

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

CATIE

PROGRAMA DE ENSEÑANZA

AREA DE POSTGRADO

**MODELACION DE LA OPERACION DE UN SISTEMA HIDROELECTRICO
EN SERIE, CASO DEL EMBALSE ARENAL, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Posgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de:

Magister Scientiae

Por

Jorge Milton Goitia Antezana

Turrialba, Costa Rica

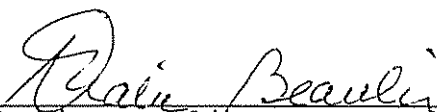
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



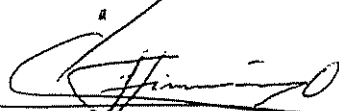
Hernán Solís, Ph.D.
Profesor Consejero



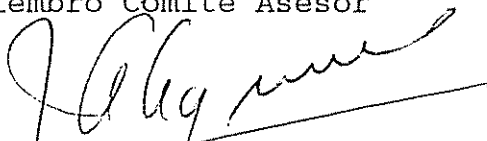
Nathalie Beaulieu, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



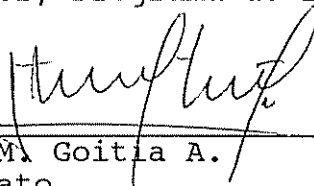
Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Jorge M. Goitia A.
Candidato

Goitia Antezana, J.M. 1995. Modelación de la operación de un sistema hidroeléctrico en serie, caso del embalse Arenal, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R.

Palabras claves: Modelación de la operación hidroeléctrica, modelación hidráulica (HEC-5), recuperación del nivel útil en embalses, manejo de embalses, embalse Arenal, sistema hidroeléctrico Arenal - Corobicí - Sandillal, cuenca El Arenal

RESUMEN

El trabajo consistió en modelar con el programa HEC-5 la operación histórica y la recuperación del nivel útil, para el embalse Arenal. Se analizó primero el embalse en forma aislada y luego como parte de un sistema en serie. Además, se realizó una calibración del modelo y un análisis de optimización de la relación volumen-energía.

Las variables de entrada utilizadas en los diferentes procesos de modelación con HEC-5 son:

- Variables energéticas: niveles máximo y mínimo de los embalses, demanda mensual de energía y eficiencia de las plantas.
- Variables físicas del sistema: curvas área - volumen - altura del embalse, capacidad de salida de las obras de excedencia, nivel de desfogue y secuencia de los embalses.
- Variables hidrometeorológicas: caudales afluentes, precipitación y evaporación en forma mensual.

Estas variables fueron ingresadas al programa HEC-5 de acuerdo a la estructura de entrada del mismo, el cual simula una transformación de energía hidráulica en energía eléctrica.

La modelación histórica para el embalse Arenal en forma aislada y operando en el sistema se realizó bajo la restricción de conseguir la energía óptima y el nivel mínimo una sola vez durante el periodo de análisis (13 años), denominándose este rendimiento como producción firme. El resultado obtenido modelando el embalse en forma aislada, demostró que el valor promedio de la producción firme es muy semejante al promedio de la producción real, generada por el ICE, con una diferencia del 1,4%. Sin embargo el análisis también demostró que en los primeros ocho años hubo una subutilización y en los siguientes cinco años una sobreproducción, lo cual condujo a una significativa reducción en los niveles de almacenamiento del embalse. Por otra parte, modelando el sistema en serie, la diferencia entre generaciones promedio es más significativa, alcanzando un 10,4% entre la simulada y la real.

Para la recuperación del nivel útil del embalse, operando en forma aislada y en serie, se establecieron seis escenarios de recuperación, bajo las restricciones de que la recuperación puede iniciarse cualquier mes del año y concluirse al final del periodo lluvioso, y que los periodos de recuperación están en función de la disminución de generación. En base a los resultados obtenidos desde el punto de vista técnico, el periodo de recuperación óptimo basado en la energía firme es de 42 meses, con una generación promedio mensual de 38704 MWH, y con una reducción del 26,4% con respecto a la producción promedio del ICE.

La última etapa de la modelación consistió en la optimización de la relación volumen - energía, con el objetivo de analizar la idoneidad de las dimensiones del embalse Arenal desde el punto de vista energético, para lo cual se estableció un rango de análisis de 40000 a 60000 MWH. Lo obtenido con este análisis indica una sobredimensión en la capacidad de almacenamiento del embalse. Sin embargo, este análisis de optimización no se considera suficiente debido, a la capacidad limitada del programa HEC-5 para optimizar la relación volumen - energía de un sistema en serie.

En forma general se pudo verificar que el uso del programa HEC-5 puede mejorar el manejo y la operación de los embalses. En el presente estudio se pudo identificar una sobre y subutilización que se dió en el embalse Arenal, asimismo establecer el periodo de recuperación y finalmente obtener un diagnóstico preliminar de un posible sobredimensionamiento en la capacidad de almacenamiento del mismo.

Goitia Antezana, J.M. 1995 Operation modeling of a tandem hydropower system, Arenal reservoir case, Costa Rica. M.Sc. Thesis. Turrialba, C.R.

Key words: Modeling of hydropower operation; hydraulic modeling (HEC-5); reservoir level recovery; reservoir management; Arenal reservoir; Arenal-Corobici-Sandillal Hydropower System; Arenal watershed.

SUMMARY

The purpose of this study is the modeling of the historic operation and reservoir level recovery for the Arenal reservoir, using HEC-5. First, it analyzes the single Arenal reservoir and afterwards, as a part of a tandem system. Besides, the model was calibrated and finally it accomplished an analysis of optimization of the volume-energy relationship.

The input variables used in the different modeling processes in HEC-5 are:

-Energy variables: maximum and minimum reservoirs levels; monthly energy requirements and powerplant efficiency.

-Physical variables of the system: area-volume curve; reservoir elevations; reservoir outlet capacities; tailwater elevation; and reservoir network.

-Hydrometeorological variables: monthly inflows; monthly precipitation and evaporation.

This model simulates the transformation of hydraulic energy into electric energy.

Both historic modeling for the single Arenal reservoir and for a tandem system were accomplished under the constrain of getting the optimum energy and the minimum level only once, during the analysis period (13 years). These conditions correspond to firm energy production. The results obtained by modeling the single Arenal reservoir proved that the average value of firm energy is similar to real production average, generated by ICE, with a difference of only 1,4% . However, the analysis indicates that in the first eight years there was an underexploitation of the reservoir, and in the following five years there was an overexploitation, resulting in significative reduction of the reservoir level and storage. On the other hand the tandem system modeling indicates that the difference between the modeled and real generations is more significative, reaching 10,4% .

For the reservoir level recovery, working as a single reservoir or in a tandem system, six recovery scenarios were considered, under two constrains: first, that the recovery could start in any month of the year and finish at the end of the rainy period; and second, that the recovery periods are in function of the reduction of generation. From a technical point of view, the results indicate that the optimum recovery period, based in the firm energy, is 42 months, with a monthly average generation of 38704 MWH; and a reduction of 26,4% in comparison to the average production of ICE.

The last step of the modeling was to get the optimal relation between volume and energy, in order to analyze how adequate is the size of the Arenal reservoir, from the energy point of view. In order to accomplish this step, it was established an analysis range of 40000 to 60000 MWH. The results indicate an oversize in the reservoir storage, if the Arenal reservoir is considered in an isolated way. However this analysis is not considered enough to prove this conclusion, because the program has a limited capacity for find the optimal relation in a tandem system.

Generally it was proved that the HEC-5 program can be used to improve the management and operation of reservoirs. In this present study it was found an over and underexploitation of the Arenal reservoir; a recovery period was recommended; and finally a preliminary diagnosis indicates a possible storage oversize.

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI PADRE.

A MI MADRE.

MUY ESPECIALMENTE A YOVANA Y VICTOR GABRIEL POR SU SACRIFICIO Y COMPRESION.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su especial agradecimiento al Ph.D. Hernán Solís y comité asesor de tesis: Ph.D. Francisco Jiménez, Msc. Sergio Velásquez y Msc. Nathalie Beaulieu; por su valiosa guía, conducción y término del presente trabajo.

Desea además agradecer al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), a través de Sadí Laporte, Director del Departamento de Hidrología y muy particularmente a Jorge Granados, responsable de la sección de pronósticos hidrológicos, el haber posibilitado la realización del presente trabajo.

Al personal del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CATIE a través de Gregorio Leclerc por su valiosa cooperación y asesoría.

INDICE DE CONTENIDO

Resumen	iii
Summary	v
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE CUADROS	xiii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	4
2. REVISION DE LITERATURA	6
2.1. El sistema hidrológico y su análisis	6
2.2. La cuenca hidrográfica	7
2.3. La ecuación de continuidad en embalses	8
2.4. Fundamentos teóricos de energía hidroeléctrica	10
2.4.1. Rendimiento firme	10
2.4.2. Energía firme	11
2.5. Modelación de sistemas	11
2.5.1. La simulación	11
2.5.2. Elementos de la simulación	12
2.5.2.1. Componentes	12
2.5.2.2. Relaciones	12
2.5.2.3. Variables	13
2.5.2.4. Intervalo de tiempo	14
2.6. Modelos de simulación	14
2.6.1. Clasificación de los modelos	15
2.6.2. Modelos estocásticos	16
2.6.3. Modelos determinísticos	16
2.7. Modelos de simulación para embalses	17
2.7.1. Ejemplos de modelos de simulación para embalses y su aplicación	18
2.7.2. El modelo de simulación HEC-5	22
2.7.2.1. Etapas a seguir en el proceso de modelación con HEC-5	23
2.7.2.2. Estructura del archivo de entrada para el modelo HEC-5	26
2.7.2.3. Variables del modelo	27
2.7.2.4. Ventajas y requerimientos del modelo	29
2.8. Sedimentación en embalses	30

3. METODOLOGIA	32
3.1. Descripción del área de estudio	32
3.1.1. Localización	32
3.1.2. Geología	34
3.1.3. Geomorfología	34
3.1.4. Edafología	36
3.1.5. Precipitación	36
3.1.6. Temperatura	38
3.1.7. El viento	39
3.1.8. Zonas de vida	39
3.2. Análisis del embalse Arenal	39
3.2.1. Obtención de variables básicas	39
3.2.2. Modelación histórica del embalse Arenal	49
3.2.3. Modelación para la recuperación del nivel útil del embalse Arenal	50
3.2.4. Optimización técnica de la relación volumen - energía para el embalse Arenal	51
3.3. Análisis del sistema Arenal - Corobicí - Sandillal	52
3.3.1. Obtención de variables básicas	53
3.3.2. Modelación histórica del sistema Arenal - Corobicí	56
3.3.3. Modelación del sistema para la recuperación del nivel útil del embalse Arenal	57
3.4. Evaluación de los resultados del modelo	57
4. RESULTADOS	59
4.1. Variables básicas para la modelación del embalse Arenal	59
4.1.1. Variables de trabajo	59
4.1.2. Características físicas del embalse Arenal	60
4.1.3. Características de la planta de energía	61
4.1.4. Variables de puntos de control para datos hidrológicos	62
4.1.5. Especificaciones para las variables de las series temporales	62
4.2. Modelación histórica del embalse Arenal	63
4.3. Modelación para recuperación del nivel útil del embalse Arenal	68
4.4. Optimización de la relación volumen - energía para el embalse Arenal	75
4.5. Variables básicas para la modelación del sistema Arenal - Corobicí - Sandillal	78
4.5.1. Energía del sistema Arenal - Corobicí (SM)	78
4.5.2. Características físicas de los embalses Santa Rosa y Sandillal	78
4.5.3. Características de las plantas de energía Corobicí y Sandillal	78

4.5.4.	Variables de puntos de control para datos hidrológicos en los embalses Santa Rosa y Sandillal	79
4.5.5.	Especificaciones para las variables de series temporales	80
4.6.	Modelación histórica del sistema Arenal - Corobicí	81
4.7.	Modelación del sistema para recuperación del nivel útil en el embalse Arenal	84
4.8.	Coeficientes estadísticos	92
5.	DISCUSION DE RESULTADOS	92
5.1.	Variables básicas	92
5.2.	Modelación histórica	95
5.3.	Modelación para la recuperación del nivel útil	97
5.4.	Análisis del proceso de optimización	100
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
7.	BIBLIOGRAFIA	104
8.	APENDICE	107
9.	ANEXO	147

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Ubicación de la cuenca El Arenal en Costa Rica	5
Figura 2.1.	Estructura del proceso de modelación con el modelo HEC-5	24
Figura 2.2.	Estructura del archivo de entrada para modelación de embalses con el modelo HEC-5	28
Figura 3.1.	Ubicación geográfica de la cuenca El Arenal	33
Figura 3.2.	Distribución mensual de la precipitación en la cuenca El Arenal	37
Figura 3.3.	Distribución mensual de la temperatura en la cuenca El Arenal	38
Figura 3.4.	Niveles de almacenamiento en un embalse	40
Figura 3.5.	Curvas de elevación - área - volumen del embalse Arenal	43
Figura 4.1.	Distribución mensual de la evaporación sobre el embalse Arenal	59
Figura 4.2.	Comparación mensual entre la generación realizada por el ICE y la obtenida en el análisis de idoneidad con HEC-5	65
Figura 4.3.	Comparación mensual entre la generación realizada por el ICE y la energía firme modelada con HEC-5	66
Figura 4.4.	Comportamiento de la generación anual histórica realizada por el ICE y la firme modelada con HEC-5	67
Figura 4.5.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el primer escenario	69
Figura 4.6.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el segundo escenario	70
Figura 4.7.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el tercer escenario	71
Figura 4.8.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el cuarto escenario	72
Figura 4.9.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el quinto escenario	73
Figura 4.10.	Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el sexto escenario	74
Figura 4.11.	Sensibilidad de la generación con respecto a la altura modelada, para el embalse Arenal en forma aislada	77
Figura 4.12.	Sensibilidad de la generación con respecto al volumen de conservación modelado, para el embalse Arenal en forma aislada	77
Figura 4.13.	Comparación de generación mensual realizada por el ICE y modelada con HEC-5 para el sistema Arenal - Corobicí	82
Figura 4.14.	Comportamiento de la generación anual realizada por el ICE y la modelada para el sistema Arenal - Corobicí	83
Figura 4.15.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, primer escenario	85
Figura 4.16.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, segundo escenario	86

Figura 4.17.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, tercer escenario	87
Figura 4.18.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, cuarto escenario	88
Figura 4.19.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, quinto escenario	89
Figura 4.20.	Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, sexto escenario	90
Figura 4.21.	Comparación entre generación y periodos de recuperación para el embalse Arenal en forma aislada	91
Figura 4.22.	Comparación entre generación y periodos de recuperación para el embalse Arenal operando con el sistema	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1.	Zonas de vida en la cuenca El Arenal	39
Cuadro 4.1.	Evaporación promedio mensual para el embalse Arenal (mm)	59
Cuadro 4.2.	VARIABLES de salida utilizadas en la modelación del embalse Arenal	60
Cuadro 4.3.	Volumen de almacenamiento para los niveles de operación en el embalse Arenal	60
Cuadro 4.4.	Características físicas del embalse Arenal	61
Cuadro 4.5.	Caudales mensuales de entrada al embalse Arenal (m ³ /seg)	62
Cuadro 4.6.	Energía mensual histórica generada por el ICE (GWH)	63
Cuadro 4.7.	Energía promedio mensual histórica (GWH) y porcentajes mensuales	63
Cuadro 4.8.	Valores de generación para el análisis de idoneidad y energía firme de la planta Arenal (GWH)	64
Cuadro 4.9.	Escenarios y generación promedio para la recuperación del nivel útil en el embalse Arenal	68
Cuadro 4.10.	Valores de energía mensual (PR) firme para cada escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal	68
Cuadro 4.11.	Valores de energía mensual (PR) en el análisis de optimización del embalse Arenal	75
Cuadro 4.12.	Resultados de la modelación para el análisis de optimización en el embalse Arenal	76
Cuadro 4.13.	Valores obtenidos para el coeficiente de generación (K)	78
Cuadro 4.14.	Volumenes de almacenamiento para los niveles de operación en los embalses Santa Rosa y Sandillal	78
Cuadro 4.15.	Características físicas del embalse Santa Rosa	78
Cuadro 4.16.	Características físicas del embalse Sandillal	79
Cuadro 4.17.	Valores del factor de planta para Arenal y Corobici	79
Cuadro 4.18.	Caudales mensuales de entrada al embalse Santa Rosa (m ³ /seg)	80
Cuadro 4.19.	Valores de energía (SM) inicial y firme para el sistema Arenal - Corobici	81
Cuadro 4.20.	Escenarios y generación promedio para la recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema	84
Cuadro 4.21.	Energía firme mensual del sistema (SM) para cada escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	84
Cuadro 4.22.	Caudal promedio mensual para los embalses del sistema (m ³ /seg)	84
Cuadro 4.23.	Coeficientes estadísticos para la modelación del embalse Arenal	92
Cuadro 8.1.	Archivo de entrada para el análisis de idoneidad en el embalse Arenal	108
Cuadro 8.2.	Archivo de entrada para la modelación histórica firme, embalse Arenal	109

Cuadro 8.3.	Archivo de salida para el análisis de idoneidad, en el embalse Arenal	110
Cuadro 8.4.	Archivo de salida de la modelación histórica firme, embalse Arenal	114
Cuadro 8.5.	Archivo de entrada para el tercer escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal	118
Cuadro 8.6.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, primer escenario	119
Cuadro 8.7.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, segundo escenario	120
Cuadro 8.8.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, tercer escenario	121
Cuadro 8.9.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, cuarto escenario	122
Cuadro 8.10.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, quinto escenario	124
Cuadro 8.11.	Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, sexto escenario	126
Cuadro 8.12.	Archivo de entrada modelo para el análisis de optimización, embalse Arenal	128
Cuadro 8.13.	Archivo de entrada para modelación histórica óptima del sistema Arenal - Corobicí	129
Cuadro 8.14.	Archivo de salida para la modelación histórica óptima del sistema Arenal - Corobicí	131
Cuadro 8.15.	Archivo de entrada para el primer escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	135
Cuadro 8.16.	Archivo de salida para el primer escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	137
Cuadro 8.17.	Archivo de salida para el segundo escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	138
Cuadro 8.18.	Archivo de salida para el tercer escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	139
Cuadro 8.19.	Archivo de salida para el cuarto escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	141
Cuadro 8.20.	Archivo de salida para el quinto escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	143
Cuadro 8.21.	Archivo de salida para el sexto escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema	145

1. INTRODUCCION

Una de las necesidades humanas fundamentales es el agua, la cual es factor determinante para usos públicos y privados, para el riego, la generación hidroeléctrica y eventualmente para servicios de transporte y comunicaciones. De hecho, el agua es un recurso natural renovable; sin embargo, su renovabilidad no responde, como otros recursos, a su multiplicación a partir de magnitudes iniciales, sino que se trata de un recurso natural circulante, dependiente de un ciclo de cambios de estado y de sitio, condicionado por circunstancias climáticas, geológicas y paisajistas.

Aunque la cantidad de agua en el planeta es enorme, a nivel mundial hay escasez de este recurso en términos de uso humano. En efecto, la humanidad vive sólo de agua dulce que representa el 0.0091% de toda la reserva hídrica disponible, y el otro 99.99% no es potable ni útil para la agricultura. Esta situación origina la necesidad de una gestión racional, para solucionar los problemas derivados de un uso inadecuado y de su distribución irregular en el tiempo y el espacio. Siendo la construcción de embalses el resultado de esta necesidad de gestión. En muchos casos, el rol de estas estructuras es almacenar el agua del periodo lluvioso para distribuirla durante todo el año, ya sea con fines hidroeléctricos o de riego. Otra función de los embalses es el control de inundaciones, donde se almacena el agua de las crecidas para usos productivos.

En la actualidad, uno de los problemas fundamentales en la planificación y operación de los recursos hídricos es el manejo de los embalses. En consecuencia se debe lograr, con un alto grado de seguridad, un balance óptimo en el uso del agua para los periodos húmedos y secos, con el objetivo de satisfacer las demandas existentes y futuras de energía eléctrica, del uso para riego, abastecimiento de agua potable e industrial, y control de inundaciones.

La operación óptima de los embalses se realiza en función del balance hídrico, de la energía que se puede producir con un alto grado de seguridad, y las demandas de energía, criterios básicos para la realización de esta actividad. Por lo tanto, es imprescindible buscar metodologías y técnicas de modelación que conduzcan a la integración de estos componentes para un manejo sostenible del recurso agua.

La técnica de modelación es una valiosa herramienta que nos permite determinar los criterios más apropiados para la operación y manejo de los embalses, de manera que afecten lo menor posible el régimen hídrico y ecológico de las cuencas hidrográficas.

Además, la modelación puede ser utilizada para proveer información cuantitativa sobre la magnitud, distribución y operación del agua disponible y predecir los efectos directos e indirectos de las actividades del hombre sobre este recurso. Asimismo, constituye una herramienta técnica dentro de los planes de manejo de cuencas hidrográficas, ya que la capacidad de almacenamiento y operación de estas estructuras están sujetas al grado de deterioro o conservación que presentan las áreas de aporte. El incremento en la producción de sedimentos, producto del proceso erosivo de origen hídrico, de las altas tasas de deforestación y de un uso inadecuado del suelo, contribuye a disminuir la vida útil de los embalses y producen, como resultado final, la reducción de capacidad para generar energía hidroeléctrica, abastecimiento de agua u otros usos.

Durante los últimos años en Costa Rica, principalmente la región de Guanacaste experimento un periodo de sequía bastante agudo producto de los inviernos secos y del fenómeno climático "El Niño", situación que condujo a una disminución en los niveles de almacenamiento del embalse Arenal. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), alarmado ante esta situación tomó medidas de tipo preventivas, como fue la campaña de ahorro de energía realizada a nivel nacional, con la posibilidad de recuperar niveles mas altos en el embalse.

El presente estudio consistió en simular el comportamiento de la operación histórica y recuperación del nivel útil de almacenamiento para el embalse Arenal por medio del modelo HEC-5. El embalse está situado en la cuenca del Lago El Arenal, ubicada en las provincias de Guanacaste y Alajuela de Costa Rica, (Figura 1.1.). El modelo de simulación digital HEC-5 es un programa informático desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del ejército de los Estados Unidos de América.

El embalse Arenal constituye la unidad experimental, que es parte del complejo hidroeléctrico Arenal - Corobicí - Sandillal, sistema operado por el Instituto Costarricense de Electricidad, que tiene tres plantas hidroeléctricas en serie, las cuales aprovechan el potencial hidráulico de la cuenca del Lago Arenal en la generación de electricidad. El embalse cuenta con un espejo de agua de aproximadamente 88 Km², y puede almacenar 2416 millones de metros cúbicos, de los cuales 1780 millones constituyen el embalse útil.

El sistema genera aproximadamente el 46% de la energía hidroeléctrica para Costa Rica (ICE, 1994), por lo que una inadecuada operación del embalse, principalmente una sobreproducción de energía eléctrica, podría conducir a un agotamiento rápido del recurso, que puede perjudicar en el futuro al complejo hidroeléctrico, como al proyecto de riego Arenal-Tempisque, ubicado aguas abajo de la estructura hidráulica.

La modelación hidrológica de embalses en una cuenca, constituye un instrumento muy valioso para el manejo integrado y sostenible de los recursos naturales, en especial el recurso agua. Más aún si la cuenca del Lago Arenal, ha sido denominada a justo valor, "el corazón energético de Costa Rica", por su gran aporte a la producción energética nacional.

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este estudio es realizar la modelación de la operación del sistema hidroeléctrico en serie del embalse Arenal, utilizando el modelo de simulación digital HEC-5, con la finalidad de analizar su rendimiento en el pasado y establecer los criterios adecuados para una operación futura sostenible de acuerdo a su potencial de energía firme.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Simular la producción de energía firme, en función de las condiciones: hidrológicas y de la demanda de energía, y compararla con la producción realizada por el Instituto Costarricense de Electricidad.
- Comparar diferentes escenarios para la recuperación del nivel útil de almacenamiento en el embalse Arenal, en función a su rendimiento de energía firme
- Determinar si las dimensiones del embalse Arenal, son las adecuadas para la producción energética que realiza.

HIPOTESIS

- El uso de un embalse como parte de un sistema en serie puede cambiar significativamente su eficiencia, si se compara con su productividad como embalse aislado.
- El modelo HEC-5, permite comparar diferentes escenarios para la recuperación del nivel máximo de los embalses, en función de la productividad energética por unidad de tiempo.
- Las dimensiones de un embalse pueden también ser optimizadas en función de la producción firme de energía.

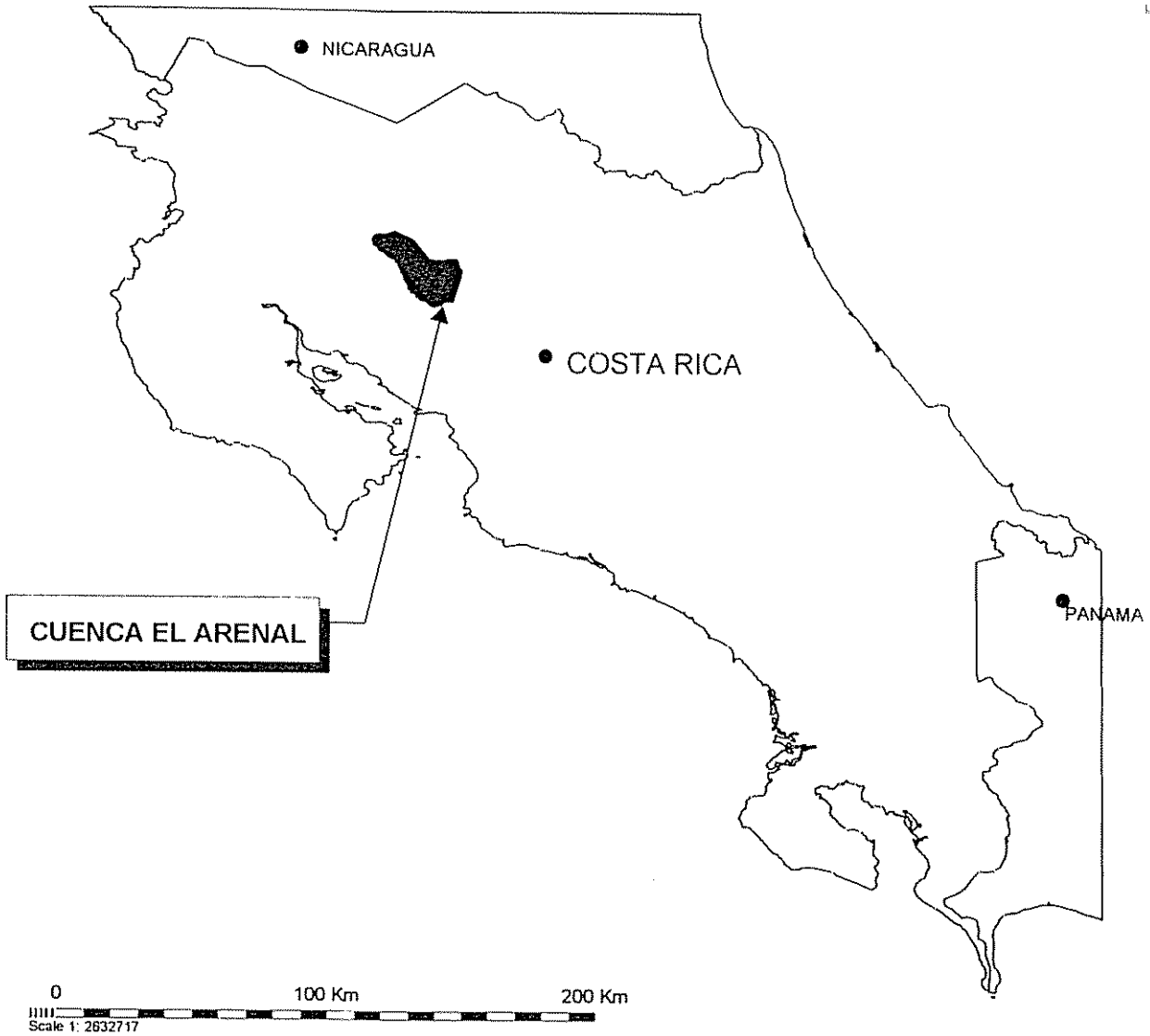
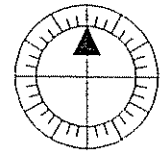


Figura N° 1.1. Ubicación de la cuenca El Arenal en Costa Rica

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. El sistema hidrológico y su análisis

La planificación y manejo de los recursos hídricos existentes en las cuencas hidrográficas, en especial la operación de embalses, requieren de herramientas que permitan tomar decisiones adecuadas. Según la calidad de la decisión tomada, se desarrollarán y ejecutarán las operaciones de aprovechamiento de los embalses. Dado que las áreas que intervienen dentro de este proceso son variadas, resulta de interés práctico encarar la problemática de la planificación a través de un análisis global y con la participación de un equipo multidisciplinario. Una manera de tratar la problemática anterior es a través del análisis de sistemas.

Betch, citado por Saravia (1985), considera a los sistemas como un arreglo de componentes físicos o un conjunto o colección de partes conectadas o relacionadas de tal manera que forman o actúan como una unidad, estando condicionado el estado de cada uno de ellos por el estado de los otros componentes del sistema. Esta definición considera al sistema internamente ya que, cuando lo hace externamente, es necesario agregar que el sistema está dinámicamente relacionado con el medio externo, es decir, que está continuamente sujeto a cambios.

Los sistemas tienen características sumatorias, aquellas que conociendo las partes y sumando sus características nos dan la idea de la totalidad del sistema, y constitutivas, las que presentan todo el sistema, sin que se pueda deducir el comportamiento aislado de cada parte. Asimismo un sistema depende de las características, los estados, del tipo de comunicación y de las acciones a que están sometidos los elementos del sistema. Las partes fundamentales de un sistema son: las entradas, los procesos de transferencia y las salidas (Montaldo, 1985). Para la presente investigación, el sistema es el embalse y las plantas hidroeléctricas, cuyas entradas son básicamente la precipitación y los caudales, y las salidas son la evaporación, caudales y energía.

Con el desarrollo y empleo de la programación lineal, y la introducción de las computadoras digitales se dio el empuje necesario al enfoque y análisis de sistemas, al permitir el estudio cuantitativo de algunos recursos que incluían gran número de variables y cálculos. Un análisis de sistemas puede definirse como un conjunto de técnicas matemáticas donde se incluye al menos un procedimiento de optimización, que puede ser utilizado frecuentemente como una herramienta en la toma de decisiones para la planificación, operación de los recursos hídricos u otras áreas, para resolver problemas de programación, organización y aprovechamiento de recursos. (Rogers y Fleming ,1986).

2.2. La cuenca hidrográfica

Todo territorio en las tierras emergidas del planeta está sujeto a determinadas condiciones climáticas, manifiestas en patrones estacionales, como lo son los componentes del ciclo hidrológico, cuyo conjunto va a incidir profundamente en las condiciones naturales de vida, así como sus posibilidades de productividad, habitabilidad, conservación y estabilidad de sus recursos, principalmente en las unidades territoriales denominadas cuencas hidrográficas.

Desde el punto de vista hidrológico, las aguas superficiales van a ser distribuidas en unidades hidrográficas individuales dotadas de redes de avenamiento articuladas, con un destino final específico; una unidad mayor o cuerpo de agua terminal (océanos). Estas unidades, por esencia *hidrográficas*, están bien delimitadas por líneas conocidas como parte aguas, divisoria, líneas de divorcio de aguas, etc., establecidas por las cotas de mayor altura, en cada unidad básica, las cuales a su vez se agrupan para formar unidades cada vez mayores, a las que se denomina cuenca hidrográfica. (Ferrer,1994).

Campos (1987), define la cuenca hidrográfica como una unidad territorial formada por un río principal con sus afluentes y por un área colectora de las aguas, donde están contenidos los recursos naturales básicos para las múltiples actividades humanas, donde todos estos recursos mantienen una continua y particular interacción con el aprovechamiento y desarrollo productivo del hombre. Así mismo, el ámbito

cuenca viene a ser un lugar físico que nos permite referirnos a espacios concretos, donde pueden realizarse las transacciones entre los diferentes habitantes y usuarios, por que existe mayor facilidad de comunicación entre estos. Las cuencas hidrográficas del punto de vista de su salida pueden dividirse fundamentalmente en dos grupos: endorreicas (el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago) y exorreicas (el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otro cauce de orden superior o en el mar), siendo estas últimas las que predominan en el trópico centroamericano. (Aparicio, 1989).

Finalmente, la estabilidad de las cuencas está íntimamente ligado al concepto de equilibrio ecológico, por lo que, la cuenca se transforma en la unidad básica de estudio para la planificación integral de los recursos naturales renovables y no renovables, especialmente en relación con el uso prioritario del agua.

2.3. La ecuación de la continuidad en embalses

La mayoría de los modelos hidrológicos usados en el manejo de cuencas hidrográficas se basan en el principio de conservación de masas, según el cual las variaciones de un volumen de agua cualquiera en un momento dado deben reflejar la diferencia entre las entradas y salidas de agua a dicho volumen ($E - S = \Delta A$), que es conocida como la ecuación de la continuidad. Para el caso de los modelos hidrológicos, las entradas las constituyen la precipitación y los caudales de entrada, y las salidas principales los caudales de salida y evaporación (Chow, 1964; Trueba, 1980), lo que nos lleva a un caso particular de aplicación de la ecuación de continuidad, llamado balance hídrico.

- El balance hídrico de un embalse

El análisis de operación de un embalse debe realizarse en función del balance hídrico. Esto permite evaluar en forma absoluta y relativa los diferentes componentes de entrada y salida del sistema. A través del proceso de modelación del balance hídrico, es posible determinar el rendimiento firme, variable fundamental para el diseño y la operación de embalses.

La cantidad y calidad de la información disponible para la aplicación del balance hídrico es un requisito importante, ya que a mayor densidad de la red de estaciones se obtendrá una mejor descripción del comportamiento hídrico del embalse, especialmente en embalses de grandes áreas de espejo hídrico y en regiones de topografía muy irregular.

Con base en las consideraciones anteriores, la ecuación del balance hídrico parte del principio de conservación de masas expresado en la ecuación de la continuidad de flujos, y tiene la siguiente expresión (CHOW, MAIDMENT y MAYS, 1988):

$$S_t - S_{t-1} = (V_{e_t} + P_t + I_{e_t}) - (V_{b_t} + V_{v_t} + E_{v_t} + I_{s_t})$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

Donde:

S_{t-1} = Volumen del embalse al inicio del mes t

S_t = Volumen del embalse al final del mes t

T = Número de intervalos de tiempo

V_{e_t} = Volumen de entrada de los ríos en el mes t

P_t = Precipitación en el mes t

I_{e_t} = Volumen de infiltración de entrada al embalse en el mes t

V_{b_t} = Volumen turbinado en el mes t

V_{v_t} = Volumen vertido en el mes t

E_{v_t} = Evaporación en el mes t

I_{s_t} = Volumen de infiltración de salida del embalse en el mes t

De la ecuación anterior, las variables de infiltración de entrada y salida del embalse (I_{e_t}, I_{s_t}), tienden a ser relativamente pequeñas, debido a que los sitios escogidos para la instalación de grandes embalses deben presentar condiciones hidrogeológicas muy ventajosas, por lo que estos valores se contrarrestan y son ignorados del balance hídrico (Fredrich, 1975). Despreciando las variables de infiltración se tiene:

$$S_t = S_{t-1} + (V_{e_t} + P_t) - (V_{b_t} + V_{v_t} + E_{v_t})$$

Sin embargo, los volúmenes turbinados y vertidos dependen a su turno de la variable dependiente de esta ecuación, el volumen S_t del embalse. La evaporación depende del espejo de agua, que depende también del volumen del embalse. Esta interdependencia hace que la solución no sea explícita, sino implícita.

En consecuencia se requiere de un proceso iterativo muy complejo y extenso para la planificación y operación del embalse, por lo que se hace necesario recurrir a la utilización de modelos de simulación digital, que permitan tomar decisiones adecuadas y confiables. Otro tipo de decisiones puede conducirnos a consecuencias indeseables en el futuro, dado que una sobreproducción conduciría a un agotamiento rápido de las reservas del embalse, situación que se agravaría más si coincide con el periodo de sequía, así mismo, una subproducción da como resultado un desperdicio del recurso hídrico al aumentar los volúmenes de agua y ser evacuados improductivamente por los aliviaderos.

2.4. Fundamentos teóricos de energía hidroeléctrica

2.4.1. Rendimiento firme

Los embalses que utilizan el recurso hídrico para la generación de energía hidroeléctrica, riego o consumo humano, deben planear este aprovechamiento con base en su rendimiento firme.

Al efecto Linsley (1970), señala que este rendimiento firme o seguro es el promedio anual de uso de agua que se puede garantizar año tras año, sin perjudicar el uso del recurso durante un periodo crítico de sequía.

Chow, et.al (1988) complementan, afirmando que el rendimiento firme es la tasa promedio de agua retirada para un determinado periodo, que puede bajar el embalse al nivel mínimo permisible solo una vez durante la época crítica de sequía del registro. Esto último se define como un período de varios años de duración que tiene bajas lluvias sostenidas y flujos de drenaje mínimos. Esta información se obtiene de registros de precipitación, caudales y evaporación, dentro de la cuenca hidrográfica donde se ubica el embalse.

Finalmente el análisis del rendimiento firme parte de dos suposiciones fundamentales: que mientras las demandas son proyectadas hacia el futuro, el rendimiento firme es calculado en base de datos históricos hidrológicos y que las

condiciones hidrológicas pasadas son típicas del diseño y que pueden ser repetidas en cualquier secuencia de años futuros. En el caso de la operación hidroeléctrica de embalses se denomina energía firme.

2.4.2. Energía firme

La energía firme es definida como la máxima energía que una planta hidroeléctrica puede producir, con un alto grado de probabilidad, en un 100% del tiempo de su operación, para lo cual se inicia con la potencia en el nivel máximo de operación y se concluye con el nivel mínimo de operación. Garantizando de esta manera una disponibilidad de energía segura desde la planta de generación hidroeléctrica hacia el consumidor (Linsley,1970).

2.5. Modelación de sistemas

En la investigación de sistemas, es imposible manejar el sistema real en su totalidad, y la modelación implica simplificaciones en la representación del mismo, por ejemplo la representación del sistema de embalses de un país tiene que ser simplificado en función de las mediciones hidrológicas que se toman. Una simplificación excesiva o una selección inadecuada de los parámetros usados para describir un sistema pueden conducirnos a un modelo que no represente adecuadamente el sistema real. Se hace entonces necesario investigar sobre uno o varios modelos que representen mejor el sistema real, en los cuales estén consideradas las características más importantes del sistema sujeto de investigación. (Saravia,1985).

Una de las técnicas más comunes y utilizadas en el manejo de recursos hídricos son los modelos hidrológicos. Estos consideran los componentes del ciclo hidrológico como un sistema interrelacionado, con procesos tales como la precipitación, evaporación, infiltración, entre otros. Cada uno de estos procesos pueden ser simulado en forma individual o interrelacionado.

2.5.1. La simulación

Desde el punto de vista de la ordenación y manejo de los recursos hídricos, la simulación puede definirse como el establecimiento de un modelo funcional de los

componentes físicos de un proyecto de recursos hídricos y la investigación del efecto de las variaciones en los distintos parámetros que definen el modelo, por ejemplo la capacidad de almacenamiento, capacidad de generación eléctrica, en la respuesta del mismo a una serie de insumos de entrada al sistema, como son el caudal de entrada al embalse, caudal turbinado, evaporación. (Carr, D.P. y Underhill, H.W., 1974).

Pettersen (1984), complementa lo anterior señalando que la simulación es una técnica descriptiva, que proporciona la respuesta del sistema ante variaciones en los parámetros y/o variables de entrada. Si estos modelos de simulación contienen una función específica y algoritmos que la optimicen, luego de sucesivas corridas el modelo generará alternativas de respuesta, que en base a criterios técnicos, podrán ser consideradas como opciones o alternativas que aseguren el funcionamiento de un sistema en particular.

2.5.2. Elementos de la simulación

Al hablar de los modelos de simulación, es importante establecer que dentro de un estudio de simulación hay que definir cuatro tipos de información básica: componentes, relaciones, variables e intervalo de tiempo (Fiering, Harrington y de Lucia, 1971).

2.5.2.1. Componentes

En el caso de un embalse, los componentes del modelo son la capacidad de los embalses, capacidad de los vertederos, capacidad de generación de la planta, etc. y los demás constituyentes del proyecto de aprovechamiento de los recursos hídricos.

2.5.2.2. Relaciones

La formulación de las distintas interacciones caracteriza el comportamiento de los componentes individuales del sistema. Existen dos tipos de relaciones que son fundamentales en los métodos de simulación: los procedimientos de operación y los criterios de comportamiento. Las primeras representan variables tales como las relaciones entre caudales de entrada y producción de energía eléctrica, descarga de

agua con fines de riego y el volumen que se debe almacenar como reserva. Las segundas normalmente se utilizan para evaluar el comportamiento del sistema, y se expresan en términos monetarios sobre costos y beneficios de las distintas opciones que se utiliza en la simulación.

