



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

"FUNCIONAMIENTO DE VASOS"

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

INGENIERÍA CIVIL - OBRAS HIDRÁULICAS

P R E S E N T A :

**HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN**

TUTOR:

**DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN**

2010





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: (DR. FUENTES MARÍLES OSCAR A.)  
Secretario: (DR. BEREZOWSKY VERDUZCO MOISÉS)  
Vocal: (DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN)  
1<sup>er</sup>. Suplente: (M. EN I. FRANCO VICTOR)  
2<sup>do</sup>. Suplente: (DR. CARMONA PAREDES RAFAEL BERNARDO)

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIRÍA, UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN

---

**FIRMA**



# ***FUNCIONAMIENTO DE VASOS (RESERVOIR OPERATION)***

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN





# *AGRADECIMIENTOS*

## *(THANKS)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



## THANKS

To the Universidad Nacional Autónoma de México for having hosted me like one of his sons, and gave me the opportunity to project my dreams.

To my teachers for their great teaching and understanding.

To my parents Socorro Loera Vivar and Horacio Huerta Solis for support and encourage my academic training.

To my brothers Heli Damian Huerta Loera and Hamed Ivan Huerta Loera to be more than one pillar in support of my education both academically and personally.

To Astrid Ibiza Campos Rodriguez support me, help me and love me.

To my sister in law Reyna Laura Razo to be a fundamental part of my training.

To Javier Ángel García de la Merced for supporting me during my studies.

**"In Memory of Maria del Carmen Loera Vivar for receiving me as a son"  
(1935 - 2009)**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme acogido como uno de sus hijos, y darme la oportunidad de proyectar mis sueños.

A mis profesores por su gran enseñanza y comprensión.

A mis padres Socorro Loera Vivar y Horacio Huerta Solís por apoyar e impulsar mi formación académica.

A mis hermanos Helí Damián Huerta Loera y Hamed Iván Huerta Loera por ser más que un apoyo un pilar dentro de mi formación tanto académica como personal.

A Astrid Ibiza Campos Rodríguez por apoyarme, ayudarme y quererme.

A mi cuñada Reyna Laura Razo por ser una parte fundamental dentro de mi formación.

A Javier Ángel García de la Merced por apoyarme durante mis estudios.

**“En memoria de María del Carmen Loera Vivar por haberme acogido como un hijo”  
(1935 – 2009)**



# ÍNDICE

(INDEX)

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN





<b>INTRODUCTION</b>	24
<b>BACKGROUND</b>	32
<b>1. STORAGE RESERVOIRS</b>	40
1.1. Components of a Storage Reservoir	42
1.2. Hydroelectric general glossary	44
<b>2. ESTIMATED USEFUL VOLUME</b>	64
<b>2.1. Empirical Methods</b>	68
2.1.1. <i>W. Rippl method or methods of the mass curve</i>	68
2.1.2. <i>Foley Method (Precipitation)</i>	70
2.1.3. <i>Sequent peak algorithm method</i>	74
2.1.4. <i>Operation Reservoir Components</i>	84
<b>2.2. Approximate theoretical methods</b>	86
<b>2.3. Estimation of the reliability of the design</b>	90
<b>2.4. Methods for estimating the capacity hiperannual</b>	94
2.4.1. <i>G. N. Alexander Method</i>	94
2.4.2. <i>Gould B. W. Method</i>	104
2.4.3. <i>Method of H. C. Riggs and C. H. Hardison</i>	106
<b>2.5. Estimation of seasonal capacity</b>	114
<b>2.6. Practical Skills required</b>	118
<b>2.7. Net capacity necessary for simultaneous demands</b>	120
<b>3. RESERVOIR OPERATION</b>	128
<b>3.1. Calculation procedure of Operation Reservoir</b>	128
<b>3.2. Inputs or inputs reservoir</b>	130
3.2.1. <i>Inputs or inputs by river itself (ICP)</i>	130
3.2.2. <i>Entries by transfer from other basins (IT)</i>	136
3.2.3. <i>Entries by direct rainfall on the reservoir (VLL)</i>	138
<b>3.3. Out of the reservoir</b>	138
3.3.1. <i>Extracted volume to meet demand (VDEM)</i>	138
3.3.2. <i>Volume evaporated directly on the reservoir (VEVA)</i>	150
3.3.3. <i>Volume infiltrated into the reservoir (VINFL)</i>	162
3.3.4. <i>Volume Spilled (DERR)</i>	162
<b>4. HYDROLOGIC DESIGN OF DAMS</b>	170

<b>INTRODUCCIÓN</b>	25
<b>ANTECEDENTES</b>	33
<b>1. VASOS DE ALMACENAMIENTO</b>	41
1.1. Componentes de un Vaso de Almacenamiento	43
1.2. Glosario general para Centrales Hidroeléctricas	45
<b>2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL</b>	65
<b>2.1. Métodos empíricos</b>	69
2.1.1. Método de W. Rippl o Método de la Curva masa	69
2.1.2. Método de Foley (Precipitación)	71
2.1.3. Método del Algoritmo del pico secuente	75
2.1.4. Componentes del Funcionamiento de Vaso	85
<b>2.2. Métodos teóricos aproximados</b>	87
<b>2.3. Estimación de la confiabilidad del diseño</b>	91
<b>2.4. Métodos para estimar la capacidad hiperanual</b>	95
2.4.1. Método de G. N. Alexander	95
2.4.2. Método de B. W. Gould	105
2.4.3. Método de H.C. Riggs y C.H. Hardison	107
<b>2.5. Estimación de la capacidad estacional</b>	115
<b>2.6. Capacidades útiles requeridas</b>	119
<b>2.7. Capacidad útil necesaria para demandas simultaneas</b>	121
<b>3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	129
<b>3.1. Procedimiento de cálculo del Funcionamiento de Vaso</b>	129
<b>3.2. Aportaciones o entradas al vaso</b>	131
3.2.1. Aportaciones o entradas por cuenca propia (ICP)	131
3.2.2. Entradas por transferencia desde otras cuencas (IT)	137
3.2.3. Entradas por lluvia directa sobre el vaso (VLL)	139
<b>3.3. Salidas del vaso</b>	139
3.3.1. Volumen extraído para satisfacer la demanda (VDEM)	139
3.3.2. Volumen evaporado directamente del vaso (VEVA)	151
3.3.3. Volumen infiltrado en el vaso (VINFI)	163
3.3.4. Volumen derramado (DERR)	163
<b>4. DISEÑO HIDROLÓGICO DE EMBALSES</b>	171

4.1. Problems in the design of a reservoir	170
4.2. Relationship building - profit	172
4.3. Accounting Operation of a Reservoir	172
4.4. Design by historical simulation of the operation [Theory]	176
4.4.1. <i>Advantages of simulation</i>	176
4.4.2. <i>Water balance equation in the reservoir.</i>	176
4.5. Operational approach of the Organization of the United Nations Food and Agriculture [ FAO]	178
4.6. The operational approach <i>CFE</i>	178
4.7. Initial capacity filling or initial condition	182
4.8. Precise statistical analysis of runoff	184
4.9. Changing demands and capacity for sediment	184
4.10. Estimation of evaporation and precipitation in the reservoir	186
4.11. Performance indicators of the reservoir and benefit restrictions	188
4.12. Reservoir performance simulation based on historical conditions	190
4.13. Reservoir performance simulation based on synthetic hydrologic records.	192
4.14. Design by historical simulation of the operation [applications]	192
4.15. Design of multipurpose reservoirs	196
4.16. Fundamentals and advantages of stochastic design	196
4.17. Operating procedure in large reservoirs	198
4.18. Operational procedures in medium and small reservoirs	198
5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS	204
5.1. Project	208
5.2. Data Entry	216
5.3. Runoff Matrix	220
5.4. Curve Elevations - Areas - Capabilities	224
5.5. Net Evaporation	226
5.6. Operation Results	228
ANNEX	234
CONCLUSIONS	256
BIBLIOGRAPHY	266

4.1. Problemas en el diseño de un embalse	171
4.2. Relación capacidad – beneficio	173
4.3. Contabilidad del Funcionamiento de un Vaso	173
4.4. Diseño por simulación histórica de la operación [Teoría]	177
4.4.1. Ventajas de la simulación	177
4.4.2. Ecuación de balance hidrológico en el embalse.	177
4.5. Planteamiento operativo de la FAO	179
4.6. Planteamiento operativo de la CFE	179
4.7. Capacidad inicial o condición inicial de llenado.	183
4.8. Análisis estadísticos precisos a los escurrimientos	185
4.9. Evolución de las demandas y capacidad para los sedimentos	185
4.10. Estimación de la evaporación y la precipitación en el embalse	187
4.11. Indicadores de funcionamiento del embalse y restricciones de beneficios	189
4.12. Simulación del funcionamiento de Vaso partiendo de condiciones Históricas.	191
4.13. Simulación del Funcionamiento de Vaso partiendo de registros hidrológicos sintéticos.	193
4.14. Diseño por simulación histórica de la operación [aplicaciones]	193
4.15. Diseño de embalses de usos múltiples	197
4.16. Fundamentos y ventajas del diseño estocástico.	197
4.17. Procedimiento operativo en grandes embalses.	199
4.18. Procedimiento operativo en embalses medianos y pequeños.	199
<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	<b>205</b>
5.1. Proyecto	209
5.2. Datos de Entrada	217
5.3. Matriz de Escurrimientos	221
5.4. Curva Elevaciones – Áreas – Capacidades	225
5.5. Evaporaciones Netas	227
5.6. Resultados del Funcionamiento	229
<b>ANEXO</b>	<b>235</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>257</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>267</b>

## INDEX OF FIGURES

### 1. STORAGE RESERVOIRS

- |  |    |
|--|----|
| 1.1. Adjusting the volume of water drained into a river  | 40 |
| 1.2. Main components of a containment reservoir and work | 42 |

### 2. ESTIMATED USEFUL VOLUME

- |  |    |
|--|----|
| 2.1. Graphic elevation-volume and elevation-area curves. Angostura Dam                     | 66 |
| 2.2. Variables involved in the mass curve or diagram Rippl                                 | 68 |
| 2.3. Residual mass curve models and defining the range [Rn]                                | 72 |
| 2.4. Estimated Useful Volume   | 84 |
| 2.5. Probability curves of the relationship building - regulating the method of Alexander. | 98 |

### 3. RESERVOIR OPERATION

- |   |     |
|---|-----|
| 3.1. Correction Areas   | 134 |
| 3.2. Seasonal Demand Behavior   | 140 |
| 3.3. Demand Performance Schedule                                      | 142 |
| 3.4. Office of the peak demand of the National Interconnected System  | 144 |
| 3.5a. Calculation of the correction for evaporation as evaporation.   | 152 |
| 3.5b. Calculation of the correction for evaporation as an evaporation | 154 |
| 3.6. Calculation of the saturation pressure                           | 158 |
| 3.7. Calculation of vapor pressure in air                             | 160 |

### 5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS

- |   |     |
|---|-----|
| 5.1. Presentation Window                        | 204 |
| 5.2. Start window or interface                  | 206 |
| 5.3. Project Window                             | 210 |
| 5.4. Installed Power vs. Generation             | 212 |
| 5.5. Alert Window                               | 214 |
| 5.6. Data Entry                                 | 216 |
| 5.7a. Runoff Matrix - Daily Range Selected      | 220 |
| 5.7b. Runoff Matrix - Selected Monthly Interval | 222 |
| 5.8. Curve Elevations - Areas - Capabilities    | 224 |
| 5.9. Net Evaporation                            | 226 |
| 5.10. Results of operation                      | 230 |

## ANNEX

- |                       |     |
|-----------------------|-----|
| A.1. Project Location | 234 |
|-----------------------|-----|

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>1. VASOS DE ALMACENAMIENTO</b>	
1.1. Regulación del volumen de agua escurrido en un río	41
1.2. Principales componentes de un vaso y obra de contención	43
<b>2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL</b>	
2.1. Grafica Curvas elevación-volumen y elevación-área	67
2.2. Variables involucradas en la curva masa o diagrama de Rippl	69
2.3. Modelos de curva masa residual y definición del rango [Rn]	73
2.4. Estimación del Volumen Útil	85
2.5. Curvas probabilísticas de la relación capacidad – regulación del método de Alexander.	99
<b>3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
3.1. Corrección de Áreas	135
3.2. Comportamiento Estacional de la Demanda	141
3.3. Comportamiento Horario de la Demanda	143
3.4. Despacho de la demanda máxima del Sistema Interconectado Nacional	145
3.5a. Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro.	153
3.5b. Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro	155
3.6. Calculo de la presión de saturación	159
3.7. Calculo de la presión del vapor contenido en el aire	161
<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
5.1. Ventana de Presentación	205
5.2. Ventana o interfaz de inicio	207
5.3. Ventana de Proyecto	211
5.4. Potencia Instalable Vs Generación	213
5.5. Ventana de Alerta	215
5.6. Datos de Entrada	217
5.7a. Matriz de Escurrimientos – Intervalo Seleccionado Diario	221
5.7b. Matriz de Escurrimientos – Intervalo Seleccionado Mensual	223
5.8. Curva Elevaciones - Áreas - Capacidades	225
5.9. Evaporaciones Netas	227
5.10. Resultado del Funcionamiento	231
<b>ANEXO</b>	
A.1. Localización del Proyecto	235

A.2. Curve E – A – C	240
A.3. Project Window	242
A.4. Data Entry Window	244
A.5. Curve E – A – C Window	244
A.6. Runoff Window	246
A.7. Net Evaporation Window	246
A.8. Results Window Installed Power 50 Mw	248
A.9. Results Window Installed Power 100 Mw	248
A.10. Installed Power vs. Generation	252

## CONCLUSIONS

C.1. Power Demand H. P. Coca Codo Sinclair - Ecuador	258
C.2. Selection of installed capacity	258

## INDEX OF TABLES

### 2. ESTIMATED USEFUL VOLUME

2.1. Table elevation-volume curves and elevation-area	64
2.2. Sequent peak algorithm	78
2.3. Failure probabilities for different return periods – G. N. Alexander Method	94
2.4. Complete Solution to Example 2.1 - G. N. Alexander method	102
2.5. Variables for different probabilities of failure - Gould Method	104
2.6. Complete Solution to Example 2.2 - Gould Method	106
2.7. Annual capacity relative [Cr] for Normal distribution of annual runoff	108
2.8. Annual capacity relative [Cr] for distribution Log - Normal annual runoff	110
2.9. Annual capacity relative [Cr] for Weibull distribution of annual runoff	112
2.10. Solution for Example - method of Riggs and Hardison	114
2.11. Accumulated volumes and demands	116
2.12. Complete solution of Example 2.4	118
2.13. Demands and annual capacity - Example 2.5	118
2.14. Summary of results for a failure probability of 1%	120
2.15. Summary of results for a failure probability of 5%	120

### 3. RESERVOIR OPERATION

3.1. Monthly variations in demand for electricity, a percentage of average.	146
3.2. Correction factor to adjust the values measured in the evaporation	150
3.3. Net evaporation	162

A.2. Curva E – A – C	241
A.3. Ventana Proyecto	243
A.4. Ventana Datos de Entrada	245
A.5. Ventana Curva E – A – C	245
A.6. Ventana Matriz de Escurrimientos	247
A.7. Ventana Evaporaciones Netas	247
A.8. Ventana Resultados Potencia Instalada 50 Mw	249
A.9. Ventana Resultados Potencia Instalada 100 Mw	249
A.10. Potencia Instalable Vs Generación	253

## CONCLUSIONES

C.1. Demanda de Potencia P. H. Coca Codo Sinclair - Ecuador	259
C.2. Selección de la potencia instalable	259

## ÍNDICE DE TABLAS

### 2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL

2.1. Tabla Curvas elevación-volumen y elevación-área	65
2.2. Algoritmo del Pico Secuente	79
2.3. Probabilidades de falla para distintos periodos de retorno – Método de G. N. Alexander	95
2.4. Solución completa al ejemplo 2.1 – Método de G. N. Alexander	103
2.5. Variables para diferentes probabilidades de falla – Método de Gould	105
2.6. Solución completa al ejemplo 2.2 – Método de Gould	107
2.7. Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Normal de los escurrimientos anuales	109
2.8. Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Log - Normal de los escurrimientos anuales	111
2.9. Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Weibull de los escurrimientos anuales	113
2.10. Solución al ejemplo – Método de Riggs y Hardison	115
2.11. Volúmenes y demandas acumuladas	117
2.12. Solución completa del ejemplo 2.4	119
2.13. Demandas y capacidades anuales – Ejemplo 2.5	119
2.14. Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 1%	121
2.15. Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 5%	121

### 3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS

3.1. Variaciones mensuales de la demanda eléctrica, en porcentaje respecto a la media.	147
3.2. Factor de corrección para ajustar los valores medidos en el evaporímetro	151
3.3. Evaporaciones Netas	163



<b>5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS</b>	
5.1. Generation Firm, Secondary and Total power at different intervals	212

**ANNEX**

A.1. Operating Levels	236
A.2. Operation Features	236
A.3. Runoff Matrix	238
A.4. Curve E – A – C	240
A.5. Net Evaporations	242
A.6. Generation Firm, Secondary and Total power at different intervals	250

**CONCLUSIONS**

C.1. Selection of installed power	260
-----------------------------------	-----

<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
5.1. Generación Firme, Secundaria y Total en distintos intervalos de Potencia	213
<b>ANEXO</b>	
A.1. Niveles de Operación	237
A.2. Características del Funcionamiento	237
A.3. Matriz de Escurrimientos	239
A.4. Curva E – A – C	241
A.5. Evaporaciones Netas	243
A.6. Generación Firme, Secundaria y Total en distintos intervalos de Potencia	251
<b>CONCLUSIONES</b>	
C.1. Selección de la potencia instalable	261



# *INTRODUCCIÓN*

## *(INTRODUCTION)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



To properly understand what an operating reservoir, it is essential to master the basic knowledge of the hydrological cycle, and the concepts shown below:

- A storage dam is a hydraulic structure whose purpose is to harness the water for different uses, within which we can mention the following:
  - Water for municipal use.- Provides drinking water for domestic activities, commercial, public and industrial use.
  - Water for livestock.- Water livestock.
  - Water for fish.- Conservation of fish.
  - Water use for training.- Forestry nursery or natural shades of trees.
  - Water for power generation.- To generate electricity.
- All can be multiple uses.
- Moreover, according to the shape of the surface water catchment may be said to exist:
  - Storage systems.- Water is stored in a natural depression in the ground forming a reservoir or deposit by a curtain built in an effective cap, that is, a storage reservoir.
  - Referral systems.- Are those that are intended to artificially increase the water depth of a river by a curtain of low-rise, this is done in order to divert water from the river into a channel or conduit to be utilized downstream.
  - Use of natural reservoirs.- Are generally lakes and lagoons.
  - Pumping stations in rivers.- This system is used when the site where water is required, is at an elevation higher than the uptake site.
- To study the behavior of these works, using simulation models based on the equation of continuity, expressed in volume is equal to:

$$E = S + \Delta V$$

- where
  - E volume of entries
  - S volume of output
  - $\Delta V$  change in storage

Para comprender de manera adecuada lo que es un funcionamiento de vaso, es indispensable referirse al ciclo hidrológico, así como los conceptos que se muestran a continuación:

- Una presa de almacenamiento es una obra hidráulica cuyo fin es aprovechar el agua para diferentes usos, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:
  - Agua para uso municipal.- Proporciona agua potable para actividades domésticas, comerciales, uso público e industrial.
  - Agua para uso pecuario.- Para dar agua al ganado.
  - Agua para uso piscícola.- Para la conservación de los peces.
  - Agua para uso silvícola.- Para la formación de viveros o cortinas naturales arboladas.
  - Agua para generación de energía.- Para generar energía eléctrica.
- Todos pueden ser de uso múltiple.
- Por otra parte, de acuerdo con la forma de captación del agua superficial puede decirse que existen:
  - Sistemas de almacenamiento.- El agua es almacenada en una depresión natural del terreno formando un vaso o depósito mediante una cortina construida en una boquilla adecuada; esto es, una presa de almacenamiento.
  - Sistemas de derivación.- Son aquellas que tienen por objeto el aumento artificialmente del tirante de agua de un río mediante una cortina de poca altura, esto se hace con el objeto de derivar agua del río hacia un canal o conducto para ser aprovechadas aguas abajo.
  - Aprovechamiento de vasos naturales.- Generalmente se trata de lagos y lagunas.
  - Estaciones de bombeo en ríos.- Se emplea este sistema cuando el sitio donde se requiere el agua, se encuentra a una elevación superior a la del sitio de captación.
- Para estudiar el comportamiento de estas obras, se usan modelos de simulación basados en la ecuación de continuidad, que expresada en volumen es igual a:

$$E = S + \Delta V$$

- donde
  - E      volumen de entradas
  - S      volumen de salidas
  - $\Delta V$    cambio en el almacenamiento

The purpose of simulating the operation of a reservoir is to know the evolution of the stored volumes; they will be based on hydrological basin under study. This evolution will depend on the operating policy for which the dam is designed, basis of contributions aimed at satisfying the demand. Therefore to make the simulation of reservoir, there may be intervals for which the storage is insufficient to meet demand, for example:

- 1) When the water level is below the level of the intake, which does not allow the use of water.
- 2) In the event that future contributions are small, it is convenient to store water in order to prevent deficits.
- 3) In the case downstream of hydropower plants, when water level is below the recommended level of intake of the turbine, it is convenient to use the water for generation, as it endangers the mechanical equipment.

The ideal condition is that the reservoir levels vary between NAMINO and NAMO, because this way we can always meet demand, and on the other hand, never miss the water spilling.

In practice when the water level down from NAMINO will not demand and therefore there will be a deficiency. If the water level exceeds the NAMO it will exists spills.

The performance analysis of reservoir to optimize its operation trying to avoid the above two conditions, there are deficiencies maximum allowable criteria, which will guide the decision regarding the appropriate size to be assigned to the useful capacity.

At present this analysis is performed using numerical methods that can be solved by computer, so you can simulate the operation of various size payloads and select the most appropriate.

After conducting several performances of reservoir for different sizes of prey (working capacity) will be selected who meet a series of restrictions on maximum allowable weaknesses, and at the same time make maximum profit in the activity that is intended prey.

- Below is a brief description of each of the chapters of this work:
  - o Chapter I - Storage Reservoirs.- Describes the components which is formed a storage tank, the other part provides a general glossary of hydropower plants for the reader to correctly understand the terms used within the publication.

El objetivo de la simulación del funcionamiento de un vaso es conocer la evolución de los volúmenes almacenados en la presa, mismos que están en función del comportamiento hidrológico de la cuenca en estudio. Los volúmenes almacenados dependen de la política de operación del embalse, partiendo de las aportaciones destinadas a satisfacer la demanda. Por consiguiente, durante la simulación del funcionamiento de vaso, se pueden presentar intervalos para los cuales el almacenamiento no sea suficiente para satisfacer la demanda. Esto último cuando:

- 1) El nivel del agua es menor al nivel de la obra de toma, lo cual no permite el empleo de agua.
- 2) Las aportaciones futuras sean pequeñas. Es conveniente almacenar agua con el fin de prevenir déficits.
- 3) Para el caso aguas abajo de plantas hidroeléctricas, cuando el nivel del agua está por debajo del nivel recomendado de succión de la turbina, no es conveniente emplear el agua para generación, ya que se pone en peligro el equipo mecánico.

La condición ideal es que los niveles del embalse varíen entre el NAMINO y NAMO, pues de esta forma siempre es posible satisfacer la demanda, y por el otro lado, no se desaprovechara el agua derramándola.

En la práctica cuando el nivel de agua desciende del NAMINO no se da la demanda y por lo tanto existe un déficit en su satisfacción. Si el nivel del agua supera el NAMO existen derrames.

El análisis de funcionamiento de vaso permite optimizar su funcionamiento tratando de evitar las dos condiciones anteriores, existen criterios de deficiencias máximas permisibles, que norma la decisión en cuanto al tamaño conveniente que se debe asignar a la capacidad útil.

En la actualidad este análisis se realiza mediante métodos numéricos que pueden ser aplicados por computadora, de tal manera es posible simular el funcionamiento de varios tamaños de capacidad útil y seleccionar los más adecuados.

Después de realizar varios funcionamientos de vaso para diferentes tamaños de presa (Capacidad útil) se selecciona aquel que cumpla con una serie de restricciones de deficiencias máximas permisibles, y al mismo tiempo haga máximo el beneficio en la actividad a la que está destinada la presa.

- A continuación se describen de manera breve cada uno de los capítulos que integran este trabajo:
  - o Capítulo I - Vasos de Almacenamiento.- Se enuncian los componentes por los cuales se encuentra conformado un vaso de almacenamiento; por otra parte se presenta un glosario general de centrales hidroeléctricas para que el lector comprenda los términos empleados dentro de la publicación.

- Chapter II - Estimation of utile volume.- Presents the various methods used to determine the storage volume in a reservoir, within which methods are empirical and theoretical methods approximate, on the other hand, also presents the calculation of hiperannual capacity and seasonal capacity.
- Chapter III - Operation of Reservoirs.- Within this chapter explains the procedure for calculation of reservoir operation, and also describes the factors involved in the same, focusing directly on their inputs and outputs.
- Chapter IV - Water Reservoir Design.- Describe various design methodologies used by various agencies (FAO, CFE, for example), presented the advantages and disadvantages that the each.
- Chapter V - Program Manual Operation of Reservoirs.- Explains in detail how to use the program prepared for the operation of reservoirs. To get the user to easily understand the various functions thereof, are integrated examples of application.



- Capítulo II – Estimación del Volumen Útil.- Se presentan los diversos métodos empleados para determinar el volumen útil en un embalse, dentro de los cuales se describen los métodos empíricos y los métodos teóricos aproximados; por otro lado, también se presenta el cálculo de la capacidad hiperanual y la capacidad estacional.
- Capítulo III – Funcionamiento de Vasos.- Se detalla el procedimiento de cálculo de un funcionamiento de vaso, así también, se describen los factores que interviene dentro del mismo, enfocándose directamente en sus aportaciones y salidas.
- Capítulo IV – Diseño Hidrológico de Embalses.- Se describen diversas metodologías de diseño empleadas por diversas dependencias (FAO, CFE, por ejemplo), presentado las ventajas y desventajas con que cuenta cada una.
- Capítulo V – Manual del Programa de Funcionamiento de Vasos.- Se explica de manera detallada como emplear el programa elaborado para el funcionamiento de vasos. Para hacer que el usuario comprenda de manera fácil las diversas funciones del mismo, se integran ejemplos de aplicación del mismo.



# *ANTECEDENTES*

## *(BACKGROUND)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



It is necessary to highlight the role played in recent years hydrological simulation in optimal sizing of reservoirs, with the help of this simulation were determined factors related to the size of the dam and as useful volume, power generation, the volume allocated for flood control, etc.

Within the simulation of reservoir operation, there are two ways in which we consider the input volume, which are:

- Through the use of historical records
  - Measurements are registered trademarks of entries submitted on the site. It is recommended to use them when there are a huge recording interval (with a minimum number of records 15 years or so).
  - If the study is designed to obtain preliminary results should use the year that contains the monthly average of the historical record, which is called the average year.
- Through the use of synthetic registers
  - When presented the case that the interval period is very short historical records, make it difficult to records that contain the minimum and maximum contributions that can occur on the site. Due to the above, in order to obtain a larger sample that contains both major and minor values to those registered, historical records are extrapolated by fitting a probability function which generates the least square error sticking to the original trend of the historical record.

In addition to the case of hydroelectric plants, extractions are performed using any of the following policies to generate:

- a) Constant Energy Extraction.- Is considered that the removal of flow for power generation is constant throughout the simulation period, where to calculate the energy generation for a range either be employed the following formula:

$$E = 9.81 Q H \eta \Delta t \quad (a)$$

- where
  - $E$  energy generated in the interval  $\Delta t$ , in  $kWh$
  - $H$  average level in the interval, in  $m$
  - $\eta$  conduction efficiency of the turbogenerator set

Es menester destacar el papel que ha jugado en los últimos años la simulación hidrológica en el dimensionamiento óptimo de los embalses; con ayuda de dicha simulación se han determinado factores relacionados con las dimensiones de la presa, así como: el volumen útil, la generación de energía, volumen asignado para el control de avenidas, etc.

Dentro de la simulación de un funcionamiento de vaso, se destacan dos formas en las que se considera el volumen de entrada, las cuales son:

- Mediante el empleo de registros históricos
  - Son las mediciones de los gastos presentados en un sitio determinado. Se recomienda hacer uso de ellos cuando se cuente con un intervalo de registro amplio, (mayor a 15 años).
  - En caso de que el estudio sea elaborado para obtener resultados preliminares es conveniente hacer uso del año que contiene el promedio mensual del registro histórico, el cual es llamado el año medio.
- Mediante el uso de registros sintéticos
  - Cuando se presenta el caso de que el intervalo del periodo de registros históricos sea corto, se reduce la posibilidad de que los registros contengan las aportaciones máximas y mínimas que pueden presentarse en el sitio. Debido a lo anterior, con el fin de obtener una muestra más grande que contenga tanto valores mayores como menores a los registrados, se extrapolan los registros históricos ajustándoles una función de probabilidad la cual genere el menor error cuadrático apegándose lo más posible a la tendencia original de los registros históricos.

Por otro lado, para el caso de plantas hidroeléctricas, las extracciones se realizan empleando cualquiera de las siguientes políticas de generación:

- a) Extracción de Energía Constante.- Se considera que la extracción del gasto para que la generación de energía sea constante durante todo el periodo de simulación. Para calcular la generación de energía para un intervalo cualquiera, se emplea la siguiente fórmula:

$$E = 9.81 Q H \eta \Delta t \quad (a)$$

- donde
  - $E$  energía generada en el intervalo  $\Delta t$ , en  $kWh$
  - $H$  nivel medio en el intervalo, en  $m$
  - $\eta$  eficiencia del conjunto conducción turbogenerador

- $\Delta t$  time interval , in s
  - $Q$  extraction flow, in  $m^3/s$
- b) Variable Extraction.- The extraction system is adapted to the input to generate more energy in times of flood in dry season.
- c) Constant power.- Setting a constant power, the simulation will focus on calculating the volume to be extracted using the following equation:

$$V = \frac{P \Delta t}{9.81 H \eta} \quad (b)$$

- where

- $V$  the volume extracted in the interval, in  $m^3$

In carrying out the simulation of a reservoir you can define values such as:

- 1) The optimal installed capacity
- 2) The energy generated for a given power, either this firm or possibly high school
- 3) The plant factor
- 4) Spilled Volumes
- 5) The frequency distribution of energy generated

After defining these values for each alternative, you can roughly estimate the nature and cost of some basic components of the work (type and number of turbines, overall dimensions of the intake etc.) And the benefits obtained generation.

Such simulations require a large amount of calculations to be done and for this reason, in recent years have developed computer programs that save time in the development of simulations by programming routines, within which include those made in recent years by the Unam II, which are published in the volume of numerical methods Design Manual of Civil Works.

This work aims primarily to understand the design engineer the various components that make up the simulation of reservoir, and so once this knowledge and using the manual presented in Chapter V of this book, you can use Annex program adequately to simulate operation of reservoirs presenting this thesis.

- $\Delta t$  intervalo de tiempo, en s
- $Q$  gasto de extracción, en  $m^3/s$

b) Extracción Variable.- Las extracciones se adecuan al régimen de las aportaciones al generar más energía en época de avenidas que en estiaje.

c) Potencia constante.- Al fijar una potencia constante, la simulación se enfoca en calcular el volumen a extraer haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{P \Delta t}{9.81 H \eta}$$

(b)

- donde

- $V$  es el volumen extraído en el intervalo, en  $m^3$

Al llevar a cabo la simulación del funcionamiento de un vaso, se pueden definir otros valores como los siguientes:

- 1) La potencia instalable óptima
- 2) La energía generada para una determinada potencia, ya sea esta firme o en su caso secundaria
- 3) El factor de planta
- 4) Los volúmenes derramados
- 5) La distribución de frecuencias de la energía generada

Una vez definidos estos valores para cada alternativa se pueden estimar de manera aproximada las características y el costo de algunos componentes básicos de la obra (tipo y número de turbinas, dimensiones generales de la obra de toma, etc.) y los beneficios que se obtienen de la generación.

Este tipo de simulaciones requieren de una gran cantidad de cálculos para ser realizadas; por tal motivo, en los últimos años se han desarrollado programas de computadora que permiten ahorrar tiempo en la elaboración de las simulaciones por medio de rutinas de programación, dentro de los que cabe mencionar los elaborados en los últimos años por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), los cuales están publicados en el tomo de métodos numéricos del Manual de Diseño de Obras Civiles.

Este trabajo tiene como objeto explicar los diversos componentes que integran la simulación del funcionamiento de vaso, y mostrar cómo hacer uso de manera adecuada del programa anexo para la simulación de funcionamiento de vasos que presenta esta tesis.



# *CAPÍTULO I*

# *VASOS DE*

# *ALMACENAMIENTO*

## *(CHAPTER I*

## *STORAGE RESERVOIRS)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



## INDEX

<b>1. STORAGE RESERVOIRS</b>	40
1.1. Components of a Storage Reservoir	42
1.2. Hydroelectric general glossary	44

## INDEX OF FIGURES

<b>1. STORAGE RESERVOIRS</b>	
1.1. Adjusting the volume of water drained into a river	40
1.2. Main components of a containment reservoir and work	42



## ÍNDICE

<b>1. VASOS DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>41</b>
1.1. Componentes de un Vaso de Almacenamiento	43
1.2. Glosario general para Centrales Hidroeléctricas	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>1. VASOS DE ALMACENAMIENTO</b>	
1.1. Regulación del volumen de agua escurrido en un río	41
1.2. Principales componentes de un vaso y obra de contención	43

This chapter describes the different functions of a storage reservoir, as well as the basic components of it. The description focuses primarily reservoirs electric power generation.

### 1. STORAGE RESERVOIRS

The function of a storage tank is to store the volumes of surplus water drained into a river in the rainy season, to meet water demand in the months that shows the time of drought (see Figure 1.1).

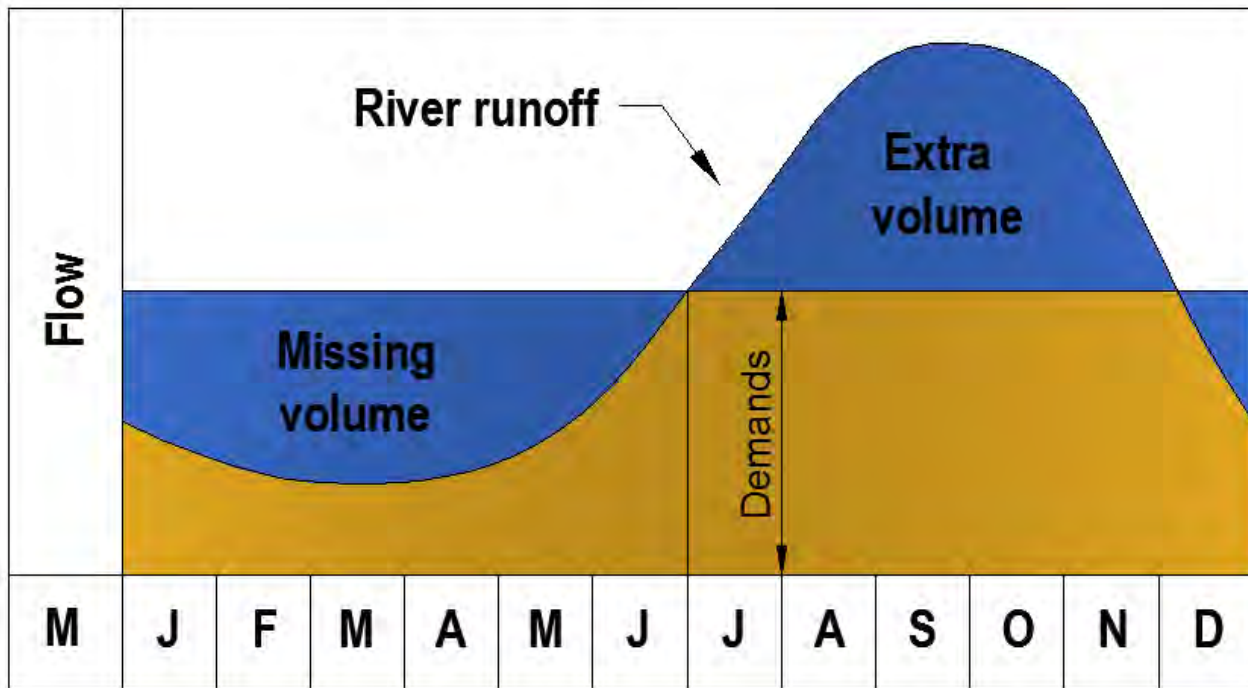


Figure 1.1

Adjusting the volume of water drained into a river

To meet the demand of the times of drought, the reservoir is stored in the excess volume of water drained during the rainy season (usually July to November).

En este capítulo se describen las distintas funciones de un vaso de almacenamiento, así como, los componentes básicos del mismo. La descripción se enfoca primordialmente a vasos de generación de energía eléctrica.

### 1. VASOS DE ALMACENAMIENTO

La función de un vaso de almacenamiento es guardar los volúmenes de agua excedentes que escurren en un río en la época de lluvias, para satisfacer una demanda de agua en los meses en los que se presenta la época de sequía (figura 1.1).

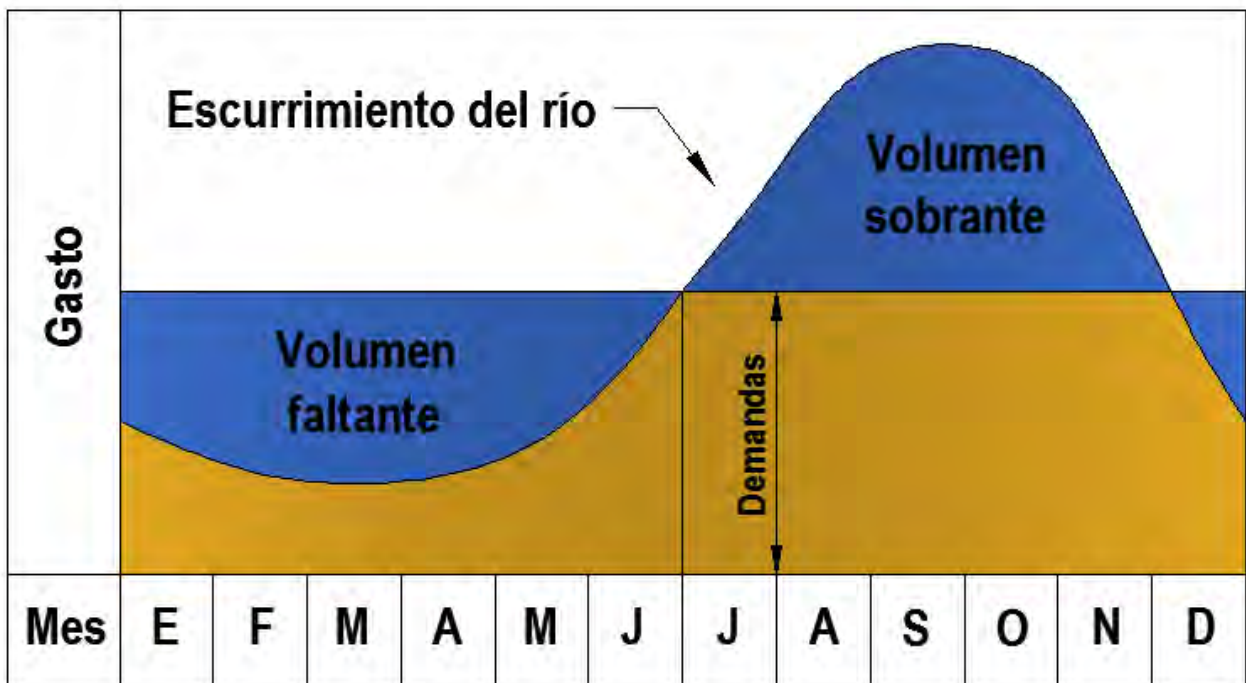


Figura 1.1

Regulación del volumen de agua escurrido en un río

Para satisfacer la demanda de la época de sequía, se almacena en el vaso el excedente de volumen de agua escurrido durante los meses de lluvia (regularmente Julio a Noviembre).

## 1.1. Components of a Storage Reservoir

The main components of a storage tank are shown in Figure 1.2.

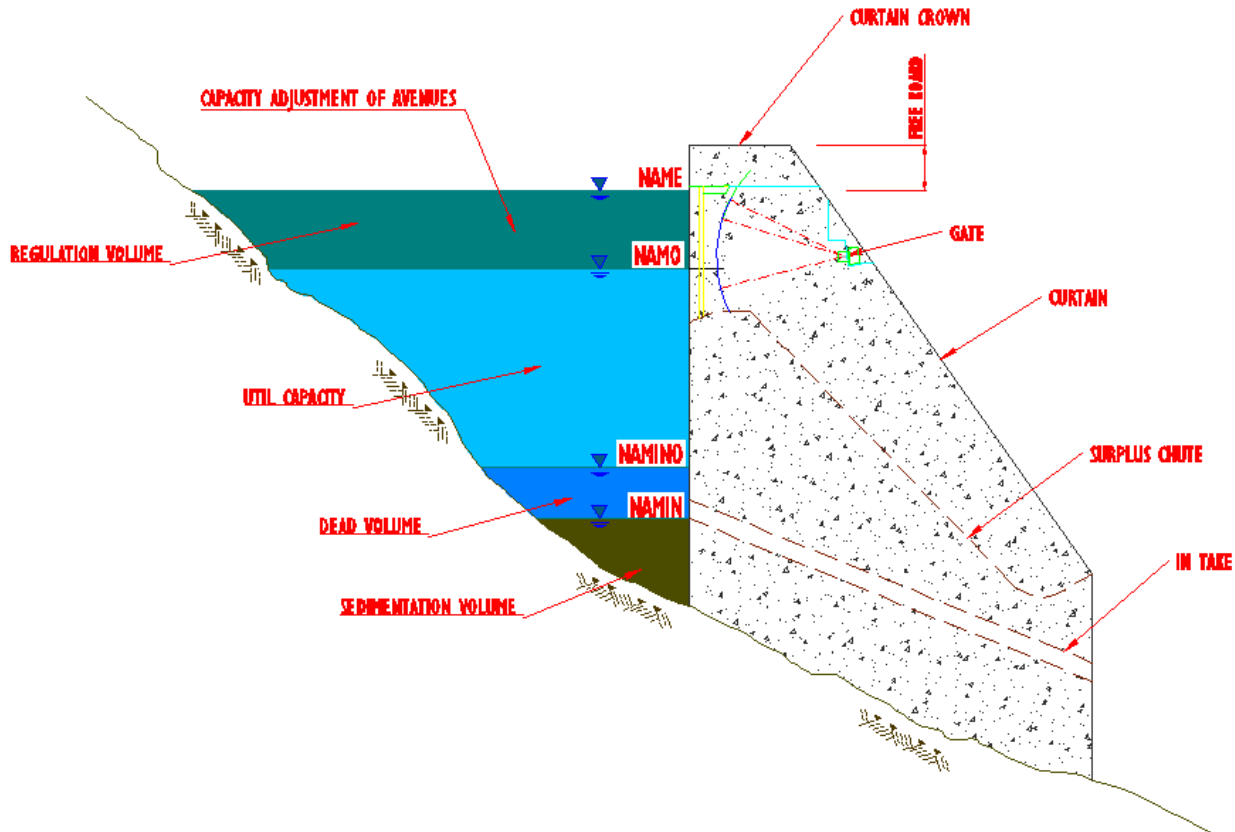


Figure 1.2

Main components of a containment reservoir and work

- I. NAMIN.- (Minimum Water Level). Minimum water level can reach Packing, located at the same elevation as the level of intake.
- II. NAMINO.- (Minimum Water Level Operation). Determines the minimum level at which it can operate the dam to meet a demand, which in the case of hydroelectric plants will be determined by the operating range of the turbines. For its calculation should consider the following points:
  - a. The minimum load required to operate the turbines flanged acceptable efficiency possible,
  - b. It must be located above the intake to a minimum of 2.5 times the diameter of this from the level of staffing it.

### 1.1. Componentes de un Vaso de Almacenamiento

Los principales componentes de un vaso de almacenamiento se muestran en la figura 1.2.

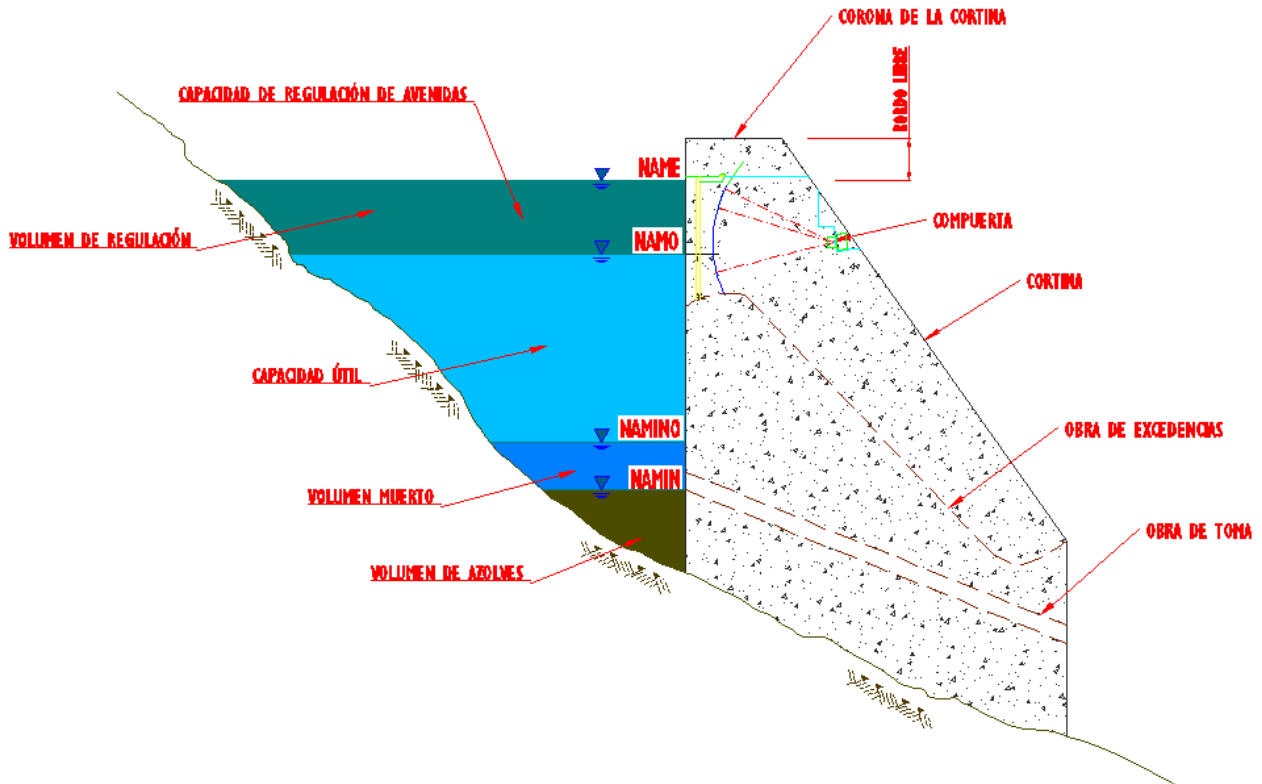


Figura 1.2

Principales componentes de un vaso y obra de contención

- I. **NAMIN.-** (Nivel de Aguas Mínimas). Es el nivel de agua mínimo que puede alcanzar el embalse, ubicado en la misma elevación que el nivel de la obra de toma.
- II. **NAMINO.-** (Nivel de Aguas Mínimas de Operación). Determina el nivel mínimo en el que puede operar la presa para satisfacer una cierta demanda, el cual en el caso de las hidroeléctricas está determinado por el rango de operación de las turbinas. Para su cálculo se deben considerar los siguientes puntos:
  - a. La carga mínima necesaria para que las turbinas operen brindando la eficiencia aceptable posible,
  - b. Debe estar ubicado por encima de la obra de toma a un mínimo de 2.5 veces el diámetro de esta desde el nivel de la plantilla de la misma.

- III. Dead volume.- Volume of water between the NAMINO and NAMIN. Neglect for the operation of the turbine.
- IV. Volume of sedimentation.- Volume accumulated from sediment transport and cartage of solids. The estimate of this volume will determine the lifespan of the dam, since when is exceeded, the sediment builds up, completely covering the intake.
- V. NAMO.- (Maximum Water Level Regular or Maximum Water Level Operation). Determines the maximum level which can operate the dam to satisfy a demand, to exceed this level shows the need to pour water down a chute . If the spout is not controlled, the NAMO have the same elevation as the spillway crest, but in the case of a controlled spillway elevation of NAMO may be higher than the spillway crest level.
- VI. Useful Volume.- Volume of water stored between the NAMO and NAMINO is the volume that brings the load to the turbine to meet demand.
- VII. NAME.- (Extraordinary Maximum Water Level). The highest level to be achieved by water in the reservoir under all conditions, elevation at which you can get storage in the presence of a maximum flood, when the spout is working to its capacity limit discharge.
- VIII. Volume superstores.- Volume between the NAMO and NAME, which serves to regulate the flood when the water level in the reservoir is near the NAMO.
- IX. Free Board.- Distance vertical between the level of the crown and the extraordinary maximum water (NAME). The freeboard must protect a dam, with a margin of safety, the effects of waves generated by wind or earthquakes and take into account the maximum settlement of the crown.

## 1.2. Hydroelectric general glossary

- In the case of hydropower plants are also commonly used terms are defined below in the following glossary:
  - I. Adduction.- From the grid area covered by the work of making up the inlet flange of the turbine.

- III. Volumen muerto.- Volumen de agua comprendido entre el NAMINO Y EL NAMIN. Se desprecia para la operación de la turbina.
- IV. Volumen de Azolves.- Volumen acumulado debido al transporte de sedimentos y acarreo de sólidos. La estimación de este volumen determina la vida útil de la presa, ya que cuando es sobrepasado, el sedimento se acumula, tapando completamente la obra de toma.
- V. NAMO.- (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias o Nivel de Aguas Máximas de Operación). Determina el nivel máximo en el que puede operar la presa para satisfacer una cierta demanda; al sobrepasar este nivel se presenta la necesidad de derramar el agua por un vertedor. Si el vertedor no es controlado, el NAMO tiene la misma elevación que la cresta vertedora, pero en el caso de un vertedor controlado la elevación del NAMO puede ser mayor al nivel de la cresta vertedora.
- VI. Volumen Útil.- Volumen de agua almacenado entre el NAMO y el NAMINO, es el volumen que brinda la carga a la turbina para satisfacer las demandas.
- VII. NAME.- (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias). Nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición; cota a la cual puede llegar un almacenamiento ante la presencia de una avenida máxima, cuando el vertedor trabaja a su capacidad límite de descarga.
- VIII. Volumen de regulación.- Volumen comprendido entre el NAMO y el NAME, el cual tiene la función de regular las avenidas cuando el nivel del agua en el vaso se encuentre cerca del NAMO.
- IX. Bordo Libre.- Distancia vertical entre el nivel de la corona y el de las aguas máximo extraordinarias (NAME). El bordo libre debe de proteger a una cortina, con cierto margen de seguridad, de los efectos del oleaje generado por el viento o sismos y tomar en cuenta el asentamiento máximo de la corona.

## 1.2. Glosario general para Centrales Hidroeléctricas

- Para el caso de centrales hidroeléctricas comúnmente también se emplean los términos que se definen a continuación en el siguiente glosario:
  - I. Aducción.- Área comprendida desde la rejilla de la obra de toma, hasta la brida de entrada de la turbina.

- II. Feeder line.- Supply is a network that has no branch in its course.
- III. Submergence height.- Difference of elevation between the water level in the vent and the center line of the distributor. If the driveline is above the level of the vent, the height of submergence ( $H_s$ ) is positive, otherwise this will be negative.
- IV. Spiral Fund.- Is intended to convey the fluid evenly distributed to the dealer. In the case of the machine action is not winding itself, but a pipe section which gradually decreases, which surrounds the impeller.
- V. Upload.- Gap between the elevation of water in the reservoir and the corresponding rise in the vent.
- VI. Minimum load (base load).- The minimum value of the load over a specified time.
- VII. Design net charge.- Difference of elevation between the level of design ( $N_{dis}$ ) and the level of vent ( $N_{des}$ ) with all units operating at design flow, less losses.
- VIII. Maximum net charge.- Difference between the NAMO and the vent level corresponding to a turbine flow minus losses.
- IX. Minimal net charge.- Difference of elevation between the level of NAMINO and vent level for the total flow of all the machines running at the maximum possible under the burden, less losses.
- X. Upload or net height.- Difference of levels between the top level in the reservoir (the level at which the reservoir is regularly considered the NAMO) and the level of the vent under pressure loss in the hydraulic system.



- II. Alimentador.- Es la línea de alimentación de una red que no tiene ninguna derivación en todo su recorrido.
- III. Altura de sumergencia.- Diferencia de elevaciones entre el nivel del agua en el desfogue y la línea de centros del distribuidor. Si la línea de conducción está por encima del nivel del desfogue, la altura de sumergencia ( $H_s$ ) es positiva, de lo contrario esta es negativa.
- IV. Caja espiral.- Tiene la finalidad de hacer llegar el fluido uniformemente repartido hasta el distribuidor. Para el caso de la máquina de acción, no es caracol propiamente dicho, sino que es una tubería cuya sección va disminuyendo gradualmente, la cual circunda el rodete.
- V. Carga.- Desnivel entre la elevación del agua en el embalse y la elevación correspondiente en el desfogue.
- VI. Carga mínima (carga base).- El valor mínimo de la carga observada durante un intervalo de tiempo determinado.
- VII. Carga neta de diseño.- Diferencia de elevaciones entre el nivel de diseño ( $N_{dis}$ ) y el nivel de desfogue ( $N_{des}$ ) con todas las unidades operando al gasto de diseño, menos las pérdidas de carga.
- VIII. Carga neta máxima.- Diferencia entre el NAMO y el nivel de desfogue correspondiente al caudal de una turbina menos las pérdidas de carga.
- IX. Carga neta mínima.- Diferencia de elevaciones entre el nivel del NAMINO y el nivel del desfogue correspondiente al caudal total de todas las máquinas funcionando con la máxima potencia posible bajo esa carga, menos las pérdidas de carga.
- X. Carga o altura neta.- Diferencia de niveles entre el nivel superior en el vaso (nivel en el cual se encuentra el embalse, regularmente se considera el NAMO) y el nivel del desfogue menos las pérdidas de carga en el sistema hidráulico.

- XI. Powerhouse.- Structure which housed the turbine-generator units, and a platform for assembly and repair. It is usually reinforced concrete and may be outside or cave type.
- XII. Auxiliary gates.- Are usually the type needles and are located upstream of the service, within the tower gate or port.
- XIII. Service gates.- Sliding gates or wagon type, which are housed in the tower or port. Control the extraction of the reservoir.
- XIV. Gate in the vent.- Are generally needle and are located where the tube ends in the diffuser or vent outlet.
- XV. Vent.- Is considered vent from the start of the suction pipe to the surface of the water discharge to a channel or a lower reservoir. Through this work the water turbine is returned to the river, being a channel for foreign powerhouse and tunnel cave house.
- XVI. Distributor.- Component designed to distribute and regulate the flow of fluid to the impeller. It consists, in the case of impulse turbines, the needle valve nozzles uniformly distributed at the periphery of the impeller (if more than one). For reaction turbines, the dealer is provided with pivoting blades in order to vary in area between them and therefore, controlling spending to changes imposed by the power demand.
- XVII. Turbine efficiency.- Ratio of useful energy in the arrow on the machine and the energy that gives water to the turbine.
- XVIII. Weighted average efficiency.- Value of efficiency that could be adopted in draft form when it is not known hill diagram of the turbine. It is usually 91 or 92%.
- XIX. Average annual energy.- Annual average energy generated by a use in GWh / year.
- XX. Annual average energy generated at the peak.- Annual average energy is generated only during peak hours in each day, in GWh / year.

- XI. Casa de máquinas.- Estructura donde se alojan las unidades Turbina-generador, además de una plataforma de montaje y reparación. Generalmente es de concreto armado y puede ser de tipo exterior o caverna.
- XII. Compuertas auxiliares.- Generalmente son del tipo agujas y se localizan aguas arriba de las de servicio, dentro de la torre o lumbrera de compuertas.
- XIII. Compuertas de servicio.- Compuertas deslizantes o del tipo vagón, las cuales se alojan en la torre o lumbrera. Controlan las extracciones del vaso.
- XIV. Compuerta en el desfogue.- Generalmente son de tipo aguja y se localizan en donde termina el tubo difusor o en la salida del desfogue.
- XV. Desfogue.- Se considera desfogue desde la salida del tubo de aspiración hasta la superficie libre del agua de la descarga a un cauce o un embalse inferior. Mediante esta obra se restituye el agua turbinada al cauce del río, siendo en canal para casa de máquinas exterior y en túnel para casa en caverna.
- XVI. Distribuidor.- Elemento encargado de repartir y regular el flujo de fluido al rodete. Está compuesto, en caso de turbinas de acción, de inyectores con válvula de aguja repartidos uniformemente en la periferia del rodete (en caso de ser más de uno). Para las turbinas de reacción, el distribuidor está compuesto de alabes pivotados con la finalidad de variar en área entre ellos y con ello regular el gasto ante los cambios impuestos por la potencia demandada.
- XVII. Eficiencia de la turbina.- Cociente de la energía útil en la flecha de la máquina y la energía que el agua cede a la turbina.
- XVIII. Eficiencia media ponderada.- Valor de la eficiencia que puede adoptarse en forma preliminar cuando no es conocido el diagrama colinar de la turbina. Generalmente es del 91 o 92 %.
- XIX. Energía media anual.- Promedio anual de la energía generada por un aprovechamiento, en GWh/año.
- XX. Energía media anual generada en el pico.- Energía media anual generada únicamente durante las horas de máxima demanda en cada día, en GWh/año.

- XXI. Annual average energy generated at the base.- Annual energy is generated during the remaining hours to the peak period in GWh / year.
- XXII. Hydraulic thrust.- Normal force to the axis of the turbomachinery caused by the passage of fluid through the impeller. This parameter will be considered to calculate the bearing load for reaction turbines.
- XXIII. Plant factor.- Is the utilization factor of a plant and can be understood as the ratio of energy produced in an interval of time and energy that would have produced if it had generated its maximum power possible service. This value ranges between 0 and 1.
- XXIV. Power factor.- Is the factor that determines the relationship between the active and reactive power supplied by the generator, is an indicator of the lag between current and voltage generation.
- XXV. Frequency.- Expresses the amount of changes for a second in the polarity of the current or voltage (sine wave) generated.
- XXVI. Total design flow of the intake.- Usable is the average flow divided by the plant factor.
- XXVII. Design flow of a unit.- Is the total design flow divided by the number of units comprising the plant.
- XXVIII. Maximum flow.- Is the maximum that can pass through the turbine when the plant is to NAMO and the dealer is open to 100%.
- XXIX. Average usable flow.- Is the averageflow that can be turbines over a period of time.
- XXX. Middle flow of the river.- Expenditure is the average runoff of the river at a fixed site over a period of time.

- XXI. Energía media anual generada en la base.- Energía anual generada durante las horas restantes al periodo pico, en GWh/año.
- XXII. Empuje hidráulico.- Fuerza normal al eje de la turbomáquina originada por el paso del fluido a través del rodete. Este parámetro es considerado para el cálculo de la chumacera de carga para las turbinas de reacción.
- XXIII. Factor de planta.- Factor de utilización de una central y puede entenderse como el cociente de la energía producida en un intervalo de tiempo, y la energía que produce si hubiese generado su potencia máxima posible de servicio. Este valor oscila entre 0 y 1.
- XXIV. Factor de potencia.- ( $\cos \phi$ ) Factor que determina la relación entre las potencias activa y reactiva suministradas por el generador, es un indicador del desfase existente entre la corriente y el voltaje de generación.
- XXV. Frecuencia.- Expresa la cantidad de cambios durante un segundo en la polaridad de la corriente o voltaje (senoidal) generados.
- XXVI. Gasto de diseño total de la obra de toma.- Gasto medio aprovechable, dividido por el factor de planta.
- XXVII. Gasto de diseño de una unidad.- Gasto de diseño total dividido por el número de unidades de que consta la planta.
- XXVIII. Gasto máximo.- Gasto máximo que puede pasar por la turbina cuando la planta está al NAMO y el distribuidor está abierto al 100%.
- XXIX. Gasto medio aprovechable.- Gasto medio que se puede turbinar en un periodo de tiempo dado.
- XXX. Gasto medio del río.- Escurrimiento promedio del río en un sitio fijo durante un periodo de tiempo determinado.

- XXXI. Minimum flow.- Maximum flow that can pass through the turbine when the plant is operating at NAMINO and the dealer is open to 100%.
- XXXII. Firm Generation.- Generation guarantee 100% of the time considered. Although sometimes we may speak of a certain generation firm deficit.
- XXXIII. Secondary Generation.- Energy that is not guaranteed and usually occurs in times of flood, when we know the energy demand is the demand (surplus).
- XXXIV. Governor.- Set of devices whose purpose is to keep the turbine-generator at synchronous speed to small changes in network demand served. When there are disturbances whose magnitude exceeds the operating range of the governor, operate originates protections and shot out of service, therefore the unit.
- XXXV. Transmission line power.- Line that is part of an installation of power transmission. This term usually applies to airlines.
- XXXVI. Design level (*Ndis*).-In the reservoir level used to calculate the load units are designed.
- XXXVII. Intake level (*Not*).- Making staffing levels of the collector structure intake.
- XXXVIII. Vent level (*Ndesf*).- Average level of the free surface of water in the discharge of the units, either this one or several units in operation.
- XXXIX. Operating levels and capacities.- Levels are usually expressed in meters above sea level (*msnm*), and capacity in million cubic meters ( $Mm^3$ ) or cubic hectometres alternately ( $hm^3$ ).
- XL. Intake.- Set of structures that can be drawn from the reservoir (in a controlled way) the amount of water required by the plant.

- XXXI. Gasto mínimo.- Gasto máximo que puede pasar por la turbina cuando la planta está operando al NAMINO y el distribuidor está abierto al 100%.
- XXXII. Generación firme.- Generación garantizable el 100% del tiempo considerado. Aunque, en ocasiones, también puede hablarse de generación firme con un cierto déficit.
- XXXIII. Generación secundaria.- Energía no garantizable y que normalmente se produce en época de avenidas, cuando se conoce la demanda es la energía no demandada (excedente).
- XXXIV. Gobernador.- Conjunto de dispositivos cuyo fin es mantener el grupo turbina-generador a velocidad síncrona ante pequeños cambios en la demanda de la red servida. Cuando hay perturbaciones cuya magnitud sobrepasa el rango de funcionamiento del gobernador, operan las protecciones y se origina el disparo con la consiguiente salida de servicio de la unidad.
- XXXV. Línea de transmisión.- Línea eléctrica que forma parte de una instalación de transmisión de energía eléctrica. Esta expresión se aplica en general, a las líneas aéreas.
- XXXVI. Nivel de diseño ( $Ndis$ ).- Nivel en el embalse utilizado para calcular la carga con que se diseñan las unidades.
- XXXVII. Nivel de obra de toma ( $Not$ ).- Nivel de la plantilla de la estructura colectora de lo obra de toma.
- XXXVIII. Nivel de desfogue ( $Ndesf$ ).- Nivel medio de la superficie libre del agua, en la descarga de las unidades, ya sea este para una o varias unidades en operación.
- XXXIX. Niveles de operación y capacidades.- Niveles, por lo general, se expresan en metros sobre el nivel del mar ( $msnm$ ), y las capacidades en millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ) o alternativamente en hectómetros cúbicos ( $hm^3$ ).
- XL. Obra de toma.- Conjunto de estructuras que permiten extraer del vaso (en forma controlada) la cantidad de agua requerida por la planta.

- XL I. Load losses.- Drop the load on feet, originated by friction, section changes, address, valves, fittings, etc. Calculated when you pass the design flow.
- XLII. Pols.- Form protrusions of the rotor, the generator without a horn, are responsible for housing the windings of the excitation and damping.
- XLIII. Well oscillation.- This is a gallery lined with concrete, metal or mixt, in an excavation or open-section circular, elliptical or compound, which serves to reduce water hammer and can be located upstream or downstream the powerhouse, depending on the length of the tunnel or tunnel driving vent.
- XLIV. Load rejection.- Instant reduction of the power generated to a sudden decrease in demand for the system. May be partial or total.
- XLV. Grids.- Metallic elements that are placed at the beginning of the shot, leaning on a concrete structure. Its function is to prevent the passage of floating bodies.
- XLVI. Impeller rotating.- Part of a turbomachinery responsible for energy exchange with the working fluid. It consists of blades or vanes and their number depends on the particular design of the turbomachinery.
- XLVII. Opening time of Governor.- Shortest time in which the blades can be opened from 5 to 100% open.
- XLVIII. Take action.- Load gradually increase the power generated to the network demand at a given time.
- XLIX. Gate tower.- Of reinforced concrete structure, rectangular hollow section which houses the gates and auxiliary service mechanisms and is located between the structures of grids and driving.
- L. Pressure pipe or penstock.- Welded steel pipe which has the function of conducting the pressurized water to the powerhouse and may be open to the outside, inside or open locked inside.



