT #1, VE(I)

NEXT I

FOR I = 1 TO N

INPUT #1, HEVN(I)

NEXT I

LEE LA CURVA DE ELEVACIONES CAPACIDADES

INPUT #1, NAC

FOR I = 1 TO NAC

INPUT #1, ELEV, AREA, VOLUMEN

VOL(I, 1) = ELEV

VOL(I, 2) = AREA

VOL(I, 3) = VOLUMEN

NEXT I

LEE LA LEY DE DEMANDAS PROMEDIO MENSUAL

FOR I = 1 TO 12

INPUT #1, LDEM(I)

NEXT I

LEE NAMO, NAMIN Y NIVEL INICIAL

INPUT #1, NAMIN, NAMO, NINIC

DETERMINA VOLUMEN AL NAMO, AL NAMIN Y VOLUMEN INICIAL

ELEV = NAMO

INTERPOLAVOL

VOL.NAMO = VOL

ELEV = NAMIN

INTERPOLAVOL

VOL.NAMIN = VOL

ELEV = NINIC

INTERPOLAVOL

V(0) = VOL

INTERPOLAAREA

AREAI = AREA

DETERMINA DEMANDAS MENSUALES PARA TODO EL PERIODO

```

K = 1
FOR I = 1 TO N
    IF K > 12 THEN K = 1
    DEM(I) = LDEM(K)
    K = K + 1
NEXT I
    
```

INICIA LOS CÁLCULOS

```

FOR I = 1 TO N
    LOCATE 1, 1
    PRINT "CALCULANDO EL MES: "; I

    PRIMERA ITERACION
    ITER = 0
    V(I) = V(I - 1) + VE(I) - DEM(I)
    VPRIMERA = V(I)
    DS(I) = DEM(I)
    IF V(I) > VOLNAMO THEN DERRAME
    IF V(I) < VOLNAMIN THEN DEFICIENCIA

1    VOL = V(I)
    INTERPOLAELEV
    INTERPOLAAREA

    VENETA(I) = HEVN(I) * ((AREA + AREAI) / 2) / 100000
    V(I) = V(I - 1) + VE(I) - DEM(I) - VENETA(I)
    DS(I) = DEM(I)
    IF V(I) > VOLNAMO THEN DERRAME
    IF V(I) < VOLNAMIN THEN DEFICIENCIA
    ITER = ITER + 1
    IF ITER < 10 AND (VPRIMERA / V(I) < 999 OR VPRIMERA > 1.001) THEN
        VPRIMERA = V(I)
        GOTO 1
    END IF

NEXT I

IMPRESION RESULTADOS EN ARCHIVO

IMPRESION

CLOSE
    
```

SUB DEFICIENCIA

```

V(I) = V(I - 1) + VE(I) - VENETA(I)
IF V(I) < VOLNAMIN THEN
    VENETA(I) = V(I - 1) + VE(I) - VOLNAMIN
    V(I) = VOLNAMIN
    DEFIC(I) = DEM(I)
    DS(I) = 0
ELSE
    DS(I) = V(I) - VOLNAMIN
    DEFIC(I) = DEM(I) - DS(I)
    V(I) = VOLNAMIN
END IF

```

END SUB

SUB DERRAME

```

DERR(I) = V(I) - VOLNAMO
V(I) = VOLNAMO

```

END SUB

SUB IMPRESION

```

PRINT #2, "SIMULACION DE FUNCIONAMIENTO DE VASO"
PRINT #2,
PRINT #2, "    ELEVACION VOLUMEN"
PRINT #2, "    [m]    [mill m3]"
PRINT #2, USING " INICIAL ### ## ###, ##": NINIC, V(0)
PRINT #2, USING " AL NAMIN ##, ## ###, ##": NAMIN, VOLNAMIN
PRINT #2, USING " AL NAMO ##, ## ###, ##": NAMO, VOLNAMO
PRINT #2, USING " CAP. UTIL    ##, ##": VOLNAMO - VOLNAMIN
PRINT #2,

```

FOR I = 1 TO N / 12

```

    PRINT #2, "AÑO:"; I
    PRINT #2, "    Volúmenes en millones de m3"
    PRINT #2, "MES VOL. VOL. DEMANDA DEF- VOL.EV DERRAME
VOL"
    PRINT #2, "    INIC ENTR SURTIDA CIENCIA NETA
FINAL"

```

```

MESCONDEF = 0
SVE = 0
SDS = 0
SDEFIC = 0
SVENETA = 0
SDERR = 0

```



```

PRINT #2, USING "VOLUMEN APROVECHABLE VAP = Vo + SVE - Vn - SEv =
#####,###": V(0) + SVE - V(N) - SVENETA
PRINT #2,
PRINT #2, USING "DEMANDA TOTAL SDT = #####,###"; SDS + SDEFIC
PRINT #2, USING "VOLUMEN TOTAL SURTIDO SDS = #####,###"; SDS
PRINT #2, USING "VOLUMEN TOTAL DE DEFICIENCIA SDEFIC = #####,###";
SDEFIC
PRINT #2, USING "% DE DEFICIENCIA (SDEFIC/SDT x 100) = ###.## %"; SDEFIC / (SDS
+ SDEFIC) * 100
PRINT #2, USING "SE PRESENTARON ### MESES CON DEFICIENCIA"; MESCONDEF
PRINT #2, USING "i.e., EL % DE TIEMPO CON DEFICIENCIA ES DE ###.## %",
MESCONDEF / N * 100
PRINT #2,
PRINT #2, USING "VOLUMEN TOTAL DE DERRAMES SDERR = #####,###"; SDERR
PRINT #2, USING "% DERRAMES = (SDERR/VAPx100) = ###.## %"; SDERR / (V(0) +
SVE -
SVENETA - V(N)) * 100
PRINT #2, USING "SE PRESENTARON ### MESES CON DERRAME"; MESCONDERR
PRINT #2, USING "i.e., EL % DE TIEMPO CON DERRAMES ES DE ###.## %";
MESCONDERR / N * 100

PRINT #2,

PRINT #2, "SERVIDO"

END SUB

SUB INTERPOLAAREA

FOR J= 1 TO NAC
IF ELEV > VOL(J, 1) THEN 21 ELSE 22
21 NEXT J

22 AREA = VOL(J - 1, 2) + (ELEV - VOL(J - 1, 1)) * (VOL(J, 2) - VOL(J - 1, 2)) / (VOL(J, 1) -
VOL(J - 1, 1))

END SUB

SUB INTERPOLAELEV

FOR J= 1 TO NAC
IF VOL > VOL(J, 3) THEN 31 ELSE 32
31 NEXT J
32 ELEV = VOL(J - 1, 1) + (VOL - VOL(J - 1, 3)) * (VOL(J, 1) - VOL(J - 1, 1)) / (VOL(J, 3) -
VOL(J - 1, 3))

END SUB

```

SUB INTERPOLAVOL

```

FOR J = 1 TO NAC
    IF ELEV > VOL(J, 1) THEN 11 ELSE 12
11  NEXT J
12  VOL = VOL(J - 1, 3) + (ELEV - VOL(J - 1, 1)) * (VOL(J, 3) - VOL(J - 1, 3)) / (VOL(J, 1) - VOL(J - 1, 1))
END SUB
    
```

La simulación del funcionamiento de vaso debe realizarse para varias condiciones. La primera condición por analizar se realiza a partir de los resultados obtenidos con el método del Pico Secuente como ya se había comentado con anterioridad.

Para fines prácticos, se considera que el NAMin es igual al NAMu.

1. La primera simulación se realiza con los siguientes datos:

	ELEVACIÓN msnm	VOLUMEN Millones de m ³
Inicial	143.61	7.750
AJ NAMI	128.88	0.600
AJ NAMO	143.61	7.750
Capacidad útil		7.150

Ya que esta simulación se realiza con los datos resultantes del método anterior, es importante colocar el resultado mes a mes para fines de un mejor análisis. Para las demás condiciones sólo se colocará un resumen similar al que aparece al final de la primera corrida

AÑO 1 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	7.751	0.117	0.400	0.000	0.037	0.000	7.431
2	7.431	0.000	0.400	0.000	0.067	0.000	6.963
3	6.963	0.000	0.400	0.000	0.104	0.000	6.459
4	6.459	0.000	0.400	0.000	0.122	0.000	5.937
5	5.937	0.000	0.400	0.000	0.130	0.000	5.407
6	5.407	0.412	0.400	0.000	0.058	0.000	5.361
7	5.361	1.093	0.400	0.000	-0.053	0.000	6.107
8	6.107	1.945	0.400	0.000	-0.176	0.078	7.751
9	7.751	1.168	0.400	0.000	-0.084	0.852	7.751
10	7.751	0.241	0.400	0.000	0.031	0.000	7.561
11	7.561	0.000	0.400	0.000	0.055	0.000	7.106
12	7.106	0.206	0.400	0.000	0.010	0.000	6.902
SUMA ANUAL		5.182	4.800	0.000	0.301	0.929	

AÑO 2 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	6.902	0.355	0.400	0.000	0.017	0.000	6.841
2	6.841	0.248	0.400	0.000	0.053	0.000	6.636
3	6.636	0.248	0.400	0.000	0.052	0.000	6.431
4	6.431	0.000	0.400	0.000	0.095	0.000	5.936
5	5.936	0.000	0.400	0.000	0.129	0.000	5.406
6	5.406	0.000	0.400	0.000	0.100	0.000	4.906
7	4.906	1.091	0.400	0.000	-0.012	0.000	5.609
8	5.609	1.206	0.400	0.000	-0.041	0.000	6.456
9	6.456	3.288	0.400	0.000	-0.273	1.866	7.751
10	7.751	0.314	0.400	0.000	0.041	0.000	7.624
11	7.624	0.917	0.400	0.000	-0.045	0.435	7.751
12	7.751	0.248	0.400	0.000	0.008	0.000	7.591
SUMA ANUAL		7.915	4.800	0.000	0.125	2.301	

AÑO 3 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	7.591	0.017	0.400	0.000	0.048	0.000	7.160
2	7.160	0.191	0.400	0.000	0.028	0.000	6.922
3	6.922	0.000	0.400	0.000	0.095	0.000	6.428
4	6.428	0.000	0.400	0.000	0.108	0.000	5.920
5	5.920	0.000	0.400	0.000	0.117	0.000	5.403
6	5.403	0.000	0.400	0.000	0.100	0.000	4.903
7	4.903	1.825	0.400	0.000	-0.070	0.000	6.398
8	6.398	2.568	0.400	0.000	-0.179	0.994	7.751
9	7.751	1.429	0.400	0.000	-0.069	1.098	7.751
10	7.751	2.029	0.400	0.000	-0.140	1.769	7.751
11	7.751	0.026	0.400	0.000	0.043	0.000	7.334
12	7.334	0.608	0.400	0.000	-0.026	0.000	7.568
SUMA ANUAL		8.693	4.800	0.000	0.055	3.861	

AÑO 4 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	7 568	0.106	0.400	0.000	0.033	0.000	7.241
2	7.241	0.088	0.400	0.000	0.050	0.000	6.879
3	6.879	0.000	0.400	0.000	0.082	0.000	6.397
4	6.397	0.000	0.400	0.000	0.113	0.000	5.884
5	5.884	0.000	0.400	0.000	0.136	0.000	5.348
6	5.348	1.355	0.400	0.000	0.006	0.000	6.297
7	6.297	1.610	0.400	0.000	-0.063	0.000	7.570
8	7.570	1.452	0.400	0.000	-0.064	0.935	7.751
9	7.751	4.435	0.400	0.000	-0.364	4.399	7.751
10	7.751	0.000	0.400	0.000	0.078	0.000	7.273
11	7.273	0.000	0.400	0.000	0.051	0.000	6.822
12	6.822	0.000	0.400	0.000	0.044	0.000	6.378
SUMA ANUAL		9.046	4.800	0.000	0.102	5.334	

AÑO 5 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	6.378	0.000	0.400	0.000	0.053	0.000	5.925
2	5.925	0.000	0.400	0.000	0.065	0.000	5.460
3	5.460	0.000	0.400	0.000	0.098	0.000	4.962
4	4.962	0.000	0.400	0.000	0.101	0.000	4.461
5	4.461	0.000	0.400	0.000	0.118	0.000	3.943
6	3.943	0.959	0.400	0.000	0.017	0.000	4.485
7	4.485	1.706	0.400	0.000	-0.083	0.000	5.874
8	5.874	2.852	0.400	0.000	-0.215	0.791	7.751
9	7.751	2.478	0.400	0.000	-0.190	2.268	7.751
10	7.751	0.340	0.400	0.000	0.028	0.000	7.663
11	7.663	0.000	0.400	0.000	0.051	0.000	7.211
12	7.211	0.000	0.400	0.000	0.037	0.000	6.774
SUMA ANUAL		8.335	4.800	0.000	0.080	3.059	

AÑO 6 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	6.774	0.350	0.400	0.000	0.011	0.000	6.713
2	6.713	0.000	0.400	0.000	0.061	0.000	6.252
3	6.252	0.000	0.400	0.000	0.096	0.000	5.756
4	5.756	0.000	0.400	0.000	0.108	0.000	5.248
5	5.248	0.000	0.400	0.000	0.126	0.000	4.722
6	4.722	0.609	0.400	0.000	0.042	0.000	4.889
7	4.889	1.369	0.400	0.000	-0.029	0.000	5.886
8	5.886	3.337	0.400	0.000	-0.217	1.290	7.751
9	7.751	1.728	0.400	0.000	-0.073	1.401	7.751
10	7.751	2.118	0.400	0.000	-0.116	1.834	7.751
11	7.751	1.668	0.400	0.000	-0.103	1.371	7.751
12	7.751	0.929	0.400	0.000	-0.049	0.578	7.751
SUMA ANUAL		12.108	4.800	0.000	-0.141	6.473	

AÑO 7 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	7,751	0,048	0,400	0,000	0,035	0,000	7,364
2	7,364	0,319	0,400	0,000	0,016	0,000	7,267
3	7,267	0,000	0,400	0,000	0,077	0,000	6,790
4	6,790	0,000	0,400	0,000	0,102	0,000	6,287
5	6,287	0,000	0,400	0,000	0,111	0,000	5,776
6	5,776	0,874	0,400	0,000	0,014	0,000	6,236
7	6,236	1,292	0,400	0,000	-0,049	0,000	7,176
8	7,176	1,809	0,400	0,000	-0,126	0,960	7,751
9	7,751	1,961	0,400	0,000	-0,159	1,720	7,751
10	7,751	0,122	0,400	0,000	0,057	0,000	7,416
11	7,416	0,000	0,400	0,000	0,058	0,000	6,958
12	6,958	0,084	0,400	0,000	0,041	0,000	6,601
SUMA ANUAL		6,509	4,800	0,000	0,179	2,680	

AÑO 8 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	6,601	0,000	0,400	0,000	0,054	0,000	6,147
2	6,147	0,000	0,400	0,000	0,071	0,000	5,675
3	5,675	0,000	0,400	0,000	0,089	0,000	5,187
4	5,187	0,000	0,400	0,000	0,117	0,000	4,669
5	4,669	0,000	0,400	0,000	0,112	0,000	4,157
6	4,157	0,137	0,400	0,000	0,098	0,000	3,796
7	3,796	1,014	0,400	0,000	-0,022	0,000	4,432
8	4,432	2,173	0,400	0,000	-0,145	0,000	6,350
9	6,350	2,157	0,400	0,000	-0,172	0,529	7,751
10	7,751	0,153	0,400	0,000	0,057	0,000	7,446
11	7,446	0,335	0,400	0,000	0,013	0,000	7,369
12	7,369	0,549	0,400	0,000	-0,029	0,000	7,547
SUMA ANUAL		6,518	4,800	0,000	0,243	0,529	

AÑO 9 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	7,547	0,015	0,400	0,000	0,040	0,000	7,122
2	7,122	0,000	0,400	0,000	0,060	0,000	6,662
3	6,662	0,000	0,400	0,000	0,100	0,000	6,162
4	6,162	0,000	0,400	0,000	0,121	0,000	5,641
5	5,641	0,000	0,400	0,000	0,137	0,000	5,104
6	5,104	0,000	0,400	0,000	0,109	0,000	4,595
7	4,595	2,106	0,400	0,000	-0,149	0,000	6,450
8	6,450	1,086	0,400	0,000	-0,048	0,000	7,184
9	7,184	1,049	0,400	0,000	-0,052	0,134	7,751
10	7,751	1,281	0,400	0,000	-0,073	0,954	7,751
11	7,751	0,000	0,400	0,000	0,060	0,000	7,290
12	7,290	0,000	0,400	0,000	0,045	0,000	6,846
SUMA ANUAL		5,537	4,800	0,000	0,350	1,089	

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

AÑO 10 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	6.846	0.000	0.400	0.000	0.055	0.000	6.391
2	6.391	0.000	0.400	0.000	0.080	0.000	5.911
3	5.911	0.000	0.400	0.000	0.101	0.000	5.410
4	5.410	0.000	0.400	0.000	0.115	0.000	4.896
5	4.896	0.000	0.400	0.000	0.132	0.000	4.363
6	4.363	0.519	0.400	0.000	0.053	0.000	4.429
7	4.429	1.376	0.400	0.000	-0.079	0.000	5.484
8	5.484	1.160	0.400	0.000	-0.062	0.000	6.306
9	6.306	0.850	0.400	0.000	-0.045	0.000	6.800
10	6.800	0.310	0.400	0.000	0.034	0.000	6.677
11	6.677	0.553	0.400	0.000	-0.024	0.000	6.853
12	6.853	0.189	0.400	0.000	0.006	0.000	6.637
SUMA ANUAL		4.957	4.800	0.000	0.366	0.000	

AÑO 11 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	6.637	0.154	0.400	0.000	0.016	0.000	6.374
2	6.374	0.000	0.400	0.000	0.065	0.000	5.909
3	5.909	0.000	0.400	0.000	0.092	0.000	5.417
4	5.417	0.000	0.400	0.000	0.111	0.000	4.906
5	4.906	0.000	0.400	0.000	0.119	0.000	4.387
6	4.387	0.000	0.400	0.000	0.111	0.000	3.876
7	3.876	0.757	0.400	0.000	-0.024	0.000	4.257
8	4.257	0.752	0.400	0.000	-0.058	0.000	4.667
9	4.667	0.735	0.400	0.000	-0.041	0.000	5.042
10	5.042	0.406	0.400	0.000	0.003	0.000	5.046
11	5.046	0.022	0.400	0.000	0.039	0.000	4.628
12	4.628	0.000	0.400	0.000	0.040	0.000	4.188
SUMA ANUAL		2.826	4.800	0.000	0.475	0.000	

AÑO 12 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	4.188	0.000	0.400	0.000	0.046	0.000	3.742
2	3.742	0.184	0.400	0.000	0.024	0.000	3.512
3	3.512	0.000	0.400	0.000	0.081	0.000	3.030
4	3.030	0.000	0.400	0.000	0.091	0.000	2.539
5	2.539	0.000	0.400	0.000	0.102	0.000	2.037
6	2.037	0.000	0.400	0.000	0.110	0.000	1.528
7	1.528	1.277	0.400	0.000	-0.039	0.000	2.444
8	2.444	1.152	0.400	0.000	-0.054	0.000	3.250
9	3.250	1.371	0.400	0.000	-0.101	0.000	4.322
10	4.322	0.056	0.400	0.000	0.048	0.000	3.931
11	3.931	0.000	0.400	0.000	0.051	0.000	3.480
12	3.480	0.000	0.400	0.000	0.042	0.000	3.038
SUMA ANUAL		4.050	4.800	0.000	0.400	0.000	

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

AÑO 13 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	3.038	0.583	0.400	0.000	-0.013	0.000	3.234
2	3.234	0.013	0.400	0.000	0.050	0.000	2.797
3	2.797	0.000	0.400	0.000	0.074	0.000	2.323
4	2.323	0.000	0.400	0.000	0.088	0.000	1.835
5	1.835	0.000	0.400	0.000	0.098	0.000	1.337
6	1.337	0.065	0.400	0.000	0.092	0.000	0.910
7	0.910	1.056	0.400	0.000	-0.012	0.000	1.578
8	1.578	2.247	0.400	0.000	-0.170	0.000	3.595
9	3.595	0.366	0.400	0.000	0.024	0.000	3.527
10	3.527	0.000	0.400	0.000	0.067	0.000	3.059
11	3.059	0.000	0.400	0.000	0.054	0.000	2.606
12	2.606	0.000	0.400	0.000	0.033	0.000	2.172
SUMA ANUAL		4.320	4.800	0.000	0.386	0.000	

AÑO 14 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	2.172	0.065	0.400	0.000	0.038	0.000	1.799
2	1.799	0.086	0.400	0.000	0.043	0.000	1.442
3	1.442	0.000	0.400	0.000	0.068	0.000	0.974
4	0.974	0.000	0.293	0.107	0.080	0.000	0.601
5	0.601	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.601
6	0.601	0.144	0.055	0.345	0.089	0.000	0.601
7	0.601	1.644	0.400	0.000	-0.063	0.000	1.908
8	1.908	1.916	0.400	0.000	-0.129	0.000	3.553
9	3.553	0.732	0.400	0.000	-0.015	0.000	3.900
10	3.900	0.897	0.400	0.000	-0.034	0.000	4.431
11	4.431	0.215	0.400	0.000	0.025	0.000	4.221
12	4.221	0.000	0.400	0.000	0.045	0.000	3.776
SUMA ANUAL		5.699	3.948	0.852	0.147	0.000	

AÑO 15 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	3.776	0.356	0.400	0.000	0.004	0.000	3.728
2	3.728	0.000	0.400	0.000	0.055	0.000	3.272
3	3.272	0.000	0.400	0.000	0.072	0.000	2.801
4	2.801	0.000	0.400	0.000	0.087	0.000	2.314
5	2.314	0.000	0.400	0.000	0.105	0.000	1.809
6	1.809	0.000	0.400	0.000	0.073	0.000	1.336
7	1.336	1.132	0.400	0.000	-0.036	0.000	2.104
8	2.104	1.431	0.400	0.000	-0.073	0.000	3.208
9	3.208	0.577	0.400	0.000	-0.004	0.000	3.389
10	3.389	2.001	0.400	0.000	-0.162	0.000	5.152
11	5.152	0.014	0.400	0.000	0.044	0.000	4.722
12	4.722	0.000	0.400	0.000	0.043	0.000	4.280
SUMA ANUAL		5.511	4.800	0.000	0.208	0.000	