2.5.2.3. Variables

Dentro del proceso de simulación, las variables del modelo se pueden definir como:

- a) **De Estado:** indican la condición en que se encuentra los componentes del modelo, y su valor cambia con cada proceso de simulación. Controlan la lógica de la simulación y condicionan el comportamiento del sistema.

- b) **De Entrada:** se subdividen en dos tipos; las primeras identificadas con los insumos físicos del sistema real y no están sometidas al control del planificador (ej. caudales afluentes, temperatura, precipitación, evaporación etc). La segunda clase de variables son las exógenas o independientes de las condiciones hidrológicas del modelo y describen comportamientos sobre las cuales el planificador del sistema puede ejercer influencia directa (ej. condiciones socio-económicas y políticas para la generación de energía, extracción de agua con fines de riego, descargas de agentes contaminantes, etc).

- c) **Parámetros:** son las variables que caracterizan los componentes y relaciones del modelo. Se pueden describir como características definibles del sistema que permanecen constantes a lo largo de los cálculos matemáticos (ej. capacidad del embalse, capacidad del vertedero, etc.). Se distinguen dos tipos de parámetros: los de diseño y exógenos. Los primeros, de diseño, llamados también de decisión, son aquellos sobre los cuales el planificador ejerce un control directo (ej. variables que definen el diseño del sistema, seleccionar los parámetros que mejor satisfagan el objetivo del análisis, capacidad de almacenamiento, etc). Los exógenos son aquellas variables que por falta de conocimiento o de datos básicos, no se

pueden evaluar con precisión al formular el modelo, pero se sabe que su valor está comprendido entre ciertos límites (ej. coeficientes de pérdidas por infiltración en embalses, eficiencia de riego, etc).

d) De Salida: Estas variables representan la respuesta del sistema simulado en la forma que fue escogida por el planificador; pueden ser cantidades físicas, por ejemplo, caudales, déficits mensuales de agua o energía, producción mensual de energía; o económicos como beneficios anuales.

2.5.2.4. Intervalo de tiempo

El intervalo de tiempo es el elemento final que caracteriza a un modelo de simulación. Representa un compromiso entre la fidelidad con que se desea simular el sistema real, los costos que implica los cálculos y la adquisición de los datos de entrada. Al momento de decidir este intervalo, debe tenerse presente el carácter estadístico de los insumos del sistema, objetivo del estudio y disponibilidad de datos.

El intervalo de tiempo más común en los estudios de simulación de recursos hídricos es el mensual, aunque en casos especiales, puede adoptarse intervalos de quince días, de un día y aún menos. (Fiering, 1971). Para proyectos con embalses de regulación estacional se recomienda un periodo de semanal o mensual. En proyectos a filo de agua, con baja capacidad de regulación, se debe preferir un período diario. (Maidment, 1990).

2.6. Modelos de simulación

Un modelo de simulación es definido como un sistema matemático o físico que obedece a ciertas condiciones específicas y cuyo comportamiento es utilizado para entender un sistema físico, biológico o social real, al que es análogo en determinado sentido (Argüello, 1991).

El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC, 1991), describe a un modelo de simulación como una representación de un sistema, usada para predecir el comportamiento de un sistema real bajo ciertas condiciones específicas. Los modelos de simulación de embalses son herramientas básicas para propósitos de manejo de embalses, políticas de operación, apoyo en decisiones de operación en tiempo real o análisis de la operación en embalses existentes.

Finalmente, los modelos de simulación pueden ser tan realistas como lo permita el conocimiento del sistema por parte del planificador y también se comuniquen con relativa facilidad. La selección del modelo estará determinada primero, por los objetivos perseguidos y, segundo, por las características de los procesos bajo estudio.

2.6.1. Clasificación de los modelos

Gerez y Grijalba (1976), indican que los modelos se clasifican en dos grupos principales de acuerdo a su grado de esquematización del sistema real: modelos materiales y modelos formales o simbólicos, sin importar la disciplina para la que son utilizados.

Los modelos materiales son transformaciones del sistema real, físico, en otros sistemas físicos más sencillos que el original y conservan las características y propiedades esenciales de este último. Estos modelos materiales a su vez se pueden dividir en icónicos y analógicos. Los primeros usan los mismos componentes que el sistema real pero con dimensiones reducidas (ej. los modelos físico-hidrológicos y hidráulicos), mientras que los segundos son también representaciones físicas del sistema original y aprovechan la analogía entre, por ejemplo los sistemas eléctricos para representar cursos de agua en hidráulica.

Un modelo formal o simbólico, son representaciones del sistema real a través del empleo de símbolos y de relaciones entre ellos. Estos símbolos usualmente son representaciones matemáticas de una situación idealizada, que denotan cantidades, es decir son modelos matemáticos cuantitativos y conservan las más importantes propiedades estructurales de un sistema real.

Linsley (1993), señala al respecto, que un modelo de simulación hidrológico es la representación de un sistema hidrológico por otro matemático que pueda describir el comportamiento del sistema natural, y el modelo será más realista conforme represente el proceso físico en una forma más adecuada. Esto implica la preparación de un modelo de una situación real (sistema), y posteriormente realizar experimentos sobre el modelo, considerándose a estos dos aspectos como los procesos de la modelación.

Los modelos se clasifican si dependen o no del tiempo (dinámicos o estáticos) y si incorporan o no elementos probabilísticos (probabilísticos o determinísticos).

2.6.2. Modelos estocásticos

Un modelo estocástico, según Villón (1983), es la representación matemática de un proceso real físico, tecnológico u otro, cuyo desarrollo es gobernado por las leyes probabilísticas y en la cual se toma en cuenta la secuencia cronológica de las variables, las que pueden ser tratadas como puramente aleatorias o no aleatorias.

Linsley (1993), señala que los métodos estocásticos fueron introducidos en la ciencia hidrológica para solucionar problemas de datos con series históricas y del diseño de embalses, ya que estos modelos nos permiten evaluar la confiabilidad, o sea la probabilidad de producir la cantidad de agua esperada durante cada año, en base a un análisis del registro histórico de datos hidrológicos, siempre y cuando este registro sea lo suficientemente largo.

2.6.3. Modelos Determinísticos

Según Sadeh (1976), citado por Villón (1983), un modelo determinístico es un proceso descrito razonablemente por una relación matemática explícita de modo tal que su comportamiento futuro pueda ser predicho bajo condiciones dadas. Lo anterior se logra a través de leyes y ecuaciones de base física y/o empírica, que describen el comportamiento del proceso hidrológico, sin considerar fuentes externas de error que pudieran influir en su determinación. La información que interviene para la representación de este proceso está constituida por series de tiempo determinísticas.

Entre los ejemplos donde se observa respuesta determinística, tenemos la curva de calibración de una relación unívoca entre caudal y nivel en una sección transversal con un lecho fijo y completamente estable; otro ejemplo es, el cálculo del escurrimiento máximo superficial, mediante el método racional ($Q=CIA$).

Al respecto, Chow, et.al (1988) señalan que si el cambio de ocurrencia de las variables involucradas en el proceso es ignorado y se considera que el modelo sigue una ley definitiva de la certeza pero ninguna ley de la probabilidad, el proceso y el modelo son descritos como determinísticos.

Estos modelos usan una metodología que puede ser empírica o conceptual, que tratan a los procesos del ciclo hidrológico como si formaran parte de un sistema determinado, sin ningún intento realizado para representar los procesos aleatorios, los cuales pueden o no ser existentes en el sistema (Fleming, 1986). Por ejemplo, podemos mencionar los modelos STANFORD WATERSHED (Crawford and Linsley, 1966), HEC-MONTHLY (U.S. Army Corps of Engineers, 1971), HEC-3 y HEC-5 (Hydrologic Engineers Center-USACE) desarrollados en 1973 y 1979 respectivamente.

Este tipo de modelos son generalmente usados en la evaluación del recurso hídrico en función de una cantidad y distribución de precipitación proporcionada, para proveer más información cuantitativa sobre la magnitud, calidad y distribución de agua disponible. También sirven para extender esta información en la predicción de efectos directos e indirectos, causados por el hombre sobre el recurso agua existente.

2.7. Modelos de simulación para embalses

Los modelos determinísticos de simulación de embalses al estar basados en el balance hídrico, se prestan mejor a nuestros objetivos, en particular en cuanto a la modelación del uso histórico del embalse, por que las variables de entrada se han producido y medido.

El desarrollo y la aplicación de una cantidad de modelos de simulación para embalses son reportados en la literatura, sin embargo los modelos citados más adelante son considerados como más los representativos, con propósitos de

generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable e industrial y control de inundaciones.

2.7.1. Ejemplos de modelos de simulación para embalses y su aplicación

El modelo HEC-3, desarrollado en 1973 por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, simula la operación de embalses para propósitos de conservación, suministro de agua, balance entre embalses, aumento de caudales y energía hidroeléctrica. El HEC-3 tiene capacidades similares para modelar operaciones de conservación de embalses que el modelo HEC-5. Sin embargo el HEC-3 tiene las limitantes de no poder simular el control de inundaciones y el periodo de modelación es únicamente mensual. Este modelo ha sido utilizado principalmente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército y oficinas federales de los Estados Unidos, encargadas del manejo de embalses.

Un modelo de simulación generalizado llamado SUPER fue desarrollado por la división sudoeste del Cuerpo de Ingenieros en 1981 (EE.UU.). El modelo SUPER simula la regulación secuencial diaria para un sistema de embalses de multipropósito, realiza el mismo proceso de simulación hidrológica y económica que el modelo HEC-5, pero difiere en el manejo de ingreso de datos y en varias capacidades de cálculo. Este modelo fue utilizado en estudios de simulación de reservorios en el distrito de Tusla (EE.UU.) por la división sudoeste del Cuerpo de Ingenieros. (HEC,1991).

El modelo SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation), desarrollado en 1956 por la división norte del Pacífico del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, fue diseñado principalmente para el pronóstico de caudales e inundaciones, diseño de embalses y estudios de operación.

El modelo SSARR tiene tres componentes básicos, un modelo para sintetizar la esorrentía de la lluvia y deshielo, un segundo modelo de tránsito superficial de los cauces y un modelo de regulación del embalse para analizar el almacenamiento y flujo de salidas del embalse. Este modelo fue aplicado principalmente a varios sistemas de embalse en la cuenca del río Columbia (EE.UU.) y la cuenca del río Mekong en el sudeste de Asia por parte de agencias gubernamentales y universidades.

El Cuerpo de Ingenieros del distrito de Savannah (EE.UU.) en 1984 desarrolló el modelo BRASS (Basin Runoff and Streamflow Simulation), con el objetivo de modelar las inundaciones y establecer criterios de operación para el sistema de embalses con que cuenta la cuenca del río Savannah.

El BRASS es un modelo de simulación interactivo hidrológico - hidráulico que incluye la modelación precipitación escorrentía, rutina de almacenamiento durante el periodo de sequía y una capacidad dinámica de tránsito de avenidas. Dentro de su estructura está incorporado el modelo NWS DWOPER para el tránsito de avenidas, el cual calcula las descargas y elevación del agua en base a la solución de la ecuación propuesta por St. Venant.

El modelo de simulación para el río Colorado denominado CRSS, originalmente fue desarrollado por el Centro de Investigación y Aprovechamiento de Denver (EE.UU.) en 1970 y subsecuentemente fue revisado y actualizado.

Este modelo, CRSS, simula las operaciones de suministro de agua, generación hidroeléctrica, control de inundaciones y incremento de caudales bajos para los embalses ubicados principalmente en la cuenca del río Colorado. Su estructura está constituida por un conjunto de programas, bases de datos y archivos de entrada usados principalmente en la planificación a largo plazo con un intervalo de modelación mensual. Una característica particular de este modelo es la capacidad de poder calcular las concentraciones de sal además de simular las operaciones propias de un embalse.

Otro modelo convencional de amplio uso es el MITSIM (Massachusetts Institute of Technology River Basin Model) desarrollado en 1978, este modelo tiene la capacidad de evaluar el comportamiento hidrológico y económico de un sistema de embalses existentes o propuestos, plantas hidroeléctricas, estaciones térmicas, área para riego y abastecimiento de agua municipal e industrial. Los anteriores elementos son representados en el modelo como un sistema de arcos y nodos, donde el modelo calcula los caudales mensuales en todos los nodos de la cuenca a partir de caudales mensuales dados en los nodos iniciales.

El resultado a obtener con la modelación es la confiabilidad del sistema para cumplir con las demandas de agua para los diferentes propósitos especificados. Una particularidad del modelo MITSIM, es la capacidad de comparar los beneficios de riego, energía eléctrica y abastecimiento de agua con los costos del proyecto, donde los beneficios son divididos en largo plazo y costos de corto plazo.

La modelación de embalses tuvo inicios en el año 1953, cuando el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos realizó un estudio de operación de seis embalses para la cuenca del río Missouri, con el objetivo de maximizar la generación de energía sujeta a limitaciones impuestas por navegación, control de inundaciones y riego. Posteriormente en 1955 en el río Nilo se realizó una modelación para identificar hasta diecisiete lugares para generación hidroeléctrica, el objetivo principal del estudio fue determinar la combinación óptima de embalses y procedimientos de operación que puedan maximizar el volumen de agua útil para energía y riego (HEC,1991).

Una evaluación de la aplicabilidad del modelo HEC-5 en la cuenca del río Savannah fue realizada por Atkins y White (1989), en un esfuerzo por responder a la situación de sequía dentro de la cuenca, para lo cual desarrollaron un plan de contingencia con el objetivo de reducir los impactos adversos de la sequía, a través de la modelación de los tres embalses existentes donde se incluyó la capacidad de generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua a las poblaciones y una estrategia operacional para responder a las condiciones de sequía de la cuenca.

El modelo HEC-5 fue modificado y calibrado para un periodo de cien años, ante posibles eventos de inundaciones dentro de la cuenca. Dentro de las conclusiones a las que se llegó, destacan que, pese a las modificaciones sufridas por el modelo en los últimos años, la simplificación de los datos de entrada permite una mejor y fácil comprensión del proceso de cálculo que ejecuta el modelo. Asimismo los autores señalan que el requerimiento de menos datos de entrada para el tránsito de avenidas que utiliza el modelo simplifica el cálculo comparado con otras técnicas de transitos hidráulicos. Como limitantes del modelo, Atkins y White consideran que debe incluirse capacidades de pronóstico estocásticas y determinísticas para el manejo de sequías y algoritmos para proveer automatización multiobjetiva que permitan cuantificar mejor los beneficios del proyecto durante la planificación.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), aplicó el modelo hidrológico SIMULACI para la cuenca del Lago Arenal, desarrollado por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) en 1978. Este modelo fue desarrollado para pequeños incrementos de espacio y grandes incrementos de tiempo y es utilizado para estimar los volúmenes mensuales escurridos principalmente en las cuencas hidrográficas. Se llegó a la conclusión que la calibración del modelo, SIMULACI, fue muy buena, ya que se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.89 entre el caudal observado y el simulado. Quedó también comprobada la consistencia y homogeneidad de los datos de precipitación, evaporación y escorrentía, que son los factores más importantes en el proceso de simulación a través de este modelo.

El modelo HBV, es un modelo conceptual para el cálculo continuo de caudales, desarrollado por el Instituto de Meteorología e Hidrología de Suecia (Bergstrom, 1992), el cual necesita datos de precipitación, caudales y evaporación potencial. Este modelo realiza comparaciones entre caudales observados y simulados, así como pronósticos en función a la información histórica, siendo muy sensible a los valores de precipitación en la determinación de pronósticos a largo plazo. Fue utilizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (1985) en la cuenca del Lago Arenal, obteniéndose una buena correlación ($r= 0.746$) entre caudales observados y simulados, para una serie histórica de siete años de precipitación y cinco años para caudales.

Los anteriores resultados permitieron que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), pudiese realizar pronósticos de caudal a corto plazo, con niveles de probabilidad hasta el 75%. Sin embargo, el modelo necesita series históricas de por lo menos diez años, para obtener estadísticas confiables.

Solis (1993), realizó un estudio sobre el impacto de la sedimentación en la productividad hidroeléctrica del embalse Cerrón Grande en El Salvador, para lo cual utilizó el balance hídrico como punto de partida para el cálculo de la energía firme, en función de la curva elevación-volumen variable. Llegó a la conclusión que la sedimentación reduce sensiblemente los caudales turbinados, la energía firme y produce un incremento en los caudales vertidos. Estimó que la energía firme se reduce en un 7%, esto significa que el país tiene importantes pérdidas monetarias por

esta causa. Además, la pérdida de capacidad de regulación del embalse provoca una reducción en la productividad de las plantas ubicadas aguas abajo. Sin embargo, Solís, señala que estos resultados son preliminares, debido a que el período de análisis es relativamente corto con respecto a la vida útil de embalse. Así mismo concluye que el modelo (CHOW et al, 1988) puede ser aplicado a otros embalses, que tengan fines de riego, control de avenidas o abastecimiento de agua.

2.7.2. El modelo de simulación HEC-5

El HEC-5 es un modelo digital matemático determinístico, desarrollado en el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del ejército de los Estados Unidos en 1972 por Bill S. Eichert. Este modelo originalmente fue desarrollado para el estudio del control de inundaciones. Posteriormente se le incluyeron capacidades para la planificación de estudios hidrológicos y análisis de embalses existentes, para el diseño y evaluación de la operación de embalses existentes o propuestos con fines de abastecimiento de agua o generación hidroeléctrica. (HEC,1980,1985,1989).

El programa puede ser utilizado para simular la operación desde un simple embalse hasta sistemas de embalses en serie o paralelo. Constituye una herramienta en la determinación del tamaño del almacenamiento útil, en la determinación del rendimiento firme o energía firme, para la evaluación de esquemas de operación y para optimizar las entregas de agua, garantizando un servicio confiable y sostenible.

Este modelo, HEC-5, al estar basado en la ecuación de la continuidad de flujo, y al transformar la energía hidráulica en energía eléctrica, permite obtener resultados acordes a las condiciones naturales y reales que tienen los embalses. Específicamente el programa puede ser usado para determinar:

- Los criterios para la producción hidroeléctrica y conservación para un embalse o sistema de embalses en serie o en paralelo, en función de condiciones hidrológicas y de las condiciones del embalse.
- La influencia de un sistema de embalses en la distribución espacial y temporal del caudal en un río.

- Programas de operación de embalses para el control de inundaciones.
- Comparas los costos y beneficios por la reducción de daños en inundaciones, dada la información sobre daños en función del nivel de inundación.

Una particularidad del modelo radica en que el usuario puede proporcionar varias secuencias de registros hidrológicos críticos, para comprobar la versatilidad de los criterios de operación y el grado a los cuales estos proporcionan la operación futura más adecuada, bajo condiciones críticas hipotéticas.

2.7.2.1. Etapas a seguir en el proceso de modelación con HEC-5

Las etapas a seguir en un proceso de simulación de la operación de embalses utilizando HEC-5, se presenta en la figura N° 2.1., que incluye:

- a) Recolección de la información sobre el o los embalses, por ejemplo niveles de operación del embalse, curvas área-elevación-volumen, registros de generación (si es un embalse existente), caudales, precipitación sobre el embalse, evaporación.
- b) Definir el intervalo de tiempo más adecuado a ser empleado, por ejemplo diario, semanal, mensual, etc.
- c) Elaboración del archivo de entrada para la modelación del o los embalses a ser estudiados. Esto se realiza a través de los programas: COED, INFIVE, MOD5 y INCARD. Los programas COED e INFIVE son utilizados cuando se crea un nuevo archivo, mientras que COED y MOD5 pueden ser utilizados para modificar archivos existentes. La opción INCARD es solamente utilizada para convertir los caudales de un intervalo de tiempo a otro (mensual a semanal).
- d) Revisión de la información de entrada al modelo a través del programa CKHEC5, el objetivo de este programa es revisar los datos físicos, operacionales y hidrológicos del archivo de entrada, para que tengan un formato y un rango apropiado de valores. Cuando CKHEC5 identifica inconsistencia de datos o posibles errores en el archivo de entrada emite un mensaje de posible error.

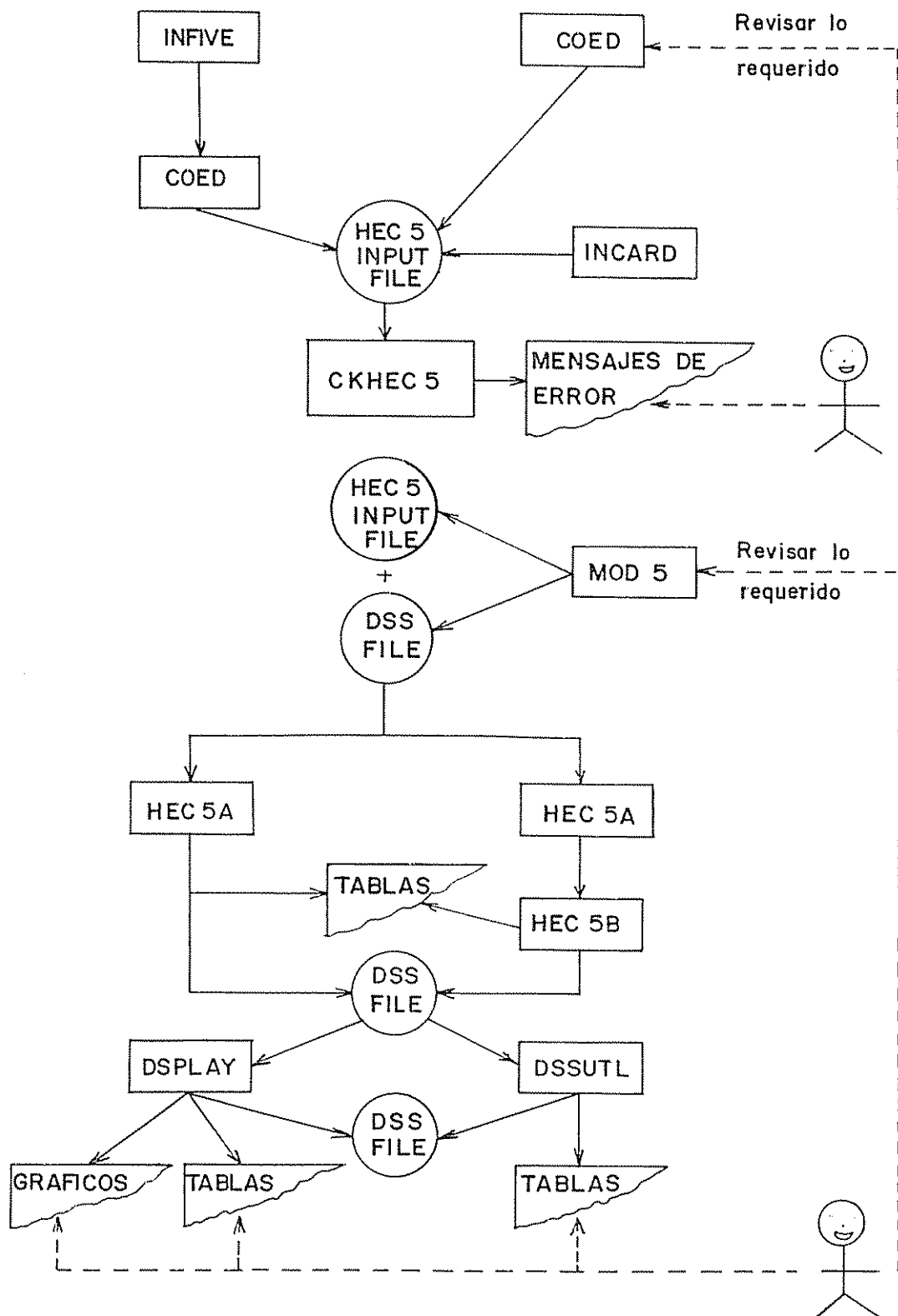


Figura N° 2.1. Estructura del proceso de modelación con el modelo HEC-5

- e) Modelación de la operación del embalse, esto se realiza primeramente con el programa DSS, que sirve para el manejo de la serie de datos del almacenamiento y necesidades de recuperación en estudios de recursos hídricos. Asimismo HEC-5 tiene incluido tres modos de ejecución: HEC5(A&B), ejecuta las operaciones de HEC5A y las salidas de HEC5B; HEC5(interactive), suministra una interactiva selección de la salida durante la ejecución de HEC5A; y HEC5(A only), que ejecuta solo las operaciones comprendidas en el componente HEC5A, que es utilizado para largos periodos de simulación o complejos sistemas de embalse.
- f) Revisión y evaluación de la operación del sistema, se efectúa con el programa DSS, descrito anteriormente.
- g) Despliegue de los resultados que pueden ser realizados en forma de tablas o en forma gráfica con los programas DSPLAY y DSSUTL.

El análisis que realiza HEC-5 para la operación hidroeléctrica, se inicia con la estimación de los requerimientos energéticos para el periodo de análisis (mensual, semanal, diario o horario). El programa utiliza el siguiente procedimiento para determinar las descargas de energía (Bonner, 1980):

- 1) Estima el promedio del almacenamiento, para lo cual utiliza los valores de almacenamiento del inicio y al final del mes, estimando un promedio mensual de almacenamiento.
- 2) Estima la elevación del nivel de desfogue, para lo cual utiliza el nivel más alto del desfogue o la elevación del embalse aguas abajo.
- 3) Calcula la caída neta, mediante la diferencia de la elevación del nivel de desfogue y la elevación promedio del embalse para el periodo considerado de análisis.
- 4) Calcula las descargas del embalse conociendo los requerimientos de energía, mediante la siguiente relación:

$$Q = E * C / EP * H * T$$

Donde:

- E = Energía requerida, en kwh
- C = Factor de conversión, que tiene un valor de 0,102 m.
- EP = Eficiencia de la planta
- H = Caida neta, en metros
- T = Periodo de tiempo, en hrs.
- Q = Descargas del embalse

- 5) Calcula la evaporación sobre el embalse, utilizando el área del almacenamiento promedio para el periodo de análisis.
- 6) Estima la capacidad de almacenamiento al final del periodo utilizando la ecuación del balance hídrico para embalses (ver acápite 2.3.).
- 7) Con los almacenamientos obtenidos al final del ciclo mediante el balance hídrico verifica las descargas, hasta obtener una diferencia menor que 0,0001. Este proceso lo realiza cinco veces, hasta obtener un balance adecuado.
- 8) Estima la máxima energía que podría ser producida durante el intervalo de tiempo, usando un factor de sobrecarga y la capacidad instalada de la planta.

El programa también determina si existe la suficiente agua almacenada para realizar las descargas estimadas. El nivel de amortiguamiento es por defecto el nivel mínimo para la generación; sin embargo, el usuario puede definir el nivel inactivo como el nivel mínimo de generación. Si no hay suficiente agua almacenada, el programa reduce las descargas hasta alcanzar el nivel mínimo del embalse.

2.7.2.2. Estructura del archivo de entrada para el modelo HEC-5

El archivo de entrada del modelo está constituido por una serie de variables básicas, agrupadas en lo que se llaman "tarjetas". Cada tarjeta indica al programa una función a realizar y el valor de las variables involucradas. Cada una de estas tarjetas está identificada por siglas alfabéticas o alfanuméricas y consta de diez campos, donde cada campo constituye una variable de entrada o parámetro diferente.

Para propósitos de modelación histórica, recuperación del nivel útil y optimización de embalses aislados o en serie con fines hidroeléctricos, la secuencia y

orden de entrada de las variables se presenta en la figura N° 2.2. En el caso de sistemas en serie, esta estructura se repite para cada uno de los embalses.

2.7.2.3. Variables del modelo

El modelo HEC-5 tiene seis tipos de variables básicas a ser consideradas en estudios de modelación: de trabajo, características del embalse, características físicas de la planta de generación, puntos de control y tipos de series de datos.

- Información general del proceso de modelación:

VARIABLES UTILIZADAS PARA DESCRIBIR INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL EMBALSE A MODELAR, TIPO DE ANÁLISIS A REALIZAR Y FECHA DE MODELACIÓN.

- Variables de trabajo:

Este tipo de variables es utilizado para especificar información general sobre el trabajo de modelación, asignar el tipo de unidades con que se desea trabajar, especificar el mes inicial para el caudal de entrada, el nivel del embalse al inicio de la modelación (máximo, mínimo y normal). También se tiene variables que son usadas opcionalmente, por ejemplo, para introducir la evaporación neta en el área del reservorio y especificar las tablas de salida que se desea del programa.

- Características del embalse:

UTILIZADAS PARA DESCRIBIR CARACTERÍSTICAS DE CADA EMBALSE, POR EJEMPLO PARA ESPECIFICAR NIVELES, CAPACIDAD DE SALIDA, ESPECIFICAR EL ÁREA, ELEVACIONES Y PROPVEER LA EVAPORACIÓN MENSUAL CON BASE EN LAS VARIABLES DE TRABAJO.

- Características físicas de la planta de generación hidroeléctrica:

SIRVEN PARA DESCRIBIR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PLANTA DE ENERGÍA DEL EMBALSE, POR EJEMPLO ESPECIFICAR LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA, LA DEMANDA DE ENERGÍA EN FORMA MENSUAL, SEMANAL Y DIARIA. TAMBIÉN PRESENTA TAMBIÉN VARIABLES OPCIONALES QUE DESCRIBEN LA CAPACIDAD MÁXIMA DE GENERACIÓN, LA ENERGÍA ALMACENADA, EFICIENCIA DE ENERGÍA Y PARA ESPECIFICAR LA DEMANDA DE ENERGÍA POR CADA PERIODO DE TIEMPO.

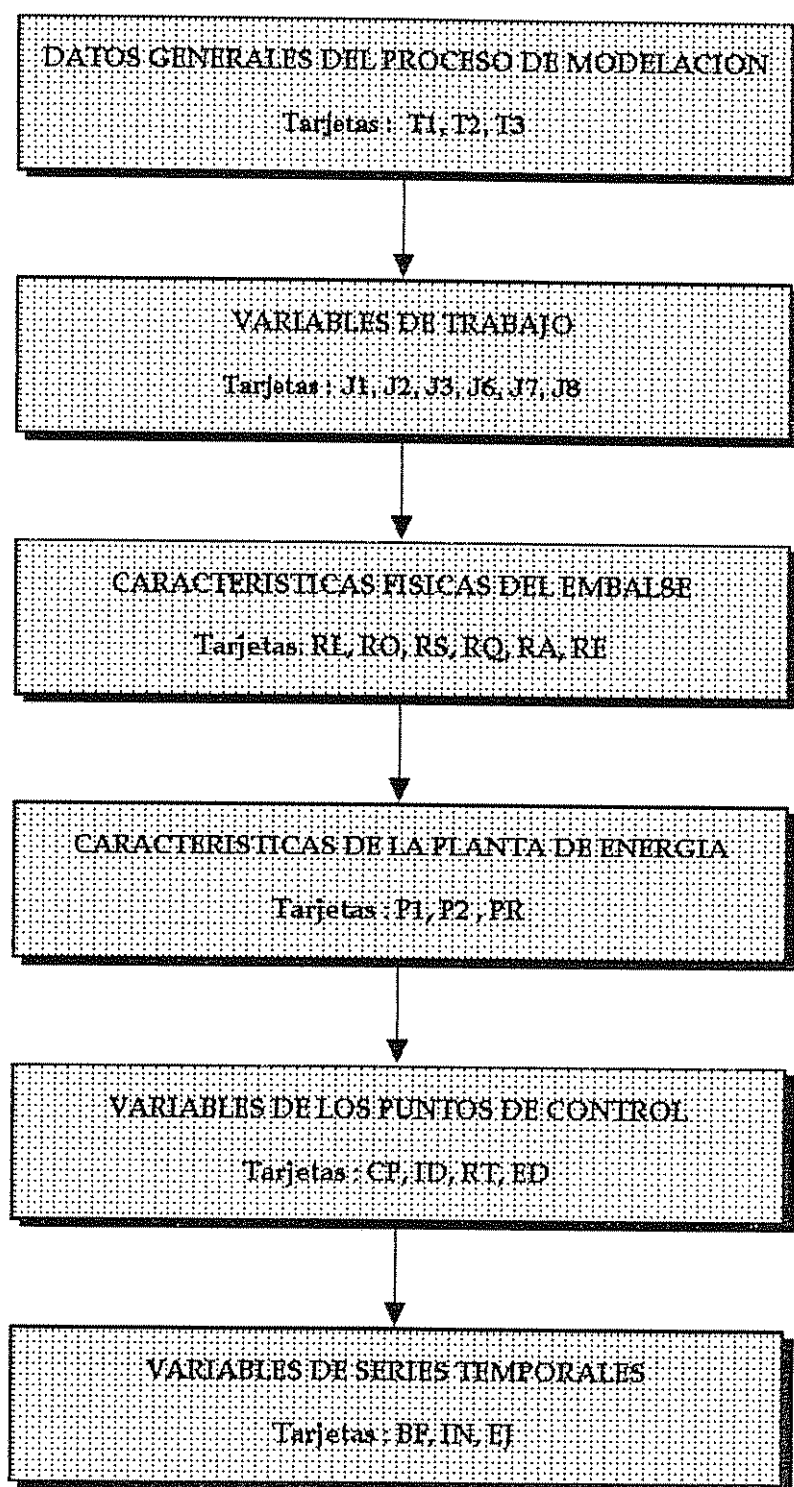


Figura N° 2.2. Estructura del archivo de entrada para modelación de embalses con el modelo HEC-5

- Variables de puntos de control:

Estas variables (CP, ID, RT) son usadas para identificar y describir el o los embalse(s) que serán asumidos como puntos de control en el proceso de modelación, para especificar la máxima capacidad de salida de los embalse(s) y para especificar el tipo de tránsito de avenidas que se emplea en el proceso de modelación.

- Variables de series temporales (caudal vs. tiempo):

Identificadas con las letras BF, IN, y ED, la primera es utilizada para especificar el número total de caudales y la fecha de inicio de introducción de los mismos; la segunda usada para describir secuencialmente los datos de entrada de caudales al embalse según el periodo de tiempo empleado en la modelación y la tercera para indicar la conclusión de la introducción de datos.

2.7.2.4. Ventajas y requerimientos del modelo

Las principales ventajas de la utilización de este modelo son las siguientes:

- El modelo está diseñado de tal manera que permita al usuario especificar la respuesta relativa de cada componente en el sistema a una demanda del sistema, lo cual puede ser provisto por una o más variables. Esto permite al usuario especificar cualquier tipo de balance que se desea mantener en el embalse y evaluar los efectos de objetivos y alternativas de operación.
- Como el objetivo de los niveles de almacenamiento para cada embalse son usados para simular el balance deseado por el usuario, el modelo permite la incorporación de hasta ocho niveles de almacenamiento para cada reservorio. Estos pueden ser diferentes en función de cada intervalo de tiempo deseado durante la modelación.
- El intervalo de tiempo más común para la modelación es el mensual, sin embargo el programa acepta cualquier intervalo de tiempo que el usuario considere necesario utilizar (semanal, diario y horario).

- Se puede evaluar proyectos de embalses con propósitos de conservación y recuperación del almacenamiento. Para este efecto el modelo ha desarrollado un proceso que determina automáticamente el almacenamiento requerido para satisfacer una demanda específica. Esta rutina determina asimismo el máximo rendimiento del embalse que puede ser obtenido de una cantidad específica de almacenamiento, y puede ser utilizada hasta para seis embalses, con la condición que estos embalses optimizados operen independientemente.
- El modelo es capaz de encontrar la capacidad del proyecto para proveer agua a las demandas del sistema, el cual es determinado por un índice, que está basado en el agua almacenada del embalse y en las restricciones físicas e hidrológicas aplicables a ese proyecto.
- El requerimiento de información para la preparación de los archivos de entrada está basado en registros de caudales, precipitación, evaporación, características físicas del embalse y de la planta de generación, lo que permite que el modelo sea bastante aplicable para aquellos embalses que tengan este tipo de información.

Los principales requerimientos para la aplicabilidad del HEC-5 en la modelación de la operación de los embalses, radica en:

- Registros históricos de el menos 10 años.
- Usuarios con criterios adecuados.
- Información básica suficientemente representativa de las condiciones reales.

2.8. Sedimentación en embalses

La sedimentación es el proceso por el cual el suelo removido de la superficie de la tierra y transportado aguas abajo por los ríos, se deposita en los lagos, estuarios, embalses y océanos. La importancia de este proceso conduce a estimar las tasas de transporte y deposición, principalmente en embalses y estuarios, para minimizar su acumulación y conservar el suelo en su sitio. (Linsley, et al. 1993).

El cambio de uso de la tierra de bosque a cultivos, las prácticas agrícolas con inadecuada tecnología y el proceso de urbanización, provocan grandes tasas de sedimentación que a su vez disminuyen la vida útil de los embalses, ya que las partículas más gruesas se depositan en la parte inicial del embalse formando deltas y las finas permanecen en suspensión mucho más tiempo y terminan depositándose a lo largo del embalse.

Ante esta situación, durante el proceso de planificación de un embalse de almacenamiento para uso múltiple (riego, control de avenidas y generación de energía eléctrica), se debe incluir la intensidad o ritmo probable de sedimentación o azolve, con el objetivo de garantizar si la vida útil del embalse será suficiente para cubrir los costos de su construcción. (Stephenson y Petersen, 1991).

La tasa a la cual está reducida la capacidad de almacenamiento de un embalse debido al proceso de sedimentación normalmente depende de la cantidad de sedimentos que entra al embalse, del porcentaje de las entradas anteriores que es retenido por el embalse y de la densidad de los sedimentos depositados. Existen técnicas para la estimación de la cantidad de sedimentos, que pueden realizarse a través de las curvas de calibración de sedimentos, curvas de producción de sedimentos de una cuenca y de la simulación del transporte de sedimentos por medio de modelos matemáticos (Linsley, 1993; Chow, 1964). En el caso del embalse Arenal se retiene un elevado porcentaje (98%) de sedimentos finos y gruesos (Solís, 1995)

3. METODOLOGIA

El esquema metodológico propuesto para el presente trabajo de investigación que comprende la modelación del embalse Arenal para un periodo de trece años, es:

- a) Optimización de la producción de energía para el periodo histórico y comparación con la producción realizada por el ICE.
- b) Determinar escenarios de recuperación del nivel máximo de almacenamiento del embalse Arenal y compararlos.
- c) Analizar si las dimensiones del embalse Arenal son adecuadas, desde el punto de vista energético.

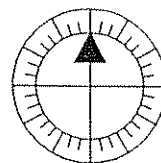
Las dos primeras etapas se realizan primero para el embalse Arenal en forma aislada, y en segundo lugar para el embalse como parte de un sistema en serie. Para la ejecución de estas etapas, primero hay que evaluar las variables básicas para la modelación.

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Localización

El embalse Arenal se ubica en la cuenca del lago Arenal, la cual se encuentra localizada entre los paralelos $10^{\circ} 19' 24''$ y $10^{\circ} 36' 27''$ de Latitud Norte y los meridianos $84^{\circ} 41' 50''$ y $85^{\circ} 00' 46''$ de Longitud Oeste (Figura 3.1.) en la vertiente del Caribe, con orientación nor-oeste a sud-este. Políticamente, la cuenca pertenece a las provincias de Guanacaste y Alajuela, Costa Rica.

La cuenca se inicia en las estribaciones de las cordilleras de Tilarán y Volcánica de Guanacaste con elevaciones que varían entre los 1800 y 538 msnm. Tiene una superficie aproximada de 493 Km². El embalse originalmente era una ciénega que ocupaba una depresión natural del terreno, con un área aproximada de 26 Km². En la actualidad, luego de la construcción de la presa en Sangregado, el embalse tiene una superficie aproximada de 88 Km² para una elevación media de 538 msnm (ICE,1984).



425000 290000

460000 290000



425000 250000

460000 250000

Figura N° 3.1. Ubicación geográfica de la cuenca El Arenal

3.1.2. Geología

El origen de esta cuenca corresponde a un hundimiento tectónico que data a finales del mioceno y está delimitada por dos grandes fallas (MIRENEM, 1993):

- La falla del Lago de Cote ubicada al noreste de la cuenca y que se prolonga hasta la Fortuna pasando por debajo de los volcanes Arenal y Cerro Chato.
- La falla de Tierras Morenas al sudoeste que se bifurca sobre la anterior al norte del antiguo poblado de Arenal.

Asimismo la cuenca está constituida por diferentes capas geológicas y de acuerdo a su edad de formación iniciando, desde la más antigua a la más joven, tenemos la formación Aguacate, Bagaces y Tierras Morenas.

3.1.3. Geomorfología

En forma general, la génesis de esta cuenca determinó algunas características hidromórficas importantes, como su forma alargada y vertientes de pendientes muy pronunciadas. Estas características favorecen la erosión fluvial, principalmente en el sector sur de la cuenca, donde gran parte de los cauces son del dominio estructural y están asociados a taludes de erosión. (Tosi, 1980).

A continuación se hace una breve descripción de las unidades geomorfológicas presentes en la cuenca, tomando en cuenta sus características más sobresalientes, localización y distribución geográfica a nivel regional.

Los aluviones y terrazas bajas: han sido originados por procesos de sedimentación, están constituidos por materiales volcánicos en las redes de drenaje secundarias hasta llegar a los cauces principales. Estos, debido a su elevado caudal de conducción, depositan los materiales en suspensión a ambos lados de las márgenes, formando llanuras y terrazas aluviales de relieve plano a ligeramente ondulado. Estas unidades están localizadas al sur y oeste de la cuenca; en las zonas aledañas a los ríos Caño Negro y Chiquito en su parte baja.