- XL I. Pérdidas de carga.- Caída de la carga en metros, originadas por: la fricción, cambios de sección, dirección, válvulas, accesorios, etc. Calculada cuando pasa el gasto de diseño.
- XLII. Polos.- Conforman las partes salientes del rotor, del generador sin corno, son los encargados de alojar los embobinados de excitación y amortiguamiento del mismo.
- XLIII. Pozo de oscilación.- Galería revestida de concreto armado, metálico o mixto, en una excavación o a cielo abierto, de sección circular, elíptica o compuesta, que sirve para reducir el golpe de ariete y se puede localizar aguas arriba o aguas abajo de la casa de máquinas, dependiendo de la longitud del túnel de conducción o túnel de desfogue.
- XLIV. Rechazo de carga.- Disminución instantánea de la potencia generada ante un decremento súbito en la demanda del sistema. Puede ser parcial o total.
- XLV. Rejillas.- Elementos metálicos que se colocan al inicio de la toma, apoyados en una estructura de concreto. Su función es impedir el paso de cuerpos flotantes.
- XLVI. Rodete.- Parte rotatoria de una turbomáquina encargada del intercambio de energía con el fluido de trabajo. Está compuesto de alabes o paletas y su número depende del diseño particular de la turbomáquina.
- XLVII. Tiempo de apertura del gobernador.- Tiempo más corto en cual pueden abrirse los alabes del 5 al 100 % de apertura.
- XLVIII. Toma de carga.- Acción de ir aumentando la potencia generada ante la demanda de la red en un tiempo determinado.
- XLIX. Torre de compuertas.- Estructura de concreto armado, de sección rectangular hueca en la cual se alojan las compuertas de servicio y auxiliares con sus mecanismos y se localiza entre la estructura de rejillas y la conducción.
- L. Tubería a presión o tubería forzada.- Tubería de acero soldado que tiene la función de conducir el agua a presión hasta la casa de máquinas y puede ser libre al exterior, bloqueada interior o libre interior.

- LI. Diffuser or suction tube.-The shape is due to be recovered as far as possible the remaining energy of the water at the outlet of the impeller, reducing the pressure below atmospheric pressure. The turbines do not have action tube.
- LII. Tunnel driving.- The water entering the intake is conducted through this tunnel, in which the slope and speed are low and the cross section must be hydraulically efficient. It begins and ends at grid pressure in the pipe.
- LIII. Action turbomachinery.- Turbine in which the fluid passing through the rotor turns the potential energy of the fluid kinetic energy, and this, in turn, becomes a form of mechanical work.
- LIV. Reaction turbine.- Turbomachinery in which the fluid passes from the upper channel or loading or unloading to vent through a closed system without contact with air at any point. At the entrance of the impeller only one part (the jump) becomes usable kinetic energy and another part remains in the form of pressure that varies through the conduit of the turbine. This kinetic energy, in turn, is used in the form of mechanical work.
- LV. Hydraulic turbine.- Turbomachinery that transforms the hydraulic energy in mechanic.
- LVI. Rotation speed.- Angular velocity of rotation of the turbine-generator group. This rate must be synchronous with respect to the frequency of feeding system.
- LVII. Specific Speed.- Characteristic parameter of turbomachinery including specific operating conditions such as load, flow and speed of rotation, also remain constant if it is geometrically similar or homologous Turbomachinery, regardless of size. It also provides criteria for selecting the type of turbine depending on the value obtained
- LVIII. Synchronous speed.- Speed determined by the number of pole pairs and the frequency generator on the network served.

- LI. Tubo difusor o de aspiración.- Su forma es debida a que se recupera hasta donde es posible la energía remanente del agua a la salida del rodete, disminuyendo la presión por debajo de la presión atmosférica. Las turbinas de acción no cuentan con tubo de aspiración.
- LII. Túnel de conducción.- El agua que ingresa por la toma es conducida por este túnel, en el que la pendiente y velocidad son bajas y la sección transversal debe ser hidráulicamente eficiente. Comienza en la rejilla y finaliza en la tubería a presión.
- LIII. Turbina de acción.- Turbomáquina en la que el fluido a su paso por el rodete transforma la energía potencial del fluido en energía cinética, y esta, a su vez, se transforma en forma de trabajo mecánico.
- LIV. Turbina de reacción.- Turbomáquina en la que el fluido pasa desde el canal superior o de carga hasta el desfogue o descarga a través de un sistema cerrado sin contacto con el aire en ningún punto. A la entrada del rodete solo una parte (del salto) aprovechable se convierte en energía cinética, y otra parte permanece en forma de presión que varía a través del conducto de la turbina. Esta energía cinética, a su vez, se aprovecha en forma de trabajo mecánico.
- LV. Turbina hidráulica.- Turbomáquina que transforma la energía hidráulica en mecánica.
- LVI. Velocidad de rotación.- Velocidad angular de giro del grupo Turbina-generador. Esta velocidad debe ser síncrona con respecto a la frecuencia del sistema a alimentar.
- LVII. Velocidad específica.- Parámetro característico de una turbomáquina que incluye sus condiciones específicas de operación como carga, gasto y velocidad de rotación, además permanecer constante si se trata de turbomáquinas geométricamente semejantes u homologas, independientemente del tamaño. Proporciona además el criterio de selección de tipo de turbina en función del valor obtenido.
- LVIII. Velocidad síncrona.- Velocidad determinada por el número de pares de polos del generador y la frecuencia en la red servida.



# ***CAPÍTULO II***

# ***ESTIMACIÓN DEL***

# ***VOLUMEN ÚTIL***

## ***(CHAPTER II***

## ***ESTIMATED***

## ***USEFUL VOLUME)***

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



## INDEX

<b>2. ESTIMATED USEFUL VOLUME</b>	64
<b>2.1. Empirical Methods</b>	68
2.1.1. <i>W. Rippl method or methods of the mass curve</i>	68
2.1.2. <i>Foley Method (Precipitation)</i>	70
2.1.3. <i>Sequent peak algorithm method</i>	74
2.1.4. <i>Operation Reservoir Components</i>	84
<b>2.2. Approximate theoretical methods</b>	86
<b>2.3. Estimation of the reliability of the design</b>	90
<b>2.4. Methods for estimating the capacity hiperannual</b>	94
2.4.1. <i>G. N. Alexander Method</i>	94
2.4.2. <i>Gould B. W. Method</i>	104
2.4.3. <i>Method of H. C. Riggs and C. H. Hardison</i>	106
<b>2.5. Estimation of seasonal capacity</b>	114
<b>2.6. Practical Skills required</b>	118
<b>2.7. Net capacity necessary for simultaneous demands</b>	120

## INDEX OF FIGURES

<b>2. ESTIMATED USEFUL VOLUME</b>	
2.1. <b>Graphic elevation-volume and elevation-area curves. Angostura Dam</b>	66
2.2. <b>Variables involved in the mass curve or diagram Rippl</b>	68
2.3. <b>Residual mass curve models and defining the range [R<sub>n</sub>]</b>	72
2.4. <b>Estimated Useful Volume</b>	84
2.5. <b>Probability curves of the relationship building - regulating the method of Alexander.</b>	98

## INDEX OF TABLES

<b>2. ESTIMATED USEFUL VOLUME</b>	
2.1. <b>Table elevation-volume curves and elevation-area</b>	64
2.2. <b>Sequent peak algorithm</b>	78
2.3. <b>Failure probabilities for different return periods – G. N. Alexander Method</b>	94
2.4. <b>Complete Solution to Example 2.1 - G. N. Alexander method</b>	102
2.5. <b>Variables for different probabilities of failure - Gould Method</b>	104
2.6. <b>Complete Solution to Example 2.2 - Gould Method</b>	106

## ÍNDICE

<b>2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL</b>	<b>65</b>
<b>2.1. Métodos empíricos</b>	<b>69</b>
2.1.1. Método de W. Rippl o Método de la Curva masa	69
2.1.2. Método de Foley (Precipitación)	71
2.1.3. Método del Algoritmo del pico secuente	75
2.1.4. Componentes del Funcionamiento de Vaso	85
<b>2.2. Métodos teóricos aproximados</b>	<b>87</b>
<b>2.3. Estimación de la confiabilidad del diseño</b>	<b>91</b>
<b>2.4. Métodos para estimar la capacidad hiperanual</b>	<b>95</b>
2.4.1. Método de G. N. Alexander	95
2.4.2. Método de B. W. Gould	105
2.4.3. Método de H.C. Riggs y C.H. Hardison	107
<b>2.5. Estimación de la capacidad estacional</b>	<b>115</b>
<b>2.6. Capacidades útiles requeridas</b>	<b>119</b>
<b>2.7. Capacidad útil necesaria para demandas simultaneas</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL</b>	
<b>2.1. Grafica Curvas elevación-volumen y elevación-área</b>	<b>67</b>
<b>2.2. Variables involucradas en la curva masa o diagrama de Rippl</b>	<b>69</b>
<b>2.3. Modelos de curva masa residual y definición del rango [Rn]</b>	<b>73</b>
<b>2.4. Estimación del Volumen Útil</b>	<b>85</b>
<b>2.5. Curvas probabilísticas de la relación capacidad – regulación del método de Alexander.</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL</b>	
<b>2.1. Tabla Curvas elevación-volumen y elevación-área</b>	<b>65</b>
<b>2.2. Algoritmo del Pico Secuente</b>	<b>79</b>
<b>2.3. Probabilidades de falla para distintos periodos de retorno – Método de G. N. Alexander</b>	<b>95</b>
<b>2.4. Solución completa al ejemplo 2.1 – Método de G. N. Alexander</b>	<b>103</b>
<b>2.5. Variables para diferentes probabilidades de falla – Método de Gould</b>	<b>105</b>
<b>2.6. Solución completa al ejemplo 2.2 – Método de Gould</b>	<b>107</b>

2.7. Annual capacity relative [Cr] for Normal distribution of annual runoff	108
2.8. Annual capacity relative [Cr] for distribution Log - Normal annual runoff	110
2.9. Annual capacity relative [Cr] for Weibull distribution of annual runoff	112
2.10. Solution for Example - method of Riggs and Hardison	114
2.11. Accumulated volumes and demands	116
2.12. Complete solution of Example 2.4	118
2.13. Demands and annual capacity - Example 2.5	118
2.14. Summary of results for a failure probability of 1%	120
2.15. Summary of results for a failure probability of 5%	120

2.7.	Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Normal de los escurrimientos anuales	109
2.8.	Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Log - Normal de los escurrimientos anuales	111
2.9.	Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Weibull de los escurrimientos anuales	113
2.10.	Solución al ejemplo – Método de Riggs y Hardison	115
2.11.	Volúmenes y demandas acumuladas	117
2.12.	Solución completa del ejemplo 2.4	119
2.13.	Demandas y capacidades anuales – Ejemplo 2.5	119
2.14.	Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 1%	121
2.15.	Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 5%	121



Within this chapter describes the various methods for estimating the useful volume of a dam, from a feasibility level analysis, to a design.

## 2. ESTIMATED USEFUL VOLUME

In the design of a storage tank, in particular storage volume, which is volume of water stored between the NAMO and NAMINO, you must have:

- a. Topography of the site.- raster images, vectorized topographic maps or digital elevation models. With them will determine the curve  $E - A - C$  (elevations, areas and capabilities) of the reservoir (Table 2.1 and Figure 2.1).

ELEVATION Msnm	AREA km <sup>2</sup>	VOLUME Mm <sup>3</sup>
421.5	0.00	0.00
480	70.00	1 097.91
495	107.00	1 631.66
500	150.00	2 379.53
505	250.00	3 649.13
510	300.00	4 918.73
515	357.00	6 706.73
519	410.00	8 358.37
520	414.00	8 770.03
525	470.00	11 123.60
530	529.00	13 766.80
533	594.00	15 549.20
535	600.00	16 737.40
535.4	610.00	17 101.20

Table 2.1

Table Elevation-volume curves and elevation-area. Angostura Dam

Dentro del presente capítulo se describen los diversos métodos para estimar el volumen útil de una presa, desde un análisis a nivel prefactibilidad, hasta uno de diseño.

## 2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL

En el diseño de un vaso de almacenamiento, en particular su volumen útil, el cual es volumen de agua almacenado entre el NAMO y el NAMINO, es necesario contar con:

- a. Topografía del sitio.- imágenes raster, cartas topográficas vectorizadas o modelos digitales de elevaciones. Con ellos se determina la curva  $E - A - C$  (Elevaciones, Áreas y Capacidades) del vaso (Tabla 2.1 y Figura 2.1).

ELEVACIÓN Msnm	ÁREA km <sup>2</sup>	VOLUMEN Mm <sup>3</sup>
421.5	0.00	0.00
480	70.00	1 097.91
495	107.00	1 631.66
500	150.00	2 379.53
505	250.00	3 649.13
510	300.00	4 918.73
515	357.00	6 706.73
519	410.00	8 358.37
520	414.00	8 770.03
525	470.00	11 123.60
530	529.00	13 766.80
533	594.00	15 549.20
535	600.00	16 737.40
535.4	610.00	17 101.20

Tabla 2.1

Tabla Curvas elevación-volumen y elevación-área. Presa Angostura

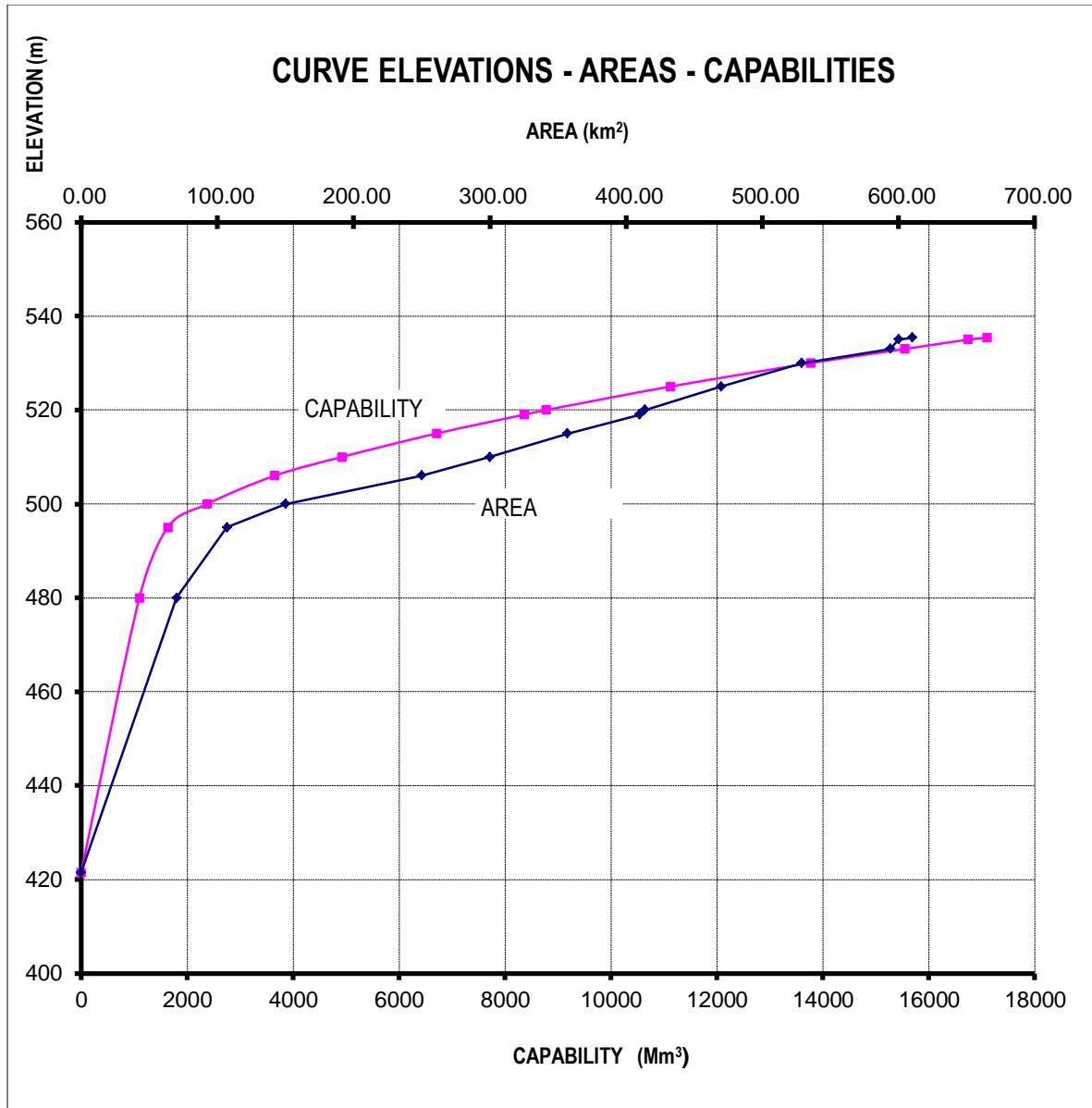


Figure 2.1  
Graphic elevation-volume and elevation-area curves. Angostura Dam

- b. Historical hydrological records (runoff, evaporation, precipitation)
- c. Sediment transport records for calculating the volume of silt and the life of the dam.

\* Note.- a greater number of records, the estimation of levels and trading volumes will be more reliable.

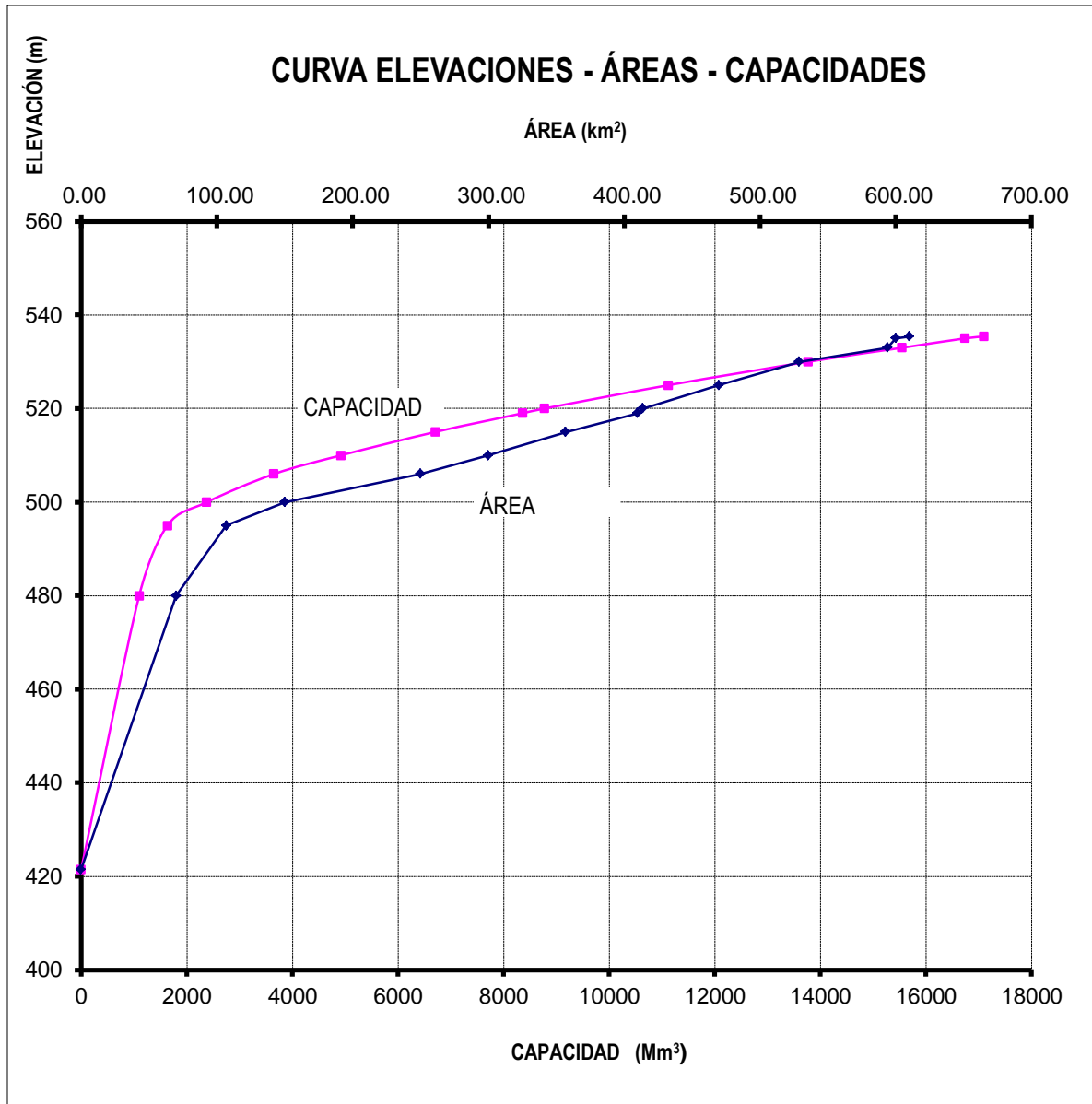


Figura 2.1

Grafica Curvas elevación-volumen y elevación-área. Presa Angostura

- b. Registros hidrológicos históricos (escurrimientos, evaporaciones, precipitación),
- c. Registros del transporte de sedimentos para el cálculo del volumen de azolves y la vida útil de la presa.

\*Nota.- a mayor cantidad de registros, la estimación de los niveles y volúmenes de operación es más fiable.

## 2.1. Empirical Methods

In recent years the methods of planning, design and operation of hydraulic works exploitation, have changed considerably due to the application of the experience of the engineer, for that reason the classification of design procedures has changed since the proposal in Yevjevich 1972, empirical methods, experimental and analytical, to one of the most recent corresponding to McMahon and Mein, in methods of critical period, which are based on data generated procedures and criteria derived from Moran's theory of probability Matrix .

### 2.1.1. W. Rippl method or methods of the mass curve

The empirical methods introduced by W. Rippl in England in 1883, are based on the implementation of the mass curve<sup>2.1</sup>, which is the time integral of runoff (Equation 2.1) and represents the volume that enters the reservoir for some time. The vertical distance between two tangents to the curve represents the volume of mass storage required for regular contributions or required capacity,  $C_r$ , and allow continued demand during that period, as shown in Figure 2.2. When the collection, including losses [seepage and evaporation] is equal to the average annual runoff volume, you get the maximum utilization.

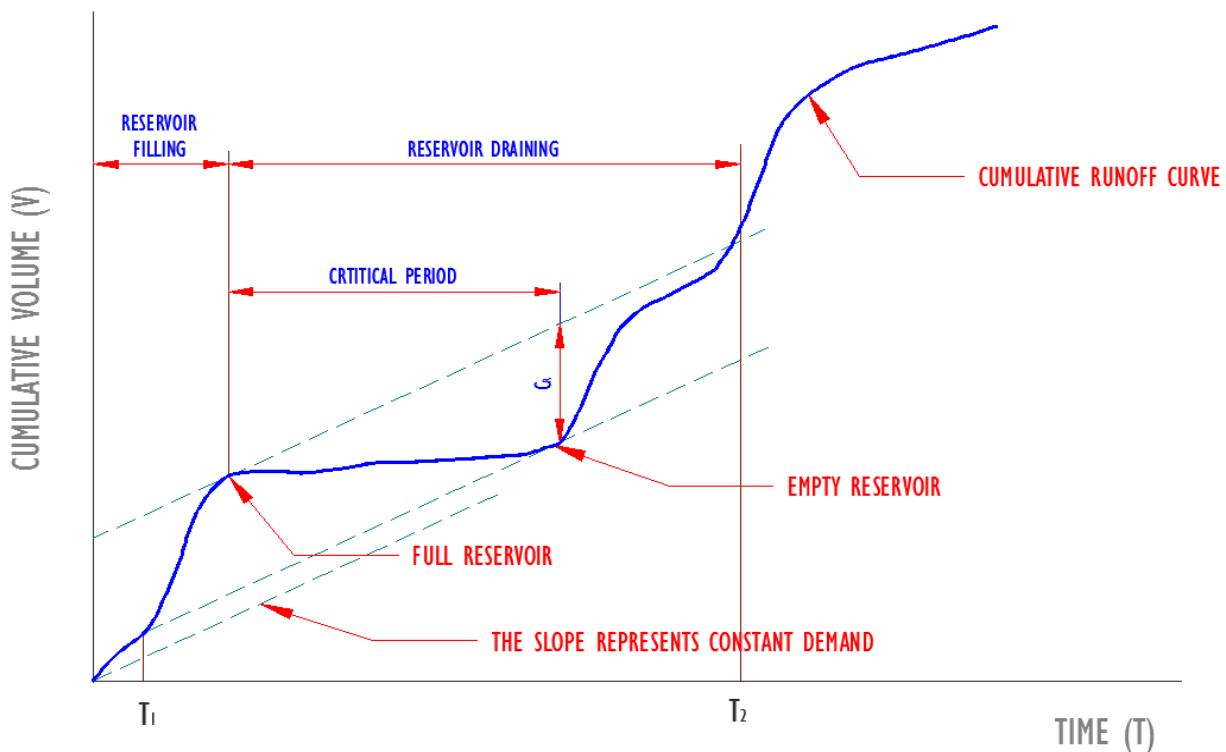


Figure 2.2

Variables involved in the mass curve or diagram Rippl

<sup>2.1</sup> Rippl, W., The capacity of storage reservoirs for water supply, proceedings of the Institute of Civil Engineers (Brit.), Vol. 71, 1883.

## 2.1. Métodos empíricos

En los últimos años los métodos de planeación, diseño y operación de las obras de aprovechamientos hidráulicos, han cambiado considerablemente, por tal motivo la clasificación de los procedimientos de diseño desde la propuesta por Yevjevich en 1972, en métodos empíricos, experimentales y analíticos, hasta una de las más recientes que corresponde a McMahon y Mein, en métodos de periodo crítico, los cuales son procedimientos basados en datos generados y criterios derivados de la teoría de Moran o de la Matriz de probabilidades.

### 2.1.1. Método de W. Rippl o Método de la Curva masa

Los métodos introducidos por W. Rippl en Inglaterra en 1883, están basados en la aplicación de la curva masa<sup>2.1</sup>, la cual es la integral en tiempo de los escurrimientos (ecuación 2.1) y representa el volumen que ingresa al embalse durante cierto tiempo. La distancia vertical entre dos tangentes a la curva masa representa el volumen de almacenamiento necesario para regular las aportaciones o capacidad requerida,  $C_r$ , y permitir una demanda continua durante ese periodo, como se muestra en la figura 2.2. Cuando la extracción, incluyendo las pérdidas [infiltración y evaporación], es igual al volumen escurrido medio anual, se obtiene el aprovechamiento máximo.

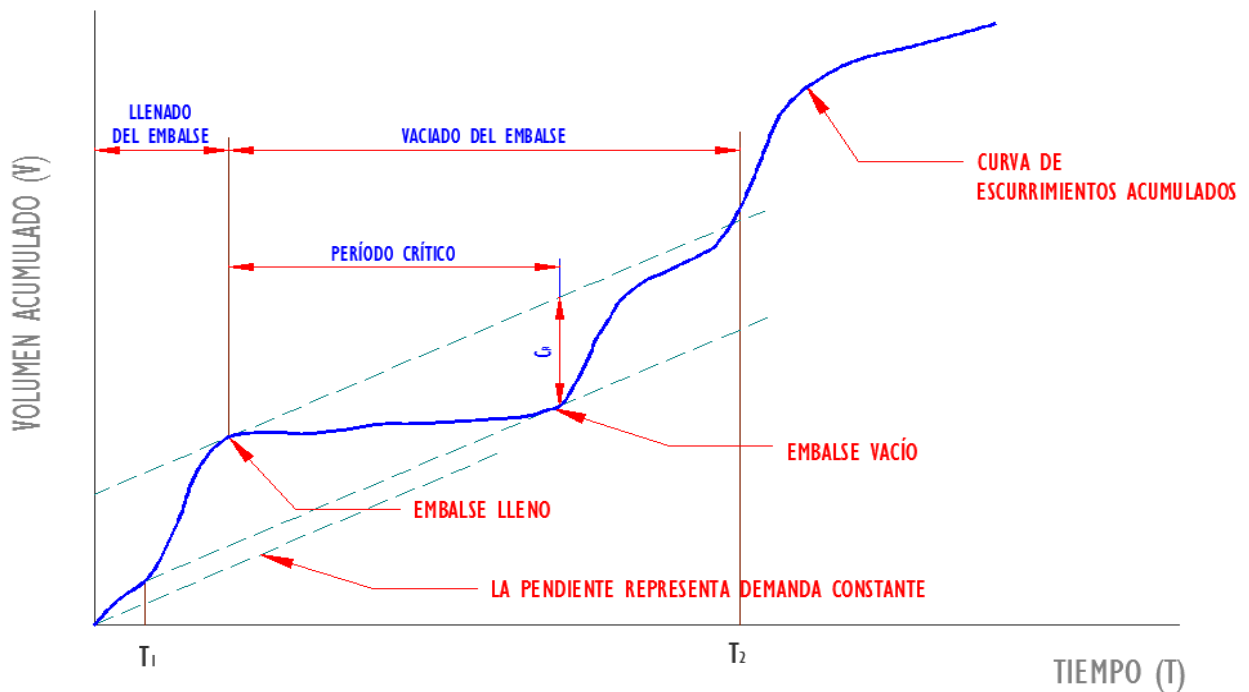


Figura 2.2

Variables involucradas en la curva masa o diagrama de Rippl

<sup>2.1</sup> Rippl, W., The capacity of storage reservoirs for water supply, proceedings of the Institute of Civil Engineers (Brit.), Vol. 71, 1883.

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \quad (2.1)$$

- where

- o  $Q$  flow

The mass curve method has the key advantage of including seasonality and serial correlation of runoff. However it has disadvantages such as the use of historical records; consider the reservoir full at the beginning, not considering the loss by evaporation and the use of failure probabilities. Analytical methods attempt to solve the exact equations that relate the probability distribution of runoff from the model of behavior deficits, surpluses and ranges. These methods are based on the mathematical derivation of the exact properties, asymptotic of the variables associated with the problem of the relationship capacity - demand - reliability.

### 2.1.2. Foley method (precipitation)

Foley Method<sup>2.2</sup> to detect and quantify the behavior of dry and wet periods using the residual mass curve (*CMR*), this is calculated algebraically accumulating surpluses and deficiencies monthly precipitation over the average rainfall Monthly (*PMM*), where a succession of failures to identify the period of drought. This procedure has the advantage of presenting the duration and severity of the deficiency of rainfall ( $\sum dif$ ) for each drought, but has the disadvantage of discarding the vegetation which have marked seasonal variation. You can simplify the method to build the residual mass curve on an annual basis, using the following formula:

$$IS = \frac{\sum_1^n dif}{PMA \text{ o } PMM} n \quad (2.2)$$

- where

- o  $\sum_1^n dif$  algebraic sum of the deficiencies with respect *PMA* or *PMM*
- o *PMA* mean annual rainfall
- o *PMM* average monthly precipitation
- o  $n$  duration of droughts in years or months depending on *PMA* or *PMM*
- o *IS* index of severity of the drought

\* Depending on whether the drought index is calculated using *CMR* the monthly or annual.

---

<sup>2.2</sup> World Meteorological Organization (WMO). *Drought and Agriculture*. Chapter 1: Introduction, pp. 1-11 and chapter 4: Methods of analysis, pp. 27-52. Technical Note No. 138. WMO - No. 392. Secretariat of the WMO. Geneva, Switzerland. 1975. 127p.

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \tag{2.1}$$

- donde
  - o  $Q$  gasto

El método de la curva masa presenta la ventaja fundamental de incluir la estacionalidad y la correlación serial de los escurrimientos. Sin embargo, tiene como desventajas el utilizar los registros históricos, considerar el embalse lleno al inicio, no considerar las pérdidas por evaporación ni el uso de probabilidades de falla. Los métodos analíticos intentan resolver las ecuaciones exactas que relacionan la distribución de probabilidades de los escurrimientos partiendo del modelo de comportamiento de los déficits, excedentes y rangos. Dichos métodos parten de la derivación matemática de las propiedades exactas, asintóticas de las variables asociadas con el problema de la relación capacidad – demanda – confiabilidad.

2.1.2. Método de Foley (Precipitación)

El Método de Foley<sup>2.2</sup> consiste en detectar y cuantificar el comportamiento de los periodos secos y húmedos empleando la curva masa residual (CMR); esta se calcula acumulando de manera algebraica los excedentes y las deficiencias mensuales de la precipitación con respecto a la precipitación media mensual (PMM), donde una sucesión de deficiencias permite identificar el periodo de sequía. Este procedimiento tiene como ventaja el presentar la duración y magnitud de la deficiencia de la lluvia ( $\sum dif$ ) para cada sequía; sin embargo, presenta la desventaja de descartar la vegetación los cuales tienen marcada variación estacional. Se puede simplificar el método construyendo la curva masa residual de manera anual, empleando la fórmula siguiente:

$$IS = \frac{\sum_1^n dif}{PMA \text{ o } PMM} n \tag{2.2}$$

- donde
  - o  $\sum_1^n dif$  suma algebraica de las deficiencias con respecto a la PMA o PMM
  - o PMA precipitación media anual
  - o PMM precipitación media mensual
  - o  $n$  duración del periodo de sequias, en años o meses dependiendo de PMA o PMM
  - o IS índice de severidad de la sequía

\*Dependiendo si el índice de la sequía se calcula con la CMR anual o mensual.

<sup>2.2</sup> World Meteorological Organization (WMO). *Drought and Agriculture*. Chapter 1: Introduction, pp. 1-11 and chapter 4: Methods of analysis, pp. 27-52. Technical Note No. 138. WMO - No. 392. Secretariat of the WMO. Geneva, Switzerland. 1975. 127p.



At the time of draw and calculate the residual mass curve under the method of Foley are four cases, as shown in figure 2.3 where the range as indicated  $R_n$ .

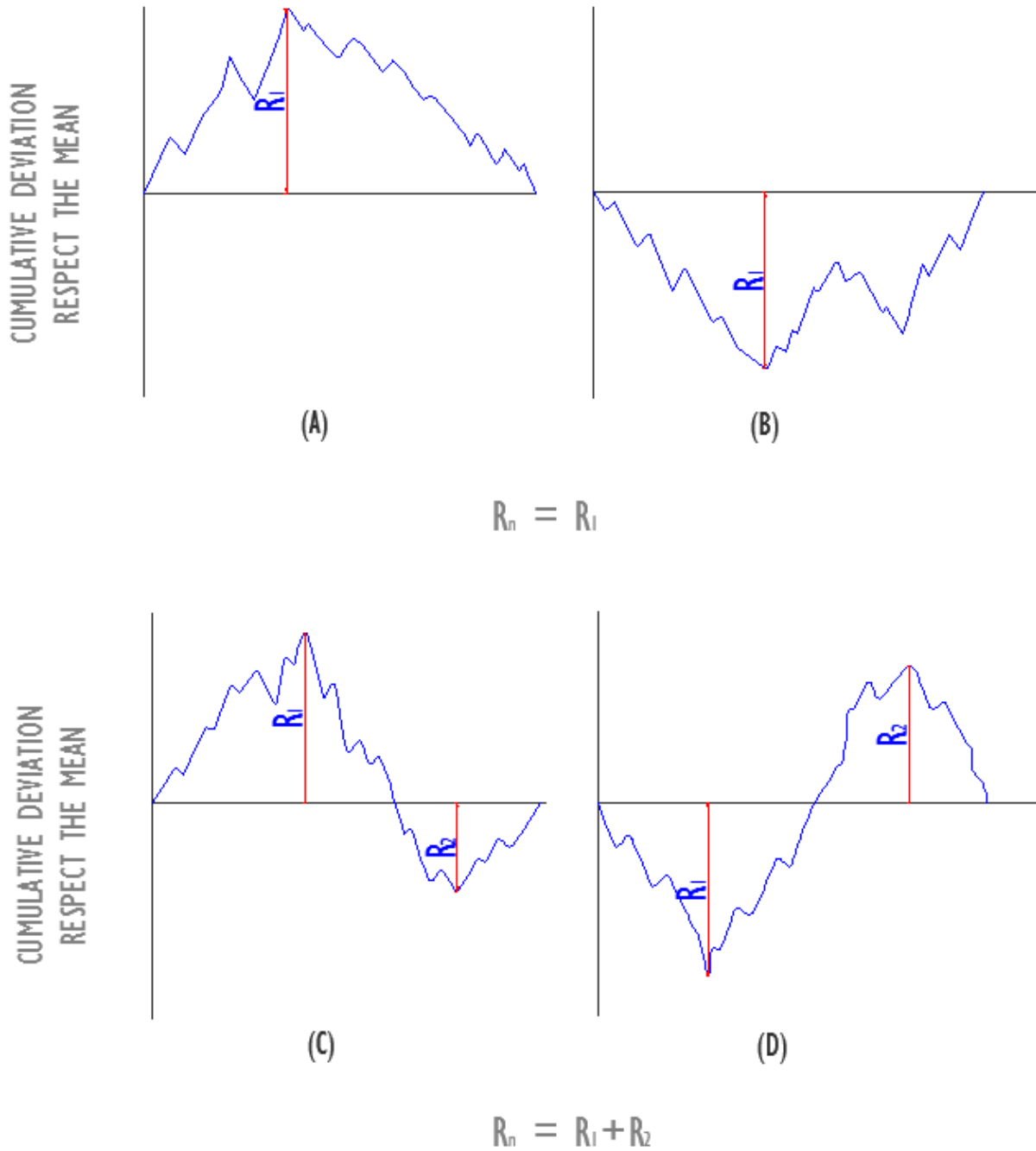


Figure 2.3  
Residual mass curve models and definition of the range  $[R_n]$

Al momento de dibujar y calcular la curva masa residual bajo el método de Foley, se presentan cuatro casos, como los que se muestran en la figura 2.3 en la que se indica el rango como  $R_n$ .

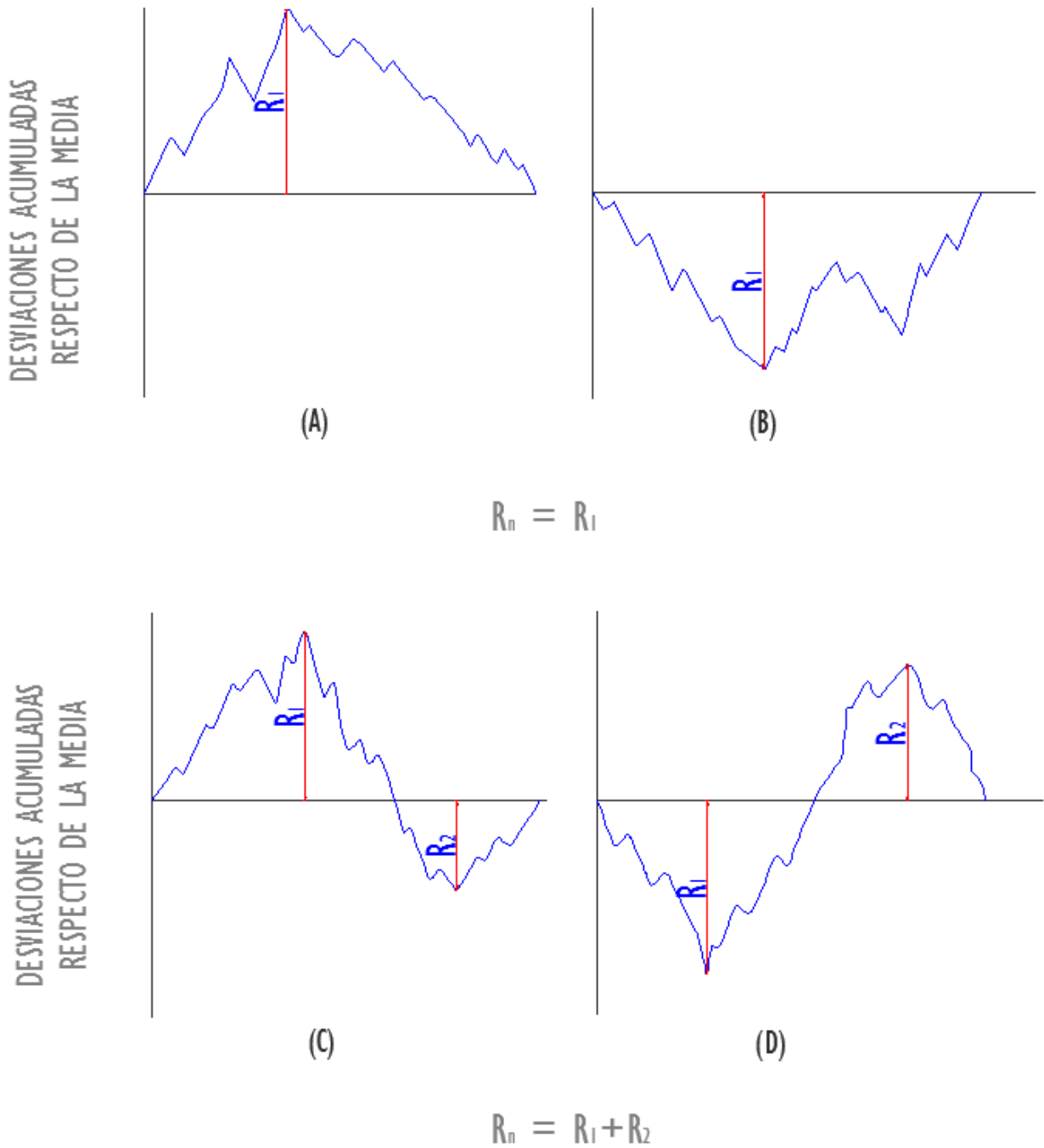


Figura 2.3

Modelos de curva masa residual y definición del rango  $[R_n]$

### 2.1.3. Method sequent peak algorithm

Based on a series of inputs  $E_i$  y and outputs  $S_i$  [which are specified in Chapter 3] of volume in a reservoir you must know a demand for a certain time  $T$  (weeks, months, years, etc.). [Columns 2 and 3 Table 2.2], for which employed the sequent peak algorithm which consists of:

- Get the reservoir net inflows  $(E_i - S_i)$  and net accumulated  $\sum_{j=0}^i (E_j - S_j)$  in both cases to  $i = 1, 2, \dots, 2T$  [column 4 and 5, respectively].
- Locate the first peak in net inflows accumulated  $P1$  [first maximum value]. For the example under study is.  $P1 = +315 \times 10^3 \text{ m}^3$ .
- Finding the sequent peak or second peak,  $P2$ , this value corresponds to the following maximum value that is present in the sample corresponds to  $P2 = +531 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Find the minimum value [ $T1$ ] in column 5, between  $P1$  and  $P2$ . The volume will be  $V1 = P1 - T1$ , then:

$$T1 = -1\,856 \times 10^3 \text{ m}^3; \text{ Then:}$$

$$V1 = P1 - T1 = [315 - (-1\,856)] \times 10^3 = 2\,171 \times 10^3 \text{ m}^3$$

- Whereas the reservoir is full, for the first interval between  $P1$  and  $P2$ , it is considered a useful volume (column 6) initial of  $2\,171 \times 10^3 \text{ m}^3$ , a from which you join your net inflows for the month, for instance for the first month of interval between  $P1$  and  $P2$  and would be as follows (the value of this addition will be used as the initial storage volume for the next month):

$$Vol1 = V1 + (X_1 - D_1)$$

$$Vol\ 1 = 2\,171 \times 10^3 \text{ m}^3 + (-180 \times 10^3 \text{ m}^3) = 1\,991 \times 10^3 \text{ m}^3$$

- If the volume generated for the corresponding month  $i$  is greater than the net volume (in the case of the interval between  $P1$  and  $P2$  is  $V1$ ), is assigned the value  $V1$ , If the volume generated for the corresponding month  $i$  is greater than the net volume (in the case of the interval between and is), is assigned the value of considering the presence of stroke (column 7), same as are the difference between the volume calculated for the corresponding month, and useful volume. To illustrate the calculation shows the spill for the  $P1$  and  $P2$ :

2.1.3. Método del Algoritmo del pico secuente

Partiendo de una serie de entradas  $E_i$  y salidas  $S_i$  [las cuales se especifican en el capítulo 3] de volumen en un vaso, se debe cumplir con una demanda para un determinado tiempo  $T$  (semanas, meses, años, etc.) [Columnas 2 y 3 de la tabla 2.2], para lo cual se emplea el algoritmo del pico secuente el cual consiste en:

- a. Obtener las entradas netas al vaso ( $E_i - S_i$ ) y la entrada neta acumulada  $\sum_{j=0}^i (E_j - S_j)$  en ambos casos para  $i = 1, 2, \dots, 2T$  [columna 4 y 5 respectivamente].
- b. Localizar el primer pico dentro de las entradas netas acumuladas,  $P1$  [primer valor máximo]. Para el ejemplo en estudio es,  $P1 = +315 \times 10^3 \text{ m}^3$ .
- c. Encontrar el pico secuente o el segundo valor máximo,  $P2$ , este valor corresponde al siguiente valor máximo que se presente, en el ejemplo corresponde a  $P2 = +531 \times 10^3 \text{ m}^3$ .
- d. Hallar el valor mínimo [ $T1$ ] de la columna 5, comprendido entre  $P1$  y  $P2$ . El volumen es  $V1 = P1 - T1$ , entonces:

$$T1 = -1\ 856 \times 10^3 \text{ m}^3; \text{ Entonces:}$$

$$V1 = P1 - T1 = [315 - (-1\ 856)] \times 10^3 = 2\ 171 \times 10^3 \text{ m}^3$$

- e. Considerando que el embalse se encuentra lleno, para el primer intervalo comprendido entre  $P1$  y  $P2$ , se considera un volumen útil (columna 6) inicial de  $2\ 171 \times 10^3 \text{ m}^3$ , a partir del cual se le suman las entradas netas de su correspondiente mes, por ejemplo para el primer mes del intervalo entre  $P1$  y  $P2$  queda de la siguiente manera (el valor de esta adición se emplea como el volumen útil inicial para el mes siguiente) :

$$Vol\ 1 = V1 + (X_1 - D_1)$$

$$Vol\ 1 = 2\ 171 \times 10^3 \text{ m}^3 + (-180 \times 10^3 \text{ m}^3) = 1\ 991 \times 10^3 \text{ m}^3$$

- f. En caso de que el volumen generado para el correspondiente mes  $i$  sea mayor al volumen útil (para el caso del intervalo comprendido entre  $P1$  y  $P2$  es  $V1$ ), se asigna el valor de  $V1$ , considerando la presencia de derrames (columna 7), mismos que son la diferencia entre el volumen calculado para el mes correspondiente y el volumen útil. Para ejemplificar se muestra el cálculo del derrame para el noveno mes del intervalo  $P1$  y  $P2$ :

$$Der_9 = Vol_8 + (X_9 - D_9) - V1$$

$$Der_9 = 1\,784 \times 10^3 m^3 + 414 \times 10^3 m^3 - 2\,171 \times 10^3 m^3 = 27 \times 10^3 m^3$$

- g. To differentiate the behavior of reservoir, is assigned the sign of "full" (column 8) when the reservoir has a higher or equal to the estimated useful volume, which means that spills reservoir features (if the first interval P1 and P2 is V1) . Otherwise it is assigned a sign of "empty" when the storage volume for the month is zero.
- h. Sequent to find the peak P2 (P3), which corresponds to the peak or maximum value that this post P2, in the example corresponds to  $P3 = +589 \times 10^3 m^3$ .
- i. Locate the lowest value T2 from P2 and P3, the volume will be  $V2 = P2 - T2$ .

$$T2 = -1\,003 \times 10^3 m^3; \text{ Then:}$$

$$V2 = P2 - T2 = [531 - (-1\,003)] \times 10^3 = 1\,534 \times 10^3 m^3$$

- j. Repeat steps e, f and g to determine the sequent peak of the (third year of study) and time interval and subsequently in case of more years in the analysis.

With the above in determining the minimum effective capacity without having to have deficits in the review period, used the following equation:

$$V_u = \max(P_j - T_j) \quad \forall_j$$

(2.3)

However as the data period will not be repeated exactly during the lifetime of the dam, this useful volume not guarantee that there will be no deficit.

In the results presented in Table 2.2, the volume is useful  $P1 - T1 = [315 - (-1\,856)] \times 10^3 = 2\,171 \times 10^3 m^3$ , while column 6 presents the potential volumes that contain the reservoir if you have runoff and demands presented in columns 2 and 3 respectively, whereas the reservoir is full at the beginning of month one.

$$Der_9 = Vol_8 + (X_9 - D_9) - V1$$

$$Der_9 = 1\,784 \times 10^3 m^3 + 414 \times 10^3 m^3 - 2\,171 \times 10^3 m^3 = 27 \times 10^3 m^3$$

- g. Para diferenciar el comportamiento del vaso, se asigna el letrero de “lleno” (columna 8) cuando el embalse tiene un nivel superior o igual al volumen útil calculado, lo que significa que el vaso presenta derrames (en caso del primer intervalo  $P1$  y  $P2$  es  $V1$ ). En caso contrario se asigna un letrero de “vacío”, cuando el volumen útil correspondiente al mes sea cero.
- h. Encontrar el pico seciente a  $P2$  ( $P3$ ), el cual corresponde al pico o valor máximo que se presente posterior a  $P2$ , en el ejemplo corresponde a  $P3 = +589 \times 10^3 m^3$
- i. Localizar el valor más bajo [ $T2$ ] comprendido entre  $P2$  y  $P3$ , El volumen es  $V2 = P2 - T2$ .

$$T2 = -1\,003 \times 10^3 m^3; \text{Entonces:}$$

$$V2 = P2 - T2 = [531 - (-1\,003)] \times 10^3 = 1\,534 \times 10^3 m^3$$

- j. Repetir los pasos e, f y g para determinar el pico seciente del  $T3$  (tercer año en estudio) intervalo de tiempo y así subsecuentemente en caso de presentarse más años en el análisis.

Con lo anterior para determinar la capacidad útil mínima sin que se tenga déficit en el periodo analizado, se emplea la siguiente ecuación:

$$V_u = \max(P_j - T_j) \quad \forall_j \tag{2.3}$$

Sin embargo como el periodo de datos no se repite exactamente durante la vida útil de la presa, el presente volumen útil no garantiza que no existe déficit.

En los resultados presentados en la tabla 2.2, el volumen útil es  $P1 - T1 = [315 - (-1\,856)] \times 10^3 = 2\,171 \times 10^3 m^3$ , mientras que en la columna 6 se describen los posibles volúmenes que contiene el vaso en caso de presentar los escurrimientos y demandas presentados en las columnas 2 y 3 respectivamente, considerando que el vaso se encuentra lleno al principio del mes uno.

Note that in the case of the fifth month of the second year the reservoir is completely empty; however not present any shortfall in meeting demand.

To estimate an appropriate volume hydrologically by a curve relating the annual demand payloads [Figure 2.4], you must have the freedom to vary the demands. For each point of the curve is necessary to conduct a mass curve analysis or spout sequent. In the event that the monthly demands are variable, the ratio of demand for each month from year must be the same for each point on the curve. Usually in the curves as presented in Figure 2.4 there is a point A such that an annual demand greater than the corresponding to that point, a small increase in demand requires a relatively large increase in reservoir size and vice versa. Therefore the reservoir with the volume corresponding to point A would use the maximum amount of volume without being too expensive.

1	2	3	4	5	6	7	8
month	$X_i$ [ $10^3$ M $^3$ ]	$D_i$ [ $10^3$ M $^3$ ]	$X_i - D_i$ [ $10^3$ M $^3$ ]	$(X_i - D_i)$ ac [ $10^3$ M $^3$ ]	Volume [ $10^3$ M $^3$ ]	Spill [ $10^3$ M $^3$ ]	Reservoir State
1	216	396	-180	-180	1991	0	0
2	234	450	-216	-396	1775	0	0
3	207	549	-342	-738	1433	0	0
4	225	864	-639	-1377	794	0	0
5	252	549	-297	-1674	497	0	0
6	585	450	135	-1539	632	0	0
7	810	396	414	-1125	1046	0	0
8	1062	324	738	-387	1784	0	0
9	684	270	414	27	2171	27	full
10	504	270	234	261	2171	234	full
11	342	288	54	315	2171	54	full
12	198	360	-162	153	2009	0	0
1	259	475	-216	-63	1793	0	0
2	281	540	-259	-322	1534	0	0
3	248	659	-410	-733	1123	0	0
4	270	1037	-767	-1499	356	0	0
5	302	659	-356	-1856	0	0	empty
6	702	540	162	-1694	162	0	0
7	972	475	497	-1197	659	0	0
8	1274	389	886	-311	1544	0	0
9	821	324	497	185	2041	0	0
10	605	324	281	466	2171	151	full
11	410	346	65	531	2171	65	full
12	238	432	-194	337	1534	443	full

Obsérvese que en el caso del quinto mes del segundo año el vaso se vacía totalmente. Sin embargo, no se presenta ningún déficit en la satisfacción de la demanda.

Para estimar un volumen hidrológicamente adecuado mediante una curva que relacione la demanda anual con la capacidad útil [Figura 2.4], es indispensable tener la libertad de variar las demandas. Para obtener cada punto de dicha curva es necesario realizar un análisis de curva masa o pico secuente. En el caso de que las demandas mensuales sean variables, el cociente de la demanda de cada mes entre el anual debe de ser el mismo para cada punto de la curva. Generalmente en las curvas como la presentada en la figura 2.4 existe un punto A tal que para una demanda anual mayor que la correspondiente a dicho punto, un incremento pequeño en las demandas exige un incremento relativamente grande en el tamaño del vaso y viceversa. Por lo cual un vaso con el volumen correspondiente al punto A aprovecha la máxima cantidad de volumen sin ser demasiado costoso.

1	2	3	4	5	6	7	8
mes	$X_i$ [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	$D_i$ [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	$X_i - D_i$ [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	$(X_i - D_i)$ ac [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	Volumen [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	Derrame [10 <sup>3</sup> M <sup>3</sup> ]	Estado del Vaso
1	216	396	-180	-180	1991	0	0
2	234	450	-216	-396	1775	0	0
3	207	549	-342	-738	1433	0	0
4	225	864	-639	-1377	794	0	0
5	252	549	-297	-1674	497	0	0
6	585	450	135	-1539	632	0	0
7	810	396	414	-1125	1046	0	0
8	1062	324	738	-387	1784	0	0
9	684	270	414	27	2171	27	lleno
10	504	270	234	261	2171	234	lleno
11	342	288	54	315	2171	54	lleno
12	198	360	-162	153	2009	0	0
1	259	475	-216	-63	1793	0	0
2	281	540	-259	-322	1534	0	0
3	248	659	-410	-733	1123	0	0
4	270	1037	-767	-1499	356	0	0
5	302	659	-356	-1856	0	0	vacío
6	702	540	162	-1694	162	0	0
7	972	475	497	-1197	659	0	0
8	1274	389	886	-311	1544	0	0
9	821	324	497	185	2041	0	0
10	605	324	281	466	2171	151	lleno
11	410	346	65	531	2171	65	lleno
12	238	432	-194	337	1534	443	lleno



1	173	317	-144	193	1390	0	0
2	187	360	-173	20	1217	0	0
3	166	439	-274	-254	943	0	0
4	180	691	-511	-765	432	0	0
5	202	439	-238	-1003	194	0	0
6	468	360	108	-895	302	0	0
7	648	317	331	-563	634	0	0
8	850	259	590	27	1224	0	0
9	547	216	331	358	1534	22	full
10	403	216	187	545	1534	187	full
11	274	230	43	589	1534	43	full
12	158	288	-130	459	1404	0	0
1	216	396	-180	279	1224	0	0
2	234	450	-216	63	1008	0	0
3	207	549	-342	-279	666	0	0
4	225	864	-639	-918	27	0	0
5	252	549	-297	-1215	-270	0	0
6	585	450	135	-1080	-135	0	0
7	810	396	414	-666	279	0	0
8	1062	324	738	72	1017	0	0
9	684	270	414	486	1431	0	0
10	504	270	234	720	1665	0	0
11	342	288	54	774	1719	0	0
12	198	360	-162	612	1557	0	0
1	259	475	-216	396	1341	0	0
2	281	540	-259	137	1082	0	0
3	248	659	-410	-274	671	0	0
4	270	1037	-767	-1040	-95	0	0
5	302	659	-356	-1397	-452	0	0
6	702	540	162	-1235	-290	0	0
7	972	475	497	-738	207	0	0
8	1274	389	886	148	1093	0	0
9	821	324	497	644	1589	0	0
10	605	324	281	925	1870	0	0
11	410	346	65	990	1935	0	0
12	238	432	-194	796	1534	207	full
1	173	317	-144	652	1390	0	0
2	187	360	-173	479	1217	0	0
3	166	439	-274	205	943	0	0
4	180	691	-511	-306	432	0	0
5	202	439	-238	-544	194	0	0

1	173	317	-144	193	1390	0	0
2	187	360	-173	20	1217	0	0
3	166	439	-274	-254	943	0	0
4	180	691	-511	-765	432	0	0
5	202	439	-238	-1003	194	0	0
6	468	360	108	-895	302	0	0
7	648	317	331	-563	634	0	0
8	850	259	590	27	1224	0	0
9	547	216	331	358	1534	22	lleno
10	403	216	187	545	1534	187	lleno
11	274	230	43	589	1534	43	lleno
12	158	288	-130	459	1404	0	0
1	216	396	-180	279	1224	0	0
2	234	450	-216	63	1008	0	0
3	207	549	-342	-279	666	0	0
4	225	864	-639	-918	27	0	0
5	252	549	-297	-1215	-270	0	0
6	585	450	135	-1080	-135	0	0
7	810	396	414	-666	279	0	0
8	1062	324	738	72	1017	0	0
9	684	270	414	486	1431	0	0
10	504	270	234	720	1665	0	0
11	342	288	54	774	1719	0	0
12	198	360	-162	612	1557	0	0
1	259	475	-216	396	1341	0	0
2	281	540	-259	137	1082	0	0
3	248	659	-410	-274	671	0	0
4	270	1037	-767	-1040	-95	0	0
5	302	659	-356	-1397	-452	0	0
6	702	540	162	-1235	-290	0	0
7	972	475	497	-738	207	0	0
8	1274	389	886	148	1093	0	0
9	821	324	497	644	1589	0	0
10	605	324	281	925	1870	0	0
11	410	346	65	990	1935	0	0
12	238	432	-194	796	1534	207	lleno
1	173	317	-144	652	1390	0	0
2	187	360	-173	479	1217	0	0
3	166	439	-274	205	943	0	0
4	180	691	-511	-306	432	0	0
5	202	439	-238	-544	194	0	0

6	468	360	108	-436	302	0	0
7	648	317	331	-104	634	0	0
8	850	259	590	486	1224	0	0
9	547	216	331	817	1534	22	full
10	403	216	187	1004	1534	187	full
11	274	230	43	1048	1534	43	full
12	158	288	-130	918	1404	0	0

Table 2.2

## Sequent peak algorithm

It can be seen in Figure 2.4, which usually takes a dam that 100% of the runoff is very expensive, so in addition to considering hydrologic factors to make the design decision be taken as the economic, social, and environmental problems.

- For the calculation of total volume of the dam is recommended:
  - a. Estimate it directly using only monthly data inputs and demands.
  - b. Then proceed to make a simulation operation of reservoir for a long period, considering now the evaporation, precipitation, annual variations, monthly changes, etc., everything that relates to the water stored in the reservoir.

To determine the operating policy is necessary to analyze the factors containing hydrologic, economic, social and environmental impact for the [runoff as a factor in plant turbines, cost benefit, etc.].

In calculating the curve mass or sequent peak algorithm<sup>2.3</sup> and plotted as in Figure 2.4 is possible to have a preliminary choice of useful volume. Although, while operating the dam, however the average levels are maintained, the presence of several dry years can cause such a deficit, causing the work is no longer profitable, or the count in the wet period may present avenues provoke many spills, which would mean that wasted a large water storage volume, a volume that could be used to generate lots of secondary energy.

<sup>2.3</sup> Aparicio, F.J. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Capítulo 5: Almacenamiento y tránsito en vasos y cauces, pp. 72-78. Limusa. 1997. 307 p.

6	468	360	108	-436	302	0	0
7	648	317	331	-104	634	0	0
8	850	259	590	486	1224	0	0
9	547	216	331	817	1534	22	lleno
10	403	216	187	1004	1534	187	lleno
11	274	230	43	1048	1534	43	lleno
12	158	288	-130	918	1404	0	0

Tabla 2.2  
Algoritmo del Pico Secuente

Se puede apreciar en la figura 2.4, que generalmente una presa que aprovecha al 100% el escurrimiento es muy costosa, por lo tanto además de considerar los factores hidrológicos para tomar la decisión del diseño, se deben tomar en cuanto los factores económicos, sociales, ambientales, etc.

- Para el cálculo del volumen útil de la presa se recomienda:
  - a. Estimarlos de manera directa utilizando datos mensuales únicamente de aportaciones y demandas.
  - b. Posteriormente se procede a realizar una simulación de funcionamiento de vaso para un periodo largo, considerando ahora las evaporaciones, precipitaciones, variaciones anuales, variaciones mensuales, etc., todo lo que se relacione con el agua almacenada en el vaso.

Para determinar la política de operación es necesario realizar un análisis que contenga los factores hidrológicos, económicos, sociales y de impacto ambiental correspondientes [escurrimientos, factor de planta de la turbinas, relación beneficio costo, etc.].

Con el cálculo de la curva masa o el algoritmo del pico secuente<sup>2,3</sup> y una gráfica como la de la figura 2.4 es posible tener una de opciones preliminares de volumen útil. Aunque, al estar operando la presa, no obstante los niveles medios se conserven, la presencia de varios años secos puede ocasionar un déficit tal, que provoque que la obra ya no sea rentable, o por el contrario en su periodo húmedo pueden presentarse avenidas que provocan muchos derrames, lo que significa que se desperdicia un gran volumen útil de agua, volumen que puede ser empleado para generar gran cantidad de energía secundaria.

<sup>2,3</sup> Aparicio, F.J. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Capítulo 5: Almacenamiento y tránsito en vasos y cauces, pp. 72-78. Limusa. 1997. 307 p.

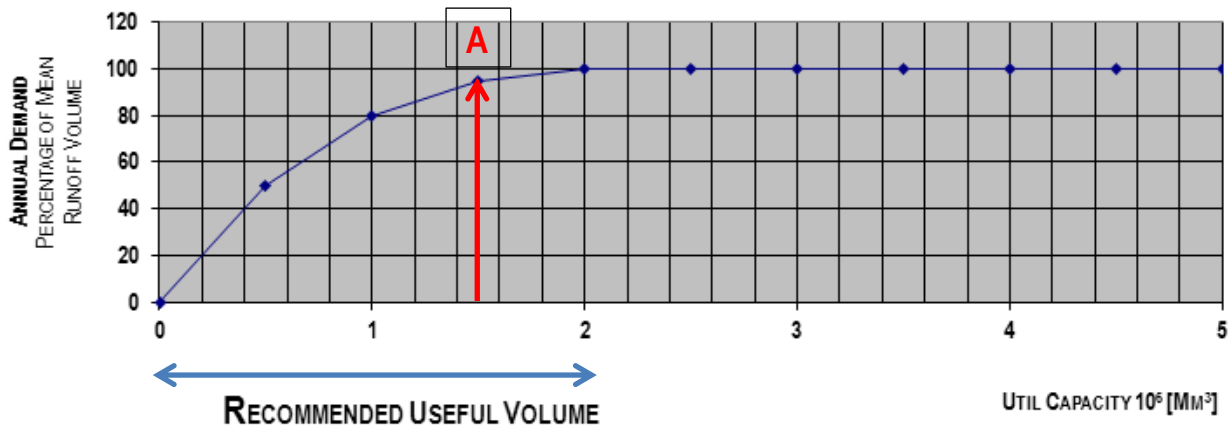


Figure 2.4  
Estimate of useful volume

2.1.4. Operation Reservoir Components

To simulate the operation of a reservoir is used the equation of continuity, expressed in a range of  $\Delta t$  is:

$$E - S = \Delta V \tag{2.4}$$

- where

- $E$  volume of water entering the reservoir during the interval  $\Delta t$ , in  $Mm^3$
- $S$  volume of water leaving the reservoir during the same interval, in  $Mm^3$
- $\Delta V$  change in volume stored in the reservoir during the interval  $\Delta t$ , in  $Mm^3$

\* Chapter 3 describes in depth each of its components.

Usually in the simulation of the operation of reservoirs using a time interval  $\Delta t$  of one month, but when regulatory capacity is very large reservoir, can be used longer time intervals, either on a semiannual or annual. Otherwise occurs when the reservoirs have little ability to control, causing the simulation interval is reduced to one week or one day.

Each of the terms of the first member of Equation 2.5 includes several factors: The entries come from the runoff generated in the basin, discharges from dams upstream of the runoff coming from other basins (when intercom) and direct precipitation on the reservoir. The outputs are formed by the volumes extracted to meet demand for their losses due to evaporation and seepage and spills through the work of exceedances.