AÑO 16 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	4.280	0.000	0.400	0.000	0.047	0.000	3.832
2	3.832	0.000	0.400	0.000	0.060	0.000	3.372
3	3.372	0.000	0.400	0.000	0.084	0.000	2.888
4	2.888	0.000	0.400	0.000	0.096	0.000	2.393
5	2.393	0.000	0.400	0.000	0.100	0.000	1.893
6	1.893	0.000	0.400	0.000	0.087	0.000	1.406
7	1.406	1.429	0.400	0.000	-0.050	0.000	2.485
8	2.485	1.057	0.400	0.000	-0.039	0.000	3.175
9	3.175	1.072	0.400	0.000	-0.040	0.000	3.887
10	3.887	1.353	0.400	0.000	-0.071	0.000	4.911
11	4.911	0.692	0.400	0.000	-0.022	0.000	5.225
12	5.225	0.532	0.400	0.000	-0.020	0.000	5.377
SUMA ANUAL		6.135	4.800	0.000	0.238	0.000	

AÑO 17 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	5.377	0.338	0.400	0.000	0.006	0.000	5.309
2	5.309	0.133	0.400	0.000	0.038	0.000	5.004
3	5.004	0.560	0.400	0.000	0.019	0.000	5.146
4	5.146	0.000	0.400	0.000	0.092	0.000	4.653
5	4.653	0.569	0.400	0.000	0.062	0.000	4.761
6	4.761	0.018	0.400	0.000	0.096	0.000	4.283
7	4.283	2.508	0.400	0.000	-0.147	0.000	6.538
8	6.538	1.948	0.400	0.000	-0.118	0.453	7.751
9	7.751	1.823	0.400	0.000	-0.115	1.538	7.751
10	7.751	1.067	0.400	0.000	-0.045	0.712	7.751
11	7.751	0.027	0.400	0.000	0.048	0.000	7.330
12	7.330	0.356	0.400	0.000	0.012	0.000	7.273
SUMA ANUAL		9.347	4.800	0.000	-0.053	2.704	

AÑO 18 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOL.EV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	7.273	0.722	0.400	0.000	-0.051	0.000	7.646
2	7.646	0.000	0.400	0.000	0.057	0.000	7.188
3	7.188	0.000	0.400	0.000	0.085	0.000	6.704
4	6.704	0.000	0.400	0.000	0.094	0.000	6.210
5	6.210	0.000	0.400	0.000	0.115	0.000	5.695
6	5.695	0.750	0.400	0.000	0.014	0.000	6.030
7	6.030	1.051	0.400	0.000	-0.062	0.000	6.743
8	6.743	1.311	0.400	0.000	-0.084	0.000	7.738
9	7.738	0.848	0.400	0.000	-0.024	0.460	7.751
10	7.751	0.000	0.400	0.000	0.070	0.000	7.281
11	7.281	0.294	0.400	0.000	0.023	0.000	7.152
12	7.152	0.449	0.400	0.000	-0.011	0.000	7.211
SUMA ANUAL		5.425	4.800	0.000	0.227	0.460	

AÑO 19 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	7.211	0.916	0.400	0.000	-0.072	0.048	7.751
2	7.751	0.014	0.400	0.000	0.053	0.000	7.311
3	7.311	0.000	0.400	0.000	0.096	0.000	6.815
4	6.815	0.000	0.400	0.000	0.104	0.000	6.311
5	6.311	0.000	0.400	0.000	0.133	0.000	5.779
6	5.779	0.394	0.400	0.000	0.074	0.000	5.699
7	5.699	1.260	0.400	0.000	-0.059	0.000	6.618
8	6.618	1.575	0.400	0.000	-0.093	0.135	7.751
9	7.751	0.888	0.400	0.000	-0.033	0.521	7.751
10	7.751	0.537	0.400	0.000	0.004	0.133	7.751
11	7.751	0.000	0.400	0.000	0.060	0.000	7.291
12	7.291	0.115	0.400	0.000	0.037	0.000	6.969
SUMA ANUAL		5.699	4.800	0.000	0.305	0.837	

AÑO 20 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	6.969	0.000	0.400	0.000	0.057	0.000	6.512
2	6.512	0.000	0.400	0.000	0.062	0.000	6.050
3	6.050	0.000	0.400	0.000	0.110	0.000	5.539
4	5.539	0.000	0.400	0.000	0.107	0.000	5.032
5	5.032	0.000	0.400	0.000	0.116	0.000	4.516
6	4.516	0.000	0.400	0.000	0.114	0.000	4.002
7	4.002	1.088	0.400	0.000	-0.035	0.000	4.725
8	4.725	1.847	0.400	0.000	-0.155	0.000	6.327
9	6.327	1.054	0.400	0.000	-0.067	0.000	7.049
10	7.049	0.732	0.400	0.000	-0.036	0.000	7.417
11	7.417	0.000	0.400	0.000	0.050	0.000	6.967
12	6.967	0.107	0.400	0.000	0.027	0.000	6.647
SUMA ANUAL		4.828	4.800	0.000	0.350	0.000	

AÑO 21 (Volúmenes en millones de m³)

MES	VOL. INICIAL	VOL. ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL.
1	6.647	0.000	0.400	0.000	0.044	0.000	6.203
2	6.203	0.154	0.400	0.000	0.036	0.000	5.921
3	5.921	0.000	0.400	0.000	0.091	0.000	5.430
4	5.430	0.000	0.400	0.000	0.106	0.000	4.924
5	4.924	0.000	0.400	0.000	0.121	0.000	4.404
6	4.404	0.000	0.400	0.000	0.107	0.000	3.896
7	3.896	0.846	0.400	0.000	-0.049	0.000	4.391
8	4.391	0.505	0.400	0.000	-0.009	0.000	4.505
9	4.505	0.587	0.400	0.000	-0.030	0.000	4.722
10	4.722	0.000	0.400	0.000	0.059	0.000	4.263
11	4.263	0.000	0.400	0.000	0.045	0.000	3.818
12	3.818	0.000	0.400	0.000	0.035	0.000	3.383
SUMA ANUAL		2.092	4.800	0.000	0.556	0.000	

AÑO 22 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	3.383	0.000	0.400	0.000	0.039	0.000	2.944
2	2.944	0.000	0.400	0.000	0.049	0.000	2.494
3	2.494	0.000	0.400	0.000	0.071	0.000	2.024
4	2.024	0.000	0.400	0.000	0.082	0.000	1.542
5	1.542	0.000	0.400	0.000	0.091	0.000	1.051
6	1.051	0.000	0.373	0.027	0.077	0.000	0.601
7	0.601	0.337	0.309	0.091	0.028	0.000	0.601
8	0.601	1.464	0.400	0.000	-0.095	0.000	1.760
9	1.760	1.437	0.400	0.000	-0.109	0.000	2.907
10	2.907	0.007	0.400	0.000	0.051	0.000	2.463
11	2.463	0.000	0.400	0.000	0.039	0.000	2.024
12	2.024	0.210	0.400	0.000	0.009	0.000	1.825
SUMA ANUAL		3.455	4.682	0.118	0.330	0.000	

AÑO 23 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	1.825	0.000	0.400	0.000	0.033	0.000	1.392
2	1.392	0.000	0.400	0.000	0.042	0.000	0.949
3	0.949	0.000	0.288	0.112	0.060	0.000	0.601
4	0.601	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.601
5	0.601	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.601
6	0.601	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.601
7	0.601	0.988	0.400	0.000	-0.022	0.000	1.211
8	1.211	1.846	0.400	0.000	-0.123	0.000	2.780
9	2.780	0.794	0.400	0.000	-0.026	0.000	3.200
10	3.200	0.000	0.400	0.000	0.053	0.000	2.747
11	2.747	0.729	0.400	0.000	-0.032	0.000	3.108
12	3.108	0.336	0.400	0.000	0.000	0.000	3.045
SUMA ANUAL		4.693	3.488	1.312	-0.015	0.000	

AÑO 24 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	3.045	0.148	0.400	0.000	0.024	0.000	2.769
2	2.769	0.023	0.400	0.000	0.046	0.000	2.345
3	2.345	0.000	0.400	0.000	0.070	0.000	1.875
4	1.875	0.000	0.400	0.000	0.081	0.000	1.394
5	1.394	0.000	0.400	0.000	0.090	0.000	0.904
6	0.904	0.805	0.400	0.000	0.019	0.000	1.290
7	1.290	1.828	0.400	0.000	-0.102	0.000	2.820
8	2.820	0.539	0.400	0.000	0.010	0.000	2.949
9	2.949	1.411	0.400	0.000	-0.088	0.000	4.048
10	4.048	0.477	0.400	0.000	0.009	0.000	4.116
11	4.116	0.000	0.400	0.000	0.045	0.000	3.672
12	3.672	0.000	0.400	0.000	0.033	0.000	3.239
SUMA ANUAL		5.231	4.800	0.000	0.237	0.000	

AÑO 25 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	3.239	0.000	0.400	0.000	0.038	0.000	2.801
2	2.801	0.000	0.400	0.000	0.048	0.000	2.353
3	2.353	0.000	0.400	0.000	0.070	0.000	1.882
4	1.882	0.000	0.400	0.000	0.081	0.000	1.401
5	1.401	0.000	0.400	0.000	0.090	0.000	0.912
6	0.912	0.000	0.234	0.166	0.077	0.000	0.601
7	0.601	0.318	0.285	0.115	0.033	0.000	0.601
8	0.601	1.978	0.400	0.000	-0.134	0.000	2.312
9	2.312	0.754	0.400	0.000	-0.022	0.000	2.688
10	2.688	0.117	0.400	0.000	0.040	0.000	2.365
11	2.365	1.175	0.400	0.000	-0.081	0.000	3.221
12	3.221	0.174	0.400	0.000	0.016	0.000	2.979
SUMA ANUAL		4.516	4.520	0.280	0.256	0.000	

AÑO 26 (Volúmenes en millones de m3)

MES	VOL INICIAL	VOL ENTRADA	DEMANDA SURTIDA	DEFICIENCIA	VOLEV. NETA	DERRAME FINAL	VOL
1	2.979	2.032	0.400	0.000	-0.148	0.000	4.759
2	4.759	0.196	0.400	0.000	0.039	0.000	4.516
3	4.516	0.000	0.400	0.000	0.079	0.000	4.037
4	4.037	0.000	0.400	0.000	0.098	0.000	3.539
5	3.539	0.000	0.400	0.000	0.110	0.000	3.029
6	3.029	0.200	0.400	0.000	0.083	0.000	2.746
7	2.746	1.214	0.400	0.000	-0.028	0.000	3.588
8	3.588	1.766	0.400	0.000	-0.098	0.000	5.052
9	5.052	1.324	0.400	0.000	-0.066	0.000	6.043
10	6.043	0.133	0.400	0.000	0.051	0.000	5.724
11	5.724	0.000	0.400	0.000	0.048	0.000	5.276
12	5.276	0.515	0.400	0.000	-0.011	0.000	5.402
SUMA ANUAL		7.380	4.800	0.000	0.158	0.000	

RESUMEN:

Número Total de Meses de la Simulación: 312
 Suma de Volúmenes de Entrada Sve = 156.007
 Volumen Final Vn = 5.40
 Volumen Total de Evaporación Neta Sev = 5.86
 Volumen Aprovechable Vap = $V_0 + Sve - V_n - Sev = 152.493$
 Demanda Total Sdt = 124.800
 Volumen Total Surtido Sds = 122.238
 Volumen Total De Deficiencia Sdefic = 2.562
 % de Deficiencia ($Sdefic/Sdt \times 100$) = 2.053
 Se presentaron 11 meses con deficiencia

I.E. el % de Tiempo con Deficiencia es de	3.526
Volumen Total de Derrames $S_{derr} =$	30.254
% Derrames = $(S_{derr}/V_{ap} \times 100) =$	19.840

Se presentaron 29 meses con derrame

I.E. El % de Tiempo con Derrame es de:	9.295
--	-------

Al analizar los resultados de la primera simulación observamos varias ventajas sobre el método del pico secuente.

En este método se hacen intervenir más variables que no habían sido consideradas, tales como, la precipitación sobre el embalse, la evaporación y el hecho de colocar fronteras desde el inicio; esto nos permite evaluar los derrames y las deficiencias.

Con el método anterior, llegábamos a la conclusión de que con este tamaño de embalse y comenzando a extraer agua con el embalse lleno, no tendríamos deficiencias. También se sabía que se presentarían derrames. Ahora, con la simulación del funcionamiento de vasos, nos damos cuenta de que tenemos deficiencias al involucrar nuevas variables y además podemos evaluar la probabilidad y ocurrencia de dichas deficiencias así como de los derrames.

Con esta primera simulación tenemos sólo 2.05 % de deficiencias en cuanto al volumen, mismas que se presentan en el 3.53 % del tiempo total. En cuanto a los derrames presentados, tenemos un 19.84 % respecto al volumen aprovechable, mismos que se presentan el 9.29 % del tiempo.

El dimensionamiento del embalse responde ahora a las condiciones negativas que se está dispuesto a aceptar. Por ejemplo, nuestras limitaciones son no exceder el 5% del volumen ni del tiempo con deficiencias ni el 10 % en derrames. Podemos también pensar que no es conveniente que se presenten deficiencias en cierta cantidad de meses seguidos, por ejemplo, no más de 3 meses.

En la primera simulación, en el año 14 se presentan 3 meses seguidos con deficiencias, 2 meses seguidos en el año 22 y 4 meses seguidos en el año 23.

Esto nos indica una buena aproximación en la estimación del tamaño óptimo del embalse con las condiciones límite propuestas. Con base en este resultado, se procede a realizar más simulaciones hasta llegar a alguna que satisfaga nuestras exigencias.

2. Segunda Simulación

	Elevación	Volumen
	[M]	[Mill M3]
Inicial	128.880	0.601
Al NAMIN	128.880	0.601
Al NAMO	143.610	7.751
Cap. Util	-	7.150

Resumen:

Numero Total de Meses de la Simulación:	312
Volumen Inicial $V_0 =$	0.601
Suma de Volumenes de Entrada $S_{ve} =$	156.007
Volumen Final $V_n =$	5.435
Volumen Total de Evaporacion Neta $Sev =$	2.644
Volumen Aprovechable $V_{ap} = V_0 + S_{ve} - V_n - Sev =$	148.529
Demanda Total $S_{dt} =$	124.800
Volumen Total Surtido $S_{ds} =$	122.130
Volumen Total de Deficiencia $S_{defic} =$	2.670
% de Deficiencia $(S_{defic}/S_{dt} \times 100) =$	2.14 %

Se presentaron 8 Meses con Deficiencia
 I.E., el % de Tiempo con Deficiencia es de 2.56 %

Volumen Total de Derrames $S_{derr} =$ 26.399
 % Derrames $= (S_{derr}/V_{ap} \times 100) =$ 17.77 %

Se Presentaron 25 Meses con Derrame
 I.E., el % De Tiempo con Derrame es de 8.01 %

3. Tercera Simulación

	Elevación	Volumen
	[M]	[Mill M3]
Inicial	136.250	2.860
Al NAMIN	128.880	0.601
Al NAMO	143.610	7.751
Cap. Util		7.150

Resumen:

Número Total de Meses de la Simulación:	312
Volumen Inicial $V_0 =$	2.860
Suma de Volúmenes de Entrada $S_{ve} =$	156.007
Volumen Final $V_n =$	5.397
Volumen Total de Evaporación Neta $Sev =$	3.990
Volumen Aprovechable $V_{ap} = V_0 + S_{ve} - V_n - Sev =$	149.481
Demanda Total $S_{dt} =$	124.800
Volumen Total Surtido $S_{ds} =$	123.340
Volumen Total de Deficiencia $S_{defic} =$	1.461
% de Deficiencia $(S_{defic}/S_{dt} \times 100) =$	1.17 %

Se Presentaron 6 Meses con Deficiencia	
I.E., El % de Tiempo con Deficiencia es de	1.92 %
Volumen Total de Derrames $S_{derr} =$	26.141
% Derrames $= (S_{derr}/V_{ap} \times 100) =$	17.49 %

Se Presentaron 25 Meses con Derrame	
I.E., El % de Tiempo con Derrame es de	8.01 %

4. Cuarta Simulación

	Elevación	Volumen
	[M]	[Mill M3]
Inicial	140.000	4.960
Al NÁMIN	128.880	0.601
Al NÁMO	143.610	7.751
Cap. Util		7.150

Resumen:

Número Total de Meses de la Simulación:	312
Volumen Inicial $V_0 =$	4.960
Suma de Volúmenes de Entrada $S_{ve} =$	156.007
Volumen Final $V_n =$	5.399
Volumen Total de Evaporación Neta $Sev =$	4.944
Volumen Aprovechable $V_{ap} = V_0 + S_{ve} - V_n - Sev =$	150.624
Demanda Total $S_{dt} =$	124.800
Volumen Total Surtido $S_{ds} =$	122.777
Volumen Total de Deficiencia $S_{defic} =$	2.024

% de Deficiencia ($S_{defic}/S_{dt} \times 100$) =	1.62 %
Se Presentaron 8 Meses con Deficiencia	
I.E., El % de Tiempo con Deficiencia es de	2.56 %
Volumen Total de Derrames S_{derr} =	27.847
% Derrames = ($S_{derr}/V_{ap} \times 100$) =	18.49 %
Se Presentaron 28 Meses con Derrame	
I.E., El % de Tiempo con Derrame es de	8.97 %

De las simulaciones anteriores se destaca la tercera por ser la que mejores resultados arroja. Esta opción tiene las mismas características de dimensión de las demás, pero inicia su funcionamiento con la superficie libre del agua a la elevación 136.25, es decir, a la elevación media entre el NAMIN y el NAMO.

Con esta alternativa, las deficiencias son perfectamente aceptables; en volumen sólo se tiene 1.17 % de demanda no surtida, lo que se presenta el 1.92 % del tiempo, equivalente a 6 meses de los 312 simulados.

Por otro lado, se presentan 25 meses con derrames, lo que equivale al 8.01 % del tiempo. Esto nos ubicaría dentro de los límites determinados para el dimensionamiento del vaso, sin embargo, aún podemos lograr un mejor diseño al considerar el concepto de Volumen Aprovechable, mismo que ha sido calculado para todas las simulaciones.

El volumen aprovechable se define como la diferencia entre el volumen inicial y el final más la suma de escurrimiento menos la suma de evaporación neta. De este modo podemos evaluar el potencial de agua que pasa por nuestro sitio de interés y compararlo con el volumen aprovechado, de modo que podemos conocer la cantidad de agua que no utilizamos. Así, sabemos que el porcentaje de volumen derramado es el 17.49 % del volumen aprovechable, es decir, a pesar de tener un buen control de las deficiencias, estamos dejando de utilizar mucha agua.

El hecho de cambiar las dimensiones de la presa obedecería a la necesidad o posibilidad de poder satisfacer demandas mayores, pero si no es este el caso, nuestro dimensionamiento es adecuado.

MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

Como se mencionó anteriormente, en los métodos probabilísticos la secuencia de tiempo no tiene importancia, sino la probabilidad de que un evento sea igualado o excedido. Estos métodos permiten definir la probabilidad de eventos de interés a partir de una serie de datos.

A continuación se presenta un método para determinar la magnitud de la capacidad de retención para regular el régimen de una corriente, es decir, para dimensionar el vaso.

Los métodos determinísticos, como la curva masa, se basan en detectar los períodos de registro en que los gastos fueron menores que los requeridos para una necesidad dada. La diferencia acumulada entre el gasto deseado y el gasto real durante el periodo de deficiencia da el volumen por almacenar necesario para completar el gasto disponible. Estos métodos tienen el defecto de dar respuestas únicas basadas en secuencias de acontecimientos que seguramente no ocurrirán en el futuro. La teoría de colas ofrece un nuevo enfoque para el dimensionamiento de los embalses sobre la base de las probabilidades.

Un documento de Moran (1954) estableció la analogía entre la teoría de colas y el almacenamiento de agua e introdujo la teoría de la probabilidad en el análisis de los almacenamientos.

Una de las aplicaciones más útiles de la teoría de colas es que proporciona una clasificación de los factores que pueden ser usados para describir el almacenamiento de agua:

1. Índice de entradas. Generalmente está expresado por una frecuencia o distribución de las entradas en el tiempo.
2. Disciplina de la cola. Es la regla que establece las prioridades de servicio en la cola. Ordinariamente la regla es: el primero que llega es el primero en ser servido. Pero se puede establecer u observar reglas especiales. Los trabajos breves que tengo que hacer suelen ser atendidos antes que los trabajos largos. Un volumen determinado de agua en un embalse es normalmente tan útil como otro, pero es posible que la forma de seleccionar los volúmenes sea preferir el

agua de los niveles altos o los bajos, ya que depende de la necesidad de proporcionar agua fría o caliente, turbia o clara, o agua con distinta salinidad.

3. **Función de servicio.** Es la regla que define la rapidez o forma en que se atiende la demanda o el servicio de los datos de la cola. El servicio podría ser controlado automáticamente como lo hace un semáforo o una compuerta automatizada en un embalse o bien, el control puede ser manual como un policía de tránsito o un operador de compuertas en un embalse. En ambos casos, la acción de control está descrita por lo que se conoce como "la función de servicio". El semáforo controla el flujo vehicular en secuencias de tiempo; el orificio del embalse controla las descargas en función de la carga y por lo tanto, de la capacidad del vaso; el policía de tránsito controla el flujo vehicular en secuencias de tiempo, pero gustosamente da importancia a cambios en la densidad relativa en el cruce de caminos; el operador de compuertas recibe instrucciones de un despachador que toma nota de las demandas y del volumen almacenado disponible y el esperado.