Pie de Monte: son regiones o subregiones ubicadas entre zonas montañosas y terrenos de menor altura que tienden a bajar con orientación hacia las partes planas inferiores. En la zona de estudio se presentan en forma de colinas bajas y altas, con relieve plano hasta quebrado. Las unidades que pertenecen a esta forma terrestre se localizan al norte, noreste y sudeste de la parte oriental de la cuenca y distribuidas cerca del lago de Cote, Cerro Chato y el área de los poblados Naranja Agrío, Tejona y Nueva Tronadora.

Estructuras volcánicas recientes: comprenden las faldas de los Volcanes Arenal, Cerro Chato y sus alrededores con relieve escarpado a montañoso, con formaciones recientes como: coladas de lava, brechas en relieve ondulado a quebrado y llanuras con piroclastos sueltos de relieve plano a ligeramente plano.

Las mesetas bajas: son llanuras levantadas en disección hasta un máximo de cien metros sobre el nivel del mar, se caracterizan por tener un relieve ondulado a fuertemente ondulado y consisten de colinas bajas o pequeñas lomas y colinas altas con alturas que oscilan entre los 50 y 250 metros. Dentro de la cuenca esta unidad se localiza al norte de Mata de Caña, borde oriental del Lago de Cote y en las regiones donde están ubicadas las poblaciones de Tejona, Ranchitos y Cuatro Esquinas.

Las mesetas altas: al igual que la anterior están constituidas por llanuras levantadas en disección pero con alturas entre los 1000 y 1600 metros sobre el nivel del mar. Presentan un relieve fuertemente ondulado a quebrado y consisten de colinas bajas y altas con elevaciones relativas ya definidas anteriormente. Estas unidades se encuentran al sudeste de la cuenca y están distribuidas en bloques aislados en las regiones de San Gerardo, El Valle y cabecera del río Caño Negro.

Serranías: son formaciones con elevaciones entre los 900 y 1800 metros sobre el nivel del mar, se caracterizan por presentar relieves fuertemente disectados a montañosos con longitudes largas de sus pendientes, estas características hacen que predominen los valles disectados y frecuentemente tomen la forma de V. Estas geoformas son las más comunes en la cuenca y cubren en su mayor parte, las subcuencas de río Chiquito, Caño Negro, Aguas Gatas y Sábalo.

3.1.4. Edafología

La gran mayoría de los suelos de la cuenca son derivados de cenizas volcánicas (93% del área total), el resto es formado a partir de rocas básicas (basaltos).

Los suelos de cenizas volcánicas varían en grado de desarrollo según la edad de las cenizas, taxonómicamente se clasifican a nivel de subgrupo en Typic Hydrandept y Andic Tropudult. Son suelos muy profundos y algunos tienen capas de gravas (escorias volcánicas) a diferentes profundidades y espesores variables; las texturas varían desde franco arenosas hasta franco arcillosas en la superficie y franco arcillosas hasta arcillosas en el subsuelo. El drenaje natural es bueno, tienen alta capacidad de retención de humedad y la velocidad de infiltración es media a rápida. Su fertilidad natural en general es baja, aunque en algunos casos donde las lluvias son menores la fertilidad es moderada.

Estos suelos están ubicados en áreas de topografía accidentada (25-75% de pendiente) y en climas húmedos. Son suelos que presentan una moderada a fuerte erosión debido a usos indebidos y excesos de precipitación.

Los suelos formados de rocas básicas (basaltos) son los más antiguos. A nivel de subgrupo se clasifican como Udic Argiustoll, tienen una profundidad mayor de 150 cm., texturas franco arcillosas en la superficie y arcillosas en el subsuelo; moderada capacidad de retención de humedad y velocidad de infiltración media. Estos suelos pertenecen a la consociación Tilarán y están distribuidos alrededor de dicha región. Su fertilidad natural es superior que los de origen volcánico. La mayoría de estos suelos se localizan en relieves ondulados hasta quebrados (15-50% de pendiente) y se encuentran fuertemente erosionados por efecto del sobrepastoreo.

En forma general la combinación de estas características edáficas con la alta pluviosidad del área, condicionan una red de drenaje densa y muy activa, lo que origina cauces principales de origen torrencial con un alto potencial de arrastre debido el caudal que transportan.

3.1.5. Precipitación

En la zona, se puede apreciar una gran variabilidad climática debida a su ubicación a horcajada sobre la depresión estructural y las cordilleras adyacentes de

Guanacaste y Tilarán; la confluencia de dos grandes regiones climáticas, la del Atlántico y del Pacífico, y a los efectos orográficos locales provocados por los vientos alisios del noreste y estacionalmente del sudoeste, cuando estos chocan con las altas serranías en oposición a ellos.

La precipitación está distribuida entre tres regímenes pluviométricos: de 1400 mm. a 2000 mm., de 2000 mm. a 4000 mm. y más de 4000 mm. durante el año. El lugar más seco corresponde al fondo del valle del río Santa Rosa y el lugar más lluvioso podría estar situado en las cabeceras del río Aguas Gatas, a una altura aproximada de 1000 m.s.n.m.

De acuerdo a las series climatológicas, se puede distinguir claramente un periodo lluvioso en los meses de mayo a octubre, 67% de la precipitación media anual, con una disminución relativa entre los meses de noviembre a diciembre y un periodo seco que comprende los meses de enero a abril con un 15% de la precipitación media anual (figura 3.2.). La precipitación media anual de la cuenca, evaluada por medio de una red de 16 estaciones, con un registro de veinte años tiene un valor de 3242,9 mm.

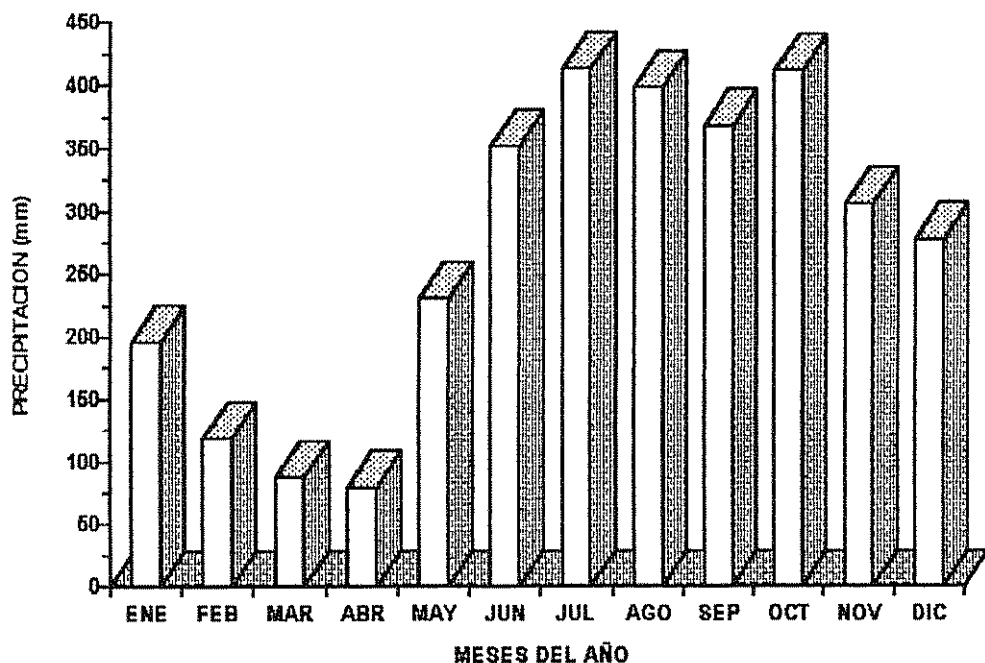


Figura 3.2. Distribución mensual de la precipitación en la cuenca El Arenal

3.1.6. Temperatura

La cuenca tiene una temperatura promedio anual entre 22.5 y 23.8 °C, estimada en base a las estaciones Sangregado y Nueva Tronadora. Sin embargo, debido a la pronunciada variación en la altitud (600 a 1800 msnm), las temperaturas diarias y anuales experimentan bruscos cambios en distancias cortas, acompañadas con cambios de velocidad del viento, intensidad de la lluvia y la presencia de neblina a nivel de la superficie del suelo.

La máxima temperatura (30 °C), se presenta entre los meses de abril y mayo en la vertiente del Caribe (estación Sangregado), ocurriendo entre las 12 y 16 horas, mientras que la mínima (20,5 °C) se presenta entre los meses de diciembre a marzo en la vertiente del Pacífico (estación Nueva Tronadora) durante la noche y primeras horas de la mañana (figura 3.3.). Durante los restantes meses, la temperatura tiende a oscilar en menor grado, manteniéndose alrededor de los 23 °C.

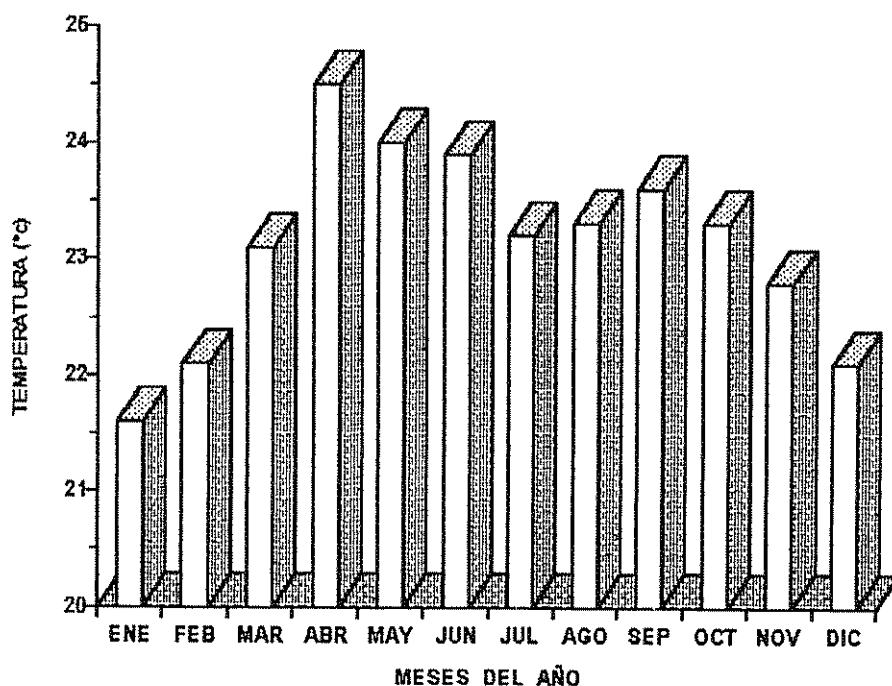


Figura 3.3. Distribución mensual de la temperatura en la cuenca El Arenal

3.1.7. El Viento

El viento es un elemento climático de suma importancia en esta área, ya que durante los meses de diciembre y febrero alcanza una velocidad promedio de alrededor de 30 Km./Hora, con ráfagas de 50 a 60 Km./Hora, lo que ocasiona importantes pérdidas en el sector agropecuario. En el embalse, se origina un fuerte oleaje, lo que puede minar las orillas expuestas causando erosión .

3.1.8. Zonas de vida

La cuenca Arenal es una zona agroecológica diversa, que presenta una variabilidad de clima, suelos, topografía, etc., conllevando a una gran diversidad de flora y fauna. Posee un número considerable de hábitats que van desde áreas en las zonas bajas hasta las serranías, que se refleja en el número y patrón de distribución de las zonas de vida presentes (Tosi, 1980).

Dentro de la cuenca se encuentran distribuidas siete zonas de vida en tres pisos altitudinales: tropical basal, premontano y montano bajo (cuadro N° 3.1.).

Cuadro No 3.1. Zonas de vida en la cuenca El Arenal

ZONA DE VIDA	SUPERFICIE (has)
Bosque húmedo premontano	474
Bosque húmedo tropical	2353
Bosque muy húmedo premontano	12907
Bosque muy húmedo montano bajo	381
Bosque muy húmedo tropical	9841
Bosque pluvial premontano	11802
Bosque pluvial montano bajo	2742
Superficie del embalse	8800
TOTAL	49300

3.2. Análisis del embalse Arenal

3.2.1. Obtención de variables básicas

Con la finalidad de obtener en forma secuencial los parámetros iniciales para la conformación del archivo de entrada se siguió la estructura descrita en la sección 2.7.2.2., donde cada variables recibe el nombre de tarjeta y consta de diez campos.

- VARIABLES DE TRABAJO

Están representadas con la letra "J" dentro de la estructura del archivo de entrada. Inicialmente se definió las unidades métricas como el tipo de unidades a trabajar y el mes de inicio del proceso de modelación, correspondiendo al mes de junio de 1982, fecha donde concluyó la elevación definitiva de la altura del vertedero.

Posteriormente se definió el número de índices de nivel de operación a usar en el análisis del embalse (Figura N° 3.5.). Para el presente estudio se tomaron los cuatro niveles con los que el ICE opera el embalse, asignándose los índices correspondientes (acápite 9.1. del anexo) de acuerdo a lo recomendado por el Centro de Ingeniería Hidrológica para estudios de modelación (Bonner, 1980; HEC,1989).

Nivel de control de inundaciones	4
Nivel de conservación	3
Nivel de amortiguamiento	2
Nivel inactivo	1

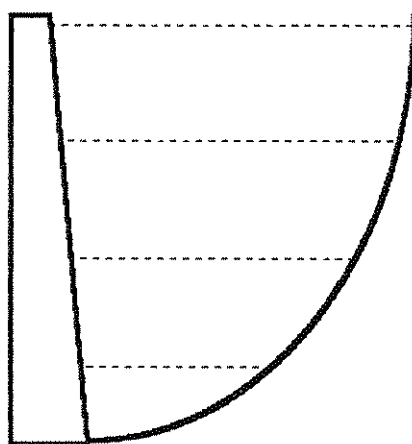


Figura N° 3.4 Niveles de almacenamiento en un embalse.

Los parámetros operacionales (J2) a tomar en cuenta para la modelación del embalse Arenal consideran la generación durante los eventos de inundación y cuando el nivel del agua sea superior al nivel inactivo.

La variable J3 define el tipo de salidas deseado en el proceso de modelación, seleccionándose los siguientes parámetros que se consideran necesarios para la interpretación de los resultados:

- 1 = Resumen de flujos para el embalse y puntos de control de cada evento.
- 2 = Resumen de valores mínimos y máximos para cada evento y un resumen de las operaciones mensuales del sistema de energía.
- 4 = Verificación de errores dentro del proceso de modelación.

Asimismo los caudales a introducir al archivo de entrada son de forma incremental entre los puntos de control. Lo anterior se realiza con la finalidad de que cuando se esté modelando en serie los caudales afluentes que tienen los embalses de Santa Rosa y Sandillal se sumen en forma automática a los caudales generados por el embalse Arenal.

La evaporación neta dentro del archivo está identificada con las siglas J6, y es obtenida de la diferencia entre la evaporación y la precipitación mensual. Sin embargo, debido a que en los datos de caudales proporcionados por el ICE ya se incluye la precipitación sobre el embalse (ec. 3.13.), y con el fin de no duplicar esta información en los datos de entrada, se considera solo la evaporación sobre el embalse y no la evaporación neta.

La evaporación se estima como un promedio mensual, de toda la longitud del registro, de las dos estaciones tipo "B" que se encuentran alrededor del embalse (Sangregado y Nueva Tronadora), medida en los tanques de evaporación. Estos valores posteriormente son corregidos por un coeficiente mensual, que oscila entre 0,6 y 0,8 (Doorenbos, 1976). Para el presente estudio se utilizó un valor 0,8, el cual es usado por el Departamento de Hidrología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la estimación de la evaporación para embalses.

Como última variable de trabajo se definió, el diseño del formato de salida (J8) del modelo HEC-5, donde el primer número entero es el punto de control o embalse sujeto de estudio, siguiendo el código de la variable de salida a especificar. Para el presente estudio se utilizan diez variables, consideradas básicas en la salida de todo proceso de modelación con HEC-5 (HEC, 1982).

Los índices que utilizados en cada una de las variables dentro de la estructura del archivo de entrada se especifican en el acápite 9.1. del anexo.

- Características físicas del embalse

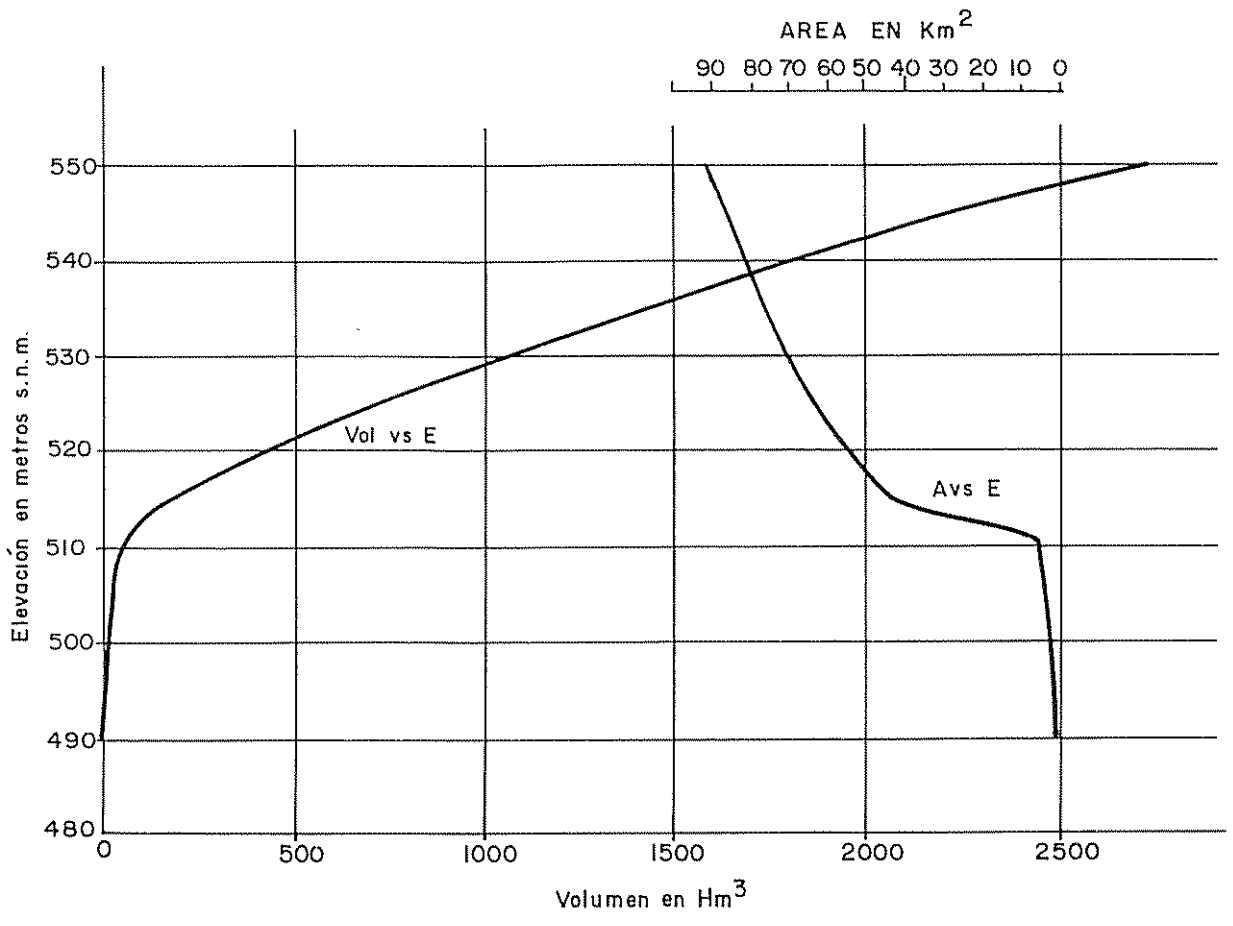
Primero se definieron los niveles de operación (RL), que son utilizados por el modelo para calcular entre qué niveles el embalse va a operar para diferentes usos. En el caso del embalse Arenal, como tiene una función exclusiva de producción hidroeléctrica, se definieron cuatro niveles con los cuales el ICE diseñó originalmente el embalse, coincidiendo el nivel inactivo con el de amortiguamiento.

Asimismo se estimó los volúmenes para cada uno de los niveles de operación seleccionados, a partir de las curvas área - elevación - volumen (figura N° 3.5.). Estas curvas son determinadas por medio de levantamientos topográficos, y se construyen midiendo el área comprendida dentro de cada curva de nivel del sitio del embalse. El incremento de volumen entre dos elevaciones, generalmente se calcula multiplicando el promedio de las áreas entre las dos elevaciones por la diferencia de elevaciones. La suma de estos incrementos abajo de cualquier elevación, es el volumen almacenado abajo de dicho nivel.

La siguiente variable a definir en la estructura del archivo de entrada fue los puntos para los que opera el embalse (RO), definiéndose para el presente estudio que los puntos de operación serán los embalses Arenal, Santa Rosa y Sandillal. Los índices para esta variable se indican en el acápite 9.1.2. del anexo.

Los valores de la capacidad de almacenamiento del embalse (RS), áreas del embalse (RA) y elevaciones del nivel del agua en el embalse (RE) fueron obtenidas de las curvas elevación-área-capacidad del embalse hasta el sitio de la presa, elaboradas por la Dirección de Electrificación en el Departamento de Estudios Básicos del ICE (Figura N° 3.5.), y para tener una mejor representatividad del embalse Arenal se utilizaron 19 valores para cada variable de área, elevación y almacenamiento.

La capacidad de salida del agua (RQ), en el caso del embalse Arenal se estimó inicialmente igual al valor de la capacidad de transporte del agua por el túnel de conducción. Una vez llegado al nivel del vertedero, se utilizó la ecuación de descargas elaborada por el Departamento de Estudios Básicos del ICE, que viene dada por la siguiente expresión:



Fuente ICE , 1978

Figura N° 3.5. Curvas de elevación - área - volumen del embalse Arenal

$$Q_s = 39,667 * (\text{Elev. del embalse} - 546)^{1,34} \quad (3.1.)$$

en la cual:

Q_s = Caudal de salida del embalse por el vertedero, en $m^3/\text{seg.}$

546 = Nivel del vertedero en el embalse Arenal, en msnm

- Características de la planta de energía

La capacidad instalada de generación (KW) para las plantas de Arenal, Corobicí y Sandillal fue obtenida en cada una de las plantas y corroborada por el Departamento de Control de Energía del ICE.

La estimación de la altura promedio del nivel de agua turbinada a la salida de la planta de generación fue realizada mediante mediciones sucesivas del nivel del agua en el Embalse Santa Rosa y Sandillal. Este concepto es también conocido como el nivel de desfogue en un embalse.

La estimación de la eficiencia de la planta de generación para el embalse Arenal es obtenida a partir de las siguientes expresiones:

$$E_{tot} = E_{cond.} * E_{turb.} \quad (3.2.)$$

donde:

$E_{tot.}$ = Eficiencia total

$E_{cond.}$ = Eficiencia de conducción

$E_{turb.}$ = Eficiencia de la turbina

$$E_{turb.} = P / (9.81 * H_n * Q_t) \quad (3.3.)$$

$$E_{cond.} = H_n / H_b \quad (3.4.)$$

$$H_n = H_b - (K_p * Q^2) \quad (3.5.)$$

donde :

P = Potencia de la planta, en Kw.

H_n = Caída neta, en m.

Q_t = Caudal de diseño de la tubería, en $m^3/\text{seg.}$

H_b = Caída bruta, en m.

Q = Caudal, en $m^3/\text{seg.}$ (*)

K_p = Coeficiente de pérdidas, en seg^2/m^5 .

(*) En este trabajo se tomó el valor del caudal (Q), en el cálculo de la caída neta para la eficiencia de la turbina, igual al caudal de diseño de la tubería (Q_t) y para la eficiencia de conducción el caudal promedio histórico afluente al embalse.

Los requerimientos de energía (PR) para el periodo comprendido entre junio de 1982 y mayo de 1995 del embalse Arenal fueron obtenidos de la base de datos del Departamento de Control de Energías del ICE,. Posteriormente a estos valores se les estimó el promedio mensual histórico de energía generada por el ICE.

- Variables de puntos de control para datos hidrológicos

Son variables utilizadas para identificar, especificar el máximo caudal de salida y el método de tránsito de avenidas a emplear por el modelo para el embalse sujeto a modelación. El caudal máximo de salida que no cause daños aguas abajo fue estimado como la máxima capacidad de salida del vertedero en el embalse Arenal mediante la ecuación 3.1. Los identificadores (ID) utilizados fueron los nombres de cada embalse.

El tránsito de avenidas (RT), es un procedimiento para determinar el hidrograma de caudales en un punto de un río a partir de un hidrograma conocido en un punto aguas arriba (Chow, et.al, 1988). Existen dos tipos de tránsito, el hidrológico y el hidráulico, el primero se calcula únicamente en función del tiempo, mientras que el segundo, hidráulico, se calcula en función del tiempo y el espacio. En el modelo HEC-5, se utiliza únicamente métodos de tránsito hidrológico.

En la estructura del modelo HEC-5, para el tránsito de avenidas, se debe especificar el número de tramos y el método a utilizar. Para el primer aspecto se seleccionó un solo tramo debido a que el cálculo del tránsito de avenidas es para embalses (HEC,1982 ; HEC, 1989).

El método utilizado fue el de Muskingum debido a la existencia de información para la determinación de sus componentes y por ser adecuado a las condiciones del área de estudio. Este método está basado en la ecuación de la continuidad y su cálculo se realiza con la siguiente expresión: (Chow, 1964; HEC, 1982 ; Linsley, 1993)

$$QS_2 = (CA - CB) * QE_1 + (1 - CA) * QS_1 + CB * QE_2 \quad (3.6.)$$

$$CA = (2 * \Delta T) / 2 * K (1 - X) + \Delta T \quad (3.7.)$$

$$CB = (\Delta T - 2 * X * K) / 2 * K (1 - X) + \Delta T \quad (3.8.)$$

donde :

- QS = Caudal de salida, en m³/seg.
- QE = Caudal de entrada, en m³/seg.
- K = Tiempo de recorrido de la onda para el tramo, en hrs.
- X = Factor de peso o coeficiente de almacenamiento de Muskingum.
- ΔT = Incremento del tiempo de tránsito.

El factor de peso o coeficiente de almacenamiento de Muskingum (X) oscila entre los valores de 0 a 0.5 y para estudios con propósitos de modelación en embalses este factor toma un valor de 0, representando la máxima atenuación en el tránsito del embalse. (HEC,1980).

Para la determinación del coeficiente de tránsito o tiempo de recorrido (K) de la onda se utilizó el siguiente procedimiento aproximado, debido a la insuficiencia de datos geométricos:

- a) El nivel medio de operación del embalse se halla en la cota 538 msnm.
- b) La anterior elevación corresponde a una longitud aproximada de cresta de 600 m.
- c) La altura útil será la diferencia del nivel medio y el nivel mínimo (485 msnm).
- d) El área de la sección transversal con las anteriores dimensiones se considera triangular; y se la estima mediante la siguiente relación:

$$AM = (B * H) / 2 \quad (3.9.)$$

donde :

- AM = Area máxima transversal del embalse, en m².
- B = Longitud de la cresta a la elevación media, en m.
- H = Elevación del nivel medio del embalse, en m.

- e) El área promedio (AP) es la mitad del área máxima (AM).

- f) Los drenajes desembocan en diversos puntos del embalse a distancias variables del punto de toma. Por lo que se consideró una distancia media de recorrido del agua, medida en un plano topográfico de la cuenca.
- g) La velocidad viene definida por la siguiente relación :

$$V = Q / AP \quad (3.10.)$$

donde:

- V = Velocidad, en m/seg.
 Q = Caudal promedio de operación, en m³/seg.
 AP = Area promedio, en m².

- h) El tiempo de recorrido se lo estima con la siguiente relación:

$$K = (D / V) / 3600 \quad (3.11.)$$

donde:

- K = Tiempo de recorrido de la onda, en hrs.
 D = Distancia media de recorrido de la red de drenaje, en m.
 V = Velocidad, en m/seg.

Finalmente se debe especificar la variable ED que indica la finalización de los datos de entrada en los puntos de control.

- Variables de series temporales

Las variables referidas al inicio de los caudales en la serie de tiempo están identificadas por las siglas BF y se utilizan para especificar el tipo de formato a leer por el programa.

El número total de caudales mensuales a considerar en el proceso de modelación para el embalse Arenal en forma aislada es de 156 y 152 en el caso de la modelación del sistema. Asimismo la fecha de inicio de entrada de caudales fue de junio de 1982 para el Arenal en forma aislada y de septiembre del mismo año para el Arenal con el sistema.

El intervalo de tiempo utilizado en el proceso de modelación fue el mensual debido a las siguientes consideraciones:

- En estudios de modelación para embalses con almacenamiento de tipo estacional el intervalo de modelación mensual es el más adecuado (Maidment, 1993).
- La disponibilidad de información hidrológica y generación eléctrica normalmente viene en forma mensual (Bonner, 1980).
- Los embalses que tienen grandes dimensiones amortiguan rápidamente las variaciones acentuadas de caudal de intervalos pequeños (Maidment, 1993).
- El volumen de cálculo, aún con periodos de modelación mensual, es enorme. Al disminuir el intervalo, el volumen de cálculo crece aceleradamente.

Los caudales utilizados en el proceso de modelación para el embalse Arenal fueron obtenidos a partir de la siguiente relación proporcionada por el ICE:

$$Q_e = Q_{af} + Q_s \quad (3.12.)$$

$$Q_e = Q_{esc} + P \quad (3.13.)$$

$$Q_{af} = \Delta H * (S/\Delta T) \quad (3.14.)$$

$$Q_s = Q_g + E_v \quad (3.15.)$$

donde:

- Q_e = Caudal de entrada, en m^3/seg
- Q_{af} = Variación de volumen en el embalse, en m^3/seg
- Q_s = Caudal de salida, en m^3/seg
- Q_{esc} = Caudal de escorrentía, en m^3/seg
- P = Precipitación, en mm
- ΔH = Diferencia de nivel del embalse, en msnm
- S = Area del embalse para el periodo de tiempo T, en Km^2
- ΔT = Periodo de tiempo de lectura, en horas.
- Q_g = Caudal utilizado en la generación, en m^3/seg
- E_v = Evaporación promedio mensual en el embalse, en mm.

Los índices, la ubicación y descripción de cada campo de las variables utilizadas en las series temporales se presentan en el acápite 9.1.5. del anexo.

3.2.2. Modelación histórica del embalse Arenal

Una vez obtenida la información básica de entrada al modelo HEC-5 según el procedimiento descrito anteriormente, se procede a la conformación del archivo de entrada para la modelación histórica como se describió en el acápite 2.7.2.2.

La modelación histórica se realizó bajo la estrategia de obtener la máxima energía firme y observando que el nivel mínimo útil, 522 msnm, del embalse Arenal sea alcanzado una sola vez durante el proceso de la modelación. El periodo de tiempo a considerar dentro de este proceso abarca desde junio de 1982 hasta mayo de 1995 (156 periodos).

La estrategia anterior es implementada, básicamente, mediante el siguiente procedimiento iterativo:

Primero, en la tarjeta niveles de operación (RL), se especificó la altura del nivel del agua que tuvo el embalse el primer día del mes de junio de 1982, con el objetivo de iniciar el proceso de la modelación histórica.

Segundo, en la tarjeta de requerimientos de energía (PR) se utilizaron los valores promedios mensuales históricos de energía generada por el Instituto Costarricense de Electricidad, colocando como valor inicial la generación promedio correspondiente al mes de junio.

Tercero, con el propósito de facilitar el proceso de modelación, se transformaron los valores de energía mensual en valores porcentuales mensuales, los que deben sumar el 100% de la energía anual generada por el ICE.

Cuarto, mediante un proceso de prueba y error, se ajustaron los valores de la energía requerida en forma mensual en la variable requerimientos de energía (PR), manteniendo la distribución porcentual hasta conseguir la energía firme óptima y el nivel mínimo útil (522 msnm) una sola vez en la salida del modelo HEC-5.

Con el objeto de verificar la idoneidad del modelo se realiza previamente una modelación de los rendimientos históricos, de modo tal que el nivel del embalse al inicio del periodo y al final del proceso de modelación, coincidan con los valores de operación realizados por el ICE (536,62 nivel inicial y 529,34 nivel final en msnm).

3.2.3. Modelación para la recuperación del nivel útil del embalse Arenal

Con el objetivo de obtener resultados para diferentes escenarios de recuperación del nivel máximo del embalse Arenal y tomando como punto de partida el archivo de entrada elaborado en la modelación histórica, se realizan las siguientes etapas para modelar la recuperación del nivel en el embalse:

Primero, se proponen seis escenarios de recuperación, que difieren por la duración del periodo considerado para recuperar el nivel máximo de conservación en el embalse (546 msnm). Hay que tomar en cuenta que los periodos de recuperación pueden iniciarse cualquier mes del año, pero deben de concluir al final del periodo húmedo (lo anterior es necesario debido a que el embalse debe empezar un nuevo ciclo de operación de generación anual a partir del embalse lleno). El primer escenario considera un periodo de 7 meses, iniciándose en junio de 1995, y concluyendo en diciembre. Los siguientes cinco escenarios se prepararon añadiéndose 12 meses a cada uno de ellos, llegando a un periodo de 67 meses para el sexto escenario.

Segundo, en la tarjeta de los niveles de operación (RL), se debe especificar la elevación del mes inicial para la modelación del periodo de recuperación, en el presente estudio corresponde al mes de junio de 1995. De igual manera los caudales deben iniciar su secuencia en el mencionado mes.

Tercero, en la variable de requerimientos de energía (PR) a través de un proceso de prueba y error, se deben buscar los valores óptimos de generación mensual de manera que al final de los periodos de recuperación, según el escenario, se alcance la altura máxima del nivel de conservación (546 msnm). El procedimiento anterior se implementa a partir del segundo escenario, ya que para el primero se parte de una generación promedio mensual mínima (1MWH).

Cuarto, se asume que el promedio histórico de los caudales mensuales de entrada al embalse son representativos para propósitos de modelación en la recuperación de niveles útiles. En la variable de caudales de entrada (IN) se coloca el caudal promedio histórico mensual correspondiente a cada mes del año. El número de caudales promedio históricos a ingresar está en función del escenarios utilizado.

3.2.4. Optimización técnica de la relación volumen - energía para el embalse Arenal

Esta etapa se realiza con el objetivo de analizar si las dimensiones del embalse Arenal son adecuadas desde el punto de vista energético, ya que en el proceso de optimización se está trabajando únicamente con energía firme. El proceso de optimización con HEC-5, identificado por la variable J7 en la estructura del archivo de entrada, impone que a partir de una demanda específica de energía firme mensual, el modelo determine automáticamente la máxima cantidad de volumen útil necesario para producir dicha cantidad de energía. Este proceso es iterativo hasta conseguir que el error de almacenamiento esté dentro del error permitido definido previamente por el usuario.

Este proceso consiste en definir incrementos en las demandas de energía firme que se necesitan para justificar incrementos en el volumen útil y altura del nivel del agua en el embalse Arenal. Lo anterior es implementado mediante el siguiente procedimiento:

Primero: se toma como punto de partida el archivo de modelación histórica con las siguientes modificaciones:

- Se debe incluir dentro del archivo de entrada, la tarjeta de optimización para propósitos de conservación (J7). Esta variable permite realizar el análisis de optimización en forma automática, los índices utilizados se presentan en el acápite 9.1.1. del anexo.

- Con la finalidad de obtener la optimización para el periodo crítico primero y luego para el registro completo, se utilizó el valor recomendado por el manual de operaciones del programa HEC-5 (acápite 9.1.1. del anexo). El margen de error

utilizado durante el proceso de modelación fue de $\pm 5\%$, el cual es recomendado por el manual de operaciones para modelación de embalses (HEC-5, 1989).

Segundo: una vez conformado el archivo de entrada, en la variable requerimientos de energía (PR) se debe especificar los valores de energía promedio mensual a ser analizados. Lo anterior es obtenido multiplicando la energía promedio mensual a ser analizada por 12 meses para obtener la generación promedio anual y posteriormente distribuirla de acuerdo al porcentaje de generación correspondiente a cada mes. Para efectos de este análisis se tomó un rango de valores bastante amplio, que abarca desde los 40000 hasta 60000 MWH de energía promedio mensual. Este rango se dividió en intervalos ascendentes de 2000 MWH, donde cada incremento representa la conformación de un nuevo archivo de entrada.

Tercero: para establecer las comparaciones técnicas de los incrementos en energía, con relación a los incrementos del volumen de almacenamiento y altura del nivel útil se debe obtener la siguiente información:

- Altura máxima del nivel útil del embalse
- Volumen máximo del embalse
- Volumen mínimo del embalse
- Volumen de útil del embalse

Para el análisis de los volúmenes máximo y mínimo, obtenidos del resumen de la salida del modelo HEC-5, se debe restar 500000 m³ a cada volumen debido a que el modelo adiciona esta cantidad. Asimismo dicho volumen es estimado como la diferencia entre el volumen máximo y mínimo corregido para cada archivo de salida.

3.3. Análisis del sistema Arenal - Corobicí - Sandillal

El objetivo de realizar la modelación del sistema hidroeléctrico, básicamente es comparar la eficiencia de la utilización y las características de diseño del embalse Arenal, en la generación de energía eléctrica cuando está trabajando en forma aislada y cuando lo realiza en serie.

3.3.1. Obtención de variables básicas

Para propósitos de la modelación del sistema serie, se tomó como punto inicial el archivo de entrada preparado para la modelación histórica del embalse Arenal en forma aislada, según el procedimiento descrito en el acápite 3.2.1. A este archivo se le realizaron las siguientes cambios:

- Variables de trabajo

El inicio del proceso de modelación corresponde al mes de septiembre, esta variación es debida a que el embalse Santa Rosa inicia sus operaciones en un 100% el mes de septiembre de 1982. Asimismo es requisito del modelo HEC-5, que la información de caudales de entrada deben ser iguales en número de meses para ambos embalses. (HEC, 1989).

Los valores de evaporación (J6) inician su secuencia de entrada en el mes de septiembre. El diseño del formato de salida (J8) utiliza las mismas variables señaladas en 3.2.1. para ambos embalses y se adiciona las siguientes para el sistema:

- Energía requerida por el sistema (1.26)
- Energía generada por el sistema (1.28)
- Déficit de energía en el sistema (1.29)
- Factor de planta para el embalse Arenal (1.35)
- Factor de planta para el embalse Santa Rosa (2.35)

- Variables del sistema de energía

Estas variables son identificadas dentro de la estructura del archivo con las siglas SM y se utiliza para especificar los requerimientos de energía del sistema en forma mensual. Para su estimación se utiliza la siguiente relación:

$$E_{sist.} = E_{cor.} + E_{are.} \quad (3.16.)$$

$$E_{cor.} = K * E_{are.} \quad (3.17.)$$

$$K = E_{mc} / E_{ma} \quad (3.18.)$$

Uniendo las relaciones 3.16. y 3.17. tenemos que:

$$Esist. = Eare. + (K * Eare.) \quad (3.19.)$$

Factorizando la relación 3.19.

$$Esist. = (1 + K) * Eare. \quad (3.20.)$$

Donde:

- Esist. = Energía mensual del sistema, en MWH
- Eare. = Energía mensual de la planta Arenal, en MWH
- Ecor. = Energía mensual de la planta Corobicí, en MWH
- K = Coeficiente de generación.
- Emc = Energía promedio mensual de la planta Corobicí, en MWH
- Ema = Energía promedio mensual de la planta Arenal, en MWH

Se toma solamente los valores de energía de estos dos embalses, debido a que el embalse y la planta de generación de Sandillal inició su trabajo con un 100% de su capacidad en el mes de enero de 1993. Por lo tanto no tiene la misma longitud en la serie de datos que los embalses Arenal y Santa Rosa para un análisis homogéneo.

- Características físicas del embalse

Como la modelación es para el sistema en serie, los identificadores en los niveles de operación (RL), para los embalses Arenal, Santa Rosa y Sandillal deben ser diferentes para cada embalse (ver 9.2.1. del anexo). Las restantes variables por cada campo se introducen como se describió en los niveles de operación para el embalse Arenal en forma aislada.

La capacidad de salida del agua (RQ) para los embalses Santa Rosa y Sandillal está en función de la capacidad de transporte del agua por el túnel de conducción y de la capacidad de las obras de excedencias. Estas variables fueron obtenidas del Departamento de Estudio Básicos del ICE.

- Características de la planta de energía

Para propósitos de modelación de embalses en serie, se incluyó una segunda variable energética (P2), cuya función es especificar que el archivo de entrada es para un sistema en serie. Asimismo en esta línea de variables se especificó que cada embalse es parte del sistema (ver acápite 9.2.2. del anexo).