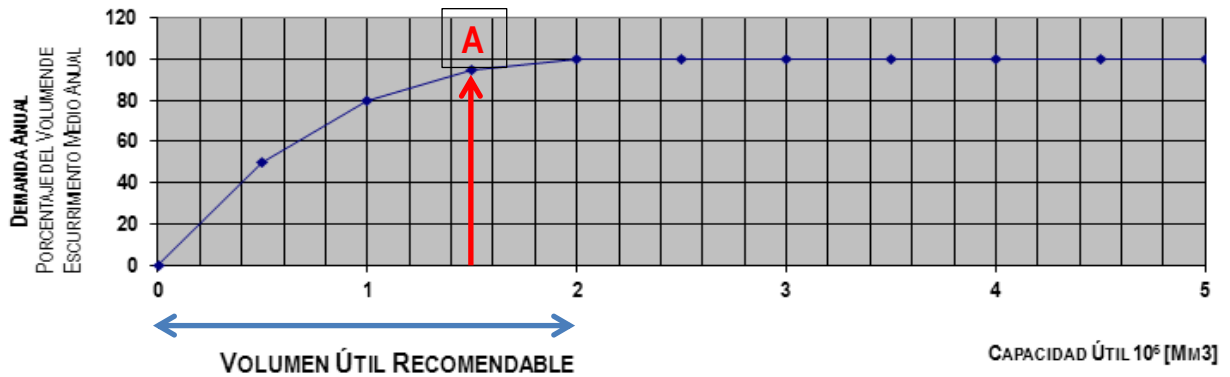


Figura 2.4  
Estimación del Volumen Útil

2.1.4. Componentes del Funcionamiento de Vaso

Para simular el funcionamiento de un vaso se emplea la ecuación de continuidad, que expresada en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  dado es:

$$E - S = \Delta V \tag{2.4}$$

- donde
  - o  $E$  volumen de agua que entra al vaso durante el intervalo  $\Delta t$ , en  $Mm^3$
  - o  $S$  volumen de agua que sale del vaso durante el mismo intervalo, en  $Mm^3$
  - o  $\Delta V$  variación del volumen almacenado en el vaso durante el intervalo  $\Delta t$ , en  $Mm^3$

\*En el capítulo 3 se detallan a fondo cada uno de sus componentes.

Generalmente, en la simulación del funcionamiento de vasos se utiliza un intervalo de tiempo  $\Delta t$  de un mes; sin embargo cuando la capacidad de regulación del vaso es muy grande, pueden emplearse intervalos de tiempo mayores, ya sea de manera semestral o anual. Caso contrario ocurre cuando los vasos tienen poca capacidad de regulación, ocasionando que el intervalo de simulación se reduzca a una semana o hasta un día.

Cada uno de los términos del primer miembro de la ecuación 2.5 incluye varios factores: Las entradas provienen del escurrimiento generado en la propia cuenca, de las descargas de las presas situadas aguas arriba, de los escurrimientos que provienen de otras cuencas (cuando hay intercomunicación) y de la precipitación pluvial directa sobre el vaso. Las salidas están formadas por los volúmenes que se extraen para satisfacer la demanda, por las pérdidas debidas a evaporación e infiltración y por los derrames a través de la obra de excedencias.

- a. Taking into account these factors, the continuity equation takes the form:

$$ICP + IT + VLL - VDEM - VEVA - VINF - DERR = \Delta V \quad (2.5)$$

- where

- *ICP* runoff generated by the basin itself
- *IT* tickets for transfer from other basins
- *VLL* entries of rain on the reservoir.
- *VDEM* volume removed to meet demand
- *VEVA* volume evaporated
- *VINF* volume infiltrated into the reservoir
- *DERR* volume spilled

- b. The input or inputs are made up of reservoir:

$$E = ICP + IT + VLL \quad (2.6)$$

- c. Extractions and exits the reservoir are made by:

$$S = VDEM + VEVA + VINF + DERR \quad (2.7)$$

## 2.2. Approximate theoretical methods

The capacity required for a reservoir can be estimated with simple procedures and fast, whose defining characteristics are:

- a. They use basic statistical properties of annual runoff, as the mean, standard deviation and the distribution function.

- a. Tomando en cuenta esos factores, la ecuación de continuidad toma la forma:

$$ICP + IT + VLL - VDEM - VEVA - VINF - DERR = \Delta V$$

(2.5)

- donde

- *ICP* escurrimientos generados por la cuenca propia
- *IT* entradas por transferencia desde otras cuencas
- *VLL* volumen de lluvia en el vaso
- *VDEM* volumen extraído para satisfacer la demanda
- *VEVA* volumen evaporado
- *VINF* volumen infiltrado en el vaso
- *DERR* volumen derramado

- b. Las aportaciones o entradas al vaso están conformadas por:

$$E = ICP + IT + VLL$$

(2.6)

- c. Extracciones o salidas del vaso están conformadas por:

$$S = VDEM + VEVA + VINF + DERR$$

(2.7)

## 2.2. Métodos teóricos aproximados

La capacidad requerida por un embalse puede estimarse con procedimientos simples y rápidos, cuyas características fundamentales son las siguientes:

- a. Emplean las propiedades estadísticas básicas de los escurrimientos anuales, como la media, la desviación estándar y la función de distribución.



- b. Calculate the required capacity hiperannual [reservoirs with a capacity to regulate its reserves more than one year] with the approximate approach.
- c. Are usually based on initial conditions of the dam fills and constant demand.
- d. Not consider the permanence of annual runoff or evaporation.

In determining the required capacity for a reservoir or water resources system the fundamental problem is to estimate the future stream runoff. The empirical approach is based on the historical record and does not introduce concepts of probability, requiring a large amount of data to be made with some accuracy, on the other hand, the stochastic approach is very simple and convenient to play the future stream of runoff, since these introduce probabilistic concepts, whether regarding the range properties (analytical methods) or using synthetic series.

Stochastic methods solve the problem of sizing of a reservoir, creating multiple synthetic sequences to obtain the necessary skills for each of them, entering a probabilistic analysis in order to obtain a design value or ability required. These procedures are known in mathematical statistics and probability theory and Monte Carlo methods, known in hydrology with the name of synthetic methods or operational hydrology, or methods of generation or simulation data.

To estimate the required capacity in a reservoir on the use of methods of the critical period [McMahon and Mein] used a sequence of runoff less than the demand.

The period during which the reservoir go from being total filling the total discharge is called critical period [without spills in the range]. McMahon and Mein, classify the methods of critical period as those which employ a sequence of runoff under the demand to calculate the capacity required by the reservoir.

In 1951, Hurst H. E. Behavior of a long series of flows of the River Nile, which has been made systematic records of river levels for many years, where analyzing the behavior of a statistic known as the range which is associated with the storage required to regulate the flow of a river, found that the expected value range varies with the number of years for which is expected to regulate the flow, so that presents an exponential growth. This behavior has been known as the Law of Hurst, where the range is a function of time in years, risen to power  $H$ , which bears his name (greater than 0.5 and less than one).

- b. Se calcula la capacidad requerida hiperanual [embalses con una capacidad de regulación de sus reservas superior a un año] con el criterio aproximado.
- c. Se basan generalmente en condiciones iniciales de presa llena y demanda constante.
- d. No considera la permanencia de escurrimientos anuales, ni la evaporación.

Al determinar la capacidad requerida por un embalse o sistema de recursos hidráulicos el problema fundamental consiste en estimar la secuencia futura de los escurrimientos. El enfoque empírico se basa en el registro histórico y no introduce conceptos de probabilidades, requiriendo de una gran cantidad de datos para ser realizado con cierta exactitud, por otro lado el enfoque estocástico es muy simple y práctico para reproducir la secuencia futura de escurrimientos, ya que estos introducen conceptos probabilísticos, ya sea respecto a propiedades como el rango (métodos analíticos) o usando series sintéticas.

Los métodos estocásticos resuelven el problema del dimensionamiento de un embalse, creando varias secuencias sintéticas con el fin de obtener las capacidades necesarias con cada una de ellas, ingresándolas a un análisis probabilístico con el fin de obtener un valor de diseño o capacidad requerida. Dichos procedimientos son conocidos en estadística matemática y teoría de probabilidades como métodos de Monte Carlo, conocidos en hidrología con el nombre de métodos de hidrología sintética u operacional, o métodos de generación o simulación de datos.

Para estimar la capacidad requerida en un embalse bajo el uso de métodos del periodo crítico [McMahon y Mein] se utiliza una secuencia de escurrimientos menores que la demanda.

Al periodo durante el cual el embalse pasa de la condición de llenado total a la de vaciado total se le llama periodo crítico [sin derrames en el intervalo]. McMahon y Mein, clasifican a los métodos de periodo crítico como aquellos que emplean una secuencia de escurrimientos menores a la demanda para calcular la capacidad requerida por el embalse.

En el año de 1951, Hurst H. E. analizó el comportamiento de una larga serie de caudales del Río Nilo, en el cual se han realizado registros sistemáticos de niveles del río desde hace muchos años, en donde analizando el comportamiento de una estadística conocida como el rango la cual está asociada al almacenamiento requerido para regular los caudales de un río; encontró que el valor esperado del rango varía con el número de años para los cuales se espera regular el caudal, de tal manera que presenta un crecimiento exponencial. Dicho comportamiento se ha conocido como el la Ley de Hurst, en donde el rango es función del tiempo, en años, elevado a un potencia  $H$ , la cual lleva su nombre (mayor que 0.5 y menor que uno).

On the other side in 1968, B. B. Mandelbrot and J. R. Wallis looked further into this law, analyzing long-term geophysical occurrences linked to climate, as the thickness of tree rings, demonstrating the inability of the autoregressive model of first order (and higher orders) to play the law of Hurst. These models show a transient behavior, where the initial exponent fits the data range is greater than 0.5, but eventually becomes equal to 0.5, which involve the inability of such models to infer the behavior of systems with large capacity reservoir regulation. Later in the year of 1969 proposed a new model called fractional Gaussian noise, where the autocorrelation function decays in a slower than the exponential autoregressive models, which can represent low frequency phenomena. Based on numerous computational experiments, they determined that a moving average model with numerous setbacks, can approximate the autocorrelation function of fractional Gaussian noise model of obtaining a coefficient  $H$  greater than 0.5.

But Mejia, J. M., I. Rodriguez Iturbe, and D. R. Dawdy in 1972 proposed the model of the broken line as an alternative model, which aims to preserve the phenomena of low and high frequency [as the Hurst phenomenon] of flow series, based on the sum of a number of broken-line models. In the same way proposed a multivariate version of model year 1974.

### 2.3. Estimation of the reliability of the design

Among the types of designs of dams, engage the capacity of the reservoir variables [ $C$ ] claim [ $D$ ] and reliability of the design [ $R$ ], where reliability must be introduced into the solution, therefore, due to the randomness of runoff the mathematical formulation of each problem is:

$$\begin{aligned} C &= f_c(D, R) \\ D &= f_D(C, R) \\ R &= f_R(C, D) \end{aligned} \tag{2.8}$$

There are three ways to quantify the reliability  $R$  depending on the fault that occurs to supply the desired demand: the number of occurrences of faults, for its duration and the volume is not delivered. For the first case the reliability parameter [certainty, security or reliability] is  $R_o$  based on the occurrence is defined as:

$$R_o = \left( \frac{n - nms}{n} \right) 100 \tag{2.9}$$

Por otro lado en el año de 1968, Mandelbrot B. B. y J. R. Wallis investigaron más a fondo esta ley, analizando registros geofísicos de larga duración ligados a las ocurrencias climáticas, como el espesor de los anillos de los árboles, demostrando la incapacidad del modelo autoregresivo de primer orden (y órdenes superiores) para reproducir la ley de Hurst. Estos modelos muestran un comportamiento transitorio, inicial donde el exponente que se ajusta a los datos del rango es superior a 0.5, sin embargo eventualmente llega a ser igual a 0.5, lo que involucra la incapacidad de este tipo de modelos para inferir sobre el comportamiento de sistemas con embalses de gran capacidad de regulación. Posteriormente en el año de 1969 propusieron un nuevo modelo llamado Ruido Gaussiano Fraccional, donde la función de autocorrelación decae de un modo más lento que la función exponencial de los modelos autoregresivos, lo cual permite representar fenómenos de baja frecuencia. Con base en numerosos experimentos computacionales, se determinó que un modelo de promedio móvil con numerosos rezagos, puede aproximar la función de autocorrelación del modelo de Ruido Gaussiano Fraccional obteniendo un coeficiente  $H$  mayor a 0.5.

Sin embargo, Mejía, J. M., I. Rodríguez Iturbe, y D. R. Dawdy en el año de 1972 propusieron el modelo de la línea quebrada como modelo alternativo, el cual tiene la finalidad de preservar los fenómenos de alta y baja frecuencia [como el fenómeno de Hurst] de series de caudales, basándose en la suma de un número determinado de modelos de línea quebrada. De la misma manera propusieron una versión multivariada de modelo en el año de 1974.

### 2.3. Estimación de la confiabilidad del diseño

Dentro de los tipos de diseño de embalses, se implican las variables capacidad del embalse [ $C$ ], demanda [ $D$ ] y confiabilidad del diseño [ $R$ ], donde la confiabilidad debe ser introducida en la solución, por lo tanto, debido a la aleatoriedad de los escurrimientos la formulación matemática de cada problema es:

$$\begin{aligned} C &= f_c(D, R) \\ D &= f_D(C, R) \\ R &= f_R(C, D) \end{aligned} \tag{2.8}$$

Existen tres formas de cuantificar la confiabilidad  $R$  dependiendo de la falla que ocurra al abastecer la demanda deseada: por el número de ocurrencias de las fallas, por su duración y por el volumen no entregado. Para el primer caso el parámetro de confiabilidad [certeza, garantía o fiabilidad] es  $R_o$  basado en las ocurrencias se define como:

$$R_o = \left( \frac{n - nms}{n} \right) 100 \tag{2.9}$$

- where

- $nms$  number of time units during can't meet demand [usually in months]
- $n$  total number of units of time analyzed

The risk or probability of failure  $P$  is defined as:

$$P = 100 - R_o = 100 \left( \frac{nms}{n} \right) \quad (2.10)$$

The second case focuses on determining the total length of faults within the total time of operation  $[T]$ , is called reliability based on the length  $[Rd]$ , defined as:

$$Rd = 100 \left( 1 - \frac{\sum \Delta T}{T} \right) \quad (2.11)$$

- where

- The sum covers the start up  $T$
- $\Delta T$  individual time fault or deficit [empty reservoir]

The third case is for water resource management and economic analysis, the reliability based on volume not delivered  $[Rv]$ , defined as:

$$Rv = 100 \left( 1 - \frac{\sum \Delta V}{T Q_d} \right) \quad (2.12)$$

- where

- The amount ranges from the beginning to  $T$
- $Q_d$  average flow of demand
- $T Q_d$  total volume demanded
- $\Delta V$  volume of water supplied for each failure

Usually the following condition,  $R_o < Rd < Rv$  except when the present demand a marked seasonal fluctuation, in which case the relationship is like  $Rd > Rv$ .

- donde
  - $nms$  número de unidades de tiempo durante los cuales no se puede abastecer la demanda, [generalmente en meses]
  - $n$  número total de unidades de tiempo analizadas

El riesgo o probabilidad de falla  $P$ , se define como:

$$P = 100 - R_o = 100 \left( \frac{nms}{n} \right) \quad (2.10)$$

El segundo caso se enfoca a determinar la duración total de las fallas dentro el tiempo total de operación  $[T]$ , se denomina confiabilidad basada en la duración  $[Rd]$ , definida como:

$$Rd = 100 \left( 1 - \frac{\sum \Delta T}{T} \right) \quad (2.11)$$

- donde
  - La suma abarca del inicio hasta  $T$ .
  - $\Delta T$  tiempo individual de falla o déficit [embalse vacío].

El tercer caso es para el manejo de recursos hidráulicos y análisis económicos; la confiabilidad basada en el volumen no entregado  $[Rv]$ , definida como:

$$Rv = 100 \left( 1 - \frac{\sum \Delta V}{T Q_d} \right) \quad (2.12)$$

- donde
  - La suma abarca desde el inicio hasta  $T$
  - $Q_d$  gasto medio de demanda
  - $T Q_d$  volumen total demandado
  - $\Delta V$  volumen de agua no abastecido durante cada falla

Por lo general se cumple la siguiente condición,  $R_o < Rd < Rv$ , excepto cuando la demanda presente una marcada fluctuación estacional, en cuyo caso la relación queda como  $Rd > Rv$ .

There is a correspondence between reliability  $[Ro]$  and optimal economic solutions, therefore we recommend the following values<sup>2.4</sup> for that parameter according to the type of supply that has as its objective:

- Municipal drinking water supply  $Ro = 99\%$
- Industrial water supply  $Ro = 95 \text{ a } 98\%$
- Supply for irrigation in arid climate  $Ro = 80 \text{ a } 95\%$
- Supply for irrigation in wet weather  $Ro = 70 \text{ a } 85\%$

## 2.4. Methods for estimating the capacity hiperannual

### 2.4.1. G. N. Alexander Method

Semigraphics method is proposed in 1962, which stipulates that annual runoff can be represented in a Pearson type III distribution or Gamma. Using the Gamma distribution with shape parameter  $[\gamma]$  unitary dimensionless generalized curves were generated [Figure 2.5] that relate the storage capacity, expressed as a percentage of mean annual runoff volume  $[VEMA]$  with the demand  $[D]$  also expressed as a percentage of Middle Runoff Volume Annual, and the return period in years. The return period  $[Tr]$  is linked to the probability of failure or risk  $[P]$ , as shown in Table 2.3<sup>2.5 2.6</sup>:

P(%)	Tr (Years)	P(%)	Tr (Years)
0.5	200	5	20
1	100	10	10
2	50	20	5

Table 2.3

Failure probabilities for different return periods – G. N. Alexander Method

Proposing the probability of failure  $[P]$  (represented in Figure 2.6) and the claim  $[D]$  as a percentage of mean annual runoff volume  $[VEMA]$ , you get the ability hiperannual dimensionless  $[\Phi]$  using Figure 2.5. The value obtained corresponds to a unit  $[\gamma]$  shape parameter Gamma distribution, so the required volume  $Ch$  is calculated by dividing the value of shape parameter for the particular case under study and multiplying by the mean annual runoff volume, scilicet:

<sup>2.4</sup> V. Klemes. *Applications of Hydrology to Water Resources Management (Planning and Design Level)*. Chapter 3: Hydrological Problems Arising from Water Deficiency, pp. 43 – 70. Operational Hydrology Report No. 4, UVMO – No. 356. World Meteorological Organization. Geneva Switzerland. 1973. 104 p.

<sup>2.5</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. *Reservoir Capacity and Yield*. Chapter 3: Critical Period Techniques, pp. 19 - 70. Developments in Water Science No. 9, Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands. 1978. 213 p.

<sup>2.6</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. *River and Reservoir Yield*. Chapter 4: Single Reservoirs (Capacity – Yield Analyses), pp. 96 – 192. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, USA. 1986. 368 p.

Existe una correspondencia entre la confiabilidad [ $R_o$ ] y la solución económica óptima; por consiguiente se recomiendan los siguientes valores<sup>2.4</sup> para dicho parámetro según el tipo de abastecimiento que se tenga como objetivo:

- Abastecimiento de agua potable municipal  $R_o = 99\%$
- Abastecimiento de agua potable industrial  $R_o = 95$  a  $98\%$
- Abastecimiento para riego en clima árido  $R_o = 80$  a  $95\%$
- Abastecimiento para riego en clima húmedo  $R_o = 70$  a  $85\%$

**2.4. Métodos para estimar la capacidad hiperanual**

*2.4.1. Método de G. N. Alexander*

Es un método semigráfico propuesto en 1962, el cual considera que los escurrimientos anuales pueden ser representados bajo una distribución Pearson tipo III o Gamma. Usando la distribución Gamma con un parámetro de forma [ $\gamma$ ] unitario, se generaron curvas generalizadas adimensionales [Figura 2.5] que relacionan la capacidad de almacenamiento, expresada como porcentaje del Volumen del Escurrimiento Medio Anual [ $VEMA$ ] con la Demanda [ $D$ ] expresada también como porcentaje del Volumen del Escurrimiento Medio Anual, y con el periodo de retorno en años. El periodo de retorno [ $Tr$ ] se encuentra ligado a la probabilidad de falla o riesgo [ $P$ ], como se muestra en la tabla 2.3<sup>2.5 2.6</sup>:

P(%)	Tr (Años)	P(%)	Tr (Años)
0.5	200	5	20
1	100	10	10
2	50	20	5

Tabla 2.3

Probabilidades de falla para distintos periodos de retorno – Método de G. N. Alexander

Se propone la probabilidad de falla [ $P$ ] (representada en la Figura 2.6) y la demanda [ $D$ ] expresada como porcentaje del Volumen del Escurrimiento Medio Anual [ $VEMA$ ]; se obtiene la capacidad hiperanual adimensional [ $\Phi$ ] utilizando la figura 2.5. El valor que se obtiene corresponde a un parámetro de forma unitario [ $\gamma$ ] de la distribución Gamma, por lo que el volumen necesario  $Ch$  se calcula dividiendo entre el valor del parámetro de forma correspondiente al caso particular que se estudia y multiplicando por el Volumen de Escurrimiento Medio Anual, es decir:

<sup>2.4</sup> V. Klemes. *Applications of Hydrology to Water Resources Management (Planning and Design Level)*. Chapter 3: Hydrological Problems Arising from Water Deficiency, pp. 43 – 70. Operational Hydrology Report No. 4, UVMO – No. 356. World Meteorological Organization. Geneva Switzerland. 1973. 104 p.

<sup>2.5</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. *Reservoir Capacity and Yield*. Chapter 3: Critical Period Techniques, pp. 19 - 70. Developments in Water Science No. 9, Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands. 1978. 213 p.

<sup>2.6</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. *River and Reservoir Yield*. Chapter 4: Single Reservoirs (Capacity – Yield Analyses), pp. 96 – 192. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, USA. 1986. 368 p.



$$Ch = \frac{\Phi}{\gamma} VEMA \quad (2.13)$$

- where

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (2.14)$$

- featuring

$$A = \ln VEMA - \overline{\ln x_i} \quad (2.15)$$

- where

- $x_i$  annual runoff volume in in  $Mm^3$
- $\Phi$  the capacity of reservoirs, dimensionless
- $\overline{\ln x_i}$  average of natural logarithms, in in  $Mm^3$

$$Ch = \frac{\Phi}{\gamma} VEMA \quad (2.13)$$

- donde

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (2.14)$$

- con

$$A = \ln VEMA - \overline{\ln x_i} \quad (2.15)$$

- siendo

- $x_i$  volúmenes escurridos anuales en  $Mm^3$
- $\Phi$  capacidad de los embalses, adimensional.
- $\overline{\ln x_i}$  promedio de los logaritmos naturales, en  $Mm^3$

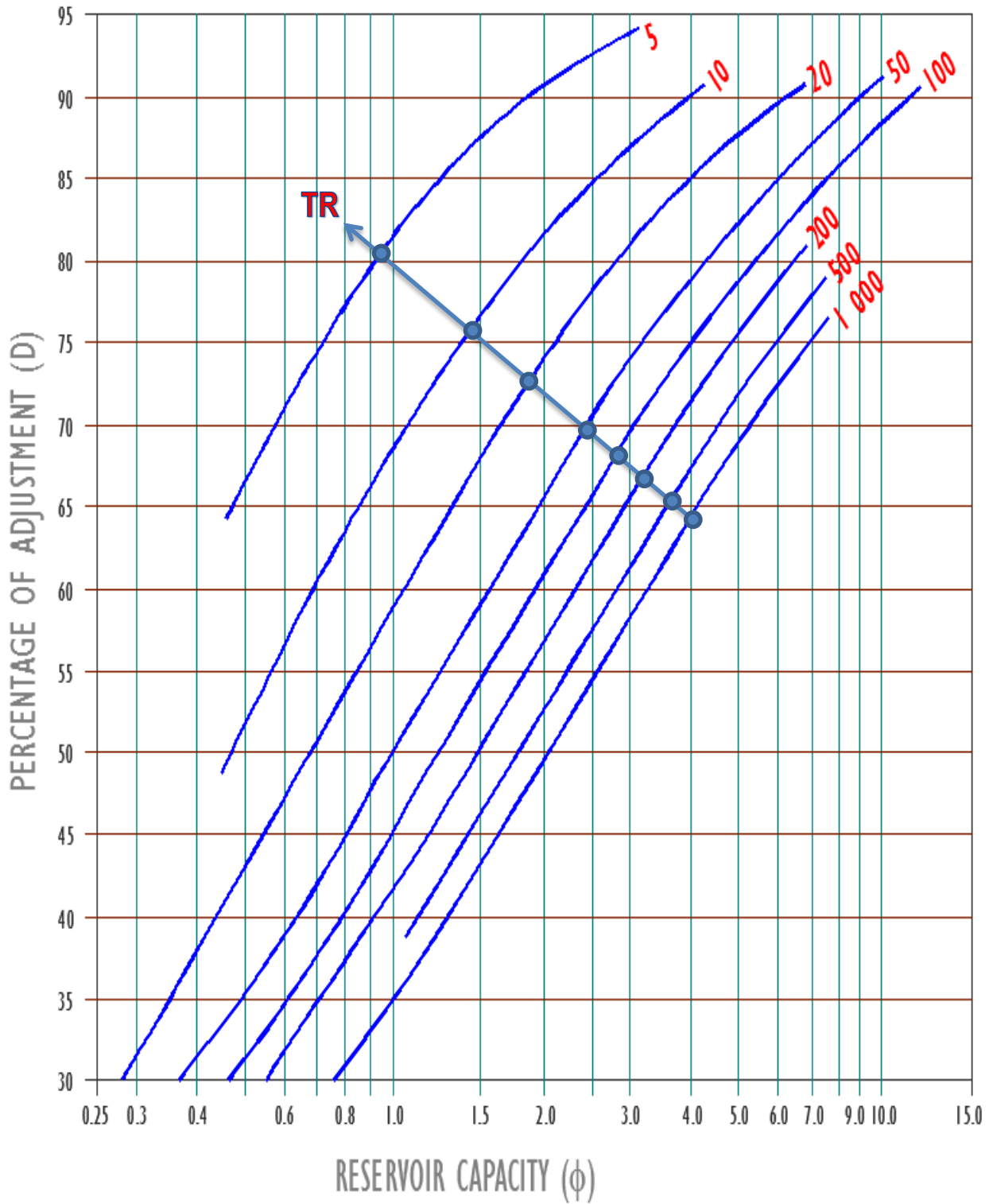


Figure 2.5  
Probability curves of the relationship building - regulating the method of Alexander

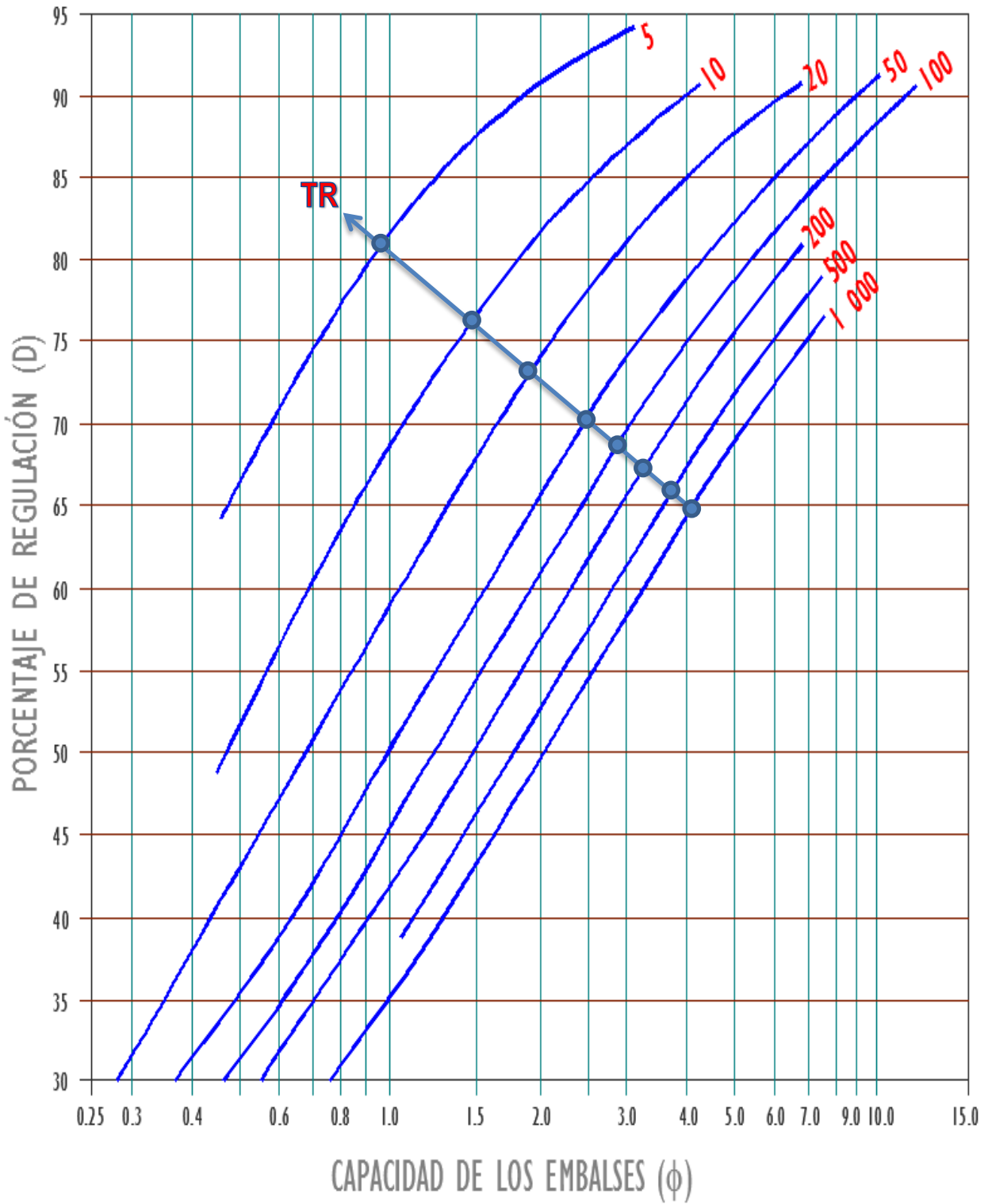


Figura 2.5  
Curvas probabilísticas de la relación capacidad – regulación del método de Alexander

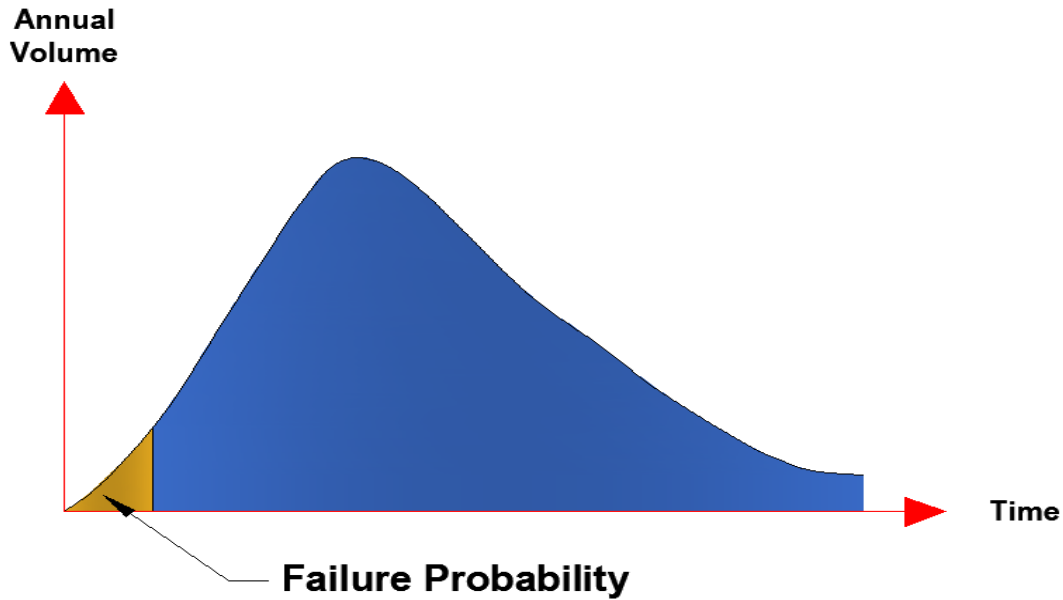


Figure 2.6  
Outlining the probability of failure

Example 2.1. To estimate the method of Alexander hiperannuals capabilities necessary for claims 90, 75, 50 and 30% *VEMA* (which has a volume of 18,513 m<sup>3</sup> per year). Analyze failure probabilities for 1 and 5%.

For the annual values of runoff are obtained that the sum of natural logarithms is 90.14 (for 35 years), thus:

- Using Table 2.3, is seeking the return periods corresponding to the requested probability of failure (1% and 5% for this example).

P(%)	Tr (Years)	P(%)	Tr (Years)
0.5	200	5	20
1	100	10	10
2	50	20	5

Table 2.3  
Failure probabilities for different return periods – G. N. Alexander Method

- With the above must be for a failure probability of 1% corresponds to a return period of 100 years, second in the event of a failure probability of 5% is a return period of 20 years.

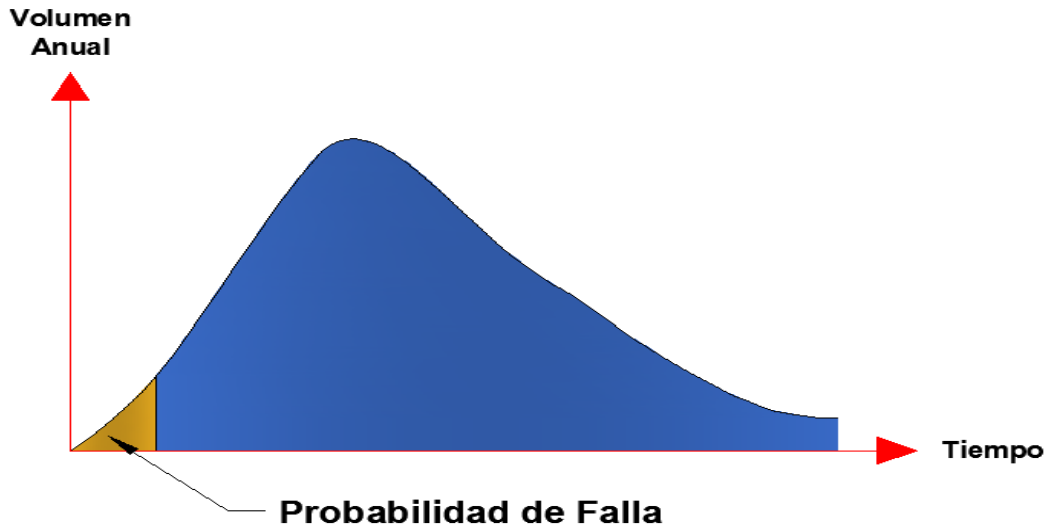


Figura 2.6

Esquematación de la probabilidad de falla

Ejemplo 2.1. Estimar con el método de Alexander las capacidades hiperanuales necesarias para las demandas del 90, 75, 50 y 30 % del *VEMA* (el cual tiene un volumen de 18.513 Mm<sup>3</sup> por año). Analizar para las probabilidades de falla del 1 y 5%.

Para los valores anuales de escurrimiento se obtiene que la suma de sus logaritmos naturales es de 90.14 (para 35 años), por lo cual:

- Haciendo uso de la tabla 2.3, se buscan los periodos de retorno correspondientes para las probabilidades de falla solicitadas (1% y 5%, para este ejemplo).

P(%)	Tr (Años)	P(%)	Tr (Años)
0.5	200	5	20
1	100	10	10
2	50	20	5

Tabla 2.3

Probabilidades de falla para distintos periodos de retorno – Método de G. N. Alexander

- Con lo anterior se tiene que para una probabilidad de falla de 1% corresponde un periodo de retorno de 100 años, por otro lado para el caso de una probabilidad de falla de 5% corresponde un periodo de retorno de 20 años.

- Entrance to the figure 2.5. using the return periods obtained, and the demands requested (90, 75, 50 and 30% *VEMA* for this case), where they intersect to obtain the dimensionless capacity of the reservoir( $\Phi$ ). For example in the case of a return period of 100 years and 90% *VEMA* of demand is for a capacity of 11.5.
- Using formulas 2.13, 2.14 and 2.15, replacing the values obtained for each of the claims and obtain the skills necessary hiperannuals (*Ch*), following the example shows the calculation for the case of the failure probability of 1% and a demand 90% *VEMA*:

$$A = \ln(18.513) - 90.14/35 = 0.3430$$

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4(0.3430)}{3}}}{4(0.3430)} = \frac{2.2072}{1.3720} = 1.6087$$

$$Ch = \frac{11.5}{1.6087} 18.513 = 132.3426$$

- The following table shows the results for other combinations of probability of failure and demand:

P	Capability	Demand (D)			
		90%	75%	50%	30%
1%	$\Phi$	11.5	4	1.25	0.46
	Ch (Mm <sup>3</sup> )	132.3426	46.0322	14.3851	3.0061
5%	$\Phi$	6.2	2.1	0.68	0.28
	Ch (Mm <sup>3</sup> )	40.5176	13.7237	4.4439	1.8298

Table 2.4  
Complete Solution to Example 2.1 - Method of G. N. Alexander

- Se ingresa a la figura 2.5. empleando los periodos de retorno obtenidos, así como las demandas solicitadas (90, 75, 50 y 30 % del *VEMA* para este caso), donde estos se intersectan para obtener la capacidad adimensional del embalse ( $\Phi$ ). Por ejemplo para el caso de un periodo de retorno de 100 años y una demanda de 90% del *VEMA*, le corresponde una capacidad del embalse de 11.5.
- Utilizando las fórmulas 2.13, 2.14 y 2.15, se sustituyen los valores obtenidos para cada una de las demandas y así obtener las capacidades hiperanuales (*Ch*) necesarias, siguiendo el ejemplo se muestra el cálculo para el caso de la probabilidad de falla de 1% y una demanda del 90% de *VEMA*:

$$A = \ln(18.513) - 90.14/35 = 0.3430$$

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4(0.3430)}{3}}}{4(0.3430)} = \frac{2.2072}{1.3720} = 1.6087$$

$$Ch = \frac{11.5}{1.6087} 18.513 = 132.3426$$

- En la tabla siguiente se muestran los resultados para otras combinaciones de probabilidad de falla y demanda:

P	Capacidad	Demanda (D)			
		90%	75%	50%	30%
1%	$\Phi$	11.5	4	1.25	0.46
	Ch (Mm <sup>3</sup> )	132.3426	46.0322	14.3851	3.0061
5%	$\Phi$	6.2	2.1	0.68	0.28
	Ch (Mm <sup>3</sup> )	40.5176	13.7237	4.4439	1.8298

Tabla 2.4

Solución completa al ejemplo 2.1 – Método de G. N. Alexander



### 2.4.2. Method B. W. Gould

Method proposed in 1964<sup>2.5 2.6</sup>, which accepts the Gamma distribution to represent the annual runoff volumes, however the calculation of parameters and exceedance probability  $[P]$  is simplified under the use of normal distribution, so the method is based on the use of a normal distribution and a correction  $[\delta]$  is applied to approximate the Gamma distribution. For this reason it is considered that the method is a modification of that of T. Dincer, which represents the runoff as normal, although the methods are derived independently. The ability hiperannual  $[Ch]$  is calculated as follows:

$$Ch = \left[ \frac{Z_p^2}{4(1-D)} - \delta \right] C_v^2 VEMA \quad (2.16)$$

- where

- $Z_p$  standardized normal variable, defined for the probability of failure  $[P]$
- $D$  annual demand in relation to, dimensionless
- $C_v$  coefficient of variation of annual runoff volumes, dimensionless
- $\delta$  correction factor for the Gamma distribution

P(%)	$Z_p$	$\delta$	P(%)	$Z_p$	$\delta$
1	2.326	1.5	5	1.645	0.6
2	2.053	1.1	10	1.281	0.3

Table 2.5

Variables for different probabilities of failure - Gould Method

- Not recommended for application of the method failure probability mayor to 10%<sup>34</sup>.

Example 2.2. Hiperannuals capacity estimate in the previous example using the method of Gould. Consider  $VEMA = 18.513 \text{ Mm}^3$  and  $C_v = 0.582$ . Analyze for the demands of 90, 75, 50 and 30%  $VEMA$ , assuming a failure probability of 1 and 5%.

- $P = 1\%$  and  $D = 90\%$ , we have:

$$Ch = \left[ \frac{2.326^2}{4(1-0.90)} - 1.50 \right] (0.582)^2 * (18.513) = 75.41 \text{ Mm}^3 \quad (2.16)$$

2.4.2. Método de B. W. Gould

Método propuesto en 1964 <sup>2.5 2.6</sup>, el cual acepta la distribución Gamma para representar los volúmenes escurridos anuales, sin embargo el cálculo de parámetros y probabilidades de excedencia [P] se simplifica bajo el uso de la distribución normal, por lo cual el método se basa en el uso de una distribución normal y se le aplica una corrección [δ] para aproximar la distribución Gamma. Por tal motivo se considera que el método es una modificación del de T. Dincer, el cual supone los escurrimientos como normales, aunque los métodos se derivan de manera independiente. La capacidad hiperanual [Ch] se calcula de la manera siguiente:

$$Ch = \left[ \frac{Z_p^2}{4(1 - D)} - \delta \right] C_v^2 VEMA \tag{2.16}$$

- siendo:
  - o  $Z_p$  variable normal estandarizada, definida para la probabilidad de falla [P]
  - o  $D$  demanda anual en relación con el *VEMA*, adimensional
  - o  $C_v$  coeficiente de variación de los volúmenes escurridos anuales, adimensional
  - o  $\delta$  factor de corrección para la distribución Gamma

P(%)	Z <sub>P</sub>	δ	P(%)	Z <sub>P</sub>	δ
1	2.326	1.5	5	1.645	0.6
2	2.053	1.1	10	1.281	0.3

Tabla 2.5  
Variables para diferentes probabilidades de falla – Método de Gould

- No se recomienda la aplicación del método con probabilidad de falla mayor al del 10%<sup>3 4</sup>

Ejemplo 2.2. Estimar las capacidades hiperanuales del ejemplo anterior empleando el método de Gould. Considerar un *VEMA* = 18.513 *Mm*<sup>3</sup> y  $C_v = 0.582$ . Analizar para las demandas del 90, 75, 50 y 30 % del *VEMA*, considerando una probabilidad de falla del 1 y 5 %.

- o  $P = 1\%$  y  $D = 90\%$ , se tiene que:

$$Ch = \left[ \frac{2.326^2}{4(1 - 0.90)} - 1.50 \right] (0.582)^2 * (18.513) = 75.41 \text{ Mm}^3 \tag{2.16}$$

- o  $P = 5\%$  and  $D = 30\%$ , requires:

$$Ch = \left[ \frac{1.645^2}{4(1 - 0.30)} - 0.60 \right] (0.582)^2 * (18.513) = 2.30 \text{ Mm}^3 \tag{2.16}$$

The rest are required in Table 2.6:

P	Demands (D)			
	90%	75%	50%	30%
1%	75.41	24.52	7.56	2.71
5%	38.66	13.21	4.72	2.30

Table 2.6  
Complete Solution to Example 2.2 - Method of Gould

2.4.3. Method of H. C. Riggs and C. H. Hardison

Method proposed in 1973, which presents in a tabular hiperannual capacity  $[Ch]$  to the Normal distribution, Log - Normal and Weibull <sup>2.7</sup>, with probabilities of failure of 1, 2, 5 and 10% and ten percent of demand. Hiperannual capacity is expressed in dimensionless form in relation to the average annual runoff volume  $[VEMA]$ , as capacities hiperannuals on  $[Cr]$  which are presented in the following tables:

<sup>2.7</sup> H. C. Riggs C. H. Hardison. Storage Analysis for Water Supply. Chapter B2, Techniques of Water Resources Investigations of the US. Geological Survey. Washington, DC., USA. 1973. 20 p.

- $P = 5\%$  y  $D = 30\%$ , se requiere:

$$Ch = \left[ \frac{1.645^2}{4(1 - 0.30)} - 0.60 \right] (0.582)^2 * (18.513) = 2.30 \text{ Mm}^3 \tag{2.16}$$

El resto de  $Ch$  necesarias se tienen en la tabla 2.6:

P	Demandas (D)			
	90%	75%	50%	30%
1%	75.41	24.52	7.56	2.71
5%	38.66	13.21	4.72	2.30

Tabla 2.6  
Solución completa al ejemplo 2.2 – Método de Gould

### 2.4.3. Método de H.C. Riggs y C.H. Hardison

Método propuesto en 1973, el cual presenta de manera tabular la capacidad hiperanual [ $Ch$ ] para las distribuciones Normal, Log – Normal y Weibull <sup>2.7</sup>, con probabilidades de falla de 1, 2, 5 y 10 % y diez porcentajes de demanda. La capacidad hiperanual esta expresada en forma adimensional en relación con el volumen escurrido medio anual [ $VEMA$ ], como capacidades hiperanuales relativas [ $Cr$ ], las cuales se presentan en las siguientes tablas:

<sup>2.7</sup> H. C. Riggs C. H. Hardison. Storage Analysis for Water Supply. Chapter B2, Techniques of Water Resources Investigations of the US. Geological Survey. Washington, DC., USA. 1973. 20 p.

Demand (D) in percentage of VEMA*										
Cv	98	95	90	80	70	60	50	40	30	20
<b>1% failure probability</b>										
0.08	2.25	1.13	0.58	0.18	0.06					
0.1	3.18	1.68	0.81	0.3	0.13	0.01				
0.12		2.25	1.18	0.47	0.23	0.07				
0.14		3.02	1.59	0.67	0.34	0.14	0.02			
0.16		3.8	2.15	0.9	0.46	0.22	0.07			
0.18			2.91	1.17	0.6	0.3	0.12	0.03		
0.2			3.69	1.47	0.74	0.38	0.18	0.06	0	
0.22				1.8	0.94	0.5	0.25	0.1	0.02	
0.24				2.18	1.15	0.62	0.33	0.15	0.05	
0.26				2.6	1.37	0.75	0.41	0.2	0.08	0
0.28				3.08	1.62	0.9	0.5	0.24	0.11	0.02
0.3				3.6	1.9	1.06	0.57	0.29	0.15	0.05
0.4					3.67	2.12	1.17	0.65	0.35	0.17
0.5						3.75	2.15	1.18	0.62	0.27
<b>5% failure probability</b>										
0.08	1.02	0.63	0.3	0.08						
0.1	1.44	0.88	0.43	0.16	0.02					
0.12	1.96	1.2	0.61	0.27	0.09	0				
0.14	2.52	1.59	0.83	0.4	0.18	0.05				
0.16	3.2	2.1	1.11	0.52	0.25	0.1	0			
0.18		2.73	1.45	0.67	0.33	0.15	0.03			
0.2		3.48	1.85	0.83	0.42	0.21	0.07			
0.22			2.28	1.02	0.53	0.28	0.11	0.01		
0.24			2.75	1.22	0.65	0.35	0.15	0.04		
0.26			3.28	1.45	0.77	0.42	0.19	0.07	0	
0.28			3.84	1.7	0.91	0.5	0.24	0.1	0.02	
0.3			4.4	1.97	1.06	0.6	0.3	0.13	0.04	
0.4				3.86	2.11	1.22	0.67	0.38	0.2	0.05
0.5					3.7	2.2	1.27	0.75	0.41	0.17
<b>10% failure probability</b>										
0.08	0.65	0.4	0.21	0.05						
0.1	0.91	0.55	0.29	0.1	0					
0.12	1.21	0.75	0.42	0.17	0.04					
0.14	1.57	1	0.6	0.25	0.09	0				
0.16	2	1.37	0.8	0.33	0.15	0.03				
0.18	2.47	1.76	1.01	0.44	0.21	0.07				
0.2	3	2.15	1.23	0.56	0.28	0.11	0.01			
0.22		2.55	1.48	0.69	0.36	0.16	0.04			
0.24		2.94	1.76	0.84	0.45	0.21	0.07			
0.26		3.32	2.1	1	0.54	0.27	0.1	0.01		
0.28		3.71	2.48	1.18	0.64	0.33	0.14	0.03		
0.3		4.09	2.87	1.37	0.74	0.4	0.18	0.06	0	
0.4			4.7	2.55	1.47	0.85	0.45	0.24	0.1	
0.5				4.34	2.59	1.55	0.9	0.5	0.25	

\* Average annual runoff volume

Table 2.7  
Annual capacity on [Cr] for normal distribution of annual runoff

Demanda (D) en porcentaje del VEMA*										
Cv	98	95	90	80	70	60	50	40	30	20
<b>1% de probabilidad de falla</b>										
0.08	2.25	1.13	0.58	0.18	0.06					
0.1	3.18	1.68	0.81	0.3	0.13	0.01				
0.12		2.25	1.18	0.47	0.23	0.07				
0.14		3.02	1.59	0.67	0.34	0.14	0.02			
0.16		3.8	2.15	0.9	0.46	0.22	0.07			
0.18			2.91	1.17	0.6	0.3	0.12	0.03		
0.2			3.69	1.47	0.74	0.38	0.18	0.06	0	
0.22				1.8	0.94	0.5	0.25	0.1	0.02	
0.24				2.18	1.15	0.62	0.33	0.15	0.05	
0.26				2.6	1.37	0.75	0.41	0.2	0.08	0
0.28				3.08	1.62	0.9	0.5	0.24	0.11	0.02
0.3				3.6	1.9	1.06	0.57	0.29	0.15	0.05
0.4					3.67	2.12	1.17	0.65	0.35	0.17
0.5						3.75	2.15	1.18	0.62	0.27
<b>5% de probabilidad de falla</b>										
0.08	1.02	0.63	0.3	0.08						
0.1	1.44	0.88	0.43	0.16	0.02					
0.12	1.96	1.2	0.61	0.27	0.09	0				
0.14	2.52	1.59	0.83	0.4	0.18	0.05				
0.16	3.2	2.1	1.11	0.52	0.25	0.1	0			
0.18		2.73	1.45	0.67	0.33	0.15	0.03			
0.2		3.48	1.85	0.83	0.42	0.21	0.07			
0.22			2.28	1.02	0.53	0.28	0.11	0.01		
0.24			2.75	1.22	0.65	0.35	0.15	0.04		
0.26			3.28	1.45	0.77	0.42	0.19	0.07	0	
0.28			3.84	1.7	0.91	0.5	0.24	0.1	0.02	
0.3			4.4	1.97	1.06	0.6	0.3	0.13	0.04	
0.4				3.86	2.11	1.22	0.67	0.38	0.2	0.05
0.5					3.7	2.2	1.27	0.75	0.41	0.17
<b>10% de probabilidad de falla</b>										
0.08	0.65	0.4	0.21	0.05						
0.1	0.91	0.55	0.29	0.1	0					
0.12	1.21	0.75	0.42	0.17	0.04					
0.14	1.57	1	0.6	0.25	0.09	0				
0.16	2	1.37	0.8	0.33	0.15	0.03				
0.18	2.47	1.76	1.01	0.44	0.21	0.07				
0.2	3	2.15	1.23	0.56	0.28	0.11	0.01			
0.22		2.55	1.48	0.69	0.36	0.16	0.04			
0.24		2.94	1.76	0.84	0.45	0.21	0.07			
0.26		3.32	2.1	1	0.54	0.27	0.1	0.01		
0.28		3.71	2.48	1.18	0.64	0.33	0.14	0.03		
0.3		4.09	2.87	1.37	0.74	0.4	0.18	0.06	0	
0.4			4.7	2.55	1.47	0.85	0.45	0.24	0.1	
0.5				4.34	2.59	1.55	0.9	0.5	0.25	

\* Volumen escurrido medio anual

Tabla 2.7  
 Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Normal de los escurrimientos anuales

Cv	Demand (D) in percentage of VEMA*										
	100	98	95	90	80	70	60	50	40	30	20
<b>1% failure probability</b>											
0.08		0.48	0.21	0.1							
0.1		0.73	0.3	0.16	0.03						
0.12		1.02	0.43	0.24	0.08						
0.14		1.33	0.6	0.32	0.14	0.03					
0.16		1.69	0.8	0.41	0.19	0.08					
0.18		2.09	1.02	0.51	0.25	0.13	0.01				
0.2		2.52	1.24	0.62	0.32	0.19	0.06				
0.22		2.97	1.47	0.76	0.39	0.24	0.12	0.01			
0.24		3.45	1.71	0.91	0.46	0.3	0.17	0.06			
0.26			1.96	1.08	0.54	0.36	0.23	0.11	0		
0.28			2.23	1.26	0.62	0.42	0.28	0.16	0.05		
0.3			2.5	1.45	0.71	0.48	0.33	0.21	0.1	0	
0.4			3.96	2.48	1.28	0.87	0.64	0.48	0.36	0.25	0.11
0.5				3.65	2.04	1.32	1.01	0.78	0.65	0.52	0.32
<b>5% failure probability</b>											
0.08	1	0.25	0.11	0.04							
0.1	1.25	0.36	0.18	0.08							
0.12	1.5	0.5	0.26	0.12	0						
0.14	1.75	0.65	0.34	0.17	0.03						
0.16	2.01	0.81	0.43	0.23	0.06						
0.18	2.26	0.97	0.53	0.29	0.1						
0.2	2.52	1.14	0.64	0.35	0.14	0.02					
0.22	2.77	1.32	0.76	0.42	0.18	0.06					
0.24	3.03	1.51	0.88	0.49	0.23	0.1	0				
0.26	3.28	1.7	1.01	0.57	0.28	0.14	0.03				
0.28	3.53	1.9	1.14	0.65	0.34	0.18	0.06				
0.3	3.79	2.1	1.28	0.74	0.4	0.22	0.09	0			
0.4		3.17	2.02	1.27	0.71	0.47	0.3	0.16	0.06		
0.5		4.3	2.83	1.89	1.07	0.75	0.53	0.37	0.24	0.13	0.03
<b>10% failure probability</b>											
0.08	0.46	0.16	0.08	0							
0.1	0.57	0.22	0.12	0.03							
0.12	0.68	0.3	0.17	0.06							
0.14	0.8	0.39	0.23	0.1							
0.16	0.91	0.49	0.29	0.14	0.01						
0.18	1.02	0.58	0.35	0.18	0.04						
0.2	1.14	0.68	0.42	0.23	0.07						
0.22	1.25	0.77	0.5	0.28	0.1						
0.24	1.36	0.87	0.58	0.33	0.13	0.01					
0.26	1.48	0.97	0.66	0.38	0.17	0.03					
0.28	1.59	1.07	0.74	0.44	0.21	0.06					
0.3	1.71	1.17	0.83	0.5	0.25	0.1	0				
0.4	2.28	1.56	1.24	0.82	0.43	0.28	0.13	0.01			
0.5	2.85	2.15	1.65	1.2	0.73	0.49	0.3	0.17			

\* Average annual runoff volume

Table 2.8  
Annual capacity for [Cr] to distribution Log - Normal annual runoff

Cv	Demanda (D) en porcentaje del VEMA*											
	100	98	95	90	80	70	60	50	40	30	20	
<b>1% de probabilidad de falla</b>												
0.08		0.48	0.21	0.1								
0.1		0.73	0.3	0.16	0.03							
0.12		1.02	0.43	0.24	0.08							
0.14		1.33	0.6	0.32	0.14	0.03						
0.16		1.69	0.8	0.41	0.19	0.08						
0.18		2.09	1.02	0.51	0.25	0.13	0.01					
0.2		2.52	1.24	0.62	0.32	0.19	0.06					
0.22		2.97	1.47	0.76	0.39	0.24	0.12	0.01				
0.24		3.45	1.71	0.91	0.46	0.3	0.17	0.06				
0.26			1.96	1.08	0.54	0.36	0.23	0.11	0			
0.28			2.23	1.26	0.62	0.42	0.28	0.16	0.05			
0.3			2.5	1.45	0.71	0.48	0.33	0.21	0.1	0		
0.4			3.96	2.48	1.28	0.87	0.64	0.48	0.36	0.25	0.11	
0.5				3.65	2.04	1.32	1.01	0.78	0.65	0.52	0.32	
<b>5% de probabilidad de falla</b>												
0.08	1	0.25	0.11	0.04								
0.1	1.25	0.36	0.18	0.08								
0.12	1.5	0.5	0.26	0.12	0							
0.14	1.75	0.65	0.34	0.17	0.03							
0.16	2.01	0.81	0.43	0.23	0.06							
0.18	2.26	0.97	0.53	0.29	0.1							
0.2	2.52	1.14	0.64	0.35	0.14	0.02						
0.22	2.77	1.32	0.76	0.42	0.18	0.06						
0.24	3.03	1.51	0.88	0.49	0.23	0.1	0					
0.26	3.28	1.7	1.01	0.57	0.28	0.14	0.03					
0.28	3.53	1.9	1.14	0.65	0.34	0.18	0.06					
0.3	3.79	2.1	1.28	0.74	0.4	0.22	0.09	0				
0.4		3.17	2.02	1.27	0.71	0.47	0.3	0.16	0.06			
0.5		4.3	2.83	1.89	1.07	0.75	0.53	0.37	0.24	0.13	0.03	
<b>10% de probabilidad de falla</b>												
0.08	0.46	0.16	0.08	0								
0.1	0.57	0.22	0.12	0.03								
0.12	0.68	0.3	0.17	0.06								
0.14	0.8	0.39	0.23	0.1								
0.16	0.91	0.49	0.29	0.14	0.01							
0.18	1.02	0.58	0.35	0.18	0.04							
0.2	1.14	0.68	0.42	0.23	0.07							
0.22	1.25	0.77	0.5	0.28	0.1							
0.24	1.36	0.87	0.58	0.33	0.13	0.01						
0.26	1.48	0.97	0.66	0.38	0.17	0.03						
0.28	1.59	1.07	0.74	0.44	0.21	0.06						
0.3	1.71	1.17	0.83	0.5	0.25	0.1	0					
0.4	2.28	1.56	1.24	0.82	0.43	0.28	0.13	0.01				
0.5	2.85	2.15	1.65	1.2	0.73	0.49	0.3	0.17				
<b>* Volumen escurrido medio anual</b>												

Tabla 2.8  
 Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Log - Normal de los escurrimientos anuales



Cv	Demand (D) in percentage of VEMA*										
	100	95	90	80	70	60	50	40	30	20	10
<b>1% failure probability</b>											
0.25		1.7	0.98	0.5	0.33	0.2	0.08	0.01			
0.3		2.5	1.45	0.73	0.47	0.3	0.15	0.05			
0.35		3.35	2	0.97	0.6	0.38	0.21	0.1	0.02		
0.4			2.5	1.23	0.75	0.49	0.28	0.15	0.05		
0.45			3	1.5	0.92	0.59	0.35	0.2	0.08	0.02	
0.5			3.55	1.83	1.1	0.72	0.43	0.25	0.11	0.04	
0.55				2.18	1.3	0.85	0.52	0.3	0.15	0.06	
0.6				2.55	1.5	0.99	0.61	0.35	0.19	0.08	
0.7				3.3	1.98	1.31	0.81	0.5	0.26	0.12	0.01
0.8					2.5	1.65	1.06	0.63	0.35	0.16	0.02
0.9					3.13	2.02	1.31	0.78	0.44	0.2	0.03
1					3.8	2.42	1.57	0.94	0.54	0.24	0.05
1.1						2.83	1.84	1.1	0.64	0.29	0.06
1.2						3.26	2.15	1.27	0.74	0.33	0.08
1.3						3.7	2.46	1.46	0.84	0.38	0.1
1.4							2.8	1.65	0.95	0.44	0.12
1.5							3.15	1.85	1.07	0.48	0.14
<b>5% failure probability</b>											
0.25	2.4	0.96	0.59	0.3	0.15	0.04					
0.3	3.05	1.25	0.8	0.41	0.23	0.11	0.01				
0.35		1.6	1.03	0.54	0.32	0.17	0.05				
0.4		2	1.29	0.68	0.42	0.24	0.1	0.03			
0.45		2.45	1.55	0.83	0.53	0.31	0.15	0.07	0		
0.5		2.92	1.83	1	0.64	0.39	0.2	0.11	0.02		
0.55		3.47	2.15	1.19	0.75	0.47	0.26	0.15	0.05		
0.6		4.02	2.5	1.4	0.87	0.55	0.32	0.19	0.08	0	
0.7			3.24	1.88	1.15	0.73	0.44	0.27	0.14	0.02	
0.8			4	2.47	1.44	0.95	0.59	0.36	0.19	0.05	
0.9				3.18	1.77	1.16	0.75	0.46	0.25	0.08	0
1					2.13	1.38	0.91	0.56	0.31	0.11	0.01
1.1					2.52	1.62	1.09	0.66	0.37	0.14	0.02
1.2					2.95	1.87	1.27	0.77	0.43	0.17	0.03
1.3					3.39	2.13	1.45	0.88	0.5	0.21	0.04
1.4					3.84	2.4	1.64	0.99	0.57	0.25	0.05
1.5						2.66	1.84	1.1	0.65	0.29	0.06
<b>10% failure probability</b>											
0.25	1.2	0.59	0.37	0.17	0.04						
0.3	1.5	0.79	0.52	0.27	0.11	0					
0.35	1.85	1	0.68	0.38	0.18	0.05					
0.4	2.25	1.23	0.85	0.48	0.25	0.11	0.02				
0.45	2.7	1.48	1.04	0.59	0.34	0.17	0.06				
0.5	3.15	1.75	1.22	0.71	0.42	0.24	0.1	0.02			
0.55	3.6	2.05	1.44	0.84	0.51	0.31	0.14	0.05			
0.6	4.1	2.36	1.67	0.98	0.6	0.4	0.19	0.09	0		
0.7		3.01	2.13	1.27	0.8	0.5	0.29	0.16	0.05		
0.8		3.67	2.65	1.58	1.01	0.65	0.4	0.24	0.1	0.01	
0.9			3.19	1.93	1.24	0.84	0.52	0.31	0.15	0.03	
1			3.77	2.3	1.48	0.98	0.64	0.4	0.2	0.05	
1.1				2.7	1.75	1.18	0.75	0.48	0.26	0.07	
1.2				3.12	2.02	1.36	0.88	0.55	0.31	0.09	
1.3				3.56	2.31	1.55	1.02	0.64	0.37	0.12	
1.4				4	2.61	1.74	1.16	0.73	0.42	0.15	
1.5					2.93	1.93	1.3	0.82	0.48	0.19	
<b>* Average annual runoff volume</b>											

Table 2.9  
Annual capacity on [Cr] for Weibull distribution of annual runoff

Cv	Demanda (D) en porcentaje del VEMA*										
	100	95	90	80	70	60	50	40	30	20	10
<b>1% de probabilidad de falla</b>											
0.25		1.7	0.98	0.5	0.33	0.2	0.08	0.01			
0.3		2.5	1.45	0.73	0.47	0.3	0.15	0.05			
0.35		3.35	2	0.97	0.6	0.38	0.21	0.1	0.02		
0.4			2.5	1.23	0.75	0.49	0.28	0.15	0.05		
0.45			3	1.5	0.92	0.59	0.35	0.2	0.08	0.02	
0.5			3.55	1.83	1.1	0.72	0.43	0.25	0.11	0.04	
0.55				2.18	1.3	0.85	0.52	0.3	0.15	0.06	
0.6				2.55	1.5	0.99	0.61	0.35	0.19	0.08	
0.7				3.3	1.98	1.31	0.81	0.5	0.26	0.12	0.01
0.8					2.5	1.65	1.06	0.63	0.35	0.16	0.02
0.9					3.13	2.02	1.31	0.78	0.44	0.2	0.03
1					3.8	2.42	1.57	0.94	0.54	0.24	0.05
1.1						2.83	1.84	1.1	0.64	0.29	0.06
1.2						3.26	2.15	1.27	0.74	0.33	0.08
1.3						3.7	2.46	1.46	0.84	0.38	0.1
1.4							2.8	1.65	0.95	0.44	0.12
1.5							3.15	1.85	1.07	0.48	0.14
<b>5% de probabilidad de falla</b>											
0.25	2.4	0.96	0.59	0.3	0.15	0.04					
0.3	3.05	1.25	0.8	0.41	0.23	0.11	0.01				
0.35		1.6	1.03	0.54	0.32	0.17	0.05				
0.4		2	1.29	0.68	0.42	0.24	0.1	0.03			
0.45		2.45	1.55	0.83	0.53	0.31	0.15	0.07	0		
0.5		2.92	1.83	1	0.64	0.39	0.2	0.11	0.02		
0.55		3.47	2.15	1.19	0.75	0.47	0.26	0.15	0.05		
0.6		4.02	2.5	1.4	0.87	0.55	0.32	0.19	0.08	0	
0.7			3.24	1.88	1.15	0.73	0.44	0.27	0.14	0.02	
0.8			4	2.47	1.44	0.95	0.59	0.36	0.19	0.05	
0.9				3.18	1.77	1.16	0.75	0.46	0.25	0.08	0
1					2.13	1.38	0.91	0.56	0.31	0.11	0.01
1.1					2.52	1.62	1.09	0.66	0.37	0.14	0.02
1.2					2.95	1.87	1.27	0.77	0.43	0.17	0.03
1.3					3.39	2.13	1.45	0.88	0.5	0.21	0.04
1.4					3.84	2.4	1.64	0.99	0.57	0.25	0.05
1.5						2.66	1.84	1.1	0.65	0.29	0.06
<b>10% de probabilidad de falla</b>											
0.25	1.2	0.59	0.37	0.17	0.04						
0.3	1.5	0.79	0.52	0.27	0.11	0					
0.35	1.85	1	0.68	0.38	0.18	0.05					
0.4	2.25	1.23	0.85	0.48	0.25	0.11	0.02				
0.45	2.7	1.48	1.04	0.59	0.34	0.17	0.06				
0.5	3.15	1.75	1.22	0.71	0.42	0.24	0.1	0.02			
0.55	3.6	2.05	1.44	0.84	0.51	0.31	0.14	0.05			
0.6	4.1	2.36	1.67	0.98	0.6	0.4	0.19	0.09	0		
0.7		3.01	2.13	1.27	0.8	0.5	0.29	0.16	0.05		
0.8		3.67	2.65	1.58	1.01	0.65	0.4	0.24	0.1	0.01	
0.9			3.19	1.93	1.24	0.84	0.52	0.31	0.15	0.03	
1			3.77	2.3	1.48	0.98	0.64	0.4	0.2	0.05	
1.1				2.7	1.75	1.18	0.75	0.48	0.26	0.07	
1.2				3.12	2.02	1.36	0.88	0.55	0.31	0.09	
1.3				3.56	2.31	1.55	1.02	0.64	0.37	0.12	
1.4				4	2.61	1.74	1.16	0.73	0.42	0.15	
1.5					2.93	1.93	1.3	0.82	0.48	0.19	

\* Volumen escurrido medio anual

Tabla 2.9

Capacidades anuales relativas [Cr] para distribución Weibull de los escurrimientos anuales

Example 2.3. Solve Example 2.2 using the method of Riggs and Hardison. Consider the statistical parameters shown below:

$$\begin{aligned}
 VEMA &= 18.513 \text{ Mm}^3 \\
 C_v &= 0.582 \\
 C_s &= 0.435 \\
 g &= -1.304744
 \end{aligned}$$

Contemplating the appropriate probability distribution for this problem is the Weibull distribution, linearly interpolated in Table 2.9, to obtain the corresponding  $a$ , which when multiplied by, result in corresponding hiperannuals capabilities.