4. **Índice de desgaste.** Mientras más larga es la fila de espera de un servicio, mayor será la probabilidad de que las personas se aparten prematuramente de la fila, o aun se nieguen a formarse en ella. El índice de desgaste depende del tipo de servicio. La gente puede esperar más por la atención de un médico que para comprar un paquete de cigarros. Hay una similitud con los embalses. Aquí la pérdida es debida a la evaporación, la cual es también más o menos proporcional a la cantidad de agua almacenada que existe en cada instante. Por supuesto, el índice depende del clima de la región y de la geometría del embalse.

Las semejanzas entre la teoría de colas y las variables que intervienen en el dimensionamiento de vasos son lo suficientemente grandes como para garantizar la validez de las consideraciones de este método de clasificación en el diseño de vasos de almacenamiento construidos para guardar agua para usos subsecuentes. Los embalses se clasifican de distintos modos: por sus capacidades o por sus períodos de retención (índice de su capacidad de regular los gastos de los ríos). En la teoría de colas los embalses se clasifican de tal manera que sólo tenemos que describir colas, principalmente por la distribución de entradas y la función de servicio. La distribución de entradas está expresada generalmente por la conocida curva de duración y la teoría de colas proporciona la manera de relacionar la curva de duración con el embalse.

La función de servicio a utilizar en este caso es la usual para regulaciones, misma que se supone en muchos análisis de almacenamientos por la curva-masa u

otros métodos. En los métodos utilizados en el capítulo anterior se utilizó implícitamente esta misma función de servicio. En esta función las descargas se suponen constantes, excepto cuando el vaso está vacío o lleno. Incluso, el valor del gasto constante de descarga podría variar estacionalmente.

El proceso de cálculo involucra un tipo de "tránsito probabilístico" en lugar del conocido tránsito de descarga del embalse. Las respuestas se obtienen a partir de una solución de la ecuación de colas mediante el método de diferencias finitas. Esta ecuación busca respuestas a la pregunta ¿Cuál es la probabilidad de que existan "n" unidades de la cola al final de un intervalo dado?. El procedimiento se puede explicar mejor por medio de un ejemplo, en este caso, con la aplicación al proyecto Coyotes.

1. Primeramente se define el tipo de servicio a satisfacer, es decir, la función de servicio; se consideró atender una demanda constante igual a 400 mil m³ al mes, lo que significa un gasto de demanda de 154.32 l/s, mismo que fue utilizado anteriormente en los métodos determinísticos. La función de servicio seleccionada se muestra en la figura 5.1.

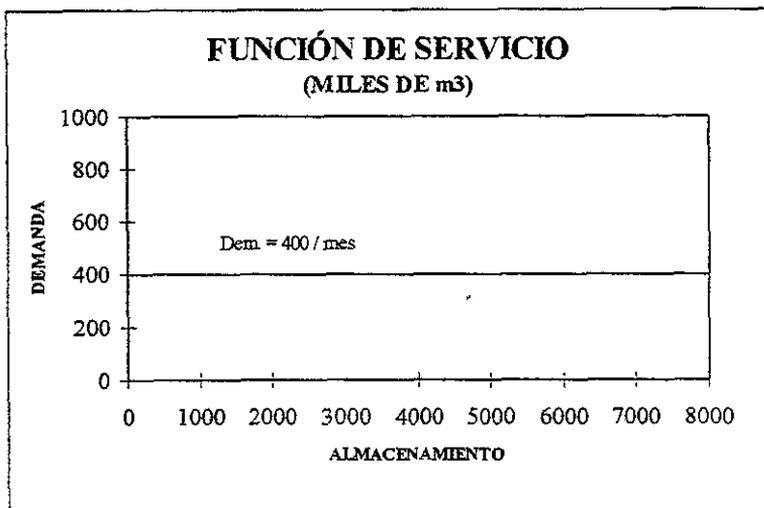


FIGURA 5.1

2. El segundo paso es la obtención del índice de entradas, el cual se maneja como una distribución de probabilidades de las mismas.

La distribución de entradas se obtiene a partir de los registros históricos del lugar. En este caso, la entrada principal es el escurrimiento, por lo tanto, la distribución de entradas se obtiene a partir del registro de escurrimientos.

Se toman los n datos históricos de la tabla 3.1 y se ordenan de menor a mayor. Evidentemente, si tomamos a n como el total de eventos, la probabilidad total de que se presenten los n eventos en el total del tiempo será 100 %, de esta forma, cada evento tiene $1/n$ de probabilidad de ocurrir. Así se construye la tabla 5.1, en la cual, la 1ª columna muestra los datos ordenados de menor a mayor, la segunda columna corresponde a la probabilidad individual de cada evento. De este modo, los números que se leen en la 3ª columna corresponden a la probabilidad de que un evento sea igual o menor que el indicado. La distribución de entradas para este caso se puede observar de manera gráfica en la figura 5.2. Esta gráfica (que es otra forma de presentar la curva de duración) confronta la probabilidad de flujo igual o menor que el indicado con el volumen mensual de entradas.

DISTRIBUCIÓN DE ENTRADAS

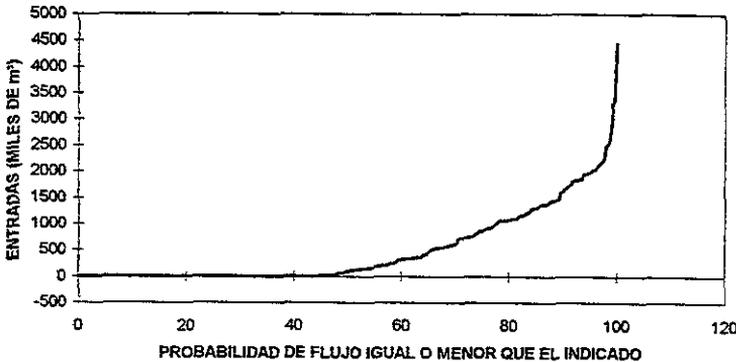


FIGURA 5.2

- Una vez definida la función de servicio y obtenida la distribución de entradas, el problema es la determinación de la distribución del almacenamiento.

Este proceso se realiza buscando la probabilidad de que se presenten distintos volúmenes de almacenamiento por intervalos finitos, es decir, se trata de hallar la probabilidad de que el almacenamiento sea igual o menor que una cantidad determinada en el tiempo t_n , realizando el cálculo para distintos almacenamientos en el tiempo t_{n-1} .

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PROBABILIDADES AL DIMENSIONAMIENTO DE VASOS

	escurremientos miles de m ³	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
1	0	0.32051282	0.32051282
2	0	0.32051282	0.64102564
3	0	0.32051282	0.96153846
4	0	0.32051282	1.28205128
5	0	0.32051282	1.6025641
6	0	0.32051282	1.92307692
7	0	0.32051282	2.24358974
8	0	0.32051282	2.56410256
9	0	0.32051282	2.88461538
10	0	0.32051282	3.20512821
11	0	0.32051282	3.52564103
12	0	0.32051282	3.84615385
13	0	0.32051282	4.16666667
14	0	0.32051282	4.48717949
15	0	0.32051282	4.80769231
16	0	0.32051282	5.12820513
17	0	0.32051282	5.44871795
18	0	0.32051282	5.76923077
19	0	0.32051282	6.08974359
20	0	0.32051282	6.41025641
21	0	0.32051282	6.73076923
22	0	0.32051282	7.05128205
23	0	0.32051282	7.37179487
24	0	0.32051282	7.69230769
25	0	0.32051282	8.01282051
26	0	0.32051282	8.33333333
27	0	0.32051282	8.65384615
28	0	0.32051282	8.97435897
29	0	0.32051282	9.29487179
30	0	0.32051282	9.61538462
31	0	0.32051282	9.93589744
32	0	0.32051282	10.2564103
33	0	0.32051282	10.5769231
34	0	0.32051282	10.8974359
35	0	0.32051282	11.2179487
36	0	0.32051282	11.5384615
37	0	0.32051282	11.8589744
38	0	0.32051282	12.1794872
39	0	0.32051282	12.5
40	0	0.32051282	12.8205128
41	0	0.32051282	13.1410256
42	0	0.32051282	13.4615385
43	0	0.32051282	13.7820513
44	0	0.32051282	14.1025641
45	0	0.32051282	14.4230769
46	0	0.32051282	14.7435897
47	0	0.32051282	15.0641026
48	0	0.32051282	15.3846154
49	0	0.32051282	15.7051282
50	0	0.32051282	16.025641

	escurremientos miles de m ³	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
51	0	0.32051282	16.3461538
52	0	0.32051282	16.6666667
53	0	0.32051282	16.9871795
54	0	0.32051282	17.3076923
55	0	0.32051282	17.6282051
56	0	0.32051282	17.9487179
57	0	0.32051282	18.2692308
58	0	0.32051282	18.5897436
59	0	0.32051282	18.9102564
60	0	0.32051282	19.2307692
61	0	0.32051282	19.5512821
62	0	0.32051282	19.8717949
63	0	0.32051282	20.1923077
64	0	0.32051282	20.5128205
65	0	0.32051282	20.8333333
66	0	0.32051282	21.1538462
67	0	0.32051282	21.474359
68	0	0.32051282	21.7948718
69	0	0.32051282	22.1153846
70	0	0.32051282	22.4358974
71	0	0.32051282	22.7564103
72	0	0.32051282	23.0769231
73	0	0.32051282	23.3974359
74	0	0.32051282	23.7179487
75	0	0.32051282	24.0384615
76	0	0.32051282	24.3589744
77	0	0.32051282	24.6794872
78	0	0.32051282	25
79	0	0.32051282	25.3205128
80	0	0.32051282	25.6410256
81	0	0.32051282	25.9615385
82	0	0.32051282	26.2820513
83	0	0.32051282	26.6025641
84	0	0.32051282	26.9230769
85	0	0.32051282	27.2435897
86	0	0.32051282	27.5641026
87	0	0.32051282	27.8846154
88	0	0.32051282	28.2051282
89	0	0.32051282	28.525641
90	0	0.32051282	28.8461538
91	0	0.32051282	29.1666667
92	0	0.32051282	29.4871795
93	0	0.32051282	29.8076923
94	0	0.32051282	30.1282051
95	0	0.32051282	30.4487179
96	0	0.32051282	30.7692308
97	0	0.32051282	31.0897436
98	0	0.32051282	31.4102564
99	0	0.32051282	31.7307692
100	0	0.32051282	32.0512821

TABLA 5.1

Continuación TABLA 5.1

	escurrimientos miles de m3	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
101	0	0.32051282	32.3717949
102	0	0.32051282	32.6923077
103	0	0.32051282	33.0128205
104	0	0.32051282	33.3333333
105	0	0.32051282	33.6538462
106	0	0.32051282	33.9743559
107	0	0.32051282	34.2948718
108	0	0.32051282	34.6153846
109	0	0.32051282	34.9358974
110	0	0.32051282	35.2564103
111	0	0.32051282	35.5769231
112	0	0.32051282	35.8974359
113	0	0.32051282	36.2179487
114	0	0.32051282	36.5384615
115	0	0.32051282	36.8589744
116	0	0.32051282	37.1794872
117	0	0.32051282	37.5
118	0	0.32051282	37.8205128
119	0	0.32051282	38.1410256
120	0	0.32051282	38.4615385
121	0	0.32051282	38.7820513
122	0	0.32051282	39.1025641
123	0	0.32051282	39.4230769
124	0	0.32051282	39.7435897
125	0	0.32051282	40.0641026
126	0	0.32051282	40.3846154
127	0	0.32051282	40.7051282
128	0	0.32051282	41.025641
129	0	0.32051282	41.3461538
130	0	0.32051282	41.6666667
131	0	0.32051282	41.9871795
132	0	0.32051282	42.3076923
133	0	0.32051282	42.6282051
134	0	0.32051282	42.9487179
135	0	0.32051282	43.2692308
136	0	0.32051282	43.5897436
137	0	0.32051282	43.9102564
138	0	0.32051282	44.2307692
139	0	0.32051282	44.5512821
140	7.1	0.32051282	44.8717949
141	13	0.32051282	45.1923077
142	14.2	0.32051282	45.5128205
143	14.3	0.32051282	45.8333333
144	14.5	0.32051282	46.1538462
145	17.4	0.32051282	46.4743559
146	17.8	0.32051282	46.7948718
147	21.9	0.32051282	47.1153846
148	22.7	0.32051282	47.4358974
149	26.1	0.32051282	47.7564103
150	26.7	0.32051282	48.0769231

	escurrimientos miles de m3	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
151	47.9	0.32051282	48.3974359
152	56.3	0.32051282	48.7179487
153	64.6	0.32051282	49.0384615
154	64.8	0.32051282	49.3589744
155	83.6	0.32051282	49.6794872
156	86.1	0.32051282	50
157	88	0.32051282	50.3205128
158	105.6	0.32051282	50.6410256
159	107.4	0.32051282	50.9615385
160	114.5	0.32051282	51.2820513
161	116.8	0.32051282	51.6025641
162	116.8	0.32051282	51.9230769
163	121.6	0.32051282	52.2435897
164	133.1	0.32051282	52.5641026
165	133.4	0.32051282	52.8846154
166	137.2	0.32051282	53.2051282
167	143.5	0.32051282	53.525641
168	147.5	0.32051282	53.8461538
169	152.5	0.32051282	54.1666667
170	153.6	0.32051282	54.4871795
171	153.8	0.32051282	54.8076923
172	173.8	0.32051282	55.1282051
173	188.8	0.32051282	55.4487179
174	191.2	0.32051282	55.7692308
175	194	0.32051282	56.0897436
176	195.7	0.32051282	56.4102564
177	199.5	0.32051282	56.7307692
178	206.2	0.32051282	57.0512821
179	209.7	0.32051282	57.3717949
180	215.3	0.32051282	57.6923077
181	240.6	0.32051282	58.0128205
182	247.8	0.32051282	58.3333333
183	247.8	0.32051282	58.6538462
184	247.8	0.32051282	58.9743559
185	294.4	0.32051282	59.2948718
186	310.2	0.32051282	59.6153846
187	313.9	0.32051282	59.9358974
188	318.2	0.32051282	60.2564103
189	319.2	0.32051282	60.5769231
190	335.4	0.32051282	60.8974359
191	336.2	0.32051282	61.2179487
192	336.9	0.32051282	61.5384615
193	338	0.32051282	61.8589744
194	339.5	0.32051282	62.1794872
195	349.7	0.32051282	62.5
196	355.2	0.32051282	62.8205128
197	355.8	0.32051282	63.1410256
198	356	0.32051282	63.4615385
199	356.2	0.32051282	63.7820513
200	393.7	0.32051282	64.1025641

Continuación TABLA 5.1

	escurrimientos miles de m3	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
201	406	0.32051282	64.4230769
202	412.4	0.32051282	64.7435897
203	448.6	0.32051282	65.0641026
204	476.6	0.32051282	65.3846154
205	504.8	0.32051282	65.7051282
206	514.7	0.32051282	66.025641
207	519.3	0.32051282	66.3461538
208	532.1	0.32051282	66.6666667
209	536.9	0.32051282	66.9871795
210	539.1	0.32051282	67.3076923
211	548.9	0.32051282	67.6282051
212	553	0.32051282	67.9487179
213	560.4	0.32051282	68.2692308
214	569.3	0.32051282	68.5897436
215	576.8	0.32051282	68.9102564
216	582.9	0.32051282	69.2307692
217	586.5	0.32051282	69.5512821
218	608.3	0.32051282	69.8717949
219	609.4	0.32051282	70.1923077
220	691.7	0.32051282	70.5128205
221	721.9	0.32051282	70.8333333
222	728.9	0.32051282	71.1538462
223	731.9	0.32051282	71.474359
224	732	0.32051282	71.7948718
225	735.3	0.32051282	72.1153846
226	750	0.32051282	72.4358974
227	752.3	0.32051282	72.7564103
228	753.9	0.32051282	73.0769231
229	757.2	0.32051282	73.3974359
230	793.8	0.32051282	73.7179487
231	804.7	0.32051282	74.0384615
232	846.1	0.32051282	74.3589744
233	848.1	0.32051282	74.6794872
234	849.7	0.32051282	75
235	874.1	0.32051282	75.3205128
236	887.7	0.32051282	75.6410256
237	897.1	0.32051282	75.9615385
238	916.3	0.32051282	76.2820513
239	917	0.32051282	76.6025641
240	929.1	0.32051282	76.9230769
241	959	0.32051282	77.2435897
242	988.2	0.32051282	77.5641026
243	1013.9	0.32051282	77.8846154
244	1049.3	0.32051282	78.2051282
245	1051.4	0.32051282	78.525641
246	1054.3	0.32051282	78.8461538
247	1055.7	0.32051282	79.1666667
248	1056.5	0.32051282	79.4871795
249	1067.4	0.32051282	79.8076923
250	1071.7	0.32051282	80.1282051

	escurrimientos miles de m3	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
251	1085.5	0.32051282	80.4487179
252	1087.8	0.32051282	80.7692308
253	1090.5	0.32051282	81.0897436
254	1092.8	0.32051282	81.4102564
255	1132.2	0.32051282	81.7307692
256	1151.7	0.32051282	82.0512821
257	1159.9	0.32051282	82.3717949
258	1168.4	0.32051282	82.6923077
259	1174.5	0.32051282	83.0128205
260	1206.2	0.32051282	83.3333333
261	1213.8	0.32051282	83.6538462
262	1259.9	0.32051282	83.974359
263	1276.9	0.32051282	84.2948718
264	1280.9	0.32051282	84.6153846
265	1292.1	0.32051282	84.9358974
266	1310.7	0.32051282	85.2564103
267	1323.5	0.32051282	85.5769231
268	1352.9	0.32051282	85.8974359
269	1355.1	0.32051282	86.2179487
270	1368.7	0.32051282	86.5384615
271	1370.8	0.32051282	86.8589744
272	1375.7	0.32051282	87.1794872
273	1411.4	0.32051282	87.5
274	1429	0.32051282	87.8205128
275	1429.4	0.32051282	88.1410256
276	1431.2	0.32051282	88.4615385
277	1436.5	0.32051282	88.7820513
278	1451.9	0.32051282	89.1025641
279	1464.3	0.32051282	89.4230769
280	1574.9	0.32051282	89.7435897
281	1610.3	0.32051282	90.0641026
282	1643.5	0.32051282	90.3846154
283	1668.4	0.32051282	90.7051282
284	1705.8	0.32051282	91.025641
285	1728.4	0.32051282	91.3461538
286	1766.3	0.32051282	91.6666667
287	1808.9	0.32051282	91.9871795
288	1823.4	0.32051282	92.3076923
289	1824.8	0.32051282	92.6282051
290	1828.3	0.32051282	92.9487179
291	1845.6	0.32051282	93.2692308
292	1846.6	0.32051282	93.5897436
293	1916.2	0.32051282	93.9102564
294	1945	0.32051282	94.2307692
295	1947.9	0.32051282	94.5512821
296	1960.9	0.32051282	94.8717949
297	1978.1	0.32051282	95.1923077
298	2000.9	0.32051282	95.5128205
299	2029	0.32051282	95.8333333
300	2031.7	0.32051282	96.1538462

Continuación TABLA 5.1

	escurrimientos miles de m ³	probabilidad de ocurrencia %	probabilidad acumulada %
301	2105.9	0.32051282	96.474359
302	2118	0.32051282	96.7948718
303	2157.3	0.32051282	97.1153846
304	2172.6	0.32051282	97.4358974
305	2247.4	0.32051282	97.7564103
306	2478.1	0.32051282	98.0769231
307	2508.3	0.32051282	98.3974359
308	2567.8	0.32051282	98.7179487
309	2851.5	0.32051282	99.0384615
310	3288.1	0.32051282	99.3589744
311	3336.8	0.32051282	99.6794872
312	4434.9	0.32051282	100

El cálculo para determinar la distribución de probabilidad de almacenamiento, a partir de la cual se dimensiona el vaso, se realiza siguiendo los pasos que a continuación se exponen:

- 3.1. - La probabilidad de que el embalse tenga como máximo un cierto volumen almacenado al final de un intervalo de tiempo implica muchas combinaciones de almacenamiento inicial y entradas de agua en dicho intervalo.

Cada una de estas combinaciones tiene una probabilidad de ocurrencia directamente ligada a la probabilidad de la entrada considerada.

De este modo, podemos obtener varias probabilidades parciales de que el embalse tenga un volumen de almacenamiento igual o menor al considerado en un instante dado. La suma de estas probabilidades parciales es, en consecuencia, la probabilidad total de que el almacenamiento al final del intervalo de tiempo sea igual o menor que la cantidad analizada.

Para entender mejor este concepto, a continuación realizo el cálculo para el almacenamiento menor o igual que 500 mil m³.

- 3.1.1. Probabilidad de almacenamiento igual o menor a 500 mil m³ en el tiempo t_n .

- 3.1.1.1. Si el almacenamiento en el tiempo t_{n-1} fue cero, la entrada durante el intervalo $t_{n-1} - t_n$ debe exceder a la descarga por 500 mil m³ o menos para que al final del intervalo, el almacenamiento sea igual o menor

que 500 mil m³. La descarga es constante e igual a 400. Por lo tanto, la entrada máxima durante este intervalo debe ser 500 + 400 = 900 para producir un incremento en el almacenamiento de 0 a 500. La probabilidad de un flujo de entrada igual o menor que 900 de acuerdo con la figura 5.2 es 76.01 %. Cualquier flujo menor que 400 provocará un déficit en la demanda y al final del intervalo se seguirá teniendo un almacenamiento igual a cero.

La probabilidad parcial de que el almacenamiento sea menor o igual que 500 mil m³ al final del intervalo teniendo un almacenamiento inicial de cero es igual al producto de la probabilidad de entrada igual o menor que 900 por la probabilidad de almacenamiento inicial de cero P₀. Lo anterior se expresa como 0.76P₀.

- 3.1.1.2. Si el almacenamiento en el tiempo t_{n-1} fue mayor que cero y menor o igual que 500 mil m³ (0 < S₀ ≤ 500), la entrada durante el intervalo debe ser menor que la descarga, o excederla por una cantidad tal que el almacenamiento en el tiempo t_n sea igual o menor que 500 mil m³.