Con la finalidad de facilitar el proceso de modelación a nivel del sistema y mantener constantes los valores del requerimiento de energía mensual (PR) para cada embalse, se utilizó la relación del factor de planta, opción que cuenta el modelo y viene definida con la siguiente relación:

$$FP = ER * 1000 / P * 24 * N \quad (3.21.)$$

Donde:

- FP = Factor de planta mensual
- ER = Energía promedio mensual, MWH de la planta de generación.
- P = Capacidad total instalada de la planta, en KW
- N = Número de días del mes

Los valores del factor de planta en el archivo de entrada deben ir anteceditos del signo negativo y son introducidos de acuerdo al mes inicial del proceso de modelación.

- Variables de puntos de control para datos hidrológicos

En la variable tránsito de avenidas (RT), para el tiempo de recorrido de la onda (K) en los embalses Santa Rosa y Sandillal, se utilizó la relación propuesta por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC, 1989):

$$(P / 2X) > K > (P / 2 (1 - X)) \quad (3.22.)$$

Donde:

- P = Periodo de modelación considerado, en hrs
- X = Factor de peso o coeficiente de almacenamiento de Muskingum
- K = Tiempo de recorrido de la onda para el tramo, en hrs

El coeficiente de almacenamiento utilizado fue similar al usado en la modelación del embalse Arenal en forma aislada.

Conformación del archivo de entrada

Se utiliza el formato estándar del modelo descrito en la sección 2.7.2.2, y se inicia especificando las variables generales para el sistema: de título (T), de trabajo (J) y del sistema de energía (SM). A continuación se especifica en forma continua para cada embalse las variables de: características físicas del embalse (RL, RO, RS, RQ, RA

y RE), características de la planta de energía (P1, P2 y PR), variables de puntos de control para datos hidrológicos (CP, ID y RT); una vez definido las anteriores variables para el último embalse, se debe incluir las variables identificadas con las siglas CP, ID, RT y ED, que servirán para indicar la conclusión del ingreso de información para los puntos de control. Finalmente se especifican las variables de series temporales (BF y IN) para cada embalse en forma separada y continua.

3.3.2. Modelación histórica del sistema Arenal - Corobicí

Este análisis se realiza solamente con los embalses Arenal y Corobicí, debido a que la información de generación de energía y caudales del embalse Sandillal tienen una longitud de registro corto (enero de 1993 a mayo de 1995), y no se podría realizar un análisis homogéneo para los tres embalses. Por lo que se decidió no incluirlo en esta etapa de modelación histórica.

La estrategia utilizada, es similar a la descrita para el embalse Arenal en forma aislada (ver acápite 3.2.2). Con la modificación del periodo de modelación que comprende desde septiembre de 1982 hasta abril de 1995 (152 periodos).

El proceso de modelación se implementa, mediante el siguiente procedimiento:

Primero: el cálculo de energía mensual para el sistema (SM), se obtiene a partir de la relación de energía mensual del sistema (Esist); utilizando como energía mensual de la planta Arenal (Eare) los valores de energía mensual óptimos modelados en el análisis histórico del Arenal en forma aislada. Colocando como valor inicial en SM la generación obtenida para el mes de septiembre.

Segundo: mediante un proceso de prueba y error se ajustan los valores de energía requerida para el sistema (SM), incrementando o disminuyendo en forma de porcentaje los valores de energía obtenidos en el primer paso, hasta conseguir la energía firme óptima y el nivel mínimo útil (522 msnm) una sola vez para el embalse Arenal modelado en serie.

3.3.3. Modelación del sistema para la recuperación del nivel útil del embalse Arenal

En esta etapa se considera el embalse Sandillal, ya que se trata de una proyección futura, los pasos utilizados en la ejecución de este análisis, son básicamente los mismos que son descritos en el acápite 3.2.3. Con los siguientes cambios:

Primero: para recuperar el nivel útil del embalse Arenal operando con el sistema se toma como punto de partida el archivo de entrada inicial elaborado para la modelación histórica en serie, al cual se agrega la información del embalse Sandillal.

Segundo: los periodos de recuperación están en función de la disminución a los valores de energía del sistema (SM), obtenidos en el archivo de entrada inicial elaborado en el primer paso de la modelación histórica en serie. Se establece para este análisis un rango de disminución de energía para el sistema (SM), que oscila entre el 10% hasta el 40%.

Tercero: en la tarjeta requerimientos de energía (PR) para cada embalse, se debe especificar un valor de - 0.02 para los 12 meses del año. Esto se realiza con la finalidad de que el modelo distribuya internamente los valores de energía generada de acuerdo a la capacidad de cada planta (Arenal, Corobicí y Sandillal).

Cuarto: el valor de los caudales (IN) a utilizar en el proceso de recuperación son obtenidos como los promedios mensuales, de toda la longitud de registro, que se tiene para cada embalse del sistema.

3.4. Evaluación de los resultados del modelo

Para la evaluación de la operación histórica del embalse Arenal el criterio a utilizar en la decisión de la calidad de la información, será: la semejanza en la forma de los hidrogramas para la generación realizada por el ICE, y la generación modelada por el HEC-5, coincidencias en las generaciones máximas y la forma de recesión de las curvas. Asimismo para completar la evaluación con criterios estadísticos, se utilizaron los coeficientes de eficiencia y de Nash-Sutcliffe, que vienen definidos por las siguientes relaciones:

$$E = (\Sigma(E_o - E_{om})^2 - \Sigma(E_o - E_m)^2) / \Sigma(E_o - E_{om})^2 \quad (3.23.)$$

$$R^2 = 1 - \Sigma(E_o - E_m)^2 / \Sigma(E_o - E_{om})^2 \quad (3.24.)$$

Donde :

- E = Coeficiente de eficiencia del modelo
- R² = Coeficiente de Nash-Sutcliffe
- E_o = Energía mensual generada por el ICE, en MWH
- E_m = Energía modelada mensual, en MWH
- E_{om} = Energía media mensual realizada por el ICE para el período de análisis, en MWH

El criterio a utilizar en la determinación del número óptimo de periodos de recuperación será aquel donde la pendiente de la relación entre la energía media anual generada y los periodos de recuperación, expresado en número de meses, tenga una reducción significativa, asimismo la forma de los hidrogramas, el valor de la generación promedio anual con respecto al promedio anual del ICE y el número de meses necesarios para recuperar el embalse en cada escenario propuesto.

En el análisis de sensibilidad, se toma como parámetros iniciales de comparación las dimensiones actuales del embalse Arenal, y evaluarlas con las obtenidas a través del modelo. Principalmente en comparaciones de generación con altura del embalse útil, generación con capacidad de almacenamiento y el tipo de pendiente que presenten estas comparaciones.

4. RESULTADOS

4.1. Variables básicas para la modelación del embalse Arenal

4.1.1. Variables de Trabajo

- Evaporación (I6)

Los valores promedio de evaporación mensual utilizados en la modelación del embalse Arenal se presentan en el cuadro 4.1 y un presentación gráfica de las mismas se muestra en la figura N°4.1.

Cuadro N° 4.1. Evaporación promedio mensual para el embalse Arenal (mm).

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sangregado	73	72	103	120	95	76	65	68	69	73	60	56
N. Tronadora	104	118	158	160	132	98	89	95	97	93	81	97
Ev. Promedio	89	95	131	140	113	87	77	81	83	83	70	77

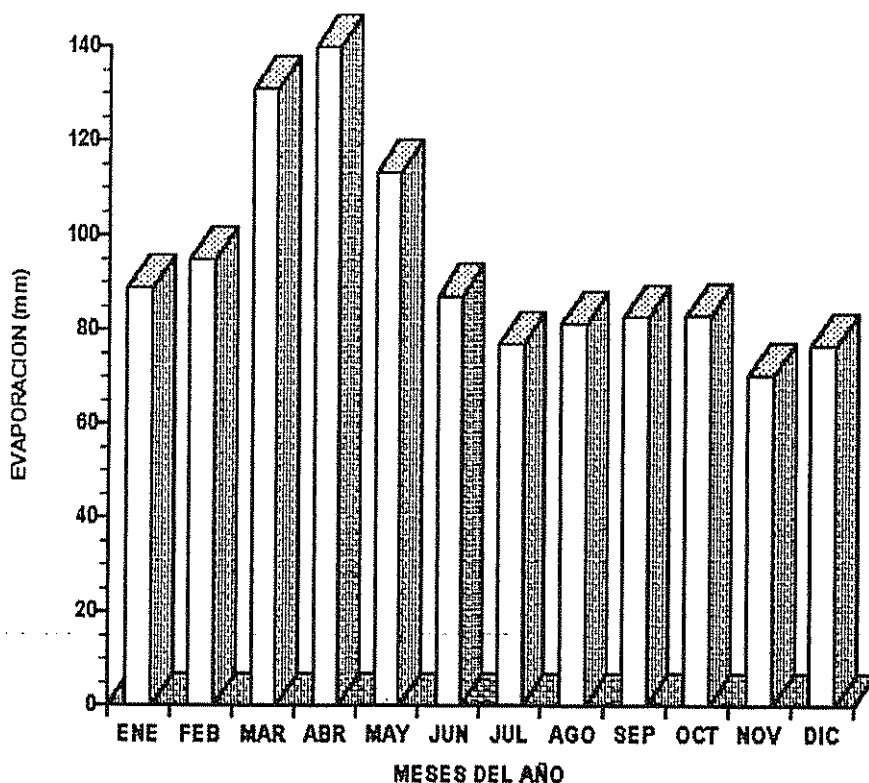


Figura N° 4.1. Distribución mensual de la evaporación sobre el embalse Arenal

- Formato de salida del modelo HEC-5 (J8)

En el cuadro 4.2. se presenta la descripción de las variables de salida de la modelación del embalse Arenal.

Cuadro N° 4.2. Variables de salida utilizadas en la modelación del embalse Arenal.

CODIGO	PUNTO DE CONTROL	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1.090	Embalse Arenal	Caudales afluentes al embalse
1.100	Embalse Arenal	Caudales de salida del embalse
1.120	Embalse Arenal	Criterio que utiliza el modelo para controlar las descargas.
1.130	Embalse Arenal	Porcentaje del nivel de conservación utilizado al final del mes.
1.150	Embalse Arenal	Energía requerida en forma mensual
1.160	Embalse Arenal	Energía generada por el modelo en forma mensual
1.110	Embalse Arenal	Volumen del embalse al final del periodo mensual
1.220	Embalse Arenal	Elevación del embalse al final del periodo mensual
1.210	Embalse Arenal	Tasa de evaporación mensual
1.250	Embalse Arenal	Capacidad total de generación de la planta

4.1.2. Características físicas del embalse Arenal

- Niveles de operación (RL)

En el cuadro 4.3. se presentan los valores de almacenamiento en el embalse Arenal para los niveles de operación seleccionados. Asimismo, las áreas del espejo de agua, elevaciones de la superficie del agua, capacidad de almacenamiento y de salida utilizados en la modelación del embalse Arenal se presentan en el cuadro N° 4.4.

Cuadro N° 4.3. Volumen de almacenamiento para los niveles de operación en el embalse Arenal

Unidad	Nivel Inactivo	Nivel de amortiguamiento	Nivel de Conservación	Niv. para control de inundaciones
Nivel msnm	522	522	546	550
Miles de m ³	549.668	549.668	2.330.000	2.701.500

Cuadro N° 4.4. Características físicas del embalse Arenal

Area (RA) Miles de m ²	Elevación (RE) msnm	Cap. de almacenamiento (RS) Miles de m ³	Cap. de salida (RQ) m ³ /seg
0	485	0	0
260	490	640	91
1.400	495	4.790	91
2.000	500	13.310	91
3.090	505	26.050	91
6.190	510	49.260	91
4.5020	515	177.280	91
56.040	520	429.940	91
63.680	525	729.260	91
65.100	526	800.000	91
70.980	530	1.065.890	91
76.520	535	1.433.260	91
82.180	540	1.830.000	91
86.690	545	2.252.170	91
88.000	546	2.330.000	91
89.000	547	2.440.000	130,667
90.000	548	2.530.000	191,417
91.500	549	2.610.000	263,891
93.040	550	2.701.500	345,208

4.1.3. Características de la planta de energía

- Capacidad (P1,2)

La capacidad instalada total de la planta hidroeléctrica Arenal es de 157.398 KW

- Nivel de desfogue del agua turbinada (P1,5)

Este nivel tiene un valor de 329,78 msnm.

- Estimación de la eficiencia de la planta (P1,7)

$$H_b = 220,4 \text{ m.}$$

$$K_p = 2,3 \times 10^{-3} \text{ seg}^2/\text{m}^5$$

$$Q = 91 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ (caudal total)} \text{ y } 42,38 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ (caudal promedio)}$$

$$H_n = 201,35 \text{ m (para el cálculo de la eficiencia en la turbina)}$$

$$H_n = 216,27 \text{ m (para el cálculo de la eficiencia de conducción)}$$

$$E_{\text{turb}} = 0,875$$

$$E_{\text{cond}} = 0,981$$

$$E_{\text{tot}} = 0,85$$

4.1.4. Variables de puntos de control para datos hidrológicos

- Caudal máximo de salida (CP,2)

El caudal máximo que no cause daños aguas abajo del embalse Arenal se estima en 346 m³/seg.

- Tránsito de avenidas (RT)

Para el tiempo de recorrido de la onda (K), se obtuvieron los siguientes resultados:

$$AM = 15.900 \text{ m}^2$$

$$AP = 7.950 \text{ m}^2$$

$$Q = 42,38 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 0,0053 \text{ m}/\text{seg}$$

$$D = 13.740 \text{ m}$$

$$K = 720 \text{ hrs}$$

4.1.5. Especificaciones para las variables de las series temporales

- Inicio de caudales en la serie de tiempo (BF)

El número total de caudales mensuales (BF,2) utilizado fue de 156. El intervalo de tiempo (BF,7) usado fue de 720 horas, que corresponde a un periodo mensual.

- Caudales promedio mensuales (IN)

El caudal promedio histórico afluente al embalse Arenal se estima en 42,38 m³/seg. Los caudales promedio mensuales utilizados en la modelación se presentan en el cuadro N° 4.5.

Cuadro N° 4.5. Caudales mensuales de entrada al embalse Arenal (m³/seg)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1982						28,6	75,9	73,2	43,2	82,8	57,9	49,6
1983	69,4	27,2	28,8	17,3	20,3	24,5	48,6	45,9	39,2	67,8	54,2	29,4
1984	46,5	28,0	21,8	13,8	17,9	32,5	45,9	79,7	74,6	67,9	51,1	58,9
1985	44,0	44,2	28,6	13,0	19,4	43,1	50,6	43,2	45,9	32,9	42,4	28,2
1986	27,6	21,0	20,4	15,4	20,6	47,3	59,4	76,4	57,5	68,5	50,5	39,2
1987	34,6	29,3	15,8	16,5	18,1	28,9	48,0	63,6	50,8	65,2	46,2	51,3

Cuadro N° 4.5. Continuación

1988	52,8	54,6	25,5	15,9	23,6	27,3	39,4	78,2	76,2	81,2	47,4	83,1
1989	44,2	25,0	21,7	22,4	22,5	45,7	53,5	56,1	69,0	53,3	73,5	42,3
1990	52,3	27,4	31,8	17,7	35,3	54,3	60,9	74,3	47,5	55,2	53,9	54,7
1991	25,4	31,9	18,8	16,5	27,3	38,3	67,9	83,2	68,8	59,9	64,2	48,3
1992	33,1	22,1	23,3	16,8	24,4	24,9	62,7	53,7	51,5	66,0	44,1	84,2
1993	42,0	21,4	22,8	15,4	22,3	33,3	52,6	69,5	65,1	54,3	41,2	36,5
1994	19,7	13,3	13,0	11,2	19,0	25,4	55,9	60,3	45,3	63,8	48,8	74,2
1995	22,6	24,0	17,6	17,1	16,5							
PROM	39,55	28,42	22,30	16,08	22,09	34,93	55,48	65,95	56,51	62,98	51,95	52,30

4.2. Modelación histórica del embalse Arenal

Los valores de energía mensual promedio generados por el ICE se presentan en el cuadro N° 4.6., con un promedio general de energía histórica de 52,651 GWH. En el cuadro N° 4.7. se muestra el promedio histórico mensual y sus respectivos porcentajes utilizados para el proceso de modelación histórica.

Cuadro N° 4.6. Energía mensual histórica generada por el ICE (GWH)

MES	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
ENE		55,4	59,2	55,8	55,8	79,7	55,4	67,6	62,3	70,2	80,8	65,7	79,7	71,6
FEB		63,0	75,1	57,0	66,0	78,0	47,2	63,7	86,9	59,6	78,8	60,6	80,9	65,3
MAR		66,0	67,9	65,3	65,7	94,9	68,5	67,4	87,9	90,7	91,1	73,5	89,1	75,0
ABR		73,8	81,0	67,6	63,5	77,5	76,7	78,3	94,4	83,8	87,3	70,8	74,3	61,2
MAY		56,6	62,1	73,8	63,3	63,0	65,1	73,7	72,9	72,9	68,3	52,6	54,4	52,9
JUN	32,8	40,9	28,2	51,5	48,7	40,9	36,1	47,6	53,4	55,0	60,0	42,5	48,5	
JUL	27,2	38,5	33,5	39,6	39,4	43,2	18,9	45,7	49,4	61,7	60,1	45,2	46,5	
AGO	34,3	46,9	36,5	35,0	40,0	21,6	15,6	37,2	41,5	50,4	53,5	56,8	38,4	
SET	29,7	42,5	31,6	37,4	31,6	27,7	13,8	23,9	42,9	47,0	28,9	41,2	39,9	
OCT	26,1	32,7	47,5	34,3	29,4	15,0	9,5	25,4	34,8	35,8	27,0	52,5	30,5	
NOV	29,2	43,0	38,4	33,7	53,8	28,2	21,3	46,0	31,4	40,7	47,6	77,2	31,9	
DIC	46,2	58,1	35,0	50,9	68,9	46,0	40,4	43,7	32,9	54,1	55,1	78,2	34,1	

Cuadro N° 4.7. Energía promedio mensual histórica (GWH) y porcentajes mensuales

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO	66,09	67,85	77,15	76,17	63,97	45,08	42,22	39,05	33,70	30,81	40,18	49,51
PORCENT.	10,5	10,7	12,2	12,1	10,1	7,10	6,70	6,20	5,30	4,90	6,40	7,80
UNIT.(*)	0,105	0,107	0,122	0,121	0,101	0,071	0,067	0,062	0,053	0,049	0,064	0,078

(*) Valores utilizados en el proceso de modelación

Los valores de energía firme mensual obtenidos en los análisis de idoneidad y modelación histórica se presentan en el cuadro N°4.8. Los archivos de entrada al modelo y sus respectivas salidas para los mencionados análisis se presentan en los cuadros N° 8.1. al 8.4 del apéndice.

Cuadro N° 4.8. Valores de generación para el análisis de idoneidad y energía firme de la planta Arenal (GWH).

T.A.	PROM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
A. I	52,350	65,961	67,217	76,640	76,012	63,448	44,602	42,089	38,948	33,295	30,782	40,205	49,000
A.H	53,400	67,284	68,566	78,178	77,537	64,721	45,497	42,934	39,730	33,962	31,399	41,011	49,982

T.A. = Tipo de análisis

A.I. = Análisis de idoneidad

A.H. = Análisis histórico de energía firme

En las figura N° 4.2. y 4.3. se presentan los comportamientos continuos de la generación histórica realizada por el ICE y de la generación modelada por HEC-5 para el análisis de idoneidad y el de energía firme óptima. Una comparación anual de generación realizada por el ICE, y la óptima modelada para el análisis histórico se muestra en la figura N° 4.4.

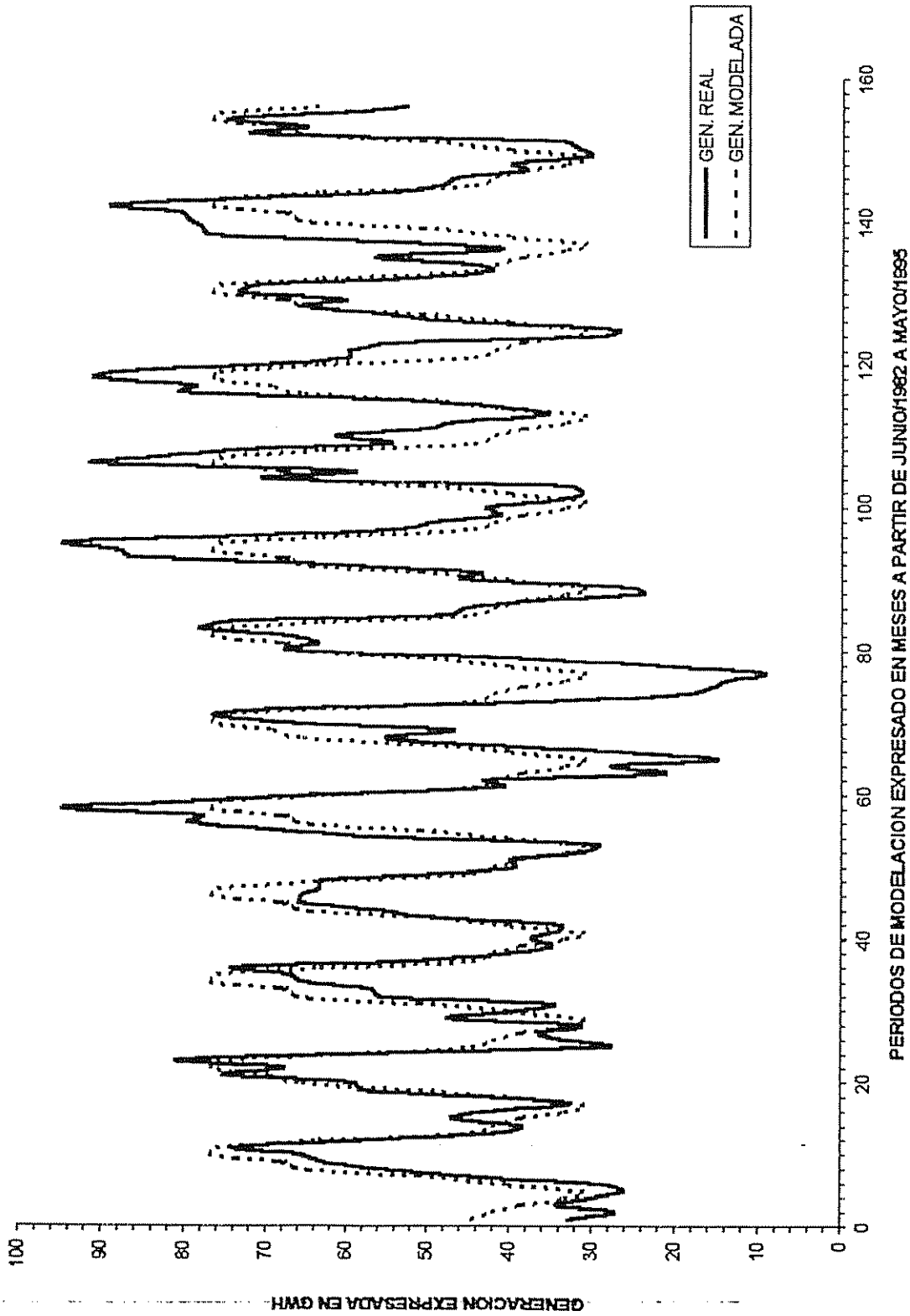


Figura N° 4.2. Comparación mensual de la generación realizada por el ICE y la obtenida en el análisis de idoneidad con HEC-5

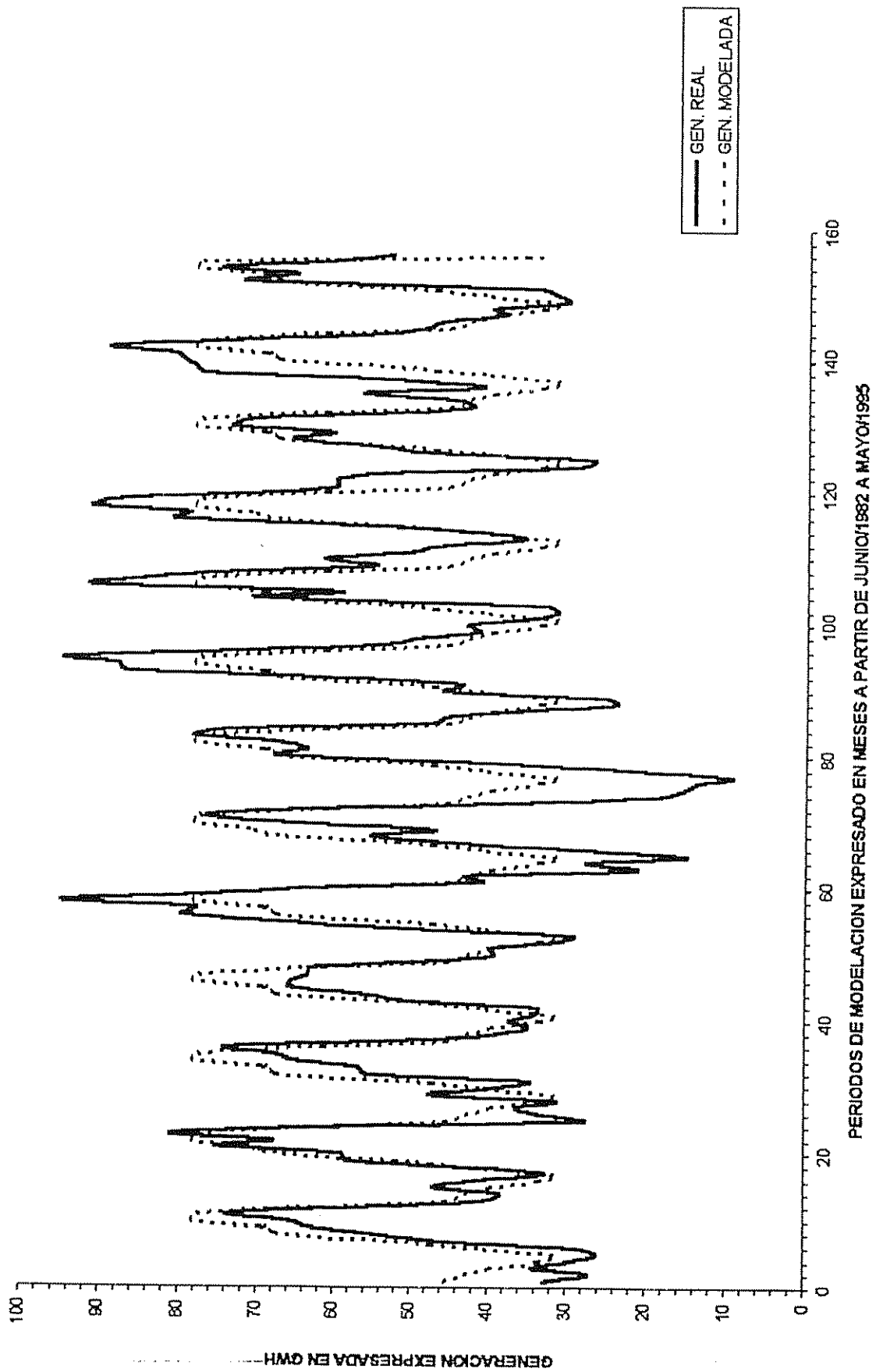


Figura N° 4.3. Comparación mensual entre la generación realizada por el ICE y la energía firme modelada con HEC-5

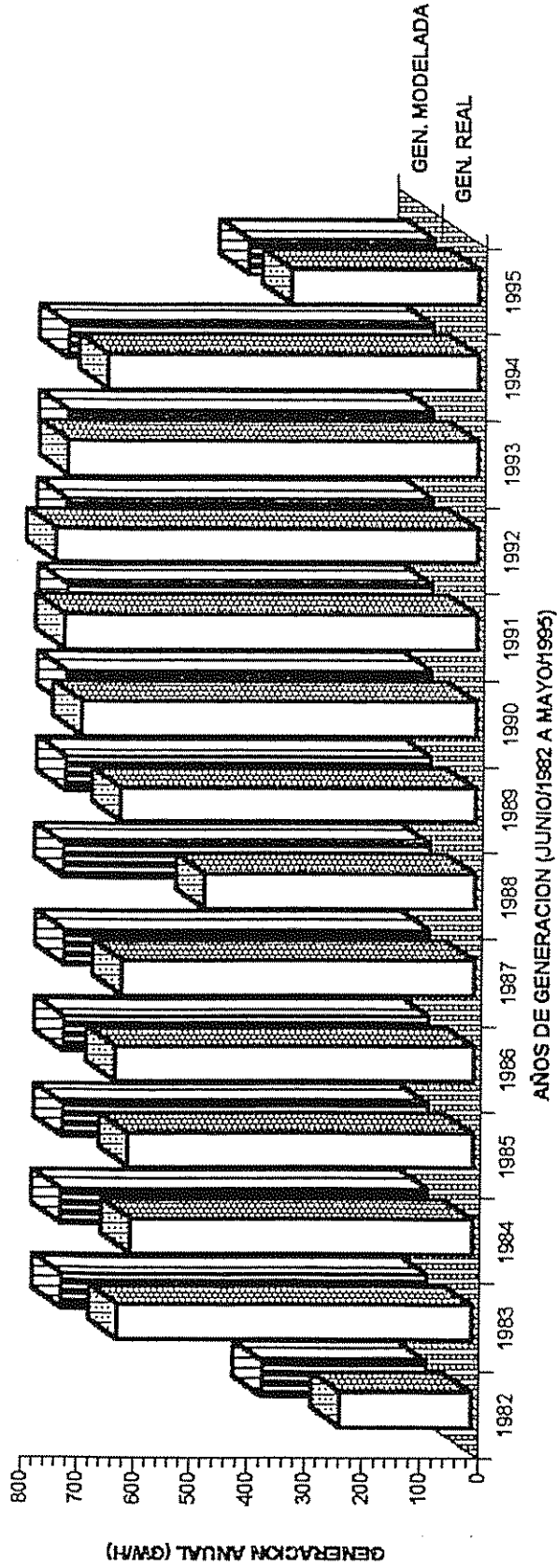


FIGURA N° 4.4. Comportamiento de la generación anual histórica realizada por el ICE y la firme modelada con HEC-5

4.3. Modelación para recuperación del nivel útil del embalse Arenal

Los escenarios utilizados y la generación promedio obtenida en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal se presentan en el cuadro N° 4.9. Asimismo los valores de energía mensual (PR) firme obtenidos en cada escenario propuesto se muestran en el cuadro N° 4.10.

Cuadro N° 4.9. Escenarios y generación promedio para la recuperación del nivel útil en el embalse Arenal

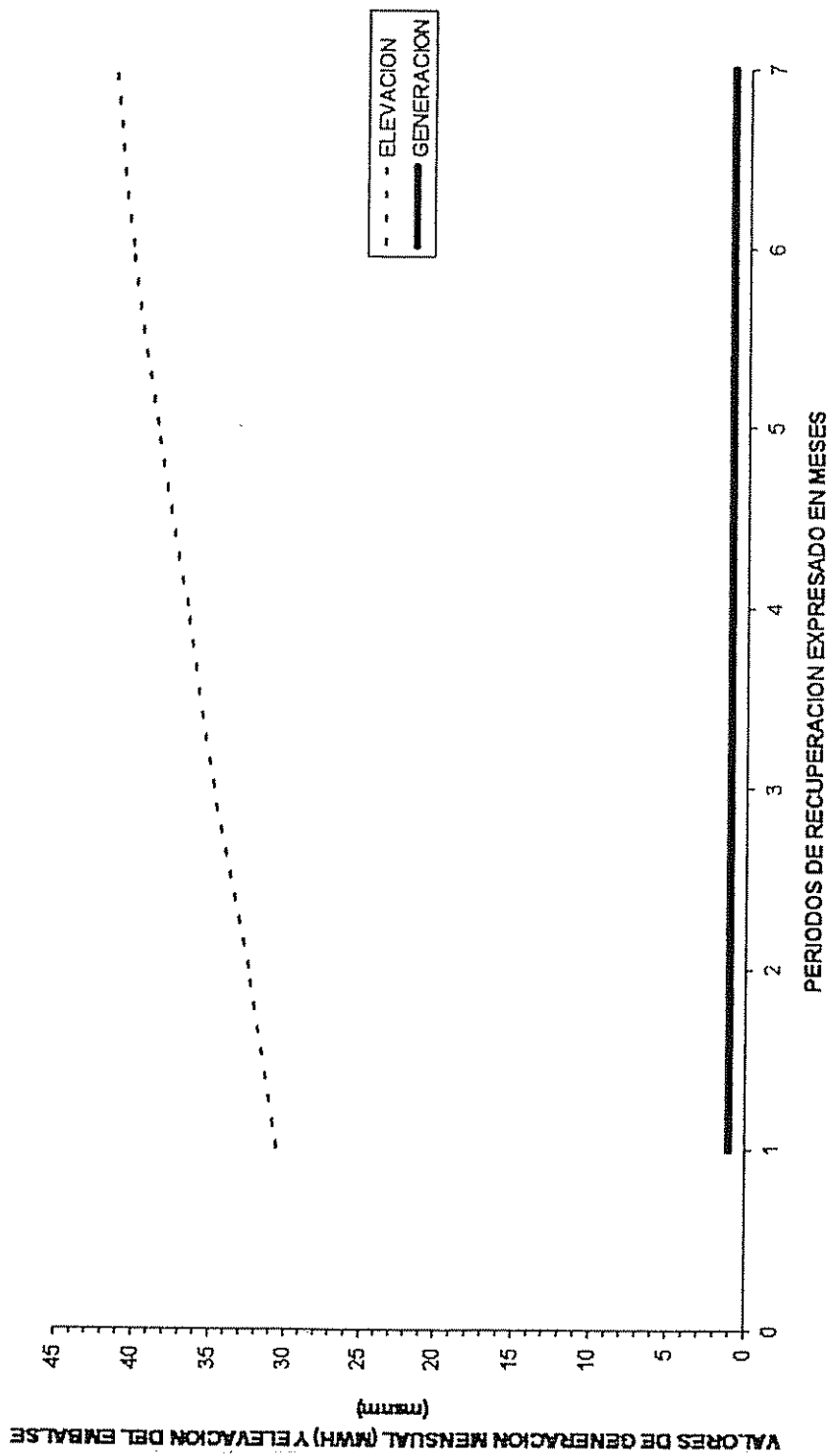
ESCENARIO	PERIODOS (meses)	DURACION	GEN. PROMEDIO (MWH)	GRADIENTE (MWH/MES)
1	7	jun/95 - dic/95	1	
2	19	jun/95 - dic/96	23.038	1920
3	31	jun/95 - dic/97	33.648	884,2
4	43	jun/95 - dic/98	38.271	385,3
5	55	jun/95 - dic/99	40.899	219
6	67	jun/95 - dic/2000	42.578	140

La presentación gráfica de los periodos de recuperación con su respectiva energía promedio se presentan en la figura N° 4.21.

Cuadro N° 4.10. Valores de energía mensual (PR) firme para cada escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal

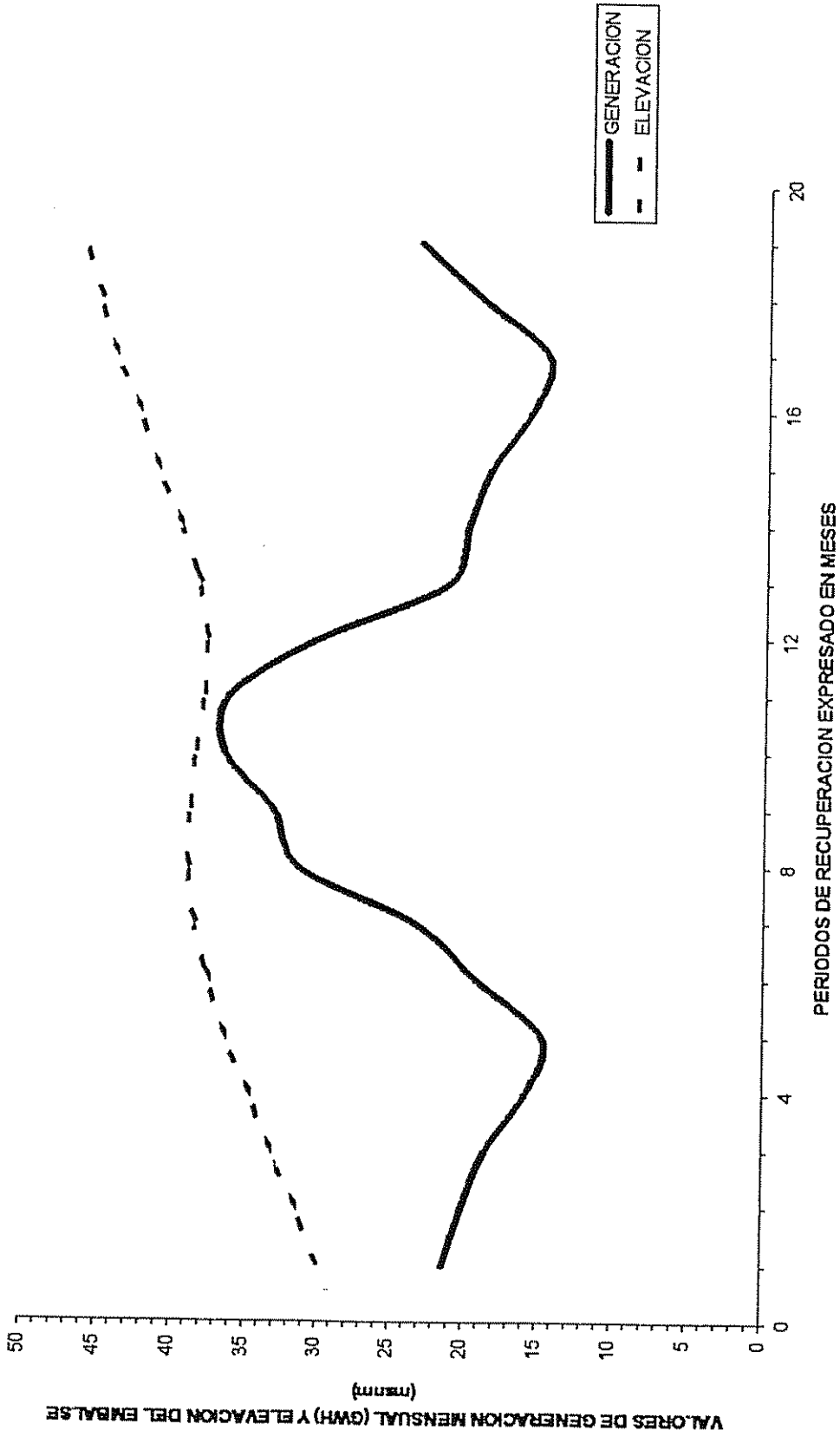
ESC.	GENERACION MENSUAL (MWH)											
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	21.300	20.100	18.600	15.900	14.700	19.200	23.400	31.500	32.100	36.600	36.300	30.300
3	29.522	27.859	25.780	22.037	20.374	26.611	32.432	43.659	44.491	50.728	50.312	41.996
4	33.654	31.758	29.388	25.122	23.226	30.336	36.972	49.770	50.718	57.828	57.354	47.874
5	35.677	33.667	31.155	26.632	24.622	32.160	39.195	52.763	53.768	61.305	60.803	50.753
6	37.062	34.974	32.364	27.666	25.578	33.408	40.716	54.810	55.854	63.684	63.162	52.722

Un modelo del archivo de entrada utilizado en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal se presentan en el cuadro N° 8.5. del apéndice, correspondiente al tercer escenario. Las salidas de la modelación para la recuperación del nivel útil por cada escenario se presentan en los cuadros N° 8.6. al 8.11. del apéndice. La representación gráfica de los anteriores resultados de recuperación del nivel máximo, se presentan en las figuras N° 4.5. a 4.10.