P	Demands (D)			
	90%	75%	50%	30%
1%	-	(1.8616)	(0.6760)	(0.1847)
	-	34.4638	12.5148	3.4194
5%	(2.4674)	(1.7506)	(0.3351)	(0.6612)
	45.6792	32.4089	6.2037	1.2241

Table 2.10  
Solution for Example - method of Riggs and Hardison

### 2.5. Estimation of seasonal capacity

Annual capacity  $[Ca]$  is absorbing function of seasonal fluctuations of the reservoir, caused by differences between monthly runoff regime and demand, assumed to be constant. To calculate  $Ca$  the generic curve is used, based on the monthly runoff, considering that generates no spills, scilicet each annual runoff will be completely regulated.

Therefore the operation is carried out as follows: a constant demand, each annual runoff volume  $[Va]$  is divided between twelve to accumulate each of these monthly values and define the demand [If demand is variable, defines the decimal values that sum to one, applying  $Va$  them to define the demands, then follow the procedure]. Then calculated the differences between demand and cumulative monthly runoff in order to perform the algebraic sum of the maximum and the maximum negative difference is positive, and thereby obtain the  $Ca$  necessary. For each year are drawn to historical records, on the abscissa  $Va$  him and assumed their respective  $Ca$  ordinates. To get the value  $Ca$  for the average annual runoff volume  $[VEMA]$  draw a generic envelope curve or curve.

Ejemplo 2.3. Resolver el ejemplo 2.2 mediante el método de Riggs y Hardison. Considerar los parámetros estadísticos que se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}
 VEMA &= 18.513 \text{ Mm}^3 \\
 C_v &= 0.582 \\
 C_s &= 0.435 \\
 g &= -1.304744
 \end{aligned}$$

Contemplando que la distribución de probabilidades adecuada para este problema es la distribución Weibull, se interpola linealmente en la Tabla 2.9, para obtener las  $C_r$  correspondientes a  $C_v = 0.582$ , los cuales al ser multiplicados por el  $VEMA$ , dan como resultado las capacidades hiperanuales correspondientes ( $Ch$ ).

P	Demandas (D)			
	90%	75%	50%	30%
1%	-	(1.8616)	(0.6760)	(0.1847)
	-	34.4638	12.5148	3.4194
5%	(2.4674)	(1.7506)	(0.3351)	(0.6612)
	45.6792	32.4089	6.2037	1.2241

Tabla 2.10  
Solución al ejemplo – Método de Riggs y Hardison

### 2.5. Estimación de la capacidad estacional

La capacidad anual [ $Ca$ ] tiene como función el absorber las fluctuaciones estacionales del embalse, ocasionadas por las diferencias entre el régimen mensual del escurriendo y la demanda, que se supone constante. Para calcular la  $Ca$  se emplea la curva genérica, partiendo de los escurrimientos mensuales, considerando de que no se generan derrames, es decir que cada escurrimiento anual es totalmente regulado.

Por lo tanto la operación se lleva acabo de la siguiente manera: a una demanda constante, cada volumen escurrido anual [ $Va$ ] es dividido entre doce para acumular cada uno de estos valores mensuales y definir la demanda [En caso de que la demanda sea variable, se definen los valores decimales que suman uno, aplicándolos a  $Va$  para definir las demandas, posteriormente seguir el procedimiento descrito]. Posteriormente se calculan las diferencias entre la demanda y los escurrimientos mensuales acumulados, para poder realizar la suma algebraica de la máxima diferencia negativa y la máxima positiva, y obtener con ello la  $Ca$  necesaria. Se dibujan para cada año los registros históricos, en las abscisas él  $Va$  y en las ordenadas su respectiva  $Ca$  supuesta. Para obtener el valor de  $Ca$  correspondiente al volumen del escurrimiento medio anual [ $VEMA$ ] se traza una curva envolvente o curva genérica.

Example 2.4. Considering that you have the cumulative monthly runoff volumes and accumulated demands for three different years (Table 2.11), annual capacity is calculated for each year as follows:

Year	1992		1985		1975	
Month	Cum. Run. Volume	Cum. Demand	Cum. Run. Volume	Cum. Demand	Cum. Run. Volume	Cum. Demand
January	0.0228	0.0912	0.3840	1.5240	0.8196	3.2532
February	0.0372	0.1824	0.6216	3.0468	1.3236	6.5076
March	0.0564	0.2736	0.9504	4.5708	2.0304	9.7608
April	0.1008	0.3648	1.6824	6.0936	3.5916	13.0152
May	0.1704	0.4548	2.8524	7.6176	6.0912	16.2684
June	0.3612	0.5460	6.0516	9.1404	12.9240	19.5216
July	0.5256	0.6372	8.7936	10.6644	18.7800	22.7760
August	0.7152	0.7284	11.9556	12.1872	25.5348	26.0292
September	0.9564	0.8196	15.9960	13.7112	34.1640	29.2836
October	1.0464	0.9108	17.4948	15.2340	37.3656	32.5368
November	1.0752	1.0020	17.9892	16.7580	38.4192	35.7900
December	1.0932	1.0932	18.2808	18.2808	39.0444	39.0444

\* EXPRESSED UNITS IN Mm<sup>3</sup>

Table 2.11  
Accumulated volumes and demands

- We will obtain the difference between cumulative runoff volume and the cumulative demand for each month, for example for the month of January 1992 would be as follows:

$$0.0228 - 0.0912 = -0.0684$$

- Upon completion of the differences for each month, to calculate the annual capacity to join an absolute minimum and maximum value of differences, for example, for the year 1992 the annual capacity will be:

$$Ca = |-0.2844| + |0.1368| = 0.4212$$

- Similarly, for the years 1985 and 1975, the annual capacity required would be  $4.7652 + 2.2884 = 7.05$  and from  $10.1772 + 4.8804 = 15.0576$
- The full results of the example is shown in the following table:

Ejemplo 2.4. Considerando que se tienen los volúmenes de escurrimiento mensual acumulado y las demandas acumuladas para tres años distintos (tabla 2.11), se calculara la capacidad anual para cada año de la manera siguiente:

Año	1992		1985		1975	
Mes	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.
Enero	0.0228	0.0912	0.3840	1.5240	0.8196	3.2532
Febrero	0.0372	0.1824	0.6216	3.0468	1.3236	6.5076
Marzo	0.0564	0.2736	0.9504	4.5708	2.0304	9.7608
Abril	0.1008	0.3648	1.6824	6.0936	3.5916	13.0152
Mayo	0.1704	0.4548	2.8524	7.6176	6.0912	16.2684
Junio	0.3612	0.5460	6.0516	9.1404	12.9240	19.5216
Julio	0.5256	0.6372	8.7936	10.6644	18.7800	22.7760
Agosto	0.7152	0.7284	11.9556	12.1872	25.5348	26.0292
Septiembre	0.9564	0.8196	15.9960	13.7112	34.1640	29.2836
Octubre	1.0464	0.9108	17.4948	15.2340	37.3656	32.5368
Noviembre	1.0752	1.0020	17.9892	16.7580	38.4192	35.7900
Diciembre	1.0932	1.0932	18.2808	18.2808	39.0444	39.0444
* UNIDADES EXPRESADAS EN Mm <sup>3</sup>						

Tabla 2.11  
Volúmenes y demandas acumuladas

- Se obtiene la diferencia entre volumen escurrido acumulado y la demanda acumulada para cada mes, por ejemplo para el mes de enero del año 1992 queda de la manera siguiente:

$$0.0228 - 0.0912 = -0.0684$$

- Una vez concluidas las diferencias para cada uno de los meses, para calcular la capacidad anual se suman de manera absoluta el valor mínimo y máximo de las diferencias, por ejemplo para el año de 1992 la capacidad anual es:

$$Ca = |-0.2844| + |0.1368| = 0.4212$$

- Análogamente, para los años 1985 y 1975, la capacidad anual requerida es de  $4.7652 + 2.2884 = 7.05$  y de  $10.1772 + 4.8804 = 15.0576$ .
- El resultado completo del ejemplo se muestra en la tabla siguiente:

Year	1992			1985			1975		
Month	Cum. Run. Volume	Cum. Demand	Difference	Cum. Run. Volume	Cum. Demand	Difference	Cum. Run. Volume	Cum. Demand	Difference
January	0.0228	0.0912	-0.0684	0.3840	1.5240	-1.1400	0.8196	3.2532	-2.4336
February	0.0372	0.1824	-0.1452	0.6216	3.0468	-2.4252	1.3236	6.5076	-5.1840
March	0.0564	0.2736	-0.2172	0.9504	4.5708	-3.6204	2.0304	9.7608	-7.7304
April	0.1008	0.3648	-0.2640	1.6824	6.0936	-4.4112	3.5916	13.0152	-9.4236
May	0.1704	0.4548	-0.2844	2.8524	7.6176	-4.7652	6.0912	16.2684	-10.1772
June	0.3612	0.5460	-0.1848	6.0516	9.1404	-3.0888	12.9240	19.5216	-6.5976
July	0.5256	0.6372	-0.1116	8.7936	10.6644	-1.8708	18.7800	22.7760	-3.9960
August	0.7152	0.7284	-0.0132	11.9556	12.1872	-0.2316	25.5348	26.0292	-0.4944
September	0.9564	0.8196	0.1368	15.9960	13.7112	2.2848	34.1640	29.2836	4.8804
October	1.0464	0.9108	0.1356	17.4948	15.2340	2.2608	37.3656	32.5368	4.8288
November	1.0752	1.0020	0.0732	17.9892	16.7580	1.2312	38.4192	35.7900	2.6292
December	1.0932	1.0932	0.0000	18.2808	18.2808	0.0000	39.0444	39.0444	0.0000
Ca	-	-	0.4212	-	-	7.0500	-	-	15.0576

\* EXPRESSED UNITS IN Mm<sup>3</sup>

Table 2.12  
Complete solution of Example 2.4

**2.6. Practical Skills required**

The ability to use  $[C_u]$  to take hiperannuals values  $Ch$  based on estimates made in the approximate methods, in this case Alexander Gould and Riggs and Hardison, who are the seasonal or annual estimates  $[Ca]$ .

Example 2.5. Based on the results of the previous examples (Alexander Gould and Riggs and Hardison), obtain the necessary. Consider the following annual capacity  $[Ca]$  to the corresponding demands:

Demand in %	Ca (Mm <sup>3</sup> )
90	5.265
75	4.388
50	2.925
30	1.755

Table 2.13  
Demands and annual capacity - Example 2.5

Año	1992			1985			1975		
Mes	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.	Diferencia	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.	Diferencia	Volumen Esc. Acum.	Demanda Acum.	Diferencia
Enero	0.0228	0.0912	-0.0684	0.3840	1.5240	-1.1400	0.8196	3.2532	-2.4336
Febrero	0.0372	0.1824	-0.1452	0.6216	3.0468	-2.4252	1.3236	6.5076	-5.1840
Marzo	0.0564	0.2736	-0.2172	0.9504	4.5708	-3.6204	2.0304	9.7608	-7.7304
Abril	0.1008	0.3648	-0.2640	1.6824	6.0936	-4.4112	3.5916	13.0152	-9.4236
Mayo	0.1704	0.4548	-0.2844	2.8524	7.6176	-4.7652	6.0912	16.2684	-10.1772
Junio	0.3612	0.5460	-0.1848	6.0516	9.1404	-3.0888	12.9240	19.5216	-6.5976
Julio	0.5256	0.6372	-0.1116	8.7936	10.6644	-1.8708	18.7800	22.7760	-3.9960
Agosto	0.7152	0.7284	-0.0132	11.9556	12.1872	-0.2316	25.5348	26.0292	-0.4944
Septiembre	0.9564	0.8196	0.1368	15.9960	13.7112	2.2848	34.1640	29.2836	4.8804
Octubre	1.0464	0.9108	0.1356	17.4948	15.2340	2.2608	37.3656	32.5368	4.8288
Noviembre	1.0752	1.0020	0.0732	17.9892	16.7580	1.2312	38.4192	35.7900	2.6292
Diciembre	1.0932	1.0932	0.0000	18.2808	18.2808	0.0000	39.0444	39.0444	0.0000
Ca	-	-	0.4212	-	-	7.0500	-	-	15.0576

\* UNIDADES EXPRESADAS EN Mm<sup>3</sup>

Tabla 2.4  
Solución completa del ejemplo 2.1

**2.6. Capacidades útiles requeridas**

La capacidad útil [Cu] debe tomar los valores hiperanuales Ch con base en las estimaciones realizadas bajo los métodos aproximados, en este caso Alexander, Gould y Riggs y Hardison, a los que deben los estacionales o anuales estimados [Ca].

Ejemplo 2.5. Partiendo de los resultados obtenidos de los ejemplos anteriores (Alexander, Gould y Riggs y Hardison), obtener las Cu necesarias. Considerar las siguientes capacidades anuales [Ca] para las correspondientes demandas:

Demanda en %	Ca (Mm <sup>3</sup> )
90	5.265
75	4.388
50	2.925
30	1.755

Tabla 2.13  
Demandas y capacidades anuales – Ejemplo 2.5



- For the probability of failure of 1% is estimated:

Approximate methods applied						
Demand in %	Alexander	Gould	Riggs y Hardison	Ch (Mm <sup>3</sup> ) Adopted	Ca (Mm <sup>3</sup> )	Cu (Mm <sup>3</sup> )
90	132.3426	75.41	-	103.8763	5.265	109.1413
75	46.0322	24.52	34.4638	35.0053	4.388	39.3933
50	14.3851	7.56	12.5148	11.4866	2.925	14.4116
30	3.0061	2.71	3.4194	3.0452	1.755	4.8002

Table 2.14

Summary of results for a failure probability of 1%

- For failure probability of 5% is estimated:

Approximate methods applied						
Demand in %	Alexander	Gould	Riggs y Hardison	Ch (Mm <sup>3</sup> ) Adopted	Ca (Mm <sup>3</sup> )	Cu (Mm <sup>3</sup> )
90	40.5176	38.66	45.6792	41.6189	5.265	46.8839
75	13.7237	13.21	32.4089	19.7809	4.388	24.1689
50	4.4439	4.72	6.2037	5.1225	2.925	8.0475
30	1.8298	2.3	1.2241	1.7846	1.755	3.5396

Table 2.15

Summary of results for a failure probability of 5%

### 2.7. Net capacity necessary for simultaneous demands.

The useful capacity necessary for simultaneous demands occurs when a dam is designed to supply two demands related to different probabilities of failure. For example, in the case of a reservoir designed to supply drinking water [1% deficit] and irrigation [5% deficit], the useful capacity required [ $C_{UR}$ ] and storing restricted [ $C_{AR}$ ] to be estimated using the following equations:

- Para la probabilidad de falla del 1% se estima:

Métodos aproximados aplicados						
Demanda en %	Riggs y			Ch (Mm <sup>3</sup> )	Ca (Mm <sup>3</sup> )	Cu (Mm <sup>3</sup> )
	Alexander	Gould	Hardison	Adoptada		
90	132.3426	75.41	-	103.8763	5.265	109.1413
75	46.0322	24.52	34.4638	35.0053	4.388	39.3933
50	14.3851	7.56	12.5148	11.4866	2.925	14.4116
30	3.0061	2.71	3.4194	3.0452	1.755	4.8002

Tabla 2.14

Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 1%

- Para la probabilidad de falla del 5% se estima:

Métodos aproximados aplicados						
Demanda en %	Riggs y			Ch (Mm <sup>3</sup> )	Ca (Mm <sup>3</sup> )	Cu (Mm <sup>3</sup> )
	Alexander	Gould	Hardison	Adoptada		
90	40.5176	38.66	45.6792	41.6189	5.265	46.8839
75	13.7237	13.21	32.4089	19.7809	4.388	24.1689
50	4.4439	4.72	6.2037	5.1225	2.925	8.0475
30	1.8298	2.3	1.2241	1.7846	1.755	3.5396

Tabla 2.15

Resumen de resultados para una probabilidad de falla de 5%

### 2.7. Capacidad útil necesaria para demandas simultáneas.

La capacidad útil necesaria para demandas simultáneas ocurre cuando un embalse se diseña para abastecer dos demandas vinculadas a diferentes probabilidades de falla. Por ejemplo, en el caso de un embalse diseñado para abastecimiento de agua potable [1% déficit] y riego [5% de déficit], la capacidad útil requerida [ $C_{UR}$ ] y el almacenamiento restringido [ $C_{AR}$ ] se deben estimar mediante el uso de las ecuaciones siguientes:

$$C_{UR} = CR_B + (CR_A - CR_B) \left( \frac{DR_A}{DTR} \right) \quad (2.17)$$

$$C_{AR} = C(DR_A)_A - C(DR_A)_B \quad (2.18)$$

$$DTR = DR_A + DR_B \quad (2.19)$$

- where

- $C_{UR}$                     utile capacity required to supply simultaneously with different probabilities of failure, in  $Mm^3$
- $CR_B$                     utile capacity required to supply the total demand [ $DTR$ ], considering the probability of failure less severe [in this case 5%], in  $Mm^3$
- $CR_A$                     utile capacity required to supply total demand [ $DTR$ ], considering the probability of failure more severe [which is 1%] by  $Mm^3$
- $DR_A$                     application required with the probability of failure more severe [1%] by  $Mm^3$
- $DR_B$                     application required with the probability of failure less severe [5%], in  $Mm^3$
- $C_{AR}$                     restricted or storage capacity, which is the difference between the useful capacity more severe and less severe
- $C(DR_A)_A$             utile capacity required for the application  $DR_A$ , using the probability curve more severe [1%], in  $Mm^3$
- $C(DR_A)_B$             net capacity required for the application  $DR_A$ , using the probability curve less severe [5%], in  $Mm^3$

$$C_{UR} = C_{R_B} + (C_{R_A} - C_{R_B}) \left( \frac{DR_A}{DTR} \right) \quad (2.17)$$

$$C_{AR} = C(DR_A)_A - C(DR_A)_B \quad (2.18)$$

$$DTR = DR_A + DR_B \quad (2.19)$$

- donde

- $C_{UR}$  capacidad útil requerida para el abastecimiento simultaneo con probabilidades de fallas diferentes, en Mm<sup>3</sup>.
- $C_{R_B}$  capacidad útil requerida para abastecer la demanda total [ $DTR$ ], considerando la probabilidad de falla menos severa [en este caso 5%], en Mm<sup>3</sup>.
- $C_{R_A}$  capacidad útil requerida para abastecer la demanda total [ $DTR$ ], considerando la probabilidad de falla más severa [en este caso 1%], en Mm<sup>3</sup>.
- $DR_A$  demanda requerida con la probabilidad de falla más severa [1%], en Mm<sup>3</sup>.
- $DR_B$  demanda requerida con la probabilidad de falla menos severa [5%], en Mm<sup>3</sup>.
- $C_{AR}$  capacidad o almacenamiento restringido, el cual es la diferencia entre la capacidad útil más severa y la menos severa.
- $C(DR_A)_A$  capacidad útil requerida para la demanda  $DR_A$ , utilizando la curva de probabilidad más severa [1%], en Mm<sup>3</sup>.
- $C(DR_A)_B$  capacidad útil requerida para la demanda  $DR_A$ , utilizando la curva de probabilidad menos severa [5%], en Mm<sup>3</sup>.



# *CAPÍTULO III*

# *FUNCIONAMIENTO DE*

# *VASOS*

*(CHAPTER III*

# *RESEVOIR OPERATION)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



## INDEX

<b>3. RESERVOIR OPERATION</b>	128
<b>3.1. Calculation procedure of Operation Reservoir</b>	128
<b>3.2. Inputs or inputs reservoir</b>	130
3.2.1. <i>Inputs or inputs by river itself (ICP)</i>	130
3.2.2. <i>Entries by transfer from other basins (IT)</i>	136
3.2.3. <i>Entries by direct rainfall on the reservoir (VLL)</i>	138
<b>3.3. Out of the reservoir</b>	138
3.3.1. <i>Extracted volume to meet demand (VDEM)</i>	138
3.3.2. <i>Volume evaporated directly on the reservoir (VEVA)</i>	150
3.3.3. <i>Volume infiltrated into the reservoir (VINFL)</i>	162
3.3.4. <i>Volume Spilled (DERR)</i>	162

## INDEX OF FIGURES

<b>3. RESERVOIR OPERATION</b>	
<b>3.1. Correction Areas</b>	134
<b>3.2. Seasonal Demand Behavior</b>	140
<b>3.3. Demand Performance Schedule</b>	142
<b>3.4. Office of the peak demand of the National Interconnected System</b>	144
<b>3.5a. Calculation of the correction for evaporation as evaporation.</b>	152
<b>3.5b. Calculation of the correction for evaporation as an evaporation</b>	154
<b>3.6. Calculation of the saturation pressure</b>	158
<b>3.7. Calculation of vapor pressure in air</b>	160

## INDEX OF TABLES

<b>3. RESERVOIR OPERATION</b>	
<b>3.1. Monthly variations in demand for electricity, a percentage of average.</b>	146
<b>3.2. Correction factor to adjust the values measured in the evaporation</b>	150
<b>3.3. Net evaporation</b>	162

## ÍNDICE

<b>3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	129
<b>3.1. Procedimiento de cálculo del Funcionamiento de Vaso</b>	129
<b>3.2. Aportaciones o entradas al vaso</b>	131
3.2.1. <i>Aportaciones o entradas por cuenca propia (ICP)</i>	131
3.2.2. <i>Entradas por transferencia desde otras cuencas (IT)</i>	137
3.2.3. <i>Entradas por lluvia directa sobre el vaso (VLL)</i>	139
<b>3.3. Salidas del vaso</b>	139
3.3.1. <i>Volumen extraído para satisfacer la demanda (VDEM)</i>	139
3.3.2. <i>Volumen evaporado directamente del vaso (VEVA)</i>	151
3.3.3. <i>Volumen infiltrado en el vaso (VINF)</i>	163
3.3.4. <i>Volumen derramado (DERR)</i>	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
<b>3.1. Corrección de Áreas</b>	135
<b>3.2. Comportamiento Estacional de la Demanda</b>	141
<b>3.3. Comportamiento Horario de la Demanda</b>	143
<b>3.4. Despacho de la demanda máxima del Sistema Interconectado Nacional</b>	145
<b>3.5a. Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro.</b>	153
<b>3.5b. Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro</b>	155
<b>3.6. Calculo de la presión de saturación</b>	159
<b>3.7. Calculo de la presión del vapor contenido en el aire</b>	161

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
<b>3.1. Variaciones mensuales de la demanda eléctrica, en porcentaje respecto a la media.</b>	147
<b>3.2. Factor de corrección para ajustar los valores medidos en el evaporímetro</b>	151
<b>3.3. Evaporaciones Netas</b>	163

This chapter presents the calculation of the performance of reservoir. Describes the contributions that influence it, among which in the case of entries per basin it was presented using the correction factor for its interpretation. On the other hand are given to understand the factors involved in departures or analytical extraction operation of reservoirs. For correction are presented in tables and graphs which may make a correct interpretation of results.

### 3. RESERVOIR OPERATION

#### 3.1. Procedure for calculating the operation of the Reservoir.

From the continuity equation considering the subscript  $i$  the beginning of the interval and  $i + 1$  the nomenclature for the end of the simulation, the equation is of the form:

$$V_{i+1} = V_i + E_i - S_i \quad (3.1)$$

- where

- $V_{i+1}$  volume stored in the interval  $i + 1$
- $V_i$  volume stored in the interval  $i$

The net capital inflows or the reservoir during the interval defined by the following equation:

$$E_i - S_i = I_i - O_i + P_i - DERR_i \quad (3.2)$$

- where

- $E_i - S_i$  are the inputs and net contributions to the reservoir during the interval  $i$
- $I_i$  volume of entries to the reservoir is not dependent on the level during the interval  $i$
- $O_i$  volume of exit of the reservoir is not dependent on the level during the interval  $i$
- $P_i$  volume of entries - output volume depending on the level in the reservoir during the interval  $i$
- $DERR_i$  volume spilled by the work of exceedances during the interval  $i$

- where

$$I_i = ICP_i + IT_i \quad (3.3)$$



En este capítulo se presenta el cálculo del funcionamiento de vaso. Se describen las aportaciones que influyen en el mismo, dentro de las cuales para el caso de entradas por cuenca propia se presenta el empleo del factor de corrección para su interpretación. Por otro lado se dan a conocer los factores que intervienen en las salidas o extracciones de un funcionamiento analítico de vasos. Para su corrección se presentan tablas y graficas con las cuales se puede hacer una correcta interpretación de los resultados.

### 3. FUNCIONAMIENTO DE VASOS

#### 3.1. Procedimiento de cálculo del Funcionamiento de Vaso

Partiendo de la ecuación de continuidad considerando el subíndice  $i$  el principio del intervalo y el  $i + 1$  la nomenclatura para el final de la simulación, la ecuación queda de la forma:

$$V_{i+1} = V_i + E_i - S_i \tag{3.1}$$

- donde
  - o  $V_{i+1}$  volumen almacenado en el intervalo  $i + 1$
  - o  $V_i$  volumen almacenado en el intervalo  $i$

Las entradas o aportaciones netas al vaso durante el intervalo considerado se definen con la siguiente ecuación:

$$E_i - S_i = I_i - O_i + P_i - DERR_i \tag{3.2}$$

- donde
  - o  $E_i - S_i$  son las entradas o aportaciones netas al vaso durante el intervalo  $i$
  - o  $I_i$  volumen de entradas al vaso no dependiente del nivel durante el intervalo  $i$
  - o  $O_i$  volumen de salidas del vaso no dependiente del nivel durante el intervalo considerado  $i$
  - o  $P_i$  volumen de entradas – volumen de salidas que dependen del nivel en el vaso durante el intervalo  $i$
  - o  $DERR_i$  volumen derramado por la obra de excedencias durante el intervalo  $i$

- Siendo:

$$I_i = ICP_i + IT_i \tag{3.3}$$

$$O_i = VDEM_i \quad (3.4)$$

$$P_i = VLL_i - VEVA_i - VINFi \quad (3.5)$$

- where
  - $ICP_i$  runoff or entries generated by the basin itself in the interval  $i$
  - $IT_i$  transfer entries from other basins in the range  $i$
  - $VDEM_i$  volume extracted to meet demand during the interval  $i$  (established by the law of demand)
  - $VLL_i$  volume of direct rainfall into the reservoir during the interval  $i$
  - $VEVA_i$  volume evaporated directly into the reservoir in the interval  $i$
  - $VINF_i$  volume infiltrated into the reservoir during the interval  $i$
- In considering the capabilities of the reservoir, it is necessary to include the following restriction:

$$V_{min} \leq V_{i+1} \leq V_m \quad (3.6)$$

- where
  - $V_{min}$  storage volume for the NAMINO or NAMIN.
  - $V_m$  storage volume corresponding to NAMO.
- The following table presents in more detail the procedure for calculating contributions or entries to the cup, and exits.

### 3.2. Contributions or entries to the reservoir

#### 3.2.1. Contributions by basin itself or entries (ICP)

Contributions by basin itself is generated in the basin is not controlled, which is bounded by the nozzle of the dam that is studied and the download sites upstream dams (Figure 3.1.)

$$O_i = VDEM_i \quad (3.4)$$

$$P_i = VLL_i - VEVA_i - VINFi \quad (3.5)$$

- donde
  - $ICP_i$  escurrimientos o entradas generadas por la cuenca propia en el intervalo  $i$
  - $IT_i$  entradas por transferencia desde otras cuencas en el intervalo  $i$
  - $VDEM_i$  volumen extraído para satisfacer la demanda durante el intervalo  $i$  (constituido por la ley de demandas)
  - $VLL_i$  volumen de lluvia directa en el vaso durante el intervalo  $i$
  - $VEVA_i$  volumen evaporado directamente en el vaso en el intervalo  $i$
  - $VINF_i$  volumen infiltrado en el vaso durante el intervalo  $i$
- Al considerar las capacidades del vaso, es necesario incluir la siguiente restricción:

$$V_{min} \leq V_{i+1} \leq V_m \quad (3.6)$$

- donde
  - $V_{min}$  volumen de almacenamiento correspondiente al NAMINO o al NAMIN
  - $V_m$  volumen de almacenamiento correspondiente al NAMO
- En seguida se presenta en forma más detallada el procedimiento para calcular las aportaciones o entradas al vaso, así como las salidas.

### 3.2. Aportaciones o entradas al vaso

#### 3.2.1. Aportaciones o entradas por cuenca propia (ICP)

Las aportaciones por cuenca propia se generan en la cuenca no controlada, la cual está delimitada por la boquilla de la presa que se estudia y por los sitios de descarga de las presas situadas aguas arriba (ver figura 3.1.)

Using the records of the gauging stations in the area, it is possible to quantify the contributions of river basins own entries. Sometimes hydrometric stations has nearly at the site will work (usually the stations have been located for this purpose before), however, often do not have a gauging station located on the site where construct the work and sometimes do not have stations on the same river. It is therefore necessary to use methods that help both interpolate and extrapolate information that are available nearby stations.

Methods for the extrapolation of the data using the measured values at a station nearby, preferably with its catchment area similar to that being studied. Depending on the information available, the factor may take into account the catchment area, the volume of rain in them or the corresponding volume of effective rainfall, as shown in Equations 3.8, 3.9 and 3.10, respectively.

If you have several stations with a number of years of records, one can calculate factors for each of them and define a factor equal to the weighted average of the factors associated with each of them, using weights that take into account the reliability for (Equation 3.7).

Among the various methods of describing the area correction factor (Figure 3.1), taking the inputs by river itself is calculated using the following formula:

$$ICP = F_1V_{e1} + F_2V_{e2} + \dots + F_nV_{en} \quad (3.7)$$

- where

- $F_i$  correction factor for the season  $i$
- $V_{ei}$  half the volume of runoff at the station  $i$
- $n$  number of gauging stations considered

Con ayuda de los registro de la estaciones hidrométricas de la zona, es posible cuantificar las aportaciones por cuenca propia de las entradas. En ocasiones se cuenta con estaciones hidrométricas casi en el sitio donde está la obra (por lo general las estaciones han sido ubicadas con anterioridad con este fin); sin embargo, en muchos casos no se cuenta con una estación hidrométrica situada en el sitio donde se construye la obra y en algunos casos no se cuenta con estaciones sobre el mismo río. Por consiguiente se procede al uso de métodos que ayuden tanto a interpolar como a extrapolar la información con que se cuenta de las estaciones próximas.

Los métodos para la extrapolación de los datos utilizan los valores medidos en alguna estación cercana, de preferencia con el área de su cuenca similar a la de la que se estudia. Dependiendo de la información disponible, el factor puede tomar en cuenta el área de las cuencas, el volumen llovido en ellas o el volumen de lluvia efectiva correspondiente, como se indica en las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10, respectivamente.

Si se cuenta con varias estaciones con un buen número de años de registro, se pueden calcular factores para cada una de ellas y definir uno igual al promedio ponderado de los factores asociados a cada una de ella, usando ponderaciones que tomen en cuenta la confiabilidad correspondiente (ecuación 3.7).

Dentro de los diversos métodos existentes se describe el del factor de corrección de área (Figura 3.1), teniendo que las entradas por cuenca propia se calculan mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$ICP = F_1V_{e1} + F_2V_{e2} + \dots + F_nV_{en} \quad (3.7)$$

- donde
  - o  $F_i$  factor de corrección para la estación  $i$
  - o  $V_{ei}$  volumen de escurrimiento medio en la estación  $i$
  - o  $n$  número de estaciones hidrométricas consideradas

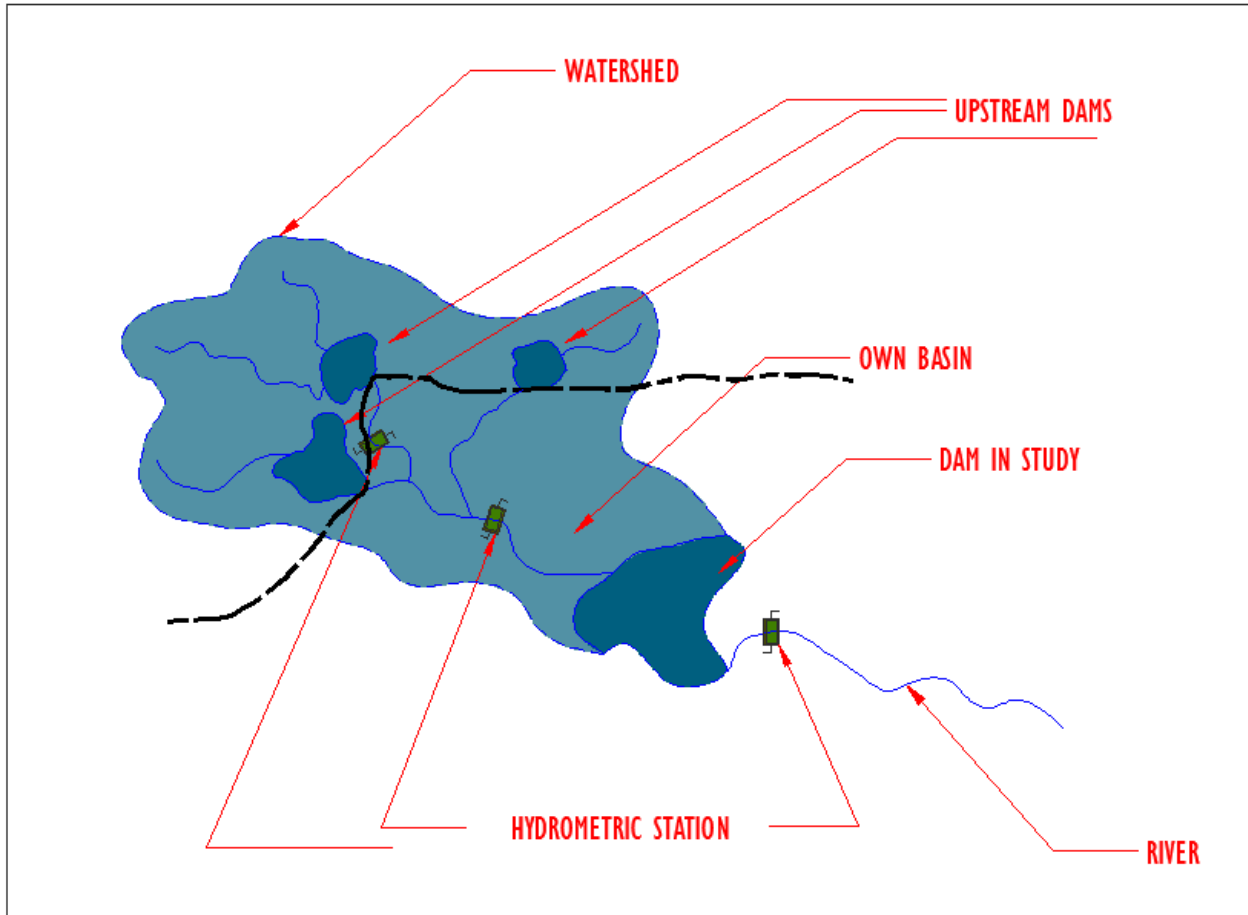


Figure 3.1  
Correction Areas

To determine the correction factor  $F_i$  takes into account various aspects such as catchment characteristics in relation to site conditions, and primarily the area of the basin.

The correction factor is calculated using some of the procedures listed below.

1. In case of having a large range of hydrometric station records and information sufficient rainfall in the catchment contribution, the factor for each watershed  $i$  is calculated as:

$$F_i = \frac{V_{ulcp}}{V_{le}} \quad (3.8)$$

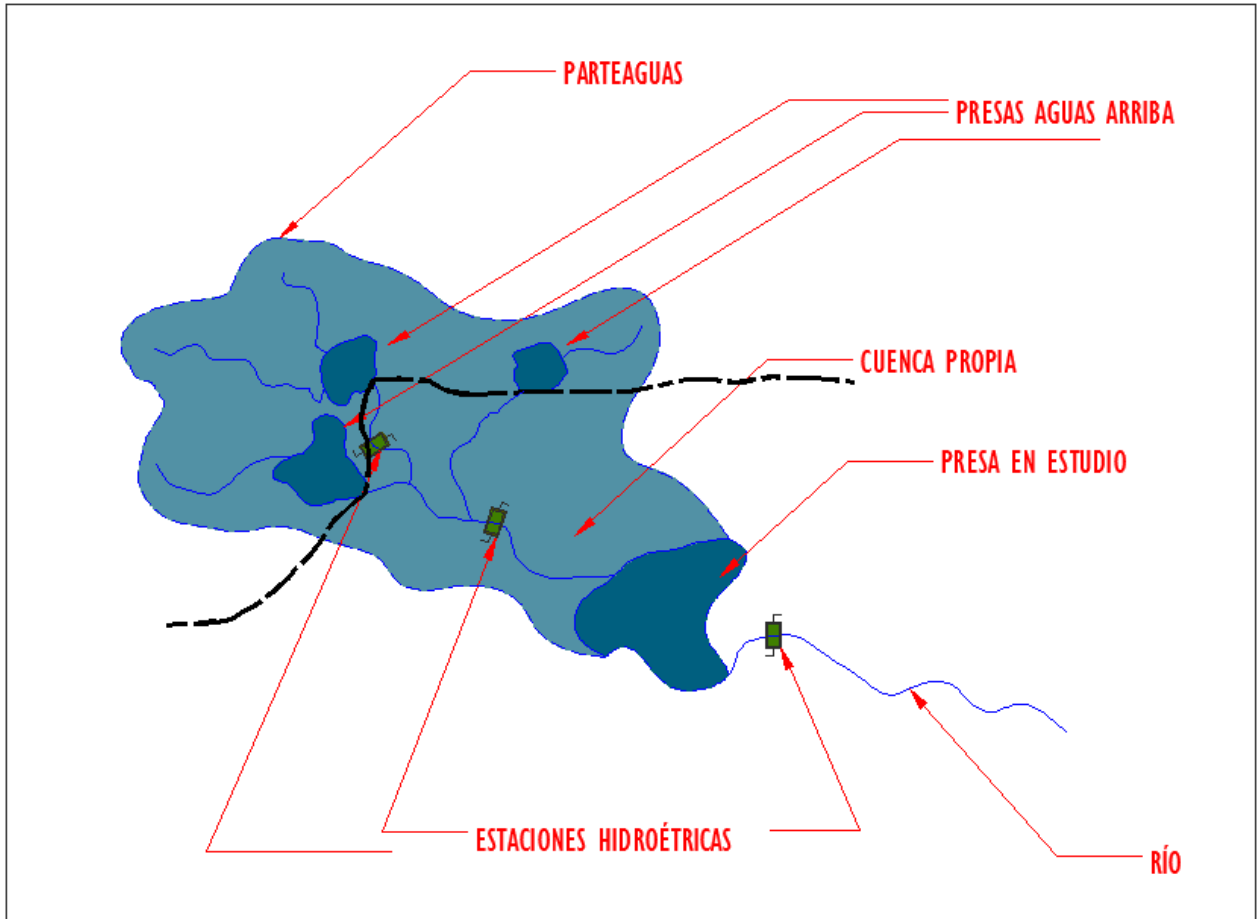


Figura 3.1  
Corrección de Áreas

Para la determinación del factor de corrección  $F_i$ , se toman en cuenta diversos aspectos como las características de la cuenca en relación con las condiciones del sitio y primordialmente el área de la cuenca.

El factor de corrección se calcula mediante algunos de los procedimientos que se mencionan a continuación.

1. En caso de disponer con un gran intervalo de registros de la estación hidrométrica, así como suficiente información de la precipitación en la cuenca de aportación, el factor correspondiente a cada cuenca  $i$  se calcula como:

$$F_i = \frac{V_{ilcp}}{V_{ile}} \tag{3.8}$$

- where

- $V_{llcp}$  volume of rain that precipitates in the basin itself during the time interval  $\Delta t$
- $V_{lle}$  volume of rain that precipitates in the basin linked to the gauging station during the time interval  $\Delta t$

2. If you do not have a sufficient number of years of registration stations, the correction factor is estimated as follows:

$$F_i = \frac{A_{cp}}{A_e} \quad (3.9)$$

- where

- $A_{cp}$  watershed area itself
- $A_e$  basin area corresponding to the gauging station  $i$

3. If it has a number of hydrometric stations greater than one ( $n > 1$ ), you get an average correction factor, as follows:

$$F_{pro} = K_i F_i \quad (3.10)$$

- where

- $K_i$  weight factor is assigned to station  $i$  according to their reliability and relevance of their records with the runoff in the basin contribution to the barrier analysis. Note that necessarily:

$$\sum_{i=1}^n K_i = 1 \quad (3.11)$$

### 3.2.2. Entries by transfer from other basins (IT)

This kind of contribution in case there are always known. They are free downloads from or controlled. Downloads come from upstream dams or the transfer of volumes generated in other basins.



- donde
  - $V_{ucp}$  volumen de lluvia que precipita en la cuenca propia durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$
  - $V_{ue}$  volumen de lluvia que precipita en la cuenca ligada a la estación hidrométrica  $i$ , durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$

2. En caso de no contar con el número suficiente de estaciones años de registro, el factor de corrección se estima de la manera siguiente:

$$F_i = \frac{A_{cp}}{A_e} \quad (3.9)$$

- donde
  - $A_{cp}$  área de cuenca propia
  - $A_e$  área de cuenca correspondiente a la estación hidrométrica  $i$

3. Si se cuenta con un número de estaciones hidrométricas mayor a uno ( $n > 1$ ), se obtiene un factor de corrección promedio, de la siguiente manera:

$$F_{pro} = K_i F_i \quad (3.10)$$

- donde
  - $K_i$  factor de peso que se asigna a la estación  $i$  de acuerdo con su confiabilidad y relación de sus registros con el escurrimiento en la cuenca de aportación a la presa analizada. Nótese que necesariamente:

$$\sum_{i=1}^n K_i = 1 \quad (3.11)$$

### 3.2.2. Entradas por transferencia desde otras cuencas (IT)

Este tipo de aportaciones en el caso de que existan, siempre son conocidas. Son procedentes de las descargas libres o controladas. Proviene de las descargas de presas situadas aguas arriba o de la transferencia de volúmenes generados en otras cuencas.

### 3.2.3. Entries for direct rainfall on the reservoir (VLL)

The maximum precipitation, is the amount of water precipitated in units of volume per unit area, this height is the value recorded rainfall measuring devices.

Consequently, the volume of water precipitated on the reservoir will be the height of precipitation ( $hp$ ) multiplied by the free surface area of reservoir (on average) in the time interval  $\Delta t$  used in the calculation. To determine the area shall be given by Curve  $EA$  (Elevation - Areas) of the reservoir under study.

Thus the contributions from direct rain into the reservoir are:

$$VLL = hp \bar{A} \quad (3.12)$$

- where

- o  $\bar{A}$  average area of the reservoir at the time interval  $\Delta t$

## 3.3. Out of Reservoir

### 3.3.1. Volume extracted to meet demand (VDEM)

Directly depends on the type of demand or use for example, power generation, potable supply, irrigation, etc..

For purposes of simulating the operation of the reservoir, this volume is always a factor which may be expressed in different ways (constant, monthly, and politics).

For example highlights two important aspects of electricity demand, its future development and daily and seasonal variation as shown in Figures 3.2 and 3.3.

### 3.2.3. Entradas por lluvia directa sobre el vaso (VLL)

La altura de precipitación, es la cantidad de agua precipitada en unidades de volumen por unidad de área, dicha altura es el valor que registran los aparatos de medición de precipitación.

Por consiguiente, el volumen de agua precipitada sobre el vaso es la altura de precipitación ( $hp$ ) multiplicada por el área de superficie libre del vaso (en promedio), en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  usado en el cálculo. Para determinar el área se empleara la Curva *EAC* (Elevaciones – Áreas) del vaso en estudio.

Así las aportaciones por lluvia directa en el vaso son:

$$VLL = hp \bar{A} \quad (3.12)$$

- donde
  - o  $\bar{A}$  área promedio del vaso en el intervalo de tiempo  $\Delta t$

## 3.3. Salidas del Vaso

### 3.3.1. Volumen extraído para satisfacer la demanda (VDEM)

Depende directamente del tipo de demanda o aprovechamiento, por ejemplo: generación de energía, abastecimiento de potable, riego, etc.

Para fines de la simulación del funcionamiento del vaso, este volumen siempre es un dato que puede expresarse de distintas formas (constante, mensual, política).

Por ejemplo, se destacan dos aspectos importantes de la demanda eléctrica; su evolución futura y su variación diaria y estacional como se muestra en las figuras 3.2 y 3.3.

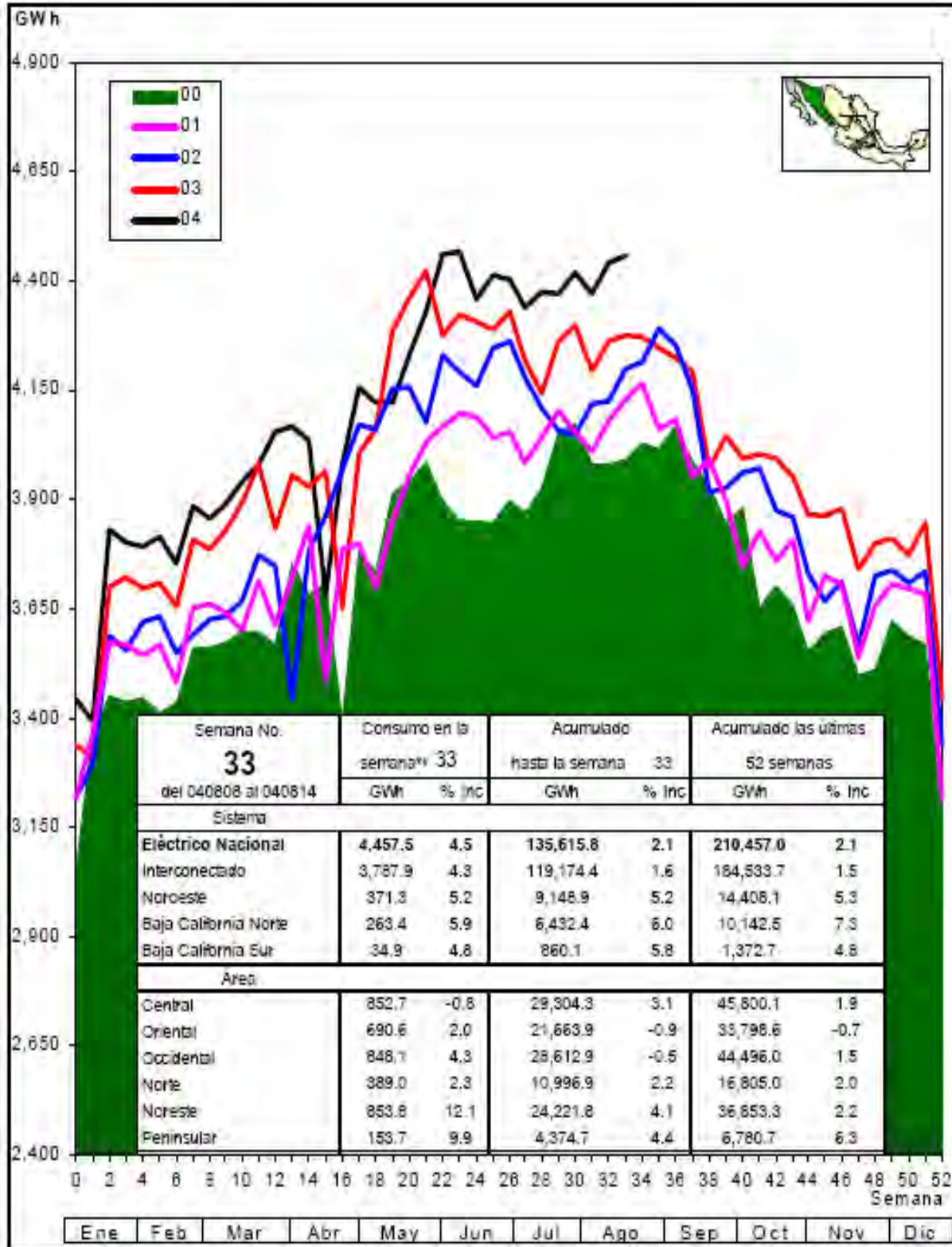


Figure 3.2  
Seasonal Demand Behavior

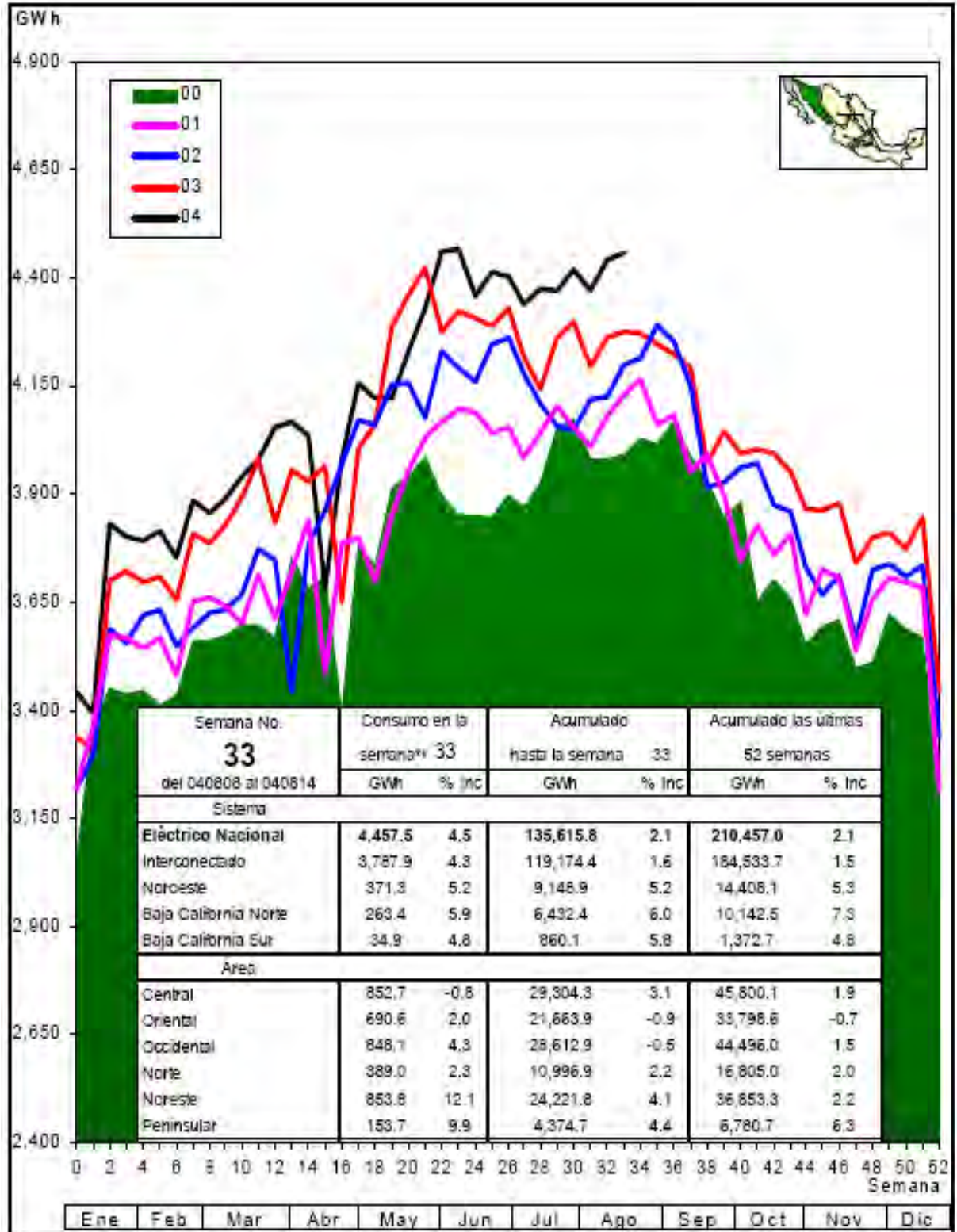


Figura 3.2

Comportamiento Estacional de la Demanda

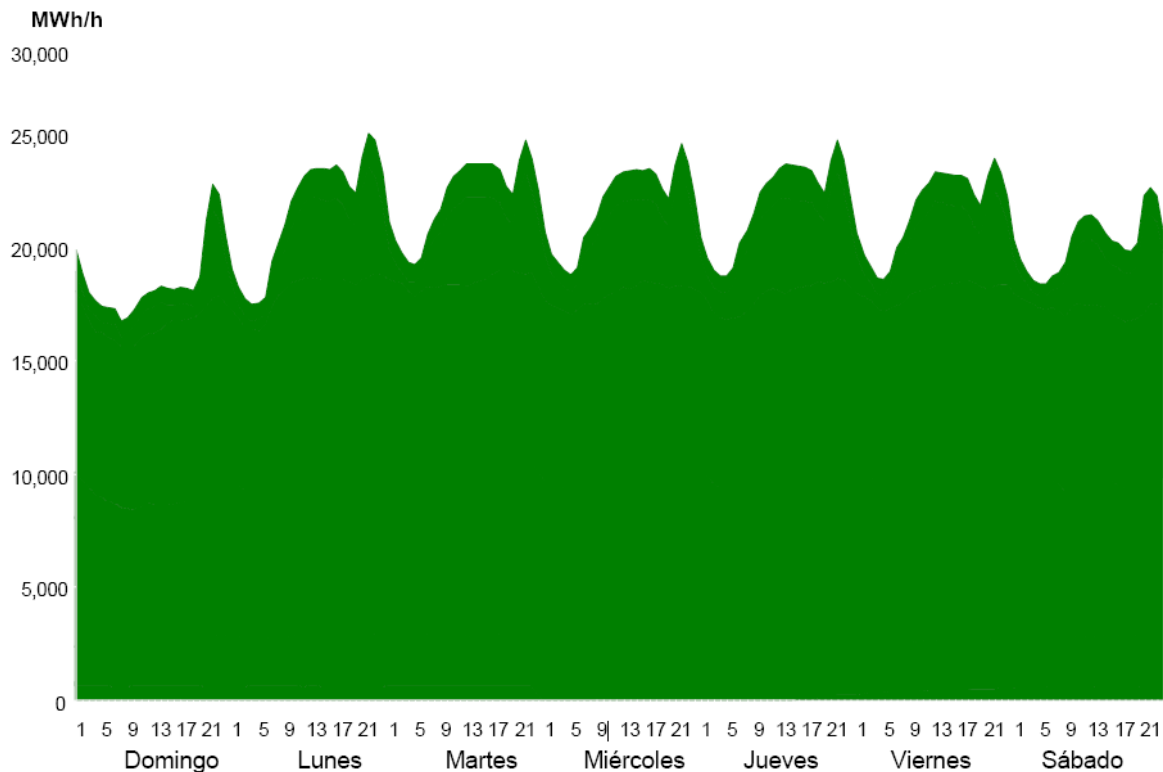


Figure 3.3  
Demand Performance Schedule

On the other hand, the office has the power to determine, at any time, the level of generation of power stations connected to national electricity system and network configuration comprising it, in order to meet electricity demand under criteria of safety, quality and lower cost. Its starting point is the determination from the Long Term Planning and electrical generation with the electrical system which will, however, this can be planned in the following ways:

- The medium-term plans to release the optimal use of generation resources and is part of the Plan of Operation. It has a significant degree of uncertainty about hydro and dates of entry facilities.
- The release of short-term plan the optimal use of generation resources in a closer time horizon (1 to 7 days) as its uncertainty is smaller.
- The release of real time, adjust the deviations resulting from short-term release, making optimal use of available resources.

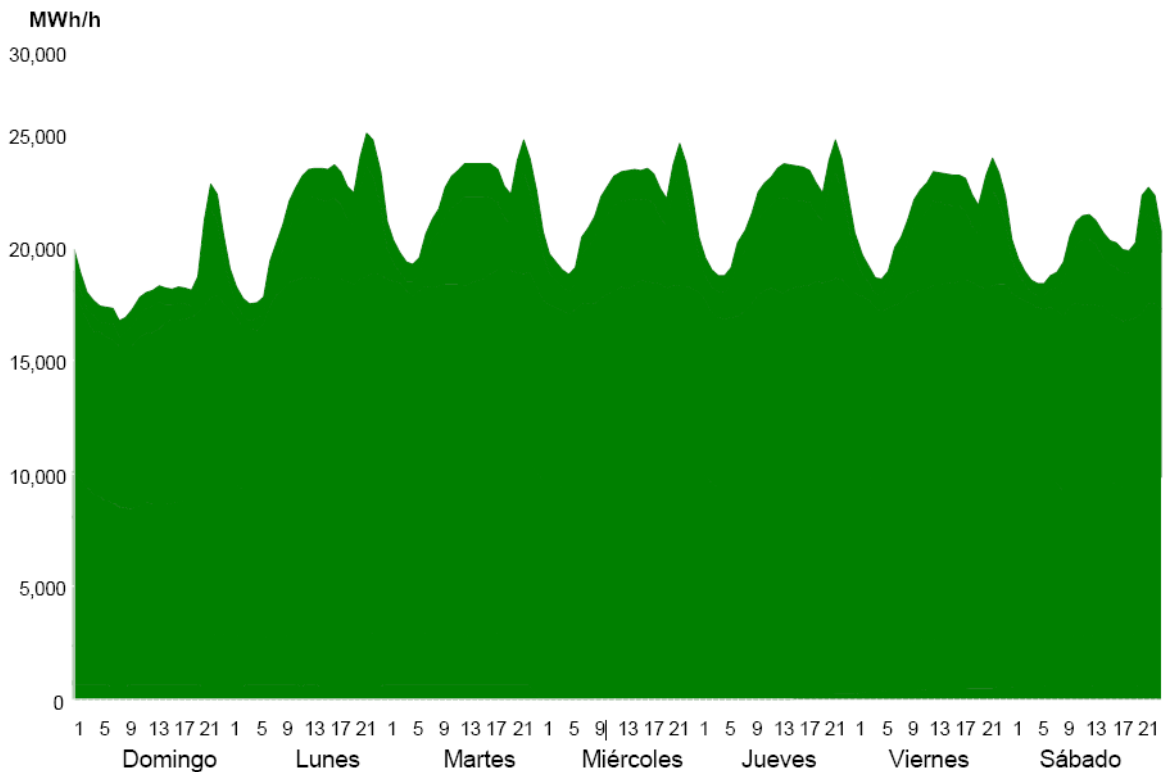


Figura 3.3  
Comportamiento Horario de la Demanda

Por otro lado, el despacho de energía tiene la facultad de determinar, en todo momento, el nivel de generación de las centrales eléctricas conectadas al Sistema Eléctrico Nacional y la configuración de las redes que lo integran, con objeto de satisfacer la demanda de energía eléctrica bajo criterios de seguridad, calidad y menor costo. Su punto de partida es la determinación proveniente de la Planeación de Largo Plazo de la generación y red eléctrica con que cuenta el sistema eléctrico; sin embargo, este puede ser planeado de las siguientes maneras:

- El despacho de mediano plazo planea el uso óptimo de los recursos de generación y forma parte de la Planeación de la Operación. Se tiene un grado importante de incertidumbre sobre aportaciones hidráulicas y fechas de entrada de instalaciones.
- El despacho de corto plazo, planea el uso óptimo de recursos de generación en un horizonte de tiempo más cercano (1 a 7 días) por lo que su incertidumbre es menor.
- El despacho de tiempo real, ajusta las desviaciones resultantes del despacho de corto plazo, haciendo uso óptimo de los recursos disponibles.

- The generic approach assigns the generation dispatch in the strict order of increasing marginal cost of the units, to satisfy the demand, unless there are limitations or restrictions on the electrical system (according to the rules of the Public Service Act Electricity - LSPEE).

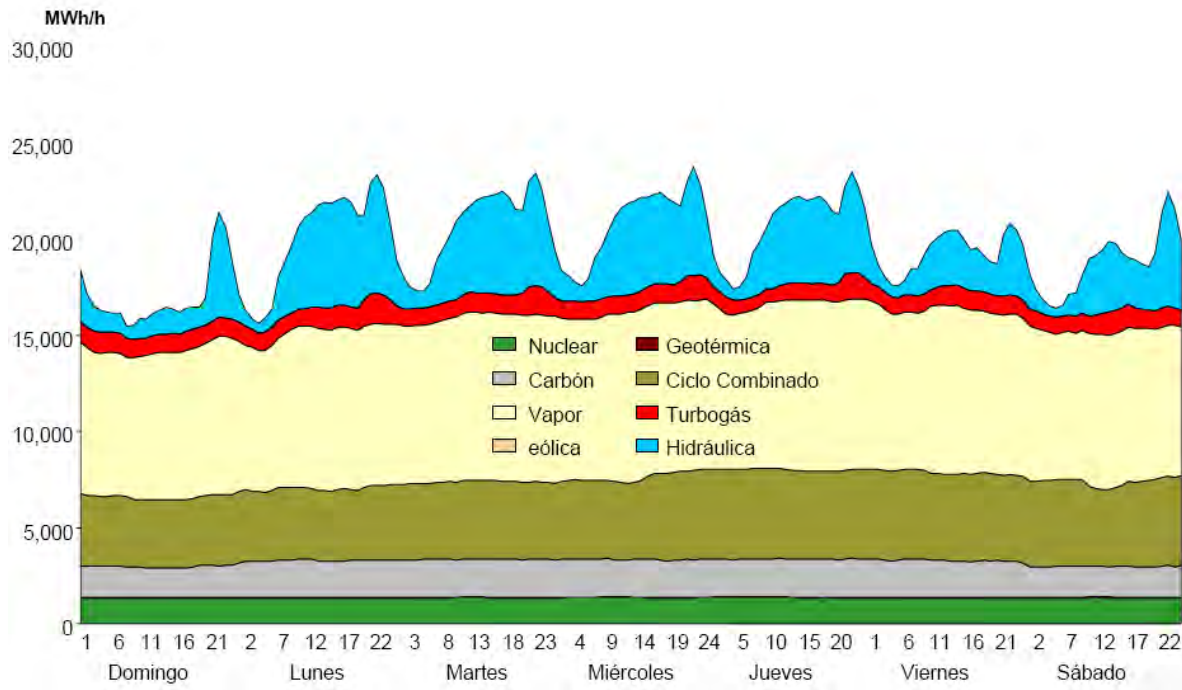


Figure 3.4

Office of the peak demand of the National Interconnected System

Table 3.1 presents monthly changes in energy demand in some areas of the country. These variations are mainly dependent on climate and pumping for irrigation, the difference is relatively small.



- El criterio genérico del despacho asigna la generación en el estricto orden creciente del costo marginal de las unidades, hasta satisfacer la demanda, a menos que existan limitaciones o restricciones en el sistema eléctrico (de acuerdo al reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica - LSPEE).