En este caso, estamos ya considerando un intervalo de volumen almacenado al inicio del intervalo y no sólo un almacenamiento puntual. Por esta razón, el cálculo se complica mucho. Podemos simplificarlo realizándolo para cada límite del intervalo, y sacar un promedio para obtener la probabilidad, o simplemente considerar el promedio del almacenamiento y calcular su probabilidad de ocurrencia.

Considerando este último procedimiento, es necesario producir un incremento promedio de 250 mil m³ para tener un almacenamiento igual o menor que 500 mil al final del intervalo. Para lograr este incremento se requiere una entrada de 250 + 400 = 650 mil m³. La probabilidad de un flujo de entrada igual o menor a 650 de acuerdo con la figura 5.2 es 70.35 %. La probabilidad parcial para esta combinación es 0.704P₀₋₅₀₀.

- 3.1.1.3. Del mismo modo, se calcula la probabilidad de almacenamiento igual o menor que 500 mil m³ para varias combinaciones de entradas y almacenamientos iniciales. Estos cálculos se realizan en la tabla 5.2
- 3.1.1.4. Los resultados de esta serie de cálculos definen ecuaciones. La que resulta para el caso de almacenamiento igual o menor que 500 mil m³, se puede escribir como sigue:
-

$$P_{500} = 0.76P_0 + 0.704P_{0-500} + 0.54P_{500-1000}$$

A partir del intervalo $P_{1000-1500}$, no hay ningún valor del volumen de entrada que pueda satisfacer las condiciones planteadas, por lo que la probabilidad de la entrada requerida es cero, por lo tanto, ya no se colocan en la ecuación los demás intervalos.

Esta ecuación expresa que la probabilidad total de que el almacenamiento al final de cualquier periodo y, en consecuencia, en cualquier tiempo, sea igual o menor que 500 mil m^3 , es la suma de las muchas probabilidades parciales, como había dicho antes.

- 3.1.2. Se realizan los mismos cálculos para otras probabilidades totales P_0 a P_{8000} del estado del almacenamiento, haciendo los cálculos suficientes para suponer que todas las cantidades factibles del almacenamiento están incluidas. Los cálculos se muestran en las tablas 5.2.

**CÁLCULOS DE PROBABILIDAD DE ENTRADAS POSIBLES
CANTIDADES EN MILES DE m^3**

S1 = 0					S1 < 500				
Intervalo de Almacenamiento S_0	Punto medio del Intervalo S_{m0}	$S_{1max} - S_{m0}$ (I)	$E = (I) + D$	P(E) (%)	Intervalo de Almacenamiento S_0	Punto medio del Intervalo S_{m0}	$S_{1max} - S_{m0}$ (I)	$E = (I) + D$	P(E) (%)
0	0	0	400	64.2667	0	0	500	900	76.0099
0 - 500	250	-250	150	54.0064	0 - 500	250	250	650	70.3504
500 - 1000	750	-750	-350	0	500 - 1000	750	-250	150	54.0064
1000 - 1500	1250	-1250	-850	0	1000 - 1500	1250	-750	-350	0
1500 - 2000	1750	-1750	-1350	0	1500 - 2000	1750	-1250	-850	0
2000 - 2500	2250	-2250	-1850	0	2000 - 2500	2250	-1750	-1350	0
2500 - 3000	2750	-2750	-2350	0	2500 - 3000	2750	-2250	-1850	0
3000 - 3500	3250	-3250	-2850	0	3000 - 3500	3250	-2750	-2350	0
3500 - 4000	3750	-3750	-3350	0	3500 - 4000	3750	-3250	-2850	0
4000 - 4500	4250	-4250	-3850	0	4000 - 4500	4250	-3750	-3350	0
4500 - 5000	4750	-4750	-4350	0	4500 - 5000	4750	-4250	-3850	0

S1 < 1000					S1 < 1500				
Intervalo de Almacenamiento S_0	Punto medio del Intervalo S_{m0}	$S_{1max} - S_{m0}$ (I)	$E = (I) + D$	P(E) (%)	Intervalo de Almacenamiento S_0	Punto medio del Intervalo S_{m0}	$S_{1max} - S_{m0}$ (I)	$E = (I) + D$	P(E) (%)
0	0	1000	1400	87.3977	0	0	1500	1900	93.8257
0 - 500	250	750	1150	82.0233	0 - 500	250	1250	1650	90.4683
500 - 1000	750	250	650	70.3504	500 - 1000	750	750	1150	82.0233
1000 - 1500	1250	-250	150	54.0064	1000 - 1500	1250	250	650	70.3504
1500 - 2000	1750	-750	-350	0	1500 - 2000	1750	-250	150	54.0064
2000 - 2500	2250	-1250	-850	0	2000 - 2500	2250	-750	-350	0
2500 - 3000	2750	-1750	-1350	0	2500 - 3000	2750	-1250	-850	0
3000 - 3500	3250	-2250	-1850	0	3000 - 3500	3250	-1750	-1350	0
3500 - 4000	3750	-2750	-2350	0	3500 - 4000	3750	-2250	-1850	0
4000 - 4500	4250	-3250	-2850	0	4000 - 4500	4250	-2750	-2350	0
4500 - 5000	4750	-3750	-3350	0	4500 - 5000	4750	-3250	-2850	0

TABLA 5.2

TABLA 5.2 (Continuación)

CÁLCULOS DE PROBABILIDAD DE ENTRADAS POSIBLES
CANTIDADES EN MILES DE m³

S1 < 2000

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	2000	2400	97.9684
0 - 500	250	1750	2150	97.6091
500 - 1000	750	1250	1650	90.4683
1000 - 1500	1250	750	1150	82.0233
1500 - 2000	1750	250	650	70.3504
2000 - 2500	2250	-250	150	54.0064
2500 - 3000	2750	-750	-350	0
3000 - 3500	3250	-1250	-850	0
3500 - 4000	3750	-1750	-1350	0
4000 - 4500	4250	-2250	-1850	0
4500 - 5000	4750	-2750	-2350	0

S1 < 2500

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	2500	2900	99.0741
0 - 500	250	2250	2650	98.8108
500 - 1000	750	1750	2150	97.6091
1000 - 1500	1250	1250	1650	90.4683
1500 - 2000	1750	750	1150	82.0233
2000 - 2500	2250	250	650	70.3504
2500 - 3000	2750	-250	150	54.0064
3000 - 3500	3250	-750	-350	0
3500 - 4000	3750	-1250	-850	0
4000 - 4500	4250	-1750	-1350	0
4500 - 5000	4750	-2250	-1850	0

S1 < 3000

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	3000	3400	99.6979
0 - 500	250	2750	3150	99.2576
500 - 1000	750	2250	2650	98.8108
1000 - 1500	1250	1750	2150	97.6091
1500 - 2000	1750	1250	1650	90.4683
2000 - 2500	2250	750	1150	82.0233
2500 - 3000	2750	250	650	70.3504
3000 - 3500	3250	-250	150	54.0064
3500 - 4000	3750	-750	-350	0
4000 - 4500	4250	-1250	-850	0
4500 - 5000	4750	-1750	-1350	0

S1 < 3500

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	3500	3900	99.8439
0 - 500	250	3250	3650	99.7709
500 - 1000	750	2750	3150	99.2576
1000 - 1500	1250	2250	2650	98.8108
1500 - 2000	1750	1750	2150	97.6091
2000 - 2500	2250	1250	1650	90.4683
2500 - 3000	2750	750	1150	82.0233
3000 - 3500	3250	250	650	70.3504
3500 - 4000	3750	-250	150	54.0064
4000 - 4500	4250	-750	-350	0
4500 - 5000	4750	-1250	-850	0

S1 < 4000

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	4000	4400	99.9898
0 - 500	250	3750	4150	99.9168
500 - 1000	750	3250	3650	99.7709
1000 - 1500	1250	2750	3150	99.2576
1500 - 2000	1750	2250	2650	98.8108
2000 - 2500	2250	1750	2150	97.6091
2500 - 3000	2750	1250	1650	90.4683
3000 - 3500	3250	750	1150	82.0233
3500 - 4000	3750	250	650	70.3504
4000 - 4500	4250	-250	150	54.0064
4500 - 5000	4750	-750	-350	0
5000 - 5500	5250	-1250	-850	0
5500 - 6000	5750	-1750	-1350	0
6000 - 6500	6250	-2250	-1850	0
6500 - 7000	6750	-2750	-2350	0

S1 < 4500

Intervalo de Almacenamiento S0	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (I) + D	P(E) (%)
0	0	4500	4900	100
0 - 500	250	4250	4650	100
500 - 1000	750	3750	4150	99.9168
1000 - 1500	1250	3250	3650	99.7709
1500 - 2000	1750	2750	3150	99.2576
2000 - 2500	2250	2250	2650	98.8108
2500 - 3000	2750	1750	2150	97.6091
3000 - 3500	3250	1250	1650	90.4683
3500 - 4000	3750	750	1150	82.0233
4000 - 4500	4250	250	650	70.3504
4500 - 5000	4750	-250	150	54.0064
5000 - 5500	5250	-750	-350	0
5500 - 6000	5750	-1250	-850	0
6000 - 6500	6250	-1750	-1350	0
6500 - 7000	6750	-2250	-1850	0

TABLA 5.2 (Continuación)

CÁLCULOS DE PROBABILIDAD DE ENTRADAS POSIBLES
CANTIDADES EN MILES DE m³

S1 < 5000

Intervalo de Almacenamiento SO	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	5000	5400	100
0 - 500	250	4750	5150	100
500 - 1000	750	4250	4650	100
1000 - 1500	1250	3750	4150	99,9168
1500 - 2000	1750	3250	3650	99,7709
2000 - 2500	2250	2750	3150	99,2576
2500 - 3000	2750	2250	2650	98,8108
3000 - 3500	3250	1750	2150	97,6091
3500 - 4000	3750	1250	1650	90,4683
4000 - 4500	4250	750	1150	82,0233
4500 - 5000	4750	250	650	70,3504
5000 - 5500	5250	-250	150	54,0064
5500 - 6000	5750	-750	-350	0
6000 - 6500	6250	-1250	-850	0
6500 - 7000	6750	-1750	-1350	0

S1 < 5500

Intervalo de Almacenamiento SO	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	5500	5900	100
0 - 500	250	5250	5650	100
500 - 1000	750	4750	5150	100
1000 - 1500	1250	4250	4650	100
1500 - 2000	1750	3750	4150	99,9168
2000 - 2500	2250	3250	3650	99,7709
2500 - 3000	2750	2750	3150	99,2576
3000 - 3500	3250	2250	2650	98,8108
3500 - 4000	3750	1750	2150	97,6091
4000 - 4500	4250	1250	1650	90,4683
4500 - 5000	4750	750	1150	82,0233
5000 - 5500	5250	250	650	70,3504
5500 - 6000	5750	-250	150	54,0064
6000 - 6500	6250	-750	-350	0
6500 - 7000	6750	-1250	-850	0

S1 < 6500

Intervalo de Almacenamiento SO	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	6000	6400	100
0 - 500	250	5750	6150	100
500 - 1000	750	5250	5650	100
1000 - 1500	1250	4750	5150	100
1500 - 2000	1750	4250	4650	100
2000 - 2500	2250	3750	4150	99,9168
2500 - 3000	2750	3250	3650	99,7709
3000 - 3500	3250	2750	3150	99,2576
3500 - 4000	3750	2250	2650	98,8108
4000 - 4500	4250	1750	2150	97,6091
4500 - 5000	4750	1250	1650	90,4683
5000 - 5500	5250	750	1150	82,0233
5500 - 6000	5750	250	650	70,3504
6000 - 6500	6250	-250	150	54,0064
6500 - 7000	6750	-750	-350	0
7000 - 7500	7250	-1250	-850	0
7500 - 8000	7750	-1750	-1350	0

Intervalo de Almacenamiento SO	Punto medio del Intervalo Sm0	S1max - Sm0 (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	6500	6900	100
0 - 500	250	6250	6650	100
500 - 1000	750	5750	6150	100
1000 - 1500	1250	5250	5650	100
1500 - 2000	1750	4750	5150	100
2000 - 2500	2250	4250	4650	100
2500 - 3000	2750	3750	4150	99,9168
3000 - 3500	3250	3250	3650	99,7709
3500 - 4000	3750	2750	3150	99,2576
4000 - 4500	4250	2250	2650	98,8108
4500 - 5000	4750	1750	2150	97,6091
5000 - 5500	5250	1250	1650	90,4683
5500 - 6000	5750	750	1150	82,0233
6000 - 6500	6250	250	650	70,3504
6500 - 7000	6750	-250	150	54,0064
7000 - 7500	7250	-750	-350	0
7500 - 8000	7750	-1250	-850	0

TABLA 5.2 (Continuación)

**CÁLCULOS DE PROBABILIDAD DE ENTRADAS POSIBLES
CANTIDADES EN MILES DE m³**

SI < 7000					SI < 7500				
Intervalo de Almacenamiento S ₀	Punto medio del Intervalo S _{m0}	S _l max - S _{m0} (l)	E = (l) + D	P(E) (%)	Intervalo de Almacenamiento S ₀	Punto medio del Intervalo S _{m0}	S _l max - S _{m0} (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	7000	7400	100	0	0	7500	7900	100
0 - 500	250	6750	7150	100	0 - 500	250	7250	7650	100
500 - 1000	750	6250	6650	100	500 - 1000	750	6750	7150	100
1000 - 1500	1250	5750	6150	100	1000 - 1500	1250	6250	6650	100
1500 - 2000	1750	5250	5650	100	1500 - 2000	1750	5750	6150	100
2000 - 2500	2250	4750	5150	100	2000 - 2500	2250	5250	5650	100
2500 - 3000	2750	4250	4650	100	2500 - 3000	2750	4750	5150	100
3000 - 3500	3250	3750	4150	99.9168	3000 - 3500	3250	4250	4650	100
3500 - 4000	3750	3250	3650	99.7709	3500 - 4000	3750	3750	4150	99.9168
4000 - 4500	4250	2750	3150	99.2576	4000 - 4500	4250	3250	3650	99.7709
4500 - 5000	4750	2250	2650	98.8108	4500 - 5000	4750	2750	3150	99.2576
5000 - 5500	5250	1750	2150	97.6091	5000 - 5500	5250	2250	2650	98.8108
5500 - 6000	5750	1250	1650	90.4683	5500 - 6000	5750	1750	2150	97.6091
6000 - 6500	6250	750	1150	82.0233	6000 - 6500	6250	1250	1650	90.4683
6500 - 7000	6750	250	650	70.3504	6500 - 7000	6750	750	1150	82.0233
7000 - 7500	7250	-250	150	54.0064	7000 - 7500	7250	250	650	70.3504
7500 - 8000	7750	-750	-350	0	7500 - 8000	7750	-250	150	54.0064

SI < 8000				
Intervalo de Almacenamiento S ₀	Punto medio del Intervalo S _{m0}	S _l max - S _{m0} (l)	E = (l) + D	P(E) (%)
0	0	8000	8400	100
0 - 500	250	7750	8150	100
500 - 1000	750	7250	7650	100
1000 - 1500	1250	6750	7150	100
1500 - 2000	1750	6250	6650	100
2000 - 2500	2250	5750	6150	100
2500 - 3000	2750	5250	5650	100
3000 - 3500	3250	4750	5150	100
3500 - 4000	3750	4250	4650	100
4000 - 4500	4250	3750	4150	99.9168
4500 - 5000	4750	3250	3650	99.7709
5000 - 5500	5250	2750	3150	99.2576
5500 - 6000	5750	2250	2650	98.8108
6000 - 6500	6250	1750	2150	97.6091
6500 - 7000	6750	1250	1650	90.4683
7000 - 7500	7250	750	1150	82.0233
7500 - 8000	7750	250	650	70.3504

donde: S₀ = almacenamiento inicial
 S_{m0} = almacenamiento inicial promedio
 S_l = almacenamiento al final del intervalo
 S_lmax = almacenamiento máximo al final del intervalo

Las ecuaciones resultantes se presentan en la tabla 5.3, en forma de matriz.

El problema es resolver este conjunto de ecuaciones para P_0, \dots, P_{8000} .

Reconociendo que éstas son probabilidades acumuladas podemos calcular las expresiones para el almacenamiento en los rangos sucesivos por medio de restas sucesivas, de este modo $P_{2,000-2,500} = P_{2,500} - P_{2,000}$. Los resultados están dados en la tabla 5.4. Nótese que los coeficientes suman 100 verticalmente. En las últimas columnas la suma es menor que 100; esto se debe a que aún se tienen probabilidades mayores que cero en rangos mayores que 8,000. Para que esto no ocurra, en el último renglón se coloca la diferencia. Esto se explica porque si nuestro embalse fuera de 8,000 miles de m^3 , las probabilidades de mayor almacenamiento corresponden a derrames.

En la tabla 5.4, cada línea horizontal es una ecuación. Hay un signo igual implicado entre la 1ª y la 2ª columnas. Por ejemplo, la segunda línea dice:

$$P_{0-0.5} = 0.117 P_0 + 0.163 P_{0-0.5} + 0.54 P_{0.5-1.0}$$

Por lo tanto, tenemos un conjunto de ecuaciones simultáneas para resolver. El método más simple es resolverlo por medio de aproximaciones sucesivas. Cualquier conjunto razonable de valores puede ser usado para la primera aproximación.

Si no se tienen datos o criterios para hacer una mejor aproximación inicial, todas las probabilidades se pueden suponer iguales. Los valores obtenidos de la primera aproximación se insertan en cada ecuación, el sistema se resuelve de nuevo y los resultados se toman como segunda aproximación. El sistema se resuelve de nuevo para obtener la tercera aproximación, y el proceso continúa hasta que la diferencia entre los datos supuestos y los obtenidos se vuelva despreciable. Debe tenerse cuidado en los cálculos de que la suma de probabilidades después de cada iteración sea igual a 1.0 (100 %).

La resolución de las ecuaciones se realizó con la ayuda de una hoja de cálculo obteniéndose los siguientes valores:

PROBABILIDAD DE ALMACENAMIENTO IGUAL O MENOR QUE EL INDICADO	
P(0)	0.0422
P(500)	0.0701
P(1000)	0.1041
P(1500)	0.1418
P(2000)	0.1836
P(2500)	0.2278
P(3000)	0.2754
P(3500)	0.3265
P(4000)	0.3815
P(4500)	0.4407
P(5000)	0.5042
P(5500)	0.5726
P(6000)	0.6461
P(6500)	0.7251
P(7000)	0.8101
P(7500)	0.9016
P(8000)	1.0000

TABLA 5.5

La segunda columna de la tabla 5.5 da la probabilidad acumulada en los valores de P_0 , P_{500} , etc.

IV. La fig. 5.3 muestra un trazo de la distribución de frecuencia del almacenamiento calculada por medio de los resultados de la tabla 5.5.

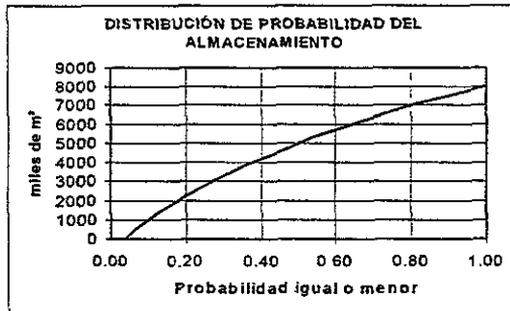


FIGURA 5.3

Esto es parte de la respuesta buscada. A partir de la simulación del funcionamiento de vaso se determinó un embalse con capacidad útil de 7,150 miles de m³, el cual era suficiente para satisfacer la demanda con un 1.17 % de deficiencias y 17.49 % de derrames.

Si mantenemos el mismo porcentaje de derrame entonces el embalse retiene el 82.51 %. Al entrar en la distribución de probabilidad del embalse de 8, 000 miles de m³ con este valor obtenemos un embalse de 7,081.97 miles de m³

Por otra parte, la distribución de frecuencia de la descarga para el almacenamiento puede ser determinada fácilmente de la fig. 5.3 utilizando la función de servicio de la fig. 5.1. Por ejemplo, el almacenamiento es igual o menor que 1,000 durante el 10.41 % del tiempo. La descarga correspondiente, de acuerdo con la fig. 5.1, es 400. La probabilidad de que la descarga sea de 400 con un almacenamiento de 1,000 es de 10.41 %. El almacenamiento es igual o menor que 2,000 para el 18.36 % del tiempo; la descarga correspondiente, al tener una descarga constante, también es 400, de tal forma que también se tiene el 18.36 % de probabilidad de una descarga de 400.