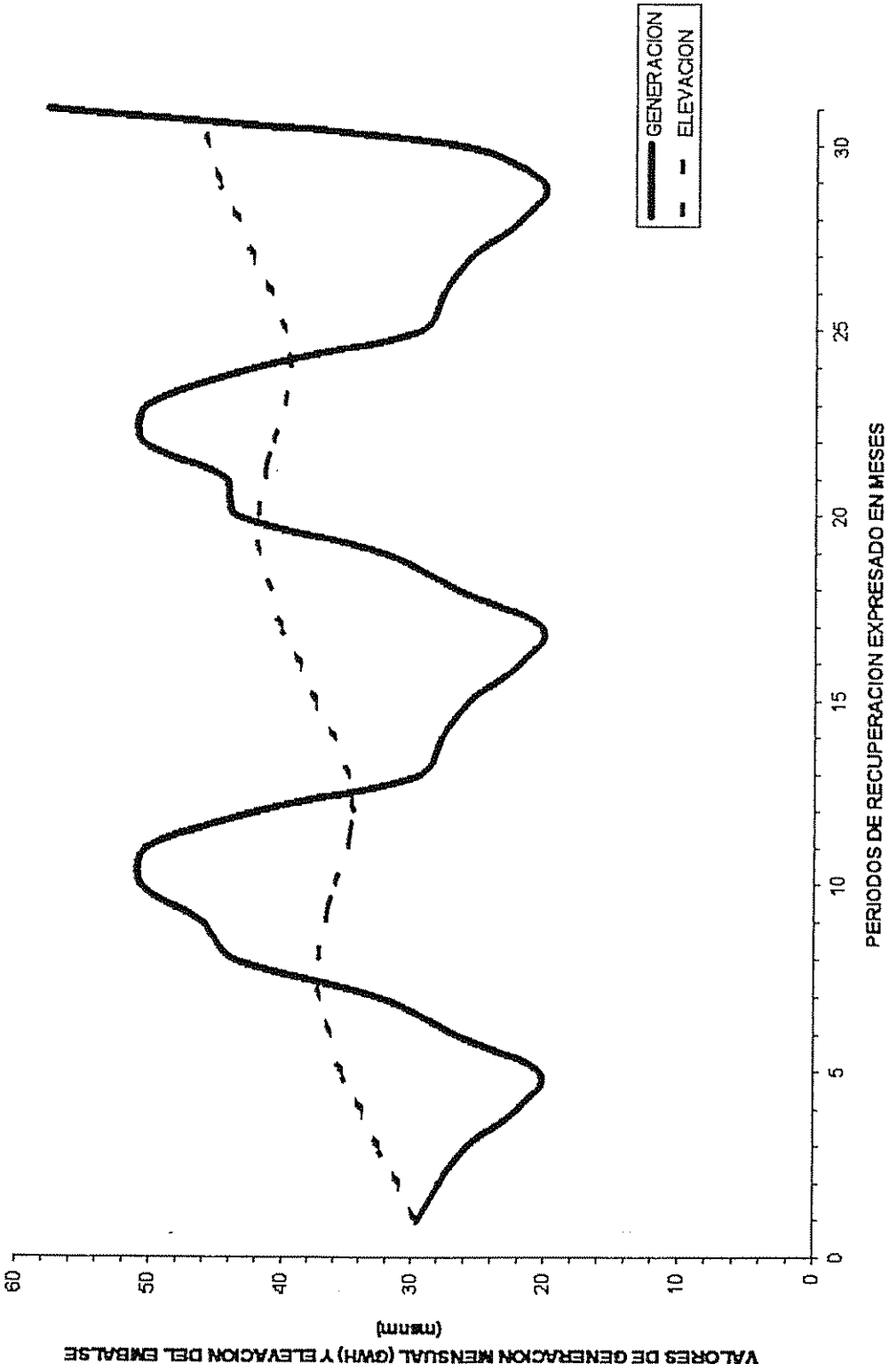
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 ml.

Figura N° 4.5. Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el primer escenario



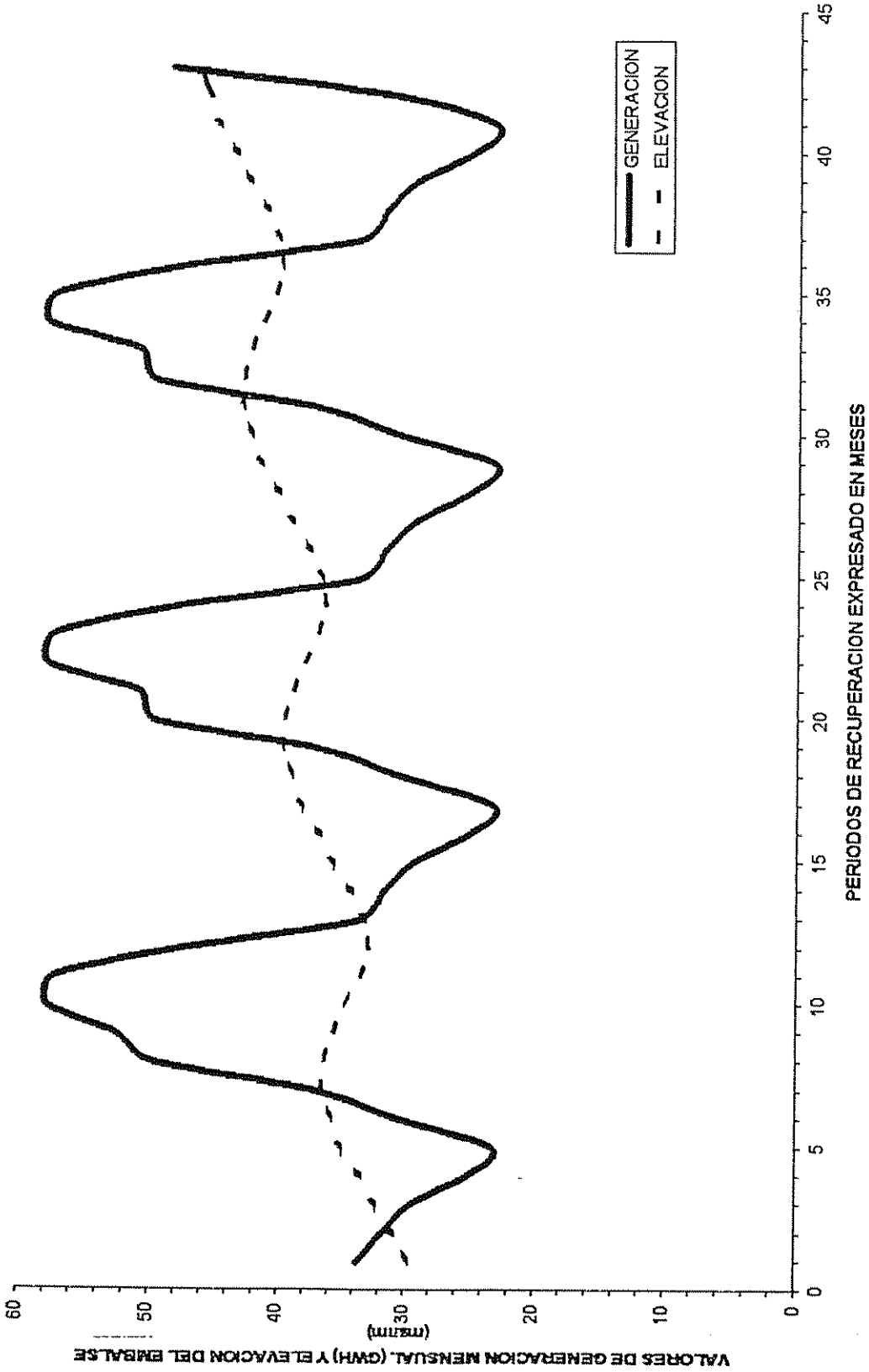
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.6. Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el segundo escenario



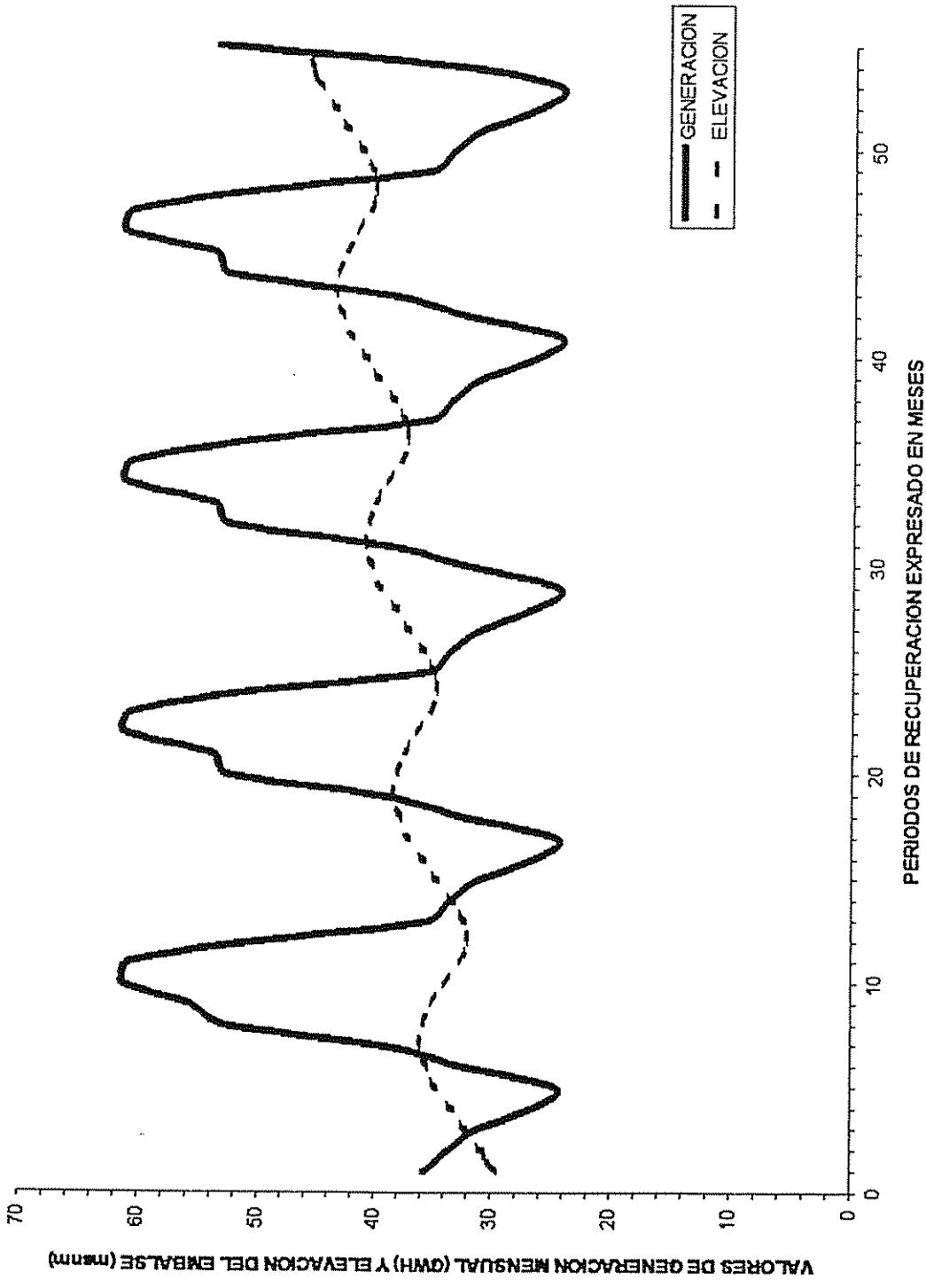
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.7. Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el tercer escenario



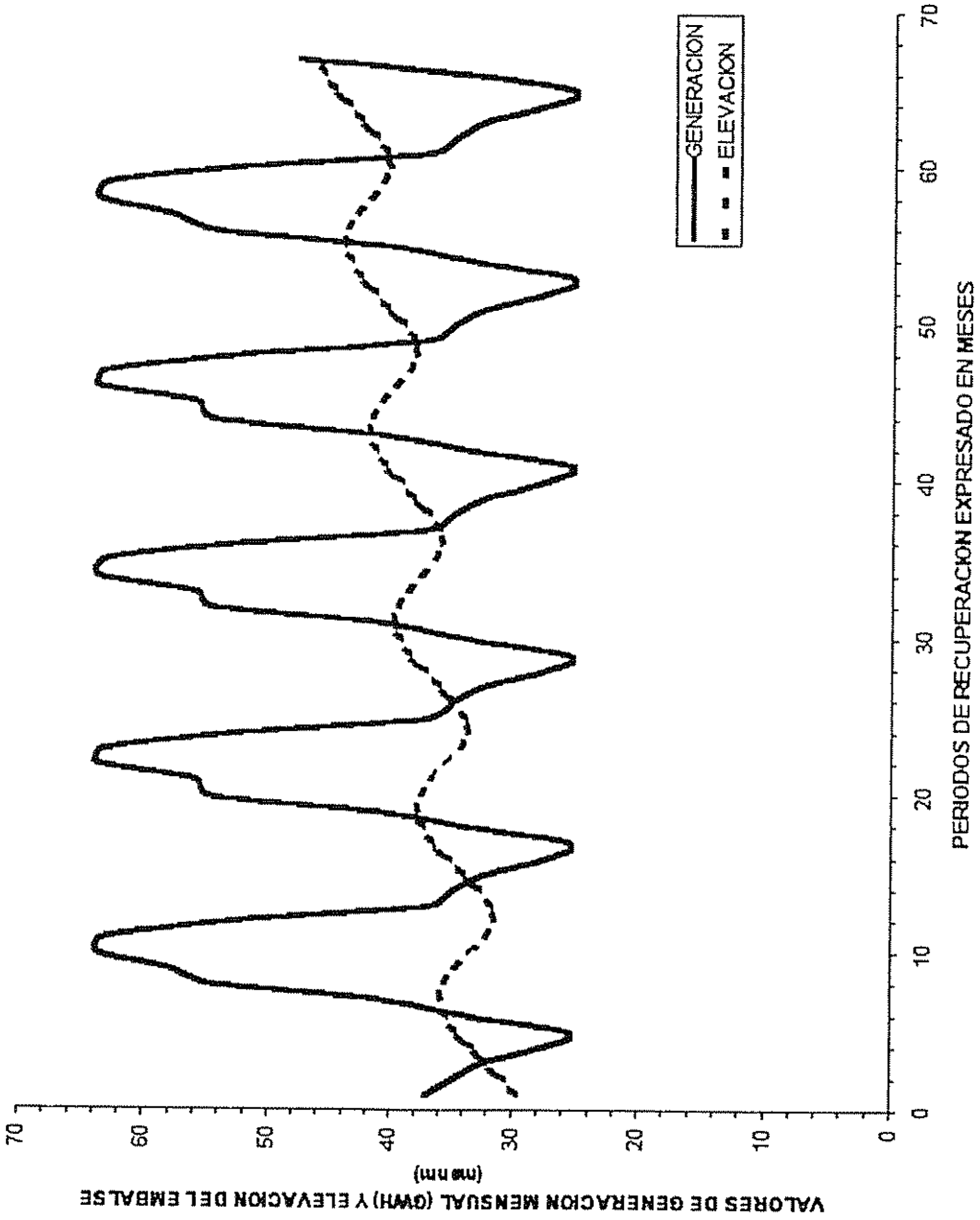
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.8. Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el cuarto escenario



Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.9. Comportamiento de la recuperación del nivel útil para el quinto escenario



Nota : Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.10. Comportamiento de la recuperación de la recuperación del nivel útil para el sexto escenario

4.4. Optimización de la relación volumen - energía para el embalse Arenal

Los valores de energía mensual (PR) utilizados en el análisis de optimización se presentan en el cuadro N° 4.11. Un ejemplo de los archivos de entrada utilizados en este análisis se presenta en el cuadro N° 8.12. del apéndice, que corresponde a una energía promedio mensual (PR) de 40000 MWH.

Cuadro N° 4.11. Valores de energía mensual (PR) en el análisis de optimización del embalse Arenal

EPM	GENERACION MENSUAL (MWH)											
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
40.000	34.080	32.160	29.760	25.440	23.520	30.720	37.440	50.400	51.360	58.560	58.080	48.480
42.000	35.784	33.768	31.248	26.712	24.696	32.256	39.312	52.920	53.928	61.488	60.948	50.904
44.000	37.488	35.376	32.736	27.984	25.872	33.792	41.184	55.440	56.496	64.416	63.888	53.328
46.000	39.192	36.984	34.224	29.256	27.048	35.328	43.056	57.960	59.064	67.344	66.792	55.752
48.000	40.896	38.592	35.712	30.528	28.224	36.864	44.928	60.480	61.632	70.272	69.696	58.176
50.000	42.600	40.200	37.200	31.800	29.400	38.400	46.800	63.000	64.200	73.200	72.600	60.600
52.651	44.859	42.331	39.172	33.486	30.959	40.436	49.281	66.340	67.604	77.081	76.449	63.813
53.400	45.497	42.934	39.730	33.962	31.399	41.011	49.982	67.284	68.566	78.178	77.537	64.721
56.000	47.712	45.024	41.664	35.616	32.928	43.008	52.416	70.560	71.904	81.984	81.312	67.872
58.000	49.416	46.632	43.152	36.888	34.104	44.544	54.288	73.080	74.472	84.912	84.216	70.296
60.000	51.120	48.240	44.640	38.160	35.280	46.080	56.160	75.600	77.040	87.840	87.120	72.720

EPM = Energía promedio mensual (MWH)

Cabe resaltar del cuadro anterior que los valores de 52.651 y 53.400 MWH corresponden a los promedios de la generación llevada a cabo por el ICE y la obtenida mediante la modelación histórica óptima con HEC-5.

Los valores obtenidos en el proceso de modelación para la optimización se presentan en el cuadro N° 4.12. Las comparaciones gráficas entre, incrementos de energía con respecto a incrementos de almacenamiento y alturas máximas de los resultados obtenidos, se muestran en las figuras N° 4.11.y 4.12.

Cuadro N° 4.12. Resultados de la modelación para el análisis de optimización en el embalse Arenal

GENER. PROM. MWH	ALT. MAXIMA msnm	VOL MAXIMO miles de m ³	VOL MINIMO miles de m ³	VOL UTIL miles de m ³	INC. DE VOL miles de m ³	$\Delta E/\Delta V$ Kwh/m ³
40.000	529,02	1.000.527	560.592	439.935		
42.000	529,16	1.010.175	536.852	473.323	33.388	59,90
44.000	529,66	1.042.983	537.094	505.889	32.566	61,41
46.000	531,10	1.146.970	577.750	569.220	63.331	31,58
48.000	532,40	1.242.411	545.048	697.363	128.143	15,60
50.000	536,12	1.522.100	585.916	936.184	238.821	8,37
52.651*	543,20	2.100.183	612.717	1.487.466	551.282	4,81
53.400**	545,04	2.255.224	601.983	1.653.241	165.775	4,52
56.000	551,00	2.792.676	561.795	2.230.881	577.640	4,50
58.000	555,98	3.248.480	622.285	2.626.195	395.314	5,06
60.000	560,33	3.647.086	552.800	3.094.286	468.091	4,27

$\Delta E/\Delta V$ = Relación entre incrementos de energía y incrementos en volumen.

* = Generación promedio mensual histórica realizada por el ICE.

** = Generación promedio mensual firme obtenida en la modelación histórica.

1 MWH = 1000 KWH

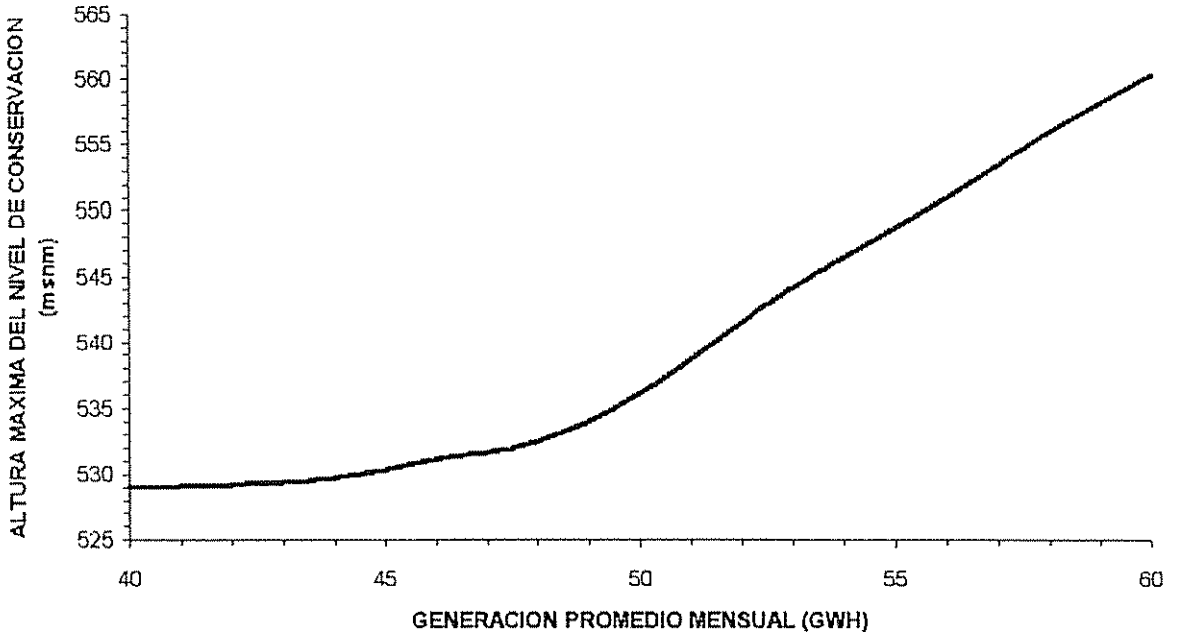


Figura N° 4.11 Sensibilidad de la generación con respecto a la altura modelada, para el embalse Arenal en forma aislada

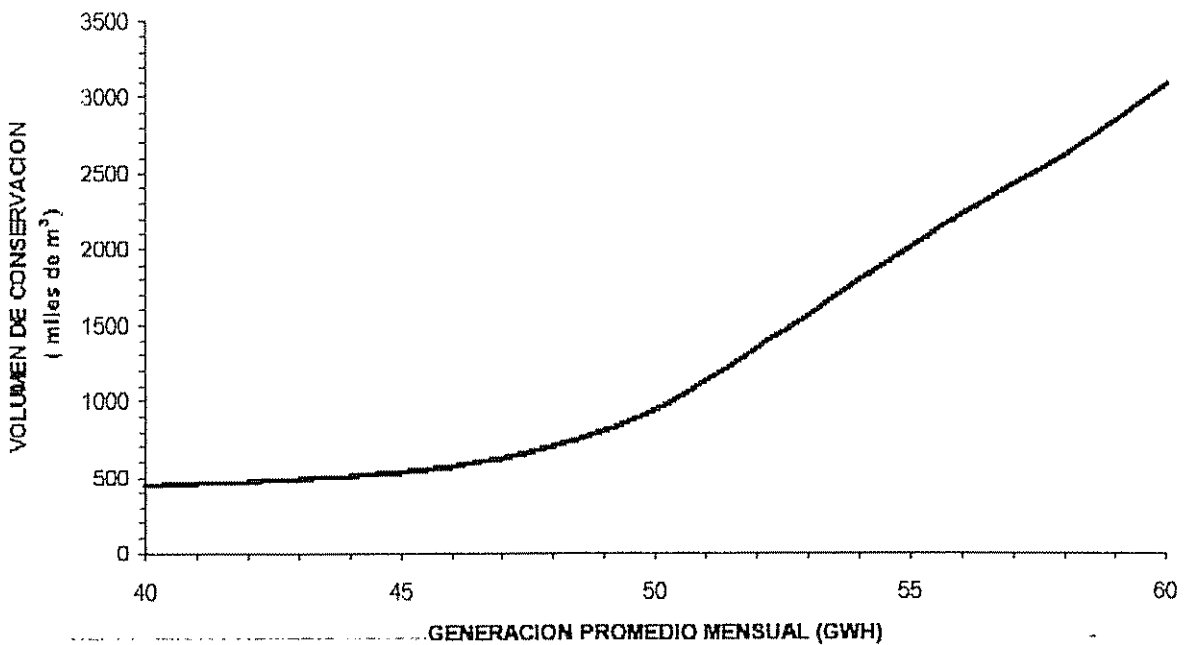


Figura N° 4.12. Sensibilidad de la generación con respecto al volumen de conservación modelado, para el embalse Arenal en forma aislada

4.5. Variables básicas para la modelación del sistema Arenal - Corobicí - Sandillal

4.5.1. Energía del sistema Arenal - Corobicí (SM)

La generación promedio histórica (septiembre/1982 - junio/1995) para el sistema realizada por el ICE, tiene un valor de 113.119 MWH de los cuales 52.651 MWH corresponden a la planta Arenal y 60468 MWH a la planta Corobicí. En el cuadro N°4.13. se muestran los resultados obtenidos para el coeficiente de generación.

Cuadro N° 4.13. Valores obtenidos para el coeficiente de generación (K)

EMB.	GENERACION MENSUAL (MWH)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CORO	74.262	76.185	87.292	86.685	73.569	53.258	50.725	46.475	38.985	36.654	45.254	56.269
AREN	66.092	67.854	77.154	76.169	63.969	45.085	42.223	39.054	33.700	30.808	40.185	49.508
K	1,124	1,123	1,131	1,138	1,150	1,181	1,201	1,190	1,157	1,190	1,126	1,137

4.5.2. Características físicas de los embalses Santa Rosa y Sandillal

- Niveles de operación (RL)

Los volúmenes correspondientes a los niveles de operación para los embalses Santa Rosa y Sandillal se presentan en el Cuadro N°4.14. Los cuadros N°4.15. y 4.16 muestran las características físicas para los embalses antes mencionados.

Cuadro N° 4.14. Volúmenes de almacenamiento para los niveles de operación en los embalses Santa Rosa y Sandillal.

Embalse	Unidad	Nivel Inactivo	Nivel de amortiguamiento	Nivel de conservación	Niv. control de inundaciones
Santa Rosa	Miles de m³	84,35	84,35	101,07	105,25
Sandillal	Miles de m³	1099	1099	6260	8660

Cuadro N° 4.15. Características físicas del embalse Santa Rosa

Area (RA) Miles de m²	Elevación (RE) msnm	Cap. de almacenamiento (RS) Miles de m³	Cap. de salida (RQ) m³/seg
0	315,5	0	0
16,6	325	8,3	98,5
18,2	326	25,7	98,5
19,2	327	44,4	98,5
20,0	328	64,0	98,5
20,7	329	84,35	98,5
21,1	330	105,25	268

Cuadro N° 4.16. Características físicas del embalse Sandillal

Area (RA) Miles de m ²	Elevación (RE) msnm	Cap. de almacenamiento (RS) Miles de m ³	Cap. de salida (RQ) m ³ /seg
0	62	0	0
180	80	1.099	150
785	94	6.960	900
850	95	7.810	1.200
914	96	8.661	1.700

4.5.3. Características de las plantas de energía Corobicí y Sandillal

- Capacidad (P1,2)

Planta Corobicí : capacidad instalada de 174.000 KW.

Planta Sandillal : capacidad instalada de 32.000 KW.

- Nivel de agua turbinada (P1,5)

Corobicí : nivel promedio de desfoge 93 msnm

Sandillal : nivel promedio de desfoge 56 msnm

- Factor de planta (FP)

Los valores de energía promedio mensual utilizados son similares a los especificados en el cuadro N° 4.13. En el cuadro N° 4.17. se presentan los factores de planta obtenidos para las plantas hidroeléctricas Arenal y Corobicí.

Cuadro N° 4.17. Valores del factor de planta para Arenal y Corobicí.

EMB	FACTOR DE PLANTA											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ARE	0,564	0,642	0,659	0,672	0,546	0,398	0,361	0,334	0,297	0,263	0,355	0,423
COR	0,574	0,652	0,674	0,692	0,568	0,425	0,392	0,359	0,311	0,283	0,361	0,435

4.5.4. Variables de puntos de control para datos hidrológicos en los embalses Santa Rosa y Sandillal

- Caudal máximo de salida (CP,2)

Embalse Santa Rosa : 270 m³/seg

Embalse Sandillal : 1.700 m³/seg

- Tránsito de avenidas (RI)

Para los embalses, Santa Rosa y Sandillal, se obtuvo los siguientes resultados:

$$X = 0$$

$$P = 720 \text{ hrs}$$

$$K = 360 \text{ hrs}$$

4.5.5. Especificaciones para las variables de series temporales

- Inicio de caudales en la serie de tiempo (BF)

El número de caudales usado para el análisis del sistema fue:

152 para la modelación histórica en serie

90 para la recuperación del embalse Arenal con el sistema

- Caudales mensuales (IN)

El caudal promedio mensual estimado para el embalse Santa Rosa fué de 1,34 m³/seg, asimismo sus caudales mensuales afluentes se muestran en el cuadro N° 4.18.

Cuadro N° 4.18. Caudales mensuales de entrada al embalse Santa Rosa (m³/seg)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	1,120	0,767	0,689	0,613	0,476	0,669	0,996	1,170	2,180	4,280	3,400	2,140
1981	1,920	1,040	0,599	0,453	0,867	3,120	1,970	2,110	3,030	2,440	2,430	1,830
1982	1,120	0,873	0,695	0,620	0,862	1,250	2,430	2,120	1,150	2,840	1,860	1,020
1983	1,210	0,491	0,200	0,173	0,477	0,598	0,733	0,771	0,873	1,510	2,030	1,040
1984	0,916	0,656	0,618	0,520	0,465	0,558	0,715	1,400	3,520	2,810	1,760	1,030
1985	0,830	0,818	0,646	0,513	0,582	1,350	2,340	2,790	3,250	3,750	3,990	1,840
1986	1,140	0,770	0,858	0,734	1,360	3,000	1,560	1,910	2,230	3,100	1,310	1,020
1987	0,716	0,523	0,415	0,366	0,399	0,455	0,578	1,070	0,957	2,190	1,090	1,010
1988	0,957	1,020	0,448	0,391	0,665	0,657	1,080	3,120	3,480	3,360	2,430	2,540
1989	1,560	0,834	0,664	0,509	0,679	0,809	0,708	1,710	2,720	2,810	2,670	2,100
1990	1,190	0,779	0,588	0,512	0,515	0,879	1,350	1,810	1,200	2,410	2,400	1,550
1991	1,010	0,803	0,719	0,646	0,679	0,798	1,570	2,400	1,760	2,420	1,570	1,260
1992	0,881	0,706	0,597	0,531	0,537	0,661	0,722	1,070	1,080	1,930	1,260	1,450
1993	1,370	0,742	0,512	0,435	0,426	0,536	0,907	1,310	2,280	1,550	1,220	0,953
1994	0,732	0,630	0,616	0,581	0,480	0,460	0,510	0,760	0,740	2,300	1,300	1,800
1995	0,920	0,650	0,580	0,560								
PROM	1,100	0,756	0,590	0,510	0,442	1,096	1,261	1,769	2,122	2,671	2,101	1,485

4.6. Modelación histórica del sistema Arenal - Corobicí

La energía firme promedio obtenida mediante la modelación para el sistema fue de 126.240 MWH, asimismo en el cuadro N° 4.19. se presentan los valores de energía mensual del sistema (SM), obtenidos en la modelación inicial y óptima. Los archivos de entrada y salida utilizados para obtener los resultados anteriores, se muestran en los cuadros N° 8.13. y 8.14. del apéndice.

Cuadro 4.19. Valores de energía (SM) inicial y firme para el sistema Arenal - Corobicí

VES	VALORES DE GENERACION MENSUAL (MWH)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	142.911	145.566	166.597	165.774	139.150	99.229	94.498	87.009	73.256	68.764	87.189	106.811
2	157.249	160.168	183.310	182.405	153.110	109.183	103.976	95.736	80.607	75.664	95.938	117.529

VES = Archivos de valores de energía para el sistema.

1 = Valores de energía para el archivo inicial de modelación histórica en serie.

2 = Valores de energía para el archivo con el que se consiguió la energía firme.

Una comparación gráfica de las energías generadas por el ICE y la modelada para el sistema Arenal - Corobicí se presentan en las figuras N° 4.13. y 4.14.

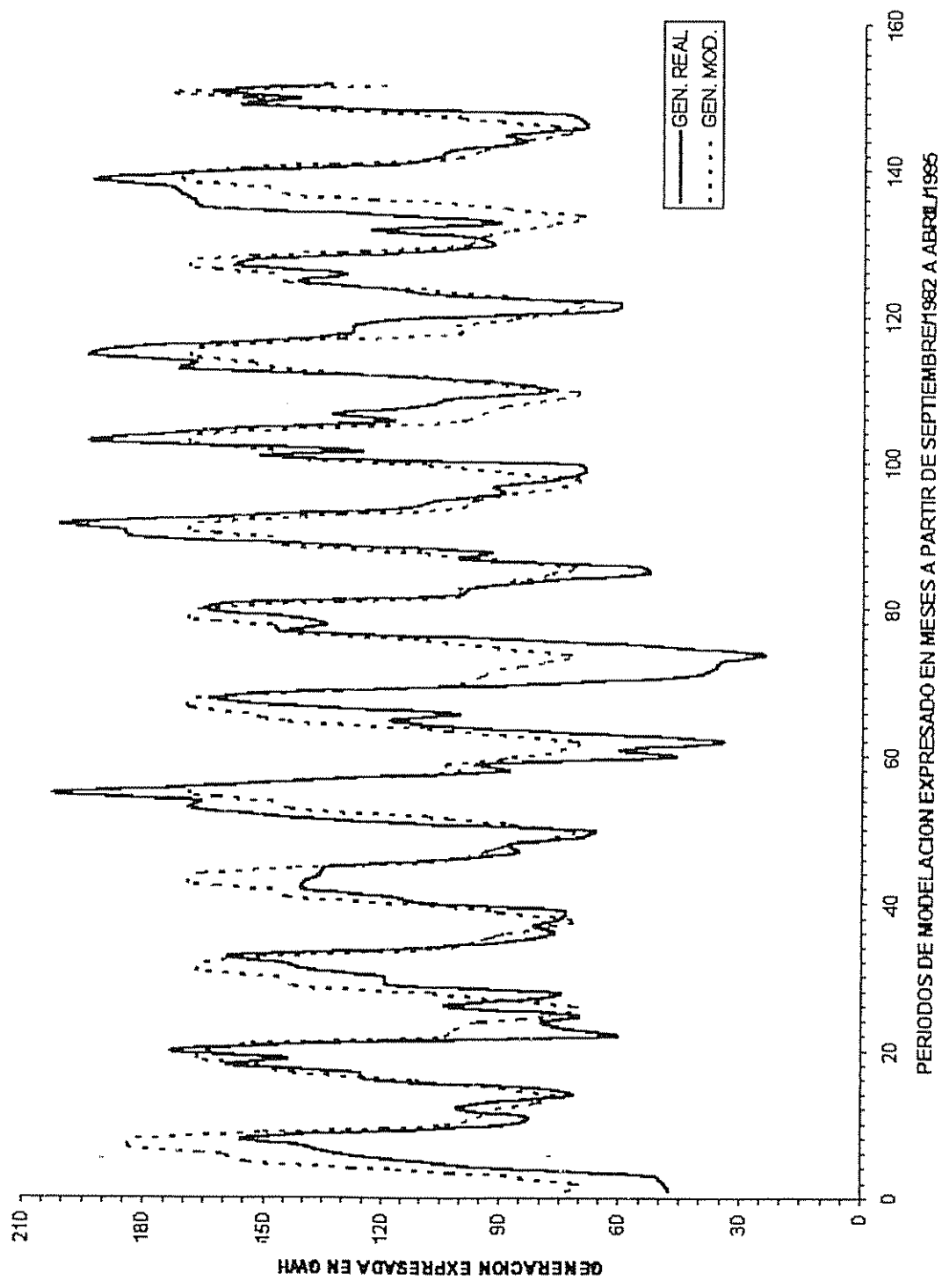


Figura N° 4.13. Comparación de la generación realizada por el ICE y la modelada con HEC-5 para el sistema Arenal - Corobicí

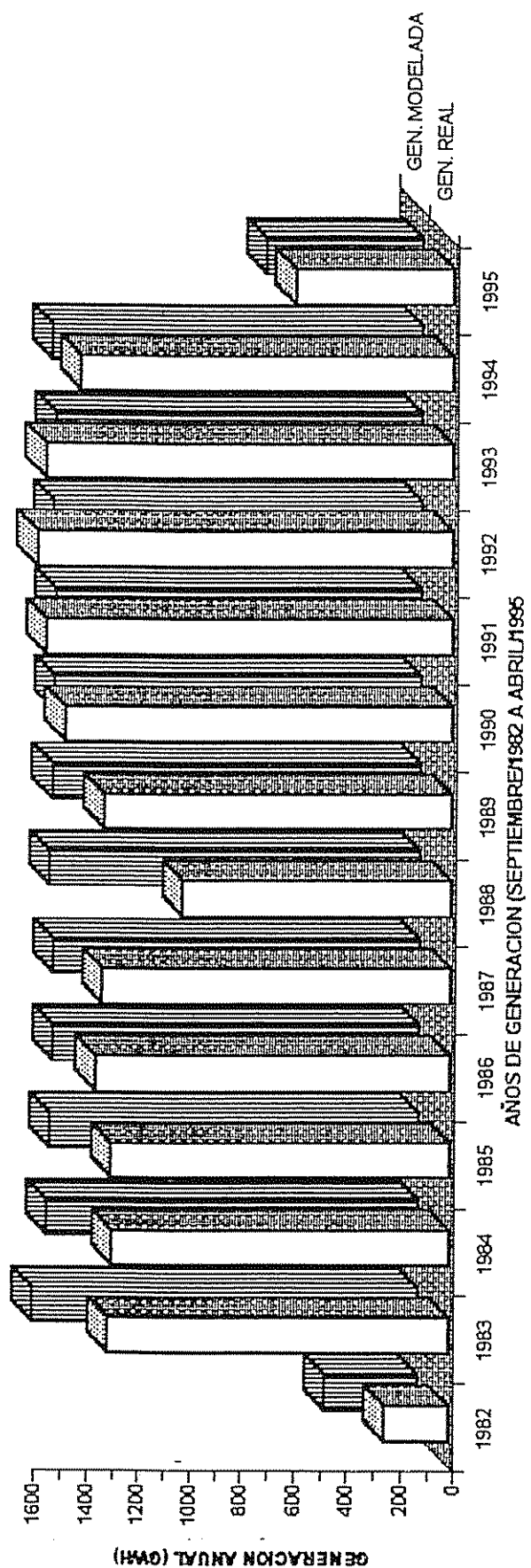


Figura N° 4.14. Comportamiento de la generación anual realizada por el ICE y la modelada para el sistema Arenal - Corobici

4.7. Modelación del sistema para recuperación del nivel útil en el embalse Arenal

La generación promedio obtenida para el embalse Arenal por cada escenario, en la recuperación del nivel útil se muestran en el cuadro N° 4.20, y su presentación gráfica se muestra en la figura N° 4.21. Los valores de energía firme del sistema (SM) obtenidos para cada escenario y caudales promedio utilizados en la modelación en serie se presentan en los cuadros N° 4.21. y 4.22.