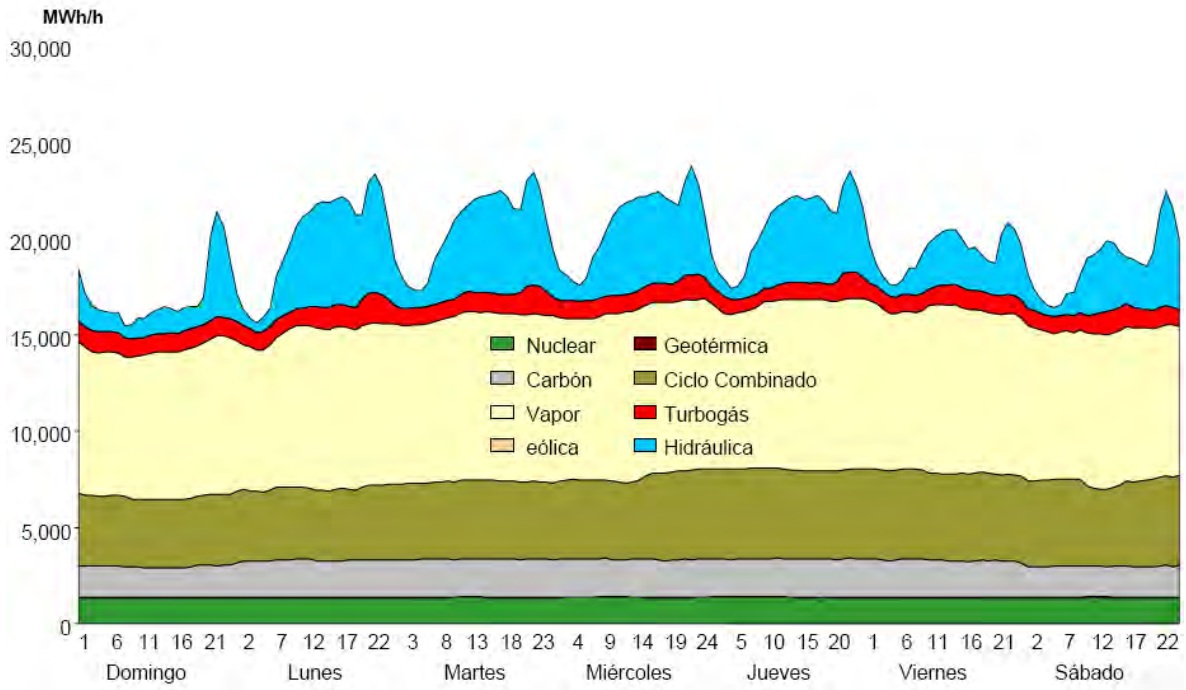


Figura 3.4

Despacho de la demanda máxima del Sistema Interconectado Nacional

En la tabla 3.1 se presentan las variaciones de la demanda mensual de energía en algunas zonas del país. Estas variaciones dependen principalmente del clima y del bombeo para riego, cuya diferencia es relativamente pequeña.

ZONE					
MONTH	I	II	III	IV	V
JAN	102.5	102.5	99.5	92.5	100.5
FEB	102.5	103.5	99.0	98.0	104.0
MAR	101.5	102.5	99.0	104.0	107.0
APR	99.0	100.0	99.0	104.5	108.0
MAY	98.5	98.0	98.5	105.0	102.0
JUN	97.5	98.5	100.5	104.5	97.5
JUL	97.5	97.5	100.0	106.5	91.0
AGU	97.5	97.0	106.0	106.0	93.5
SEP	98.5	100.0	100.5	98.0	95.5
OCT	101.5	100.0	99.0	94.5	97.5
NOV	101.5	101.0	97.5	94.0	99.0
DEC	102.5	100.5	99.0	92.5	100.5

ZONES	
I	CENTRAL
II	PUEBLA - VERACRUZ
III	FALCÓN - MONTERREY
IV	SONORA - SINALOA, TIJUANA - MEXICALI, TORREÓN - CHIHUAHUA
V	MICHOACÁN - CHÁPALA - GUANAJUATO

Table 3.1

Monthly variations of electricity demand as a percentage of average

In relation to the assessment, design and operation of a hydroelectric plant, you can submit the following points:

1. Excessive growth in demand, which can be regarded as infinite, so the construction of a project should be suspended if the comparison of economic indicators suggest the existence of projects more attractive, or do not have the economic capacity to do .
2. Within the daily demand are different variations depending on the time, same can't be covered by a thermoelectric generation, since these plants work only to meet the demand base. In order to meet the demand in the presence of peaks are used the hydroelectric power plants and the generation based on gas, of which hydroelectric plants have the ability to regulate floods and generate peak power. Should be considered in the economic analysis a higher profit the peak kWh generated kWh generated at the base.

ZONA					
MES	I	II	III	IV	V
ENE	102.5	102.5	99.5	92.5	100.5
FEB	102.5	103.5	99.0	98.0	104.0
MAR	101.5	102.5	99.0	104.0	107.0
ABR	99.0	100.0	99.0	104.5	108.0
MAY	98.5	98.0	98.5	105.0	102.0
JUN	97.5	98.5	100.5	104.5	97.5
JUL	97.5	97.5	100.0	106.5	91.0
AGO	97.5	97.0	106.0	106.0	93.5
SEP	98.5	100.0	100.5	98.0	95.5
OCT	101.5	100.0	99.0	94.5	97.5
NOV	101.5	101.0	97.5	94.0	99.0
DIC	102.5	100.5	99.0	92.5	100.5

ZONAS	
I	CENTRAL
II	PUEBLA - VERACRUZ
III	FALCÓN - MONTERREY
IV	SONORA - SINALOA, TIJUANA - MEXICALI, TORREÓN - CHIHUAHUA
V	MICHOACÁN - CHÁPALA - GUANAJUATO

Tabla 3.1

Variaciones mensuales de la demanda eléctrica, en porcentaje respecto a la media.

En relación con la evaluación, diseño y operación de una planta hidroeléctrica, se pueden presentar los puntos siguientes:

1. Un crecimiento excesivo de la demanda, el cual puede considerarse como infinito, por lo cual la construcción de un proyecto debe suspenderse cuando la comparación de los índices económicos indiquen la existencia de proyectos más atractivos, o cuando no se cuenta con la capacidad económica para realizarlo.
2. Dentro de la demanda diaria se presentan distintas variaciones dependiendo de la hora, mismas que no pueden ser cubiertas por la generación de una termoeléctrica, ya que estas plantas trabajan únicamente para cubrir la demanda base. Para poder satisfacer la demanda en presencia de picos se emplean las plantas hidroeléctricas y las de generación de energía con base a gas, de las cuales las plantas hidroeléctricas tienen la capacidad de regular avenidas y así generar energía en punta. Se debe considerar en el análisis económico un beneficio mayor al kWh generado en el pico que al kWh generado en la base.

Based on the above observations suggest the following recommendations:

- In the case of the stages of feasibility or feasibility assessment should be carried out using the three types of operation policy:
  - i. Extraction constant.- Arises to extract a constant flow throughout the simulation period. The generation interval is determined either by using the following formula:

$$E = 9.81 Q \bar{H} \eta \Delta t \quad (3.13)$$

- where
  - o  $E$  energy generated in the interval  $\Delta t$ , in  $kWh$
  - o  $\bar{H}$  average level in the interval, in  $m$
  - o  $\eta$  conduction efficiency of the turbogenerator set
  - o  $\Delta t$  time interval in  $s$ .
  - o  $Q$  extraction flow,  $m^3 / s$

- ii. Extraction variable.- changes based on the contributions you can set the various mining laws, which aims to generate more energy in times of flood in dry season. To meet such a target is set according to volumes extracted for each interval.
- iii. Constant power operation.- simulation of reservoir is done by setting a constant power, calculating the volume to draw from the following equation:

$$V = \frac{P \Delta t}{9.81 \bar{H} \eta} \quad (3.14)$$

- where
  - o  $V$  the volume extracted in the interval, in  $m^3$

Partiendo de las observaciones anteriores se sugieren las recomendaciones siguientes:

- Para el caso de las etapas de prefactibilidad o de factibilidad, se debe realizar la evaluación empleando los tres tipos de política de operación:
  - i. Extracción constante.- se plantea que se extrae un gasto constante durante todo el periodo de simulación. La generación en un intervalo cualquiera se determinara mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$E = 9.81 Q \bar{H} \eta \Delta t \quad (3.13)$$

- donde
  - $E$  energía generada en el intervalo  $\Delta t$ , en  $kWh$
  - $\bar{H}$  nivel medio en el intervalo, en  $m$
  - $\eta$  eficiencia del conjunto conducción turbogenerador
  - $\Delta t$  intervalo de tiempo, en  $s$
  - $Q$  gasto de extracción, en  $m^3 / s$
- ii. Extracción variable.- partiendo de las variaciones de las aportaciones se pueden fijar las diversas leyes de extracción, las cuales tiene como objetivo generar más energía en época de avenidas que en época de estiaje. Para cumplir con tal objetivo se fija una función de los volúmenes extraídos para cada intervalo.
- iii. Potencia constante.- la simulación del funcionamiento de vaso se realiza fijando una potencia constante, calculando el volumen a extraer partiendo de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{P \Delta t}{9.81 \bar{H} \eta} \quad (3.14)$$

- donde
  - $V$  volumen extraído en el intervalo, en  $m^3$

The results for the three types of policies differ mainly used to the characteristics of each project under consideration (natural regime of the current relationship between the levels and volumes of reservoir, etc.). Depending on the stage of study and optimum performance during the actual operation of the plant, determine the selection of operating policy, which in turn depends on the functioning of other hydroelectric and thermoelectric plants.

2.3.2. Volume evaporated directly on the reservoir (VEVA)

The volume lost to evaporation is calculated by multiplying the sheet (EVAP), in the interval, the average area of the surface of the water in the same range, that is:

$$VEVA = EVAP (\bar{A}) \tag{3.15}$$

The evaporated film is calculated by multiplying the measured values of an evaporimeter, a correction factor which depends on the characteristics of the device and to a lesser extent, average weather conditions. Table 3.2 shows the correction factor values for different evaporimeters, in case you need more accurate figures can be used 3.5.a and 3.5.b.

Name	d [m]	h [m]	Features	Correction Factor
Class A	1.219	0.254	Base of the boat 0152 m above the ground. Operation Level 0051 m below the lip	0.70 (0.6 a 0.82)
Sunken Screened	0.61	0.914	The lip protrudes 0.051 m above the ground. Grid 0.006m	0.91 (variable)
*Colorado Sunken	0.528	0.457	Lip 0.051 m above ground	0.83 (0.75 a 0.86)
BPI Sunken	1.829	0.61		0.91 (variable)
Australian	Exterior	Exterior		0.9 (0.7 a 0.9)
	1.219	0.864		
	Interior	Interior		
	0.914	0.914		
Pishe			Based on evaporation through filter paper	0.8 (variable)

\* Square of 0.528 m per side

d Diameter

h Depth

Table 3.2  
Correction factor to adjust the values measured in the evaporation

Los resultados correspondientes a los tres tipos de política empleados diferencian principalmente a las características de cada proyecto en estudio (régimen natural de la corriente, relación entre los niveles y volúmenes del vaso, etc.). Dependiendo de la etapa de estudio y del desempeño óptimo durante la operación real de la planta, se determina la selección de la política de operación, la cual depende a su vez del funcionamiento de otras plantas hidroeléctricas y termoeléctricas.

3.3.2. *Volumen evaporado directamente del vaso (VEVA)*

El volumen que se pierde por evaporación se calcula multiplicando la lámina (EVAP), en el intervalo Δt, por el área media de la superficie libre del agua en el mismo intervalo; esto es:

$$VEVA = EVAP (\bar{A}) \tag{3.15}$$

La lámina evaporada se calcula multiplicando los valores medidos en un evaporímetro, por un factor de corrección el cual depende de las características del aparato y, en menor grado, de condiciones meteorológicas medias. La tabla 3.2 muestra los valores del factor de corrección para distintos evaporímetros; en caso de requerir mayor precisión pueden utilizarse las figuras 3.5.a y 3.5.b.

Nombre	d [m]	h [m]	Características	Factor de correccion
Clase A	1.219	0.254	Base del bote 0.152 m sobre el suelo. Nivel de operación 0.051 m bajo el labio	0.70 (0.6 a 0.82)
Sunken Screened	0.61	0.914	El labio sobresale 0.051 m del suelo. Rejilla de 0.006m	0.91 (variable)
*Colorado Sunken	0.528	0.457	Labio 0.051 m sobre el suelo	0.83 (0.75 a 0.86)
BPI Sunken	1.829	0.61		0.91 (variable)
Australiano	Exterior	Exterior		0.9 (0.7 a 0.9)
	1.219	0.864		
	Interior	Interior		
	0.914	0.914		
Pishe			Basado en evaporacion a traves de papel filtro	0.8 (variable)

\* Cuadrado de 0.528 m de lado

d Diametro

h Profundidad

Tabla 3.2  
Factor de corrección para ajustar los valores medidos en el evaporímetro

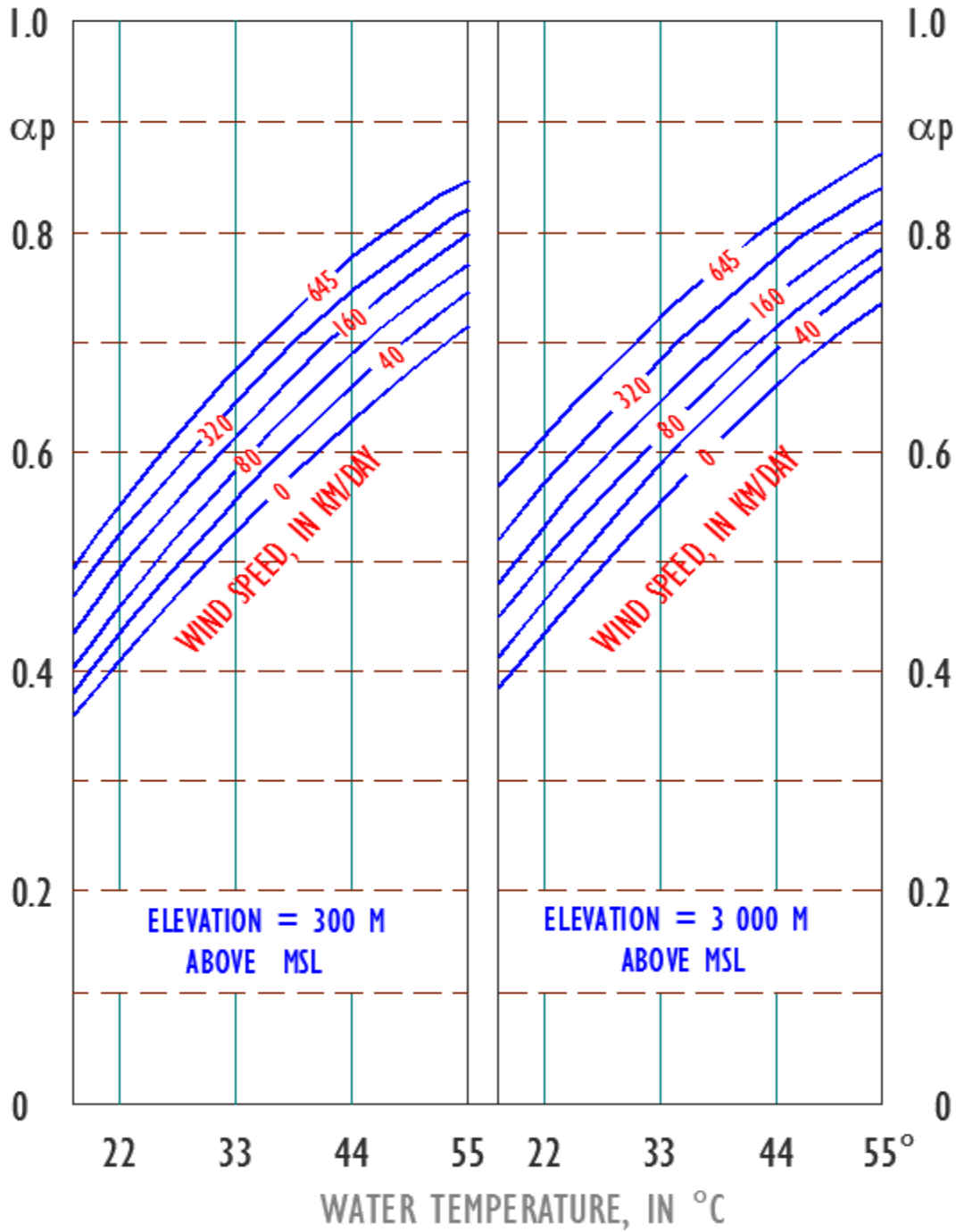


Figure 3.5a  
Calculation of the correction for average in an evaporimeter

- where

- o  $\alpha_p$  correction factor for the device (provided by the supplier)
- o °C temperature in degrees Celsius



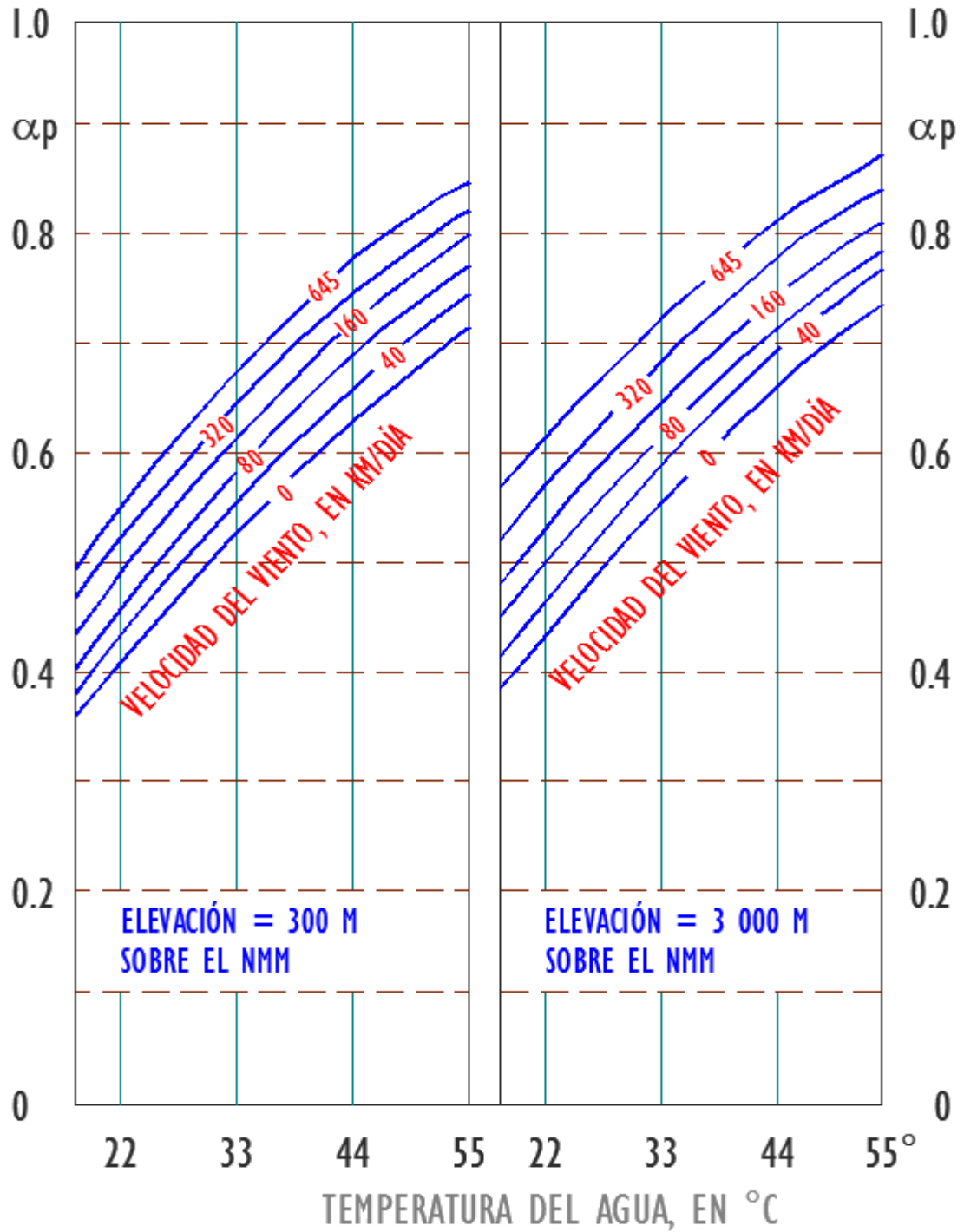


Figura 3.5a

Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro.

- donde
  - $\alpha_p$  factor de corrección del aparato (brindado por el proveedor)
  - °C temperatura en grados centígrados

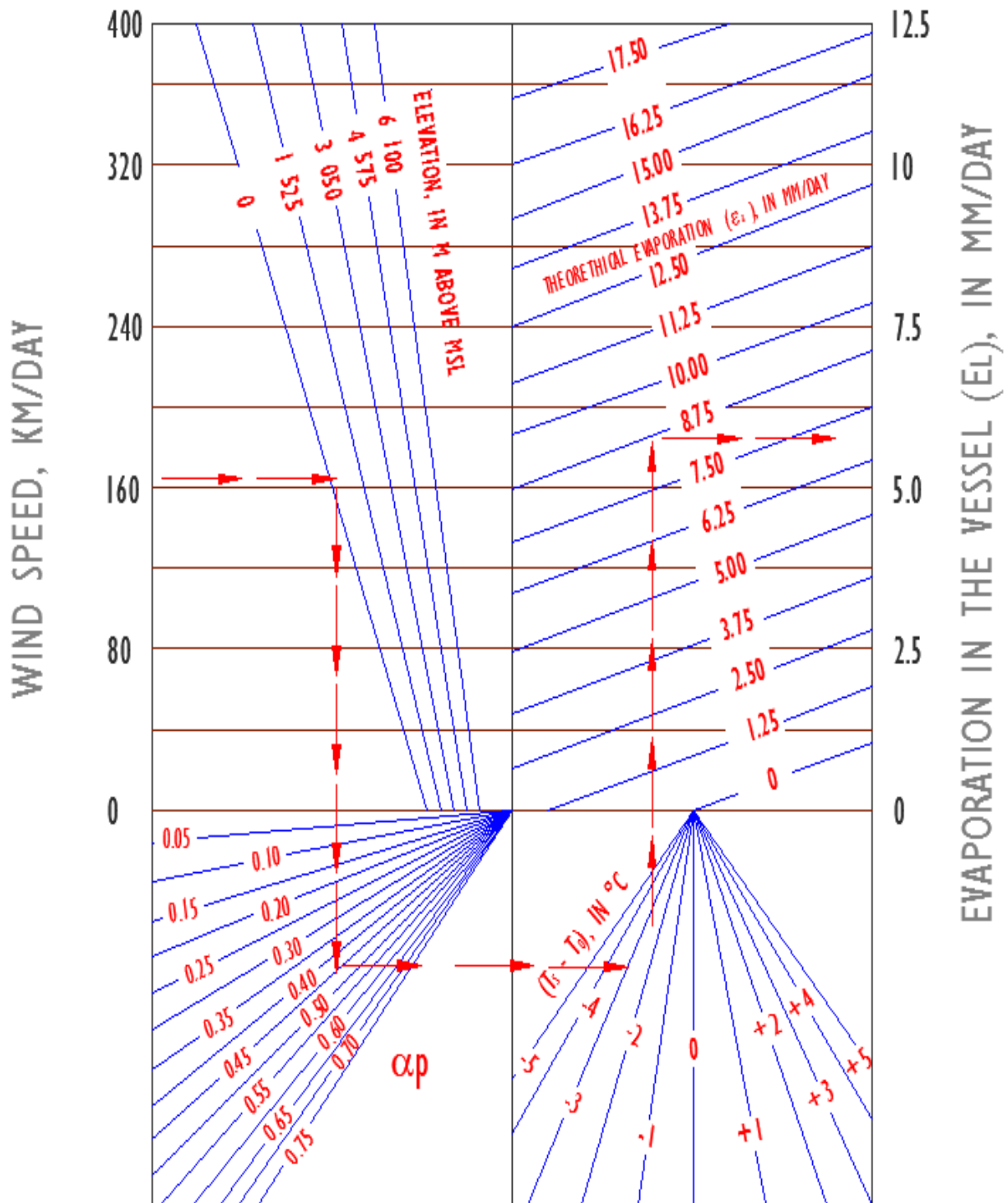


Figure 3.5b

Calculation of the correction for average evaporation in an evaporimeter

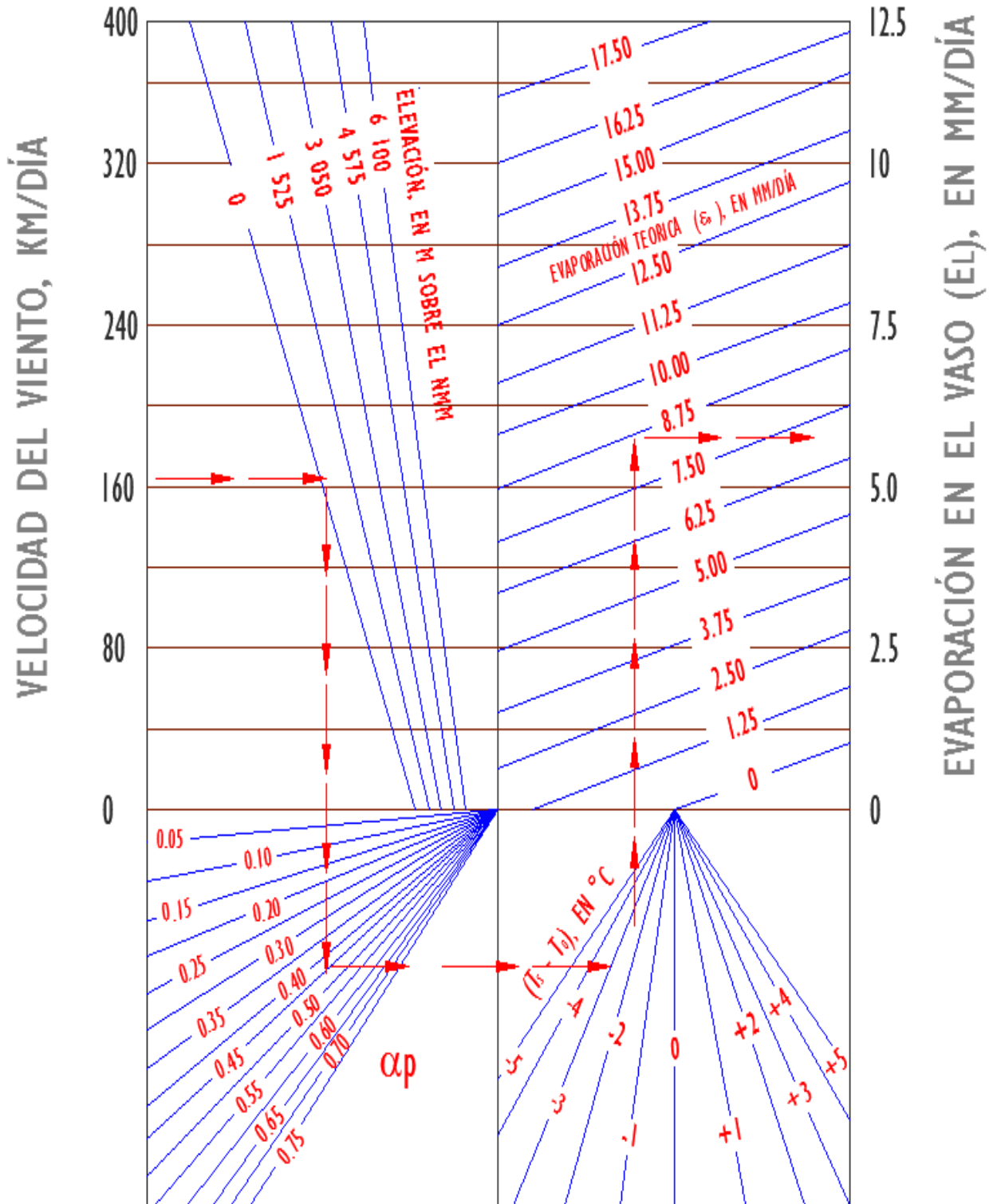


Figura 3.5b

Cálculo de la corrección para la evaporación medida en un evaporímetro

If you do not have evaporation reservoir near the site, the evaporated film can be calculated from weather data measured near the site in question, using the equation 3.16 proposed by Dalton to relate evaporation and other meteorological data.

$$EVAP = \frac{f(\omega_2)(e_s - e_a)}{L_v} \quad (3.16)$$

- where

- $EVAP$  half sheet evaporated
- $f(\omega_2)$  function of wind speed ( $\omega$ ) measured at two meters above water level. When the anemometer is positioned to another height  $Z$ ,  $\omega_2$  is calculated as:

$$\omega_2 = \omega_z \left( \frac{2}{Z} \right)^{0.143} \quad (3.17)$$

- $e_s$  saturation pressure. [It depends of the water temperature, Figure 3.6 shows how to calculate it].

En caso de no contar con evaporímetros cercanos al sitio del vaso, la lámina evaporada puede calcularse a partir de otros datos meteorológicos medidos cerca del sitio en cuestión, utilizando la ecuación 3.16 planteada por Dalton para relacionar la evaporación y otros datos meteorológicos.

$$EVAP = \frac{f(\omega_2)(e_s - e_a)}{L_v} \quad (3.16)$$

- donde

- $EVAP$  lamina media evaporada.
- $f(\omega_2)$  función de la velocidad del viento ( $\omega$ ) medida a dos m sobre el nivel del agua. Cuando el anemómetro este colocado a otra altura  $Z$ ,  $\omega_2$  se calcula como:

$$\omega_2 = \omega_z \left( \frac{2}{Z} \right)^{0.143} \quad (3.17)$$

- $e_s$  presión de saturación [depende de la temperatura del agua, la figura 3.6 muestra la forma de calcularla]

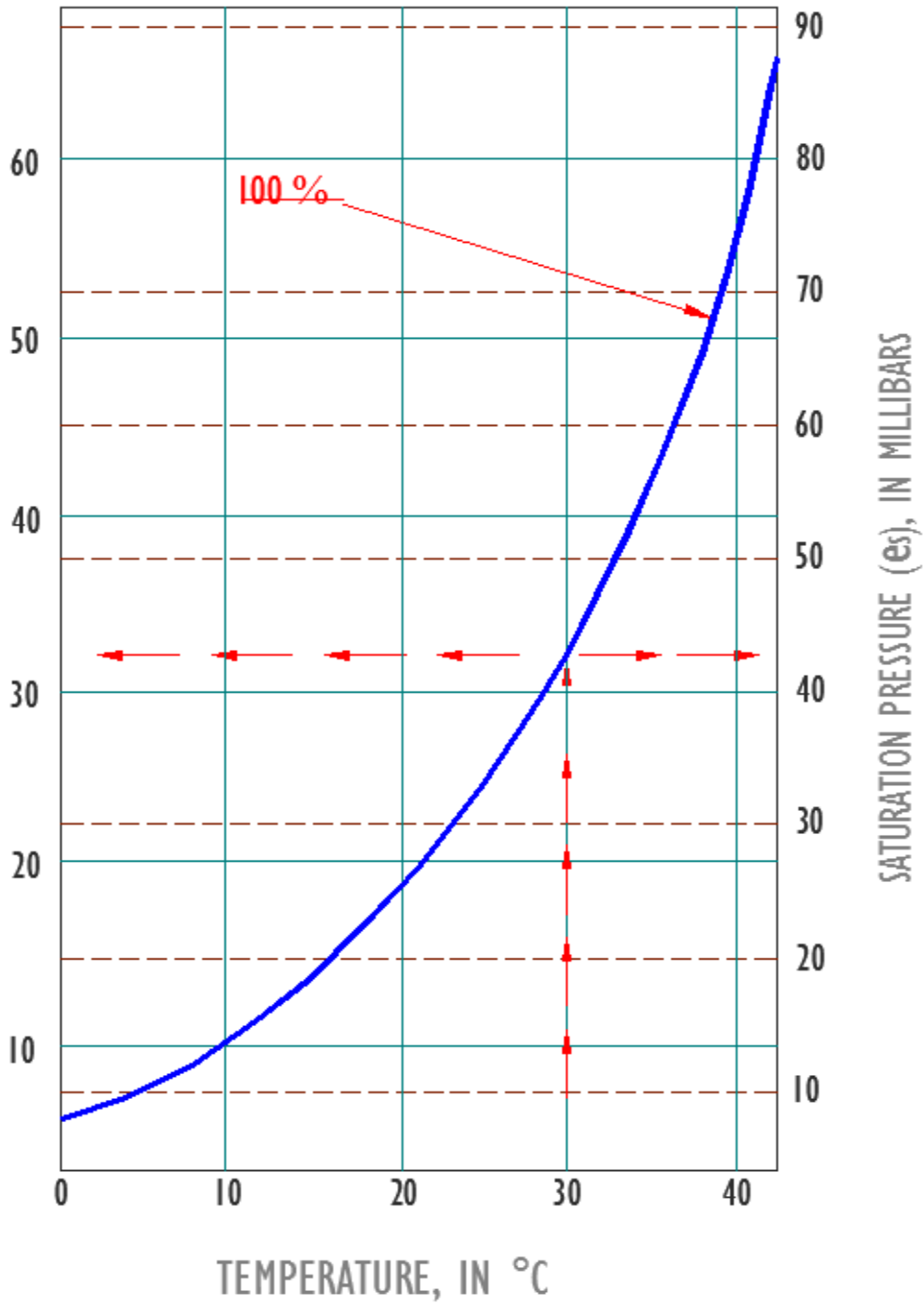


Figure 3.6  
Calculation of the saturation pressure

- $e_a$  vapor pressure of air temperature and relative humidity measures at two meters above the water [in Figure 3.7 shows how to calculate]

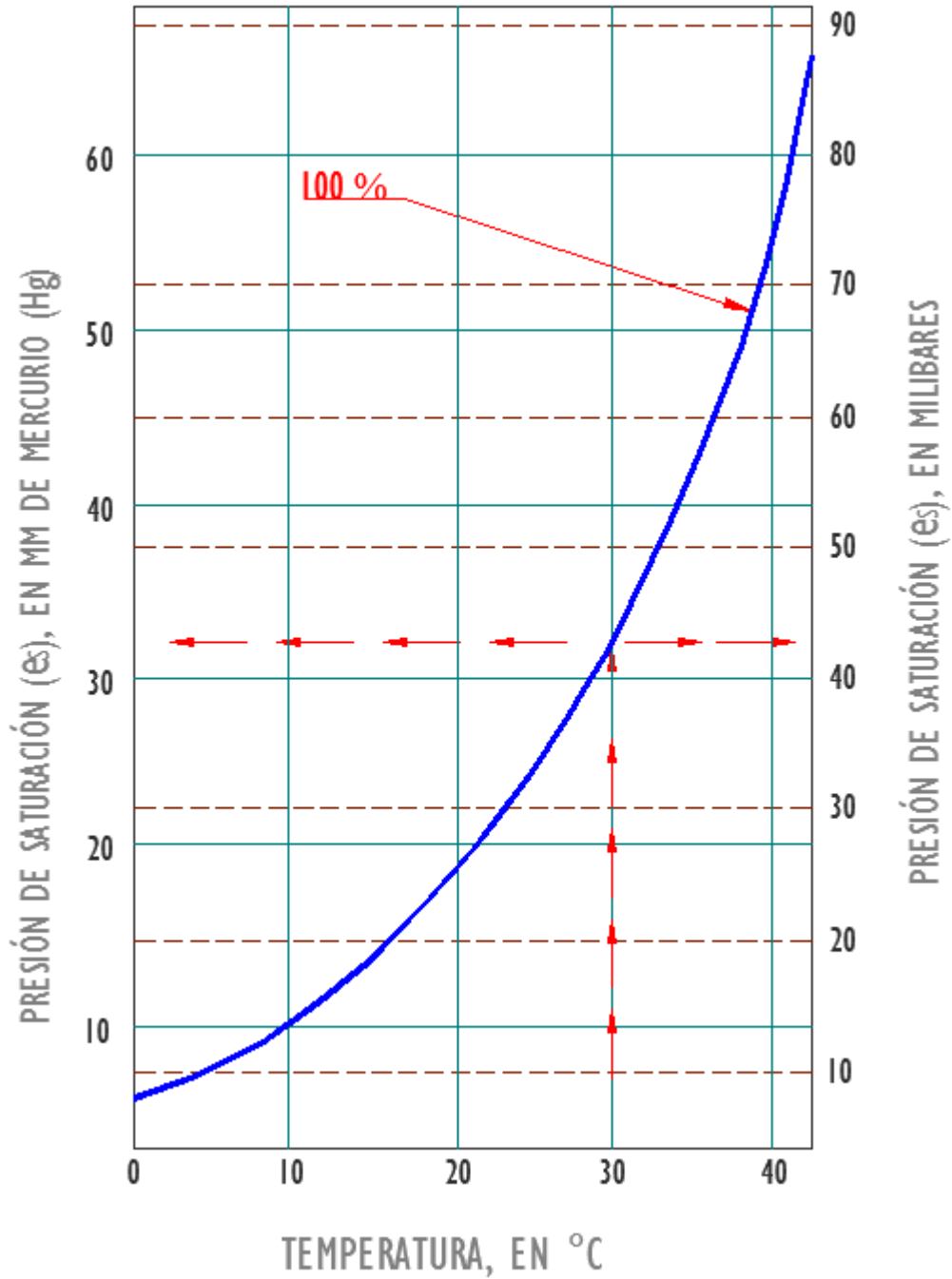


Figura 3.6  
 Cálculo de la presión de saturación.

- $e_a$  presión de vapor del aire, temperatura y humedad relativas medidas a dos metros sobre el nivel del agua [en la figura 3.7 se muestra como calcularla]

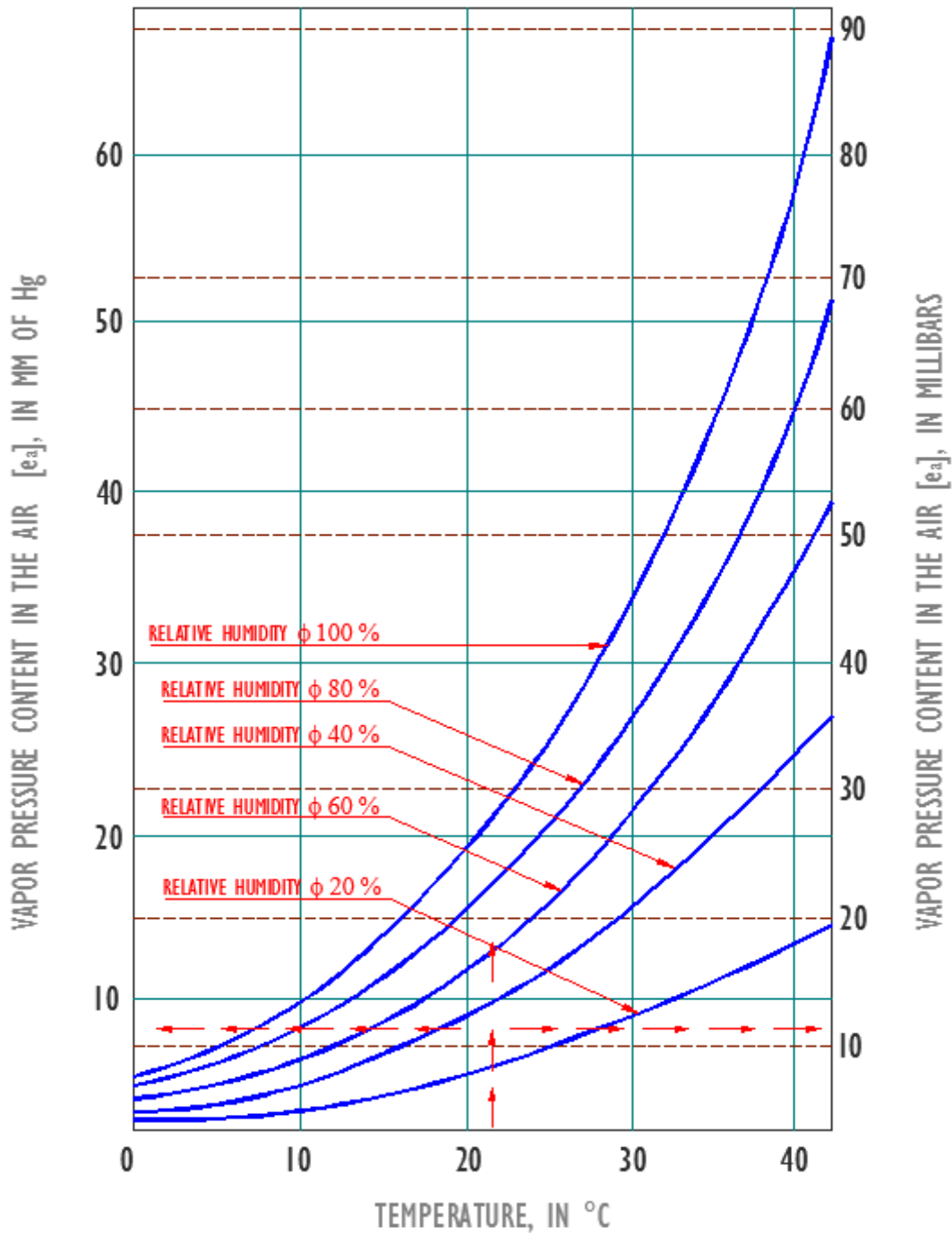


Figure 3.7  
Calculation of vapor pressure in air

- $L_v$  latent heat of evaporation [depending on water temperature,  $T_s$ ]

According to the empirical results of Hiriart, equation 3.16 is of the form:



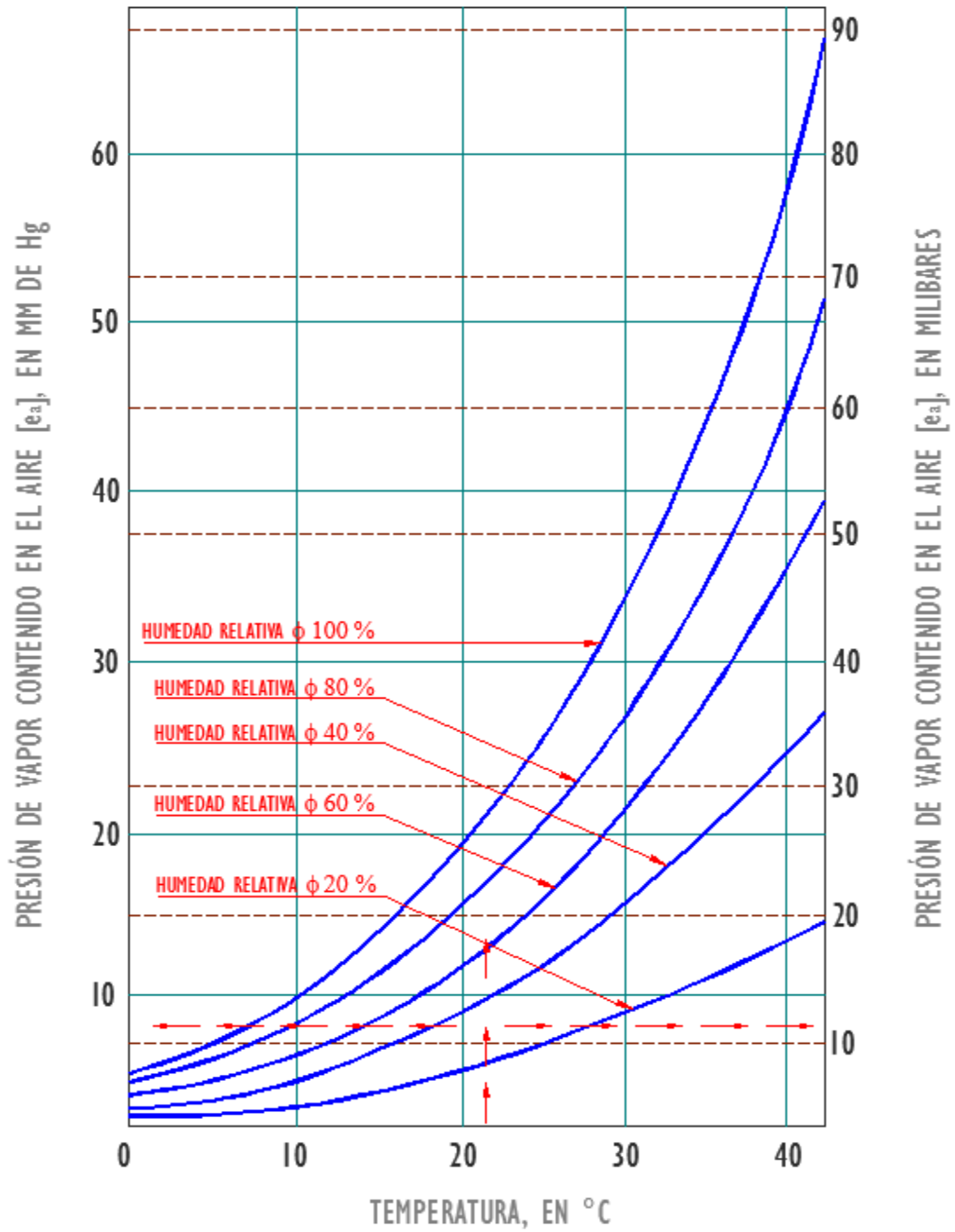


Figura 3.7

Calculo de la presión del vapor contenido en el aire

- $L_V$  calor latente de evaporación [función de la temperatura del agua,  $T_s$  ]

De acuerdo con los resultados empiricos de Hiriart, la ecuación 3.16 queda de la forma:

$$EVAP = \frac{4.833}{1\,070 - T_s} (70 + 1.86 \omega_2)(e_s - e_a) \tag{3.18}$$

Units for the equation [Equation 3.18] above:

- *EVAP*            Mm / day
- $\omega_2$              Km / hr
- $T_s$                ° C
- $e_s, e_a$           Mm Hg

AVERAGE MONTHLY NET EVAPORATIONS [mm]													
MONTH	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGU	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
Evaporation	95	114	160	191	228	186	153	133	135	130	115	113	1 752
Ev * 0,70	66	80	112	134	159	130	107	93	95	91	80	79	1 226
Precipitation	30	10	6	5	9	199	475	392	357	106	20	27	1 636
Net Evaporation Ev*0,70–hp	37	70	105	129	150	-69	-368	-299	-262	-15	60	52	-409

Table 3.3  
Net evaporation

3.3.3. *Volume infiltrated into the reservoir (VINI)*

Unlike direct precipitation and evaporation, the infiltrated volume is difficult to measure, is usually negligible, but otherwise you should make detailed geological survey for proper determination.

3.3.4. *Volume spilled (DERR)*

When the volume of floods entering the reservoir reaches a magnitude that threatens the prey, you need to download some of the water by the work of exceedances. If the reservoir is operating, accounting for the spill is done through direct measurements, in the design phase, the volume spilled is a result of the simulation depend on the levels characteristic and operating policy defined for alternatives to simulate.

$$EVAP = \frac{4.833}{1\ 070 - T_s} (70 + 1.86 \omega_2)(e_s - e_a) \tag{3.18}$$

Las unidades correspondientes a la ecuación anterior [ecuación 3.18]:

- $EVAP$             mm/día
- $\omega_2$                 Km/hora
- $T_s$                  °C
- $e_s, e_a$             mm de Hg

EVAPORACIONES NETAS MEDIAS MENSUALES [mm]													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Evaporación	95	114	160	191	228	186	153	133	135	130	115	113	1 752
Ev * 0,70	66	80	112	134	159	130	107	93	95	91	80	79	1 226
Precipitación	30	10	6	5	9	199	475	392	357	106	20	27	1 636
Evaporación neta Ev*0,70-hp	37	70	105	129	150	-69	-368	-299	-262	-15	60	52	-409

Tabla 3.3  
Evaporaciones Netas

3.3.3. Volumen infiltrado en el vaso (VINFI)

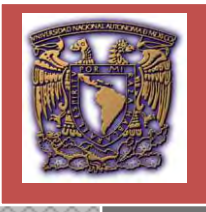
A diferencia de la precipitación directa y la evaporación, el volumen infiltrado es complicado de medir, comúnmente es despreciable. Sin embargo, en caso contrario se debe realizar un estudio geológico detallado para su correcta determinación.

3.3.3. Volumen derramado (DERR)

Cuando el volumen de las avenidas que ingresan al vaso alcanza tal magnitud que pone en peligro la presa, es necesario descargar parte del agua por la obra de excedencias. Si el vaso está funcionando, la contabilidad de los derrames se hace mediante mediciones directas; en la fase de diseño, el volumen derramado es un resultado de la simulación; depende de los niveles característicos y de la política de operación que se defina para las alternativas que se simulen.

The volume of water poured directly dependent on the operating policy of pouring (if it is controlled) and of NAMO, because the level of the crest of the spillway is usually positioned at the same elevation of NAMO. A monthly level could be estimated as the volume exceeds the NAMO.

El volumen de agua derramado depende directamente de la política de operación del vertedor (en caso de ser controlado) así como del NAMO, ya que el nivel de la cresta del vertedor generalmente está ubicado a la misma elevación del NAMO. A nivel mensual se puede estimar como el volumen que sobrepasa al NAMO.



***CAPÍTULO IV***  
***DISEÑO HIDROLÓGICO***  
***DE EMBALSES***  
***(CHAPTER IV***  
***HYDROLOGIC DESIGN OF***  
***RESERVOIRS)***

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



# INDEX

<b>4. HYDROLOGIC DESIGN OF RESERVOIRS</b>	170
4.1. Problems in the design of a reservoir	170
4.2. Relationship building - profit	172
4.3. Accounting Operation of a Reservoir	172
4.4. Design by historical simulation of the operation [Theory]	176
4.4.1. <i>Advantages of simulation</i>	176
4.4.2. <i>Water balance equation in the reservoir.</i>	176
4.5. Operational approach of the Organization of the United Nations Food and Agriculture [ FAO]	178
4.6. The operational approach <i>CFE</i>	178
4.7. Initial capacity filling or initial condition.	182
4.8. Precise statistical analysis of runoff	184
4.9. Changing demands and capacity for sediment	184
4.10. Estimation of evaporation and precipitation in the reservoir	186
4.11. Performance indicators of the reservoir and benefit restrictions	188
4.12. Reservoir performance simulation based on historical conditions.	190
4.13. Reservoir performance simulation based on synthetic hydrologic records.	192
4.14. Design by historical simulation of the operation [applications]	192
4.15. Design of multipurpose reservoirs	196
4.16. Fundamentals and advantages of stochastic design.	196
4.17. Operating procedure in large reservoirs.	198
4.18. Operational procedures in medium and small reservoirs.	198

# ÍNDICE

<b>4. DISEÑO HIDROLÓGICO DE EMBALSES</b>	171
4.1. Problemas en el diseño de un embalse	171
4.2. Relación capacidad – beneficio	173
4.3. Contabilidad del Funcionamiento de un Vaso	173
4.4. Diseño por simulación histórica de la operación [Teoría]	177
4.4.1. Ventajas de la simulación	177
4.4.2. Ecuación de balance hidrológico en el embalse.	177
4.5. Planteamiento operativo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [ FAO]	179
4.6. Planteamiento operativo de la CFE	179
4.7. Capacidad inicial o condición inicial de llenado.	183
4.8. Análisis estadísticos precisos a los escurrimientos	185
4.9. Evolución de las demandas y capacidad para los sedimentos	185
4.10. Estimación de la evaporación y la precipitación en el embalse	187
4.11. Indicadores de funcionamiento del embalse y restricciones de beneficios	189
4.12. Simulación del funcionamiento de vaso partiendo de condiciones Históricas.	191
4.13. Simulación del funcionamiento de vaso partiendo de registros hidrológicos sintéticos.	193
4.14. Diseño por simulación histórica de la operación [aplicaciones]	193
4.15. Diseño de embalses de usos múltiples	197
4.16. Fundamentos y ventajas del diseño estocástico.	197
4.17. Procedimiento operativo en grandes embalses.	199
4.18. Procedimiento operativo en embalses medianos y pequeños.	199



In the present chapter will describe the hydrologic design of a reservoir by using different approaches, we also studied the problems and benefits that may occur in a reservoir.

## 4. HYDROLOGIC DESIGN OF RESERVOIRS

### 4.1. Problems in the design of a reservoir

Preliminary studies on a reservoir design are focused on estimating the hydrologic potential of the current, and the key dimensions characterize the reservoir, it is commonly conducted under simplified design methods. However the final analysis they are oriented to provide for the operation of the reservoir systems by simulation of their behavior <sup>4.1</sup> <sup>4.2</sup>.

A simulation is a numerical representation of a sequence of events, which aims to rationally analyze the problem to choose a design solution in the reservoir or reservoir systems studied.

A reservoir or reservoir system integrates a water resources system to exploit water resources to supply the water needs.

When selecting a reservoir hydrologically simple, there may be two cases: direct and inverse. The case manager determines the useful capacity to meet demand based on a certain level of reliability desired. To carry out the direct case is recommended to follow the following steps:

1. Locate all hydrometric and climatic stations possible, to obtain all relevant information and inputs available [monthly runoff and rainfall] and monthly evaporation.
2. From the end of the reservoir to determine the demands.
3. To determine the limitations or restrictions in physical and hydrological project site. The physical constraints correspond to a limited capacity for the storage site or in the irrigation area. Hydrological constraints are integrated by grants and other water rights must be respected.

---

<sup>4.1</sup> D. P. Carr H. W. Underhill. Los Métodos de Simulación en el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. Parte II, capítulo 12: Sistema simple de almacenamiento, paginas 22 – 27. Estudio sobre riego y Avenamiento No. 23. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974. 65 páginas.

<sup>4.2</sup> Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.

En el capítulo presente se describe el diseño hidrológico de un embalse mediante el uso de distintos planteamientos, así mismo se estudian los problemas y beneficios que se pueden presentar en un embalse.

## 4. DISEÑO HIDROLÓGICO DE EMBALSES

### 4.1. Problemas en el diseño de un embalse

Los estudios preliminares de diseño de un embalse están enfocados a estimar el potencial hidrológico de la corriente, así como las dimensiones fundamentales que caracterizarán al embalse, comúnmente se llevan a cabo bajo métodos simplificados de diseño. En cambio, los análisis definitivos se encuentran orientados a estipular la operación del embalse o sistemas de embalses por medio de simulaciones de su comportamiento <sup>4.1</sup> <sup>4.2</sup>.

Una simulación es una representación numérica de una sucesión de eventos, cuyo objetivo consiste en analizar de manera racional el problema para optar por una solución de diseño en el embalse o sistemas de embalses estudiados.

Un embalse o sistema de embalses integran un sistema de recursos hidráulicos destinado a aprovechar los recursos hídricos para abastecer las necesidades en materia de agua.

Al dimensionar hidrológicamente un embalse simple, se pueden presentar dos casos: el directo y el inverso. El caso directo determina la capacidad útil para satisfacer una determinada demanda basándose en un nivel de confiabilidad deseado. Para poder llevar a cabo el caso directo se recomienda seguir los pasos siguientes:

1. Ubicar todas las estaciones hidrométricas y climatológicas posibles, para obtener toda la información útil y disponible de aportaciones [escurrimientos y lluvias mensuales] y de evaporación mensual.
2. Partiendo del fin del embalse determinar las demandas.
3. Determinar las limitantes o restricciones físicas e hidrológicas en el sitio del proyecto. Las restricciones físicas corresponden a una capacidad limitada en el sitio para el almacenamiento, o bien en la zona de riego. Las restricciones hidrológicas están integradas por concesiones y otros derechos de agua que se deben respetar.

---

<sup>4.1</sup> D. P. Carr H. W. Underhill. Los Métodos de Simulación en el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. Parte II, capítulo 12: Sistema simple de almacenamiento, paginas 22 – 27. Estudio sobre riego y Avenamiento No. 23. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974. 65 páginas.

<sup>4.2</sup> Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.

4. In accordance with the purpose of the reservoir to establish a deficit based on the demands.
5. Perform various simulations for different capacities useful operation thus get the benefits achievable capacity curve to determine the necessary capacity to meet the demand of the project.

In the reverse case sets a usable capacity of the reservoir and quantified to meet demand under a given reliability. This case occurs when the work or reservoir already constructed [operation] and changing variables in contrast to the direct case, for example, the regime of runoff due to construction of a new reservoir upstream or the claims may be affected by changes in crops, etc.

#### **4.2. Relationship building - profit**

One of the basic hydrological analysis related to the design of these works is the relationship between capacity and performance or removal of a reservoir feasible. To determine this relationship is empirical and theoretical methods applied to hydrological records available [runoff, precipitation, evaporation and demands], which are calculated for regulatory purposes in the reservoir.

Considering that no reservoir or system can give them absolute control over a river runoff, withdrawals will occur as long as spills, lost by evaporation and leakage, storage capacity will be reduced by sedimentation, resulting in a certain time available water fails to meet the demands. Therefore, the hydrologic design of a reservoir is defined by the combination between capacity and demand with no shortages occur.

To determine the relationship capabilities - benefits there are two methods, approximate methods of design and the method of simulating the operation of the reservoir. The approximate methods of design are quick and easy application, which can construct a curve about the relationship capabilities - benefits, but generally do not consider evaporation losses and settle under constant demand. In contrast, the design method for simulation of reservoir operation described in subsection 4.4, is an analysis that considers all aspects of importance for the building - benefits.

#### **4.3. Accounting Operation of a Reservoir**

When you start the duty cycle of the reservoir, be necessary to break the terms of the equation 2.5, for keeping records of each of its terms.

4. De acuerdo con el propósito del embalse establecer un déficit partiendo de las demandas.
5. Realizar diversas simulaciones de operación para diferentes capacidades útiles con lo cual se obtiene la curva capacidades beneficios factibles, para determinar la capacidad necesaria con la que se satisface la demanda del proyecto.

En el caso inverso se fija una capacidad útil del embalse y se cuantifica la demanda a satisfacer bajo una determinada confiabilidad. Este caso se presenta cuando la obra o embalse ya están construida [operación], ya que cambian algunas variables a diferencia del caso directo, por ejemplo, el régimen de escurrimientos debido a la construcción de un nuevo embalse aguas arriba o las demandas pueden verse afectadas por cambios en los cultivos, etc.

#### **4.2. Relación capacidad – beneficio**

Uno de los análisis hidrológicos básicos relacionados con el diseño de estas obras es la relación entre la capacidad y el rendimiento o extracción factibles de un embalse. Para determinar dicha relación se aplican métodos empíricos y teóricos a los registros hidrológicos disponibles [escurrimientos, precipitaciones, evaporaciones y demandas], con lo cual se calculan los efectos de regulación en el embalse.

Considerando que ningún embalse o sistema de los mismos puede otorgar un control absoluto de los escurrimientos sobre un río, se producen siempre extracciones como derrames, pérdidas por evaporación y fugas, la capacidad de almacenamiento se ve reducida por la sedimentación, provocando que en determinado tiempo el agua disponible no logre cubrir las demandas. Por lo tanto el diseño hidrológico de un embalse se define por la combinación entre la capacidad y la demanda con la que no ocurra escasez.

Para determinar la relación capacidades – beneficios existen dos métodos: por los métodos aproximados de diseño y por el método de la simulación de la operación del embalse. Los métodos aproximados de diseño son de fácil y rápida aplicación, y permiten construir una curva aproximada de la relación capacidades – beneficios; sin embargo, generalmente no consideran las pérdidas por evaporación y se establecen bajo una demanda constante. En cambio, el método de diseño por simulación de la operación del embalse que se describe en el inciso 4.4, es un análisis que considera todos los aspectos importantes para la relación capacidades – beneficios.

#### **4.3. Contabilidad del Funcionamiento de un Vaso**

Al iniciar el ciclo de servicio de la presa, es necesario desglosar los términos de la ecuación 2.5, para llevar la contabilidad de cada uno de sus términos.

Such records are regularly published in a clearly understandable format, which should include the measurement procedures.

From Equation 2.5, the accounts are estimated as follows:

1. Income from transfers due to contributions from other basins are recorded, by way of indicating their origin. If you have no contributions from other basins which are measures indicate.
2. Are recorded runoff generated by its own basin [including average values of the gauging stations]. If one part of the basin is not far, outlining the value of the volume and area.
3. Shows the amount of rain in the reservoir, calculating the average area of the free surface of water in the average range of the air at the beginning and end.

$$\bar{A} = 0.5(A_i + A_f) \tag{4.1}$$

- where

- o  $A_i$  area of the reservoir at the beginning of the interval, in  $m^2$
- o  $A_f$  area of the reservoir at the end of the interval,  $m^2$

4. Indicate the sum of the three preceding paragraphs which resulted in total contributions.
5. Indicate the volume delivered to meet demand. We recommend installing a gauging station downstream of the reservoir to check the volume extracted by the turbines with the calculated values of the energy generated.
6. Are calculated and indicate the volume evaporated.
7. In case of having strokes, is indicated in volume.
8. Indicate and plotted the values of the lift curves, areas and capacity of the reservoir.
9. We calculate the variation of the volume stored.
10. Indicate the error obtained by comparing the members of the equation 2.5.

Dicha contabilidad se publica periódicamente de manera clara con un formato fácil de entender, el cual debe incluir los procedimientos de medición.

Partiendo de la ecuación 2.5, la contabilidad se estima de la manera siguiente:

1. Los ingresos de transferencias debidos a aportaciones de otras cuencas son registrados, a manera de indicar su procedencia. Si se cuenta con aportaciones de otras cuencas no medidas se indicara cuales son.
2. Se registran los escurrimientos generados por cuenca propia [incluyendo los valores medios de las estaciones de aforo]. En caso de que una parte de la cuenca no esté medida, se indicara el valor del volumen y su área.
3. Se indica el volumen de lluvia en el vaso, calculando el área media de la superficie libre del agua en el intervalo como promedio de las aéreas al principio y al final del mismo.

$$\bar{A} = 0.5(A_i + A_f) \quad (4.1)$$

- donde

- o  $A_i$       área del vaso al principio del intervalo, en  $m^2$
  - o  $A_f$       área del vaso al final del intervalo,  $m^2$
4. Se indica la suma de los tres incisos anteriores obteniendo como resultado el total de las aportaciones.
  5. Se indica el volumen entregado para satisfacer la demanda. Se recomienda instalar una estación hidrométrica aguas abajo de la presa para comprobar los volúmenes extraídos por las turbinas con los valores calculados de la energía generada.
  6. Se calcula e indica el volumen evaporado.
  7. En caso de contar con derrames, se indica su volumen.
  8. Se indican y grafican los valores de las curvas elevación, áreas y capacidades del vaso.
  9. Se calcula la variación del volumen almacenado.
  10. Se indica el error obtenido al comparar los miembros de la ecuación 2.5.

#### 4.4. Design by historical simulation of the operation [Theory]

##### 4.4.1. Advantages of simulation

Prior to simulation methods were developed and used for reservoir operation plans existing as well as to improve the operation of reservoir systems. Over the years due to the search for greater efficiency in the use of water resources, growth in demand, various uses of the reservoirs, etc., has created a need for a more detailed analysis, which has been addressed by using computer simulation, which simulates both the design and operation of the analytical performance of reservoirs.

Among the advantages of the simulation of reservoirs is the power to analyze simple or complex and rapidly perform the calculations required number of probabilistic analysis to estimate the evolution of the possibility that the system can't meet demand.

##### 4.4.2. Water balance equation in the reservoir

Within the analysis of the functioning of the reservoir, the volume stored ( $V$ ) and their variations are determined by water balance equation, which is:

$$V_{t+1} = V_t + E_t - D_t - DE_t - L_t \quad (4.2)$$

- Subject to:

$$0 \leq V_{t+1} \leq C_u \quad (4.3)$$

- where

- $V_{t+1}$  storage at the end of the period analyzed
- $V_t$  storage at the beginning of the period analyzed
- $E_t$  runoff during the period analyzed
- $D_t$  demand during the period analyzed
- $DE_t$  net evaporation loss during the period analyzed
- $L_t$  other losses
- $C_u$  net capacity or active

\* All variables are in millions of cubic meters. [ $Mm^3$ ]

#### 4.4. Diseño por simulación histórica de la operación [Teoría]

##### 4.4.1. Ventajas de la simulación

Anteriormente, los métodos de simulación eran elaborados y utilizados para planes de operación de embalses existentes, así como para mejorar el funcionamiento de los sistemas de embalses. Con el paso de los años debido a la búsqueda de una mayor eficiencia en la utilización de recursos hidráulicos, el crecimiento de la demanda, diversos usos de los embalses, etc., se ha creado la necesidad de un análisis más detallado, lo cual ha sido abordado mediante el uso de la simulación computarizada, que permite simular tanto el diseño como la operación del funcionamiento analítico de embalses.

Dentro de sus ventajas de la simulación del funcionamiento está el poder analizar embalses simples y/o complejos y realizar con rapidez el número de cálculos que requiere el análisis probabilístico, para estimar la evolución de la posibilidad de que el sistema no pueda satisfacer las demandas.

##### 4.4.2. Ecuación de balance hidrológico en el embalse

Dentro del análisis del funcionamiento del embalse, el volumen almacenado ( $V$ ) y sus variaciones son determinados mediante la ecuación de balance hidrológico, la cual está dada por:

$$V_{t+1} = V_t + E_t - D_t - DE_t - L_t \quad (4.2)$$

- Sujeta a:

$$0 \leq V_{t+1} \leq C_u \quad (4.3)$$

- donde

- $V_{t+1}$  almacenamiento al final del periodo analizado
- $V_t$  almacenamiento al comienzo del periodo analizado
- $E_t$  escurrimiento durante el periodo analizado
- $D_t$  demanda durante el periodo analizado
- $DE_t$  perdida por evaporación neta durante el periodo analizado
- $L_t$  otras pérdidas
- $C_u$  capacidad útil o activa

\* Todas las variables se expresan en millones de metros cúbicos [ $Mm^3$ ]



The time interval used for analysis is usually one month, however this can be annual or daily. Net evaporation losses are the difference between evaporation from the reservoir area less rainfall in the same area. Infiltration into the reservoir through the curtain, outlet works, penstocks, turbines, etc. [L], Usually are very small in comparison with other quantities of the equation 4.2, which are negligible in the final designs.

#### 4.5. Operational approach of the Organization of the United Nations Food and Agriculture

The operating procedure <sup>4.3</sup> is carried out as follows: it is estimated precipitation, evaporation and runoff for the month in which the simulation is analyzed subsequently quantified the volumes of water that is lost due to evaporation and seepage. For that quantification is required volume relationship - reservoir area, and that evaporation is calculated according to the reservoir area. Adding to the runoff volume and precipitated in the reservoir is obtained demand months in the analysis based on the volume of the reservoir at the end of the previous month to determine whether it is feasible to meet demand and to calculate the differences or if spills .