Las descargas son iguales a 400 mientras haya almacenamiento y el embalse no derrame. Las probabilidades de descargas menores que 400 son calculadas como sigue: la probabilidad de una descarga igual o menor que 100 es la suma de las probabilidades independientes parciales de que no haya almacenamiento y la entrada sea igual o menor que 100; de que el almacenamiento esté en el rango de 0 a 50 y las entradas sean iguales o menores de 75 en promedio; de que el almacenamiento esté en el rango de 50 a 100 y las entradas sean iguales o menores de 25 en promedio. Los cálculos se muestran a continuación:

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 50

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	50	0.48478	0.02046
0 - 50	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.02179

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 100

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	100	0.50539	0.02133
0 - 50	0.00279	75	0.49533	0.00138
50 - 100	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.02404

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 150

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	150	0.54006	0.02279
0 - 50	0.00279	125	0.52338	0.00146
50 - 100	0.00279	75	0.49533	0.00138
100 - 150	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.02696

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 200

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	200	0.56755	0.02395
0 - 50	0.00279	175	0.55154	0.00154
50 - 100	0.00279	125	0.52338	0.00146
100 - 150	0.00279	75	0.49533	0.00138
150 - 200	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.02966

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 250

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	250	0.58989	0.02489
0 - 50	0.00279	225	0.57815	0.00161
50 - 100	0.00279	175	0.55154	0.00154
100 - 150	0.00279	125	0.52338	0.00146
150 - 200	0.00279	75	0.49533	0.00138
200 - 250	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.03222

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 300

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	300	0.59408	0.02507
0 - 50	0.00279	275	0.59161	0.00165
50 - 100	0.00279	225	0.57815	0.00161
100 - 150	0.00279	175	0.55154	0.00154
150 - 200	0.00279	125	0.52338	0.00146
200 - 250	0.00279	75	0.49533	0.00138
250 - 300	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.03404

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 350

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	350	0.62517	0.02638
0 - 50	0.00279	325	0.60692	0.00169
50 - 100	0.00279	275	0.59161	0.00165
100 - 150	0.00279	225	0.57815	0.00161
150 - 200	0.00279	175	0.55154	0.00154
200 - 250	0.00279	125	0.52338	0.00146
250 - 300	0.00279	75	0.49533	0.00138
300 - 350	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.03705

PROBABILIDAD DE DESCARGA IGUAL O MENOR QUE 400

ALMACENAMIENTO		ENTRADA PROMEDIO		Probabilidad
(miles de m ³)	Probabilidad	(miles de m ³)	Probabilidad	Parcial
0	0.04220	400	0.64267	0.02712
0 - 50	0.00279	375	0.63943	0.00178
50 - 100	0.00279	325	0.60692	0.00169
100 - 150	0.00279	275	0.59161	0.00165
150 - 200	0.00279	225	0.57815	0.00161
200 - 250	0.00279	175	0.55154	0.00154
250 - 300	0.00279	125	0.52338	0.00146
300 - 350	0.00279	75	0.49533	0.00138
350 - 400	0.00279	25	0.47653	0.00133
				0.03957

En resumen, las probabilidades totales de descargas son como se muestran en la tabla 5.6 y en la figura 5.4:

PROBABILIDAD %	DESCARGA (miles de m ³)
2.179	50
2.404	100
2.696	150
2.966	200
3.222	250
3.404	300
3.705	350
3.957	400
4.220	400
10.000	400
20.000	400
30.000	400
40.000	400
50.000	400
60.000	400
70.000	400
80.000	400
90.000	400
100.000	400

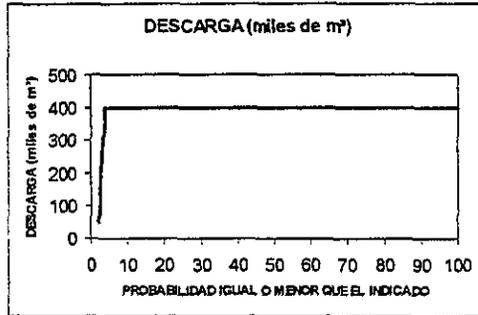


FIGURA 5.4

TABLA 5.6

Esto nos dice que el 3.957 % del tiempo se tendrá un déficit en la dotación de la demanda, contra el 1.92 % del tiempo con déficit calculado con los métodos determinísticos.

De todos modos, es un porcentaje aceptable, por lo que damos por terminado el diseño del embalse, el cual queda con una capacidad útil de 7.082 millones de m³.

RESUMEN, COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

GENERALIDADES

Al principio de esta tesis se planteó el objetivo de analizar diversos métodos para el diseño de embalses, identificando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, para posteriormente hacer una comparación entre los mismos.

El tema de esta tesis queda ampliamente justificado por el hecho de buscar una mejor forma del manejo de las aguas superficiales, ya que la irregular distribución espacial y temporal de este líquido, vuelve muy difícil su captación para satisfacer todas las necesidades.

Una vez terminado el análisis, resulta muy subjetivo afirmar que alguno de los métodos analizados sea mejor que otro o que proporcione una mayor certeza de que el dimensionamiento de un embalse sea óptimo.

Sin embargo, si es muy razonable afirmar que todos generan resultados suficientemente valiosos para que los ingenieros, ayudados de su criterio, puedan realizar el diseño de una presa.

Como se observa en el análisis de los métodos, el proceso de diseño de un embalse, como de la mayoría de las obras de ingeniería, se basa en la observación y estudio de los fenómenos físicos ocurridos en el pasado para aplicarlos en el futuro. Esto es, suponer que los datos recopilados durante un periodo de tiempo es una muestra representativa del universo de eventos, razón por la cual, mientras más años registrados podamos obtener, más confiable será nuestra suposición.

Los datos recopilados a lo largo del tiempo se procesan de algún modo para hallar la capacidad útil aceptando un límite de deficiencias en el servicio.

Todos los métodos aquí estudiados, siguen el razonamiento anterior, así que no podemos considerar esto como una desventaja de un método respecto a otro.

Se realizó el planteamiento de diversos métodos para el diseño de embalses. Primero se analizaron los métodos comúnmente usados en la actualidad y posteriormente se aplicó un método basado en la teoría de probabilidades para el mismo diseño.

En todos los métodos, el objetivo es definir una capacidad útil de embalse y consecuentemente, todos sus niveles característicos.

MÉTODOS DETERMINÍSTICOS

Los métodos determinísticos han sido los más utilizados a lo largo de la historia y han dado resultados satisfactorios en la mayoría de los casos, lo cual comprueba su eficacia.

Método del Diagrama de Rippl o del Pico Secuente.

La mayoría de las presas existentes han sido diseñadas con métodos determinísticos. De hecho, la mayoría de las presas diseñadas antes de la segunda mitad del siglo y algunas de las posteriores, fueron diseñadas con el método del Diagrama de Rippl (o Diagrama Diferencial de Masas), y en general han dado buenos resultados en lo referente a la satisfacción de necesidades.

Los métodos determinísticos utilizan una secuencia de datos, lo que quiere decir que se realiza una simulación exacta del pasado, pero sin la probabilidad de que ocurran eventos extraordinarios, salvo los ocurridos en ese período de tiempo. Esto quiere decir que no estamos considerando la probabilidad de que, después de un evento dado, se presente cualquier otro evento posible, sino exclusivamente, el evento que sigue en la secuencia que ocurrió en el pasado. Esto evidentemente limita en gran medida el diseño de la presa.

El método del Diagrama de Rippl, en su forma más simple, sólo utiliza el escurrimiento y la demanda para determinar la capacidad útil. En general, estas dos variables suelen ser las que tienen mayor importancia en cuanto al volumen que presentan, sin embargo, en algunos casos, la evaporación o las pérdidas por filtración son considerables, y hay manera de tomarlas en cuenta.

El método del pico secuente es la solución aritmética del Diagrama de Rippl.

Simulación del Funcionamiento de Vasos

Otro método usual es la simulación digital del funcionamiento de vasos, que es la aplicación de la ecuación fundamental de la continuidad a lo largo del tiempo. Utiliza series históricas de escurrimiento, precipitación y evaporación y se simula el tránsito de cada registro por la salida de la cuenca, lugar donde colocamos

obstáculos o barreras (presas) de distintas alturas. Cada una de estas barreras detiene determinada cantidad de agua y el embalse formado presenta déficits y derrames al hacerlo funcionar para surtir una demanda. Se elige la presa cuya altura optimice los índices de operación en cuanto al aprovechamiento de la corriente.

Este método en especial permite obtener datos confiables acerca del porcentaje de derrames y deficiencias, tanto respecto al tiempo de ocurrencia como con referencia al volumen de los mismos, lo que son los aspectos principales de los índices de eficiencia de un embalse.

Realizando simulaciones con distintos tamaños de embalse, como se ha dicho, y evaluando el costo de cada uno, se puede graficar el costo contra el tamaño para todas las simulaciones y en la gráfica se deduce el punto óptimo.

Este método tiene el mismo defecto del método del pico secuente o de Rippl, de seguir estrictamente una serie histórica; además de que después del escurrimiento i sigue el escurrimiento $i+1$, también se le asocia una precipitación i y una evaporación i , sin dejar lugar a otras combinaciones posibles.

Una ventaja más de los métodos determinísticos, y en particular de la simulación digital del funcionamiento de vasos, es su facilidad para programarse, lo que ahorra mucho tiempo de cálculo y abre las posibilidades para aumentar el alcance de cada simulación, como poder observar gráficamente el comportamiento del embalse.

Es posible simular el funcionamiento con distintos volúmenes iniciales, es decir, saber que pasa para cuando empezamos a trabajar con la presa llena, vacía o a medio llenar.

MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

Los métodos probabilísticos plantean, por otro lado, una manera distinta de analizar los datos recopilados en el pasado. Este planteamiento se basa en considerar sus características estadísticas, sin una secuencia en su ocurrencia. Esto es, asignar a cada evento una probabilidad de ocurrencia, sin la restricción de que el evento que siga sea el que ocurrió en la secuencia, sino, por el contrario, dejar abierta la posibilidad de que ocurra cualquier otro. Así, se propone un dimensionamiento del embalse y se observa la probabilidad, respecto al tiempo, de que dicho embalse presente derrames o deficiencias.

El método probabilístico de Moran introdujo la teoría de probabilidades en el análisis de los almacenamientos. A diferencia del funcionamiento de vasos,

únicamente se considera la demanda, como función de servicio y la ley de entrada con el escurrimiento, así es que también se dejan de considerar muchas variables que pueden ser importantes para el diseño.

En los métodos determinísticos se proponía una dimensión y se revisaban los índices de déficit o derrame. Con los métodos probabilísticos se proponen los límites y se encuentran las dimensiones.

Este método probabilístico se puede mejorar considerablemente involucrando las variables no tomadas en cuenta. Además es posible restringir los eventos que ocurren después de otros.

El análisis probabilístico en la forma que se utilizó en esta tesis, está basado en la condición de que las entradas ocurren aleatoria e independientemente, es decir, que la probabilidad de una entrada dada es independiente de gastos anteriores. Ahora bien, si el embalse está vacío como resultado de un período de estiaje, entonces la probabilidad de un gasto de entrada puede ser menor que si el embalse está lleno; entonces es posible modificar el método suponer que la probabilidad de un evento depende de lo que pasó antes de él.

Con el funcionamiento de vaso podíamos saber cuanto volumen faltaba cada que se presentaba en déficit, ahora, nos interesa saber cual es la probabilidad de surtir volúmenes menores que la demanda.

Estos métodos probabilísticos pueden ser desarrollados para involucrar mayor número de variables y así generar mejores resultados, Aún así, este método parece más acertado en cuanto a las posibles combinaciones de entradas y salidas que puedan suceder en el futuro y no sólo la combinación de la serie histórica.

MÉTODOS ESTOCÁSTICOS

Tomando las ideas anteriores y desarrollándolas aún más, se llega a métodos que combinan algunas características estadísticas y probabilísticas de las series de históricas y a partir de estos datos, generan nuevas series con las mismas características. Estas series se conocen como series sintéticas y los métodos que las generan son los métodos estocásticos.

Utilizando estas series sintéticas, se realizan nuevas simulaciones de funcionamiento de vaso que en conjunto dan soluciones más precisas.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS DEL EJEMPLO DESARROLLADO

Para lograr una mejor comparación y comprensión de los métodos aplicados, se utilizó un caso particular, el Proyecto Coyotes, Sin., con algunas consideraciones simplificadoras para ejemplificar mejor la utilización de cada método.

Con el método de Rippl se calculó una capacidad útil de 7,146,900 m³, volumen con el cual, según este método, no se tendrán déficits en la satisfacción de la demanda. Además, nos arroja un volumen de 64,691,700 m³ de derrames durante un tiempo de 52 años, que es la duración de esta simulación.

Tomando como válida la capacidad útil calculada con el método anterior de 7.15 millones de m³, se presenta un déficit en la demanda de 1.17 %, lo que ocurre el 1.92 % del tiempo, es decir, 6 meses de los 312 simulados. Se presentan 25 meses con derrames, lo que equivale al 8 % del tiempo.

Al mantener el mismo porcentaje de derrame aceptado en el funcionamiento de vaso, 17.49%, el embalse sería, según el método de Morán, de 7.082 millones de m³.

Al obtener las probabilidades de descargas menores que la demanda sabemos que el 3.957 % del tiempo se tendría un déficit en la dotación de la demanda, contra el 1.92 % calculado con la simulación del funcionamiento de vasos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo analizado en esta tesis y en especial en este capítulo, concluyo que la teoría de probabilidades tiene los elementos suficientes para ser aplicable al dimensionamiento de vasos. Para probar su confiabilidad comparé los resultados arrojados por métodos de amplia difusión como son los métodos determinísticos, con los resultados obtenidos con el Método de Moran. Esta comparación resulta muy favorable, ya que los resultados obtenidos en ambos casos son muy similares.

El hecho de que los métodos probabilísticos consideran variables aleatorias e independientes, conjuntado con los resultados confiables que arroja, indica la necesidad de investigar y desarrollarlos más a fondo, incluso derivando hacia la utilización de métodos estocásticos.

ANEXO 1

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

ANEXO 1

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	Xi	Di	(Xi-Di)	(Xi-Di)ACUM	
1	116.8	400	-283.2	-283.2	
2	0	400	-400	-683.2	
3	0	400	-400	-1083.2	
4	0	400	-400	-1483.2	
5	0	400	-400	-1883.2	
6	412.4	400	12.4	-1870.8	
7	1092.8	400	692.8	-1178	
8	1945	400	1545	367	
9	3168.4	400	268.4	1335.4	
10	240.6	400	-159.4	976	
11	0	400	-400	576	
12	206.2	400	-193.8	382.2	
13	355.2	400	-44.8	337.4	
14	247.8	400	-152.2	185.2	
15	247.8	400	-152.2	33	
16	0	400	-400	-367	
17	0	400	-400	-767	1135.4
18	0	400	-400	-1167	-1167
19	1090.5	400	690.5	-476.5	2302.4
20	1206.2	400	806.2	329.7	
21	3288.1	400	2888.1	3217.8	
22	313.9	400	-86.1	3131.7	
23	917	400	517	3648.7	
24	247.8	400	-152.2	3496.5	
25	17.4	400	-382.6	3113.9	
26	191.2	400	-208.8	2905.1	
27	0	400	-400	2505.1	
28	0	400	-400	2105.1	
29	0	400	-400	1705.1	3648.7
30	0	400	-400	1305.1	1305.1
31	1824.8	400	1424.8	2729.9	2343.6
32	2567.8	400	2167.8	4897.7	
33	1429.4	400	1029.4	5927.1	
34	2029	400	1629	7556.1	
35	26.1	400	-373.9	7182.2	
36	608.3	400	208.3	7390.5	
37	105.6	400	-294.4	7096.1	
38	88	400	-312	6784.1	
39	0	400	-400	6384.1	
40	0	400	-400	5984.1	7356.1
41	0	400	-400	5584.1	5984.1
42	1355.1	400	955.1	6539.2	1972
43	1610.3	400	1210.3	7749.5	
44	1451.9	400	1051.9	8801.4	
45	4434.9	400	4034.9	12836.3	
46	0	400	-400	12436.3	
47	0	400	-400	12036.3	
48	0	400	-400	11636.3	
49	0	400	-400	11236.3	
50	0	400	-400	10836.3	
51	0	400	-400	10436.3	
52	0	400	-400	10036.3	12836.3
53	0	400	-400	9636.3	9636.3
54	959	400	559	10195.3	3200
55	1705.8	400	1305.8	11501.1	
56	2851.5	400	2451.5	13952.6	
57	2478.1	400	2078.1	16030.7	
58	339.5	400	-60.5	15970.2	
59	0	400	-400	15570.2	
60	0	400	-400	15170.2	
61	349.7	400	-50.3	15119.9	
62	0	400	-400	14719.9	
63	0	400	-400	14319.9	
64	0	400	-400	13919.9	16030.7
65	0	400	-400	13519.9	13519.9
66	609.4	400	209.4	13729.3	2510.8
67	1368.7	400	968.7	14698	

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	Xi	Di	(Xi-Di)	(Xi-Di)ACUM	
68	3336.8	400	2936.8	1763.8	
69	1728.4	400	1328.4	18963.2	
70	211E	400	171E	20681.2	
71	1668.4	400	1268.4	21949.6	
72	929.1	400	529.1	22478.7	
73	47.9	400	-352.1	22126.6	
74	319.2	400	-80.8	22045.8	
75	0	400	-400	21645.8	
76	0	400	-400	21245.8	22478.7
77	0	400	-400	20845.8	20845.8
78	874.1	400	474.1	21319.9	1632.9
79	1292.1	400	892.1	22212	
80	1808.9	400	1408.9	23620.9	
81	1960.9	400	1560.9	25181.8	
82	121.6	400	-278.4	24903.4	
83	0	400	-400	24503.4	
84	83.6	400	-316.4	24187	
85	0	400	-400	23787	
86	0	400	-400	23387	
87	0	400	-400	22987	
88	0	400	-400	22587	
89	0	400	-400	22187	25181.8
90	137.2	400	-262.8	21924.2	21924.2
91	1013.9	400	613.9	22538.1	3257.6
92	2172.6	400	1772.6	24310.7	
93	2157.3	400	1757.3	26068	
94	152.5	400	-247.5	25820.5	
95	335.4	400	-64.6	25755.9	
96	548.9	400	148.9	25904.8	
97	14.5	400	-385.5	25519.3	
98	0	400	-400	25119.3	
99	0	400	-400	24719.3	
100	0	400	-400	24319.3	
101	0	400	-400	23919.3	25904.8
102	0	400	-400	23519.3	23519.3
103	2105.9	400	1705.9	25225.2	2465.5
104	1085.5	400	685.5	25910.7	
105	1049.3	400	649.3	26560	
106	1280.9	400	880.9	27440.9	
107	0	400	-400	27040.9	
108	0	400	-400	26640.9	
109	0	400	-400	26240.9	
110	0	400	-400	25840.9	
111	0	400	-400	25440.9	
112	0	400	-400	25040.9	
113	0	400	-400	24640.9	
114	519.3	400	119.3	24760.2	
115	1375.7	400	975.7	25735.9	
116	1158.9	400	758.9	26495.8	
117	849.7	400	449.7	26945.5	
118	310.2	400	-89.8	26855.7	
119	555	400	155	27008.7	
120	188.8	400	-211.2	26797.5	
121	153.6	400	-246.4	26551.1	
122	0	400	-400	26151.1	
123	0	400	-400	25751.1	
124	0	400	-400	25351.1	
125	0	400	-400	24951.1	
126	0	400	-400	24551.1	
127	757.2	400	357.2	24908.3	
128	752.3	400	352.3	25260.6	
129	735.3	400	335.3	25595.9	
130	406	400	-5	25601.9	
131	21.9	400	-378.1	25223.8	
132	0	400	-400	24823.8	
133	0	400	-400	24423.8	
134	194	400	-206	24217.8	
135	0	400	-400	23817.8	

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X _t	D _t	(X _t -D _t)	(X _t -D _t)ACUM	
136	0	400	-400	23417.8	
137	0	400	-400	23017.8	
138	0	400	-400	22617.8	
139	1276.9	400	876.9	23494.7	
140	1151.7	400	751.7	24246.4	
141	1370.8	400	970.8	25217.2	
142	56.3	400	-343.7	24873.5	
143	0	400	-400	24473.5	
144	0	400	-400	24073.5	
145	582.9	400	182.9	24256.4	
146	13	400	-387	23869.4	
147	0	400	-400	23469.4	
148	0	400	-400	23069.4	
149	0	400	-400	22669.4	
150	64.8	400	-335.2	22334.2	
151	1055.7	400	655.7	22989.9	
152	2247.4	400	1847.4	24837.3	
153	356.2	400	-43.8	24793.5	
154	0	400	-400	24393.5	
155	0	400	-400	23993.5	
156	0	400	-400	23593.5	
157	64.6	400	-335.4	23258.1	
158	86.1	400	-313.9	22944.2	
159	0	400	-400	22544.2	
160	0	400	-400	22144.2	
161	0	400	-400	21744.2	27440.9
162	143.5	400	-256.5	21487.7	21487.7
163	1643.5	400	1243.5	22731.2	5952.2
164	1916.2	400	1516.2	24247.4	
165	732	400	332	24579.4	
166	897.1	400	497.1	25076.5	
167	215.3	400	-184.7	24891.8	
168	0	400	-400	24491.8	
169	356	400	-44	24447.8	
170	0	400	-400	24047.8	
171	0	400	-400	23647.8	
172	0	400	-400	23247.8	
173	0	400	-400	22847.8	
174	0	400	-400	22447.8	
175	1132.2	400	732.2	23180	
176	1431.2	400	1031.2	24211.2	
177	576.8	400	176.8	24388	
178	2000.9	400	1600.9	25988.9	
179	14.2	400	-385.8	25603.1	
180	0	400	-400	25203.1	
181	0	400	-400	24803.1	
182	0	400	-400	24403.1	
183	0	400	-400	24003.1	
184	0	400	-400	23603.1	
185	0	400	-400	23203.1	
186	0	400	-400	22803.1	
187	1429	400	1029	23832.1	
188	1056.5	400	656.5	24488.6	
189	1071.7	400	671.7	25160.3	
190	1352.9	400	952.9	26113.2	
191	691.7	400	291.7	26404.9	
192	532.1	400	132.1	26537	
193	338	400	-62	26475	
194	133.4	400	-266.6	26208.4	
195	560.4	400	160.4	26368.8	
196	0	400	-400	25968.8	
197	569.3	400	169.3	26138.1	
198	17.8	400	-382.2	25755.9	
199	2508.3	400	2108.3	27864.2	
200	1947.9	400	1547.9	29412.1	
201	1823.4	400	1423.4	30835.5	
202	1067.4	400	667.4	31502.9	
203	26.7	400	-373.3	31129.6	