Cuadro N° 4.20. Escenarios y generación promedio para la recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema

ESC	PERIODOS (meses)	ENERG. REDUCIDA (%)	DURACION	GEN. PROMEDIO (MWH)	GRADIENTE (MWH/MES)
1	26	40	jul/95 - ago/97	28.885	
2	29	30	jul/95 - nov/97	33.008	1374,3
3	39	25	jul/95 - sep/98	36.595	358,7
4	42	18	jul/95 - dic/98	38.704	703
5	52	15	jul/95 - oct/99	40.495	179
6	66	10	jul/95 - dic/2000	42.960	176

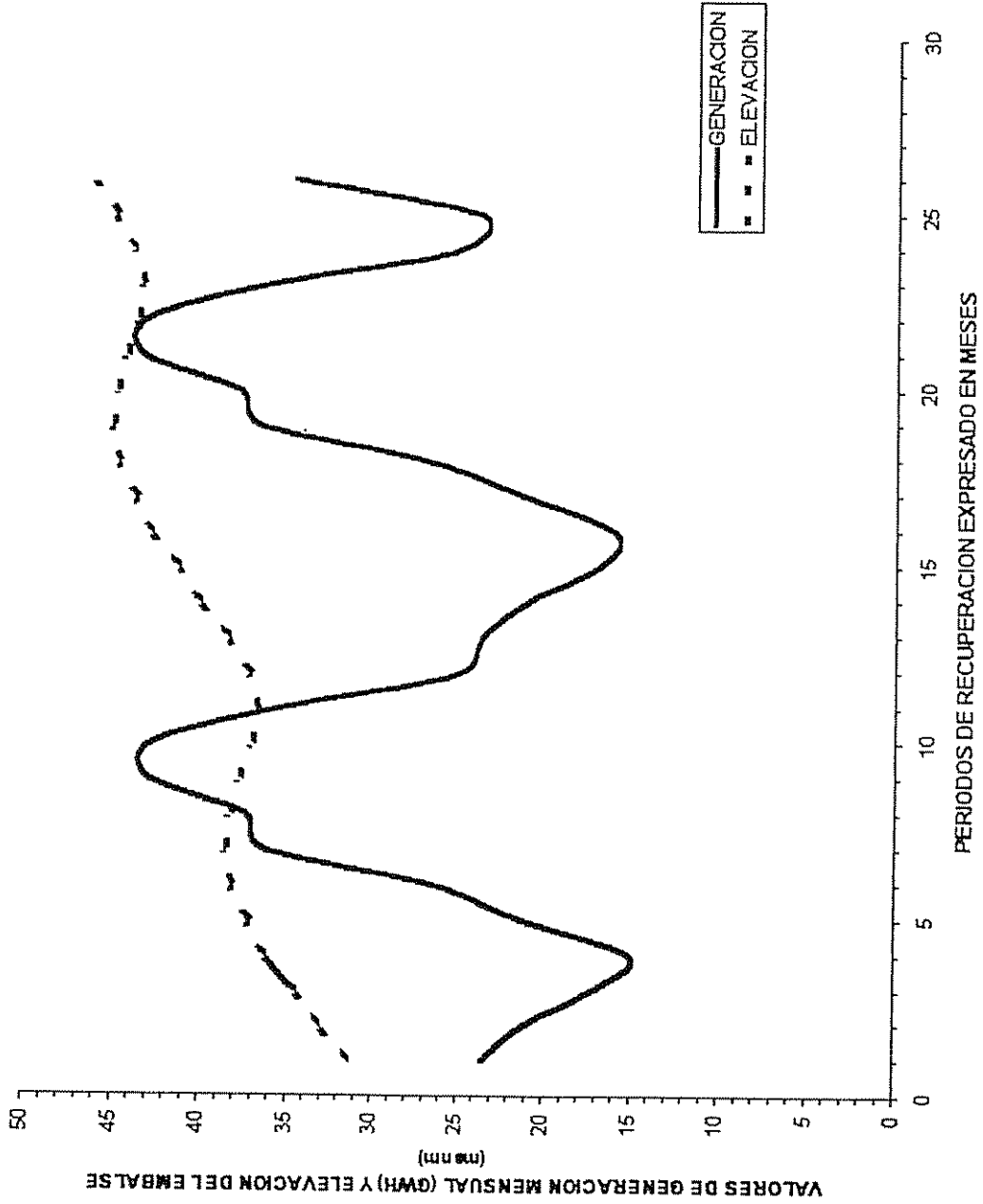
Cuadro N° 4.21. Energía firme mensual del sistema (SM) para cada escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

ESC	GENERACION MENSUAL EN (MWH)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	85.747	87.340	99.958	99.464	83.490	59.537	56.699	52.205	43.954	41.258	52.313	64.087
2	100.038	101.896	116.618	116.042	97.405	69.460	66.149	60.906	51.279	48.135	61.032	74.768
3	107.183	109.175	124.948	124.331	104.363	74.422	70.874	65.257	54.942	51.573	65.392	80.108
4	117.187	119.364	136.610	135.935	114.103	81.368	77.488	71.347	60.070	56.386	71.495	87.585
5	121.474	123.731	141.607	140.908	118.278	84.345	80.323	73.958	62.268	58.449	74.111	90.789
6	128.620	131.009	149.937	149.197	125.235	89.306	85.048	78.308	65.930	61.888	78.470	96.130

Cuadro N° 4.22. Caudal promedio mensual para los embalses del sistema (m³/Seg)

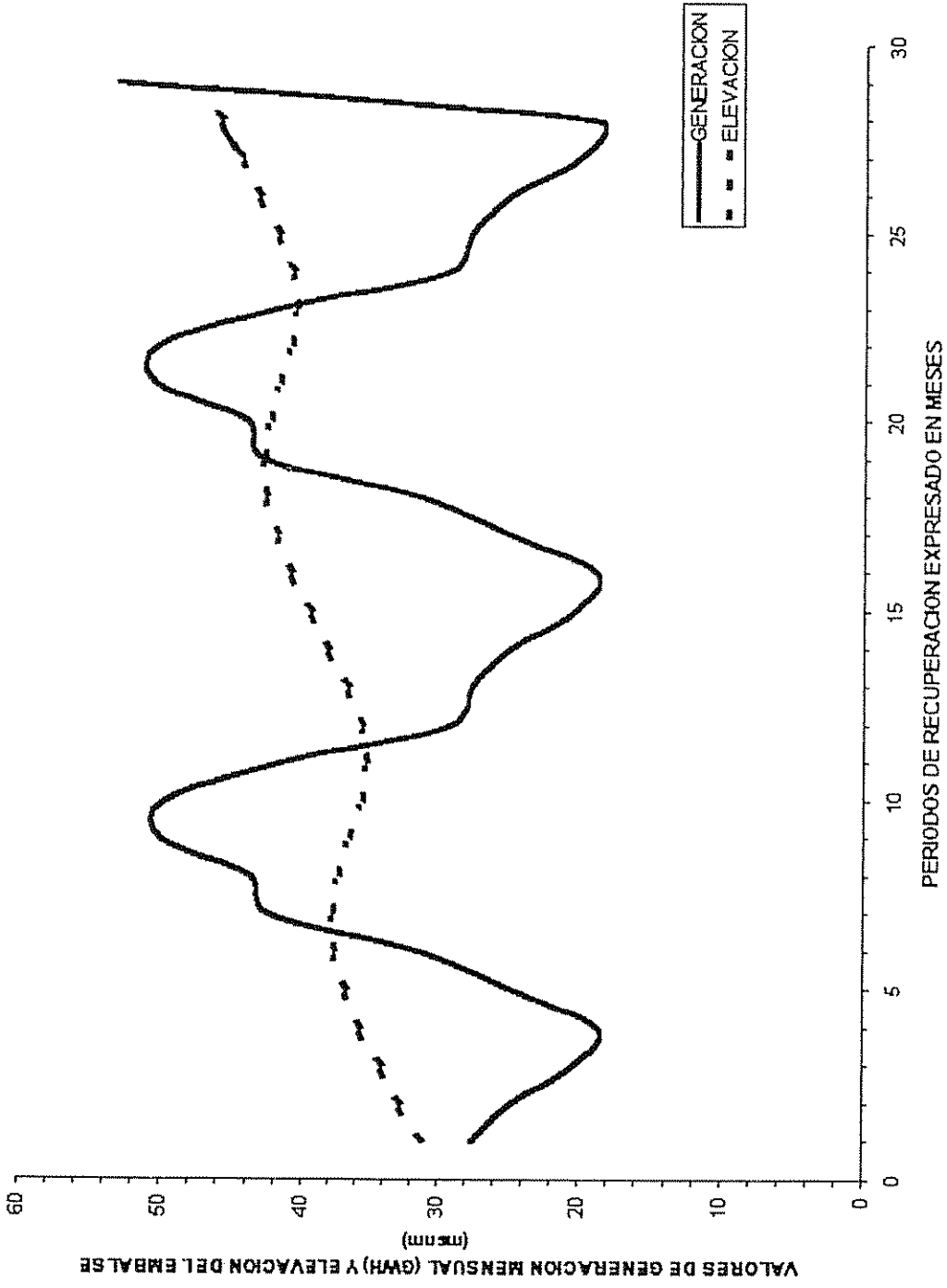
EMB	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AREN	39,55	28,42	22,30	16,08	22,09	34,93	55,48	65,95	56,51	62,98	51,95	52,30
CORO	1,100	0,756	0,590	0,510	0,642	1,096	1,261	1,769	2,122	2,671	2,101	1,485
SAND	0,914	0,691	0,315	0,348	0,531	0,612	0,718	1,220	2,638	2,526	1,299	1,245

Un archivo tipo utilizado en la recuperación del nivel útil y su respectiva salida se presentan en los cuadros N° 8.15 y 8.16 del apéndice, correspondiente al primer escenario. Asimismo los resultados de la modelación para los restantes escenarios se presentan en los cuadros N° 8.17 al 8.21 del apéndice. Una presentación gráfica de los anteriores resultados se muestran en las figuras N° 4.15 a 4.20.



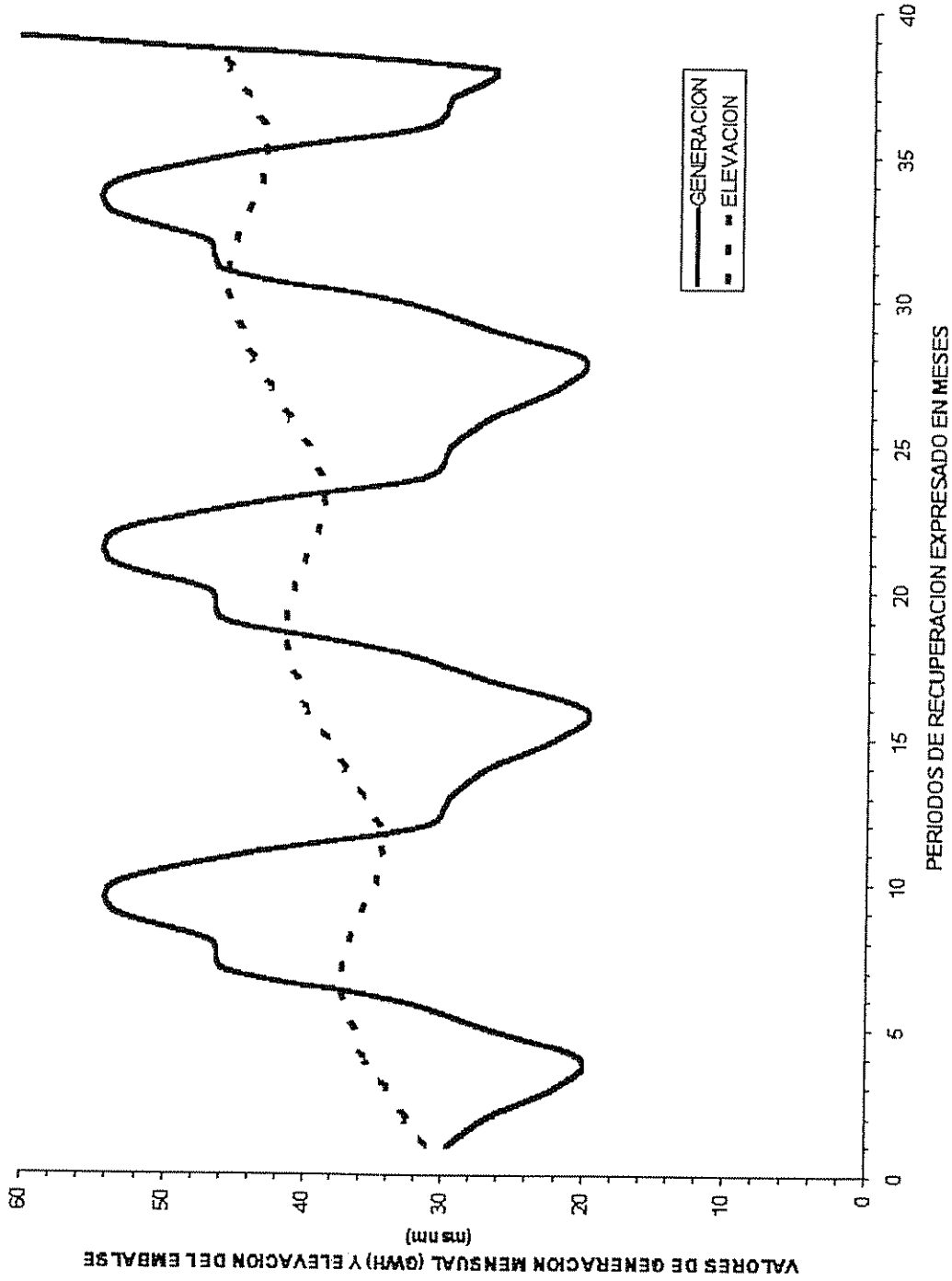
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.15. Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, primer escenario



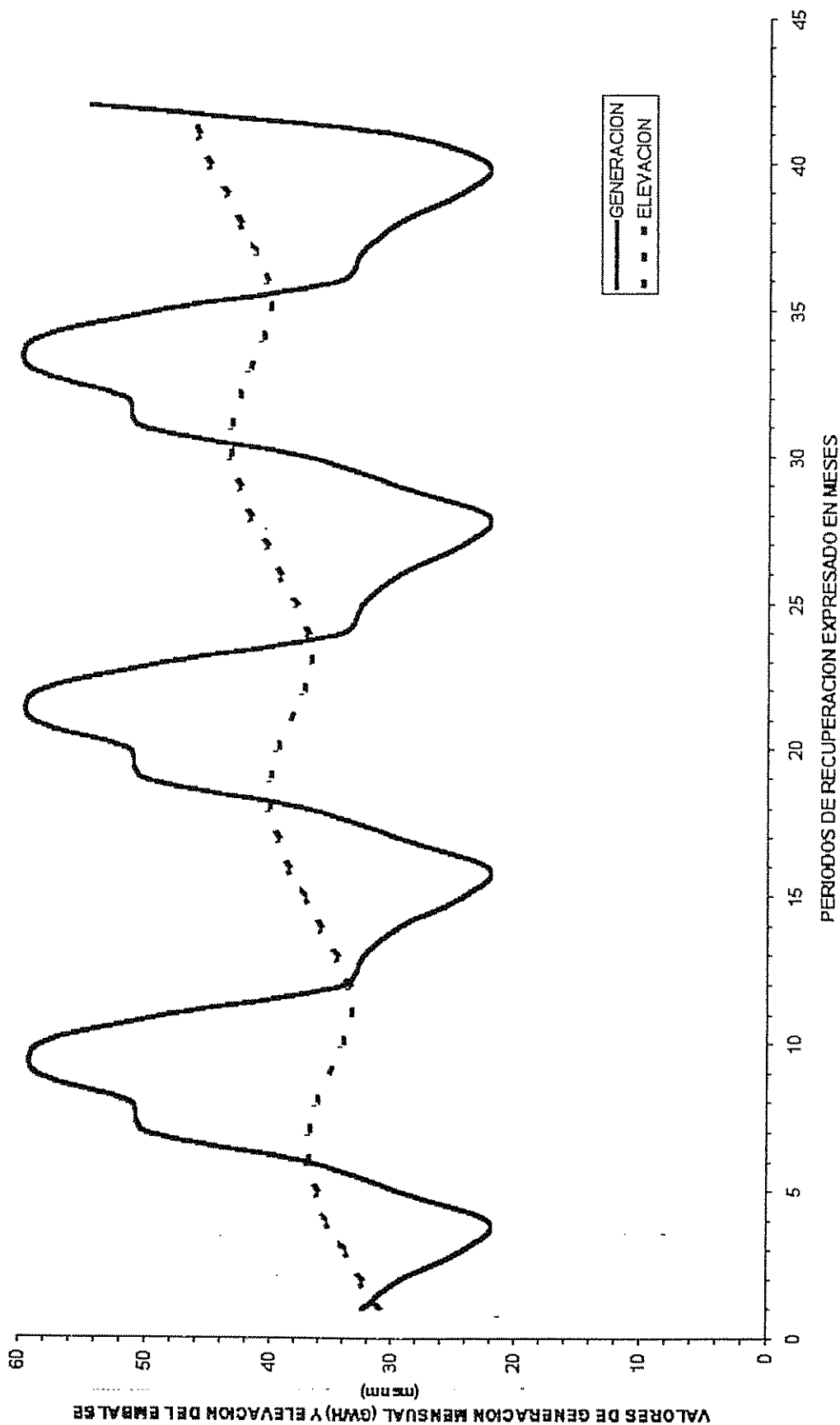
Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m

Figura N° 4.16. Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, segundo escenario



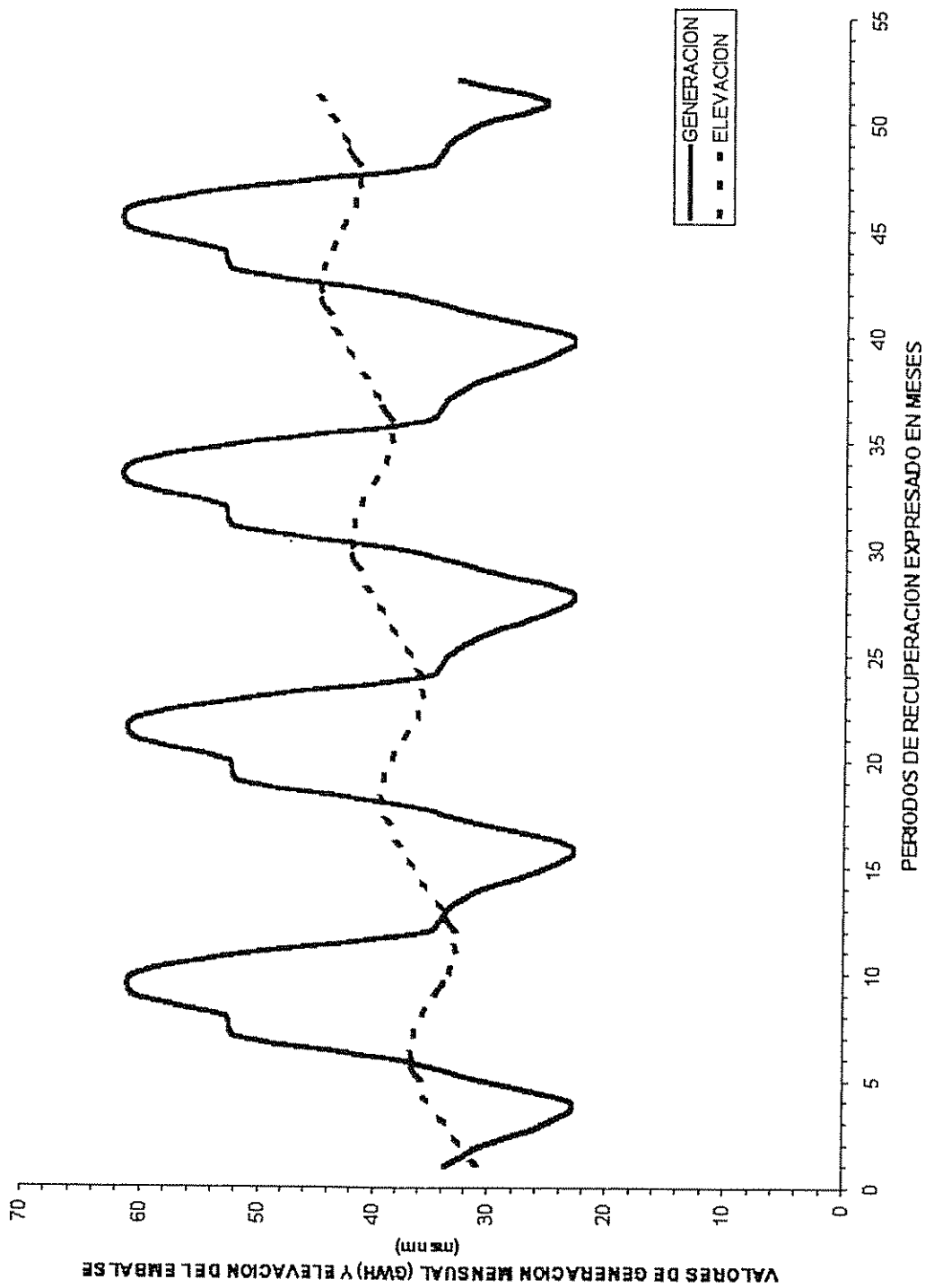
Nota : Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m

Figura N° 4.17. Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, tercer escenario



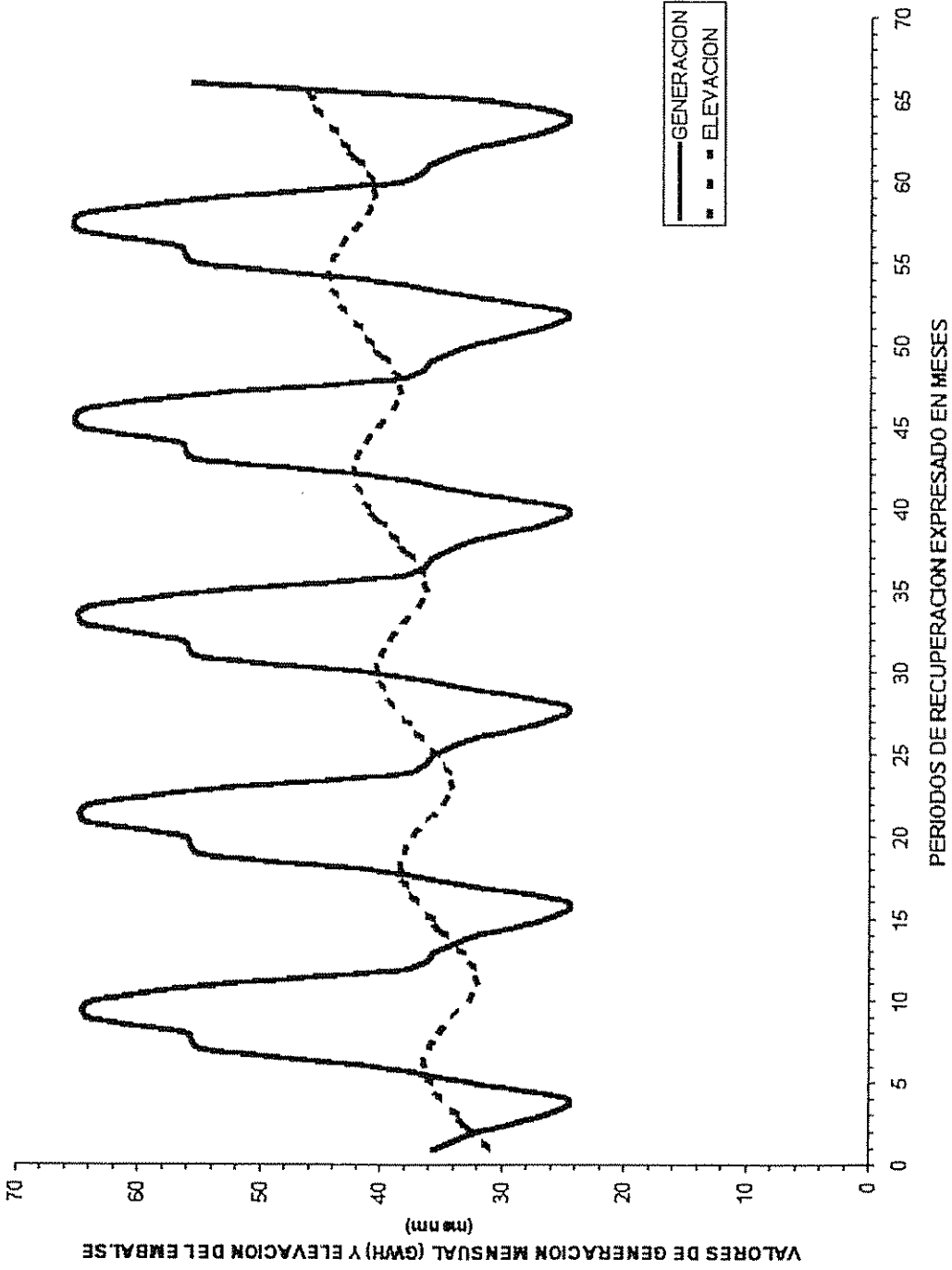
Nota : Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m

Figura N° 4.18. Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, cuarto escenario.



Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m

Figura N° 4.19. Recuperación del nivel tñfl en el embalse Arenal con el sistema, quinto escenario



Nota: Para la interpretación en los valores de altura se debe adicionar 500 m.

Figura N° 4.20. Recuperación del nivel útil en el embalse Arenal con el sistema, sexto escenario

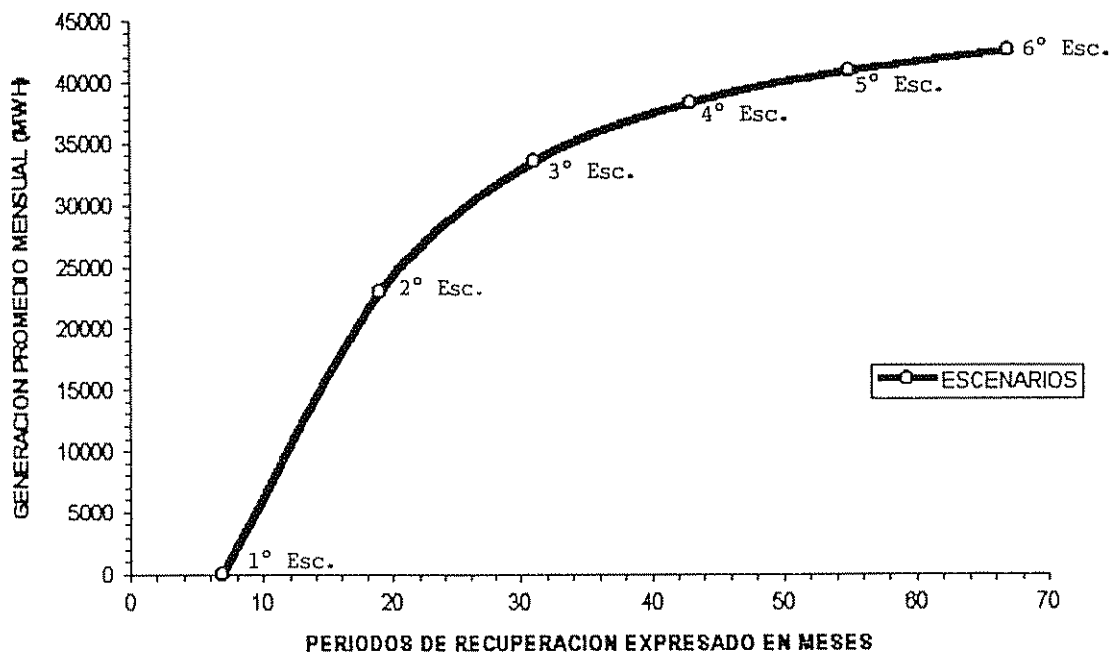


Figura N° 4.21. Comparación entre generación y periodos de recuperación para el embalse Arenal en forma aislada

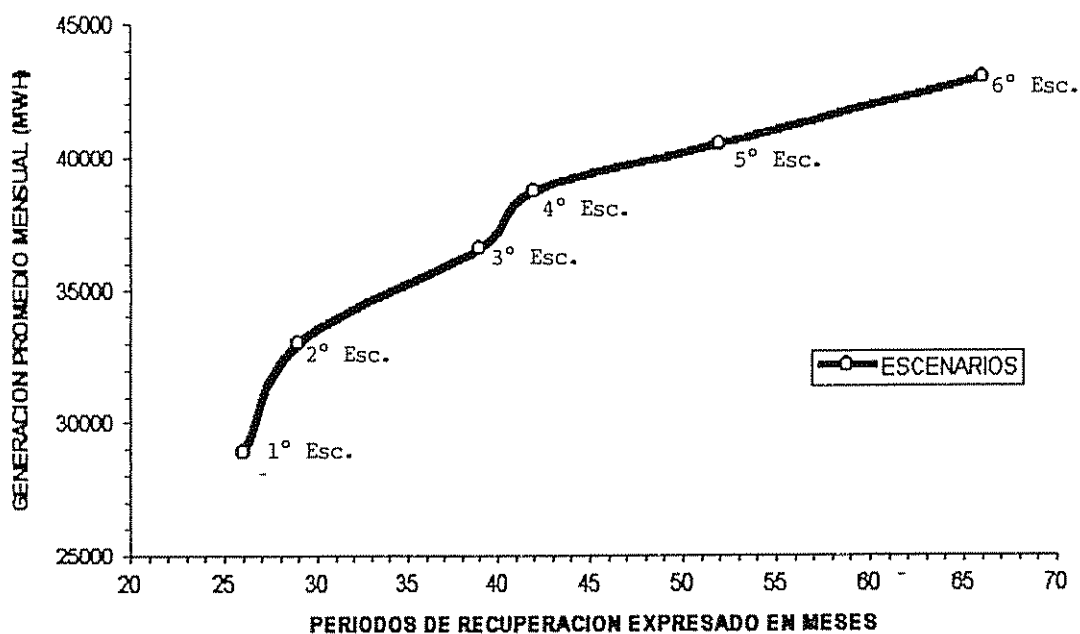


Figura N° 4.22. Comparación entre generación y periodos de recuperación para el embalse Arenal operando con el sistema

4.8. Coeficientes estadísticos

Los coeficientes obtenidos para la modelación histórica en forma aislada y en serie para el embalse Arenal se presentan en el cuadro N° 4.23.

Cuadro N° 4.23. Coeficientes estadísticos para la modelación del embalse Arenal

TIPO DE ANALISIS	COEF. DE NASH-SUTCLIFFE	COEF. DE EFICIENCIA
ARENAL AISLADO	0,685	0,684
SISTEMA ARENAL - COROBICI	0,665	0,664

5. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Variables básicas

- Evaporación neta

Como se especificó en la metodología (3.2.1.) no se tomó en cuenta la precipitación, debido a que ya viene incluida en la estimación de caudales, para no duplicar esta variable de entrada y obtener resultados que no estén acordes a la realidad de la operación del embalse. Sin embargo, los datos de evaporación deben tener una serie histórica bastante prolongada para poder representar la variabilidad de este factor en el embalse, sobre todo en la cuenca Arenal donde se tiene influencias climáticas del Pacífico y del Caribe. En el presente estudio se utilizaron dos estaciones (Sangregado y Nueva Tronadora) que tienen tanques de evaporación clase A, con una longitud de registro de 14 años y 16 años, respectivamente. Esta longitud se considera representativa para los efectos del estudio propuesto ya que la ubicación de las mismas, sitio de presa y poblado de Nueva Tronadora, cubren los dos tipos de clima que existen en la cuenca.

De los resultados obtenidos (Figura N° 4.1.) podemos apreciar que 384 mm (34,1%) de la evaporación abarca los meses de marzo a mayo que coincide con la época seca en la cuenca y una disminución relativa en los meses de noviembre y diciembre con 147 mm (13%), los restantes meses, junio a octubre y enero a febrero, tienen un valor similar de evaporación promedio, con un total de 595 mm (52,9%). La anterior distribución de evaporación puede estar influenciada por los tipos de clima que predominan en cada estación (Cuadro N° 4.1.), así podemos apreciar que en la

estación Nueva Tronadora, vertiente del Pacífico, la evaporación tiene una diferenciación bien marcada entre los meses de diciembre a junio y de julio a noviembre, no ocurriendo lo anterior en la estación Sangregado, vertiente del Caribe, donde los valores de evaporación son relativamente bajos y similares durante el año.

Para tener una mejor representatividad de la evaporación sobre el área del embalse se debe incrementar el número de tanques clase "A" en las estaciones circundantes al lago y así representar mejor la variabilidad de la evaporación.

- Niveles de operación

En cuanto a los valores utilizados para esta variable, se considera que son adecuados para el embalse Arenal (cuadro N° 4.3.) ya que son los volúmenes con los que el ICE está operando en la actualidad. Sin embargo, el nivel de amortiguamiento coincide con el nivel inactivo por lo que podría tener un valor de almacenamiento mayor, debido a que normalmente no debe coincidir con el nivel inactivo y más bien debe estar en función de las demandas de energía que tiene el sistema durante las diferentes épocas del año (HEC, 1990).

Lo anterior indica que debe definirse el nivel de amortiguamiento que tendrá el embalse, para así poder determinar en forma exacta cuales son los niveles de operación con los que cuenta el sistema hidroeléctrico Arenal y así tener una mejor visión sobre el manejo del embalse.

- Características físicas del Embalse Arenal

La información sobre las características físicas (cuadro N° 4.4.) para el embalse puede que haya sufrido modificaciones principalmente en lo que respecta al área y volumen debido a procesos de sedimentación que se tiene en la cuenca, pero en general el ICE considera que la sedimentación aún no es significativa debido a que el embalse es reciente y la cuenca presenta áreas con coberturas (forestal y pastos) bastante significativas, especialmente en la vertiente del Caribe. En consecuencia se considera que la información utilizada es confiable, ya que fue obtenida de las curvas Área - Elevación - Volumen originales.

- Características de la planta de energía

Los resultados obtenidos de la eficiencia de la planta Arenal (acápite 4.1.3.) se pueden considerar generales y simplificados, debido a que no se dispuso de suficiente información como para realizar un estudio más detallado de esta variable y por lo extenso o voluminoso que resultaría su cálculo, ya que se debería realizar a través de un análisis diario o incluso horario.

Sin embargo el resultado obtenido de 0.85 es bastante similar al que viene por omisión dentro del modelo HEC-5 (0,86), por lo que se considera que el valor obtenido está dentro de las limitaciones anteriores y es aceptable para los propósitos de modelación realizados.

La eficiencia de las plantas Corobicí y Sandillal en los archivos de entrada para la modelación en serie, se tomó el valor por omisión del programa, debido a las consideraciones anteriores.

- Tránsito de avenidas

El tránsito de avenidas para modelación de embalses con HEC-5, con intervalos de tránsito superior a las veinticuatro horas, semanales o mensuales, normalmente no es utilizado (Bonner, 1987). Aún así se hizo una estimación aproximada del tiempo de recorrido de la onda, basado en la velocidad media del flujo cuyos resultados obtenidos de 720 horas para el embalse Arenal (acápite 4.1.4.) y de 360 horas para los embalses Santa Rosa y Sandillal (acápite 4.5.4) considerado despreciable debido a las dimensiones reducidas de los embalses, solo son usados como una orientación en la modelación de los embalses. Se pudo evidenciar también, que estos valores utilizados en el tránsito de avenidas no tuvieron influencia en los resultados obtenidos.

- Datos de caudales

Los registros de caudales, trece años para el embalse Arenal (cuadro N°4.5) y doce años y ocho meses para el embalse Santa Rosa (cuadro N° 4.18), se consideran lo

suficientemente extensos como para simular adecuadamente el comportamiento del embalse Arenal operando en forma aislada y en serie. La anterior aseveración se la realiza en base a los requerimientos que tiene el modelo HEC-5, donde el mínimo periodo de registro debe ser de diez años (HEC- 1982).

Asimismo es importante mencionar que conforme existan nuevos datos de caudales, se debe actualizar los archivos de entrada del modelo para lograr una mejor calibración del mismo en el futuro.

En cuanto a los valores promedios de caudales utilizados en las modelaciones de recuperación del nivel útil (cuadros N° 4.5. y 4.22) pueden ser considerados como aceptables, sin embargo es deseable que en futuros trabajos similares se utilicen metodos estadísticos para predecir caudales de entrada.

En forma general podemos concluir que los parámetros iniciales fueron obtenidos con bastante confiabilidad y precisión, además permitieron iniciar acertadamente el proceso de modelación en sus diferentes etapas y a la vez resultaron ser una importante referencia a la hora de evaluarlo y tomar decisiones sobre los resultados obtenidos. En base a lo anterior podemos decir que el modelo HEC-5 es bastante asequible a las condiciones de las cuencas del trópico desde el punto de vista de la recolección y disponibilidad de la información de entrada.

5.2. Modelación histórica

Los resultados obtenidos de la distribución de energía para el embalse Arenal (cuadro N° 4.7.) para el periodo de operación analizado, refleja que el 55,6% de la producción se concentra en los meses de enero a mayo con una generación promedio de 70,25 GWH, correspondiendo al periodo seco y que el 44,4% se distribuye en los meses de junio a diciembre con un promedio de generación de 40,07 GWH en la época húmeda. Esto refleja la evidente función reguladora del embalse al almacenar en el periodo húmedo y producir relativamente poco, dejando que las plantas a filo de agua produzcan a su máxima capacidad, durante este periodo. Sucede lo contrario en el periodo seco donde el embalse produce una mayor cantidad de energía supliendo el

déficit de las plantas a filo de agua. Lo anterior demuestra la importancia estratégica y la enorme importancia económica que tiene el embalse Arenal en la producción de energía hidroeléctrica para Costa Rica.

- Análisis de idoneidad

El análisis de idoneidad realizado para el embalse Arenal (Figura N° 4.2.) desde el punto de vista energético, refleja que el modelo HEC-5 simula adecuadamente la operación histórica ya que la diferencia entre los valores promedio de energía generada por el ICE, 52,651 GWH, y la obtenida con la modelación, 52,350 GWH (cuadro N°4.8.), se estima en un 0,57%. Lo anterior es corroborado si comparamos los niveles obtenidos al final de la modelación, 529,42 msnm (cuadro N° 8.3.), con el nivel mínimo de operación histórica del ICE que alcanza a los 529,34 msnm, teniendo una diferencia de ocho centímetros que es mínima comparada con las dimensiones que tiene el embalse Arenal.

Los resultados descritos anteriormente reflejan que el ICE no ha operado con criterio de energía firme, pues hasta la actualidad no se ha alcanzado el nivel mínimo de operación que está en la cota 522 msnm.

- Análisis histórico

Los resultados de la modelación de energía firme para el embalse Arenal en forma aislada (cuadro N° 4.8.) presentan un valor promedio de energía de 53400 MWH que es muy semejante al valor promedio generado por el ICE (52651 MWH) con una diferencia del 1,40%, lo cual indicaría que la operación, en forma general, del embalse fué realizada de manera eficiente. Sin embargo si analizamos la evolución histórica de la generación (figuras N°4.3. y 4.4.) se observa que los primeros ocho años (96 periodos) hubo una tendencia a la subutilización del embalse, excepto en el periodo comprendido entre noviembre de 1986 y marzo de 1987, lo que condujo a un desperdicio del agua con una pérdida de volumen aprovechable. A partir de este momento se tiende a una sobreproducción en la capacidad de generación del embalse durante los siguientes cinco años, lo que condujo a una significativa reducción en los niveles del embalse, situación que ha provocado preocupación en las autoridades del

ramo y a establecer una política de austeridad que se ve reflejada en la producción del último año donde existe una subutilización del embalse.

Si consideramos el sistema Arenal - Corobici en la modelación histórica tenemos que la producción firme promedio obtenida es de 126240 MWH (acápite 4.6.), la cual es mayor en un 10,4% que la producción real generada por el ICE que tiene un valor promedio de 113119 MWH (acápite 4.5.1.), lo que indicaría que la operación llevada a cabo por el sistema, para el periodo de análisis, no ha sido con criterio de energía firme. Esta aseveración se ve corroborada por el comportamiento histórico de la generación mensual (figuras N° 4.13. y 4.14.) que presenta características similares a las descritas para el embalse Arenal en forma aislada, subutilización en los primeros ocho años y sobre utilización en los cinco últimos años.

Asimismo, la energía firme obtenida en ambos procesos de modelación, arenal aislado y en serie, es mayor que la energía real, esto puede ser debido a la longitud del periodo analizado, ya que es relativamente corto como para determinar con certeza la energía firme, por lo que se podría estar sobre o subestimando la misma.

Los resultados obtenidos con los coeficientes estadísticos (cuadro N° 4.23.) nos muestran una mínima diferencia (0,02) entre el análisis histórico del Arenal en forma aislada y con el sistema, obteniéndose un promedio de 0,67 para ambos análisis, estos valores se consideran bajos debido a que se está comparando dos procesos de generación de naturaleza distinta principalmente por que la modelación se la realizó con el criterio de encontrar la energía firme.

En base a lo discutido anteriormente podemos indicar que la conducta de la operación hidroeléctrica histórica, en forma general, para el sistema Arenal - Corobici es controlada por el embalse Arenal y depende esencialmente del manejo que se de al mismo y a la protección que se le brinde a la cuenca.

5.3. Modelación para la recuperación del nivel útil

En esta etapa de la modelación se determinó el periodo de tiempo y nivel de producción necesario para recuperar el nivel máximo (546 msnm) en el embalse

Arenal. Cabe resaltar que el déficit de energía originado por este proceso debe ser suplido por plantas térmicas, por lo que se hace necesario un estudio económico para definir la situación óptima. Sin embargo, aquí se realiza una recomendación preliminar de tipo puramente técnico.

-Proyecto Arenal aislado

Como se observa en el cuadro N° 4.9. en el primer escenario, sin producción energética, el periodo de recuperación es de 7 meses y no es suficiente para recuperar el embalse alcanzando un nivel máximo de 541,8 msnm (Cuadro N° 8.6.), aspecto que lo podemos apreciar en la figura N° 4.5., por consiguiente no es posible recuperar el embalse en una sola estación lluviosa.

Las generaciones obtenidas para el segundo y tercer escenario (figuras N° 4.6. y 4.7.) se consideran bajas, con un 56,3% y 36,1% menos que la generación promedio histórica del ICE (52651MWH), sin embargo, los periodos de recuperación son relativamente cortos, 19 y 31 meses, respectivamente (Cuadro N° 4.9.) .

El cuarto, quinto y sexto escenario se consideran técnicamente los más apropiados desde el punto de vista energético (Cuadro N°4.9.), ya que se aproximan más a la generación promedio realizada por el ICE, y la distribución mensual de la energía es relativamente uniforme con respecto a los periodos de tiempo (figuras N° 4.8 a 4.10.). Sin embargo, aquí las limitantes son las gradientes de energía principalmente para el quinto y sexto escenario, donde los incrementos de energía son relativamente pequeños (219 y 140 MWH/Mes), comparados con los incrementos que se obtienen en el cuarto escenario (385,3 MWH/Mes); y la segunda limitante es el periodo de tiempo (12 meses) que tienen estos dos últimos escenarios para obtener dichos incrementos de energía.

En base al análisis anterior y tomando en cuenta la generación promedio para cada escenario (figura N° 4.21.), la gradiente de energía y periodos de recuperación (cuadro N° 4.9.) podemos indicar que posiblemente el escenario más adecuado y la generación óptima de recuperación del nivel máximo del embalse Arenal se sitúa en el cuarto escenario (38.271 MWH y 43 periodos) debido a que los incrementos en energía

a partir de este escenario, con respecto al quinto y sexto, son mínimos y significativamente altos con respecto al segundo y tercer escenario, si los comparamos con la generación histórica del ICE, asimismo la reducción energética a incurrir con este escenario es del 27,3% con respecto a la producida por el ICE.

- Arenal con el sistema

La modelación en serie para la recuperación del nivel máximo fue un proceso interactivo donde a medida que los valores de generación mensual para el sistema eran reducidos los periodos de recuperación disminuían. Es así que los más representativos, para esta etapa de la modelación, se presentan en el cuadro N° 4.20, donde los periodos de recuperación abarcan desde los 26 a 66 meses.

En el mencionado cuadro podemos observar que la gradiente de energía obtenida para el cuarto escenario (703 MWH/Mes) es significativamente alta si la comparamos con las gradientes del tercer (358,7 MWH/Mes), quinto (179 MWH/Mes) y sexto (176 MWH/Mes) escenario, sucediendo lo contrario si la comparamos con el segundo escenario (1374 MWH/Mes).

Al analizar el primer, segundo y tercer escenario, vemos que presentan periodos de recuperación relativamente cortos (26,29 y 39 periodos), pero los valores promedios de energía son bastante bajos en la generación del embalse Arenal con respecto al promedio del ICE (52651 MWH) y los valores de energía reducidos al sistema son significativos (40%, 30% y 25%), situación que influye de manera directa en las plantas generadoras de Corobici y Sandillal. Asimismo, la distribución de la energía mensual y recuperación del nivel máximo (figuras N° 4.15 a 4.17) es menos homogénea comparado con los últimos escenarios, ya que los hidrogramas presentan curvas de ascenso y descenso bastante irregulares.