Based on the volume stored at the end of the previous interval, defines the losses by seepage and surface area of the reservoir. This consideration does not conform to reality in the season of heavy withdrawals.

#### 4.6. The operational approach

This approach uses the next version <sup>4.4</sup> of the equation 4.2:

$$V_{t+1} = V_t + E_t - S_t - P_t \quad (4.4)$$

- Subject to:

$$V_m \leq V_{t+1} \leq V_u \quad (4.5)$$

<sup>4.3</sup> D. P. Carr H. W. Underhill. Los Métodos de Simulación en el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. Parte II, capítulo 12: Sistema simple de almacenamiento, paginas 22 – 27. Estudio sobre riego y Avenamiento No. 23. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974. 65 páginas.

<sup>4.4</sup> Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.

El intervalo de tiempo usado para el análisis comúnmente es de un mes; sin embargo, este puede ser anual o diario. Las pérdidas por evaporación neta son la diferencia entre la evaporación desde el área del embalse menos la precipitación en la misma superficie. Las infiltraciones en el embalse, a través de la cortina, obras de toma, compuertas, turbinas, etc. [L], por lo general son muy pequeñas en comparación con las otras magnitudes de la ecuación 4.2, por lo cual son despreciables en los diseños definitivos.

#### 4.5. Planteamiento operativo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]

El procedimiento operativo <sup>4.3</sup> se lleva a cabo de la siguiente manera: se calcula la precipitación, evaporación y escurrimiento correspondiente al mes en el que se analiza la simulación; posteriormente se cuantifican los volúmenes de agua que se pierden debido a las evaporaciones y filtraciones. Para dicha cuantificación se requiere la relación volumen – área del vaso, ya que la evaporación se calcula en función del área del embalse. Se suma al escurrimiento el volumen precipitado en el embalse y se obtiene la demanda del mes en el análisis basándose en el volumen del embalse al término del mes anterior, para determinar si es factible satisfacer la demanda y así calcular las diferencias o en su caso derrames.

Con base en el volumen almacenado al final del intervalo anterior, se determinan las pérdidas por filtraciones y el área de la superficie del embalse. Esta consideración no se apega a la realidad en la temporada de las extracciones fuertes.

#### 4.6. Planteamiento operativo de la CFE

En este planteamiento se utiliza la siguiente versión <sup>4.4</sup> de la ecuación 4.2:

$$V_{t+1} = V_t + E_t - S_t - P_t \quad (4.4)$$

- Sujeta a:

$$V_m \leq V_{t+1} \leq V_u \quad (4.5)$$

<sup>4.3</sup> D. P. Carr H. W. Underhill. Los Métodos de Simulación en el Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. Parte II, capítulo 12: Sistema simple de almacenamiento, páginas 22 – 27. Estudio sobre riego y Avenamiento No. 23. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974. 65 páginas.

<sup>4.4</sup> Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.

- where
  - $S_t$  check to meet demand during the period analyzed, restricted availability, which occurs when  $V_{t+1} > Vm$  or minimum volume [capacity dead], which defines the minimum water level [ $NAMIN$ ] or lower threshold for the first shot
  - $P_t$  terms which depends on the middle level in the reservoir in the interval, are the precipitate size [ $VLL$ ], the evaporated [ $VEVA$ ] and infiltration [ $VINF$ ]
  - $Vu$  volume corresponding to the sum of dead and useful skills, which defines the normal maximum water level [ $NAMO$ ]

\* Since the units of the new terms [in  $Mm^3$ ]

Equation 4.4 is applied by starting the calculation of each month for a first approximation of the final storage volume, taking relations elevation - storage volume and elevation - the free surface area of storage, using the following equation:

$$V_{t+1}^1 = V_t + E_t - S_t \quad (4.6)$$

Using this value will determine the values of elevation and area  $h_{t+1}$  and  $A_{t+1}$ , the reservoir and the average values:

$$\bar{h} = 0.50 (h_t + h_{t+1}) \quad (4.7)$$

$$\bar{A} = 0.50 (A_t + A_{t+1}) \quad (4.8)$$

We obtain the approximation of the volume at the end of the interval, using the detailed version of Equation 4.4:

$$V_{t+1}^2 = V_t + E_t - S_t - p(\bar{A}) - \text{evap}(\bar{A}) - VINF(h) \quad (4.9)$$

- where  $p$  and  $\text{evap}$  are the monthly precipitation and evaporation estimated to occur in reservoir in the month under review. If the new volume calculated  $V_{t+1}^2$  not similar to the previous  $V_{t+1}^1$  result and the procedure is repeated, from the calculation of the elevation and area measures up to that  $V_{t+1}^k \approx V_{t+1}^{k+1}$ . Where is recommended to use the following criterion of similarity:

- donde
  - $S_t$  salidas para satisfacer la demanda durante el periodo analizado, están restringidas a la disponibilidad, la cual ocurre cuando  $V_{t+1} > Vm$  o volumen mínimo [capacidad muerta], el cual define el nivel de aguas mínimas [NAMIN] o umbral inferior de la primera toma.
  - $P_t$  términos que depende del nivel medio en el vaso en el intervalo  $t$ , son el volumen precipitado [VLL], el evaporado [VEVA] y las infiltraciones [VINFL].
  - $Vu$  volumen correspondiente a la suma de capacidades muerta y útil, el cual define el nivel de aguas máximas ordinarias [NAMO].

\*Siendo las unidades de los nuevos términos [en  $Mm^3$ ]

Se aplica la ecuación 4.4 iniciando el cálculo de cada mes para obtener una primera aproximación del volumen almacenado final, teniendo las relaciones elevación – volumen almacenado y elevación – área de la superficie libre del almacenamiento, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$V_{t+1}^1 = V_t + E_t - S_t \tag{4.6}$$

Con ayuda de este valor se determinan los valores de elevación y área  $h_{t+1}$  y  $A_{t+1}$ , del embalse así como los valores medios:

$$\bar{h} = 0.50 (h_t + h_{t+1}) \tag{4.7}$$

$$\bar{A} = 0.50 (A_t + A_{t+1}) \tag{4.8}$$

Se obtiene la aproximación del volumen al final del intervalo, mediante el uso de la versión detallada de la ecuación 4.4:

$$V_{t+1}^2 = V_t + E_t - S_t - p(\bar{A}) - evap(\bar{A}) - VINFL(h) \tag{4.9}$$

- donde  $p$  y  $evap$  son la precipitación y la evaporación mensuales estimadas que ocurran en vaso en el mes analizado. En caso de que el nuevo volumen calculado  $V_{t+1}^2$  no resulte similar al anterior  $V_{t+1}^1$  se repite el procedimiento descrito, a partir del cálculo de la elevación y áreas medidas, hasta que  $V_{t+1}^k \approx V_{t+1}^{k+1}$ . Donde se recomienda utilizar el siguiente criterio de semejanza:

$$|V_{t+1}^{k+1} - V_{t+1}^k| \leq \frac{Vu}{100} \quad (4.10)$$

To calculate the volume spilled must have a *condition*  $V_{t+1} > Vu$ , in which case the flow will be equal to their difference and therefore  $V_{t+1} = Vu$ ; *when it occurs but the condition*  $V_{t+1} < Vm$  *occurs as a deficit equal to the difference, resulting*  $V_{t+1} = Vm$ . *Then repeat the procedure from the equation 4.6 for the next interval to be analyzed.*

#### 4.7. Initial capacity filling or initial condition

The simulation of the behavior of reservoir, has the major drawback of presenting sets the initial capacity in the reservoir to carry out the procedure. This can cause major problems in the case of large reservoirs, which may well affect the results due to large size of these reservoirs. By contrast, in the design of small reservoirs, the assumption of full reservoir is feasible, because these reservoirs are usually filled at the stage of construction and its effect is not important because these reservoirs are emptied several times over of life.

In the case of the medium reservoir simulation is not advisable to start with a full reservoir. One solution is to make scores for the ability to analyze and determine their initial annual capacity for medium and start their simulation with the value <sup>4.5</sup>.

Can also be used in the simulations synthetic sequences starting in wet or dry periods, depending on location and time when the project began operation.

In summing up the operation of the reservoir should be taken into account the volume or short stay in the cup, depending on their initial and final conditions of operation, capacity at 1 January of the first year and 31 December last year, because it is rare that a historical record or a synthetic sequence begins and ends in times of wet years or dry years <sup>4.6</sup>.

---

<sup>4.5</sup> Y. P. Parks & A. Gustard. A reservoir storage yield analysis for arid and semiarid climates. Proceeding of the Exeter Symposium: Optimal Allocation of Water Resources, pp. 49 – 57. IAHS Publication No. 135. July 1982.

<sup>4.6</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. River and Reservoir Yield. Chapter 4: Single Reservoirs (Capacity – Yield Analyses), pp. 96 - 192. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, U.S.A. 1986. 368 p.

$$|V_{t+1}^{k+1} - V_{t+1}^k| \leq \frac{Vu}{100} \quad (4.10)$$

Para calcular el volumen derramado se debe tener una condición  $V_{t+1} > Vu$ , en cuyo caso el derrame es igual a su diferencia y por lo tanto  $V_{t+1} = Vu$ ; sin embargo cuando se presenta la condición  $V_{t+1} < Vm$  ocurre un déficit, igual a la diferencia, resultando  $V_{t+1} = Vm$ . Posteriormente, se repite el procedimiento descrito desde la ecuación 4.6 para el intervalo siguiente que se analice.

#### 4.7. Capacidad inicial o condición inicial de llenado

La simulación del comportamiento del vaso, cuenta con el gran inconveniente de presentar fija la capacidad inicial en el embalse para llevar a cabo el procedimiento. Esto puede generar grandes problemas en el caso de embalses grandes, lo que puede afectar notoriamente los resultados debido a las grandes dimensiones de estos embalses. Por el contrario, en el diseño de embalses pequeños, la suposición de presa llena es factible, debido a que generalmente estos vasos son llenados en la etapa de construcción y su efecto no es trascendente debido a que estos embalses se vacían varias veces a lo largo de su vida útil.

En el caso de la simulación de embalses medianos no es recomendable comenzar con el vaso lleno. Una solución consiste en realizar tanteos para la capacidad que se analiza y con ellos determinar las capacidades anuales iniciales para obtener su mediana y comenzar la simulación con dicho valor <sup>4.5</sup>.

También se puede utilizar en las simulaciones las secuencias sintéticas que inicien en periodos húmedos o secos, dependiendo de la zona y época en que comenzara la operación del proyecto.

Al hacer el resumen de la operación del embalse se debe tomar en cuenta el volumen que quedo o faltó en el vaso, dependiendo de sus condiciones iniciales y finales de operación, capacidad al 1° de enero del primer año y al 31 de diciembre del último año, debido a que no es común que un registro histórico o una secuencia sintética comience y termine en épocas de años húmedos o de años secos <sup>4.6</sup>.

<sup>4.5</sup> Y. P. Parks & A. Gustard. A reservoir storage yield analysis for arid and semiarid climates. Proceeding of the Exeter Symposium: Optimal Allocation of Water Resources, pp. 49 – 57. IAHS Publication No. 135. July 1982.

<sup>4.6</sup> T. A. McMahon & R. G. Mein. River and Reservoir Yield. Chapter 4: Single Reservoirs (Capacity – Yield Analyses), pp. 96 - 192. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, U.S.A. 1986. 368 p.

#### 4.8. Statistical analysis of runoff

In the study by simulation of a reservoir, it is extremely important to perform a statistical study of annual runoff volumes of entry, because historical records are considered representative of future runoff. Therefore examines whether the contributions come from a single population and if not made up significant deterministic components. For example, detect if they have a tendency to the mean, persistence, etc., especially in periods of wet and dry years.

The homogeneity tests, test sequences and Helmert and the deterministic component specific tests, simulations using historic operation, help to make considerations about the accuracy of the results of the design of the reservoir and represent the reliability of historical record of runoff. For example, the results of the analysis of moving averages are useful for interpreting the evolution of the simulation, the occurrence of deficits, spills and final capacity.

#### 4.9. Changing demands and capacity for sediment

The evolving demands due to population growth and living standards, depending on the purpose of the work, whether domestic supply, development, expansion of industry, hydropower generation, etc. On the other hand the ability to retain sediment decreases as the reservoir is filled, which influences the backlog at the end of its useful life, based on which the curves are corrected elevation - volume - storage reservoir area.

Usually the changes are not considered in the simulation of hydrologic design of the reservoir, because the demand is estimated with a useful life for the reservoir [50 years in small and 100 years in the major] <sup>4.7</sup> on the other side to consider seasonal variations in demand or the policy of operation [ $D_t = f(V_t)$ ], it has a greater impact.

Within the common practice is to add the ability for recreational purposes with the necessary for the accumulation of sediments and thus the ability to define dead, same as with the threshold sets the placement of the first work of making, so although sediment capacity is filled with water in the early years, this volume of water should not be considered since they can only be removed through the use of pumping equipment, which is not affordable. On the other hand it should be noted that due to the presence of evaporation is possible that the simulation volume in the analyzed interval is less than the capacity to dead.

---

<sup>4.7</sup> A. F. Fredrich. Techniques for Evaluating Long – Term Reservoir Yields. Technical Paper # 14, U.S. Army Corps Engineers, The Hydrologic Engineering Center. Davis, CA., U.S.A. 1969. 30 p.

#### 4.8. Análisis estadísticos a los escurrimientos

En el estudio por simulación de un embalse, es de suma importancia realizar un estudio estadístico de los volúmenes escurridos anuales de entrada, ya que los registros históricos son considerados representativos de los escurrimientos futuros. Por lo tanto se analiza si las aportaciones proceden de una sola población y si no están conformados por componentes determinísticas significativas. Por ejemplo, detectar si presentan tendencia a la media, persistencia, etc., sobre todo en los periodos de años húmedos y secos.

Las pruebas de homogeneidad, test de Helmer y de las Secuencias, así como las pruebas específicas de componentes determinísticas, por medio de simulaciones de su operación histórica, ayudan a formular consideraciones sobre la exactitud de los resultados del diseño del embalse y representar la confiabilidad del registro histórico de escurrimientos. Por ejemplo, los resultados del análisis de promedios móviles son útiles para interpretar la evolución de la simulación, la ocurrencia de los déficits, derrames y capacidad final.

#### 4.9. Evolución de las demandas y capacidad para los sedimentos

Las demandas evolucionan debido al aumento de la población y del nivel de vida, dependiendo del objetivo de la obra, ya sea abastecimiento doméstico, desarrollo, expansión de la industria, generación de energía hidroeléctrica, etc. Por otro lado, la capacidad para retener los sedimentos disminuye conforme el embalse se llena, lo cual influye en el volumen acumulado al término de su vida útil, con base en el cual se corrigen las curvas elevación – volumen – área del vaso de almacenamiento.

Por lo general, las evoluciones no son consideradas en la simulación del diseño hidrológico del embalse, debido a que la demanda se estima con una vida útil para el embalse [50 años en los pequeños y 100 años en los grandes]<sup>4.7</sup>; por otro lado, al considerar la variación estacional de la demanda o la política de operación [ $D_t = f(V_t)$ ], se tiene un mayor impacto.

Dentro de la práctica es común sumar la capacidad destinada a fines recreativos con la necesaria para la acumulación de los sedimentos y con ello definir la capacidad muerta, misma que con su umbral establece la ubicación de la primer obra de toma; por lo tanto aunque la capacidad para sedimentos se encuentre llena de agua en los primeros años, este volumen de agua no debe ser considerado ya que solo puede ser extraído mediante el uso de equipo de bombeo, lo cual no es

---

<sup>4.7</sup> A. F. Fredrich. Techniques for Evaluating Long – Term Reservoir Yields. Technical Paper # 14, U.S. Army Corps Engineers, The Hydrologic Engineering Center. Davis, CA., U.S.A. 1969. 30 p.



costeable. Por otro lado, cabe resaltar que debido a la presencia de la evaporación es posible que al realizar la simulación el volumen en el intervalo analizado sea inferior a la capacidad muerta.

#### 4.10. Estimation of evaporation and precipitation in the reservoir

Penman's formula, is a process by which we estimate the evaporation from a reservoir, meteorological data required as solar radiation, extreme temperatures, wind speed and relative humidity. Recently, on this basis we have proposed a formula which requires little data <sup>4.8</sup> weather, as extreme daily temperatures, solar radiation, which can be quantified based on the extraterrestrial radiation and cloud cover [with estimates by precipitation]. In the absence of any meteorological data, but have records of evaporation [ $EE$ ] Class A tank [evaporimeter bucket], multiplying the readings observed by the so-called evaporation coefficient [ $EL/EE$ ] or evaporation correction factor [ $FcE$ ] can do an estimate of evaporation from the reservoir [ $EL$ ].

If operating data available from nearby reservoirs and similar in magnitude, using historical information can make a statistical analysis on monthly volumes and thus evaporated calibrate the correction factor  $FcE$ .

However, when precipitation is expected in a lake or a reservoir, one must consider that due to the heat storage causes a relaxation of the upwelling on the surface of the reservoir, causing the precipitation caused by convective storms is less than in land. To assess the value of  $FcP$ , install meteorological stations in the periphery of the reservoir.

When the reservoir is in the design stage, usually only has rainfall data for stations near the site of the reservoir, therefore the registration was just using a transport or corrective factor [ $FcP$ ], which is defined as the ratio of average annual precipitation storage site and station based rainfall. In some cases when the reservoir is large, it can have the records of several nearby stations, bringing the record can be integrated through the weight space, for example through the method of Thiessen polygons <sup>4.9</sup>.

---

<sup>4.8</sup> E. T. Linacre. Estimating U.S. class A pan evaporation from few climate data. Water International, Vol. 19 No. 1, pp 5 – 14.1994.

<sup>4.9</sup> A. Acosta G. y F. J. Pinedo. Calculo de la altura óptima de una presa pequeña con computadora digital. IV Congreso Nacional de Hidráulica, Vol. 1, paginas 164 – 179. Octubre de 1976. Acapulco; Gro.

#### 4.10. Estimación de la evaporación y la precipitación en el embalse

La fórmula de Penman es un procedimiento con el cual se estima la evaporación en un embalse. Requiere de datos meteorológicos como: la radiación solar, temperaturas extremas, velocidad del viento y humedad relativa. Recientemente, basándose en este criterio se ha propuesto una fórmula la cual utilizan pocos datos climatológicos <sup>4.8</sup>, como las temperaturas diarias extremas, la radiación solar incidente, la cual se puede cuantificar en base a la radiación extraterrestre y la nubosidad [con estimaciones a través de la precipitación]. En el caso de no disponer de datos meteorológicos, pero contar con registros de evaporación [EE] en tanque clase A [evaporímetro de cubeta], multiplicando las lecturas observadas por el llamado coeficiente del evaporímetro [EL/EE] o factor correctivo de evaporación [FCE] se puede hacer una estimación de la evaporación desde el embalse [EL].

En caso de disponer de datos de operación de embalses cercanos y similares en magnitud, con ayuda de la información histórica se puede realizar un análisis estadístico relativo a los volúmenes evaporados mensuales y así calibrar el factor correctivo FCE.

Sin embargo, cuando se estima la precipitación en un lago o en un embalse, se debe considerar que debido al almacenamiento de calor se origina una atenuación de las corrientes ascendentes sobre la superficie del embalse, provocando que la precipitación originada por tormentas convectivas sea menor que en tierra firme. Para evaluar el valor del FcP, se recomienda instalar estaciones pluviométricas en la periferia del embalse.

Cuando el embalse está en la etapa de diseño, por lo general solo se cuenta con datos de alguna estación pluviométrica cercana al sitio del embalse; por consiguiente el registro se justifica mediante el uso de un factor de transporte o correctivo [FCP], el cual está definido como el cociente entre la precipitación media anual del sitio del almacenamiento y de la estación pluviométrica base. En algunos casos cuando el embalse es grande, este puede contar con los registros de varias estaciones cercanas, con lo cual el registro puede ser integrado a través de la ponderación espacial, por ejemplo a través del método de los polígonos de Thiessen <sup>4.9</sup>.

---

<sup>4.8</sup> E. T. Linacre. Estimating U.S. class A pan evaporation from few climate data. Water International, Vol. 19 No. 1, pp 5 – 14.1994.

<sup>4.9</sup> A. Acosta G. y F. J. Pinedo. Cálculo de la altura óptima de una presa pequeña con computadora digital. IV Congreso Nacional de Hidráulica, Vol. 1, páginas 164 – 179. Octubre de 1976. Acapulco; Gro.

#### 4.11. Performance indicators of the reservoir and benefit restrictions

The basic indicators regarding the hydrological functioning of a reservoir are usually expressed as a percentage of average annual runoff volume [ $VEMA$ ], these are the use, spills, evaporation and weaknesses, where they are allowed during the simulation. Their expressions are:

$$\% A_T = \frac{VDa}{VEMA} 100 \quad (4.11)$$

$$\% A_R = \frac{VDa - (VDf/NAR)}{VEMA} 100 \quad (4.12)$$

$$\% D_r = \frac{VDr}{VEMA} 100 \quad (4.13)$$

$$\% E_v = \frac{VEv}{VEMA} 100 \quad (4.14)$$

$$\% Df = \frac{VDf}{VDa \cdot NAR} 100 \quad (4.15)$$

- where

- $\% A_T$             percentage of theoretical use
- $\% A_R$             percentage of real use
- $\% D_r$             percentage of spills
- $\% E_v$             rate of evaporation
- $\% Df$             percentage of failures
- $VDa$             annual demand volume in  $Mm^3$
- $VDf$             total volume of weaknesses, in  $Mm^3$
- $VDr$             average annual volume of spills in  $Mm^3$
- $VEv$             average annual evaporation volume in  $Mm^3$
- $NAR$             number of years of registration

For the correct determination of the indicators, we should be building up the volumes to the deficiencies, spills and evaporation net. On the other hand  $VDa$  is obtained by multiplying the annual demand per hectare by the number of hectares of profit.

#### 4.11. Indicadores de funcionamiento del embalse y restricciones de beneficios

Los indicadores básicos respecto al funcionamiento hidrológico de un embalse generalmente son expresados como porcentaje del volumen escurrido medio anual [VEMA]; estos son el aprovechamiento, los derrames, la evaporación y las deficiencias, cuando estas son permitidas durante la simulación. Sus expresiones son:

$$\% A_T = \frac{VDa}{VEMA} 100 \quad (4.11)$$

$$\% A_R = \frac{VDa - (VDf/NAR)}{VEMA} 100 \quad (4.12)$$

$$\% D_r = \frac{VDr}{VEMA} 100 \quad (4.13)$$

$$\% E_v = \frac{VEv}{VEMA} 100 \quad (4.14)$$

$$\% Df = \frac{VDf}{VDa \cdot NAR} 100 \quad (4.15)$$

- donde

- $\% A_T$  porcentaje de aprovechamiento teórico
- $\% A_R$  porcentaje de aprovechamiento real
- $\% D_r$  porcentaje de derrames
- $\% E_v$  porcentaje de evaporación
- $\% Df$  porcentaje de deficiencias
- $VDa$  volumen de demanda anual, en  $Mm^3$
- $VDf$  volumen total de deficiencias, en  $Mm^3$
- $VDr$  volumen de derrames medio anual, en  $Mm^3$
- $VEv$  volumen evaporado medio anual, en  $Mm^3$
- $NAR$  número de años del registro

Para la correcta determinación de los indicadores anteriores se deben ir acumulando los volúmenes correspondientes a las deficiencias, los derrames y las evaporaciones netas. Por otro lado el  $VDa$  se obtiene multiplicando la demanda anual por hectárea por el número de hectáreas de beneficio.

When deficiencies are not allowed use rates of theoretical and actual are equal. For example when designing reservoirs whose function is to supply potable water demand that I take for a given payload capacity is called safe yield.

When accepted shortcomings in the storages, for example 1%, we recommend to cite the nature of these deficiencies, including number of years and months with a deficit, monthly and annual rates of such deficiencies.

In Mexico, it actually tends to comply with a more complete pattern of deficiencies in compliance now as follows <sup>4.10</sup> <sup>4.11</sup>:

- For the period of analysis:
  - o Total Deficiencies in the period < 5%
  - o Average number of years with disabilities < 25%
  
- At the annual level:
  - o Maximum annual Deficiency < 60%
  - o Sum of deficiencies in two consecutive years with an annual maximum of less than 55% < 90%
  - o Sum of deficiencies in three consecutive years with an annual maximum of less than 50% < 110%
  
- A monthly level:
  - o Maximum monthly Deficiency < 40%
  - o Number of consecutive months with deficiencies  $\leq 3$

#### 4.12. Reservoir performance simulation based on historical conditions

We recommend modeling the operation of a reservoir registered under the hydrologic conditions when planning to build containment works as a reservoir. This simulation allows reducing the number of design alternatives.

---

<sup>4.10</sup> A. Acosta G. y F. J. Pinedo. Calculo de la altura óptima de una presa pequeña con computadora digital. IV Congreso Nacional de Hidráulica, Vol. 1, paginas 164 – 179. Octubre de 1976. Acapulco; Gro.

<sup>4.11</sup> D. F. Campos A. Propuesta de criterios para la elaboración de criterios hidrológicos (Primera parte). Ingeniería Hidráulica en México, Vol. VI, numero 3, paginas 23 – 40. Septiembre – diciembre de 1991.

Cuando no se permiten deficiencias los porcentajes del aprovechamiento teórico y real son iguales. Por ejemplo, al diseñar embalses cuya función sea el abastecimiento de agua potable la demanda que se puede surtir para una capacidad útil dada se denomina rendimiento seguro.

Cuando se aceptan deficiencias en los almacenamientos, por ejemplo del 1%, se recomienda citar las características de dichas deficiencias, como son: número de años y meses con déficit, porcentajes mensuales y anuales de tales deficiencias.

En México se tiende a cumplir con un patrón de deficiencias más completo, respetándose actualmente el siguiente <sup>4.10</sup> <sup>4.11</sup>:

- Para el periodo de análisis:
  - o Deficiencias totales en el periodo < 5%
  - o Número promedio de años con deficiencias < 25%
  
- A nivel anual:
  - o Deficiencia máxima anual < 60%
  - o Suma de deficiencias en dos años consecutivos con un máximo anual menor del 55% < 90%
  - o Suma de deficiencias en tres años consecutivos con un máximo anual menor del 50% < 110%
  
- A nivel mensual:
  - o Deficiencia máxima mensual < 40%
  - o Numero de meses consecutivos con deficiencias  $\leq 3$

#### 4.12. Simulación del funcionamiento de vaso partiendo de condiciones históricas

Se recomienda simular el comportamiento del funcionamiento de un vaso bajo las condiciones hidrológicas registradas cuando se planea construir una obra una de contención como una presa. Dicha simulación permite reducir el número de alternativas de diseño.

---

<sup>4.10</sup> A. Acosta G. y F. J. Pinedo. Calculo de la altura óptima de una presa pequeña con computadora digital. IV Congreso Nacional de Hidráulica, Vol. 1, paginas 164 – 179. Octubre de 1976. Acapulco; Gro.

<sup>4.11</sup> D. F. Campos A. Propuesta de criterios para la elaboración de criterios hidrológicos (Primera parte). Ingeniería Hidráulica en México, Vol. VI, numero 3, paginas 23 – 40. Septiembre – diciembre de 1991.

The simulation should be performed for each of the alternative design according to the steps outlined in Section 3.1. Values  $V_m$ ,  $V_u$  and  $VDEM$  depend of each design alternative, while the  $ICP$ ,  $IT$ ,  $hp$  and  $EVAP$  values are obtained from historical records. The infiltrated volume is assumed zero, except for special cases where the geological characteristics of the reservoir area warrant special study.

#### 4.13. Reservoir Performance Simulation based on synthetic hydrologic records

Hydrological conditions experienced in the past does not repeat exactly, it is therefore necessary to simulate the operation by adding other possible values. If you have records for more than fifteen years should use history.

The synthetic hydrologic records are those that are equally likely to occur than the historical record, which can analyze the operation of the reservoir in a wider range of possibilities. The simulation is conducted for each design alternative and several synthetic records.

The equation proposed by Fiering to generate values is:

$$X_j = \bar{X}_j + \frac{r_j S_j}{S_j - 1} (X_{j-1} - \bar{X}_{j-1}) + f_j S_j (1 - r_j^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.16)$$

- where

- $X_j$  value generated for the month  $j$
- $\bar{X}_j$  average of historical values of the month  $j$
- $S_j$  standard deviation of the historical values of the month  $j$
- $r_j$  coefficient of correlation between the historical values of the month  $j$  and the month  $j - 1$
- $f_j$  random number with zero mean, standard deviation and a normal distribution

#### 4.14. Design by historical simulation of the operation [applications]

In reality the above studies on sedimentation in reservoirs are not held in our country, therefore the curves of elevations - volumes - areas [ $E - V - A$ ] corrected at the end of useful life for such a process, not used in carrying out the simulation of the operation of the reservoir, only takes into account the volume necessary for the accumulation of sediments during the life of the silt capacity [ $Cz$ ].

La simulación debe ser realizada para cada una de las alternativas de diseño según los pasos indicados en la sección 3.1. Los valores de  $V_m$ ,  $V_u$  y  $VDEM$  dependen de cada alternativa de diseño, mientras que los valores de  $ICP$ ,  $IT$ ,  $hp$  y  $EVAP$  se obtienen de los registros históricos. El volumen infiltrado se supone nulo, salvo para casos especiales en los que las características geológicas de la zona del vaso justifican un estudio especial.

#### 4.13. Simulación del Funcionamiento de Vaso partiendo de registros hidrológicos sintéticos

Las condiciones hidrológicas registradas en el pasado no se repiten exactamente, por consiguiente es necesario simular el funcionamiento añadiendo otros valores posibles. Si se tienen registros durante más de quince años conviene utilizar los históricos.

Los registros hidrológicos sintéticos son aquellos que tienen la misma probabilidad de ocurrir que el registro histórico, los cuales permiten analizar el funcionamiento del vaso en una gama más amplia de posibilidades. La simulación debe realizarse para cada alternativa de diseño y con varios registros sintéticos.

La ecuación propuesta por Fiering para generar valores está dada por:

$$X_j = \bar{X}_j + \frac{r_j S_j}{S_j - 1} (X_{j-1} - \bar{X}_{j-1}) + f_j S_j (1 - r_j^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.16)$$

- donde

- $X_j$  valor generado para el mes  $j$
- $\bar{X}_j$  media de los valores históricos del mes  $j$
- $S_j$  desviación estándar de los valores históricos del mes  $j$
- $r_j$  coeficiente de correlación entre los valores históricos del mes  $j$  y los del mes  $j - 1$
- $f_j$  número aleatorio con media cero, desviación estándar uno y distribución normal

#### 4.14. Diseño por simulación histórica de la operación [aplicaciones]

En la realidad, los estudios mencionados sobre la sedimentación en embalses no son llevados a cabo en nuestro país, por lo tanto las curvas de elevaciones – volúmenes – áreas  $[E - V - A]$  corregidas al final de la vida útil por tal proceso, no se utilizan al llevar a cabo la simulación de la operación del embalse, únicamente se toma en cuenta el volumen necesario para la acumulación de los sedimentos durante la vida útil de la capacidad de azolves  $[Cz]$ .



Over the life is not considered progressive developments that will have the  $C_z$ , being the total value the employee since the start of the simulation. During the simulation, it is considered that  $C_z$  not full of sediment, which allows the presence of evaporation such storage, generating the stored volume can be lower than  $C_z$  when the reservoir is dry due to extractions and low runoff. In considering  $C_z$  constant and evaporation from  $C_z$ , are interpreted critical conditions during the simulation, generating the results are more reliable.

To generate a critical condition can allow the spill to occur and have initial useful capacity  $[C_u]$  equal to the total  $[C_T]$ , so that if after adding the final payload capacity of the previous month  $[C_{u_f}]$  is runoff of the Month under review, such sum exceeds  $C_T$ , then  $C_{u_i} = C_T$ . In this condition spills are overestimated, since the runoff does not occur suddenly at the beginning, if not throughout the month, allowing them to be being exploited. However the simulation results provide much security, especially in small reservoirs that filled and emptied each month, since the runoff is likely to be short and violent as a result of which come from very small basins. In event of rain volume [negative net evaporation], adds to the ability of each month analyzed and if the sum exceeds the  $C_T$ , this volume is added to the spill.

Following the previous approach, to  $C_u$  include it  $C_z$ , so the storage media  $[C_m]$  to estimate the evaporation loss is calculated as follows:

$$C_m = C_{u_i} - \left( \frac{C_{u_i} - C_{u_f}}{2} \right); C_m < C_T \quad (4.17)$$

Once calculated using the mathematical representation of curves  $E - V - A$  gives the average area  $[A_m]$  where the first regression equation relates the volume as abscissa and the area as ordered, while for the second equation elevations were used as ordinates in order to define the dimensions of the reservoir depending on their design capabilities  $[C_z$  y  $CT]$ . polynomials of third or fourth order are generally used to represent the relationship, namely:

$$A = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2 + a_3 \cdot V^3 + a_4 \cdot V^4 \quad (4.18)$$

Durante la vida útil no se considera la evolución progresiva que va teniendo la  $C_z$ , siendo el valor total estimado el empleado desde el comienzo de la simulación. Durante la simulación se considera que la  $C_z$  no está llena de sedimentos, lo cual permite la presencia de evaporación desde tal almacenamiento, generando que el volumen almacenado pueda ser menor que  $C_z$  cuando el embalse se seca debido a las extracciones y los bajos escurrimientos. Al considerar  $C_z$  constante y la evaporación desde la  $C_z$ , se interpretan condiciones de críticas durante la simulación, generando que los resultados sean más confiables.

Para generar otra condición crítica, se puede permitir que ocurra el derrame y contar con una capacidad útil inicial [ $C_u$ ] igual a la total [ $C_T$ ], de manera que si después de sumar a la capacidad útil final del mes anterior [ $C_{u_f}$ ] el escurrimiento del mes que se analiza, tal suma excede a la  $C_T$ , entonces  $C_{u_i} = C_T$ . En esta condición los derrames son sobreestimados, ya que los escurrimientos no ocurren súbitamente al inicio, si no a lo largo del mes, permitiendo que vayan siendo aprovechados. Sin embargo los resultados de la simulación brindan mucha seguridad, principalmente en los embalses pequeños que se llenan y vacían cada mes, ya que es probable que los escurrimientos sean breves y violentos, a consecuencia de que proceden de cuencas muy pequeñas. En caso de ocurrir el volumen llovido [evaporación neta negativa], se suma a la capacidad de cada mes analizado y en caso de que la suma exceda a la  $C_T$ , este volumen es sumado a los derrames.

Siguiendo el planteamiento anterior, la  $C_u$  incluye a la  $C_z$ ; por lo tanto el almacenamiento medio [ $C_m$ ] para estimar la pérdida por evaporación se calcula de la siguiente manera:

$$C_m = C_{u_i} - \left( \frac{C_{u_i} - C_{u_f}}{2} \right); C_m < C_T \quad (4.17)$$

Una vez calculado el  $C_m$  con ayuda de la representación matemática de las curvas  $E - V - A$  se obtiene el área media [ $A_m$ ], donde la primera ecuación de regresión relaciona el volumen como abscisa y el área como ordenada, mientras que para la segunda ecuación se emplearan las elevaciones como ordenadas, con el fin de definir las cotas del embalse dependiendo de sus capacidades de diseño [ $C_z$  y  $C_T$ ]. Los polinomios de tercer o cuarto orden generalmente son usados para representar la relación  $A - V$ , es decir:

$$A = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2 + a_3 \cdot V^3 + a_4 \cdot V^4 \quad (4.18)$$

#### 4.15. Design of multipurpose reservoirs

The design of multiple reservoirs can be classified into two groups, the most common is simple and works for water supply and irrigation, which usually are small [with a total capacity of less than 50-100  $Mm^3$ ], whose priority is the removal of water to meet a demand of drinking water or irrigation water. While the second group is formed by the reservoirs that generate hydroelectric power, which are usually large capacity and have increased control, in some instances have a dual function which can be drinking water or irrigation water.

#### 4.16. Fundamentals and advantages of stochastic design

Considering that in designing hydrologically a reservoir, the runoff records were very large, so that they could be divided into series of equal length to the useful life of the project, the results of hydro will be different when carrying out the simulation of the operation of reservoir in each series, which will formulate a more realistic conclusion. However, usually runoff records from a period ranging from thirty to seventy years, which sometimes is only possible to generate a response, this being unrepresentative.

The objective of designing a reservoir is hydrologically know its operation under a time series of runoff, however, as it is not possible to predict future contributions, are supposed to have the same statistical properties as the historical records. Wherefore the make the assumption of representativeness of these parameters and seasonality in the process and knowing the probability distribution function of the runoff in time is possible to use a stochastic model to generate statistically similar sequences available and to record these being equally likely to occur.

Stochastic Hydrology is based on two assumptions: first, the representativeness and the second is the seasonality, property for which the statistical characteristics do not vary with time. The second assumption, however, synthetic generation techniques do not correct the deficiencies in the records simply allow a better use of available hydrometric information, obtaining a better quality in design. Other advantages of using synthetic sequences are:

1. A better definition of the differences between the alternatives studied.
2. Opportunity to compare various operating alternatives with respect to its sensitivity according to hydrological variations.
3. Ability to observe and assess hydrological extreme events which can't otherwise be anticipated.
4. Planning measures to minimize the effects of extreme events that might occur in the future.

#### 4.15. Diseño de embalses de usos múltiples

El diseño de embalses múltiples puede ser clasificado en dos grandes grupos, el más simple y común es el destinado a obras para abastecimiento de agua potable y de riego, los cuales por lo general son pequeños [con una capacidad total menor de 50 a 100  $Mm^3$ ], cuya prioridad es la extracción de agua para satisfacer una cierta demanda de agua potable o agua para riego. Mientras que el segundo grupo está conformado por los embalses que generan energía hidroeléctrica, los cuales por lo general son de gran capacidad y tienen control de las crecientes, en algunos casos tienen una doble función la cual puede ser abastecimiento de agua potable o agua para riego.

#### 4.16. Fundamentos y ventajas del diseño estocástico

Considerando que al diseñar hidrológicamente un embalse, los registros de escurrimientos fueran muy extensos, de tal manera que se pudieran dividir en series de igual longitud a la vida útil del proyecto, los resultados del hidrosistema son diferentes al llevar cabo la simulación de la operación del vaso en cada serie, lo cual permite formular una conclusión más realista. Por lo general, los registros de escurrimiento abarcan entre un periodo de treinta a setenta años, por lo cual en ocasiones solo es posible generar una respuesta, siendo esta poco representativa.

El objetivo de diseñar hidrológicamente un embalse es conocer su funcionamiento bajo una serie cronológica de escurrimientos, sin embargo, como no es posible predecir las aportaciones futuras, se supone que estas tienen las mismas propiedades estadísticas que las de los registros históricos. Por lo cual, al realizar las hipótesis de representatividad de tales parámetros y de estacionalidad en el proceso y conociendo la función de distribución de probabilidades del escurrimiento en el tiempo es posible utilizar un modelo estocástico que genere secuencias semejantes estadísticamente al registro disponible y siendo estas igualmente probables de ocurrir.

La Hidrología Estocástica se basa en dos suposiciones: la primera es la representatividad y la segunda es la estacionalidad, propiedad por la cual las características estadísticas no varían con el tiempo. La segunda suposición, sin embargo, las técnicas de generación sintética no corrigen las deficiencias de los registros, simplemente permiten hacer un mejor uso de la información hidrométrica disponible, obteniendo una mejor calidad en el diseño. Otras ventajas del uso de secuencias sintéticas son:

1. Se obtiene una mejor definición de las diferencias entre las alternativas estudiadas.
2. Oportunidad de comparar varias alternativas de operación con respecto a su sensibilidad según las variaciones hidrológicas.
3. Posibilidad de observar y evaluar eventos extremos hidrológicos los cuales de otra manera no pueden ser anticipados.
4. Planear medidas para minimizar los efectos de eventos extremos que pudieran ocurrir en el futuro.

#### 4.17. Operating procedure in large reservoirs

In large reservoirs, the periodic variations of monthly runoff have no great effect on the storage volume needed, as these reservoirs operate as hiperannual saving abundant surplus years and using it to meet demands in dry years, for hydrological design which can be carried out at annual level.

When drawings occur after the period of runoff and the monthly volume is highly seasonal, hydrologic design of a reservoir medium may also be performed on an annual basis, but for other behaviors and send monthly runoff, hydrological design was carried out monthly.

In analyzing 1000 annual runoff of synthetic sequences of the same size at the life of the reservoir, the minimum required capacities to meet demand for each sequence, determine a stable Gumbel distribution, with which it is possible to determine the capacity of the reservoir for the probability selected fault. In addition to case studies generally used a minimum of 50 synthetic sequences to adjust so Gumbel function and determine the volume required for a probability of failure.

#### 4.18. Operational procedures in medium and small reservoirs

In the case of small and medium-sized reservoirs, is proposed for stochastic design a group of 10-20 synthetic sequences with the size of the historical record, however if possible we recommend a minimum of 25. On the basis of the minimum required each synthetic sequence obtained is possible to determine the arithmetic mean, median and standard deviation, with which it is possible to calculate the required payloads.

When I bring the analysis with 100 synthetic sequences is possible to construct a graph of probability density [histogram], which allows to observe the minimum and maximum values, as well as the average, the time of highest probability and the bias of values resulting in more reliable selection of the design capacity.

#### 4.17. Procedimiento operativo en grandes embalses

Dentro de los grandes embalses, las variaciones periódicas de los escurrimientos mensuales no tienen gran efecto en el volumen útil necesario, ya que estos embalses operen en forma hiperanual guardando los excedentes de los años abundantes y utilizándolos para satisfacer las demandas en los años secos, por lo cual el diseño hidrológico puede ser llevado a cabo a nivel anual.

Cuando las extracciones ocurren después del periodo de escurrimientos y el volumen mensual es altamente estacional, el diseño hidrológico de un embalse mediano puede ser realizado también con base anual, pero para otros comportamientos de los escurrimientos mensuales y de mandas, el diseño hidrológico se llevara a cabo de manera mensual.

Al analizar 1 000 secuencias sintéticas de escurrimientos anuales del mismo tamaño a la vida útil del embalse, las capacidades mínimas requeridas para satisfacer una demanda con cada secuencia, determinan una distribución Gumbel estable, con la cual es posible determinar la capacidad del embalse para la probabilidad de falla seleccionada. Por otro lado generalmente para casos prácticos se emplea un mínimo de 50 secuencias sintéticas para ajustar de manera la función Gumbel y determinar el volumen necesario para una probabilidad de falla.

#### 4.18. Procedimiento operativo en embalses medianos y pequeños

En el caso de embalses pequeños y medianos, se propone para el diseño estocástico un grupo de 10 a 20 secuencias sintéticas con el tamaño del registro histórico, sin embargo de ser posible se recomienda utilizar un mínimo de 25. Partiendo de las capacidades mínimas necesarias obtenidas de cada secuencia sintética es posible determinar la media aritmética, la mediana y la desviación estándar, con los cuales es posible calcular la capacidad útil necesaria.

Al llevar el acabo el análisis con 100 secuencias sintéticas es posible construir una gráfica de densidad de probabilidad [histograma], la cual permite observar los valores mínimos y máximos, así como la media, el lapso de mayor probabilidad y el sesgo de los valores, resultando más confiable la selección de la capacidad necesaria de diseño.



***CAPÍTULO V***  
***MANUAL DEL***  
***PROGRAMA PARA EL***  
***FUNCIONAMIENTO DE***  
***VASOS***  
***(CHAPTER V***  
***PROGRAM MANUAL***  
***FOR THE OPERATION OF***  
***RESERVOIRS)***

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



**INDEX**

<b>5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS</b>	204
5.1. Project	208
5.2. Data Entry	216
5.3. Runoff Matrix	220
5.4. Curve Elevations - Areas - Capabilities	224
5.5. Net Evaporation	226
5.6. Results of operation	228

**INDEX OF FIGURES**

<b>5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS</b>	
5.1. Presentation Window	204
5.2. Start window or interface	206
5.3. Project Window	210
5.4. Installed Power vs. Generation	212
5.5. Alert Window	214
5.6. Data Entry	216
5.7a. Runoff Matrix - Daily Range Selected	220
5.7b. Runoff Matrix - Selected Monthly Interval	222
5.8. Curve Elevations - Areas - Capabilities	224
5.9. Net Evaporation	226
5.10. Results of operation	230

**INDEX OF TABLES**

<b>5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS</b>	
5.1. Generation Firm, Secondary and Total power at different intervals	212



**ÍNDICE**

<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	<b>205</b>
5.1. Proyecto	209
5.2. Datos de Entrada	217
5.3. Matriz de Escurrimientos	221
5.4. Curva Elevaciones – Áreas – Capacidades	225
5.5. Evaporaciones Netas	227
5.6. Resultados del Funcionamiento	229

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
5.1. Ventana de Presentación	205
5.2. Ventana o interfaz de inicio	207
5.3. Ventana de Proyecto	211
5.4. Potencia Instalable Vs Generación	213
5.5. Ventana de Alerta	215
5.6. Datos de Entrada	217
5.7a. Matriz de Escurrimientos – Intervalo Seleccionado Diario	221
5.7b. Matriz de Escurrimientos – Intervalo Seleccionado Mensual	223
5.8. Curva Elevaciones - Áreas - Capacidades	225
5.9. Evaporaciones Netas	227
5.10. Resultado del Funcionamiento	231

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS</b>	
5.1. Generación Firme, Secundaria y Total en distintos intervalos de Potencia	213

## 5. PROGRAM MANUAL FOR THE OPERATION OF RESERVOIRS

The performance of reservoirs forms a major part in the creation, operation and design of hydroelectric projects. He is currently working daily with programs that make a monthly and annual, but to understand how it works purely a reservoir, it is sometimes necessary to bring the simulation to a daily level. For this reason, carried out the development of a program that meets that objective, however as it involves a long process of programming, was proposed in the first programming routines to a monthly level, and then to a level daily and annual basis.

The program consists of an executable file created in Visual Basic 2005 platform, which primarily displays a display window that shows the program name, author and version of it (Figure 5.1).

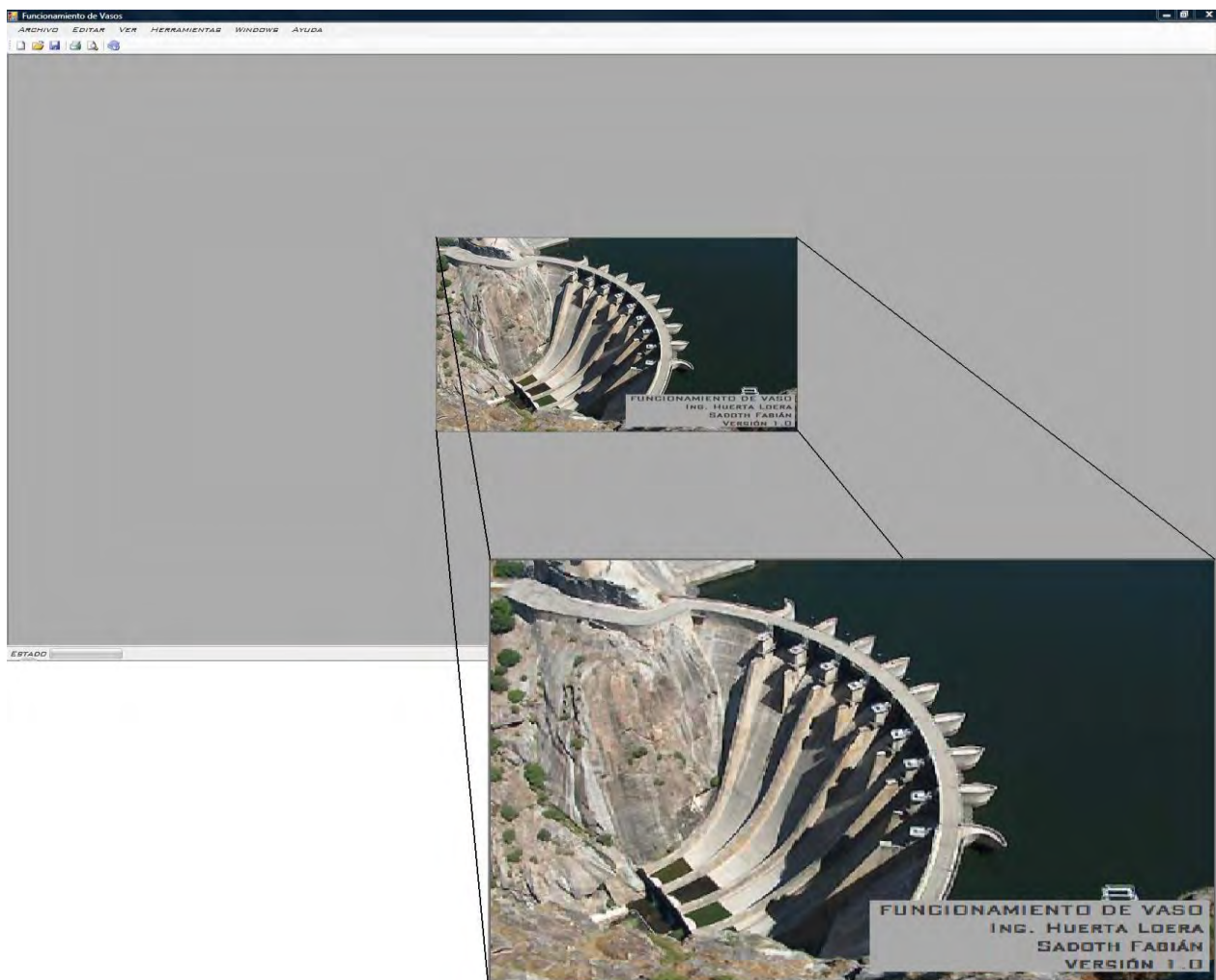


Figure 5.1

Presentation Window

## 5. MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VASOS EN VISUAL BASIC 2005

El funcionamiento de vasos forma una parte primordial dentro de la generación, operación y diseño de proyectos hidroeléctricos. En la actualidad es cotidiano trabajar con programas que lo realicen de forma mensual y anual; sin embargo para comprender como trabaja netamente un embalse, en ocasiones es necesario llevar la simulación a un nivel diario. Por tal motivo se llevó a cabo la elaboración de un programa que cumpla con dicho objetivo, no obstante como éste lleva consigo un largo procedimiento de programación, se propuso realizar en primera instancia las rutinas de programación a un nivel mensual, y posteriormente a un nivel diario y anual.

El programa está conformado por un archivo ejecutable creado en la plataforma Visual Basic 2005, el cual en primera instancia despliega una ventana de presentación que muestra el nombre del programa, autor y versión del mismo (Figura 5.1).

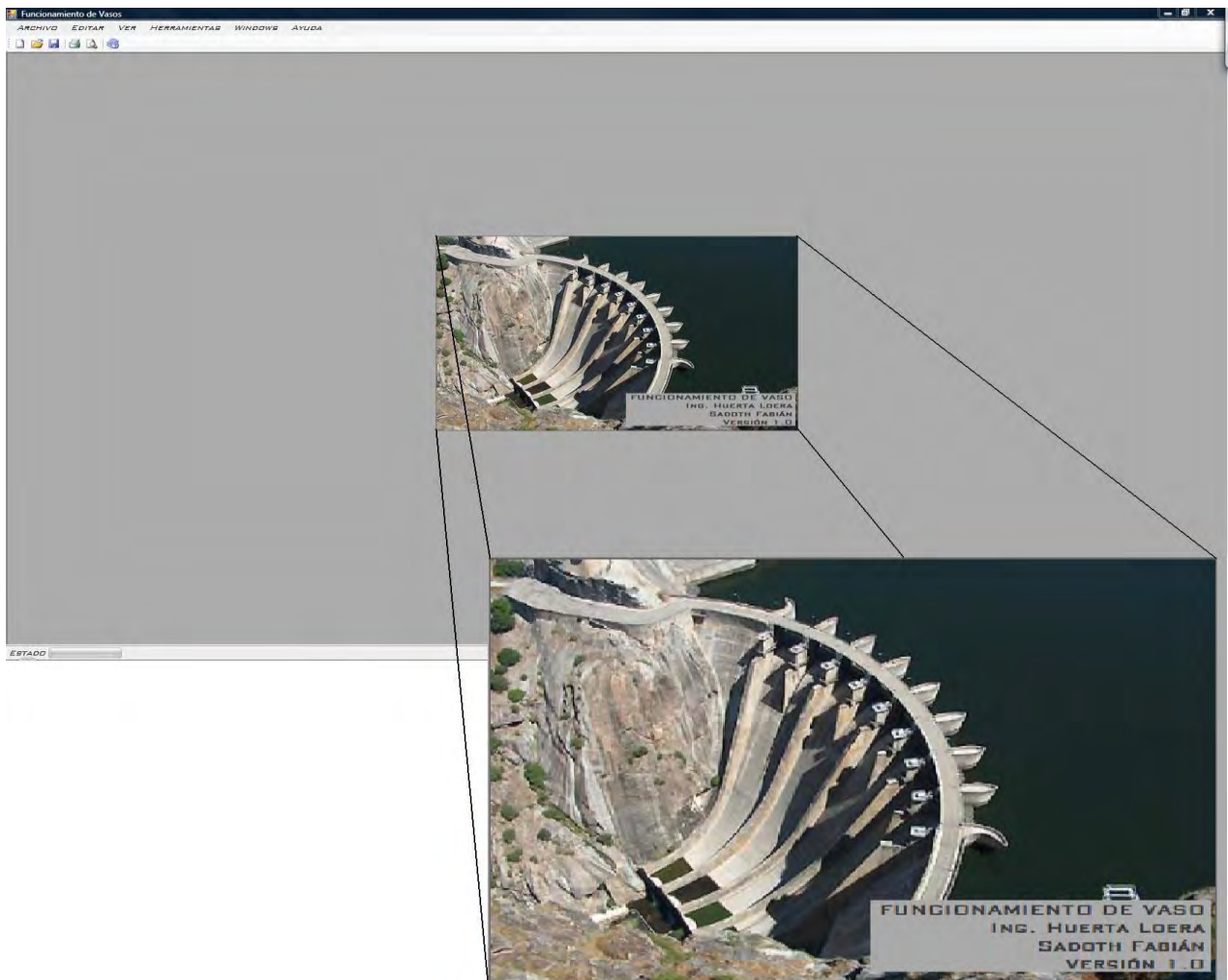


Figura 5.1

Ventana de Presentación

Second, we present Principal MDI (Multiple Document Interface) which aims to guide the user through the simulation of the operation of reservoirs. The user can choose between creating a new simulation or open and run a previously saved file, these features are found in a menu like any other program in the top of the window.

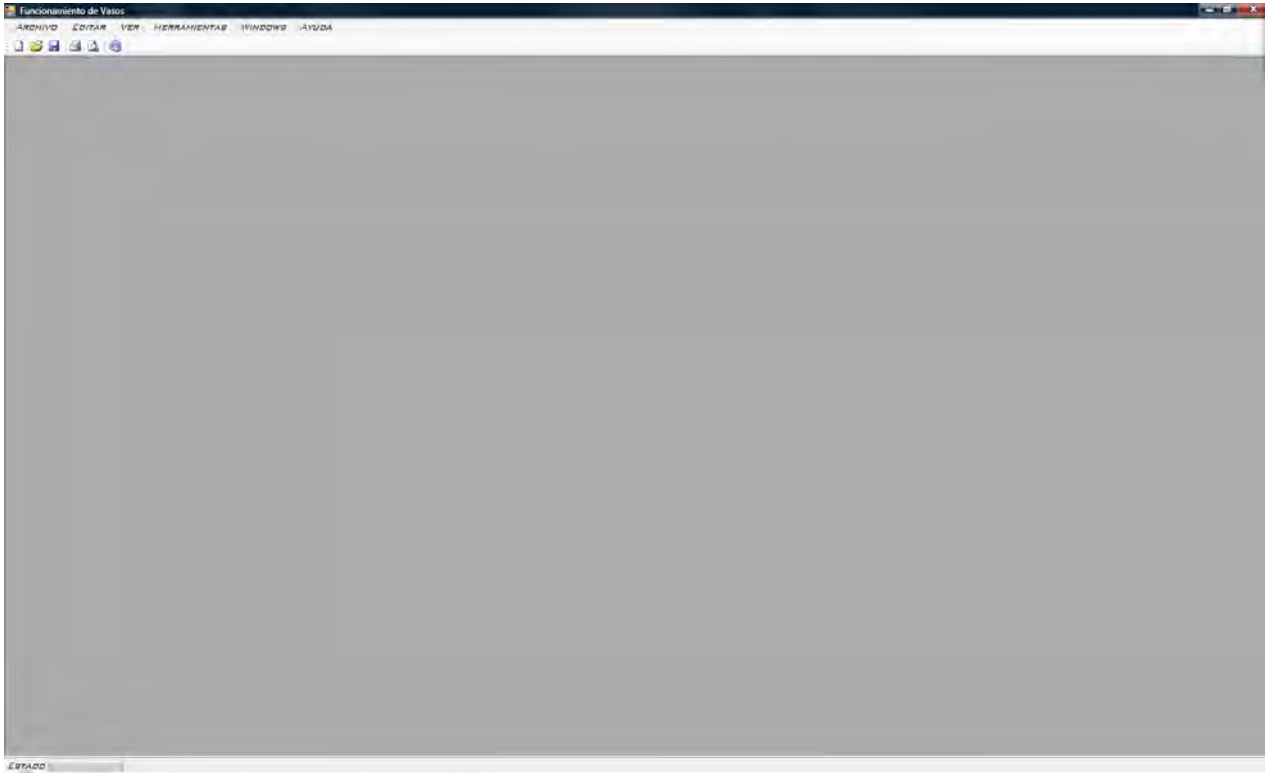


Figure 5.2

Start window or interface

As you progress within the program's data filled, you pass through several windows, which are:

1. Project
2. Data Entry
3. Runoff Matrix
4. EAC Curve
5. Net evaporation
6. Results of Operation

Posteriormente se presenta MDI Principal (Multiple Document Interface) el cual tiene como objetivo guiar al usuario a través de la simulación del funcionamiento de vasos. El usuario podrá elegir entre crear una nueva simulación o abrir y ejecutar un archivo previamente guardado, estas características se encuentran en un menú como en cualquier otro programa en la parte superior de la ventana.

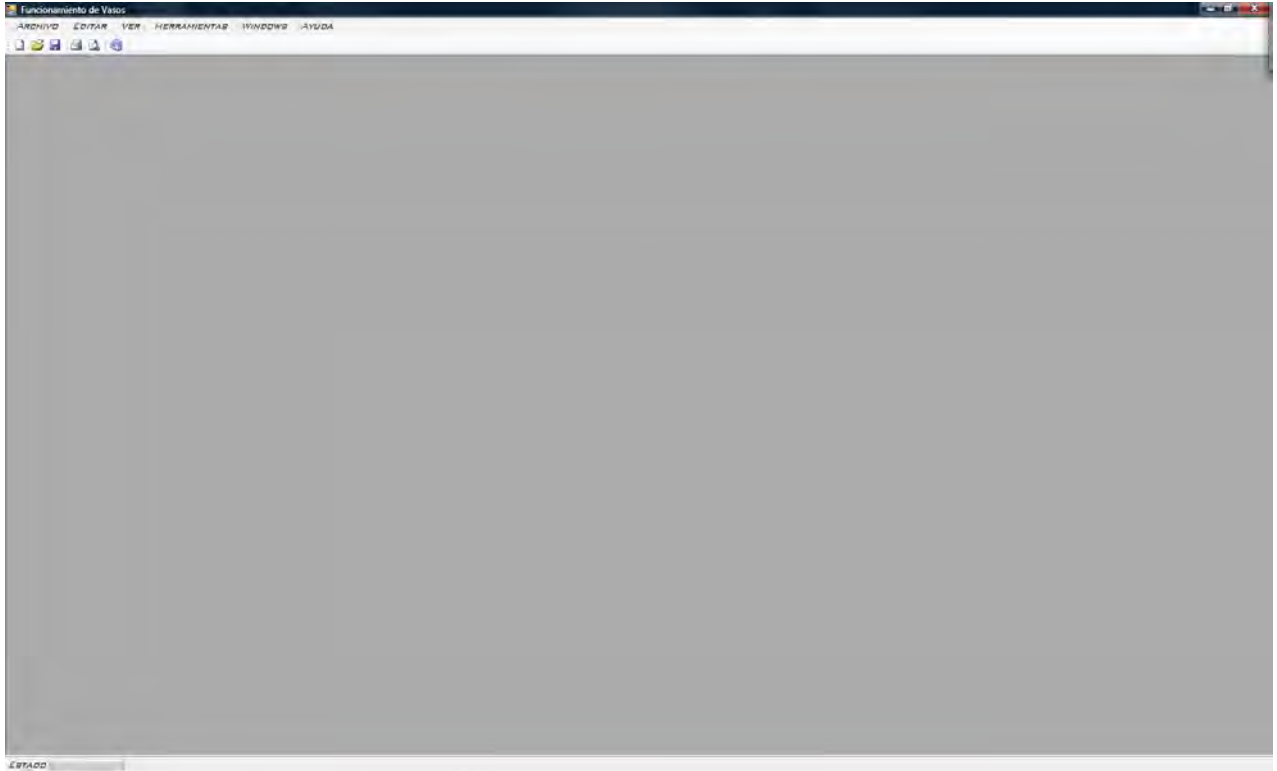


Figura 5.2  
Ventana o interfaz de inicio

Al ir avanzando dentro del llenado de datos del programa, el usuario pasara a través de diversas ventanas, las cuales son:

- 1) Proyecto
- 2) Datos de Entrada
- 3) Matriz de Escurrimiento
- 4) Curva EAC
- 5) Evaporaciones Netas
- 6) Resultado del Funcionamiento

Considering that the user wants to create a new file in the first instance will be described how to use the program under this criterion. When you click on the file icon again or to enter the menu: File / new, you'll see a window with the name "**Project**" (Figure 5.3).

### 5.1. Project

This window is intended that the user to assign a concrete manner the following characteristics:

- a) Project Name.- The program is designed so that in his second version complies with the objective of simulating cascading reservoirs, for this reason this box is designed so that the user enters the name of the storage system, for example: Grijalva, Montezuma , etc.
- b) Storage.- As was discussed in the preceding paragraph the program is raised to simulate cascade, therefore in this box indicates the name of the storage studies, for example, Peñitas, Angostura, etc.

One of the main features of this program is to perform a large number of runs with different powers each, making use of the following three points:

- c) Initial Power.- Is the given a power [in Mw] which is used as the lower limit in the range of performances to be simulated.
- d) Power Range.- This interval will be cumulatively added to the initial power until the power value is equal to the final power [in Mw].
- e) Final Power.- Is the power or maximum limit for which shall be the last simulation of the workings of reservoir, as shown in the following example:

- if
  - $PI$  (Initial power) = 5 Mw
  - $IP$  (Power range) = 5 Mw
  - $PF$  (Ending power) = 40 Mw.
- This means that operations conducted for the following reservoir installed power: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 Mw.

Considerando que el usuario desea crear un archivo nuevo, en primera instancia se describirá la manera de emplear el programa bajo ese criterio. Al dar clic en el icono de archivo nuevo o al entrar al menú: Archivo / nuevo, se desplegará una ventana con el nombre de "**Proyecto**" (**Figura 5.3**).

### 5.1. Proyecto

Esta ventana tiene como finalidad que el usuario asigne de manera concreta las siguientes características:

- a) Nombre del Proyecto.- El programa está diseñado para que en su segunda versión cumpla con la finalidad de simular embalses en cascada, por tal motivo esta casilla está pensada para que el usuario ingrese el nombre del sistema de almacenamientos, por ejemplo: Grijalva, Moctezuma, etc.
- b) Almacenamiento.- Como fue comentado en el inciso anterior el programa está planteado para simular en cascada, por consiguiente en esta casilla se anotara el nombre del almacenamiento en estudio, por ejemplo; Peñitas, Angostura, etc.

Una de las principales características de este programa es el poder realizar un gran número de funcionamientos con diversas potencias cada uno, haciendo el empleo de los siguientes tres puntos:

- c) Potencial Inicial.- Se asignara una potencia [en Mw] la cual se empleará como límite inferior en el intervalo de funcionamientos a simular.
- d) Intervalo de Potencia.- Este intervalo le será sumado de manera acumulativa a la potencia inicial hasta que el valor de la potencia sea igual al de la potencia final [en Mw].
- e) Potencia Final.- Potencia límite o máxima para la cual, se hará la última simulación de los funcionamientos de vaso, como se muestra en el siguiente ejemplo:

- Si,

- $PI$  (Potencia Inicial) = 5 Mw,
- $IP$  (Intervalo de Potencia) = 5 Mw,
- $PF$  (Potencia Final) = 40 Mw.

- Esto quiere decir que se realizarán funcionamientos de vaso para las siguientes potencias instalables: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 Mw.



Figure 5.3

## Project Window

Table 5.1 and figure 5.4 illustrate how to interpret the power intervals [ $@ 25 \text{ Mw}$ ], from an initial power [50 MW], until the final power [500 MW]. The ranges used are to illustrate, may vary according to the decision of the user.





Figura 5.3  
Ventana de Proyecto

La tabla 5.1 y figura 5.4 ejemplifican la manera en que se interpretan los intervalos de potencia [ $@ 25 \text{ Mw}$ ], partiendo de una potencia inicial [ $50 \text{ Mw}$ ], hasta la potencia final [ $500 \text{ Mw}$ ]. Los intervalos empleados son para ejemplificar; pueden variar según la decisión del usuario.

CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		50	75	100	125	150
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	31,6	32	32,05	32,05	32,05
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	360,07	364,91	365,31	365,31	365,31
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	40,59	181,2	312,6	432,33	539,33
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	GWh	400,66	546,11	677,91	797,64	904,64

CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		175	200	225	250	275
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05	32,05
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31	365,31
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	634,69	718,18	795,16	866,42	931,17
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	GWh	1000	1083,49	1160,47	1231,73	1296,48

CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		300	325	350	375	400
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05	32,05
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31	365,31
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	987,6	1033,58	1069,51	1096,63	1115,42
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	GWh	1352,91	1398,89	1434,82	1461,94	1480,73

CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)			
		425	450	475	500
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	1128,21	1137,02	1143,17	1147,28
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	GWh	1493,52	1502,33	1508,48	1512,59

Table 5.1  
Generation Firm, Secondary and Total power at different intervals

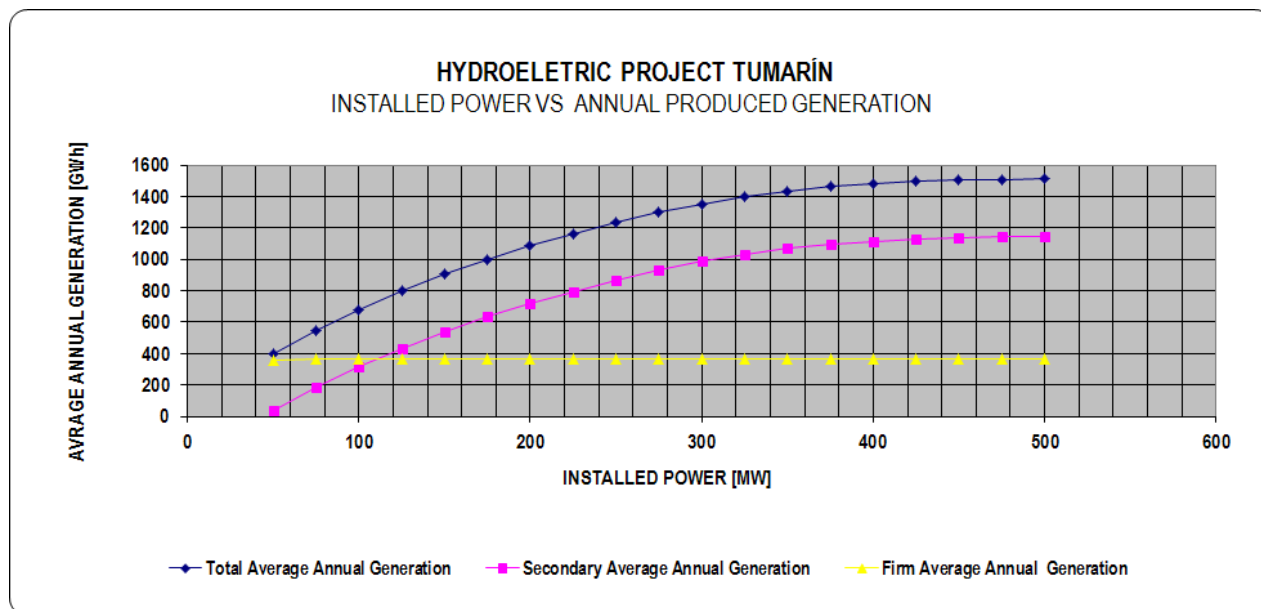


Figure 5.4  
Installed Power vs. Generation

CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		50	75	100	125	150
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	31,6	32	32,05	32,05	32,05
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	360,07	364,91	365,31	365,31	365,31
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	40,59	181,2	312,6	432,33	539,33
GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL	GWh	400,66	546,11	677,91	797,64	904,64

CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		175	200	225	250	275
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05	32,05
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31	365,31
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	634,69	718,18	795,16	866,42	931,17
GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL	GWh	1000	1083,49	1160,47	1231,73	1296,48

CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		300	325	350	375	400
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05	32,05
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31	365,31
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	987,6	1033,58	1069,51	1096,63	1115,42
GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL	GWh	1352,91	1398,89	1434,82	1461,94	1480,73

CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)			
		425	450	475	500
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	32,05	32,05	32,05	32,05
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	365,31	365,31	365,31	365,31
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	1128,21	1137,02	1143,17	1147,28
GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL	GWh	1493,52	1502,33	1508,48	1512,59

Tabla 5.1.  
Generación Firme, Secundaria y Total en distintos intervalos de Potencia

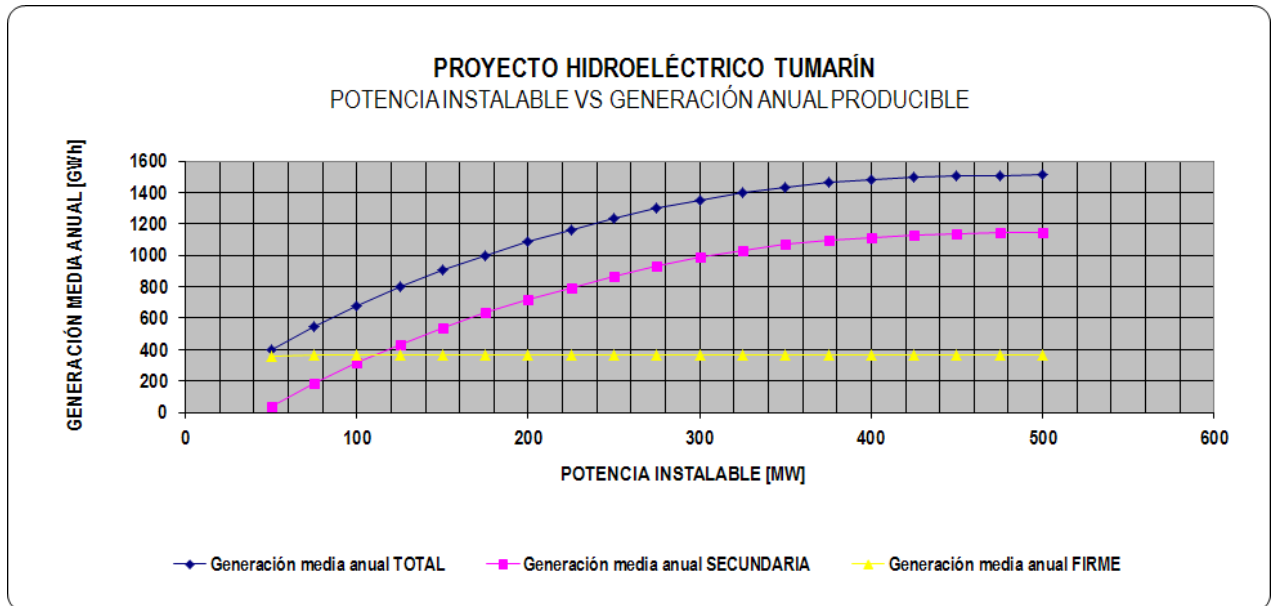


Figura 5.4  
Potencia Instalable Vs Generación

f) Input data.- Once the filling of the sheet "Project", by clicking on this button will enter the next window (Figure 5.6).

Note .- In the event that has not entered any of the above data, you can't access the window **"Data Entry"**, a message box warning indicating that failure to fill (Figure 5.5).



Figure 5.5  
Alert Window

- f) Datos de entrada.- una vez concluido el llenado de la hoja “Proyecto”, al dar clic en este botón se podrá ingresar a la ventana siguiente (Figura 5.6).

Nota.- En caso de que no se haya ingresado alguno de los datos anteriores, no se podrá acceder a la ventana “**Datos de Entrada**”, aparecerá un mensaje de alerta indicando la casilla que falta por llenar (figura 5.5).



Figura 5.5  
Ventana de Alerta

## 5.2. Data Entry

In this way levels will be introduced and main features (Figure 5.6) with those who will be simulated operation of the reservoir, which are comprised as follows:

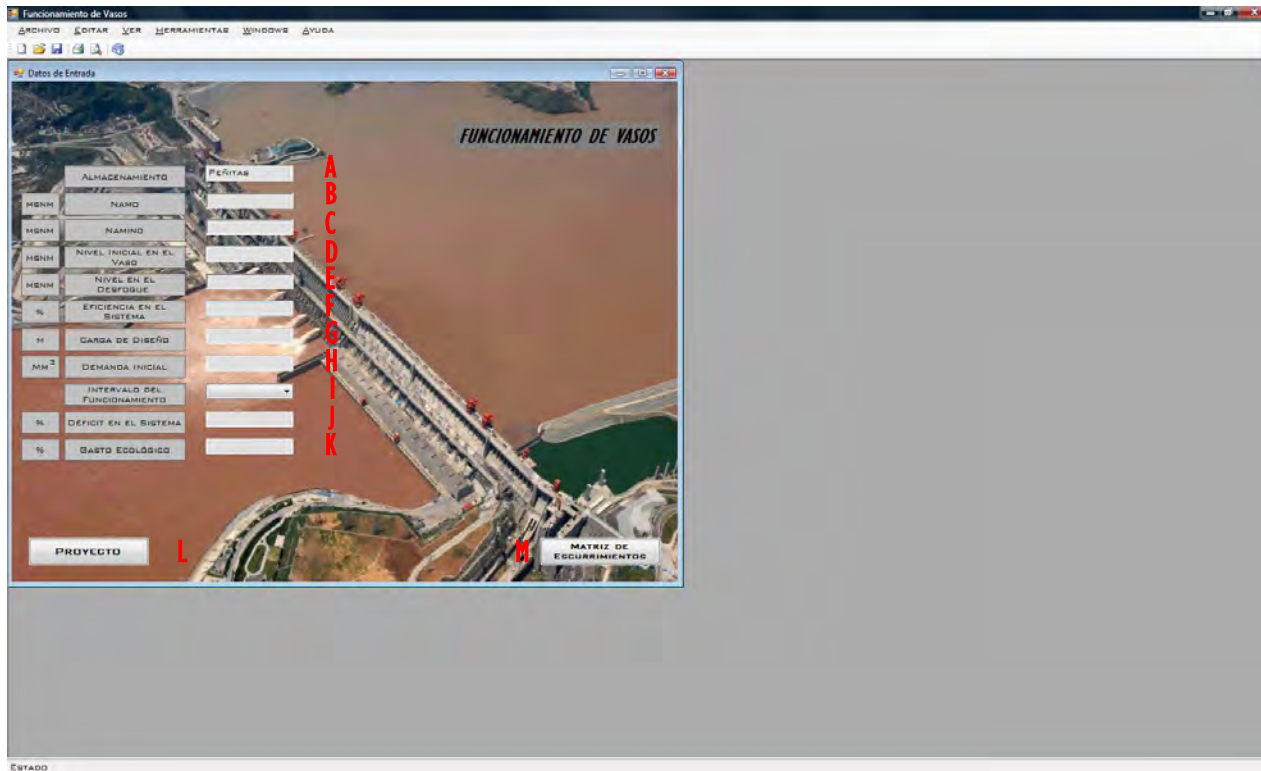


Figure 5.6.

### Data Entry

- Storage.- Will automatically appear the name caught on the window project.
- NAMO.- Be paid the normal maximum water level [*msnm*].
- NAMINO.- Shall be paid minimum water level of operation [*msnm*].
- Initial water level in the reservoir.- Shall be paid into the initial level in the reservoir, usually considered NAMO level [*msnm*].
- Level in the vent.- Shall be paid the level at which water is returned to the river turbine [*msnm*].

### 5.3. Datos de Entrada

Dentro de esta forma se introducirán los niveles y características principales (Figura 5.6) con los que va a ser simulado el funcionamiento del embalse, los cuales están conformados como se describe a continuación:



Figura 5.6.  
Datos de Entrada

- a) Almacenamiento.- Aparecerá de manera automática el nombre capturado en la ventana proyecto.
- b) NAMO.- Se ingresará el nivel de aguas máximas ordinarias [*msnm*].
- c) NAMINO.- Se ingresará el nivel de aguas mínimas de operación [*msnm*].
- d) Nivel inicial de agua en el vaso.- Se ingresará en nivel inicial en el vaso, por lo general se considera el nivel del NAMO [*msnm*].
- e) Nivel en el desfogue.- Se ingresará el nivel en el cual el agua turbina se restituye al río [*msnm*].

- f) System efficiency.- Value of the overall efficiency of the plant taking into account the hydraulic, turbine and generator [%].
- g) Design Load.- Enter the design load, if the user wants the program is calculated, is assigned the value "0" [m].
- h) Initial Demand.- Entering a demand with which the program will start the various iterations to get the deficit selected for each of the various powers [Mm<sup>3</sup>].
- i) Operation interval.- Define the type of operation to be performed, if this is:
  - a. Daily
  - b. Monthly
  - c. Annual
- j) Deficit in the system.- Allowed to select a specific deficit in the system, which depends on the primary objective of the work, for example: hydropower projects maximum allowable annual deficiency in the whole period is 5% and for case potable water supply deficit to consider is 0%.

This deficit is obtained based on iterations between installed capacity and the proposed minimum monthly generation, since for a given power, it sets the minimum monthly generation proposed in order to get the deficit searched.

- k) Ecological flow.- Because in recent years have raised concerns about the environmental impact, environmental spending is now considered essential in preserving the ecosystem in the project site. For this reason different percentages are considered eco-spending the operation of the reservoir. This percentage will vary depending on the environmental impact study. This percentage is subtracted from the runoff matrix (percentage subtracted with respect to 100% of the runoff matrix) in the corresponding month.
- l) Project .- In case of having committed a mistake or just the fact of wanting to make a change to the way "**Project**", this button will allow to return to it.
- m) Runoff Matrix.- once the proper filling of the form "**Data Entry**" By clicking this button you can enter as follows "**Runoff matrix**".



- f) Eficiencia en el sistema.- Valor de la eficiencia global de la planta tomando en cuenta su circuito hidráulico, turbina y generador [%].
- g) Carga de Diseño.- Ingresar la carga de diseño, en caso de que el usuario desea que el programa lo calcule, se asignara el valor "0" [m].
- h) Demanda inicial.- Se ingresa una demanda con la cual el programa comenzara las diversas iteraciones para obtener el déficit seleccionado para cada una de las diversas potencias [Mm<sup>3</sup>].
- i) Intervalo del funcionamiento.- Permite definir el tipo de funcionamiento a realizar, si este es:
  - a. Diario
  - b. Mensual
  - c. Anual
- j) Déficit en el sistema.- Se permite seleccionar un determinado déficit en el sistema, el cual dependerá del objetivo principal de la obra, por ejemplo: para proyectos hidroeléctricos la deficiencia máxima anual permitida en todo el periodo es del 5%, y para caso de abastecimiento de agua potable el déficit a considerar es del 0%.

Dicho déficit se obtiene a base de iteraciones entre la potencia instalada y la generación mensual mínima propuesta, ya que para una determinada potencia, se ajusta la generación mensual mínima propuesta con el objetivo de obtener el déficit buscado.

- k) Gasto Ecológico.- Debido a que en los últimos años se han incrementado las preocupaciones respecto al impacto ambiental, actualmente el gasto ecológico es considerado esencial en la preservación del ecosistema en el sitio del proyecto. Por tal motivo se consideraran distintos porcentajes del gasto ecológico para el funcionamiento del vaso. Dicho porcentaje variará dependiendo del estudio de impacto ambiental. Dicho porcentaje se restará a la matriz de escurrimientos (porcentaje restado con respecto al 100% de la matriz de escurrimientos), en su correspondiente mes.
- l) Proyecto.- En caso de haber cometido alguna equivocación o simplemente el hecho de querer hacer una modificación a la forma "**Proyecto**", este botón permitirá poder regresar a la misma.
- m) Matriz de Escurrimientos.- Una vez concluido el llenado correcto de la forma "**Datos de Entrada**", al dar clic este botón se podrá ingresar a la forma siguiente "**Matriz de Escurrimientos**".





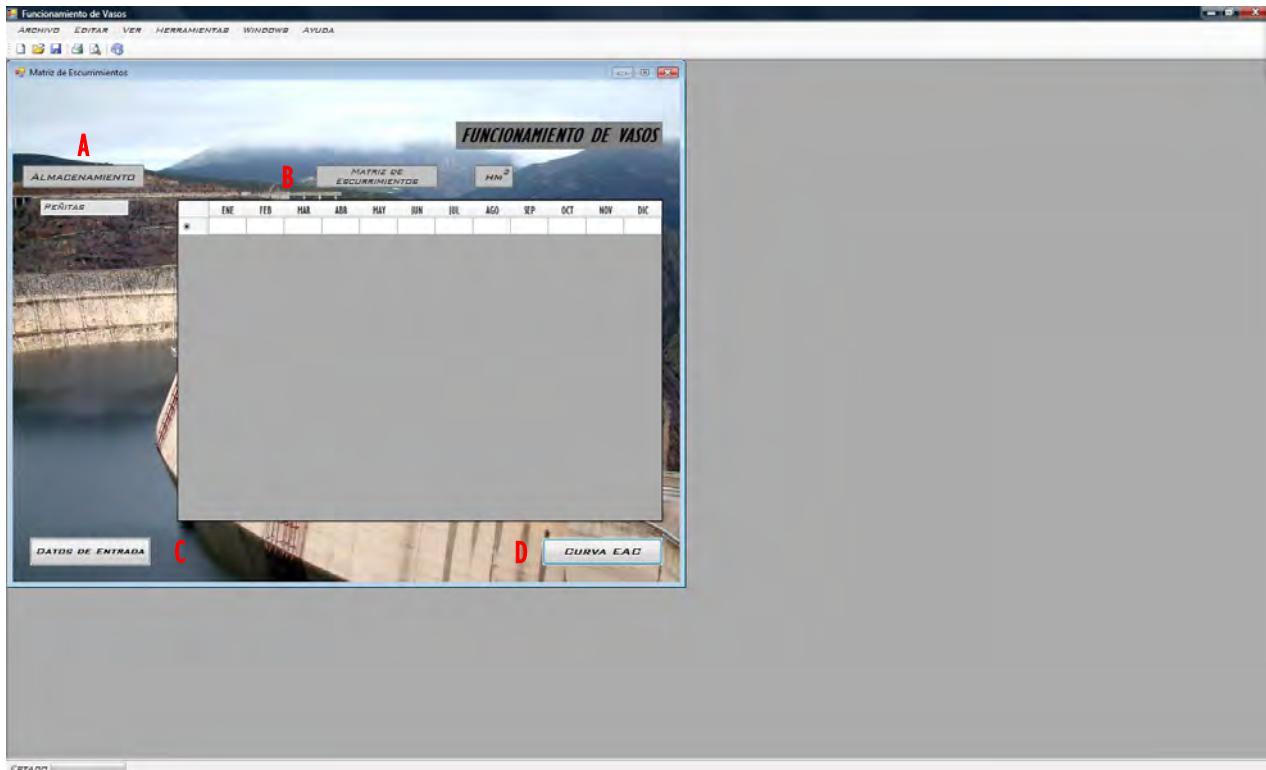


Figura 5.7.b

## Runoff Matrix – Selected Monthly Interval

The form "**Runoff Matrix**" is comprised of the following components:

- a) Storage.- Will automatically appear the name caught on the window project.
- b) Runoff Matrix.- Shall be paid the daily records for each year, should not count them, and shall be paid monthly values for each year of registration. Although in Figure 5.6 appears to be a screen for only one year, to pay- data, the lines will expand the number of triads needed. To simplify your filling the user can append the records by copying and pasting the entire array, since the grid is programmed to receive data by using **Ctrl + V** command.
- c) Input data.- If having committed a mistake or just to make a change to the way "**Data Entry**", this button will allow returning to it.
- d) *EAC* Curve.- Once the correct filling of the form "**Runoff Matrix**" By clicking this button you can enter as follows "**EAC Curve.**"
- e) Initial year.- It will be selected the year of the first record of the runoff matrix.

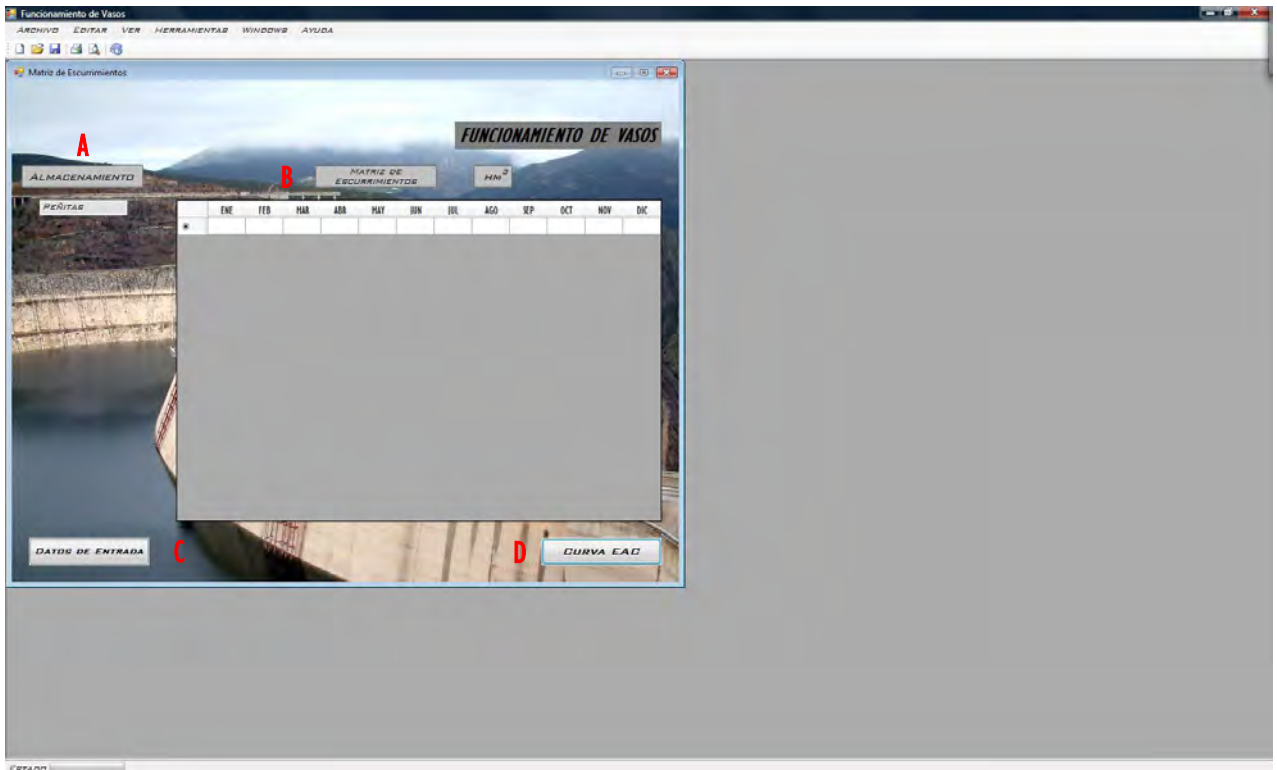


Figura 5.7.b

Matriz de Escurrimientos – Intervalo Seleccionado Mensual

La forma **“Matriz de Escurrimientos”** se encuentra conformada por los siguientes componentes:

- a) Almacenamiento.- Aparecerá de manera automática el nombre capturado en la ventana proyecto.
- b) Matriz de Escurrimientos.- Se ingresarán los registros diarios para cada año, en caso de no contar con ellos, se ingresarán los valores mensuales de cada año de registro. Aunque en la figura 5.6 parece haber un reglón para solo un año, al ir ingresando los datos, los renglones se expandirán al número de ternas necesarias. Para simplificar su llenado el usuario puede anexar los registros copiando toda la matriz y pegándola, ya que el grid se encuentra programado para recibir los datos mediante el empleo del comando **Ctrl + V**.
- c) Datos de entrada.- En caso de haber cometido alguna equivocación o simplemente para hacer una modificación a la forma **“Datos de Entrada”**, este botón permitirá poder regresar a la misma.
- d) Año inicial.- Se seleccionará el año del primer registro de la matriz de escurrimientos.
- e) Curva EAC.- Una vez concluido el llenado correcto de la forma **“Matriz de Escurrimientos”**, al dar clic este botón se podrá ingresar a la forma siguiente **“Curva EAC”**.

#### 5.4. Curve Elevations - Areas - Capabilities

In this way the curves enter Elevations - Areas and Elevations - Capabilities in the reservoir, to facilitate its use and then describe the components of it:

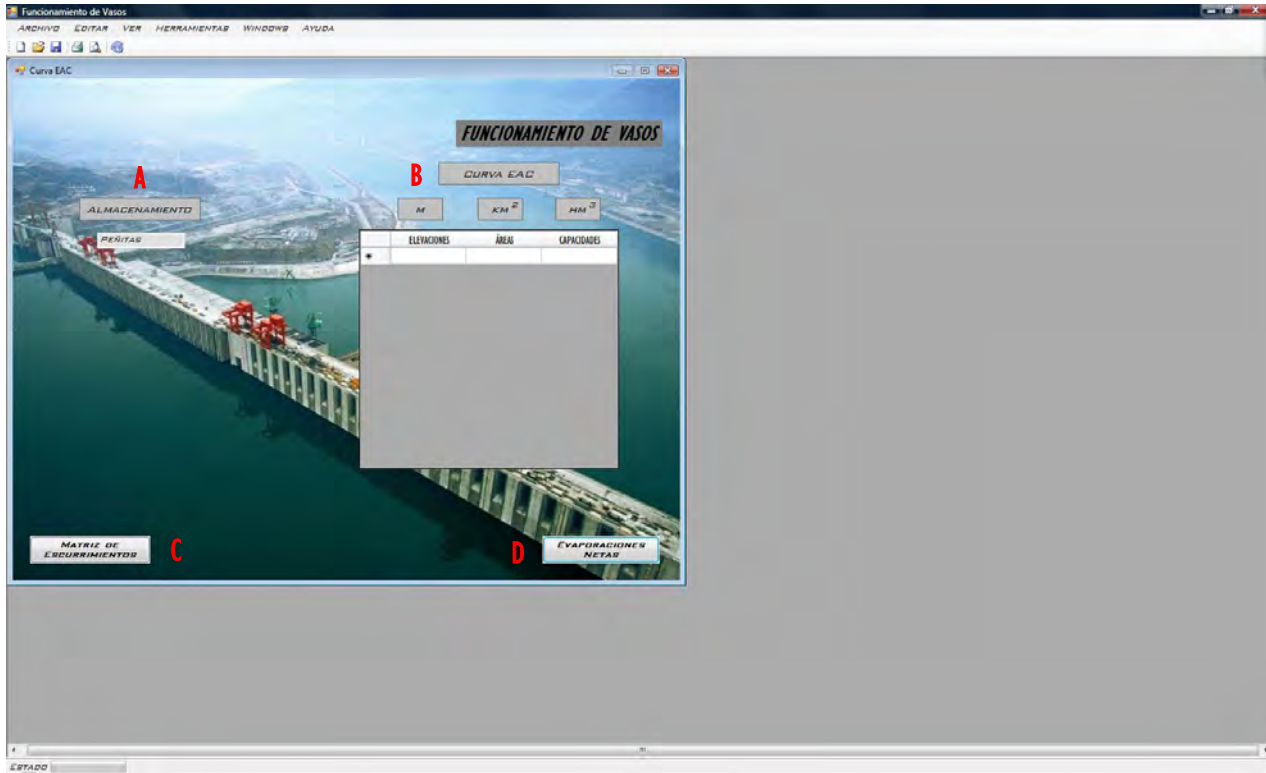


Figura 5.8.

#### Curve Elevations - Areas - Capabilities

- Storage.- Will automatically appear the name caught on the window project.
- EAC Curve.- Data will be introduced to this curve, you should check the correct order of high-income areas and capabilities in the last column, since otherwise the simulation results will be wrong.
- Runoff Matrix.- If having committed a mistake or simply a modification to the form **"Runoff Matrix"**, this button will allow to return to it.
- Net evaporation.- Once the proper filling of the form **"curve EAC"** By clicking this button you can enter as follows **"Evaporations Net."**

### 5.4. Curva Elevaciones – Áreas – Capacidades

Dentro de esta forma se ingresarán las curvas Elevaciones – Áreas y Elevaciones – Capacidades en el embalse, para facilitar su empleo a continuación se describen los componentes de la misma:

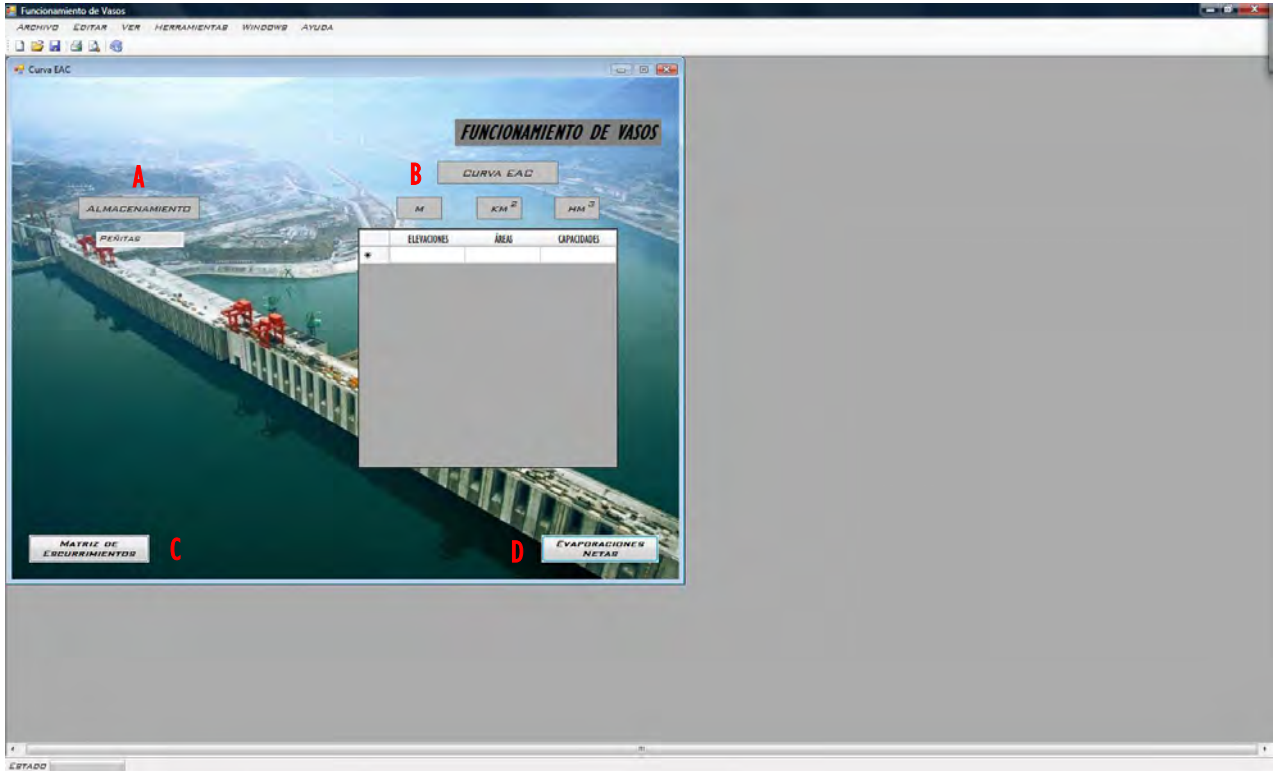


Figura 5.8.

Curva Elevaciones - Areas – Capacidades

- Almacenamiento.- Aparecerá de manera automática el nombre capturado en la ventana proyecto.
- Curva EAC.- Se introducirán los datos correspondientes a dicha curva, se deberá verificar el correcto orden de ingreso Elevaciones, Áreas y en la última columna Capacidades, ya que, en caso contrario los resultados de la simulación serán erróneos.
- Matriz de Escurrimientos.- En caso de haber cometido alguna equivocación o simplemente hacer una modificación a la forma **“Matriz de Escurrimientos”**, este botón permitirá poder regresar a la misma.
- Evaporaciones Netas.- Una vez concluido el llenado correcto de la forma **“Curva EAC”**, al dar clic este botón se podrá ingresar a la forma siguiente **“Evaporaciones Netas”**.

## 5.5. Net evaporation

The form "**Evaporations Net**" is the last window where the data will be captured, later to start the various simulations of the operation of reservoirs. This is integrated by:

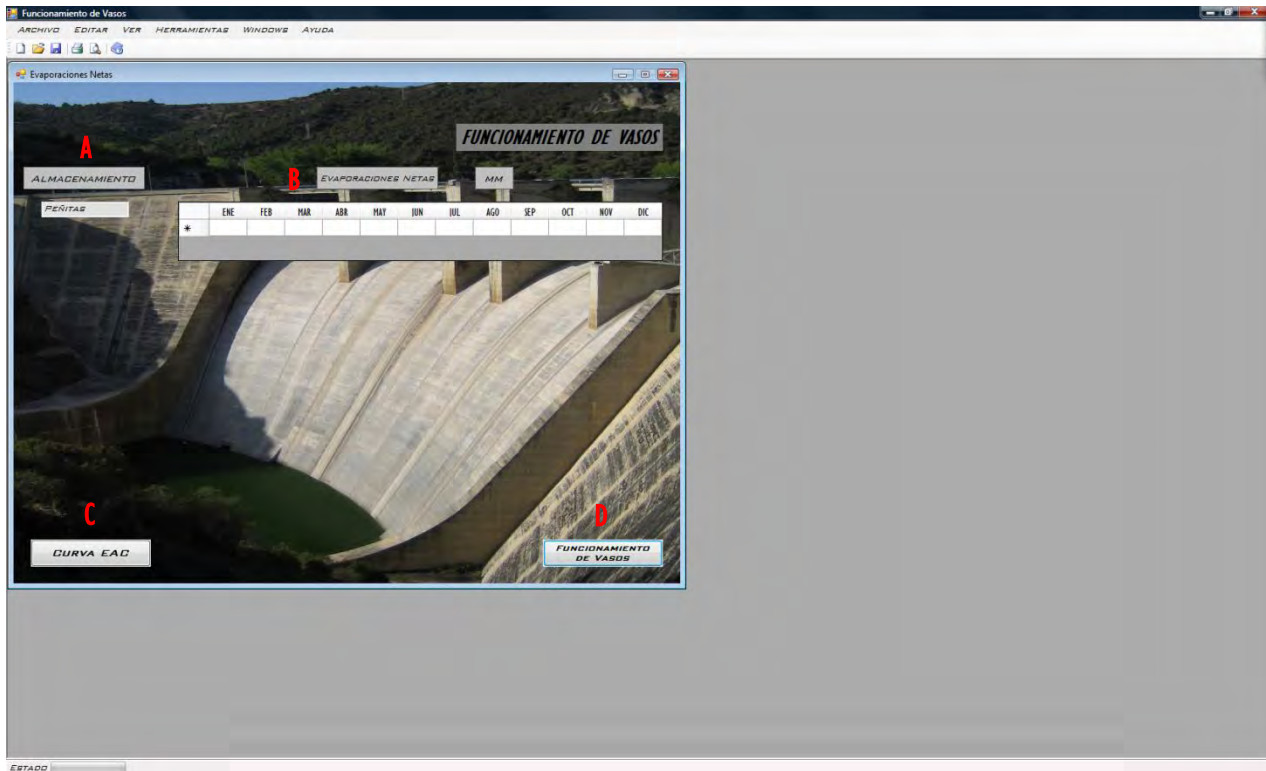


Figure 5.7

### Net evaporation

- Storage.- Will automatically appear the name caught on the window project.
- Net evaporation evaporations.- Then enter the net on a monthly basis in mm. [Net evaporation = evaporation - precipitation].
- EAC** Curve.- if having committed a mistake or simply a modification to the form "**EAC Curve**", this button will allow returning to it.
- Operation of Reservoirs.- Once the proper filling of the form "**Evaporations Net**" By clicking this button you can enter as follows "**Results of the operation.**"



## 5.5. Evaporaciones Netas

La forma "**Evaporaciones Netas**" es la última ventana donde serán capturados los datos, para posteriormente comenzar las diversas simulaciones del funcionamiento de vasos. Esta se encuentra integrada por:

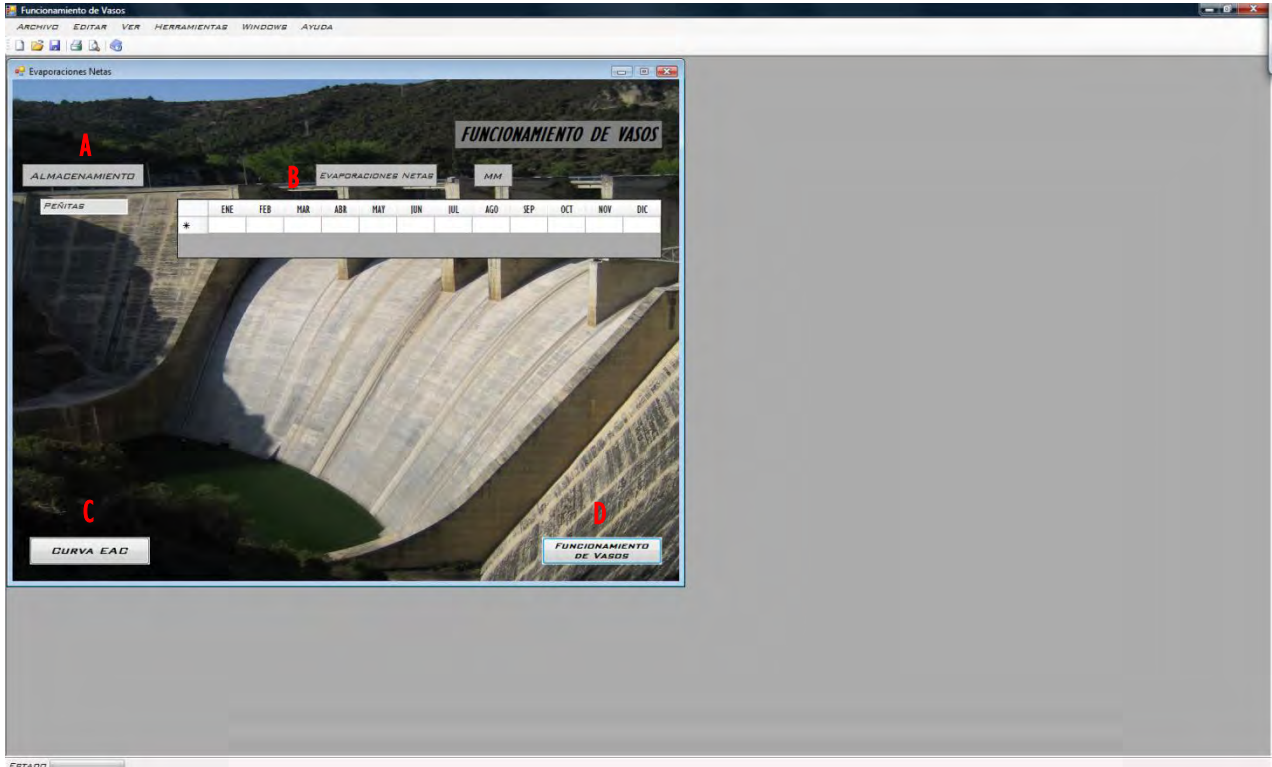


Figura 5.7

### Evaporaciones Netas

- Almacenamiento.- Aparecerá de manera automática el nombre capturado en la ventana proyecto.
- Evaporaciones Netas.- Se ingresaran las evaporaciones netas de manera mensual en mm. [Evaporación neta = evaporación – precipitación].
- Curva EAC.- En caso de haber cometido alguna equivocación o simplemente hacer una modificación a la forma "**Curva EAC**", este botón permitirá poder regresar a la misma.
- Funcionamiento de Vasos.- Una vez concluido el llenado correcto de la forma "**Evaporaciones Netas**", al dar clic este botón se podrá ingresar a la forma siguiente "**Resultados del funcionamiento**".

### 5.5. Operating Results

This form is composed of the summary of results of different simulations of the operation of the reservoir, the user selects the power you want to see results. The components in this way are:

- a) Installed Power Simulated.- The user selects the installed capacity [in  $MW$ ] and the results of the simulation of reservoir to view.
- b) Initial Elevation [in  $msnm$ ]
- c) Monthly Maximum Extraction for the Generation [ $Mm^3$ ]
- d) Global Plant Efficiency [%]
- e) Gross Load Design [ $m$ ]
- f) Firm Generation Average Annual entire period [ $GW h$ ]
- g) High Average Annual Generation throughout the period [ $GW h$ ]
- h) Average Annual Total generation throughout the period [ $GW h$ ]
- i) Mean annual net evaporation throughout the period [ $mm$ ]
- j) Mean Annual spill throughout the period [ $Mm^3$ ]
- k) Number of hours Daily Average Installed Power [ $h$ ]
- l) Media power throughout the period [in  $Mw$ ].

### 5.5. Resultados del Funcionamiento

Esta forma se encuentra integrada por el resumen de resultados de las distintas simulaciones del funcionamiento de vaso, en la el usuario seleccionará la potencia cuyos resultados desee ver. Los componentes de esta forma son:

- a) Potencia Instalada Simulada.- El usuario seleccionara la potencia instalada [en Mw] cuyos resultados de la simulación del funcionamiento de vaso desee ver.
- b) Elevación Inicial [en *msnm*]
- c) Extracción Máxima Mensual para Generación [*Mm*<sup>3</sup>]
- d) Eficiencia Global de la Planta [%]
- e) Carga Bruta de Diseño [*m*]
- f) Generación Firme Media Anual en todo el Periodo [*Gwh*]
- g) Generación Secundaria Media Anual en todo el Periodo [*Gwh*]
- h) Generación Total Media Anual en todo el Periodo [*Gwh*]
- i) Evaporación Neta Media Anual en todo el Periodo [*mm*]
- j) Derrame Medio Anual en todo el Periodo [*Mm*<sup>3</sup>]
- k) Número de horas a Potencia Instalada Media Diaria [*h*].
- l) Potencia Media en todo el Periodo [en *Mw*].

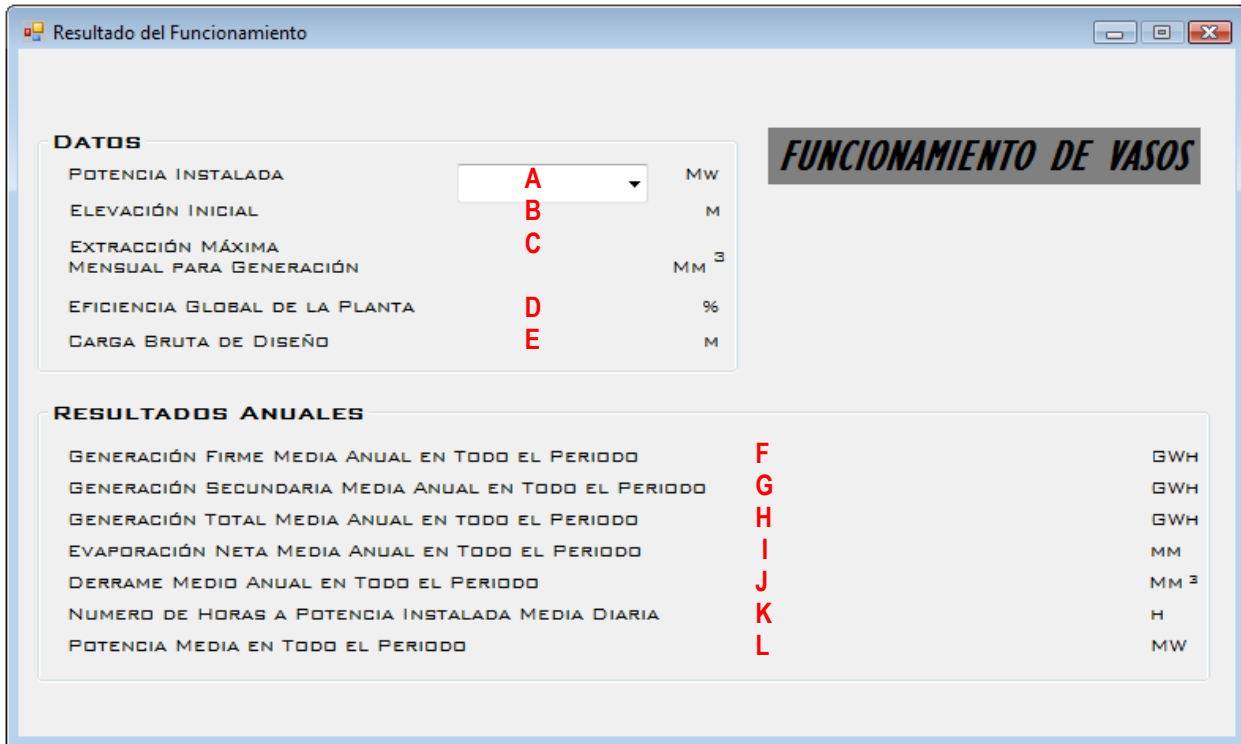


Figure 5.9  
Results of operation

\* To view other results of some other power installed, you only need to modify the selection of part a) [Installed power Simulated]



Figura 5.9

Resultado del Funcionamiento

\*Para poder ver otros resultados de la alguna otra potencia instalada, tan solo es necesario modificar la selección del inciso a) [Potencia instalada Simulada]



# ANEXO (ANNEX)

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



This annex illustrates the operation of glass simulation based on a real project developed for the government of Nicaragua, H.P. Brito, using the software developed for this thesis.

## ANNEX

The Bureau of Reclamation, under the Ministry of Interior of the United States began Feasibility studies Brito in 1977, but due to the political-military crisis of 1979 the final report was delivered and all existing information was moved to Denver Colorado. Eleven years later, in 1990 another delegation from the Nicaraguan Energy Institute re-visit the Offices of the Bureau and they have a financial offer to complete the Feasibility of the project.

Brito Project is located in the southern sector of the country and falls within two regions (figure A.1.). The first in the San Juan River near the mouth of the Tarpon, known as "area of San Isidro" and the second on the Isthmus of Rivas, which covers a strip of land that extends from the mouth of the Las Lajas Lake Nicaragua to Brito River mouth in the Pacific Ocean.



Figura A.1. Project Location

En este anexo se ejemplifica la simulación de funcionamiento de vaso partiendo de un proyecto real elaborado para el gobierno de Nicaragua, P.H. Brito, empleando el programa elaborado para la presente tesis.

**ANEXO**

El Bureau of Reclamation, perteneciente al Ministerio del Interior de los Estados Unidos inició los estudios de Factibilidad de Brito en 1977, pero debido a la crisis político-militar de 1979 el informe final no fue entregado y toda la información existente fue trasladada a Denver Colorado. Once años después, en 1990 otra delegación del Instituto Nicaragüense de Energía visita nuevamente a las Oficinas del Bureau y estos presentan una oferta económica para terminar la Factibilidad del proyecto.

El Proyecto Brito se localiza en el sector Sur del país y está comprendido en dos regiones (figura A.1.). La primera en el San Juan cerca de la desembocadura del río Sábalos, denominada “área de San Isidro” y la segunda en el Istmo de Rivas que abarca una franja de terreno que se extiende de la desembocadura del río Las Lajas en el Lago de Nicaragua hasta la desembocadura del río Brito en el Océano Pacífico.



Figura A.1. Localización del Proyecto



The government of Nicaragua asked the Comisión Federal de Electricidad to conduct a hydropower study to determine the optimum installed power for the H.P. Brito. This delegation of Nicaraguan Institute provides the studies conducted by the Bureau of Reclamation to the CFE to conduct the study, which when integrated is comprised of:

1. **Operating Levels (table A.1.)**
2. **Operation Features (table A.2.)**
3. **Runoff Matrix (table A.3.)**
4. **Curve E – A – C (table A.4. and figure A.2.)**
5. **Net Evaporations (table A.5.)**

Each of these points is composed of various components, for better appreciation shown below the various graphs and figures that comprise:

Operating Levels		
NAMO	33	msnm
NAMINO	31	msnm
Initial Water Level in the Reservoir	33	msnm
Level in the Vent	1.5	msnm
Design Load	31.5	m

Table A.1. Operating Levels

Operation Features		
System Efficiency	92	%
Initial Demand	80	Mm <sup>3</sup>
Operation Interval	Monthly	Time
Deficit in the System	5	%
Ecological Expenditure	10	%
Initial Power	0	Mw
Power Range	10	Mw
Final Power	300	Mw

Table A.2. Operation Features

El gobierno de Nicaragua solicita a la Comisión Federal de Electricidad realizar un estudio hidroenergético con el fin de determinar la potencia instalable óptima para el P.H. Brito. Para ello la delegación del instituto nicaragüense proporciona los estudios realizados por el Bureau of Reclamation a la CFE para llevar a cabo el estudio, la cual al integrarse queda conformada por:

1. **Niveles de Operación (tabla A.1.)**
2. **Características del Funcionamiento (tabla A.2.)**
3. **Matriz de Escurrimientos (tabla A.3.)**
4. **Curva E – A – C (tabla A.4. y figura A.2.)**
5. **Evaporaciones Netas (tabla A.5.)**

Cada uno de los puntos mencionados se encuentra integrado por diversos componentes, para su mejor apreciación se muestran a continuación las diversas gráficas y figuras que los integran:

Niveles de Operación		
NAMO	33	msnm
NAMINO	31	msnm
Nivel Inicial en el Vaso	33	msnm
Nivel en el Desfogue	1.5	msnm
Carga de Diseño	31.5	m

Tabla A.1. Niveles de Operación

Características del Funcionamiento		
Eficiencia en el Sistema	92	%
Demanda Inicial	80	Mm <sup>3</sup>
Intervalo del Funcionamiento	Mensual	Time
Déficit en el Sistema	5	%
Gasto Ecológico	10	%
Potencia Inicial	0	Mw
Intervalo de Potencia	10	Mw
Potencia Final	300	Mw

Tabla A.2. Características del Funcionamiento

### RUNOFF ENTERING THE RESERVOIR

AÑO	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1952	1202	897	821	683	681	819	1155	1214	1240	1650	1537	1506	13 406
1953	1479	996	855	786	915	1110	1427	1545	1787	2061	1922	2068	16 952
1954	2021	1488	1368	1121	1025	1296	1545	1419	1923	2078	1889	1351	18 523
1955	1934	1297	1178	926	908	952	1757	1394	1512	1522	1471	1501	16 352
1956	1104	828	813	624	550	751	1251	1153	1449	1736	2102	1678	14 039
1957	1465	1152	818	681	678	810	1132	1465	1549	1902	1561	1574	14 787
1958	1221	957	850	671	597	615	891	1307	1311	1559	1694	1788	13 459
1959	1359	1061	951	767	772	905	1416	1330	1218	1223	1256	1125	13 383
1960	883	665	588	460	448	702	927	1042	981	1048	915	913	9 571
1961	689	563	499	389	408	539	719	1000	982	1032	1025	1135	8 979
1962	859	666	818	681	678	809	1144	1203	1296	1517	1503	1675	12 847
1963	1238	937	860	707	97	215	379	377	432	1454	945	813	8 454
1964	560	382	311	684	298	502	720	867	747	757	625	693	7 147
1965	1207	261	228	151	838	1058	1862	1598	1565	1758	1554	1322	13 402
1966	1204	905	806	635	650	656	811	954	965	1232	1101	1089	11 006
1967	1204	899	669	541	508	594	1145	1204	1423	1301	1205	1124	11 817
1968	1068	898	823	609	524	598	999	969	998	1048	1025	986	10 545
1969	927	653	821	685	680	811	1145	1205	1222	1495	1151	1332	12 128
1970	958	729	686	537	485	512	969	1067	960	1115	1019	851	9 888
1971	889	897	820	682	679	810	1145	1205	1219	1419	1359	1345	12 468
1972	1199	895	818	681	753	989	1158	1013	1127	1265	1139	1350	12 388
1973	1230	966	933	811	800	785	1155	1214	1240	1635	1640	1596	14 005
1974	1364	1083	1019	904	873	833	1122	1345	1230	1520	1603	1619	14 516
1975	1377	1200	1093	874	796	851	1171	1199	999	1349	1327	1169	13 404
1976	933	725	654	522	487	622	816	939	966	1440	1357	1821	11 281
1977	1441	1111	1006	825	835	819	1213	1338	1411	1627	1542	1472	14 640
1978	1480	1141	1049	848	909	1277	1325	1479	1483	1421	1361	1385	15 157
1979	1273	959	916	734	695	929	1202	1417	1277	1394	1234	1470	13 500
1980	1150	852	793	683	681	819	1077	1280	1278	1275	1429	1130	12 448
1981	911	704	642	510	630	968	1481	1513	1381	1517	1469	1411	13 137
1982	1442	1017	964	786	1112	1407	1529	1499	1465	1527	1576	1596	15 918
1983	1371	1018	821	683	875	1074	1142	1439	1439	1690	1791	1466	14 809
1984	1293	1053	999	831	788	847	1185	1184	1042	1110	953	1136	12 421
1985	948	658	611	512	515	559	1155	914	1058	1275	1296	1416	10 917
MIDDLE	1 202	897	821	683	681	819	1 155	1 214	1 240	1 440	1 370	1 350	12 873
MAXIMUM	2 021	1 488	1 368	1 121	1 112	1 407	1 862	1 598	1 923	2 078	2 102	2 068	18 523
MINIMUM	560	261	228	151	97	215	379	377	432	757	625	693	7 147
Sta Des	304,00	247,16	222,69	174,96	208,92	246,86	294,00	248,89	290,73	290,64	323,20	307,54	2 449,20
Coef Var	0,54	0,95	0,97	1,16	2,15	1,15	0,78	0,66	0,67	0,38	0,52	0,44	0,34

Figure A.3. Runoff Matrix

ESCURRIMIENTOS QUE INGRESAN AL EMBALSE													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1952	1202	897	821	683	681	819	1155	1214	1240	1650	1537	1506	13 406
1953	1479	996	855	786	915	1110	1427	1545	1787	2061	1922	2068	16 952
1954	2021	1488	1368	1121	1025	1296	1545	1419	1923	2078	1889	1351	18 523
1955	1934	1297	1178	926	908	952	1757	1394	1512	1522	1471	1501	16 352
1956	1104	828	813	624	550	751	1251	1153	1449	1736	2102	1678	14 039
1957	1465	1152	818	681	678	810	1132	1465	1549	1902	1561	1574	14 787
1958	1221	957	850	671	597	615	891	1307	1311	1559	1694	1788	13 459
1959	1359	1061	951	767	772	905	1416	1330	1218	1223	1256	1125	13 383
1960	883	665	588	460	448	702	927	1042	981	1048	915	913	9 571
1961	689	563	499	389	408	539	719	1000	982	1032	1025	1135	8 979
1962	859	666	818	681	678	809	1144	1203	1296	1517	1503	1675	12 847
1963	1238	937	860	707	97	215	379	377	432	1454	945	813	8 454
1964	560	382	311	684	298	502	720	867	747	757	625	693	7 147
1965	1207	261	228	151	838	1058	1862	1598	1565	1758	1554	1322	13 402
1966	1204	905	806	635	650	656	811	954	965	1232	1101	1089	11 006
1967	1204	899	669	541	508	594	1145	1204	1423	1301	1205	1124	11 817
1968	1068	898	823	609	524	598	999	969	998	1048	1025	986	10 545
1969	927	653	821	685	680	811	1145	1205	1222	1495	1151	1332	12 128
1970	958	729	686	537	485	512	969	1067	960	1115	1019	851	9 888
1971	889	897	820	682	679	810	1145	1205	1219	1419	1359	1345	12 468
1972	1199	895	818	681	753	989	1158	1013	1127	1265	1139	1350	12 388
1973	1230	966	933	811	800	785	1155	1214	1240	1635	1640	1596	14 005
1974	1364	1083	1019	904	873	833	1122	1345	1230	1520	1603	1619	14 516
1975	1377	1200	1093	874	796	851	1171	1199	999	1349	1327	1169	13 404
1976	933	725	654	522	487	622	816	939	966	1440	1357	1821	11 281
1977	1441	1111	1006	825	835	819	1213	1338	1411	1627	1542	1472	14 640
1978	1480	1141	1049	848	909	1277	1325	1479	1483	1421	1361	1385	15 157
1979	1273	959	916	734	695	929	1202	1417	1277	1394	1234	1470	13 500
1980	1150	852	793	683	681	819	1077	1280	1278	1275	1429	1130	12 448
1981	911	704	642	510	630	968	1481	1513	1381	1517	1469	1411	13 137
1982	1442	1017	964	786	1112	1407	1529	1499	1465	1527	1576	1596	15 918
1983	1371	1018	821	683	875	1074	1142	1439	1439	1690	1791	1466	14 809
1984	1293	1053	999	831	788	847	1185	1184	1042	1110	953	1136	12 421
1985	948	658	611	512	515	559	1155	914	1058	1275	1296	1416	10 917
MEDIO	1 202	897	821	683	681	819	1 155	1 214	1 240	1 440	1 370	1 350	12 873
MÁXIMO	2 021	1 488	1 368	1 121	1 112	1 407	1 862	1 598	1 923	2 078	2 102	2 068	18 523
MÍNIMO	560	261	228	151	97	215	379	377	432	757	625	693	7 147
Des Est.	304,00	247,16	222,69	174,96	208,92	246,86	294,00	248,89	290,73	290,64	323,20	307,54	2 449,20
Coef Var	0,54	0,95	0,97	1,16	2,15	1,15	0,78	0,66	0,67	0,38	0,52	0,44	0,34

Tabla A.3. Matriz de Escurrimientos

ELEVATION msnm	AREA km <sup>2</sup>	CAPABILITY Mm <sup>3</sup>
7	0	0
10	0	0
15	2	6
20	5	17
25	10	37
30	13	59
35	17	76
40	22	97

Table A.4. Curve *E – A – C*

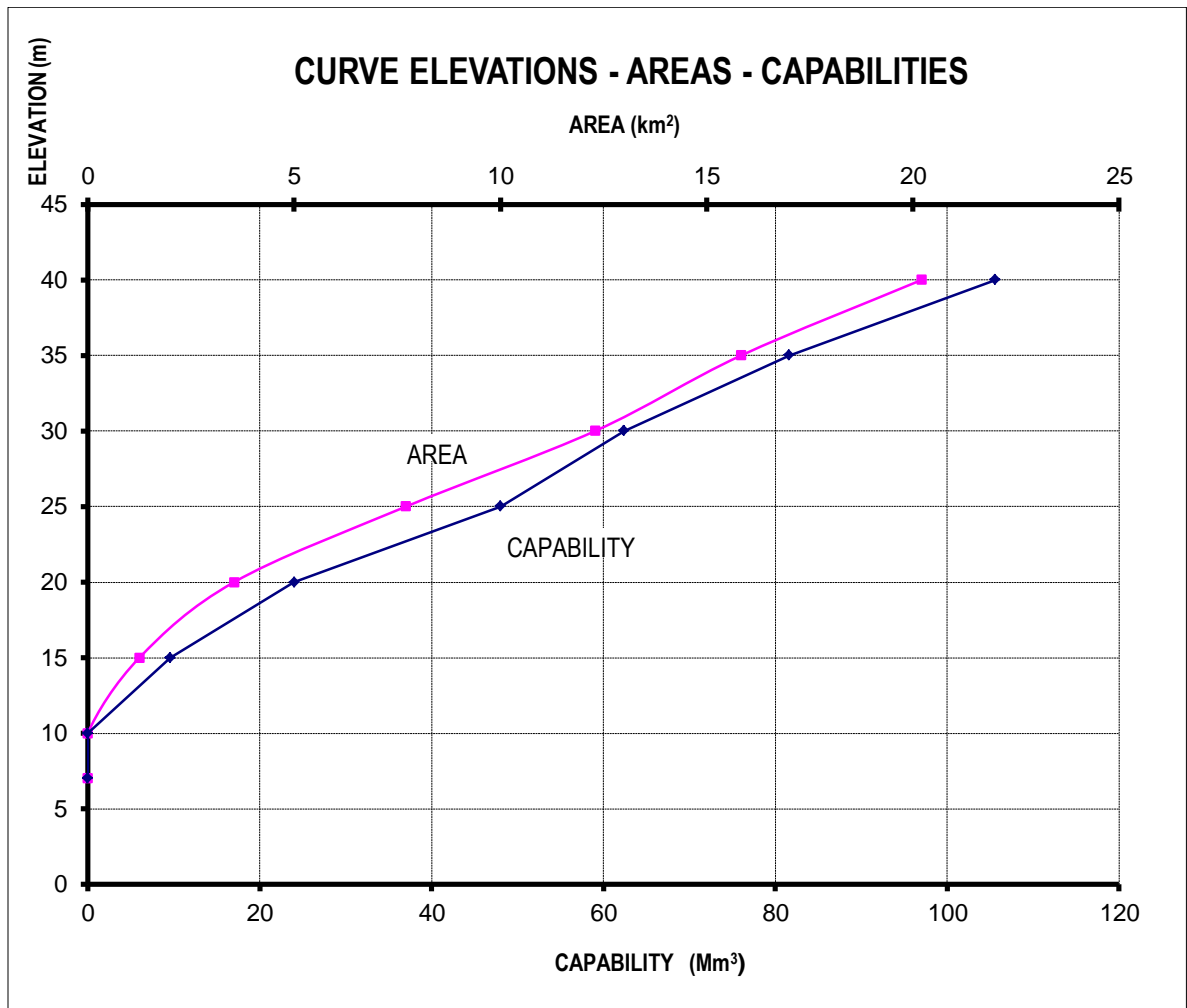


Figure A.2. Curve *E – A – C*

ELEVACIÓN msnm	ÁREA km <sup>2</sup>	VOLUMEN Mm <sup>3</sup>
7	0	0
10	0	0
15	2	6
20	5	17
25	10	37
30	13	59
35	17	76
40	22	97

Tabla A.4. Curva E – A – C

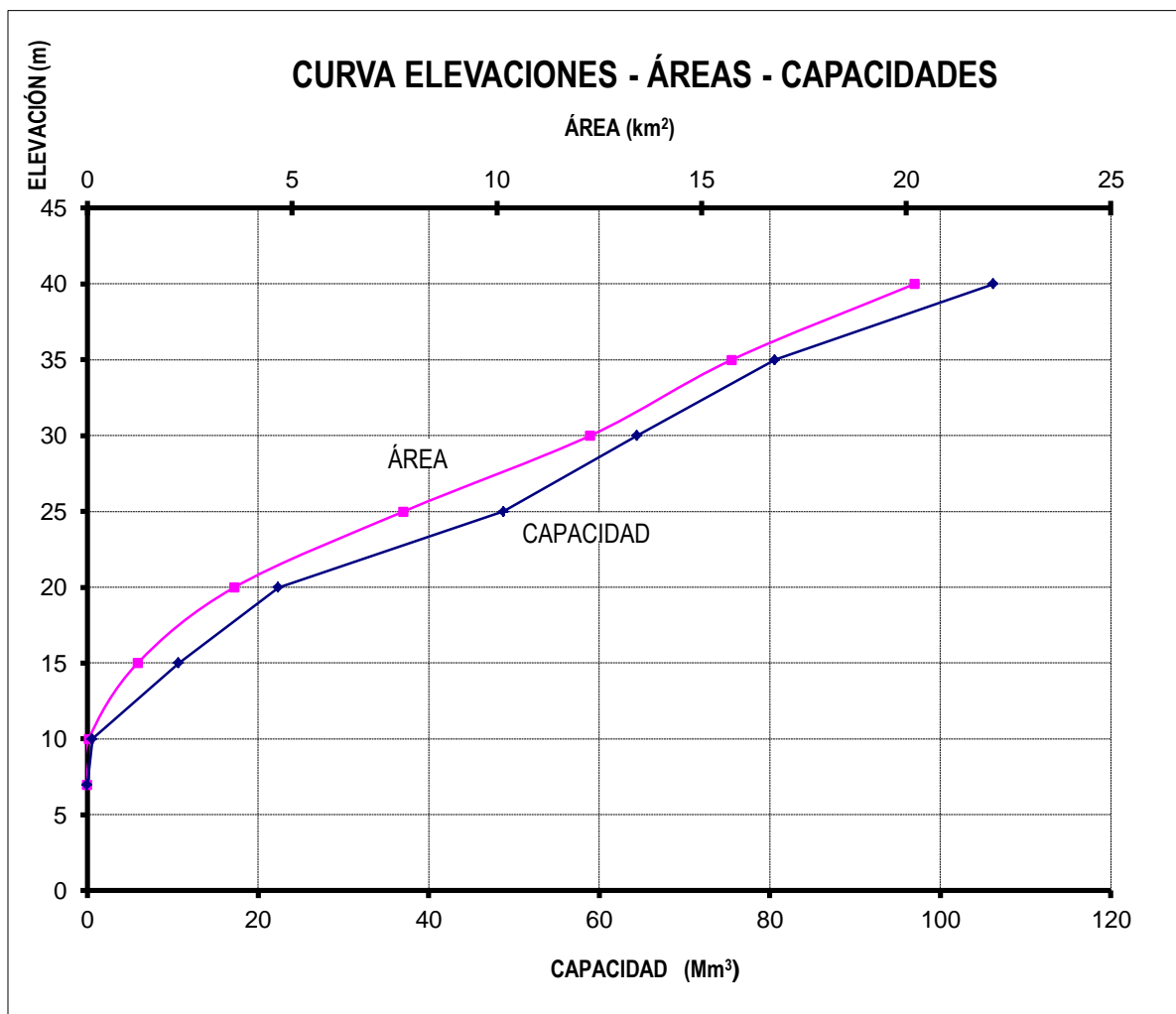


Figura A.2. Curva E – A – C

MONTHLY NET EVAPORATIONS											
MONTHS											
JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
121	143	175	163	9	-128	-66	-92	-183	-152	12	86
mm											

Table A.5. Net Evaporations

Using the above information is properly execute the program by entering the values as follows:



Figure A.3. Project Window

Figure A.3. can be seen clearly as properly entering the data located in **Table A.2. Performance features**, and the names of the project and the corresponding storage.