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X _i	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i) ²	(X _i -D _i) ³
204	355.8	400	-44.2	1953.6	-8528.8
205	721.9	400	321.9	103618.1	33480000.7
206	0	400	-400	160000	-64000000
207	0	400	-400	160000	-64000000
208	0	400	-400	160000	-64000000
209	0	400	-400	160000	-64000000
210	750	400	350	122500	42875000
211	1051.4	400	651.4	424321.9	276280000.7
212	1310.7	400	910.7	829374.4	758000000.0
213	848.1	400	448.1	200792.8	90400000.0
214	0	400	-400	160000	-64000000
215	294.4	400	-105.6	11151.3	-1216000.0
216	448.6	400	48.6	2361.9	115400.0
217	916.3	400	516.3	266563.6	138600000.0
218	14.3	400	-385.7	148752.4	-57700000.0
219	0	400	-400	160000	-64000000
220	0	400	-400	160000	-64000000
221	0	400	-400	160000	-64000000
222	393.7	400	-6.3	39.6	-2500.0
223	1259.9	400	859.9	739408.0	635000000.0
224	1574.9	400	1174.9	1380421.0	1620000000.0
225	887.7	400	487.7	237850.9	116800000.0
226	536.9	400	136.9	18739.6	2560000.0
227	0	400	-400	160000	-64000000
228	114.5	400	-285.5	81502.2	-23200000.0
229	0	400	-400	160000	-64000000
230	0	400	-400	160000	-64000000
231	0	400	-400	160000	-64000000
232	0	400	-400	160000	-64000000
233	0	400	-400	160000	-64000000
234	0	400	-400	160000	-64000000
235	1087.8	400	687.8	471000.8	325000000.0
236	1846.6	400	1446.6	2092839.6	3040000000.0
237	1034.3	400	634.3	402316.4	258000000.0
238	731.9	400	331.9	110157.6	38000000.0
239	0	400	-400	160000	-64000000
240	107.4	400	-292.6	85612.7	-25600000.0
241	0	400	-400	160000	-64000000
242	153.8	400	-246.2	60615.6	-15000000.0
243	0	400	-400	160000	-64000000
244	0	400	-400	160000	-64000000
245	0	400	-400	160000	-64000000
246	0	400	-400	160000	-64000000
247	846.1	400	446.1	199005.2	89000000.0
248	504.8	400	104.8	10983.6	1150000.0
249	586.5	400	186.5	34772.2	13000000.0
250	0	400	-400	160000	-64000000
251	0	400	-400	160000	-64000000
252	0	400	-400	160000	-64000000
253	0	400	-400	160000	-64000000
254	0	400	-400	160000	-64000000
255	0	400	-400	160000	-64000000
256	0	400	-400	160000	-64000000
257	0	400	-400	160000	-64000000
258	0	400	-400	160000	-64000000
259	336.9	400	-63.1	3981.6	-250000.0
260	1464.3	400	1064.3	1132739.6	1210000000.0
261	1436.5	400	1036.5	1074360.2	1150000000.0
262	7.1	400	-392.9	154328.4	-59000000.0
263	0	400	-400	160000	-64000000
264	209.7	400	-190.3	36212.4	-13800000.0
265	0	400	-400	160000	-64000000
266	0	400	-400	160000	-64000000
267	0	400	-400	160000	-64000000
268	0	400	-400	160000	-64000000
269	0	400	-400	160000	-64000000
270	0	400	-400	160000	-64000000
271	982.2	400	582.2	338912.8	198000000.0

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X_i	D_i	$(X_i - D_i)$	$(X_i - D_i)_{ACUM}$
272	1845.6	400	1445.6	28216.2
273	793.8	400	393.8	28610
274	0	400	-400	28210
275	728.9	400	328.9	28538.9
276	336.2	400	-63.8	28475.1
277	147.5	400	-252.5	28222.6
278	22.7	400	-377.3	27845.3
279	0	400	-400	27445.3
280	0	400	-400	27045.3
281	0	400	-400	26645.3
282	804.7	400	404.7	27050
283	1828.3	400	1428.3	28478.3
284	539.1	400	139.1	28617.4
285	1411.4	400	1011.4	29628.8
286	476.6	400	76.6	29705.4
287	0	400	-400	29305.4
288	0	400	-400	28905.4
289	0	400	-400	28505.4
290	0	400	-400	28105.4
291	0	400	-400	27705.4
292	0	400	-400	27305.4
293	0	400	-400	26905.4
294	0	400	-400	26505.4
295	318.2	400	-81.8	26423.6
296	1978.1	400	1578.1	28001.7
297	753.9	400	353.9	28355.6
298	116.8	400	-283.2	28072.4
299	1174.3	400	774.3	28846.9
300	173.8	400	-226.2	28620.7
301	2031.7	400	1631.7	30252.4
302	195.7	400	-204.3	30048.1
303	0	400	-400	29648.1
304	0	400	-400	29248.1
305	0	400	-400	28848.1
306	199.5	400	-200.5	28647.6
307	1213.8	400	813.8	29461.4
308	1766.3	400	1366.3	30827.7
309	1323.5	400	923.5	31751.2
310	133.1	400	-266.9	31484.3
311	0	400	-400	31084.3
312	514.7	400	114.7	31199
313	116.8	400	-283.2	30915.8
314	0	400	-400	30515.8
315	0	400	-400	30115.8
316	0	400	-400	29715.8
317	0	400	-400	29315.8
318	412.4	400	12.4	29328.2
319	1092.8	400	692.8	30021
320	1945	400	1545	31566
321	1168.4	400	768.4	32334.4
322	240.6	400	-4	32338.4
323	0	400	-400	31938.4
324	206.2	400	-193.8	31744.6
325	355.2	400	-44.8	31699.8
326	247.8	400	-152.2	31547.6
327	247.8	400	-152.2	31395.4
328	0	400	-400	30995.4
329	0	400	-400	30595.4
330	0	400	-400	30195.4
331	1090.5	400	690.5	30885.9
332	1206.2	400	806.2	31692.1
333	3288.1	400	2888.1	34580.2
334	313.9	400	-86.1	34494.1
335	917	400	517	35011.1
336	247.8	400	-152.2	34858.9
337	17.4	400	-382.6	34476.3
338	191.2	400	-208.8	34267.5
339	0	400	-400	33867.5

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	IG	D _i	(IG-D _i)	(IG-D _i)ACUM	
340	0	400	-400	32467.5	
341	0	400	-400	33067.5	35011.1
342	0	400	-400	33667.5	32667.5
343	1824.8	400	1424.8	34092.3	2243.6
344	2567.8	400	2167.8	36260.1	
345	1429.4	400	1029.4	37289.5	
346	2029	400	1629	38918.5	
347	26.1	400	-373.9	38544.6	
348	608.3	400	208.3	38752.9	
349	105.6	400	-294.4	38458.5	
350	88	400	-312	38146.5	
351	0	400	-400	37746.5	
352	0	400	-400	37346.5	38918.5
353	0	400	-400	36946.5	36946.5
354	1355.1	400	955.1	37901.6	7972
355	1610.3	400	1210.3	39111.9	
356	1451.9	400	1051.9	40163.8	
357	4434.9	400	4034.9	44198.7	
358	0	400	-400	43798.7	
359	0	400	-400	43398.7	
360	0	400	-400	42998.7	
361	0	400	-400	42598.7	
362	0	400	-400	42198.7	
363	0	400	-400	41798.7	
364	0	400	-400	41398.7	44198.7
365	0	400	-400	40998.7	40998.7
366	959	400	559	41557.7	3200
367	1705.8	400	1305.8	42863.5	
368	2851.5	400	2451.5	45315	
369	2478.1	400	2078.1	47393.1	
370	339.5	400	-60.5	47332.6	
371	0	400	-400	46932.6	
372	0	400	-400	46532.6	
373	349.7	400	-50.3	46482.3	
374	0	400	-400	46082.3	
375	0	400	-400	45682.3	
376	0	400	-400	45282.3	47393.1
377	0	400	-400	44882.3	44882.3
378	609.4	400	209.4	45091.7	2516.8
379	1368.7	400	968.7	46060.4	
380	3336.8	400	2936.8	48997.2	
381	1728.4	400	1328.4	50525.6	
382	2118	400	1718	52043.6	
383	1668.4	400	1268.4	53312	
384	929.1	400	529.1	53841.1	
385	47.9	400	-352.1	53489	
386	319.2	400	-80.8	53408.2	
387	0	400	-400	53008.2	
388	0	400	-400	52608.2	53841.1
389	0	400	-400	52208.2	52208.2
390	874.1	400	474.1	52682.3	1632.9
391	1292.1	400	892.1	53574.4	
392	1808.9	400	1408.9	54982.3	
393	1960.9	400	1560.9	56544.3	
394	121.6	400	-278.4	56265.8	
395	0	400	-400	55865.8	
396	83.6	400	-316.4	55549.4	
397	0	400	-400	55149.4	
398	0	400	-400	54749.4	
399	0	400	-400	54349.4	
400	0	400	-400	53949.4	
401	0	400	-400	53549.4	56544.2
402	137.2	400	-262.8	53286.6	53286.6
403	1013.9	400	613.9	53900.5	3257.6
404	2172.6	400	1772.6	55673.1	
405	2157.3	400	1757.3	57430.4	
406	152.5	400	-247.5	57182.9	
407	335.4	400	-64.6	57118.3	

ANEXO 1

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X _i	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM	
406	443 9	400	148 9	57267.2	
409	14 5	400	-385 5	56881 7	
410	0	400	-400	56481 7	
411	0	400	-400	56081 7	
412	0	400	-400	55681 7	
413	0	400	-400	55281 7	57267 2
414	0	400	-400	54881 7	54881 7
415	2105 9	400	1705 9	56587 6	2385 3
416	1085 5	400	685 5	57273 1	
417	1049 3	400	649 3	57922 4	
418	1280 9	400	880 9	58803 3	
419	0	400	-400	58403 3	
420	0	400	-400	58003 3	
421	0	400	-400	57603 3	
422	0	400	-400	57203 3	
423	0	400	-400	56803 3	
424	0	400	-400	56403 3	
425	0	400	-400	56003 3	
426	519 3	400	119 3	56122 6	
427	1375 7	400	975 7	57098 3	
428	1159 9	400	759 9	57858 2	
429	849 7	400	449 7	58307 9	
430	310 2	400	-89 8	58218 1	
431	553	400	153	58371 1	
432	188 8	400	-211 2	58159 9	
433	353 6	400	-246 4	57913 5	
434	0	400	-400	57513 5	
435	0	400	-400	57113 5	
436	0	400	-400	56713 5	
437	0	400	-400	56313 5	
438	0	400	-400	55913 5	
439	757 2	400	357 2	56270 7	
440	752 3	400	352 3	56623	
441	735 3	400	335 3	56928 3	
442	406	400	6	56964 3	
443	21 9	400	-378 1	56586 2	
444	0	400	-400	56186 2	
445	0	400	-400	55786 2	
446	194	400	-206	55580 2	
447	0	400	-400	55180 2	
448	0	400	-400	54780 2	
449	0	400	-400	54380 2	
450	0	400	-400	53980 2	
451	1276 9	400	876 9	54857 1	
452	1151 7	400	751 7	55608 8	
453	1370 8	400	970 8	56579 6	
454	56 3	400	-343 7	56235 9	
455	0	400	-400	55835 9	
456	0	400	-400	55435 9	
457	582 9	400	182 9	55618 8	
458	15	400	-387	55231 8	
459	0	400	-400	54831 8	
460	0	400	-400	54431 8	
461	0	400	-400	54031 8	
462	64 8	400	-335 2	53696 6	
463	1055 7	400	655 7	54352 3	
464	2247 4	400	1847 4	56199 7	
465	356 2	400	-43 8	56155 9	
466	0	400	-400	55755 9	
467	0	400	-400	55355 9	
468	0	400	-400	54955 9	
469	64 6	400	-335 4	54620 5	
470	86 1	400	-313 9	54306 6	
471	0	400	-400	53906 6	
472	0	400	-400	53506 6	
473	0	400	-400	53106 6	58803 3
474	145 5	400	-256 5	52850 1	52850 1
475	1643 5	400	1243 5	54093 6	5953 2

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X _i	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM
476	1916.2	400	1516.2	55609.8
477	732	400	332	55941.8
478	897.1	400	497.1	56438.9
479	215.3	400	-184.7	56254.2
480	0	400	-400	55854.2
481	356	400	-44	55810.2
482	0	400	-400	55410.2
483	0	400	-400	55010.2
484	0	400	-400	54610.2
485	0	400	-400	54210.2
486	0	400	-400	53810.2
487	1132.2	400	732.2	54542.4
488	1431.2	400	1031.2	55573.6
489	576.8	400	176.8	55750.4
490	2000.9	400	1600.9	57331.3
491	14.2	400	-385.8	56945.5
492	0	400	-400	56545.5
493	0	400	-400	56145.5
494	0	400	-400	55745.5
495	0	400	-400	55345.5
496	0	400	-400	54945.5
497	0	400	-400	54545.5
498	0	400	-400	54145.5
499	1429	400	1029	55194.5
500	1056.5	400	656.5	55851
501	1071.7	400	671.7	56522.7
502	1352.9	400	952.9	57475.6
503	691.7	400	291.7	57767.3
504	532.1	400	132.1	57899.4
505	338	400	-62	57837.4
506	133.4	400	-266.6	57570.8
507	560.4	400	160.4	57731.2
508	0	400	-400	57331.2
509	569.3	400	169.3	57500.5
510	17.8	400	-382.2	57118.3
511	2508.3	400	2108.3	59226.6
512	1947.9	400	1547.9	60774.5
513	1823.4	400	1423.4	62197.9
514	1067.4	400	667.4	62865.3
515	26.7	400	-373.3	62492
516	355.8	400	-44.2	62447.8
517	721.9	400	321.9	62769.7
518	0	400	-400	62369.7
519	0	400	-400	61969.7
520	0	400	-400	61569.7
521	0	400	-400	61169.7
522	750	400	350	61519.7
523	1051.4	400	651.4	62171.1
524	1310.7	400	910.7	63081.8
525	848.1	400	448.1	63529.9
526	0	400	-400	63129.9
527	294.4	400	-105.6	63024.3
528	448.6	400	48.6	63072.9
529	916.3	400	516.3	63589.2
530	14.3	400	-385.7	63203.5
531	0	400	-400	62803.5
532	0	400	-400	62403.5
533	0	400	-400	62003.5
534	393.7	400	-6.3	61997.2
535	1259.9	400	859.9	62857.1
536	1574.9	400	1174.9	64032
537	887.7	400	487.7	64519.7
538	536.9	400	136.9	64656.6
539	0	400	-400	64256.6
540	114.5	400	-285.5	63971.1
541	0	400	-400	63571.1
542	0	400	-400	63171.1
543	0	400	-400	62771.1

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X _i	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM	
544	0	400	-400	62371.1	
545	0	400	-400	61971.1	64656.6
546	0	400	-400	61571.1	61571.1
547	1087.8	400	687.8	62258.9	3085.3
548	1846.6	400	1446.6	63705.5	
549	1054.3	400	654.3	64359.8	
550	731.9	400	331.9	64691.7	
551	0	400	-400	64291.7	
552	107.4	400	-292.6	63999.1	
553	0	400	-400	63599.1	
554	153.8	400	-246.2	63352.9	
555	0	400	-400	62952.9	
556	0	400	-400	62552.9	
557	0	400	-400	62152.9	
558	0	400	-400	61752.9	
559	846.1	400	446.1	62199	
560	504.8	400	104.8	62303.8	
561	586.5	400	186.5	62490.3	
562	0	400	-400	62090.3	
563	0	400	-400	61690.3	
564	0	400	-400	61290.3	
565	0	400	-400	60890.3	
566	0	400	-400	60490.3	
567	0	400	-400	60090.3	
568	0	400	-400	59690.3	
569	0	400	-400	59290.3	
570	0	400	-400	58890.3	
571	336.9	400	-63.1	58827.2	
572	1464.3	400	1064.3	59891.5	
573	1436.5	400	1036.5	60928	
574	7.1	400	-392.9	60335.1	
575	0	400	-400	60135.1	
576	209.7	400	-190.3	59944.8	
577	0	400	-400	59544.8	
578	0	400	-400	59144.8	
579	0	400	-400	58744.8	
580	0	400	-400	58344.8	
581	0	400	-400	57944.8	64691.7
582	0	400	-400	57544.8	57544.8
583	988.2	400	588.2	58133	7146.9
584	1845.6	400	1445.6	59578.6	
585	793.8	400	393.8	59972.4	
586	0	400	-400	59572.4	
587	728.9	400	328.9	59901.3	
588	336.2	400	-63.8	59637.5	
589	147.5	400	-252.5	59585	
590	22.7	400	-377.3	59207.7	
591	0	400	-400	58807.7	
592	0	400	-400	58407.7	
593	0	400	-400	58007.7	
594	804.7	400	404.7	58412.4	
595	1828.3	400	1428.3	59840.7	
596	539.1	400	139.1	59979.8	
597	1411.4	400	1011.4	60991.2	
598	476.6	400	76.6	61067.8	
599	0	400	-400	60667.8	
600	0	400	-400	60267.8	
601	0	400	-400	59867.8	
602	0	400	-400	59467.8	
603	0	400	-400	59067.8	
604	0	400	-400	58667.8	
605	0	400	-400	58267.8	
606	0	400	-400	57867.8	
607	318.2	400	-81.8	57786	
608	1978.1	400	1578.1	59164.1	
609	753.9	400	353.9	59718	
610	116.8	400	-283.2	59434.8	
611	1174.5	400	774.5	60209.3	

ANEXO I

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE

MES	X ₀	D _n	(X _n -D _n)	(X _n -D _n)ACUM
612	173.8	400	-226.2	59983.1
613	2031.7	400	1631.7	61614.8
614	195.7	400	-204.3	61410.5
615	0	400	-400	61010.5
616	0	400	-400	60610.5
617	0	400	-400	60210.5
618	199.5	400	-200.5	60010
619	1213.8	400	813.8	60823.8
620	1766.3	400	1366.3	62190.1
621	1323.5	400	923.5	63113.6
622	133.1	400	-266.9	62846.7
623	0	400	-400	62446.7
624	514.7	400	114.7	62561.4

ANEXO 2

***DEMOSTRACIÓN DE LA CAPACIDAD MÍNIMA OBTENIDA
MEDIANTE EL MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO
SECUENTE***

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	Xi	Di	(Xi-Di)	(Xi-Di)ACUM	Volumen	Derrame
1	116.80	400.00	-283.20	-283.20	7,146.90	0.00
2	0.00	400.00	-400.00	-683.20	6,463.70	0.00
3	0.00	400.00	-400.00	-1,083.20	6,063.70	0.00
4	0.00	400.00	-400.00	-1,483.20	5,663.70	0.00
5	0.00	400.00	-400.00	-1,883.20	5,263.70	0.00
6	412.40	400.00	12.40	-1,870.80	5,276.10	0.00
7	1,092.80	400.00	692.80	-1,178.00	5,968.90	0.00
8	1,945.00	400.00	1,545.00	367.00	7,146.90	367.00
9	1,168.40	400.00	768.40	1,135.40	7,146.90	768.40
10	240.60	400.00	-159.40	976.00	6,987.50	0.00
11	0.00	400.00	-400.00	576.00	6,587.50	0.00
12	206.20	400.00	-193.80	382.20	6,393.70	0.00
13	353.20	400.00	-44.80	337.40	6,348.90	0.00
14	247.80	400.00	-152.20	185.20	6,196.70	0.00
15	247.80	400.00	-152.20	33.00	6,044.50	0.00
16	0.00	400.00	-400.00	-367.00	5,644.50	0.00
17	0.00	400.00	-400.00	-767.00	5,244.50	0.00
18	0.00	400.00	-400.00	-1,167.00	4,844.50	0.00
19	1,090.40	400.00	690.40	-476.60	5,535.00	0.00
20	1,206.20	400.00	806.20	329.70	6,341.20	0.00
21	3,288.10	400.00	2,888.10	3,217.80	7,146.90	2,882.40
22	313.90	400.00	-86.10	3,131.70	7,060.80	0.00
23	917.00	400.00	517.00	3,648.70	7,146.90	430.90
24	247.80	400.00	-152.20	3,496.50	6,994.70	0.00
25	17.40	400.00	-382.60	3,113.90	6,612.10	0.00
26	191.20	400.00	-208.80	2,905.10	6,403.30	0.00
27	0.00	400.00	-400.00	2,505.10	6,003.30	0.00
28	0.00	400.00	-400.00	2,105.10	5,603.30	0.00
29	0.00	400.00	-400.00	1,705.10	5,203.30	0.00
30	0.00	400.00	-400.00	1,305.10	4,803.30	0.00
31	1,824.80	400.00	1,424.80	2,729.90	6,228.10	0.00
32	2,567.80	400.00	2,167.80	4,897.70	7,146.90	1,249.00
33	1,429.40	400.00	1,029.40	5,927.10	7,146.90	1,029.40
34	2,029.00	400.00	1,629.00	7,556.10	7,146.90	1,629.00
35	26.10	400.00	-373.90	7,182.20	6,773.00	0.00
36	608.30	400.00	208.30	7,390.50	6,981.30	0.00
37	105.60	400.00	-294.40	7,096.10	6,686.90	0.00
38	88.00	400.00	-312.00	6,784.10	6,374.90	0.00
39	0.00	400.00	-400.00	6,384.10	5,974.90	0.00
40	0.00	400.00	-400.00	5,984.10	5,574.90	0.00
41	0.00	400.00	-400.00	5,584.10	5,174.90	0.00
42	1,355.10	400.00	955.10	6,539.20	6,130.00	0.00
43	1,610.30	400.00	1,210.30	7,749.50	7,146.90	0.00
44	1,451.90	400.00	1,051.90	8,801.40	7,146.90	1,051.90
45	4,434.90	400.00	4,034.90	12,836.30	7,146.90	4,034.90
46	0.00	400.00	-400.00	12,436.30	6,746.90	0.00
47	0.00	400.00	-400.00	12,036.30	6,346.90	0.00
48	0.00	400.00	-400.00	11,636.30	5,946.90	0.00
49	0.00	400.00	-400.00	11,236.30	5,546.90	0.00
50	0.00	400.00	-400.00	10,836.30	5,146.90	0.00
51	0.00	400.00	-400.00	10,436.30	4,746.90	0.00
52	0.00	400.00	-400.00	10,036.30	4,346.90	0.00
53	0.00	400.00	-400.00	9,636.30	3,946.90	0.00
54	959.00	400.00	559.00	10,195.30	4,505.90	0.00
55	1,705.80	400.00	1,305.80	11,501.10	5,811.70	0.00
56	2,851.50	400.00	2,451.50	13,952.60	7,146.90	1,116.30
57	2,478.10	400.00	2,078.10	16,030.70	7,146.90	2,078.10
58	339.50	400.00	-60.50	15,970.20	7,086.40	0.00
59	0.00	400.00	-400.00	15,570.20	6,686.40	0.00
60	0.00	400.00	-400.00	15,170.20	6,286.40	0.00
61	349.70	400.00	-50.30	15,119.90	6,236.10	0.00
62	0.00	400.00	-400.00	14,719.90	5,836.10	0.00
63	0.00	400.00	-400.00	14,319.90	5,436.10	0.00
64	0.00	400.00	-400.00	13,919.90	5,036.10	0.00
65	0.00	400.00	-400.00	13,519.90	4,636.10	0.00
66	609.40	400.00	209.40	13,729.30	4,845.50	0.00
67	1,368.70	400.00	968.70	14,698.00	5,814.20	0.00
68	3,336.80	400.00	2,936.80	17,634.80	7,146.90	1,604.10