A diferencia de lo descrito anteriormente, al analizar la distribución de la energía (figuras N° 4.18, a 4.20), en el cuarto, quinto y sexto escenario y tomando en cuenta sus valores promedios de energía (cuadro N°4.20), observamos que son los que más se aproximan a la generación promedio del ICE, sin embargo la limitante principal es la duración de los periodos de recuperación, principalmente en el quinto y

sexto escenario (66 y 52 meses), considerados bastantes prolongados y la recuperación del nivel es más lenta.

Tomando en cuenta los aspectos anteriores y comparando principalmente las generaciones promedio, los periodos de recuperación y gradientes de energía para cada escenario propuesto (figura N° 4.22.) podemos afirmar que el escenario óptimo de recuperación del embalse Arenal operando en serie se halla ubicado en el cuarto escenario con una generación promedio de 38704 MWH, una duración de 42 meses y una disminución de energía del 26,4% con respecto a la generación histórica del ICE.

En forma general si comparamos los resultados obtenidos para los escenarios considerados óptimos en la recuperación del nivel máximo del embalse Arenal modelado en forma aislada y en serie, estos coinciden en el número de periodos de recuperación, los valores promedio de energía mensual difieren mínimamente y la reducción a incurrir en energía es similar en ambos casos.

5.4. Análisis del proceso de optimización

El rango de valores de energía promedio mensual (cuadro N°4.11.) utilizados para el presente análisis se considera que cubren un rango aceptable para poder establecer comparaciones técnicas sobre las dimensiones del embalse Arenal desde el punto de vista energético.

De los resultados obtenidos por el proceso de modelación (cuadro N° 4.12.) podemos apreciar en forma general, que el incremento del volumen útil entre los 40.000 y 48.000 MWH de generación promedio es relativamente pequeño, sucediendo lo contrario a partir de esta generación donde los incrementos del volumen útil en el embalse son bastante significativos.

Si comparamos el almacenamiento útil obtenido con la generación histórica del ICE (1.487.466 m³) con respecto al volumen útil teórico del ICE (2.330.000 - 549.668) que tiene un valor de 1.780.332 m³, existe una diferencia del 16,45% menos de volumen capaz de almacenar el embalse Arenal. Sin embargo, si comparamos el volumen de 1.653.241m³ obtenido con la energía firme (53.400 MWH), observamos que

obtenemos una diferencia del 7,12% con respecto al volumen teórico utilizado por el ICE. Lo anterior nos indica que el embalse es capaz de almacenar una mayor cantidad de agua, aún por encima de la estimada con la energía firme histórica. Este aspecto nos podría conducir a realizar una conclusión preliminar de que el embalse Arenal esta sobredimensionado, desde el punto de vista energético.

Comparando los resultados obtenidos de la relación incrementos de energía con los incrementos de volumen (Cuadro N° 4.12.), se observa que la producción de Kwh/m³ entre las generaciones de 42.000 a 50.000 MWH, con incrementos relativamente pequeños en volumen se obtiene valores significativamente superiores de energía (59,90 a 8,37 Kwh/m³), con respecto a los obtenidos con incrementos de energía superior y volúmenes útiles altos (4,81 a 4,27 Kwh/m³). Esto nos demuestra que a medida que el embalse aumenta en su capacidad de almacenamiento pierde eficiencia en la producción hidroeléctrica.

Analizando en forma gráfica los resultados obtenidos en el análisis de optimización (figuras N° 4.11 y 4.12.) podemos observar que la operación aislada del embalse Arenal, indica que para generaciones promedio mensuales por debajo de los 51 GWH los incrementos en volumen y altura por unidad de energía en el embalse no son significativos, mientras que valores superiores a los 51 GWH obligan a elevados incrementos en el volumen de conservación y por consiguiente a un aumento significativo en la elevación máxima del embalse.

Sin embargo, los análisis realizados anteriormente no se consideran suficientes como para establecer criterios técnicos sobre las dimensiones adecuadas del embalse, ya que se requiere considerar todo el sistema en serie para obtener resultados mas acordes a la realidad. Lamentablemente el modelo HEC-5 no tiene la capacidad de optimizar en forma automática un sistema en serie, sin embargo este análisis de optimización se podría realizar utilizando el modelo en forma manual, pero sería un proceso demasiado lento y complicado que no está dentro de los objetivos planteados para el presente estudio.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. A través de la simulación con el uso del modelo HEC-5 se logró cumplir los objetivos propuestos de analizar críticamente la operación histórica del embalse Arenal. Además se pudo establecer criterios técnicos que permitan un manejo adecuado del embalse para su recuperación y operación futura, con criterio de energía firme.
- 6.2. Dada la versatilidad, facilidad de manejo y requerimientos accesibles de información de entrada, el modelo HEC-5, puede ser utilizado con bastante seguridad en el análisis de la operación de embalses con fines hidroeléctricos en las cuencas del trópico centroamericano.
- 6.3. La conducta de la operación hidroeléctrica histórica para el sistema Arenal - Corobicí - Sandillal es controlada y depende esencialmente del criterio de operación que se realice en el embalse Arenal.
- 6.4. La energía firme obtenida en los procesos de modelación histórica, para un periodo de 13 años demostró que es superior a la real, sin embargo el periodo de análisis considerado es relativamente corto, para la determinación de la energía firme.
- 6.5. El análisis histórico del embalse Arenal modelado en forma aislada y en serie demostró que este ha sido subutilizado durante ocho años y sobreutilizado durante cinco años.
- 6.6. La modelación histórica del embalse Arenal y del sistema demostró que no existió una operación con el criterio de energía firme, subutilizando en 1,4% la capacidad de generación, analizando la planta Arenal en forma aislada y un 10,4% analizando el sistema. Situación que ha llevado a subutilizar la capacidad de almacenamiento del embalse Arenal.

- 6.7. Desde el punto de vista técnico los periodos de recuperación para el embalse Arenal para iniciar la operación óptima basada en la energía firme, son de 42 meses con una generación promedio mensual de 38704 MWH, implicando una reducción del 26,4% de la generación mensual histórica.
- 6.8. El análisis de optimización de la relación volumen - energía, para el embalse Arenal en forma aislada indica que está sobredimensionado en su capacidad de almacenamiento con respecto a la energía que produce, pero para poder probar lo anterior se hace necesario analizar todo el sistema en serie.

RECOMENDACIONES

- Se debe implementar en un futuro inmediato un programa de protección a la cuenca del Arenal para evitar la sedimentación y, en consecuencia, la pérdida de la capacidad de regulación y producción energética del embalse Arenal, debido principalmente al cambio de uso de la tierra que está sufriendo la cuenca, especialmente las áreas ubicadas en la vertiente del Atlántico, donde se presenta un mayor impacto de deforestación.
- Se debe establecer un nivel de amortiguamiento para el embalse Arenal, debido a que el ICE no ha demostrado intenciones de llegar al nivel mínimo, con la finalidad de optimizar la capacidad energética del mismo, sugiriendose el nivel mínimo alcanzado durante su periodo histórico (530 msnm).
- El ICE debe implementar una política de operar el embalse Arenal con criterio de energía firme o en su caso redimensionar su plan de operación, elevando el nivel mínimo del embalse, lo que reduciría la energía firme del mismo.
- En futuros trabajos de modelación de embalses con HEC-5, se debe incorporar la capacidad de análisis económico que tiene el modelo, ya sea en modelación para el control de inundaciones, como también en la determinación de beneficios a obtener con la generación de energía firme y secundaria.

7. BIBLIOGRAFIA

- APARICIO MIJARES, F. J. 1989. Fundamentos de hidrología de superficie. Sistemas Editoriales Técnicos. México, D.F., Ed. Limusa. 291p.
- ARGUELLO RODRIGUEZ, G. E. 1992. Modelación hidrológica continua en tiempo real de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 128 p.
- ATKINS, J. B.; WHITE, R. K. 1989. Assessment of HEC-5 aplicability in the savannah river basin. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. Paper no 892010. 9 p.
- BERGSTRÖM, S. 1992. The HBV model: its structure and applications. SMHI reports hydrology no. 4. 32 p.
- BONNER, V. R. 1980. Aplicacion of the HEC-5 hydropower routines. Davis, California, HEC. T.D. no. 12. 43 p.
- CARR, D.P.; UNDERHILL, H.W. 1974. Los métodos de simulación en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Roma, Italia, FAO: Estudio sobre riego y avenamiento no. 23. 42 p.
- CAMPOS ARANDA, D.F. 1987. Hidrología superficial aplicada Vol I. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 290 p.
- CHEREQUE, W. 1989. Hidrología para ingenieros civiles. Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 223 p.
- CHOW, V. T. 1964. Handbook of applied hydrology: A compendium of water - resources technology. New York, EE.UU., McGraw Hill. 1369 p.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988. Applied hydrology. Ed. por B. J. Clark; J. Morris, New York, EE.UU., McGraw Hill. 572 p.
- CLARKE, R. T. 1973. Mathematical models in hydrology. FAO: Irrigation and drainage Paper no. 19. 282 p.
- DOORENBOS, J. 1976. Estaciones agrometeorológicas. FAO: Estudio riego y drenaje no. 27. 112 p.
- FERRER VELIZ, E. 1994. Cuencas: Aproximación al análisis de los sistemas hidrográficos. Ed. por FUDECO. Caracas, Venezuela. 95 p.
- FIERING, M. B.; HARRINGTON, J. J.; de LUCIA, R. J. 1971. Water resources system analysis. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Canada. Paper no. 3. 12 p.
- FLEMING, G. 1979. Deterministic models in hydrology. FAO: Irrigation and drainage paper no. 32. 80 p.

- FREDRICH, J. A. 1981. Hydroelectric power analysis in reservoir system. HEC: Technical paper no. 24. 17 p.
- GEREZ, V.; GRIJALVA, M. 1976. El enfoque de sistemas. D. F. , México, Editorial Limusa. 580 p.
- HÄGGSTROM, M.; LINDSTRÖM, G.; COBOS, C.; GRANADOS, J.; MARTINEZ, J. R. 1990. Application of the HBV model for flood forecasting in six central american rivers. SMHI reports hydrology no. 27. 72 p.
- HEC-5. 1982. Simulation of flood control and conservation systems. Users Manual. HEC. Davis, California. 112 p.
- HEC-5. 1989. Simulation of flood control and conservation systems: Exhibit 8 of users manual-input description. HEC. Davis, California. 117 p.
- HEUVELDOP, J.; PARDO, J.; QUIROS, S.; ESPINOZA, L. 1986. Agroclimatología tropical. San José, C.R. Ed. EUNED. 394 p.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 1980. Hidrologic engineering methods for water resources development: reservoir yield. HEC. Davis, California. vol.8. 80p.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 1985. Water supply simulation using HEC-5. Davis, California, HEC. T.D. no. 20. 55 p.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 1991. Optimization of multiple - purpose reservoir system operations: A review of modeling and analysis approaches. Davis, California, HEC. R.D. no. 34. 83 p.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1978. Modelo de simulación hidrológica para el río Arenal. Costa Rica. 48 p.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1984. Informe climático de la zona circundante al embalse de Arenal. Costa Rica. 31 p.
- JOHANSSON, B.; PERSSON, M.; SANDBERG, G.; ROBLES, E. 1985. Aplicación del modelo HBV a la cuenca del lago de Arenal en Costa Rica. C.R. ICE- SMHI hydrology/oceanografi no. 28. 31 p.
- LINSLEY, R. E.; FRANZINI, J. B. 1970. Ingeniería de los recursos hidráulicos. Trad. por Guillermo Fernández Lara. 3 ed. New York, EE.UU., McGrawHill. 572 p.
- LINSLEY, R. K.; KHOLER, M. A.; PAULHUS, J. L. 1993. Hidrología para ingenieros. Trad. por Alejandro Deeb, Jaime Ordoñez y Fabio Castrillón. 2 ed. D. F., México, McGraw - Hill Book. 386 p.
- MAIDMENT, D. R. 1993. Handbook of hydrology. New York, EE.UU., McGraw Hill. 1350 p.
- MATA, A.; QUEVEDO, F. 1994. Diccionario didáctico de ecología. San José, C.R, Ed. Universidad de Costa Rica. 396 p.

- MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES ENERGIA Y MINAS. 1993. Plan general del uso de la tierra, Tomo II: Presentación y antecedentes. San José, C.R. 37 p.
- MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES ENERGIA Y MINAS. 1993. Plan general del uso de la tierra, Tomo I: Proyecto de conservación y desarrollo Arenal; síntesis, diagnóstico y pronósticos sectoriales. San José, C.R. 118 p.
- MONTALDO, P. 1985. Agroecología del trópico americano. 1a. reimpresión. San José, Costa Rica, IICA. 203 p.
- PARRA, J. J. 1974. Un caso de programación dinámica aplicado a embalses de propósito múltiple con fines de ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas. Tesis Mag. Sc. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes. 182 p.
- PETERSEN, M. S. 1984. Water resource planning and development. Washington, EE.UU., Ed. Prentice-Hall. 316 p.
- ROBERSON, J. A.; CASSIDY, J. J.; CHAUDHRY, M. H. 1988. Hydraulic engineering. Ed. por Houghton Mifflin Company, Boston. 370 p.
- ROGERS, P. P.; FLEMING, M. B. 1986. Use of systems analysis in water management. Water Resources Research (EE.UU.) 22(9): 146-158.
- SARAVIA, A. 1985. Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. 1a reimpresión. San José, Costa Rica, IICA. 245 p.
- SOLIS, H. 1993. Impacto de la sedimentación en la productividad hidroeléctrica del embalse Cerrón Grande de El Salvador. In Semana Científica. Manejo Integrado de Recursos. Turrialba, C.R. p. 127-129.
- STEPHENSON, D.; PETERSEN, M. 1991. Water resources development in developing countries. Ed. Elsevier Science Publishers B.V. New York. 289 p.
- TRUEBA CORONEL, S. 1980. Hidráulica. 18va. reimpresión. D.F., México, Ed. continental 451 p.
- TOSI, J. 1980. Estudio ecológico integral de las zonas de afectación del proyecto Arenal. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica. 475 p.
- VISSMAN, W.; LEWIS, G. L.; KNAP, J. W. 1989. Introduction to hydrology. 3ed. New York, EE.UU., Harper & Row. 752 p.
- VILLON, M. G. 1983. Diseño de capacidad de embalses por el método experimental teoría del range. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 308 p.
- WILSON, E. M. 1986. Engineering hydrology. 3ed. New Jersey, EE.UU., Macmillan. 780 p.

8. A P E N D I C E

Cuadro N° 8.3. Archivo de salida para el análisis de idoneidad, en el embalse Arenal

USERS 1 USER DESIGNED OUTPUT

		SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1												
LOC		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COD		1 090	1.100	1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220	1.210	1.250			
PER	DY	MO	YR	DW	INFLOW	OUTFLOW	CASE	LEVEL	ENER. R	ENER. G	EOP STOR	EOPELEV	EVAP	PEAK CAP
1	1	6	82	1	28,6	35,6	0,1	2,56	44602	44602	1637116	536,31	2,62	167398
2	1	7	82	1	75,9	32,34	0,1	2,62	42089	42089	1647737	537,7	2,26	157398
3	1	8	82	1	73,2	29,72	0,1	2,68	38948	38948	1757657	539,09	2,44	167398
4	1	9	82	1	43,2	26,14	0,1	2,7	33295	33295	1795149	539,56	2,6	157398
5	1	10	82	1	82,8	23,26	0,1	2,79	30782	30782	1947783	541,39	2,56	167398
6	1	11	82	1	57,9	31,2	0,1	2,82	40205	40205	2011100	542,14	2,27	157398
7	1	12	82	1	49,6	36,7	0,1	2,84	48999	48999	2039190	542,48	2,41	167398
8	1	1	83	1	69,4	49,31	0,1	2,86	65961	65961	2085487	543,03	2,81	157398
9	1	2	83	1	27,2	55,68	0,1	2,82	67217	67217	2008671	542,11	3,32	167398
10	1	3	83	1	28,8	57,6	0,1	2,77	76640	76640	1920485	541,07	4,08	157398
11	1	4	83	1	17,3	69,38	0,1	2,7	76012	76012	1799869	539,62	4,45	157398
12	1	5	83	1	20,3	48,26	0,1	2,66	63448	63448	1715794	538,56	3,43	157398
13	1	6	83	1	24,5	35,18	0,1	2,64	44602	44602	1681122	538,12	2,7	157398
14	1	7	83	1	48,6	32,12	0,1	2,66	42089	42089	1719068	538,6	2,31	157398
15	1	8	83	1	45,9	29,66	0,1	2,68	38948	38948	1755995	539,07	2,45	157398
16	1	9	83	1	39,2	26,15	0,1	2,69	33295	33295	1783099	539,41	2,59	157398
17	1	10	83	1	67,8	23,3	0,1	2,76	30782	30782	1896473	540,78	2,55	167398
18	1	11	83	1	54,2	31,3	0,1	2,79	40205	40205	1948983	541,41	2,26	157398
19	1	12	83	1	29,4	36,89	0,1	2,77	48999	48999	1922550	541,1	2,38	157398
20	1	1	84	1	46,5	49,72	0,1	2,76	65961	65961	1906558	540,91	2,75	157398
21	1	2	84	1	28	56,24	0,1	2,72	69617,6	69617,61	1827958	539,97	3,13	157398
22	1	3	84	1	21,8	58,24	0,1	2,66	76640	76640	1719722	538,61	3,97	157398
23	1	4	84	1	13,8	60,12	0,1	2,58	76012	76012	1588525	536,96	4,3	157398
24	1	5	84	1	17,9	48,89	0,1	2,53	63448	63448	1496672	535,8	3,3	157398
25	1	6	84	1	32,5	35,63	0,1	2,52	44602	44602	1481828	535,81	2,6	167398
26	1	7	84	1	45,9	32,52	0,1	2,54	42089	42089	1511696	535,99	2,22	157398
27	1	8	84	1	79,7	29,95	0,1	2,61	38948	38948	1638556	537,59	2,38	157398
28	1	9	84	1	74,6	26,26	0,1	2,68	33295	33295	1757207	539,08	2,56	157398
29	1	10	84	1	67,9	23,33	0,1	2,74	30782	30782	1869782	540,47	2,53	157398
30	1	11	84	1	51,1	31,35	0,1	2,77	40205	40205	1915143	541,01	2,25	157398
31	1	12	84	1	58,9	36,88	0,1	2,8	48999	48999	1967750	541,63	2,38	157398
32	1	1	85	1	44	49,6	0,1	2,78	65961	65961	1945335	541,37	2,77	157398
33	1	2	85	1	44,2	56,05	0,1	2,76	67217	67217	1908761	540,93	3,27	167398
34	1	3	85	1	28,6	57,93	0,1	2,71	76640	76640	1819409	539,87	4,03	157398
35	1	4	85	1	13	59,76	0,1	2,64	76012	76012	1686870	538,2	4,37	157398
36	1	5	85	1	19,4	48,59	0,1	2,59	63448	63448	1599671	537,1	3,36	157398
37	1	6	85	1	43,1	35,38	0,1	2,6	44602	44602	1612814	537,26	2,65	157398
38	1	7	85	1	50,6	32,25	0,1	2,62	42089	42089	1655846	537,81	2,28	157398
39	1	8	85	1	43,2	29,78	0,1	2,64	38948	38948	1685297	538,18	2,42	157398
40	1	9	85	1	45,9	26,25	0,1	2,66	33295	33295	1729587	538,73	2,56	157398
41	1	10	85	1	32,9	23,44	0,1	2,67	30782	30782	1748224	538,97	2,5	157398
42	1	11	85	1	-42,4	31,6	0,1	2,69	40205	40205	1770521	539,25	2,2	157398

Cuadro N° 8.3. Continuación

43	1	12	85	1	28,2	37,27	0,1	2,67	48999	48999	1740006	538,87	2,32	157398
44	1	1	86	1	27,6	50,33	0,1	2,63	65961	65961	1671993	538,01	2,67	157398
45	1	2	86	1	21	57,06	0,1	2,68	67217	67217	1577229	536,81	3,11	157398
46	1	3	86	1	20,4	59,14	0,1	2,51	76640	76640	1463300	535,38	3,8	157398
47	1	4	86	1	15,4	61,07	0,1	2,44	76012	76012	1334288	533,65	4,1	157398
48	1	5	86	1	20,6	49,69	0,1	2,39	63448	63448	1247953	532,48	3,14	157398
49	1	6	86	1	47,3	36,17	0,1	2,4	44602	44602	1270369	532,78	2,48	157398
50	1	7	86	1	59,4	32,94	0,1	2,44	42089	42089	1335513	533,67	2,14	157398
51	1	8	86	1	76,4	30,29	0,1	2,51	38948	38948	1452837	535,25	2,3	157398
52	1	9	86	1	57,5	26,6	0,1	2,55	33295	33295	1526544	536,18	2,47	157398
53	1	10	86	1	68,5	23,66	0,1	2,61	30782	30782	1640123	537,61	2,43	157398
54	1	11	86	1	50,5	31,78	0,1	2,64	40205	40205	1683027	538,15	2,16	157398
55	1	12	86	1	39,2	37,44	0,1	2,64	48999	48999	1681614	538,13	2,29	157398
56	1	1	87	1	34,6	50,48	0,1	2,61	65961	65961	1632010	537,5	2,64	157398
57	1	2	87	1	29,3	57,17	0,1	2,57	67217	67217	1557115	536,56	3,09	157398
58	1	3	87	1	15,8	59,23	0,1	2,49	76640	76640	1430659	534,96	3,78	157398
59	1	4	87	1	16,5	61,2	0,1	2,42	76012	76012	1304234	533,24	4,08	157398
60	1	5	87	1	18,1	49,8	0,1	2,37	63448	63448	1210960	531,97	3,12	157398
61	1	6	87	1	28,9	36,32	0,1	2,36	44602	44602	1185378	531,63	2,46	157398
62	1	7	87	1	48	33,16	0,1	2,38	42089	42089	1219508	532,09	2,1	157398
63	1	8	87	1	63,6	30,56	0,1	2,42	38948	38948	1301985	533,21	2,24	157398
64	1	9	87	1	50,8	26,87	0,1	2,45	33295	33295	1357805	533,97	2,39	157398
65	1	10	87	1	65,2	23,92	0,1	2,61	30782	30782	1462068	536,36	2,36	157398
66	1	11	87	1	46,2	32,14	0,1	2,53	40205	40205	1493083	535,75	2,09	157398
67	1	12	87	1	51,3	37,84	0,1	2,55	48999	48999	1523201	536,13	2,22	157398
68	1	1	88	1	52,8	50,89	0,1	2,55	65961	65961	1521404	536,11	2,58	157398
69	1	2	88	1	54,6	57,45	0,1	2,54	69617,6	69617,6	1506898	535,93	2,94	157398
70	1	3	88	1	25,5	59,37	0,1	2,48	76640	76640	1406128	534,63	3,75	157398
71	1	4	88	1	15,9	61,3	0,1	2,41	76012	76012	1277932	532,89	4,05	157398
72	1	5	88	1	23,6	49,86	0,1	2,36	63448	63448	1199252	531,82	3,11	157398
73	1	6	88	1	27,3	36,35	0,1	2,35	44602	44602	1169453	531,41	2,44	157398
74	1	7	88	1	39,4	33,22	0,1	2,35	42089	42089	1180416	531,56	2,09	157398
75	1	8	88	1	78,2	30,6	0,1	2,42	38948	38948	1301915	533,21	2,23	157398
76	1	9	88	1	76,2	26,82	0,1	2,49	33295	33295	1423683	534,87	2,41	157398
77	1	10	88	1	81,2	23,79	0,1	2,67	30782	30782	1571045	536,74	2,4	157398
78	1	11	88	1	47,4	31,93	0,1	2,59	40205	40205	1605621	537,17	2,14	157398
79	1	12	88	1	83,1	37,48	0,1	2,66	48999	48999	1721697	538,64	2,28	157398
80	1	1	89	1	44,2	50,32	0,1	2,65	65961	65961	1698172	538,34	2,67	157398
81	1	2	89	1	26	66,95	0,1	2,6	67217	67217	1613303	537,27	3,13	157398
82	1	3	89	1	21,7	59	0,1	2,54	76640	76640	1503152	535,88	3,82	157398
83	1	4	89	1	22,4	60,88	0,1	2,47	76012	76012	1392686	534,46	4,14	157398
84	1	5	89	1	22,5	49,49	0,1	2,43	63448	63448	1311878	533,35	3,18	157398
85	1	6	89	1	45,7	36,02	0,1	2,44	44602	44602	1330454	533,6	2,61	157398
86	1	7	89	1	53,5	32,82	0,1	2,47	42089	42089	1380043	534,28	2,16	157398
87	1	8	89	1	56,1	30,26	0,1	2,5	38948	38948	1443067	535,12	2,31	157398
88	1	9	89	1	69	26,59	0,1	2,56	33295	33295	1546598	536,43	2,47	157398
89	1	10	89	1	63,3	23,66	0,1	2,6	30782	30782	1619464	537,35	2,43	157398
90	1	11	89	1	73,5	31,77	0,1	2,66	40205	40205	1722021	538,64	2,17	157398
91	1	12	89	1	42,3	37,34	0,1	2,66	48999	48999	1729125	538,73	2,31	157398
92	1	1	90	1	52,3	50,26	0,1	2,66	65961	65961	1727421	538,71	2,68	157398

Cuadro N° 8.3. Continuación

93	1	2	90	1	27,4	56,84	0,1	2,62	67217	67217	1648584	537,71	3,15	157398
94	1	3	90	1	31,8	58,83	0,1	2,57	76640	76640	1565864	536,67	3,86	157398
95	1	4	90	1	17,7	60,67	0,1	2,5	76012	76012	1443650	535,13	4,18	157398
96	1	5	90	1	35,3	49,26	0,1	2,48	63448	63448	1397610	534,51	3,23	157398
97	1	6	90	1	54,3	35,79	0,1	2,5	44602	44602	1438952	535,07	2,56	157398
98	1	7	90	1	60,9	32,57	0,1	2,54	42089	42089	1508898	535,95	2,22	157398
99	1	8	90	1	74,3	29,97	0,1	2,6	38948	38948	1621267	537,37	2,38	157398
100	1	9	90	1	47,5	26,35	0,1	2,63	33295	33295	1669511	537,98	2,54	157398
101	1	10	90	1	55,2	23,48	0,1	2,67	30782	30782	1747798	538,96	2,49	157398
102	1	11	90	1	53,9	31,57	0,1	2,7	40205	40205	1799959	539,62	2,21	157398
103	1	12	90	1	54,7	37,13	0,1	2,73	48999	48999	1840741	540,13	2,34	157398
104	1	1	91	1	25,4	50,03	0,1	2,68	65961	65961	1767505	539,21	2,71	157398
105	1	2	91	1	31,9	56,69	0,1	2,65	67217	67217	1699871	538,36	3,17	157398
106	1	3	91	1	18,8	58,7	0,1	2,58	76640	76640	1582593	536,88	3,88	157398
107	1	4	91	1	16,5	60,61	0,1	2,51	76012	76012	1457386	536,3	4,2	157398
108	1	5	91	1	27,3	49,25	0,1	2,47	63448	63448	1389939	534,41	3,23	157398
109	1	6	91	1	38,3	35,86	0,1	2,47	44602	44602	1389670	534,41	2,56	157398
110	1	7	91	1	67,9	32,65	0,1	2,52	42089	42089	1478195	535,57	2,2	157398
111	1	8	91	1	83,2	30,01	0,1	2,6	38948	38948	1614321	537,28	2,37	157398
112	1	9	91	1	68,8	26,31	0,1	2,66	33295	33295	1717846	538,59	2,55	157398
113	1	10	91	1	59,9	23,41	0,1	2,71	30782	30782	1808864	539,73	2,51	157398
114	1	11	91	1	64,2	31,43	0,1	2,75	40205	40205	1888013	540,69	2,23	157398
116	1	12	91	1	48,3	36,96	0,1	2,77	48999	48999	1912033	540,97	2,37	157398
116	1	1	92	1	33,1	49,8	0,1	2,74	65961	65961	1859963	540,35	2,74	157398
117	1	2	92	1	22,1	56,42	0,1	2,68	69617,6	69617,6	1766202	539,2	3,11	157398
118	1	3	92	1	23,3	58,45	0,1	2,62	76640	76640	1661531	537,88	3,93	157398
119	1	4	92	1	16,8	60,32	0,1	2,55	76012	76012	1537702	536,32	4,26	157398
120	1	5	92	1	24,4	49,02	0,1	2,51	63448	63448	1462989	535,37	3,28	157398
121	1	6	92	1	24,9	35,73	0,1	2,49	44602	44602	1428253	534,93	2,57	157398
122	1	7	92	1	62,7	32,59	0,1	2,54	42089	42089	1502985	535,88	2,21	157398
123	1	8	92	1	53,7	30,03	0,1	2,57	38948	38948	1560043	536,6	2,36	157398
124	1	9	92	1	51,5	26,44	0,1	2,6	33295	33295	1618499	537,33	2,51	157398
125	1	10	92	1	66	23,53	0,1	2,66	30782	30782	1725617	538,68	2,47	157398
126	1	11	92	1	44,1	31,64	0,1	2,68	40205	40205	1752239	539,02	2,19	157398
127	1	12	92	1	84,2	37,15	0,1	2,74	48999	48999	1871993	540,5	2,34	157398
128	1	1	93	1	42	49,88	0,1	2,73	65961	65961	1843576	540,16	2,73	157398
129	1	2	93	1	21,4	56,47	0,1	2,67	67217	67217	1750978	539	3,21	157398
130	1	3	93	1	22,8	58,5	0,1	2,62	76640	76640	1644847	537,67	3,92	157398
131	1	4	93	1	15,4	60,38	0,1	2,54	76012	76012	1517249	536,06	4,24	157398
132	1	5	93	1	22,3	49,09	0,1	2,5	63448	63448	1436762	535,04	3,26	157398
133	1	6	93	1	33,3	35,76	0,1	2,49	44602	44602	1423729	534,87	2,57	157398
134	1	7	93	1	52,6	32,62	0,1	2,52	42089	42089	1471333	535,48	2,2	157398
135	1	8	93	1	69,5	30,05	0,1	2,57	38948	38948	1570670	536,73	2,36	157398
136	1	9	93	1	65,1	26,39	0,1	2,63	33295	33295	1664461	537,91	2,52	157398
137	1	10	93	1	54,3	23,49	0,1	2,67	30782	30782	1740921	538,87	2,49	157398
138	1	11	93	1	41,2	31,61	0,1	2,68	40205	40205	1759470	539,11	2,2	157398
139	1	12	93	1	36,6	37,27	0,1	2,67	48999	48999	1751186	539,01	2,32	157398
140	1	1	94	1	19,7	50,33	0,1	2,62	65961	65961	1662017	537,88	2,67	157398
141	1	2	94	1	13,3	57,13	0,1	2,56	67217	67217	1548490	536,45	3,1	157398
142	1	3	94	1	13	59,28	0,1	2,49	76640	76640	1414437	534,74	3,77	157398

Cuadro N° 8.3. Continuación

143	1	4	94	1	11,2	61,29	0,1	2,41	76012	76012	1274078	532,83	4,06	157398
144	1	5	94	1	19	49,9	0,1	2,36	63448	63448	1183004	531,59	3,1	157398
145	1	6	94	1	25,4	36,4	0,1	2,34	44602	44602	1148185	531,12	2,43	157398
146	1	7	94	1	55,9	33,22	0,1	2,37	42089	42089	1203346	531,87	2,09	157398
147	1	8	94	1	60,3	30,61	0,1	2,41	38948	38948	1276896	532,87	2,23	157398
148	1	9	94	1	45,3	26,93	0,1	2,43	33295	33295	1318350	533,44	2,37	157398
149	1	10	94	1	63,8	23,98	0,1	2,49	30782	30782	1418738	534,8	2,34	157398
150	1	11	94	1	48,8	32,22	0,1	2,51	40205	40205	1456328	535,29	2,08	157398
151	1	12	94	1	74,2	37,85	0,1	2,56	48999	48999	1547750	536,44	2,22	157398
152	1	1	95	1	22,6	50,94	0,1	2,51	65961	65961	1464952	535,4	2,57	157398
153	1	2	95	1	24	57,78	0,1	2,46	67217	67217	1375983	534,22	3	157398
154	1	3	95	1	17,6	59,93	0,1	2,39	76640	76640	1252840	532,54	3,65	157398
155	1	4	95	1	17,1	61,93	0,1	2,32	76012	76012	1126444	530,82	3,93	157398
156	1	5	95	1	16,5	50,41	0,1	2,27	63448	63448	1027557	529,42	3,01	157398
SUM =					6611,1	6413,13	15,6	402,8	8173776	81773776	*****	83753,5	437,4	24554090
MAX =					84,2	61,93	0,1	2,86	76640	76640	2085487	543,03	4,45	157398
MIN =					11,2	23,26	0,1	2,27	30782	30782	1027557	529,42	2,08	157398
PMAX=					127	155	1	8	10	10	8	8	11	1
AVG =					42,38	41,11	0,1	2,58	52396	52396	1586107	536,88	2,8	157398
PMIN=					143	5	1	156	5	5	156	156	150	1

ERROR

COMPUTER CHECK POSSIBLE ERRORS

FLOOD NUMBER 1

POSSIBLE ERRORS FOUND = 0 ALLOWABLE ERROR CHECK = 50

Cuadro N° 8.4. Archivo de salida de la modelación histórica firme, embalse Arenal

USERS1		USER DESIGNED OUTPUT													
		SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1													
LOC	COD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		1.090	1.100	1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220	1.210	1.250				
PER	DY	MO	YR	DW	INFLOW	OUTFLOW	CASE	LEVEL	ENER R	ENER G	EOPSTOR	EOP ELEV	EVAP	PEAK CAP	
1	1	6	82	1	28,6	36,22	0,1	2,55	46497	46497	1636266	536,29	2,62	167398	
2	1	7	82	1	75,9	32,99	0,1	2,61	42934	42934	1644136	537,66	2,26	157398	
3	1	8	82	1	73,2	30,33	0,1	2,68	39730	39730	1762441	539,02	2,44	157398	
4	1	9	82	1	43,2	26,67	0,1	2,7	33962	33962	1788558	539,48	2,59	157398	
5	1	10	82	1	82,8	23,73	0,1	2,78	31399	31399	1939924	541,3	2,55	167398	
6	1	11	82	1	57,9	31,84	0,1	2,82	41011	41011	2001586	542,03	2,27	157398	
7	1	12	82	1	49,6	37,46	0,1	2,83	49982	49982	2027654	542,34	2,41	157398	
8	1	1	83	1	69,4	50,33	0,1	2,85	67284	67284	2071218	542,86	2,8	157398	
9	1	2	83	1	27,2	56,84	0,1	2,81	68666	68666	1991494	541,91	3,31	167398	
10	1	3	83	1	28,8	58,82	0,1	2,76	78178	78178	1900174	540,83	4,07	157398	
11	1	4	83	1	17,3	60,65	0,1	2,69	77537	77537	1776308	539,32	4,44	167398	
12	1	5	83	1	20,3	49,3	0,1	2,64	64721	64721	1689481	538,23	3,42	157398	
13	1	6	83	1	24,5	35,95	0,1	2,62	45497	45497	1652860	537,77	2,68	167398	
14	1	7	83	1	48,6	32,83	0,1	2,64	42934	42934	1688956	538,22	2,3	157398	
15	1	8	83	1	45,9	30,31	0,1	2,66	39730	39730	1724172	538,67	2,44	167398	
16	1	9	83	1	39,2	26,73	0,1	2,67	33962	33962	1749821	538,99	2,58	157398	
17	1	10	83	1	67,8	23,81	0,1	2,74	31399	31399	1860854	540,37	2,53	167398	
18	1	11	83	1	54,2	31,99	0,1	2,77	41011	41011	1912599	540,98	2,25	157398	
19	1	12	83	1	29,4	37,71	0,1	2,75	49982	49982	1884003	540,64	2,37	157398	
20	1	1	84	1	46,5	50,83	0,1	2,74	67284	67284	1865072	540,42	2,74	157398	
21	1	2	84	1	28	57,51	0,1	2,69	71014,8	71014,8	1783338	539,41	3,11	157398	
22	1	3	84	1	21,8	59,57	0,1	2,63	78178	78178	1671613	538	3,94	157398	
23	1	4	84	1	13,8	61,51	0,1	2,55	77537	77537	1536908	536,31	4,26	157398	
24	1	5	84	1	17,9	50,04	0,1	2,5	64721	64721	1442079	535,11	3,27	157398	
25	1	6	84	1	32,5	36,47	0,1	2,49	45497	45497	1426129	534,89	2,57	167398	
26	1	7	84	1	45,9	33,29	0,1	2,51	42934	42934	1452996	535,25	2,2	157398	
27	1	8	84	1	79,7	30,67	0,1	2,58	39730	39730	1578016	536,82	2,36	167398	
28	1	9	84	1	74,6	26,89	0,1	2,64	33962	33962	1695119	538,3	2,53	157398	
29	1	10	84	1	67,9	23,89	0,1	2,71	31399	31399	1806273	539,7	2,51	167398	
30	1	11	84	1	51,1	32,1	0,1	2,73	41011	41011	1849753	540,23	2,23	157398	
31	1	12	84	1	58,9	37,76	0,1	2,76	49982	49982	1900056	540,83	2,36	157398	
32	1	1	85	1	44	50,79	0,1	2,74	67284	67284	1874515	540,53	2,74	157398	
33	1	2	85	1	44,2	57,41	0,1	2,72	68666	68666	1834730	540,06	3,24	157398	
34	1	3	85	1	28,6	59,35	0,1	2,67	78178	78178	1741687	538,89	3,98	157398	
35	1	4	85	1	13	61,25	0,1	2,59	77537	77537	1605438	537,17	4,31	157398	
36	1	5	85	1	19,4	49,82	0,1	2,54	64721	64721	1515091	536,03	3,31	157398	
37	1	6	85	1	43,1	36,28	0,1	2,55	45497	45497	1526011	536,17	2,61	157398	
38	1	7	85	1	50,6	33,08	0,1	2,57	42934	42934	1566933	536,68	2,24	157398	
39	1	8	85	1	43,2	30,54	0,1	2,59	39730	39730	1594441	537,03	2,39	157398	
40	1	9	85	1	45,9	26,92	0,1	2,61	33962	33962	1637090	537,57	2,52	157398	
41	1	10	85	1	32,9	24,04	0,1	2,62	31399	31399	1654217	537,78	2,46	157398	
42	1	11	85	1	42,4	32,42	0,1	2,63	41011	41011	1674486	538,04	2,16	157398	