Similarly below shows the various windows that make up the program and the corresponding table in which are located its input data.

EVAPORACIONES NETAS MENSUALES											
MESES											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
121	143	175	163	9	-128	-66	-92	-183	-152	12	86
mm											

Tabla A.5. Evaporaciones Netas

Empleando la información anterior se ejecutara el programa ingresando debidamente los valores correspondientes de la siguiente manera:



Figura A.3. Ventana Proyecto

En la figura A.3. puede apreciarse de manera clara como se ingresan debidamente los datos ubicados en la **Tabla A.2. Características del funcionamiento**, así como los nombres del proyecto y almacenamiento correspondiente.

De la misma manera a continuación se presentan las diversas ventanas que conforman el programa, así como la tabla correspondiente en la cual se encuentran ubicados sus datos de ingreso.





Figure A.4. Data Entry Window

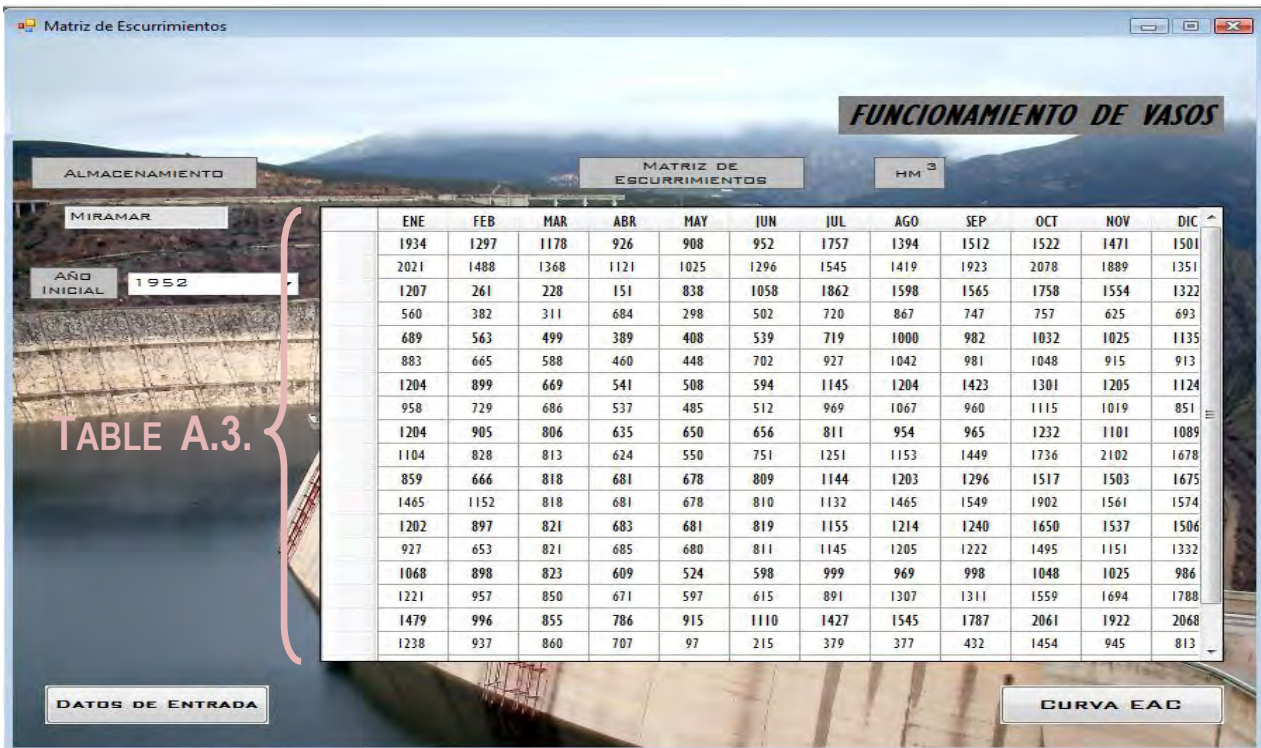


Figure A.5. Runoff Window



Figura A.4. Ventana Datos de Entrada

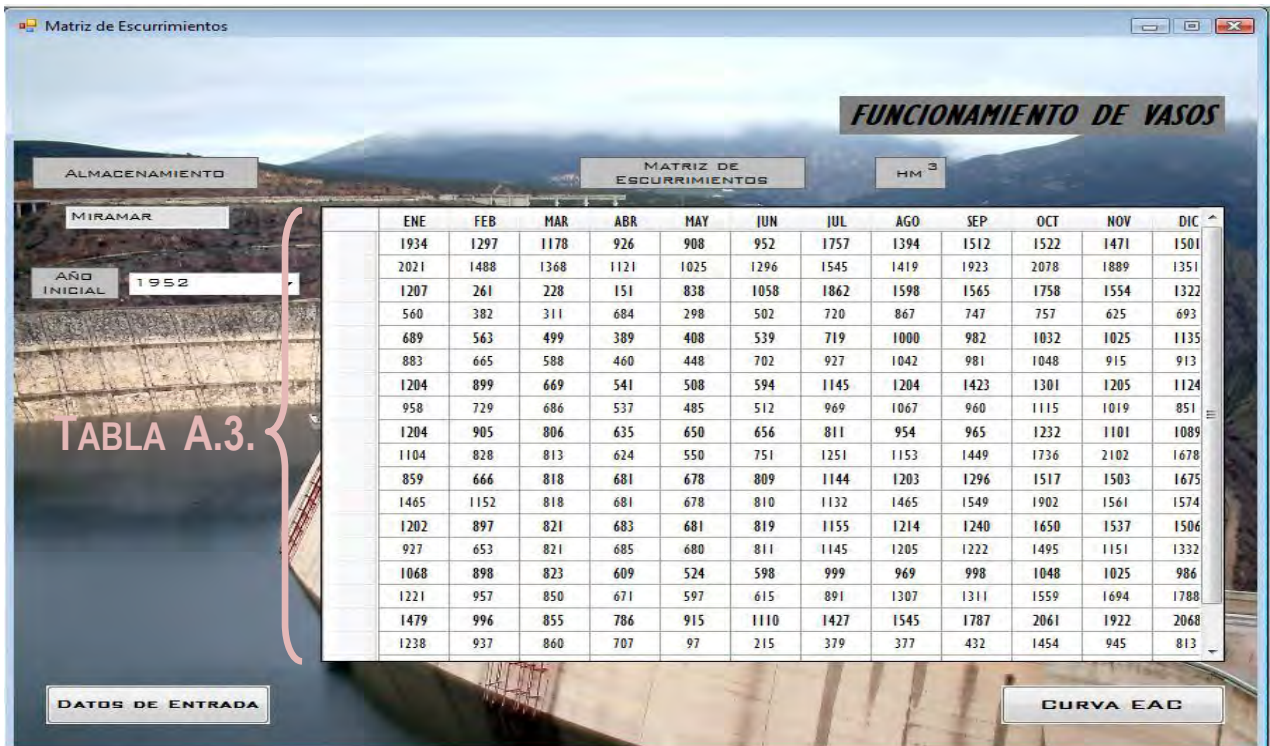


Figura A.5. Ventana Matriz de Ecurrimientos



Figure A.6. Curve E – A – C Window

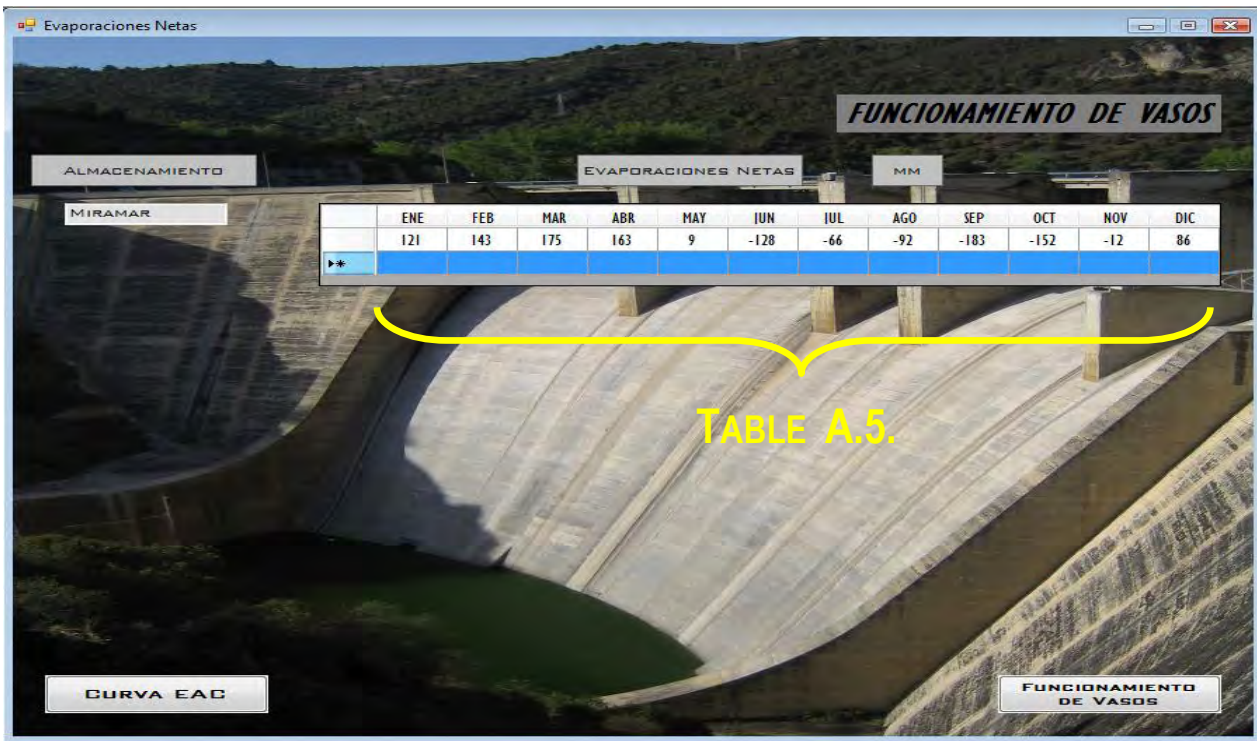


Figure A.7. Net Evaporation Window

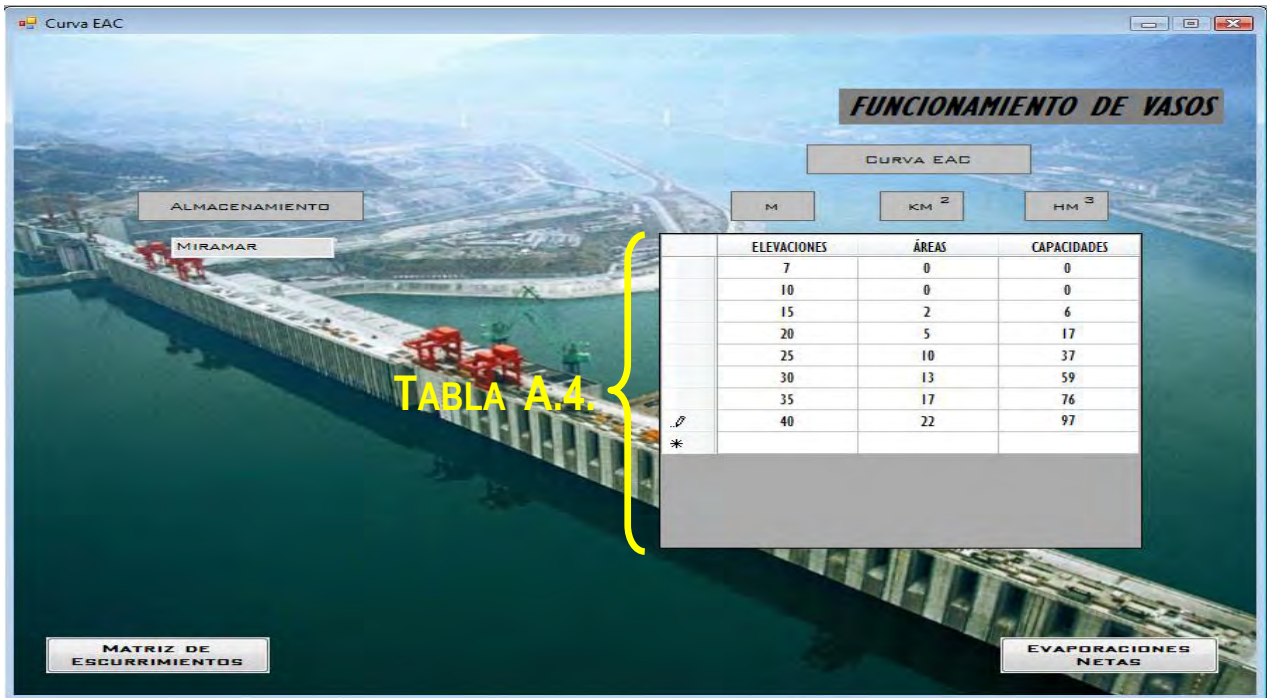


Figura A.6. Ventana Curva E – A – C

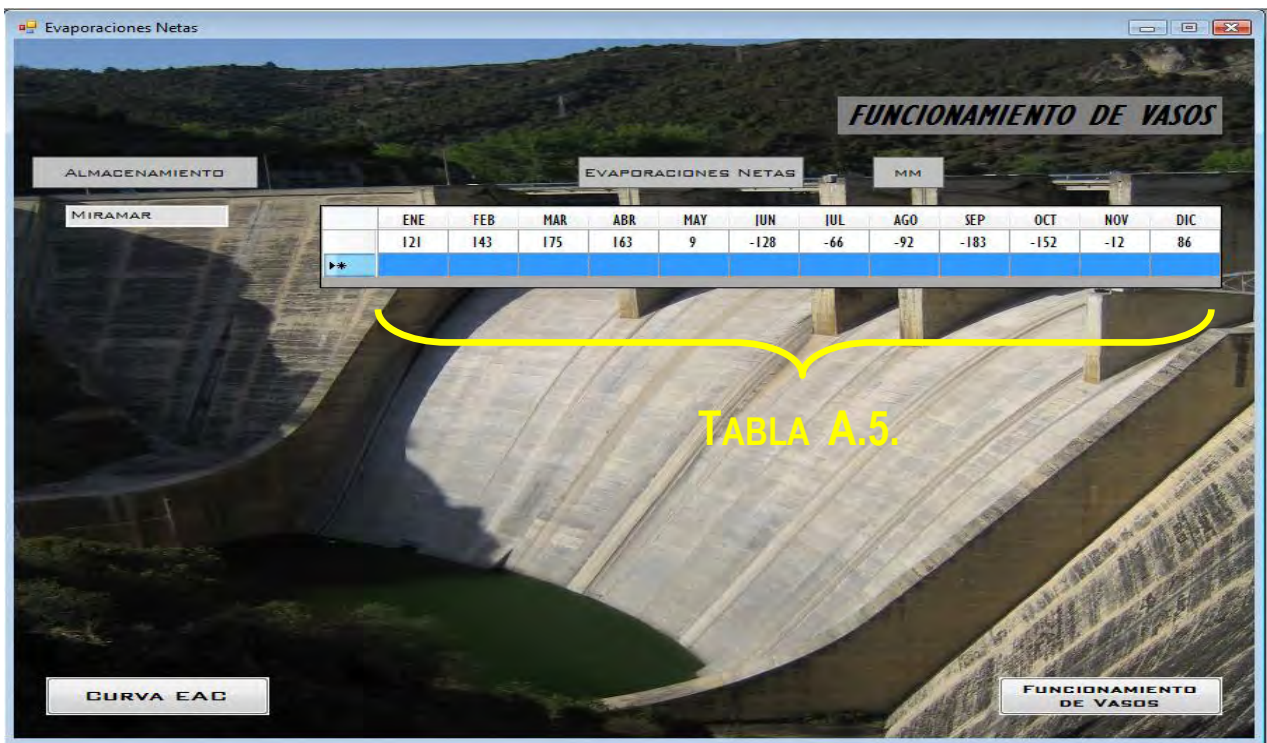


Figura A.7. Ventana Evaporaciones Netas

Figure A.8. shows the performance results for the various powers selected. In order to view the results of another simulation, should display the list box and select a new installed capacity.

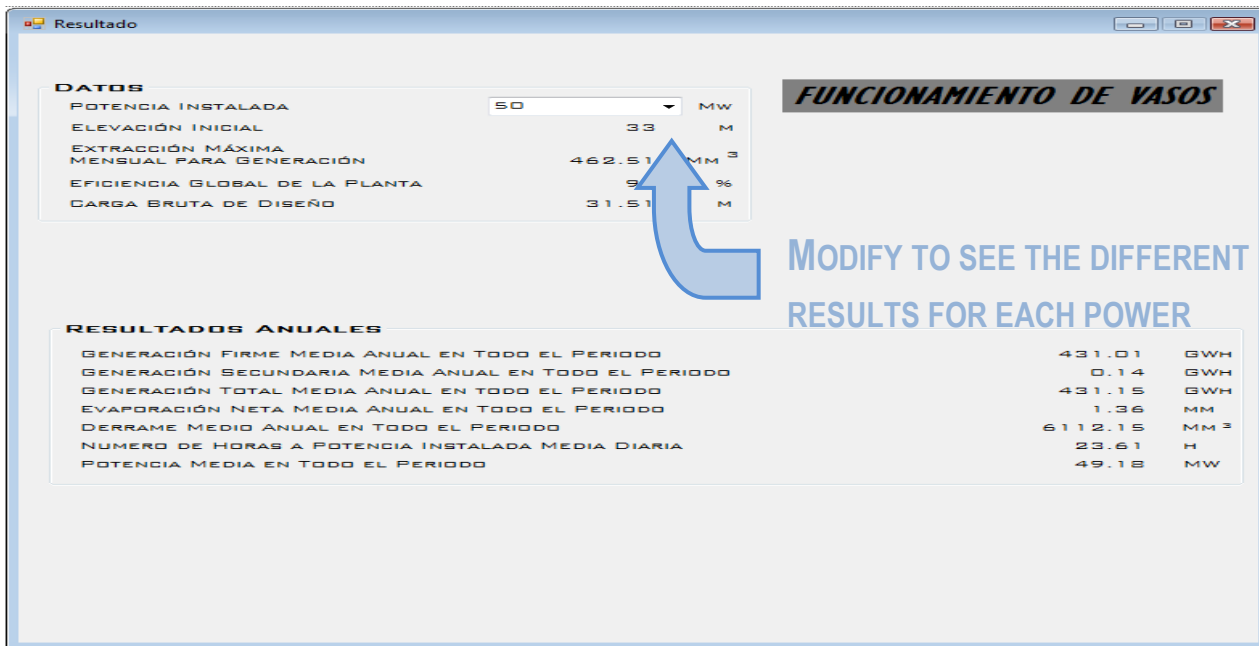


Figure A.8. Results Window Installed Power 50 Mw

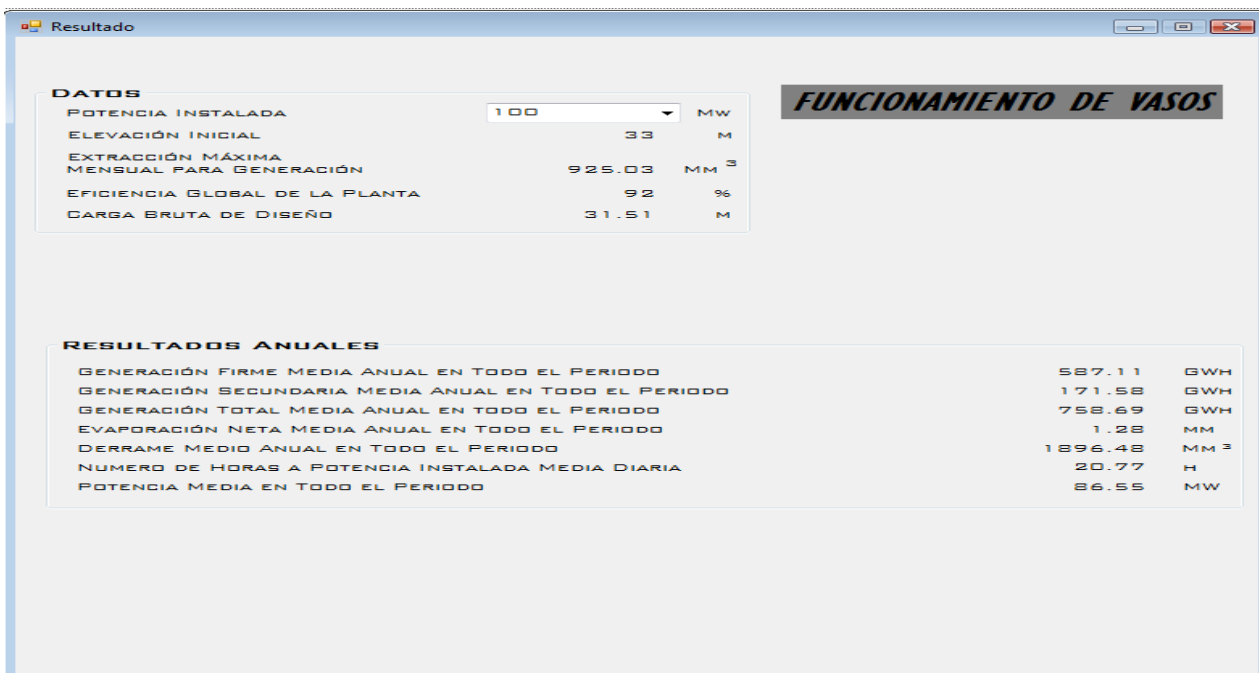


Figure A.9. Results Window Installed Power 100 Mw

En la figura A.8. se muestran los resultados del funcionamiento para las diversas potencias seleccionadas. Para poder visualizar los resultados de otra simulación, debe desplegarse el list box y seleccionar una nueva potencia instalada.

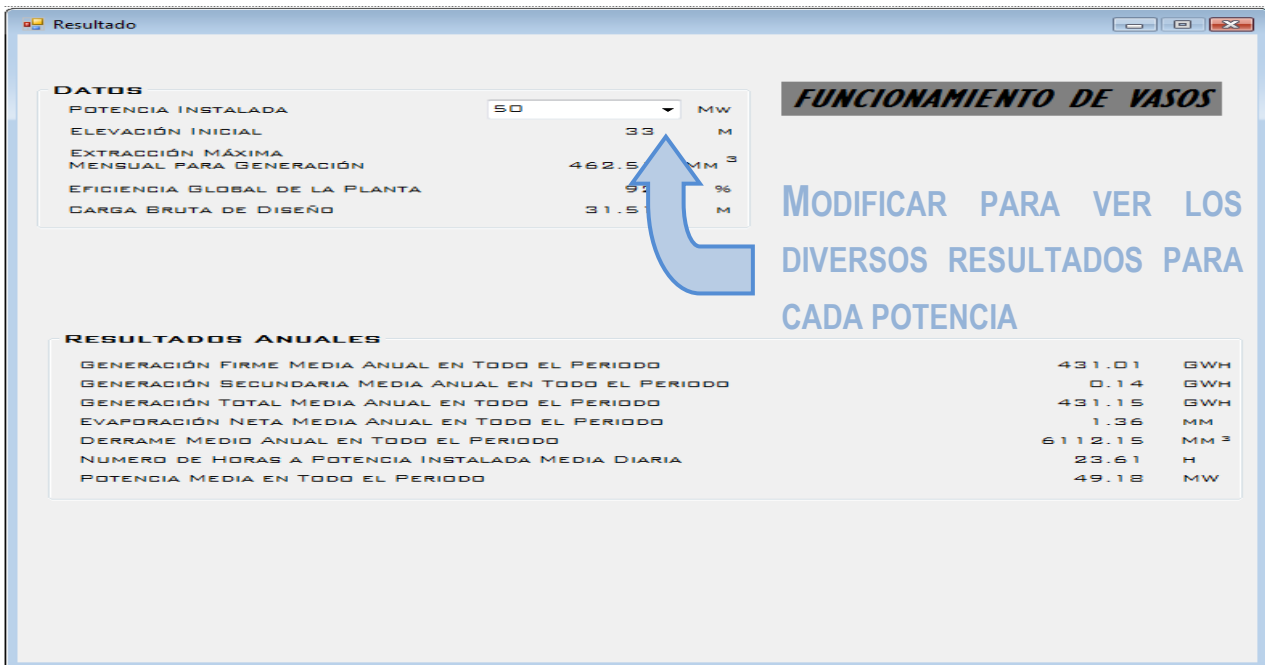


Figura A.8. Ventana Resultados Potencia Instalada 50 Mw

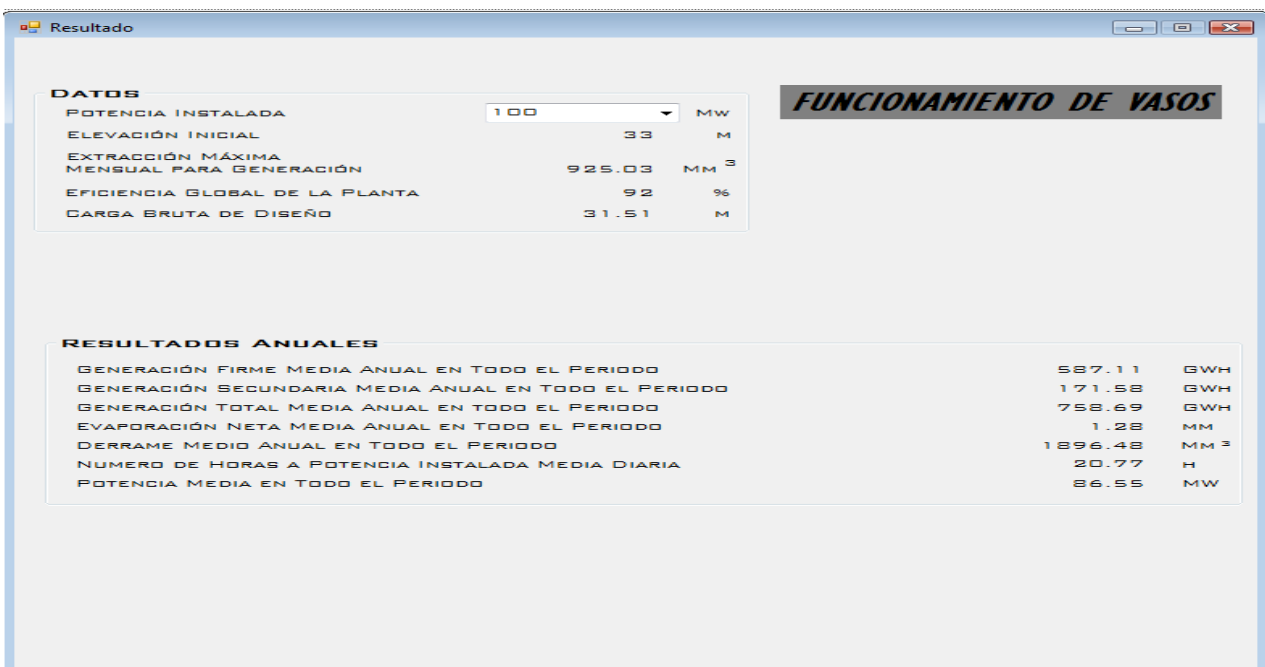


Figura A.9. Ventana Resultados Potencia Instalada 100 Mw

The results of the simulation done with the program are summarized in Table A.6., with which the graph is drawn Installed Power vs. Generation (Figure A.10.) that determines the optimal installed capacity to be selected.

CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		10	20	30	40	50
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	7.69	15.35	22.95	30.45	37.8
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	87.65	174.95	261.55	347.15	431.01
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	0	0.01	0.03	0.06	0.14
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>87.65</b>	<b>174.96</b>	<b>261.58</b>	<b>347.21</b>	<b>431.15</b>
CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		60	70	80	90	100
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	44.8	50.7	51.5	51.5	51.5
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	510.47	578.19	587.11	587.11	587.11
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	0.28	4.51	63.34	122.07	171.58
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>510.75</b>	<b>582.7</b>	<b>650.45</b>	<b>709.18</b>	<b>758.69</b>
CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		110	120	130	140	150
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	213.86	247.56	273.28	292.73	304.86
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>800.97</b>	<b>834.67</b>	<b>860.39</b>	<b>879.84</b>	<b>891.97</b>
CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		160	170	180	190	200
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	311.35	315.55	318.38	320.16	321.16
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>898.46</b>	<b>902.66</b>	<b>905.49</b>	<b>907.27</b>	<b>908.27</b>
CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		210	220	230	240	250
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	321.34	321.34	321.34	321.34	321.34
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>
CONCEPT	UNIT	INSTALLED POWER (Mw)				
		260	270	280	290	300
PROPOSED MINIMUM MONTHLY GENERATION	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
FIRM AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
SECONDARY AVERAGE ANNUAL GENERATION	GWh	321.34	321.34	321.34	321.34	321.34
<b>TOTAL AVERAGE ANNUAL GENERATION</b>	<b>GWh</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>	<b>908.45</b>

Table A.6. Generation Firm, Secondary and Total power at different intervals

Los resultados de la simulación realizada con el programa se resumen en la tabla A.6., con la cual se elabora la gráfica Potencia Instalable Vs Generación (figura A.10) que determina la potencia instalable optima a seleccionar.

CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		10	20	30	40	50
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	7.69	15.35	22.95	30.45	37.8
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	87.65	174.95	261.55	347.15	431.01
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	0	0.01	0.03	0.06	0.14
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	87.65	174.96	261.58	347.21	431.15
CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		60	70	80	90	100
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	44.8	50.7	51.5	51.5	51.5
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	510.47	578.19	587.11	587.11	587.11
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	0.28	4.51	63.34	122.07	171.58
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	510.75	582.7	650.45	709.18	758.69
CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		110	120	130	140	150
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	213.86	247.56	273.28	292.73	304.86
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	800.97	834.67	860.39	879.84	891.97
CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		160	170	180	190	200
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	311.35	315.55	318.38	320.16	321.16
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	898.46	902.66	905.49	907.27	908.27
CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		210	220	230	240	250
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	321.34	321.34	321.34	321.34	321.34
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	908.45	908.45	908.45	908.45	908.45
CONCEPTO	UNIDAD	POTENCIA INSTALADA (Mw)				
		260	270	280	290	300
GENERACIÓN MENSUAL MÍNIMA PROPUESTA	GWh	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
GENERACIÓN FIRME MEDIA ANUAL	GWh	587.11	587.11	587.11	587.11	587.11
GENERACIÓN SECUNDARIA MEDIA ANUAL	GWh	321.34	321.34	321.34	321.34	321.34
<b>GENERACIÓN TOTAL MEDIA ANUAL</b>	GWh	908.45	908.45	908.45	908.45	908.45

Tabla A.6. Generación Firme, Secundaria y Total en distintos intervalos de Potencia



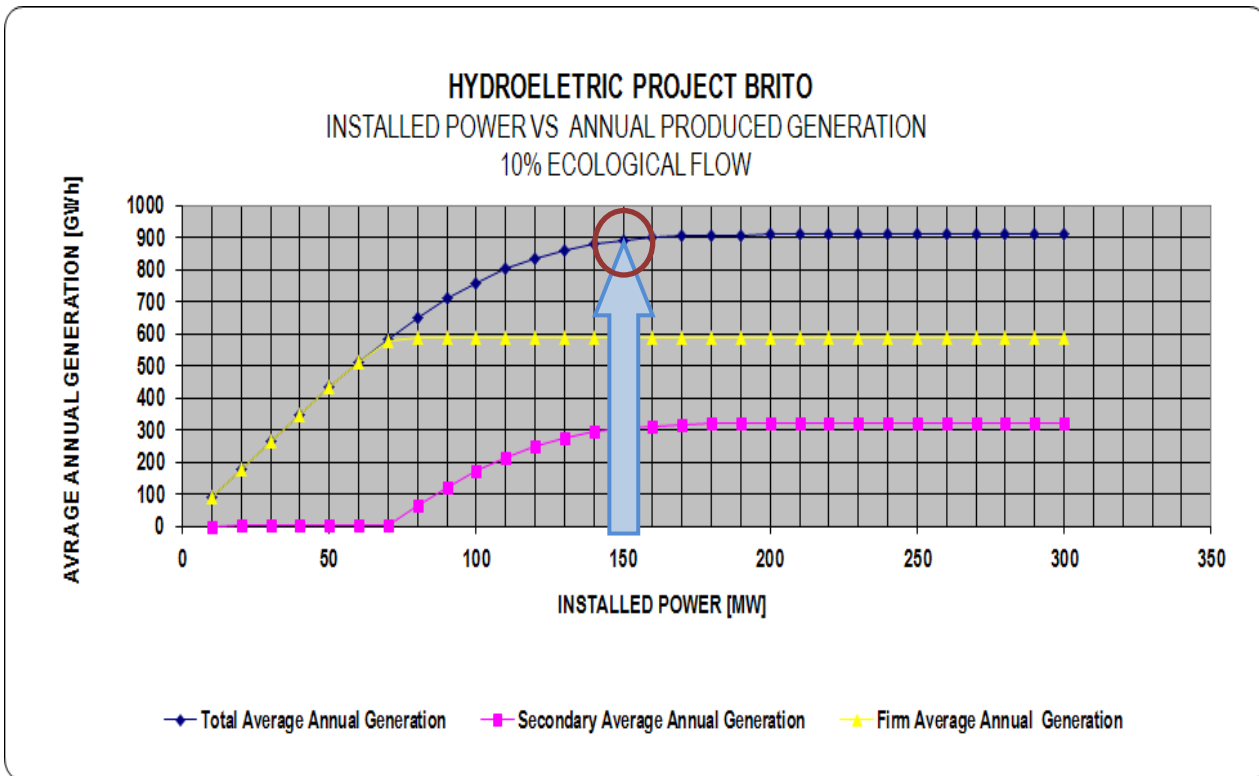


Figure A.10. Installed Power vs. Generation

In conclusion it is determined that the optimal installed capacity for the project is located in the range of 140 to 160 MW, however, because of conventionality in the market it has been selected power of 150 MW, which has a strong average annual generation of 587.11 GWh and a secondary generation of 304.86 GWh annual average, generating a total annual average 891.97 GWh. average, generating a total annual average 891.97 GWh.

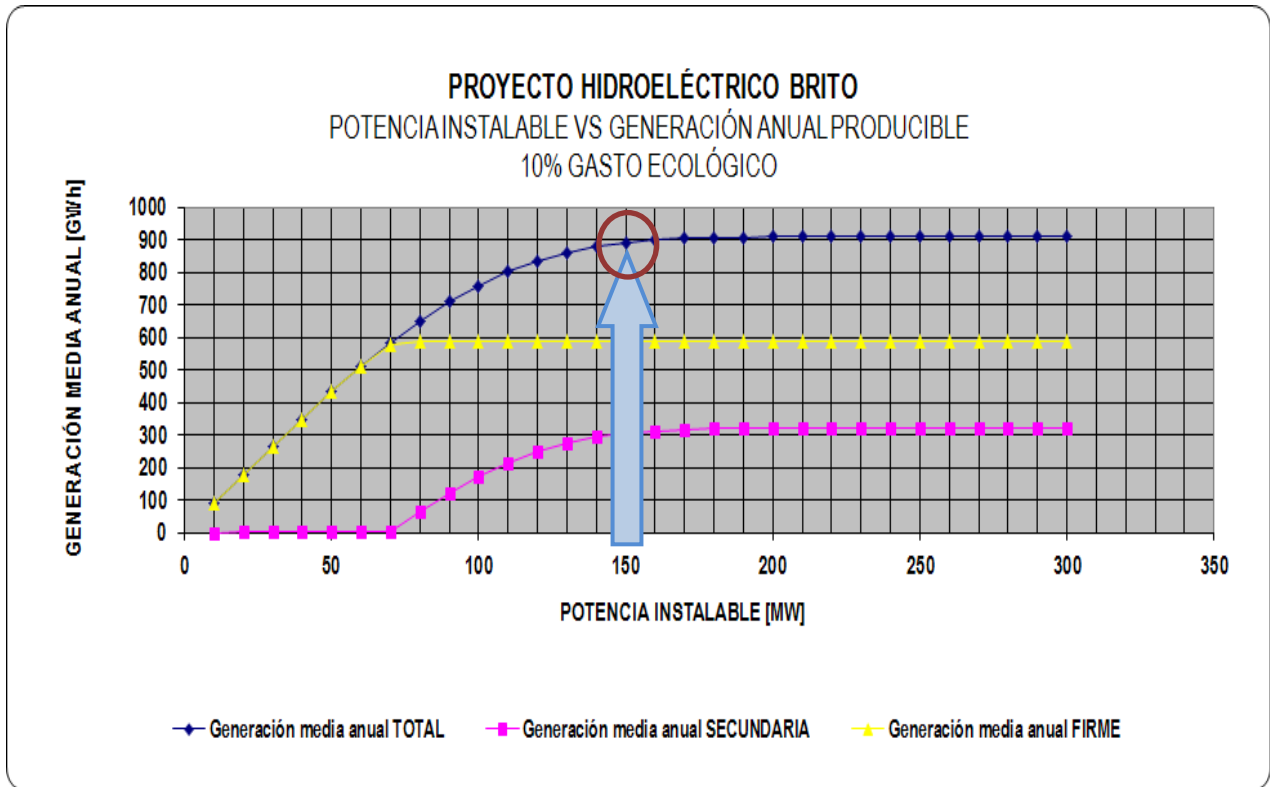


Figura A.10. Potencia Instalable Vs Generación

Como conclusión se determina que la potencia instalable óptima para el proyecto se encuentra ubicada dentro del intervalo de 140 a 160 Mw, sin embargo, por motivo de convencionalidad en el mercado se seleccionó la potencia de 150 Mw, la cual tiene una generación firme media anual de 587.11 GWh y una generación secundaria media anual de 304.86 GWh, generando un total medio anual de 891.97 GWh.



# *CONCLUSIONES* *(CONCLUSIONS)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



The purpose of this publication is that the design engineer to understand the various components that make up the simulation of glass, as well as be able to use the program, understand how to operate the reservoir.

The simulation runs of glass is used for various purposes, among which include: irrigation, power generation, flood control, water supply, navigation aquaculture, recreation, and in some cases may have a dual purpose, presenting a combination of these.

In recent years have changed the levels of study that developed the analysis methods, previously these were divided into four phases:

1. Grand Vision
2. Identification,
3. Prefeasibility and
4. Feasibility.

However, at present levels have been summarized in just two groups: conceptualization and sustainability. On the basis of which the design engineer determine which methodology shall be that used to carry out the analysis. For example, for estimation of total volume at the level of conceptualization, the engineer can use the method of the sequent peak algorithm.

Also depending on the purpose of reservoir simulation was carried out due the operation of reservoir (FAO approach, CFE, etc.), as appropriate the case.

Among the various purposes for which a dam is designed, the software made in this thesis is devoted to the generation of hydroelectric power, which depends directly on the Hydroelectric Projects, which are responsible for meeting demand in the peak This occurs in the load curve (curve that shows how energy consumption time, figure C.1).

Hydroelectric Projects are supported by their studies hydropower, which are integrated with the results of the simulation of glass. One of the units produced countless performances of reservoirs is the Comisión Federal de Electricidad (CFE), which makes their simulations to satisfy various points of study. In some cases sets a demand or power, in order to determine the NAMINO, however in most of the simulations and preliminary levels (sustainability), design and construction, the engineering design of the CFE approach their target a power generation firm guarantee to 95%, this means that the simulations have a deficit of 5%.

La finalidad de la presente publicación es que el ingeniero proyectista comprenda los diversos componentes que conforman la simulación del funcionamiento de vaso, así como además de saber emplear el programa, comprenda la manera en que opera el embalse.

La simulación de funcionamientos de vaso se emplea para diversos propósitos, dentro de los cuales podemos mencionar: irrigación, generación de energía eléctrica, control de avenidas, abastecimiento de agua potable, navegación, acuicultura, recreación y en algunos casos puede tener un doble propósito, presentándose la combinación de estos.

En los últimos años han cambiado los niveles de estudio con los que se desarrollaban los métodos de análisis, anteriormente estos se dividían en cuatro fases:

1. Gran Visión,
2. Identificación,
3. Prefactibilidad, y
4. Factibilidad.

Sin embargo, en la actualidad estos niveles han sido resumidos en tan solo dos grupos: conceptualización y sustentabilidad. Partiendo de los cuales el ingeniero proyectista determina que metodología es la indicada emplear para llevar a cabo el análisis. Por ejemplo, para la estimación del volumen útil en el nivel de conceptualización el ingeniero puede emplear el Método del algoritmo del Pico secuente.

Así mismo dependiendo de la finalidad del embalse, se lleva a cabo la simulación debida del funcionamiento de vaso (Planteamiento de la FAO, CFE, etc.), según corresponda el caso.

Dentro de las diversas finalidades para las cuales está diseñado un embalse, el software realizado en la presente tesis se enfoca a la generación de energía hidroeléctrica, la cual depende directamente de los Proyectos Hidroeléctricos, los cuáles son los encargados de satisfacer la demanda en pico la cual se presenta en la curva de carga (curva que muestra de manera horaria el consumo de energía, figura C.1).

Los Proyectos Hidroeléctricos son sustentados por sus estudios hidroenergéticos, los cuales están integrados por los resultados de la simulación del funcionamiento de vaso. Una de las dependencias que elabora un sin número de funcionamientos de vasos es la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual realiza sus simulaciones para satisfacer diversos puntos de estudio. En algunos casos fija una cierta demanda o potencia, con el fin de poder determinar el NAMINO, sin embargo en la mayor parte de las simulaciones ya en los niveles anteproyecto (sustentabilidad), diseño y construcción, los ingenieros proyectistas de la CFE enfocan su objetivo a la generación de energía firme garantizable a 95%, esto quiere decir que las simulaciones se teniendo un déficit del 5%.

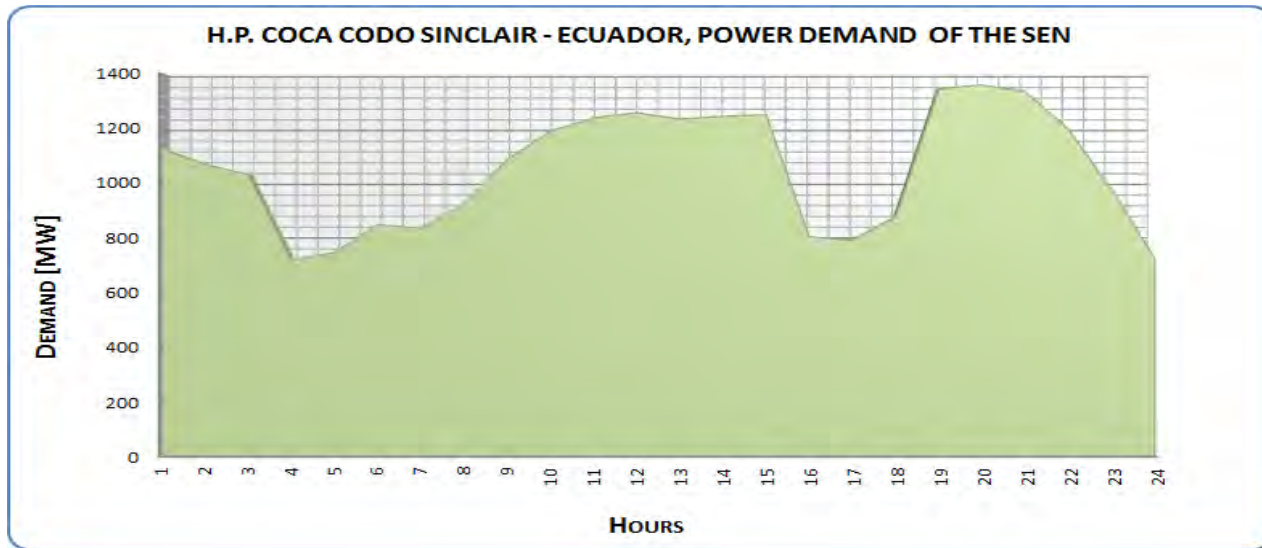


Figure C.1. Power Demand H.P. Coca Codo Sinclair - Ecuador

On the other hand seek to generate secondary energy, which is caused when the energy firm has already been covered in a satisfactory and useful volume remains in the reservoir. However, this volume may take depending on the capacity of the same turbine, as in case of exceeding the volume capacity of the turbines, the level in the reservoir will rise and you will have to be poured by the work of exceedances.

In order to determine the optimum power for the project under consideration, we proceed to perform various functions of glass modifying the installed power to determine by means of his generation which one is the optimal power as shown in Figure C.2.

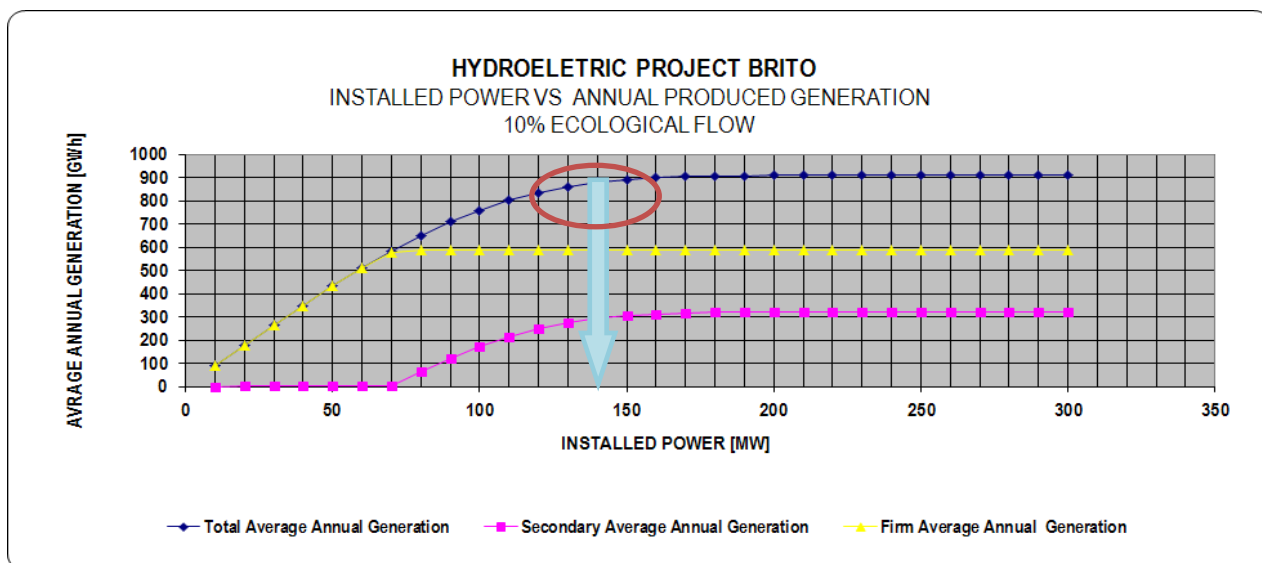


Figure C.2. Selection of installed power

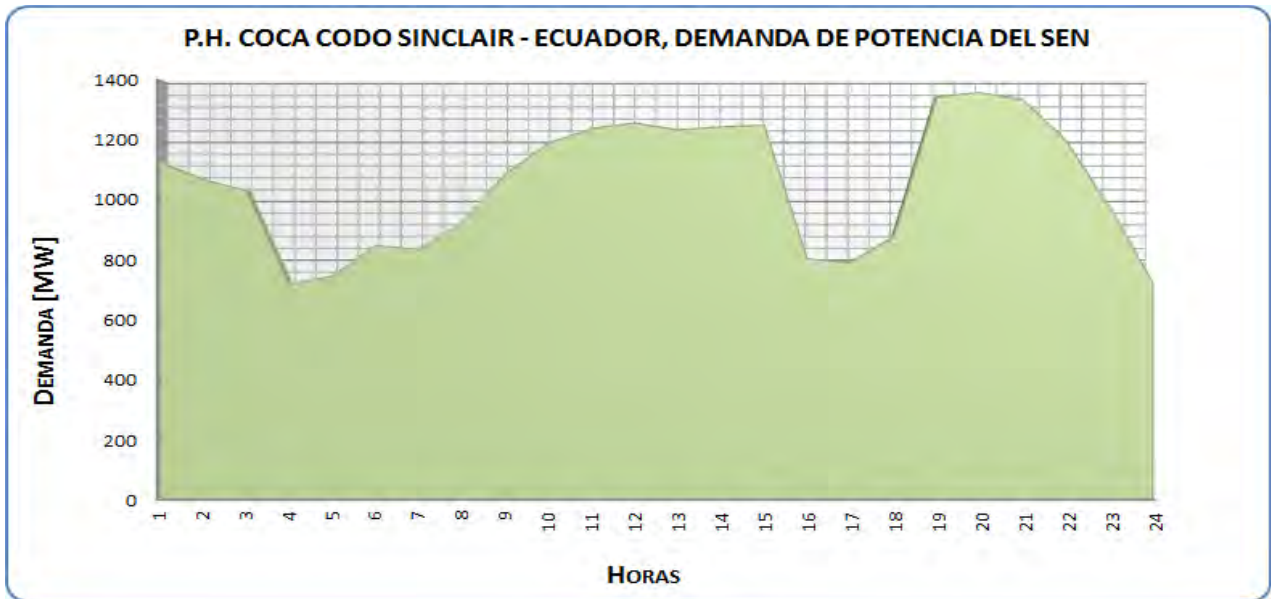


Figura C.1. Demanda de Potencia P.H. Coca Codo Sinclair - Ecuador

Por otro lado, buscan el poder generar energía secundaria, la cual es originada cuando la energía firme ya ha sido cubierta de manera satisfactoria y aún queda volumen útil en embalse. No obstante este volumen se puede aprovechar dependiendo de la capacidad de la misma turbina, ya que en caso de exceder la capacidad de volumen turbinable de esta, el nivel en el embalse asciende y en su caso tiene que ser derramado por la obra de excedencias.

Con el fin de determinar la potencia óptima para el proyecto en estudio, se procede a realizar diversos funcionamientos de vaso modificando la potencia instalable, para determinar por medio de su generación cuál de ellas es la potencia optima como se muestra en la figura C.2.

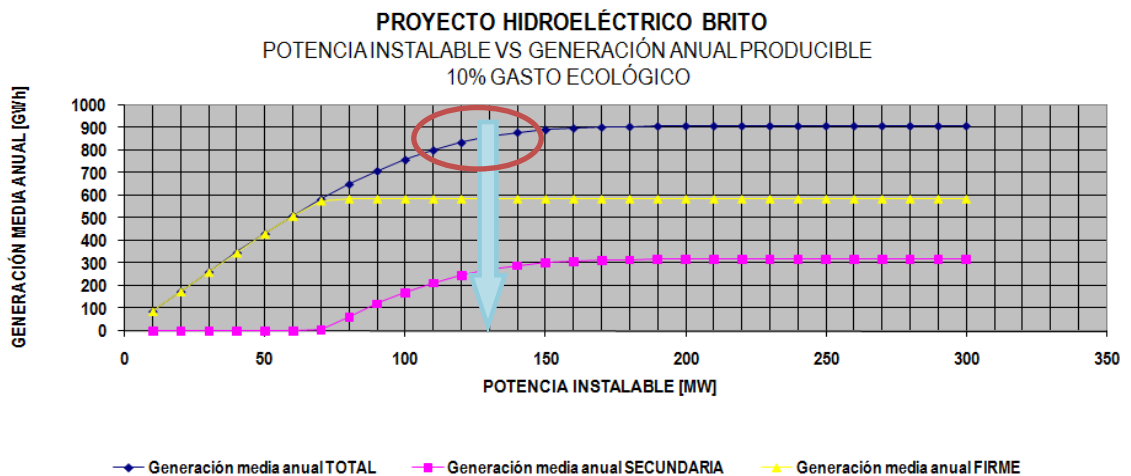


Figura C.2. Selección de la potencia instalable

One of the great advantages of the developed program is able to produce several simulations simultaneously, it is to obtain the results for the proposed powers to ensure the 5% deficit described above.

Another major factor in the selection of the power plant is the factor used. This value can vary from 0-1 depending on the time that the turbine is in operation, however, the CFE and experience through their work instructions is recommended that this value is 0.4 to 0.6. The following table illustrates how to select depending on their power generation and plant factor:

POWER [MW]	Turbined Volume [Mm <sup>3</sup> ]	AVERAGE ANNUAL GENERATION [GWh]			P.F.
		FIRM	SEC	TOTAL	
<b>500</b>	2,789.20	4,166.22	15.88	4,182.10	0.95
<b>600</b>	3,269.34	4,227.76	676.12	4,903.88	0.93
<b>700</b>	3,711.08	4,227.76	1,340.22	5,567.98	0.91
<b>800</b>	4,112.86	4,227.77	1,944.02	6,171.79	0.88
<b>900</b>	4,472.49	4,227.77	2,484.28	6,712.04	0.85
<b>1000</b>	4,790.75	4,227.77	2,962.29	7,190.06	0.82
<b>1100</b>	5,070.83	4,227.77	3,382.93	7,610.70	0.79
<b>1200</b>	5,315.79	4,227.77	3,750.81	7,978.59	0.76
<b>1300</b>	5,529.45	4,227.78	4,071.69	8,299.46	0.73
<b>1400</b>	5,716.42	4,227.78	4,352.48	8,580.26	0.70
<b>1500</b>	5,881.07	4,227.78	4,599.79	8,827.57	0.67
<b>1600</b>	6,025.93	4,227.78	4,817.38	9,045.17	0.65
<b>1700</b>	6,153.18	4,227.79	5,008.53	9,236.32	0.62
<b>1800</b>	6,266.58	4,227.79	5,178.90	9,406.69	0.60
<b>1900</b>	6,367.44	4,227.79	5,330.46	9,558.25	0.57
<b>2000</b>	6,457.45	4,227.79	5,465.72	9,693.51	0.55

Table C.1. Selection of installed power

However, in the case of dams designed to supply potable water operation policy changes, this will be depending on the amount committed to provide. This policy has a rule defined by CONAGUA 100% fulfill the demand for water, ensuring 0% of deficits.



Una de las grandes ventajas del programa elaborado es el poder elaborar varias simulaciones de manera simultánea, esto es el obtener los resultados para las potencias propuestas garantizando el 5% de déficit antes descrito.

Otro de los factores primordiales en la selección de la potencia es el factor de planta empleado. Este valor puede variar de 0 a 1 dependiendo del tiempo que la turbina se encuentre operando, sin embargo la experiencia en la CFE y por medio de sus instrucciones de trabajo se recomienda que este valor se encuentre de 0.4 a 0.6. La siguiente tabla ejemplifica la manera de seleccionar la potencia dependiendo de su generación y factor de planta:

POTENCIA [MW]	Volumen turbinado [Mm³]	GENERACIÓN MEDIA ANUAL [GWh]			F.P.
		FIRME	SEC	TOTAL	
<b>500</b>	2,789.20	4,166.22	15.88	4,182.10	0.95
<b>600</b>	3,269.34	4,227.76	676.12	4,903.88	0.93
<b>700</b>	3,711.08	4,227.76	1,340.22	5,567.98	0.91
<b>800</b>	4,112.86	4,227.77	1,944.02	6,171.79	0.88
<b>900</b>	4,472.49	4,227.77	2,484.28	6,712.04	0.85
<b>1000</b>	4,790.75	4,227.77	2,962.29	7,190.06	0.82
<b>1100</b>	5,070.83	4,227.77	3,382.93	7,610.70	0.79
<b>1200</b>	5,315.79	4,227.77	3,750.81	7,978.59	0.76
<b>1300</b>	5,529.45	4,227.78	4,071.69	8,299.46	0.73
<b>1400</b>	5,716.42	4,227.78	4,352.48	8,580.26	0.70
<b>1500</b>	5,881.07	4,227.78	4,599.79	8,827.57	0.67
<b>1600</b>	6,025.93	4,227.78	4,817.38	9,045.17	0.65
<b>1700</b>	6,153.18	4,227.79	5,008.53	9,236.32	0.62
<b>1800</b>	6,266.58	4,227.79	5,178.90	9,406.69	0.60
<b>1900</b>	6,367.44	4,227.79	5,330.46	9,558.25	0.57
<b>2000</b>	6,457.45	4,227.79	5,465.72	9,693.51	0.55



Tabla C.1. Selección de la potencia instalable

Ahora bien, en el caso de embalses diseñados para abastecimiento de agua potable la política de operación cambia, esta es en función del volumen comprometido a abastecer. Esta política tiene como norma definida por la CONAGUA el satisfacer al 100% la demanda de agua, garantizando el 0% de déficits.

As can be seen, the purpose of the reservoir defines the parameters or functions to be used in the simulation of the operation of reservoirs. It should be noted that in recent years due to environmental impact studies carried out today, I also have been other restrictions in order to maintain balance in ecosystems, this is the presence of environmental spending, which must be considered with emphasis on simulating the operation of reservoirs regardless of the purpose of the reservoir.

The purpose of having carried out a simulation program that simulates the daily level is able to assess in detail the operation of reservoirs. Much of the streamflow records are there in the country are presented on a monthly basis making it difficult to carry out the daily level simulations.

Note the importance of simulating operation of reservoirs, since the results of these proceeds to make a socio-economic study which will determine whether a project is attractive or not, depending on the outcome of the evaluation of it in the benefit - cost of the project where you get the cost of Kilowatt hours level, which will determine if the project is profitable.

The design engineer must take into account that there is a difference between the results generated by simulating the operation of a monthly and daily so as to use the average monthly records are discarded deficits that may occur on a daily basis.

Como puede observarse, la finalidad del embalse define los parámetros o funciones a emplear en la simulación del funcionamiento de vasos. Cabe destacar que en los últimos años debido a los estudios de impacto ambiental realizados en la actualidad, también se han llevado a cabo otro tipo de restricciones para poder mantener el equilibrio en los ecosistemas, esto es la presencia del gasto ecológico, el cual debe de ser considerado con énfasis en la simulación del funcionamiento de vasos no importando la finalidad del embalse.

La finalidad de haber realizado un programa que simule dicha simulación a nivel diario es apreciar a detalle la operación de los embalses. Gran parte de los registros hidrométricos con los que cuenta el país se presentan de manera mensual lo cual dificulta el poder llevar a cabo las simulaciones a nivel diario.

Cabe destacar la importancia de la simulación de funcionamiento de vasos, ya que de los resultados de estos se procede a realizar un estudio socioeconómico el cual determina si un proyecto es atractivo o no, dependiendo del resultado de la evaluación del mismo en la relación beneficio – costo del proyecto donde se obtiene el costo del Kilowatt hora nivelado, el cual determina si el proyecto es rentable.

El ingeniero proyectista debe tener en cuenta que existe diferencia entre los resultados generados al simular el funcionamiento de manera mensual y de manera diario, ya que al emplear los registros medios mensuales se descartan los déficits que puedan ocurrir de manera diaria.



# *BIBLIOGRAFÍA* *(BIBLIOGRAPHY)*

“FUNCIONAMIENTO DE VASOS”  
HUERTA LOERA SADO TH FABIÁN



**BIBLIOGRAPHY**

- 1) José Zurita Ruiz. Obras hidráulicas Barcelona. CEAC. 1985.
- 2) Francisco Torres Herrera. Obras hidráulicas. México. Limusa. 1987.
- 3) José Zurita Ruiz. Obras hidráulicas. Barcelona, CEAC. 1971.
- 4) Enzo Levi, Álvaro Aldama. Diseño hidrodinámico y automatización fluidica en obras hidráulicas México, UNAM, Instituto de Ingeniería. 1979.
- 5) Viessman, W. & G. L. Lewis. Introduction to Hydrology. Pearson Education Inc., 5ª Ed. 2003.
- 6) Ward, A.D. & S.W. Trimble. Environmental Hydrology. CRC Lewis, 2ª Ed. 2004.
- 7) Chow, V.T., D.R. Maidment & L.W. Mays. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill. 1993.
- 8) Singh, V.P. Elementary Hydrology. Prentice Hall. 1992.
- 9) Wanielista, M. Hydrology and Water Quality Control 2ª edición. Ed. Wiley. 1997.
- 10) Maidment, D.R. Handbook of Hydrology. McGraw Hill. 1993.
- 11) Aparicio, F.J. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa. 1997.
- 12) Hornberger, G. Elements of Physical Hydrology. Johns Hopkins Universtiy Press. 1998.
- 13) Fetter, C. W. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª Ed. 2001.
- 14) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.). Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega. 1983.
- 15) Watson, I. & Burnett. Hydrology. An environmental approach. CRC Lewis. 1995.
- 16) Rafael Heras. "Manual de Hidrología". Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 1970.
- 17) Rolando Springall. "Hidrología". Universidad Autónoma de México. 1976.

**BIBLIOGRAFÍA**

- 1) José Zurita Ruiz. Obras hidráulicas Barcelona. CEAC. 1985.
- 2) Francisco Torres Herrera. Obras hidráulicas. México. Limusa. 1987.
- 3) José Zurita Ruiz. Obras hidráulicas. Barcelona, CEAC. 1971.
- 4) Enzo Levi, Álvaro Aldama. Diseño hidrodinámico y automatización fluidica en obras hidráulicas México, UNAM, Instituto de Ingeniería. 1979.
- 5) Viessman, W. & G. L. Lewis. Introduction to Hydrology. Pearson Education Inc., 5ª Ed. 2003.
- 6) Ward, A.D. & S.W. Trimble. Environmental Hydrology. CRC Lewis, 2ª Ed. 2004.
- 7) Chow, V.T., D.R. Maidment & L.W. Mays. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill. 1993.
- 8) Singh, V.P. Elementary Hydrology. Prentice Hall. 1992.
- 9) Wanielista, M. Hydrology and Water Quality Control 2ª edición. Ed. Wiley. 1997.
- 10) Maidment, D.R. Handbook of Hydrology. McGraw Hill. 1993.
- 11) Aparicio, F.J. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa. 1997.
- 12) Hornberger, G. Elements of Physical Hydrology. Johns Hopkins Universtiy Press. 1998.
- 13) Fetter, C. W. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª Ed. 2001.
- 14) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.). Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega. 1983.
- 15) Watson, I. & Burnett. Hydrology. An environmental approach. CRC Lewis. 1995.
- 16) Rafael Heras. "Manual de Hidrología". Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 1970.
- 17) Rolando Springall. "Hidrología". Universidad Autónoma de México. 1976.

- 18) Linsley, Kholer y Paulus. "Hidrología para Ingenieros", Editorial McGraw-Hill, Bogotá (Colombia). 1982.
- 19) Remenieras. "Tratado de Hidrología Aplicada", Editores Técnicos Asociados, Barcelona (España). 1974.
- 20) Aros, V. Apuntes de Hidrología. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 1997.
- 21) Cid, L., Mora, C., Valenzuela, M. Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia Estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemáticas. Chile. 1990.
- 22) Pizarro, R., Novoa, P. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1986.
- 23) Témez, J. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 1978.
- 24) Blake I. F. An introduction to applied probability. John Wiley & Sons, 1979.
- 25) Devore J. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Thomson, 2001.
- 26) Feller W. Introducción a la teoría de probabilidades y sus aplicaciones. Limusa, 1973.
- 27) Garza T. Elementos de cálculo de probabilidades. UNAM, 1983.
- 28) Hernández Del Valle A. y Hernández-Lerma O. Elementos de probabilidad y estadística. Serie Textos No. 21, Nivel Elemental. Sociedad Matemática Mexicana, 2003.
- 29) Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.
- 30) Comisión Federal de Electricidad (CFE). Planeación de sistemas de aprovechamiento hidroeléctrico. Sección A (Hidrotecnia), Tema 2 (Hidráulica), Capítulo 8 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.
- 31) D. F. Campos A. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. 2007.

- 18) Linsley, Kholer y Paulus. "Hidrología para Ingenieros", Editorial McGraw-Hill, Bogotá (Colombia). 1982.
- 19) Remenieras. "Tratado de Hidrología Aplicada", Editores Técnicos Asociados, Barcelona (España). 1974.
- 20) Aros, V. Apuntes de Hidrología. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 1997.
- 21) Cid, L., Mora, C., Valenzuela, M. Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia Estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemáticas. Chile. 1990.
- 22) Pizarro, R.; Novoa, P. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1986.
- 23) Témez, J. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 1978.
- 24) Blake I. F. An introduction to applied probability. John Wiley & Sons, 1979.
- 25) Devore J. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Thomson, 2001.
- 26) Feller W. Introducción a la teoría de probabilidades y sus aplicaciones. Limusa, 1973.
- 27) Garza T. Elementos de cálculo de probabilidades. UNAM, 1983.
- 28) Hernández Del Valle A. y Hernández-Lerma O. Elementos de probabilidad y estadística. Serie Textos No. 21, Nivel Elemental. Sociedad Matemática Mexicana, 2003.
- 29) Comisión Federal de Electricidad (CFE). Simulación del funcionamiento de un Vaso. Sección A (Hidrotecnia), Tema 1 (Hidrología), Capítulo 9 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.
- 30) Comisión Federal de Electricidad (CFE). Planeación de sistemas de aprovechamiento hidroeléctrico. Sección A (Hidrotecnia), Tema 2 (Hidráulica), Capítulo 8 del Manual de Diseño de Obras Civiles. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, D.F. 1980.
- 31) D. F. Campos A. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. 2007.