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	Xi	Di	(X-Di)	(X-Di)ACUM	Volumen 7,146 90	Demora
69	1,728 40	400 00	1,328 40	18,963 20	7,146 90	1 328 40
70	2,118 00	400 00	1,718 00	20 681 20	7,146 90	1,718 00
71	1,668 40	400 00	1,268 40	21 949 60	7,146 90	1,268 40
72	929 10	400 00	529 10	22 478 70	7,146 90	529 10
73	47 90	400 00	-352 10	22 126 60	6,794 80	0 00
74	319 20	400 00	-80 80	22 045 80	6,714 00	0 00
75	0 00	400 00	-400 00	21 645 80	6,314 00	0 00
76	0 00	400 00	-400 00	21,245 80	5,914 00	0 00
77	0 00	400 00	-400 00	20,845 80	5,514 00	0 00
78	874 10	400 00	474 10	21,319 90	5,988 10	0 00
79	1,292 10	400 00	892 10	22,212 00	6,880 20	0 00
80	1,808 90	400 00	1,408 90	23,620 90	7,146 90	1,412 20
81	1,960 90	400 00	1,560 90	25 181 80	7,146 90	1,560 90
82	121 60	400 00	-278 40	24 903 40	6,868 50	0 00
83	0 00	400 00	-400 00	24,503 40	6,468 50	0 00
84	83 60	400 00	-316 40	24,187 00	6 132 10	0 00
85	0 00	400 00	-400 00	23,787 00	5,732 10	0 00
86	0 00	400 00	-400 00	23,387 00	5,332 10	0 00
87	0 00	400 00	-400 00	22,987 00	4,932 10	0 00
88	0 00	400 00	-400 00	22,587 00	4,532 10	0 00
89	0 00	400 00	-400 00	22,187 00	4,132 10	0 00
90	137 20	400 00	-262 80	21,924 20	3,889 30	0 00
91	1,013 90	400 00	613 90	22,538 10	4,503 20	0 00
92	2,172 60	400 00	1,772 60	24 310 70	6,275 80	0 00
93	2,157 30	400 00	1,757 30	26 068 00	7,146 90	886 20
94	152 50	400 00	-247 50	25,820 50	6,899 40	0 00
95	335 40	400 00	-64 60	25 755 90	6,834 80	0 00
96	548 90	400 00	148 90	25 904 80	6,983 70	0 00
97	14 50	400 00	-385 50	25,519 30	6,598 20	0 00
98	0 00	400 00	-400 00	25 119 30	6,198 20	0 00
99	0 00	400 00	-400 00	24,719 30	5,798 20	0 00
100	0 00	400 00	-400 00	24,319 30	5,398 20	0 00
101	0 00	400 00	-400 00	23 919 30	4,998 20	0 00
102	0 00	400 00	-400 00	23,519 30	4,598 20	0 00
103	2,105 90	400 00	1,705 90	25 225 20	6,304 10	0 00
104	1,085 50	400 00	685 50	25,910 70	6,989 60	0 00
105	1,049 30	400 00	649 30	26,560 00	7,146 90	492 00
106	1,280 90	400 00	880 90	27,440 90	7,146 90	880 90
107	0 00	400 00	-400 00	27,040 90	6,746 90	0 00
108	0 00	400 00	-400 00	26,640 90	6,346 90	0 00
109	0 00	400 00	-400 00	26,240 90	5,946 90	0 00
110	0 00	400 00	-400 00	25 840 90	5,546 90	0 00
111	0 00	400 00	-400 00	25,440 90	5,146 90	0 00
112	0 00	400 00	-400 00	25,040 90	4,746 90	0 00
113	0 00	400 00	-400 00	24,640 90	4,346 90	0 00
114	519 30	400 00	119 30	24 760 20	4,466 20	0 00
115	1,375 70	400 00	975 70	25 735 90	5,441 90	0 00
116	1,159 90	400 00	759 90	26 495 80	6,201 80	0 00
117	849 70	400 00	449 70	26,945 50	6,651 50	0 00
118	310 20	400 00	-89 80	26,855 70	6,561 70	0 00
119	553 00	400 00	153 00	27,008 70	6,714 70	0 00
120	188 80	400 00	-211 20	26,797 50	6,503 50	0 00
121	153 60	400 00	-246 40	26,551 10	6,257 10	0 00
122	0 00	400 00	-400 00	26,151 10	5,857 10	0 00
123	0 00	400 00	-400 00	25,751 10	5,457 10	0 00
124	0 00	400 00	-400 00	25,351 10	5,057 10	0 00
125	0 00	400 00	-400 00	24,951 10	4,657 10	0 00
126	0 00	400 00	-400 00	24,551 10	4,257 10	0 00
127	757 20	400 00	357 20	24 908 30	4,614 30	0 00
128	752 30	400 00	352 30	25,260 60	4,966 60	0 00
129	735 30	400 00	335 30	25 595 90	5,301 90	0 00
130	406 00	400 00	6 00	25 601 90	5,307 90	0 00
131	21 90	400 00	-378 10	25,223 80	4,929 80	0 00
132	0 00	400 00	-400 00	24 823 80	4,529 80	0 00
133	0 00	400 00	-400 00	24,423 80	4,129 80	0 00
134	194 00	400 00	-206 00	24,217 80	3,923 80	0 00
135	0 00	400 00	-400 00	23 817 80	3,523 80	0 00
136	0 00	400 00	-400 00	23 417 80	3,123 80	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	XG	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM	Volumen 7,146 90	Derrame
137	0 00	400 00	-400 00	23 017 80	2,723 80	0 00
138	0 00	400 00	-400 00	22 617 80	2 323 80	0 00
139	1 276 90	400 00	876 90	23 494 70	3 200 70	0 00
140	1 151 70	400 00	751 70	24 246 40	3 952 40	0 00
141	1 370 80	400 00	970 80	25 217 20	4 923 20	0 00
142	56 30	400 00	-343 70	24 873 50	4 579 50	0 00
143	0 00	400 00	-400 00	24 473 50	4 179 50	0 00
144	0 00	400 00	-400 00	24 073 50	3 779 50	0 00
145	882 90	400 00	482 90	24 556 40	3 962 40	0 00
146	13 00	400 00	-387 00	23 869 40	3 575 40	0 00
147	0 00	400 00	-400 00	23 469 40	3 175 40	0 00
148	0 00	400 00	-400 00	23 069 40	2 775 40	0 00
149	0 00	400 00	-400 00	22 669 40	2 375 40	0 00
150	64 80	400 00	-335 20	22 334 20	2 040 20	0 00
151	1 055 70	400 00	655 70	22 989 90	2 695 90	0 00
152	2 247 40	400 00	1 847 40	24 837 30	4 543 30	0 00
153	756 20	400 00	356 20	24 793 50	4 499 50	0 00
154	0 00	400 00	-400 00	24 393 50	4 099 50	0 00
155	0 00	400 00	-400 00	23 993 50	3 699 50	0 00
156	0 00	400 00	-400 00	23 593 50	3 299 50	0 00
157	64 60	400 00	-335 40	23 258 10	2 964 10	0 00
158	86 10	400 00	-313 90	22 944 20	2 650 20	0 00
159	0 00	400 00	-400 00	22 544 20	2 250 20	0 00
160	0 00	400 00	-400 00	22 144 20	1 850 20	0 00
161	0 00	400 00	-400 00	21 744 20	1 450 20	0 00
162	143 50	400 00	-256 50	21 487 70	1 193 70	0 00
163	1 643 50	400 00	1 243 50	22 731 20	2 437 20	0 00
164	1 916 20	400 00	1 516 20	24 247 40	3 952 40	0 00
165	732 00	400 00	332 00	24 579 40	4 285 40	0 00
166	897 10	400 00	497 10	25 076 50	4 782 50	0 00
167	215 30	400 00	-184 70	24 891 80	4 597 80	0 00
168	0 00	400 00	-400 00	24 491 80	4 197 80	0 00
169	356 00	400 00	-44 00	24 447 80	4 153 80	0 00
170	0 00	400 00	-400 00	24 047 80	3 753 80	0 00
171	0 00	400 00	-400 00	23 647 80	3 353 80	0 00
172	0 00	400 00	-400 00	23 247 80	2 953 80	0 00
173	0 00	400 00	-400 00	22 847 80	2 553 80	0 00
174	0 00	400 00	-400 00	22 447 80	2 153 80	0 00
175	1 332 20	400 00	932 20	23 380 00	2 886 00	0 00
176	1 431 20	400 00	1 031 20	24 211 20	3 917 20	0 00
177	576 80	400 00	176 80	24 388 00	4 094 00	0 00
178	2 000 90	400 00	1 600 90	25 988 90	5 694 90	0 00
179	14 20	400 00	-385 80	25 603 10	5 309 10	0 00
180	0 00	400 00	-400 00	25 203 10	4 909 10	0 00
181	0 00	400 00	-400 00	24 803 10	4 509 10	0 00
182	0 00	400 00	-400 00	24 403 10	4 109 10	0 00
183	0 00	400 00	-400 00	24 003 10	3 709 10	0 00
184	0 00	400 00	-400 00	23 603 10	3 309 10	0 00
185	0 00	400 00	-400 00	23 203 10	2 909 10	0 00
186	0 00	400 00	-400 00	22 803 10	2 509 10	0 00
187	1 429 00	400 00	1 029 00	23 832 10	3 538 10	0 00
188	1 056 50	400 00	656 50	24 488 60	4 194 60	0 00
189	1 071 70	400 00	671 70	25 160 30	4 866 30	0 00
190	1 332 90	400 00	932 90	26 113 20	5 819 20	0 00
191	691 70	400 00	291 70	26 404 90	6 110 90	0 00
192	532 70	400 00	132 70	26 537 60	6 243 60	0 00
193	338 00	400 00	-62 00	26 475 60	6 181 60	0 00
194	133 40	400 00	-266 60	26 208 40	5 914 40	0 00
195	860 40	400 00	460 40	26 368 80	6 074 80	0 00
196	0 00	400 00	-400 00	25 968 80	5 674 80	0 00
197	869 30	400 00	469 30	26 138 10	5 844 10	0 00
198	17 80	400 00	-382 20	25 755 90	5 461 90	0 00
199	2 508 30	400 00	2 108 30	27 864 20	7 146 90	423 30
200	1 947 90	400 00	1 547 90	29 412 10	7 146 90	1 547 90
201	1 823 40	400 00	1 423 40	30 835 50	7 146 90	1 423 40
202	1 067 40	400 00	667 40	31 502 90	7 146 90	667 40
203	26 70	400 00	-373 30	31 129 60	6 773 60	0 00
204	355 80	400 00	-44 20	31 085 40	6 729 40	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	X _t	D _t	(X _t -D _t)	(X _t -D _t)ACUM	Volumen 7,146 90	Derriame
205	721.90	400.00	321.90	31,407.30	7,051.30	0.00
206	0.00	400.00	-400.00	31,007.30	6,651.30	0.00
207	0.00	400.00	-400.00	30,607.30	6,251.30	0.00
208	0.00	400.00	-400.00	30,207.30	5,851.30	0.00
209	0.00	400.00	-400.00	29,807.30	5,451.30	0.00
210	750.00	400.00	350.00	30,157.30	5,801.30	0.00
211	1,051.40	400.00	651.40	30,808.70	6,452.70	0.00
212	1,310.70	400.00	910.70	31,719.40	7,146.90	216.50
213	848.10	400.00	448.10	32,167.50	7,146.90	448.10
214	0.00	400.00	-400.00	31,767.50	6,746.90	0.00
215	294.40	400.00	-105.60	31,661.90	6,641.30	0.00
216	448.60	400.00	48.60	31,710.50	6,689.90	0.00
217	916.30	400.00	516.30	32,226.80	7,146.90	59.30
218	14.30	400.00	-385.70	31,841.10	6,761.20	0.00
219	0.00	400.00	-400.00	31,441.10	6,361.20	0.00
220	0.00	400.00	-400.00	31,041.10	5,961.20	0.00
221	0.00	400.00	-400.00	30,641.10	5,561.20	0.00
222	353.70	400.00	-63.30	30,634.80	5,554.90	0.00
223	1,259.90	400.00	859.90	31,494.70	6,414.80	0.00
224	1,574.90	400.00	1,174.90	32,669.60	7,146.90	442.80
225	887.70	400.00	487.70	33,157.30	7,146.90	487.70
226	536.90	400.00	136.90	33,294.20	7,146.90	136.90
227	0.00	400.00	-400.00	32,894.20	6,746.90	0.00
228	114.50	400.00	-285.50	32,608.70	6,461.40	0.00
229	0.00	400.00	-400.00	32,208.70	6,061.40	0.00
230	0.00	400.00	-400.00	31,808.70	5,661.40	0.00
231	0.00	400.00	-400.00	31,408.70	5,261.40	0.00
232	0.00	400.00	-400.00	31,008.70	4,861.40	0.00
233	0.00	400.00	-400.00	30,608.70	4,461.40	0.00
234	0.00	400.00	-400.00	30,208.70	4,061.40	0.00
235	1,087.80	400.00	687.80	30,896.50	4,749.20	0.00
236	1,846.60	400.00	1,446.60	32,343.10	6,195.80	0.00
237	1,054.30	400.00	654.30	32,997.40	6,850.10	0.00
238	731.90	400.00	331.90	33,329.30	7,146.90	35.10
239	0.00	400.00	-400.00	32,929.30	6,746.90	0.00
240	107.40	400.00	-292.60	32,636.70	6,454.30	0.00
241	0.00	400.00	-400.00	32,236.70	6,054.30	0.00
242	153.80	400.00	-246.20	31,990.50	5,808.10	0.00
243	0.00	400.00	-400.00	31,590.50	5,408.10	0.00
244	0.00	400.00	-400.00	31,190.50	5,008.10	0.00
245	0.00	400.00	-400.00	30,790.50	4,608.10	0.00
246	0.00	400.00	-400.00	30,390.50	4,208.10	0.00
247	846.10	400.00	446.10	30,836.60	4,654.20	0.00
248	504.80	400.00	104.80	30,941.40	4,759.00	0.00
249	586.50	400.00	186.50	31,127.90	4,945.50	0.00
250	0.00	400.00	-400.00	30,727.90	4,545.50	0.00
251	0.00	400.00	-400.00	30,327.90	4,145.50	0.00
252	0.00	400.00	-400.00	29,927.90	3,745.50	0.00
253	0.00	400.00	-400.00	29,527.90	3,345.50	0.00
254	0.00	400.00	-400.00	29,127.90	2,945.50	0.00
255	0.00	400.00	-400.00	28,727.90	2,545.50	0.00
256	0.00	400.00	-400.00	28,327.90	2,145.50	0.00
257	0.00	400.00	-400.00	27,927.90	1,745.50	0.00
258	0.00	400.00	-400.00	27,527.90	1,345.50	0.00
259	336.90	400.00	-63.10	27,464.80	1,282.40	0.00
260	1,464.30	400.00	1,064.30	28,529.10	2,346.70	0.00
261	1,436.50	400.00	1,036.50	29,565.60	3,383.20	0.00
262	7.10	400.00	-392.90	29,172.70	2,990.30	0.00
263	0.00	400.00	-400.00	28,772.70	2,590.30	0.00
264	209.70	400.00	-190.30	28,582.40	2,400.00	0.00
265	0.00	400.00	-400.00	28,182.40	2,000.00	0.00
266	0.00	400.00	-400.00	27,782.40	1,600.00	0.00
267	0.00	400.00	-400.00	27,382.40	1,200.00	0.00
268	0.00	400.00	-400.00	26,982.40	800.00	0.00
269	0.00	400.00	-400.00	26,582.40	400.00	0.00
270	0.00	400.00	-400.00	26,182.40	0.00	0.00
271	982.20	400.00	582.20	26,770.60	582.20	0.00
272	1,845.60	400.00	1,445.60	28,216.20	2,053.80	0.00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	Xi	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM	Volumen 7,146 90	Derrame
273	793 80	400 00	393 80	28 610 00	2,437 60	0 00
274	0 00	400 00	-400 00	28 210 00	2,037 60	0 00
275	728 90	400 00	328 90	28 538 90	2,356 50	0 00
276	336 30	400 00	-63 80	28 475 10	2,292 70	0 00
277	147 50	400 00	-252 50	28 222 60	2,040 20	0 00
278	22 70	400 00	-377 30	27 845 30	1,662 90	0 00
279	0 00	400 00	-400 00	27 445 30	1,262 90	0 00
280	0 00	400 00	-400 00	27,045 30	862 90	0 00
281	0 00	400 00	-400 00	26 645 30	462 90	0 00
282	804 70	400 00	404 70	27,050 00	867 60	0 00
283	1,828 30	400 00	1,428 30	28 478 30	2,295 90	0 00
284	539 10	400 00	139 10	28 617 40	2,435 00	0 00
285	1,411 40	400 00	1,011 40	29 628 80	3,446 40	0 00
286	476 60	400 00	76 60	29 705 40	3,523 00	0 00
287	0 00	400 00	-400 00	29 305 40	3,123 00	0 00
288	0 00	400 00	-400 00	28 905 40	2,723 00	0 00
289	0 00	400 00	-400 00	28 505 40	2,323 00	0 00
290	0 00	400 00	-400 00	28 105 40	1,923 00	0 00
291	0 00	400 00	-400 00	27 705 40	1,523 00	0 00
292	0 00	400 00	-400 00	27 305 40	1,123 00	0 00
293	0 00	400 00	-400 00	26 905 40	723 00	0 00
294	0 00	400 00	-400 00	26 505 40	323 00	0 00
295	318 20	400 00	-81 80	26,423 60	241 30	0 00
296	1,978 10	400 00	1 578 10	28,001 70	1,819 30	0 00
297	753 90	400 00	353 90	28 355 60	2,173 20	0 00
298	116 80	400 00	-283 20	28 072 40	1 890 00	0 00
299	1,174 50	400 00	774 50	28 846 90	2,664 50	0 00
300	173 80	400 00	-226 20	28 620 70	2,438 30	0 00
301	2,031 70	400 00	1,631 70	30,252 40	4,070 00	0 00
302	195 70	400 00	-204 30	30 048 10	3,865 70	0 00
303	0 00	400 00	-400 00	29 648 10	3,465 70	0 00
304	0 00	400 00	-400 00	29 248 10	3 065 70	0 00
305	0 00	400 00	-400 00	28 848 10	2 665 70	0 00
306	199 50	400 00	-200 50	28 647 60	2 465 20	0 00
307	1,213 80	400 00	813 80	29 461 40	3,279 00	0 00
308	1,766 30	400 00	1,366 30	30 827 70	4 643 30	0 00
309	1,323 50	400 00	923 50	31 751 20	5 568 80	0 00
310	133 10	400 00	-266 90	31 484 30	5 301 90	0 00
311	0 00	400 00	-400 00	31 084 30	4 901 90	0 00
312	514 70	400 00	114 70	31 199 00	5 016 60	0 00
313	116 80	400 00	-283 20	30 915 80	4 733 40	0 00
314	0 00	400 00	-400 00	30 515 80	4 333 40	0 00
315	0 00	400 00	-400 00	30 115 80	3 933 40	0 00
316	0 00	400 00	-400 00	29 715 80	3 533 40	0 00
317	0 00	400 00	-400 00	29 315 80	3 133 40	0 00
318	412 40	400 00	12 40	29 328 20	3 145 80	0 00
319	1 092 80	400 00	692 80	30 021 00	3 838 60	0 00
320	1 945 00	400 00	1 545 00	31 566 00	5 383 60	0 00
321	1,168 40	400 00	768 40	32 334 40	6 152 00	0 00
322	240 60	400 00	4 00	32 338 40	6 156 00	0 00
323	0 00	400 00	-400 00	31 938 40	5 756 00	0 00
324	206 20	400 00	-193 80	31 744 60	5 562 20	0 00
325	355 20	400 00	-44 80	31 699 80	5 517 40	0 00
326	247 80	400 00	-152 20	31 547 60	5 365 20	0 00
327	247 80	400 00	-152 20	31 395 40	5 213 00	0 00
328	0 00	400 00	-400 00	30 995 40	4 813 00	0 00
329	0 00	400 00	-400 00	30 595 40	4 413 00	0 00
330	0 00	400 00	-400 00	30 195 40	4 013 00	0 00
331	1,090 50	400 00	690 50	30 885 90	4 703 50	0 00
332	1,206 20	400 00	806 20	31 692 10	5 509 70	0 00
333	2,288 10	400 00	2 888 10	34 580 20	7 146 90	1,250 90
334	313 90	400 00	-86 10	34 494 10	7 060 80	0 00
335	917 00	400 00	517 00	35 011 10	7 146 90	430 90
336	247 80	400 00	-152 20	34 858 90	6 994 70	0 00
337	17 40	400 00	-382 60	34 476 30	6 612 10	0 00
338	191 20	400 00	-208 80	34 267 50	6 403 30	0 00
339	0 00	400 00	-400 00	33 867 50	6 003 30	0 00
340	0 00	400 00	-400 00	33 467 50	5 603 30	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	XG	D _n	(XG-D _n)	(XG-D _n)ACUM	Volumen	Demora
341	0.00	400.00	-400.00	33,067.50	5,203.30	0.00
342	0.00	400.00	-400.00	32,667.50	4,803.30	0.00
343	1,824.80	400.00	1,424.80	34,092.30	6,228.10	0.00
344	2,567.80	400.00	2,167.80	36,260.10	7,146.90	1,249.00
345	1,429.40	400.00	1,029.40	37,289.50	7,146.90	1,029.40
346	2,029.00	400.00	1,629.00	38,918.50	7,146.90	1,629.00
347	26.10	400.00	-373.90	38,544.60	6,773.00	0.00
348	608.30	400.00	208.30	38,752.90	6,981.30	0.00
349	105.60	400.00	-294.40	38,458.50	6,089.90	0.00
350	88.00	400.00	-312.00	38,146.50	6,374.90	0.00
351	0.00	400.00	-400.00	37,746.50	5,974.90	0.00
352	0.00	400.00	-400.00	37,346.50	5,574.90	0.00
353	0.00	400.00	-400.00	36,946.50	5,174.90	0.00
354	1,355.10	400.00	955.10	37,901.60	6,130.00	0.00
355	1,610.30	400.00	1,210.30	39,111.90	7,146.90	793.40
356	1,451.90	400.00	1,051.90	40,163.80	7,146.90	1,051.90
357	4,434.90	400.00	4,034.90	44,198.70	7,146.90	4,034.90
358	0.00	400.00	-400.00	43,798.70	6,746.90	0.00
359	0.00	400.00	-400.00	43,398.70	6,346.90	0.00
360	0.00	400.00	-400.00	42,998.70	5,946.90	0.00
361	0.00	400.00	-400.00	42,598.70	5,546.90	0.00
362	0.00	400.00	-400.00	42,198.70	5,146.90	0.00
363	0.00	400.00	-400.00	41,798.70	4,746.90	0.00
364	0.00	400.00	-400.00	41,398.70	4,346.90	0.00
365	0.00	400.00	-400.00	40,998.70	3,946.90	0.00
366	959.00	400.00	559.00	41,557.70	4,505.90	0.00
367	1,705.80	400.00	1,305.80	42,863.50	5,811.70	0.00
368	2,851.50	400.00	2,451.50	45,315.00	7,146.90	1,116.30
369	2,478.10	400.00	2,078.10	47,393.10	7,146.90	2,078.10
370	339.50	400.00	-60.50	47,332.60	7,084.40	0.00
371	0.00	400.00	-400.00	46,932.60	6,684.40	0.00
372	0.00	400.00	-400.00	46,532.60	6,284.40	0.00
373	349.70	400.00	-50.30	46,482.30	6,234.10	0.00
374	0.00	400.00	-400.00	46,082.30	5,834.10	0.00
375	0.00	400.00	-400.00	45,682.30	5,434.10	0.00
376	0.00	400.00	-400.00	45,282.30	5,034.10	0.00
377	0.00	400.00	-400.00	44,882.30	4,634.10	0.00
378	609.40	400.00	209.40	45,091.70	4,843.50	0.00
379	1,368.70	400.00	968.70	46,060.40	5,814.20	0.00
380	3,336.80	400.00	2,936.80	48,997.20	7,146.90	1,664.10
381	1,728.40	400.00	1,328.40	50,325.60	7,146.90	1,328.40
382	2,118.00	400.00	1,718.00	52,043.60	7,146.90	1,718.00
383	1,668.40	400.00	1,268.40	53,312.00	7,146.90	1,268.40
384	929.10	400.00	529.10	53,841.10	7,146.90	529.10
385	47.90	400.00	-352.10	53,489.00	6,794.80	0.00
386	319.20	400.00	-80.80	53,408.20	6,714.00	0.00
387	0.00	400.00	-400.00	53,008.20	6,314.00	0.00
388	0.00	400.00	-400.00	52,608.20	5,914.00	0.00
389	0.00	400.00	-400.00	52,208.20	5,514.00	0.00
390	874.10	400.00	474.10	52,682.30	5,988.10	0.00
391	1,292.10	400.00	892.10	53,574.40	6,880.20	0.00
392	1,808.90	400.00	1,408.90	54,983.30	7,146.90	1,142.20
393	1,960.90	400.00	1,560.90	56,544.20	7,146.90	1,560.90
394	121.60	400.00	-278.40	56,265.80	6,868.50	0.00
395	0.00	400.00	-400.00	55,865.80	6,468.50	0.00
396	83.60	400.00	-316.40	55,549.40	6,152.10	0.00
397	0.00	400.00	-400.00	55,149.40	5,752.10	0.00
398	0.00	400.00	-400.00	54,749.40	5,352.10	0.00
399	0.00	400.00	-400.00	54,349.40	4,952.10	0.00
400	0.00	400.00	-400.00	53,949.40	4,552.10	0.00
401	0.00	400.00	-400.00	53,549.40	4,152.10	0.00
402	137.20	400.00	-262.80	53,286.60	3,889.20	0.00
403	1,013.90	400.00	613.90	53,900.50	4,503.20	0.00
404	2,172.60	400.00	1,772.60	55,673.10	6,273.80	0.00
405	2,157.30	400.00	1,757.30	57,430.40	7,146.90	886.20
406	152.50	400.00	-247.50	57,182.90	6,899.40	0.00
407	335.40	400.00	-64.60	57,118.30	6,834.80	0.00
408	548.90	400.00	148.90	57,267.20	6,983.70	0.00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	X _i	D _i	(X-D _i)	(X-D _i)ACUM	Volumen 7 146 90	Derrame
409	14 50	400 00	-385 50	56,881 70	6,598 20	0 00
410	0 00	400 00	-400 00	56,481 70	6,198 20	0 00
411	0 00	400 00	-400 00	56,081 70	5,798 20	0 00
412	0 00	400 00	-400 00	55,681 70	5,398 20	0 00
413	0 00	400 00	-400 00	55,281 70	4,998 20	0 00
414	0 00	400 00	-400 00	54,881 70	4,598 20	0 00
415	2,105 90	400 00	1,705 90	56,587 60	6,204 10	0 00
416	1,085 50	400 00	685 50	57,273 10	6,989 60	0 00
417	1,049 30	400 00	649 30	57,922 40	7,146 90	492 90
418	1,280 90	400 00	880 90	58 802 30	7,146 90	880 90
419	0 00	400 00	-400 00	58 403 30	6,746 90	0 00
420	0 00	400 00	-400 00	58 003 30	6,346 90	0 00
421	0 00	400 00	-400 00	57 603 30	5,946 90	0 00
422	0 00	400 00	-400 00	47,203 30	5,546 90	0 00
423	0 00	400 00	-400 00	56 803 30	5,146 90	0 00
424	0 00	400 00	-400 00	56 403 30	4,746 90	0 00
425	0 00	400 00	-400 00	56 003 30	4,346 90	0 00
426	519 30	400 00	119 30	56,122 60	4,406 20	0 00
427	1,375 70	400 00	975 70	57,098 30	5,441 90	0 00
428	1,159 90	400 00	759 90	57,858 20	6,201 80	0 00
429	849 70	400 00	449 70	58,307 90	6,651 50	0 00
430	310 20	400 00	-89 80	58,218 10	6,561 70	0 00
431	553 00	400 00	153 00	58,271 10	6,714 70	0 00
432	188 80	400 00	-211 20	58,159 90	6,503 50	0 00
433	153 60	400 00	-246 40	57,913 50	6,257 10	0 00
434	0 00	400 00	-400 00	57,513 50	5,857 10	0 00
435	0 00	400 00	-400 00	57,113 50	5,457 10	0 00
436	0 00	400 00	-400 00	56,713 50	5,057 10	0 00
437	0 00	400 00	-400 00	56,313 50	4,657 10	0 00
438	0 00	400 00	-400 00	55,913 50	4,257 10	0 00
439	757 20	400 00	357 20	56,270 70	4,614 30	0 00
440	752 30	400 00	352 30	56,623 00	4,966 60	0 00
441	735 30	400 00	335 30	56,958 30	5,301 90	0 00
442	406 00	400 00	6 00	56 964 30	5,307 90	0 00
443	21 90	400 00	-378 10	56 586 20	4,929 80	0 00
444	0 00	400 00	-400 00	56,186 20	4,529 80	0 00
445	0 00	400 00	-400 00	55,786 20	4,129 80	0 00
446	194 00	400 00	-206 00	55 580 20	3,923 80	0 00
447	0 00	400 00	-400 00	55,180 20	3,523 80	0 00
448	0 00	400 00	-400 00	54,780 20	3,123 80	0 00
449	0 00	400 00	-400 00	54,380 20	2,723 80	0 00
450	0 00	400 00	-400 00	53,980 20	2,323 80	0 00
451	1,276 90	400 00	876 90	54,857 10	3,200 70	0 00
452	1,151 70	400 00	751 70	55,608 80	3,952 40	0 00
453	1,370 80	400 00	970 80	56,579 60	4,923 20	0 00
454	56 30	400 00	-343 70	56,235 90	4,579 50	0 00
455	0 00	400 00	-400 00	55,835 90	4,179 50	0 00
456	0 00	400 00	-400 00	55,435 90	3,779 50	0 00
457	582 90	400 00	182 90	55,618 80	3,962 40	0 00
458	13 00	400 00	-387 00	55,231 80	3,575 40	0 00
459	0 00	400 00	-400 00	54,831 80	3,175 40	0 00
460	0 00	400 00	-400 00	54 431 80	2,775 40	0 00
461	0 00	400 00	-400 00	54,031 80	2,375 40	0 00
462	64 80	400 00	-335 20	53 696 60	2,040 20	0 00
463	1,055 70	400 00	655 70	54 352 30	2,695 90	0 00
464	2,247 40	400 00	1,847 40	56,199 70	4,543 30	0 00
465	356 20	400 00	-43 80	56,155 90	4,499 50	0 00
466	0 00	400 00	-400 00	55,755 90	4,099 50	0 00
467	0 00	400 00	-400 00	55,355 90	3,699 50	0 00
468	0 00	400 00	-400 00	54,955 90	3,299 50	0 00
469	64 60	400 00	-335 40	54,620 50	2,964 10	0 00
470	86 10	400 00	-313 90	54 306 60	2,650 20	0 00
471	0 00	400 00	-400 00	53 906 60	2,250 20	0 00
472	0 00	400 00	-400 00	53 506 60	1,850 20	0 00
473	0 00	400 00	-400 00	53,106 60	1,450 20	0 00
474	143 50	400 00	-256 50	52 850 10	1,193 70	0 00
475	1,643 50	400 00	1,243 50	54 093 60	2,457 20	0 00
476	1,916 20	400 00	1 516 20	55,609 80	3,953 40	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	X _t	D _t	(X _t -D _t)	(X _t -D _t)ACUM	Volumen 7,146 90	Demanda
477	732 00	400 00	332 00	55,941 80	4,285 40	0 00
478	897 10	400 00	497 10	56,438 90	4,782 50	0 00
479	213 30	400 00	-184 70	56,254 20	4,597 80	0 00
480	0 00	400 00	-400 00	55,854 20	4,197 80	0 00
481	356 00	400 00	-44 00	55,810 20	4,153 80	0 00
482	0 00	400 00	-400 00	55,410 20	3,753 80	0 00
483	0 00	400 00	-400 00	55,010 20	3,353 80	0 00
484	0 00	400 00	-400 00	54,610 20	2,953 80	0 00
485	0 00	400 00	-400 00	54,210 20	2,553 80	0 00
486	0 00	400 00	-400 00	53,810 20	2,153 80	0 00
487	1,132 20	400 00	732 20	54,542 40	2,886 00	0 00
488	1,431 20	400 00	1,031 20	55,573 60	3,917 20	0 00
489	576 80	400 00	176 80	55,750 40	4,094 00	0 00
490	2,000 90	400 00	1,600 90	57,351 30	5,694 90	0 00
491	14 20	400 00	-385 80	56,965 50	5,309 10	0 00
492	0 00	400 00	-400 00	56,565 50	4,909 10	0 00
493	0 00	400 00	-400 00	56,165 50	4,509 10	0 00
494	0 00	400 00	-400 00	55,765 50	4,109 10	0 00
495	0 00	400 00	-400 00	55,365 50	3,709 10	0 00
496	0 00	400 00	-400 00	54,965 50	3,309 10	0 00
497	0 00	400 00	-400 00	54,565 50	2,909 10	0 00
498	0 00	400 00	-400 00	54,165 50	2,509 10	0 00
499	1,429 00	400 00	1,029 00	55,194 50	3,528 10	0 00
500	1,056 50	400 00	656 50	55,851 00	4,194 60	0 00
501	1,071 70	400 00	671 70	56,522 70	4,866 30	0 00
502	1,352 90	400 00	952 90	57,475 60	5,819 20	0 00
503	691 70	400 00	291 70	57,767 30	6,110 90	0 00
504	532 10	400 00	132 10	57,899 40	6,240 00	0 00
505	338 00	400 00	-62 00	57,837 40	6,181 00	0 00
506	133 40	400 00	-266 60	57,570 80	5,914 40	0 00
507	560 40	400 00	160 40	57,731 20	6,074 80	0 00
508	0 00	400 00	-400 00	57,331 20	5,674 80	0 00
509	569 30	400 00	169 30	57,500 50	5,844 10	0 00
510	17 80	400 00	-382 20	57,118 30	5,461 90	0 00
511	2 508 30	400 00	2,108 30	59,226 60	7,146 90	423 30
512	1,947 90	400 00	1,547 90	60,774 50	7,146 90	1,547 90
513	1,823 40	400 00	1,423 40	62,197 90	7,146 90	1,423 40
514	1,067 40	400 00	667 40	62,865 30	7,146 90	667 40
515	26 70	400 00	-373 30	62,492 00	6,773 60	0 00
516	355 80	400 00	-44 20	62,447 80	6,729 40	0 00
517	721 90	400 00	321 90	62,769 70	7,051 30	0 00
518	0 00	400 00	-400 00	62,369 70	6,651 30	0 00
519	0 00	400 00	-400 00	61,969 70	6,251 30	0 00
520	0 00	400 00	-400 00	61,569 70	5,851 30	0 00
521	0 00	400 00	-400 00	61,169 70	5,451 30	0 00
522	750 00	400 00	350 00	61,519 70	5,801 30	0 00
523	1,051 40	400 00	651 40	62,171 10	6,452 70	0 00
524	1,310 70	400 00	910 70	63,081 80	7,146 90	216 50
525	848 10	400 00	448 10	63,529 90	7,146 90	448 10
526	0 00	400 00	-400 00	63,129 90	6,746 90	0 00
527	294 40	400 00	-105 60	63,024 30	6,641 30	0 00
528	448 60	400 00	48 60	63,072 90	6,689 90	0 00
529	916 30	400 00	516 30	63,589 20	7,146 90	59 30
530	14 30	400 00	-385 70	63,203 50	6,761 20	0 00
531	0 00	400 00	-400 00	62,803 50	6,361 20	0 00
532	0 00	400 00	-400 00	62,403 50	5,961 20	0 00
533	0 00	400 00	-400 00	62,003 50	5,561 20	0 00
534	392 70	400 00	-6 30	61,997 20	5,534 90	0 00
535	1,259 90	400 00	859 90	62,857 10	6,414 80	0 00
536	1,574 90	400 00	1,174 90	64,032 00	7,146 90	442 80
537	887 70	400 00	487 70	64,519 70	7,146 90	487 70
538	536 90	400 00	136 90	64,656 60	7,146 90	136 90
539	0 00	400 00	-400 00	64,256 60	6,746 90	0 00
540	114 50	400 00	-285 50	63,971 10	6,461 40	0 00
541	0 00	400 00	-400 00	63,571 10	6,061 40	0 00
542	0 00	400 00	-400 00	63,171 10	5,661 40	0 00
543	0 00	400 00	-400 00	62,771 10	5,261 40	0 00
544	0 00	400 00	-400 00	62,371 10	4,861 40	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	X _t	D _t	(X _t -D _t)	(X _t -D _t)ACUM	Volumen 7,146 90	Derriame
543	0 00	400 00	-400 00	61 971 10	4 461 40	0 00
544	0 00	400 00	-400 00	61 571 10	4 061 40	0 00
547	1 087 80	400 00	687 80	62 258 90	4 749 20	0 00
548	1 846 60	400 00	1 446 60	63 705 50	6 195 80	0 00
549	1 054 30	400 00	654 30	64 359 80	6 850 10	0 00
550	731 90	400 00	331 90	64 691 70	7 146 90	33 10
551	0 00	400 00	-400 00	64 291 70	6 746 90	0 00
552	107 40	400 00	-292 60	63 999 10	6 454 30	0 00
553	0 00	400 00	-400 00	63 599 10	6 054 30	0 00
554	153 80	400 00	-246 20	63 352 90	5 808 10	0 00
555	0 00	400 00	-400 00	62 952 90	5 408 10	0 00
556	0 00	400 00	-400 00	62 552 90	5 008 10	0 00
557	0 00	400 00	-400 00	62 152 90	4 608 10	0 00
558	0 00	400 00	-400 00	61 752 90	4 208 10	0 00
559	846 10	400 00	446 10	62 199 00	4 634 20	0 00
560	504 80	400 00	104 80	62 303 80	4 759 00	0 00
561	586 50	400 00	186 50	62 490 30	4 945 50	0 00
562	0 00	400 00	-400 00	62 090 30	4 545 50	0 00
563	0 00	400 00	-400 00	61 690 30	4 145 50	0 00
564	0 00	400 00	-400 00	61 290 30	3 745 50	0 00
565	0 00	400 00	-400 00	60 890 30	3 345 50	0 00
566	0 00	400 00	-400 00	60 490 30	2 945 50	0 00
567	0 00	400 00	-400 00	60 090 30	2 545 50	0 00
568	0 00	400 00	-400 00	59 690 30	2 145 50	0 00
569	0 00	400 00	-400 00	59 290 30	1 745 50	0 00
570	0 00	400 00	-400 00	58 890 30	1 345 50	0 00
571	335 90	400 00	-63 10	58 827 20	1 282 40	0 00
572	1 464 30	400 00	1 064 30	59 891 50	2 346 70	0 00
573	1 436 50	400 00	1 036 50	60 928 00	3 383 20	0 00
574	7 10	400 00	-392 90	60 535 10	2 990 30	0 00
575	0 00	400 00	-400 00	60 135 10	2 590 30	0 00
576	209 70	400 00	-190 30	59 944 80	2 400 00	0 00
577	0 00	400 00	-400 00	59 544 80	2 000 00	0 00
578	0 00	400 00	-400 00	59 144 80	1 600 00	0 00
579	0 00	400 00	-400 00	58 744 80	1 200 00	0 00
580	0 00	400 00	-400 00	58 344 80	800 00	0 00
581	0 00	400 00	-400 00	57 944 80	400 00	0 00
582	0 00	400 00	-400 00	57 544 80	0 00	0 00
583	988 20	400 00	588 20	58 133 00	388 20	0 00
584	1 845 60	400 00	1 445 60	59 578 60	2 033 80	0 00
585	723 80	400 00	323 80	59 972 40	2 427 60	0 00
586	0 00	400 00	-400 00	59 572 40	2 027 60	0 00
587	728 90	400 00	328 90	59 901 30	2 356 50	0 00
588	336 20	400 00	-63 80	59 837 50	2 292 70	0 00
589	147 50	400 00	-252 50	59 585 00	2 040 20	0 00
590	22 70	400 00	-377 30	59 207 70	1 662 90	0 00
591	0 00	400 00	-400 00	58 807 70	1 262 90	0 00
592	0 00	400 00	-400 00	58 407 70	862 90	0 00
593	0 00	400 00	-400 00	58 007 70	462 90	0 00
594	804 70	400 00	404 70	58 412 40	367 50	0 00
595	1 628 30	400 00	1 228 30	59 640 70	2 295 90	0 00
596	539 10	400 00	139 10	59 979 80	2 435 00	0 00
597	1 411 40	400 00	1 011 40	60 991 20	3 446 40	0 00
598	476 60	400 00	76 60	61 067 80	3 523 00	0 00
599	0 00	400 00	-400 00	60 667 80	3 123 00	0 00
600	0 00	400 00	-400 00	60 267 80	2 723 00	0 00
601	0 00	400 00	-400 00	59 867 80	2 323 00	0 00
602	0 00	400 00	-400 00	59 467 80	1 923 00	0 00
603	0 00	400 00	-400 00	59 067 80	1 523 00	0 00
604	0 00	400 00	-400 00	58 667 80	1 123 00	0 00
605	0 00	400 00	-400 00	58 267 80	723 00	0 00
606	0 00	400 00	-400 00	57 867 80	323 00	0 00
607	518 20	400 00	-81 80	57 786 00	241 20	0 00
608	1 578 40	400 00	1 178 40	59 364 10	1 819 30	0 00
609	753 90	400 00	353 90	59 718 00	2 173 20	0 00
610	1 16 80	400 00	-283 20	59 434 80	1 890 00	0 00
611	1 174 50	400 00	774 50	60 209 30	2 664 50	0 00
612	173 80	400 00	-226 20	59 983 10	2 438 30	0 00

ANEXO 2

MÉTODO DEL ALGORITMO DEL PICO SECUENTE
MILES DE m³

MES	X _i	D _i	(X _i -D _i)	(X _i -D _i)ACUM	Volumen 7146.90	Derrame
613	2,031.70	400.00	1,631.70	61,614.80	4,070.00	0.00
614	195.70	400.00	-204.30	61,410.50	3,865.70	0.00
615	0.00	400.00	-400.00	61,010.50	3,465.70	0.00
616	0.00	400.00	-400.00	60,610.50	3,065.70	0.00
617	0.00	400.00	-400.00	60,210.50	2,665.70	0.00
618	199.50	400.00	-200.50	60,010.00	2,465.20	0.00
619	1,213.80	400.00	813.80	60,823.80	3,270.00	0.00
620	1,766.30	400.00	1,366.30	62,190.10	4,645.30	0.00
621	3,323.50	400.00	2,923.50	63,313.60	5,568.80	0.00
622	133.10	400.00	-266.90	62,846.70	5,101.90	0.00
623	0.00	400.00	-400.00	62,446.70	4,901.90	0.00
624	514.70	400.00	114.70	62,561.40	5,016.60	0.00
				TOTAL	2,997,036.80	64,691.70