Cuadro N° 8.4. Continuación

43	1	12	85	1	28,2	38,25	0,1	2,61	49982	49982	1641475	537,62	2,28	157398
44	1	1	86	1	27,6	51,65	0,1	2,57	67284	67284	1570047	536,72	2,62	157398
45	1	2	86	1	21	58,57	0,1	2,52	68566	68566	1471762	536,49	3,06	157398
46	1	3	86	1	20,4	60,73	0,1	2,45	78178	78178	1353773	533,92	3,72	157398
47	1	4	86	1	15,4	62,76	0,1	2,38	77537	77537	1220613	532,11	4,01	157398
48	1	5	86	1	20,6	51,08	0,1	2,33	64721	64721	1130747	530,88	3,07	157398
49	1	6	86	1	47,3	37,19	0,1	2,34	45497	45497	1160671	531,15	2,42	157398
50	1	7	86	1	59,4	33,87	0,1	2,37	42934	42934	1213451	532,01	2,09	157398
51	1	8	86	1	76,4	31,16	0,1	2,44	39730	39730	1328613	533,58	2,25	157398
52	1	9	86	1	57,5	27,35	0,1	2,48	33962	33962	1400525	534,55	2,41	157398
53	1	10	86	1	68,5	24,32	0,1	2,54	31399	31399	1512480	536	2,38	157398
54	1	11	86	1	50,5	32,68	0,1	2,56	41011	41011	1553202	536,51	2,11	157398
55	1	12	86	1	39,2	38,5	0,1	2,56	49982	49982	1649102	536,46	2,24	157398
56	1	1	87	1	34,6	51,91	0,1	2,53	67284	67284	1495825	535,79	2,58	157398
57	1	2	87	1	29,3	58,81	0,1	2,49	68566	68566	1417147	534,78	3,02	157398
58	1	3	87	1	15,8	60,98	0,1	2,41	78178	78178	1286295	533	3,68	157398
59	1	4	87	1	16,5	63,04	0,1	2,34	77537	77537	1155401	531,22	3,96	157398
60	1	5	87	1	18,1	51,32	0,1	2,29	64721	64721	1058318	529,89	3,03	157398
61	1	6	87	1	28,9	37,44	0,1	2,27	45497	45497	1030040	529,46	2,37	157398
62	1	7	87	1	48	34,19	0,1	2,29	42934	42934	1061601	529,94	2,03	157398
63	1	8	87	1	63,6	31,51	0,1	2,33	39730	39730	1141729	531,03	2,17	157398
64	1	9	87	1	50,8	27,71	0,1	2,36	33962	33962	1195581	531,77	2,31	157398
65	1	10	87	1	66,2	24,66	0,1	2,42	31399	31399	1298048	533,16	2,28	157398
66	1	11	87	1	46,2	33,14	0,1	2,44	41011	41011	1326645	533,55	2,03	157398
67	1	12	87	1	51,3	39,02	0,1	2,45	49982	49982	1353799	533,92	2,15	157398
68	1	1	88	1	52,8	52,48	0,1	2,45	67284	67284	1347963	533,84	2,5	157398
69	1	2	88	1	54,6	59,26	0,1	2,44	71014,8	71014,8	1329151	533,58	2,85	157398
70	1	3	88	1	25,5	61,29	0,1	2,38	78178	78178	1223604	532,15	3,62	157398
71	1	4	88	1	15,9	63,32	0,1	2,3	77537	77537	1090585	530,34	3,9	157398
72	1	5	88	1	23,6	51,53	0,1	2,26	64721	64721	1007789	529,13	2,99	157398
73	1	6	88	1	27,3	37,59	0,1	2,24	45497	45497	976079	528,63	2,33	157398
74	1	7	88	1	39,4	34,36	0,1	2,24	42934	42934	983257	528,76	1,98	157398
75	1	8	88	1	78,2	31,65	0,1	2,31	39730	39730	1102222	530,49	2,14	157398
76	1	9	88	1	76,2	27,72	0,1	2,38	33962	33962	1221887	532,12	2,31	157398
77	1	10	88	1	81,2	24,58	0,1	2,46	31399	31399	1367360	534,1	2,3	157398
78	1	11	88	1	47,4	32,98	0,1	2,48	41011	41011	1399399	534,54	2,05	157398
79	1	12	88	1	83,1	38,72	0,1	2,54	49982	49982	1512383	536	2,2	157398
80	1	1	89	1	44,2	51,99	0,1	2,53	67284	67284	1484645	535,65	2,57	157398
81	1	2	89	1	25	58,87	0,1	2,48	68566	68566	1396443	534,49	3,01	157398
82	1	3	89	1	21,7	61,03	0,1	2,41	78178	78178	1280270	532,92	3,67	157398
83	1	4	89	1	22,4	63,04	0,1	2,35	77537	77537	1164683	531,34	3,96	157398
84	1	5	89	1	22,5	51,27	0,1	2,3	64721	64721	1079501	530,19	3,04	157398
85	1	6	89	1	45,7	37,33	0,1	2,31	45497	45497	1094998	530,4	2,39	157398
86	1	7	89	1	53,5	34,02	0,1	2,33	42934	42934	1141658	531,03	2,06	157398
87	1	8	89	1	56,1	31,36	0,1	2,37	39730	39730	1202011	531,85	2,2	157398
88	1	9	89	1	69	27,55	0,1	2,42	33962	33962	1303338	533,23	2,35	157398
89	1	10	89	1	53,3	24,51	0,1	2,46	31399	31399	1374223	534,2	2,32	157398
90	1	11	89	1	73,5	32,9	0,1	2,52	41011	41011	1474100	535,51	2,07	157398
91	1	12	89	1	42,3	38,67	0,1	2,52	49982	49982	1477911	535,58	2,2	157398
92	1	1	90	1	52,3	52,06	0,1	2,52	67284	67284	1471697	535,48	2,56	157398

Cuadro N° 8.4. Continuación

93	1	2	90	1	27,4	58,9	0,1	2,47	68566	68566	1388224	534,39	3	157398
94	1	3	90	1	31,8	61,01	0,1	2,42	78178	78178	1300159	533,19	3,67	157398
95	1	4	90	1	17,7	62,98	0,1	2,35	77537	77537	1172513	531,45	3,97	157398
96	1	5	90	1	35,3	51,18	0,1	2,32	64721	64721	1121804	530,76	3,05	157398
97	1	6	90	1	54,3	37,19	0,1	2,34	45497	45497	1159873	531,28	2,42	157398
98	1	7	90	1	60,9	33,85	0,1	2,38	42934	42934	1226726	532,19	2,09	157398
99	1	8	90	1	74,3	31,13	0,1	2,44	39730	39730	1336309	533,68	2,25	157398
100	1	9	90	1	47,5	27,36	0,1	2,47	33962	33962	1382283	534,31	2,4	157398
101	1	10	90	1	55,2	24,38	0,1	2,51	31399	31399	1458510	535,32	2,36	157398
102	1	11	90	1	53,9	32,77	0,1	2,54	41011	41011	1507837	535,94	2,09	157398
103	1	12	90	1	54,7	38,55	0,1	2,56	49982	49982	1545124	536,41	2,22	157398
104	1	1	91	1	25,4	51,96	0,1	2,52	67284	67284	1467087	535,43	2,57	157398
105	1	2	91	1	31,9	58,9	0,1	2,47	68566	68566	1394507	534,47	3	157398
106	1	3	91	1	18,8	61,05	0,1	2,41	78178	78178	1271524	532,8	3,66	157398
107	1	4	91	1	16,5	63,11	0,1	2,33	77537	77537	1140498	531,02	3,94	157398
108	1	5	91	1	27,3	51,33	0,1	2,29	64721	64721	1068037	530,03	3,03	157398
109	1	6	91	1	38,3	37,38	0,1	2,29	45497	45497	1064242	529,98	2,38	157398
110	1	7	91	1	67,9	34,04	0,1	2,34	42934	42934	1149413	531,14	2,06	157398
111	1	8	91	1	83,2	31,27	0,1	2,41	39730	39730	1282546	532,95	2,22	157398
112	1	9	91	1	68,8	27,41	0,1	2,47	33962	33962	1383638	534,32	2,39	157398
113	1	10	91	1	59,9	24,37	0,1	2,52	31399	31399	1472477	535,49	2,36	157398
114	1	11	91	1	64,2	32,72	0,1	2,56	41011	41011	1548616	536,45	2,11	157398
115	1	12	91	1	48,3	38,48	0,1	2,57	49982	49982	1668930	536,71	2,24	157398
116	1	1	92	1	33,1	51,86	0,1	2,54	67284	67284	1511764	535,99	2,59	157398
117	1	2	92	1	22,1	58,79	0,1	2,48	71014,8	71014,8	1412539	534,72	2,92	157398
118	1	3	92	1	23,3	60,96	0,1	2,42	78178	78178	1301825	533,21	3,68	157398
119	1	4	92	1	16,8	62,98	0,1	2,35	77537	77537	1171850	531,44	3,97	157398
120	1	5	92	1	24,4	51,23	0,1	2,3	64721	64721	1091831	530,35	3,04	157398
121	1	6	92	1	24,9	37,37	0,1	2,28	45497	45497	1053337	529,81	2,39	157398
122	1	7	92	1	62,7	34,09	0,1	2,32	42934	42934	1124490	530,8	2,05	157398
123	1	8	92	1	53,7	31,41	0,1	2,35	39730	39730	1178325	531,53	2,19	157398
124	1	9	92	1	51,5	27,64	0,1	2,38	33962	33962	1234126	532,29	2,33	157398
125	1	10	92	1	66	24,6	0,1	2,44	31399	31399	1338862	533,72	2,3	157398
126	1	11	92	1	44,1	33,06	0,1	2,46	41011	41011	1362194	534,03	2,04	157398
127	1	12	92	1	84,2	38,81	0,1	2,52	49982	49982	1477929	535,56	2,18	157398
128	1	1	93	1	42	52,11	0,1	2,5	67284	67284	1444026	535,14	2,55	157398
129	1	2	93	1	21,4	59,04	0,1	2,45	68566	68566	1345756	533,81	2,98	157398
130	1	3	93	1	22,8	61,23	0,1	2,38	78178	78178	1233095	532,28	3,63	157398
131	1	4	93	1	15,4	63,28	0,1	2,31	77537	77537	1098859	530,45	3,91	157398
132	1	5	93	1	22,3	51,5	0,1	2,26	64721	64721	1012633	529,2	2,99	157398
133	1	6	93	1	33,3	37,56	0,1	2,25	45497	45497	995644	528,94	2,34	157398
134	1	7	93	1	52,6	34,26	0,1	2,28	42934	42934	1039277	529,6	2,01	157398
135	1	8	93	1	69,5	31,55	0,1	2,33	39730	39730	1135143	530,94	2,16	157398
136	1	9	93	1	65,1	27,69	0,1	2,38	33962	33962	1226103	532,18	2,32	157398
137	1	10	93	1	64,3	24,64	0,1	2,42	31399	31399	1299426	533,18	2,29	157398
138	1	11	93	1	41,2	33,15	0,1	2,43	41011	41011	1315040	533,39	2,02	157398
139	1	12	93	1	36,5	39,1	0,1	2,42	49982	49982	1302370	533,22	2,13	157398
140	1	1	94	1	19,7	52,82	0,1	2,37	67284	67284	1207100	531,92	2,45	157398
141	1	2	94	1	13,3	60,03	0,1	2,3	68566	68566	1087197	530,29	2,83	157398
142	1	3	94	1	13	62,39	0,1	2,22	78178	78178	945759	528,19	3,41	157398

Cuadro N° 8.4. Continuación

143	1	4	94	1	11,2	64,65	0,1	2,14	77537	77537	797889	525,97	3,6	157398
144	1	5	94	1	19	52,7	0,1	2,08	64721	64721	700358	524,52	2,71	157398
146	1	6	94	1	26,4	38,5	0,1	2,06	45497	45497	660971	623,86	2,1	157398
146	1	7	94	1	55,9	35,14	0,1	2,09	42934	42934	711754	524,71	1,8	157398
147	1	8	94	1	60,3	32,36	0,1	2,13	39730	39730	781388	525,74	1,94	157398
148	1	9	94	1	45,3	28,47	0,1	2,15	33962	33962	819624	526,3	2,08	157398
149	1	10	94	1	63,8	25,34	0,1	2,21	31399	31399	917109	627,76	2,06	157398
150	1	11	94	1	48,8	34,03	0,1	2,23	41011	41011	950598	528,27	1,85	157398
151	1	12	94	1	74,2	39,96	0,1	2,27	49982	49982	1036998	529,57	1,98	157398
152	1	1	95	1	22,6	53,8	0,1	2,22	67284	67284	947278	528,22	2,3	157398
153	1	2	95	1	24	61,13	0,1	2,17	68566	68566	851073	526,77	2,64	157398
154	1	3	95	1	17,6	63,5	0,1	2,1	78178	78178	719667	524,84	3,16	157398
155	1	4	95	1	17,1	65,77	0,1	2,02	77537	77537	584877	522,59	3,33	157398
156	1	5	95	1	16,5	27,13	0,1	2	64721	32803,9	549668	522	2,52	157398
SUM =					6611,1	6615,81	15,6	382,7	8337760	8305843	*****	83275,2	417,45	24554090
MAX =					84,2	65,77	0,1	2,85	78178	78178	2071218	542,86	4,44	157398
MIN =					11,2	23,73	0,1	2	31399	31399	549668	522	1,8	157398
PMAX =					127	155	1	8	10	10	8	8	11	1
AVG =					42,38	42,41	0,1	2,45	53447,2	53242,6	1356609	533,82	2,68	157398
PMIN =					143	5	1	156	5	5	156	156	146	1

ERROR

COMPUTER CHECK FOR POSSIBLE ERRORS

FLOOD NUMBER 1

POSSIBLE ERRORS FOUND = 0

ALLOWABLE ERROR CHECK = 50

Cuadro N° 8.7. Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, segundo escenario

USERS 1 USER DESIGNED OUTPUT

		SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1													
LOC	COD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		1 090	1.100	1 120	1.130	1.150	1.160	1 110	1.220	1.210	1 250				
PER	DY	MO	YR	DW	INFLOW	OUTFLOW	CASE	LEVEL	ENER R	ENER G	EOPSTOR	EOP ELEV	EVAP	PEAKCAP	
1	1	6	95	1	34,93	17,74	0,1	2,29	21300	21300	1060449	529,92	2,36	157398	
2	1	7	95	1	55,48	16,12	0,1	2,34	20100	20100	1160364	531,29	2,06	157398	
3	1	8	95	1	65,95	14,8	0,1	2,42	18600	18600	1291384	533,07	2,23	157398	
4	1	9	95	1	56,51	12,97	0,1	2,48	15900	15900	1398020	534,62	2,4	157398	
5	1	10	95	1	62,98	11,52	0,1	2,55	14700	14700	1529485	536,21	2,38	157398	
6	1	11	95	1	51,95	15,44	0,1	2,6	19200	19200	1618601	537,34	2,13	157398	
7	1	12	95	1	52,3	18,11	0,1	2,65	23400	23400	1704062	538,41	2,28	157398	
8	1	1	96	1	39,55	24,29	0,1	2,67	31500	31500	1737762	538,84	2,67	157398	
9	1	2	96	1	28,42	27,39	0,1	2,66	33246	33246,43	1732676	538,77	3,06	157398	
10	1	3	96	1	22,3	28,23	0,1	2,65	36600	36600	1706248	538,44	3,94	157398	
11	1	4	96	1	16,08	28,99	0,1	2,62	36300	36300	1661571	537,88	4,32	157398	
12	1	5	96	1	22,09	23,46	0,1	2,62	30300	30300	1648871	537,72	3,37	157398	
13	1	6	96	1	34,93	17,03	0,1	2,64	21300	21300	1688320	538,21	2,68	157398	
14	1	7	96	1	55,48	15,49	0,1	2,7	20100	20100	1789217	539,49	2,32	157398	
15	1	8	96	1	65,95	14,23	0,1	2,77	18600	18600	1921040	541,08	2,5	157398	
16	1	9	96	1	56,51	12,49	0,1	2,83	15900	15900	2028227	542,35	2,67	157398	
17	1	10	96	1	62,98	11,1	0,1	2,9	14700	14700	2160145	543,91	2,63	157398	
18	1	11	96	1	51,95	14,89	0,1	2,96	19200	19200	2250153	544,98	2,34	157398	
19	1	12	96	1	52,3	19,99	0,03	3	23400	26773,42	2330000	546	2,5	157398	
					SUM =	888,6	344,28	1,83	50,34	434346	437719,8	32416580	10228,4	50,84	2990562
					MAX =	65,95	28,99	0,1	3	36600	36600	2330000	546	4,32	157398
					MIN =	16,08	11,1	0,03	2,29	14700	14700	1060449	529,92	2,06	157398
					PMAX=	3	11	1	19	10	10	19	19	11	1
					AVG=	46,77	18,12	0,1	2,65	22860	23037,89	1706136	538,34	2,68	157398
					PMIN=	11	17	19	1	5	5	1	1	2	1

Cuadro N° 8.8. Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, tercer escenario

USERS.1 USER DESIGNED OUTPUT

SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1

LOC	1														
COD	1 090	1 100	1 120	1 130	1 150	1 160	1 110	1 220	1 210	1	1				
PER	DY	MD	YR	DW	INFLOW	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL	ARENAL
						OUTFLOW	CASE	LEVEL	ENER R	ENER G	EOP STOR	EOP ELEV	EVAP	PEAK	CAP
1	1	6	95	1	34,93	24,6	0,1	2,28	29522	29522	1042674	529,65	2,36	157398	
2	1	7	95	1	55,48	22,38	0,1	2,32	27859	27859	1125835	530,82	2,05	157398	
3	1	8	95	1	65,95	20,58	0,1	2,39	25780	25780	1241465	632,39	2,21	157398	
4	1	9	95	1	56,51	18,05	0,1	2,44	22037	22037	1335008	533,66	2,37	157398	
5	1	10	95	1	62,98	16,03	0,1	2,51	20374	20374	1464461	636,27	2,35	157398	
6	1	11	95	1	51,95	21,51	0,1	2,55	26611	26611	1527933	536,19	2,10	157398	
7	1	12	95	1	52,3	25,26	0,1	2,59	32432	32432	1594368	537,03	2,24	157398	
8	1	1	96	1	39,55	33,92	0,1	2,59	43659	43659	1602433	537,13	2,62	157398	
9	1	2	96	1	28,42	38,3	0,1	2,57	46080	46080	1670200	536,73	2,98	157398	
10	1	3	96	1	22,3	39,55	0,1	2,54	50728	50728	1513781	536,01	3,81	157398	
11	1	4	96	1	16,08	40,7	0,1	2,5	50312	50312	1439184	535,07	4,16	157398	
12	1	5	96	1	22,09	32,99	0,1	2,48	41996	41996	1401344	534,57	3,23	157398	
13	1	6	96	1	34,93	23,98	0,1	2,49	29522	29522	1423103	534,86	2,56	157398	
14	1	7	96	1	55,48	21,82	0,1	2,54	27859	27859	1507326	535,93	2,21	157398	
15	1	8	96	1	65,95	20,07	0,1	2,6	25780	25780	1623836	537,4	2,38	157398	
16	1	9	96	1	56,51	17,62	0,1	2,66	22037	22037	1718045	538,59	2,55	157398	
17	1	10	96	1	62,98	15,66	0,1	2,72	20374	20374	1838040	540,1	2,52	157398	
18	1	11	96	1	51,95	21,02	0,1	2,77	26611	26611	1912409	540,98	2,24	157398	
19	1	12	96	1	52,3	24,69	0,1	2,8	32432	32432	1979978	541,78	2,38	157398	
20	1	1	97	1	39,55	33,16	0,1	2,81	43659	43659	1989640	541,89	2,78	157398	
21	1	2	97	1	28,42	37,44	0,1	2,79	44491	44491	1969875	541,64	3,29	157398	
22	1	3	97	1	22,3	38,65	0,1	2,76	50728	50728	1905203	540,89	4,07	157398	
23	1	4	97	1	16,08	39,75	0,1	2,72	50312	50312	1832303	540,03	4,46	157398	
24	1	5	97	1	22,09	32,21	0,1	2,7	41996	41996	1795919	539,57	3,47	157398	
25	1	6	97	1	34,93	23,41	0,1	2,71	29522	29522	1818667	539,86	2,75	157398	
26	1	7	97	1	55,48	21,31	0,1	2,76	27859	27859	1903842	540,87	2,37	157398	
27	1	8	97	1	65,95	19,61	0,1	2,83	25780	25780	2021176	542,26	2,54	157398	
28	1	9	97	1	56,51	17,22	0,1	2,88	22037	22037	2116021	543,39	2,7	157398	
29	1	10	97	1	62,98	15,31	0,1	2,95	20374	20374	2236679	544,82	2,66	157398	
30	1	11	97	1	51,95	20,55	0,1	2,99	26611	26611	2311840	545,77	2,36	157398	
31	1	12	97	1	52,3	43,01	0,03	3	32432	57702	2330000	546	2,51	157398	
SUM =					1397,2	820,36	3,03	82,24	1017806	1043078	63072480	18891,1	86,28	4879338	
MAX =					65,95	43,01	0,1	3	50728	57702	2330000	546	4,46	157398	
MIN =					16,08	15,31	0,03	2,28	20374	20374	1042674	529,65	2,05	157398	
FMAX =					3	31	1	31	10	31	31	31	23	1	
AVG =					46,07	26,46	0,1	2,66	32832,46	33647,61	1712016	538,42	2,75	157398	
PMIN =					11	29	31	1	5	5	1	1	2	1	

Cuadro N° 8.9. Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, cuarto escenario

USERS 1 USER DESIGNED OUTPUT

SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1

LOC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
COD	1 090	1 100	1 120	1 130	1 150	1 160	1 110	1 220	1 210	1 250				
PER	DY	MO	YR	DW	INFLOW	ARENAL OUTFLOW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENER R	ARENAL ENER G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV	ARENAL EVAPO	ARENAL PEAK CAP
1	1	6	95	1	34,93	28,06	0,1	2,27	33654	33654	1033733	529,52	2,35	157398
2	1	7	95	1	55,48	25,54	0,1	2,31	31758	31758	1108456	530,58	2,04	157398
3	1	8	95	1	65,95	23,49	0,1	2,37	29388	29388	1216300	532,05	2,2	157398
4	1	9	95	1	56,51	20,61	0,1	2,42	25122	25122	1303238	533,23	2,36	157398
5	1	10	95	1	62,98	18,32	0,1	2,49	23226	23226	1416610	534,77	2,33	157398
6	1	11	95	1	51,95	24,58	0,1	2,52	30336	30336	1482158	535,62	2,08	157398
7	1	12	95	1	52,3	28,88	0,1	2,56	36972	36972	1538939	536,33	2,22	157398
8	1	1	96	1	39,55	38,82	0,1	2,55	49770	49770	1533974	536,27	2,59	157398
9	1	2	96	1	28,42	43,86	0,1	2,53	52529	52529	1487906	535,69	2,94	157398
10	1	3	96	1	22,3	45,34	0,1	2,49	57828	57828	1416162	534,77	3,75	157398
11	1	4	96	1	16,08	46,71	0,1	2,44	57354	57354	1326200	533,54	4,08	157398
12	1	5	96	1	22,09	37,91	0,1	2,41	47874	47874	1275391	532,86	3,15	157398
13	1	6	96	1	34,93	27,57	0,1	2,41	33654	33654	1288003	533,02	2,49	157398
14	1	7	96	1	55,48	25,11	0,1	2,46	31758	31758	1363595	534,05	2,15	157398
15	1	8	96	1	65,95	23,09	0,1	2,52	29388	29388	1472193	535,49	2,31	157398
16	1	9	96	1	56,51	20,27	0,1	2,57	25122	25122	1559699	536,59	2,48	157398
17	1	10	96	1	62,98	18,03	0,1	2,63	23226	23226	1673545	538,03	2,45	157398
18	1	11	96	1	51,95	24,2	0,1	2,67	30336	30336	1739825	538,86	2,18	157398
19	1	12	96	1	52,3	28,43	0,1	2,7	36972	36972	1797525	539,59	2,32	157398
20	1	1	97	1	39,55	38,21	0,1	2,7	49770	49770	1793851	539,54	2,71	157398
21	1	2	97	1	28,42	43,17	0,1	2,67	50718	50718	1750431	539	3,19	157398
22	1	3	97	1	22,3	44,62	0,1	2,63	57828	57828	1680125	538,11	3,93	157398
23	1	4	97	1	16,08	45,95	0,1	2,59	57354	57354	1591608	537	4,28	157398
24	1	5	97	1	22,09	37,27	0,1	2,56	47874	47874	1542068	536,37	3,32	157398
25	1	6	97	1	34,93	27,1	0,1	2,57	33654	33654	1555555	536,54	2,62	157398
26	1	7	97	1	55,48	24,68	0,1	2,61	31758	31758	1631976	537,5	2,26	157398
27	1	8	97	1	65,95	22,71	0,1	2,67	29388	29388	1741271	538,88	2,43	157398
28	1	9	97	1	56,51	19,94	0,1	2,72	25122	25122	1829311	539,99	2,6	157398
29	1	10	97	1	62,98	17,74	0,1	2,78	23226	23226	1943623	541,35	2,56	157398
30	1	11	97	1	51,95	23,82	0,1	2,82	30336	30336	2010645	542,14	2,27	157398
31	1	12	97	1	52,3	28	0,1	2,85	36972	36972	2069273	542,83	2,41	157398
32	1	1	98	1	39,55	37,63	0,1	2,85	49770	49770	2066892	542,81	2,81	157398
33	1	2	98	1	28,42	42,51	0,1	2,83	50718	50718	2024788	542,31	3,32	157398
34	1	3	98	1	22,3	43,91	0,1	2,79	57828	57828	1955928	541,49	4,1	157398
35	1	4	98	1	16,08	45,2	0,1	2,74	57354	57354	1868830	540,46	4,48	157398
36	1	5	98	1	22,09	36,66	0,1	2,71	47874	47874	1820503	539,88	3,48	157398
37	1	6	98	1	34,93	26,65	0,1	2,72	33654	33654	1834819	540,06	2,76	157398
38	1	7	98	1	55,48	24,27	0,1	2,77	31758	31758	1912041	540,97	2,37	157398
39	1	8	98	1	65,95	22,35	0,1	2,83	29388	29388	2022036	542,27	2,54	157398
40	1	9	98	1	56,51	19,63	0,1	2,88	25122	25122	2110630	543,32	2,7	157398
41	1	10	98	1	62,98	17,46	0,1	2,94	23226	23226	2225433	544,68	2,65	157398
42	1	11	98	1	51,95	23,45	0,1	2,98	30336	30336	2293199	545,53	2,35	157398
43	1	12	98	1	52,3	36,05	0,03	3	36972	48344,2	2330000	546	2,51	157398

Cuadro N° 8.9. Continuación

SUM =	1905,7	1297,79	4,23	113,52	1634267	1645640	72638290	23139,9	119,12	6768114
MAX =	66,95	46,71	0,1	3	67828	67828	2330000	646	4,48	157398
MIN =	16,08	17,46	0,03	2,27	23226	23226	1033733	529,52	2,04	157398
PMAX=	3	11	1	43	10	10	43	43	35	1
AVG =	44,32	30,18	0,1	2,64	38006,2	38270,7	1689263	538,14	2,77	157398
PMIN=	11	41	43	1	5	5	1	1	2	1

Cuadro N° 8.10. Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, quinto escenario

USERS 1				USER DESIGNED OUTPUT																
SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1																				
LOC	1		1		1		1		1		1		1							
COD	1 090		1 100		1 120		1 130		1 150		1 160		1 110		1 220		1 210		1 250	
FER	DY	MO	YR	DW	INFLOW	ARENAL OUTFLOW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENER R	ARENAL ENER G	ARENAL EOP	ARENAL STOR	ARENAL EOP	ARENAL ELEV	ARENAL EVAP	ARENAL PEAK	ARENAL CAP			
1	1	6	95	1	34,93	29,75	0,1	2,27	35677	35677	1029353		529,45	2,35		157398				
2	1	7	95	1	55,48	27,09	0,1	2,31	33667	33667	1099940		530,46	2,04		157398				
3	1	8	95	1	65,95	24,92	0,1	2,37	31155	31155	1203967		531,88	2,19		157398				
4	1	9	95	1	56,51	21,87	0,1	2,41	26632	26632	1287668		533,02	2,36		157398				
5	1	10	95	1	62,98	19,44	0,1	2,48	24622	24622	1398043		534,52	2,32		157398				
6	1	11	95	1	51,95	26,09	0,1	2,51	32160	32160	1469694		535,33	2,07		157398				
7	1	12	95	1	52,3	30,67	0,1	2,54	39195	39195	1511726		535,99	2,21		157398				
8	1	1	96	1	39,55	41,23	0,1	2,53	52763	52763	1500342		536,85	2,57		157398				
9	1	2	96	1	28,42	46,61	0,1	2,5	55688	55688	1447451		535,18	2,92		157398				
10	1	3	96	1	22,3	48,2	0,1	2,46	61305	61305	1368124		534,11	3,72		157398				
11	1	4	96	1	16,08	49,69	0,1	2,4	60803	60803	1270546		532,79	4,04		157398				
12	1	5	96	1	22,09	40,35	0,1	2,37	60753	60753	1219306		532,01	3,11		157398				
13	1	6	96	1	34,93	29,36	0,1	2,38	35677	35677	1221379		532,12	2,46		157398				
14	1	7	96	1	55,48	26,74	0,1	2,42	33667	33667	1292679		533,09	2,12		157398				
15	1	8	96	1	65,95	24,6	0,1	2,48	31155	31155	1397329		534,51	2,28		157398				
16	1	9	96	1	56,51	21,59	0,1	2,52	26632	26632	1481606		535,81	2,44		157398				
17	1	10	96	1	62,98	19,2	0,1	2,59	24622	24622	1592295		537	2,41		157398				
18	1	11	96	1	51,95	25,78	0,1	2,62	32160	32160	1664551		537,79	2,16		157398				
19	1	12	96	1	52,3	30,3	0,1	2,65	39195	39195	1707340		538,45	2,29		157398				
20	1	1	97	1	39,55	40,74	0,1	2,64	52763	52763	1697016		538,32	2,66		157398				
21	1	2	97	1	28,42	46,05	0,1	2,62	53768	53768	1646779		537,69	3,14		157398				
22	1	3	97	1	22,3	47,61	0,1	2,57	61305	61305	1568661		536,71	3,86		157398				
23	1	4	97	1	16,08	49,05	0,1	2,52	60803	60803	1472323		535,49	4,2		157398				
24	1	5	97	1	22,09	39,81	0,1	2,49	60753	60753	1416181		534,77	3,24		157398				
25	1	6	97	1	34,93	28,96	0,1	2,49	35677	35677	1425014		534,89	2,56		157398				
26	1	7	97	1	55,48	26,38	0,1	2,53	33667	33667	1497037		535,8	2,21		157398				
27	1	8	97	1	65,95	24,28	0,1	2,59	31155	31155	1602294		537,13	2,37		157398				
28	1	9	97	1	56,51	21,32	0,1	2,64	26632	26632	1686926		538,2	2,64		157398				
29	1	10	97	1	62,98	18,97	0,1	2,7	24622	24622	1798108		539,6	2,5		157398				
30	1	11	97	1	51,95	25,46	0,1	2,74	32160	32160	1860984		540,37	2,23		157398				
31	1	12	97	1	52,3	29,93	0,1	2,77	39195	39195	1914549		541	2,37		157398				
32	1	1	98	1	39,55	40,25	0,1	2,76	52763	52763	1905308		540,89	2,75		157398				
33	1	2	98	1	28,42	45,48	0,1	2,73	53768	53768	1856177		540,31	3,25		157398				
34	1	3	98	1	22,3	47,01	0,1	2,69	61305	61305	1779273		539,36	4		157398				
35	1	4	98	1	16,08	48,43	0,1	2,64	60803	60803	1684133		538,16	4,36		157398				
36	1	6	98	1	22,09	39,3	0,1	2,61	60753	60753	1629020		537,47	3,37		157398				
37	1	6	98	1	34,93	28,58	0,1	2,61	35677	35677	1638562		537,59	2,66		157398				
38	1	7	98	1	55,48	26,04	0,1	2,65	33667	33667	1711265		538,5	2,3		157398				
39	1	8	98	1	65,95	23,97	0,1	2,71	31155	31155	1817113		539,84	2,46		157398				
40	1	9	98	1	56,51	21,05	0,1	2,76	26632	26632	1902204		540,86	2,63		157398				
41	1	10	98	1	62,98	18,73	0,1	2,82	24622	24622	2013799		542,18	2,58		157398				
42	1	11	98	1	51,95	25,16	0,1	2,86	32160	32160	2077306		542,93	2,29		157398				
43	1	12	98	1	52,3	29,67	0,1	2,89	39195	39195	2131658		543,57	2,43		157398				
44	1	1	99	1	39,55	39,76	0,1	2,88	52763	52763	2123511		543,48	2,83		157398				
45	1	2	99	1	28,42	44,93	0,1	2,86	53768	53768	2075494		542,91	3,34		157398				

Cuadro N° 8.10. Continuación

46	1	3	99	1	22,3	46,43	0,1	2,81	61305	61305	1999824	542,01	4,12	157398
47	1	4	99	1	16,08	47,81	0,1	2,76	60803	60803	1905902	540,9	4,5	157398
48	1	5	99	1	22,09	38,78	0,1	2,73	50753	50753	1851830	540,26	3,5	157398
49	1	6	99	1	34,93	28,2	0,1	2,74	35677	35677	1862086	540,38	2,77	157398
50	1	7	99	1	55,48	25,7	0,1	2,78	33667	33667	1935477	541,25	2,38	157398
51	1	8	99	1	65,95	23,66	0,1	2,84	31155	31155	2041931	542,51	2,54	157398
52	1	9	99	1	56,51	20,79	0,1	2,89	26632	26632	2127506	543,52	2,71	157398
53	1	10	99	1	62,98	18,5	0,1	2,95	24622	24622	2239526	544,85	2,66	157398
54	1	11	99	1	51,95	24,84	0,1	2,99	32160	32160	2303671	545,66	2,36	157398
55	1	12	99	1	52,3	39,96	0,03	3	39195	53599,96	2330000	546	2,51	157398
SUM =					2414,3	1774,97	5,43	145,1	2235028	2249433	92665680	29594,5	153,2	8656890
MAX =					65,95	49,69	0,1	3	61305	61305	2330000	546	4,5	157398
MIN =					16,08	18,5	0,03	2,27	24622	24622	1029353	529,45	2,04	157398
PMAX=					3	11	1	55	10	10	55	55	47	1
AVG =					43,9	32,27	0,1	2,64	40636,9	40898,79	1684831	538,08	2,79	157398
PMIN=					11	53	55	1	5	5	1	1	2	1

Cuadro N° 8.11. Archivo de salida de recuperación del nivel máximo en el embalse Arenal, sexto escenario

USERS 1 USER DESIGNED OUTPUT

										SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1									
LOC										1	1	1	1	1	1	1	1		
COD										1 090	1 100	1 120	1 130	1 150	1 160	1 110	1 220	1 210	1 250
FER	DY	MO	YR	DW	ARENAL INFLOW	ARENAL OUTFLOW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENER R	ARENAL ENER G	ARENAL EOPSTOR	ARENAL EOP ELEV	ARENAL EVAP	ARENAL PEAK CAP					
1	1	6	95	1	34,93	30,91	0,1	2,27	37062	37062	1026353	529,41	2,35	157398					
2	1	7	95	1	55,48	28,15	0,1	2,31	34974	34974	1094106	530,38	2,04	157398					
3	1	8	95	1	65,95	25,9	0,1	2,36	32364	32364	1196519	531,76	2,19	157398					
4	1	9	95	1	56,51	22,74	0,1	2,41	27666	27666	1276983	532,87	2,35	157398					
5	1	10	95	1	62,98	20,21	0,1	2,47	25578	25578	1386318	534,35	2,32	157398					
6	1	11	95	1	51,95	27,13	0,1	2,5	33408	33408	1444295	535,14	2,07	157398					
7	1	12	95	1	52,3	31,89	0,1	2,53	40716	40716	1493069	535,75	2,2	157398					
8	1	1	96	1	39,55	42,88	0,1	2,52	54810	54810	1477281	535,55	2,56	157398					
9	1	2	96	1	28,42	48,49	0,1	2,49	55854	57848,8	1419705	534,82	2,91	157398					
10	1	3	96	1	22,3	50,17	0,1	2,44	63684	63684	1335157	533,66	3,7	157398					
11	1	4	96	1	16,08	51,74	0,1	2,38	63162	63162	1232338	532,27	4,01	157398					
12	1	5	96	1	22,09	42,03	0,1	2,35	52722	52722	1170668	531,43	3,09	157398					
13	1	6	96	1	34,93	30,59	0,1	2,35	37062	37062	1175609	531,49	2,44	157398					
14	1	7	96	1	55,48	27,86	0,1	2,39	34974	34974	1243948	532,42	2,1	157398					
15	1	8	96	1	65,95	25,64	0,1	2,45	32364	32364	1345873	533,81	2,26	157398					
16	1	9	96	1	56,51	22,51	0,1	2,49	27666	27666	1427740	534,92	2,42	157398					
17	1	10	96	1	62,98	20,02	0,1	2,55	25578	25578	1536417	536,3	2,39	157398					
18	1	11	96	1	51,95	26,88	0,1	2,59	33408	33408	1595896	537,05	2,13	157398					
19	1	12	96	1	52,3	31,59	0,1	2,62	40716	40716	1645292	537,67	2,26	157398					
20	1	1	97	1	39,55	42,49	0,1	2,61	54810	54810	1630374	537,48	2,63	157398					
21	1	2	97	1	28,42	48,04	0,1	2,58	55854	55854	1675423	536,79	3,1	157398					
22	1	3	97	1	22,3	49,68	0,1	2,53	63684	63684	1491896	535,74	3,81	157398					
23	1	4	97	1	16,08	51,2	0,1	2,47	63162	63162	1390139	534,41	4,13	157398					
24	1	5	97	1	22,09	41,58	0,1	2,44	52722	52722	1329387	533,59	3,19	157398					
25	1	6	97	1	34,93	30,26	0,1	2,44	37062	37062	1334961	533,86	2,52	157398					
26	1	7	97	1	55,48	27,57	0,1	2,48	34974	34974	1403908	534,6	2,17	157398					
27	1	8	97	1	65,95	25,37	0,1	2,54	32364	32364	1506360	535,92	2,33	157398					
28	1	9	97	1	56,51	22,28	0,1	2,58	27666	27666	1588619	536,96	2,49	157398					
29	1	10	97	1	62,98	19,82	0,1	2,64	25578	25578	1697629	538,33	2,46	157398					
30	1	11	97	1	51,95	26,61	0,1	2,68	33408	33408	1757624	539,09	2,19	157398					
31	1	12	97	1	52,3	31,29	0,1	2,71	40716	40716	1807668	539,72	2,33	157398					
32	1	1	98	1	39,55	42,07	0,1	2,7	54810	54810	1793656	539,54	2,71	157398					
33	1	2	98	1	28,42	47,56	0,1	2,67	55854	55854	1739629	538,86	3,19	157398					
34	1	3	98	1	22,3	49,18	0,1	2,62	63684	63684	1657119	537,82	3,92	157398					
35	1	4	98	1	16,08	50,69	0,1	2,57	63162	63162	1556368	536,55	4,26	157398					
36	1	5	98	1	22,09	41,15	0,1	2,53	52722	52722	1496513	535,8	3,29	157398					
37	1	6	98	1	34,93	29,94	0,1	2,64	37062	37062	1502714	536,88	2,6	157398					
38	1	7	98	1	55,48	27,28	0,1	2,57	34974	34974	1572253	536,75	2,24	157398					
39	1	8	98	1	65,95	25,11	0,1	2,63	32364	32364	1675204	538,05	2,4	157398					
40	1	9	98	1	56,51	22,05	0,1	2,68	27666	27666	1757853	539,09	2,57	157398					
41	1	10	98	1	62,98	19,62	0,1	2,74	25578	25578	1867204	540,44	2,53	157398					
42	1	11	98	1	51,95	26,35	0,1	2,77	33408	33408	1927728	541,16	2,25	157398					
43	1	12	98	1	52,3	30,98	0,1	2,8	40716	40716	1978433	541,76	2,39	157398					
44	1	1	99	1	39,55	41,66	0,1	2,8	54810	54810	1965339	541,6	2,77	157398					
45	1	2	99	1	28,42	47,09	0,1	2,77	55854	55854	1912252	540,97	3,27	157398					

Cuadro N° 8.11. Continuación

46	1	3	99	1	22,3	48,68	0,1	2,72	63684	63684	1830782	540,01	4,03	157398
47	1	4	99	1	16,08	50,16	0,1	2,66	63162	63162	1731060	538,75	4,4	157398
48	1	5	99	1	22,09	40,71	0,1	2,63	62722	62722	1672088	538,01	3,4	157398
49	1	6	99	1	34,93	29,62	0,1	2,63	37062	37062	1678897	538,1	2,68	157398
50	1	7	99	1	55,48	26,99	0,1	2,67	34974	34974	1749020	538,98	2,31	157398
51	1	8	99	1	65,95	24,84	0,1	2,73	32364	32364	1852481	540,27	2,48	157398
52	1	9	99	1	56,61	21,83	0,1	2,78	27666	27666	1936533	541,26	2,64	157398
53	1	10	99	1	62,98	19,42	0,1	2,84	25578	25578	2045245	542,55	2,6	157398
54	1	11	99	1	51,95	26,09	0,1	2,87	33408	33408	2106313	543,27	2,3	157398
55	1	12	99	1	52,3	30,68	0,1	2,9	40716	40716	2157694	543,88	2,44	157398
56	1	1	100	1	39,56	41,26	0,1	2,9	54810	54810	2146540	543,74	2,84	157398
57	1	2	100	1	28,42	46,62	0,1	2,87	55854	57848,8	2091833	543,1	3,23	157398
58	1	3	100	1	22,3	48,19	0,1	2,82	63684	63684	2011418	542,16	4,13	157398
59	1	4	100	1	16,08	49,64	0,1	2,77	63162	63162	1912741	540,98	4,51	157398
60	1	5	100	1	22,09	40,27	0,1	2,73	62722	62722	1854662	540,29	3,5	157398
61	1	6	100	1	34,93	29,3	0,1	2,74	37062	37062	1862086	540,38	2,77	157398
62	1	7	100	1	55,48	26,7	0,1	2,78	34974	34974	1932800	541,22	2,38	157398
63	1	8	100	1	65,95	24,58	0,1	2,84	32364	32364	2036784	542,45	2,54	157398
64	1	9	100	1	56,61	21,6	0,1	2,88	27666	27666	2120253	543,44	2,71	157398
65	1	10	100	1	62,98	19,22	0,1	2,94	25578	25578	2230334	544,74	2,66	157398
66	1	11	100	1	51,95	25,82	0,1	2,98	33408	33408	2291950	545,51	2,36	157398
67	1	12	100	1	52,3	35,59	0,03	3	40716	47717,4	2330000	546	2,51	157398
SUM =					2922,8	2252,05	6,63	176,23	2845758	2852759	*****	36040,7	187	10545670
MAX =					65,95	51,74	0,1	3	63684	63684	2330000	546	4,51	157398
MIN =					16,08	19,22	0,03	2,27	25578	25578	1026353	529,41	2,04	157398
PMAX=					3	11	1	67	10	10	67	67	69	1
AVG=					43,62	33,61	0,1	2,63	42474	42578,5	1671901	537,92	2,79	157398
PMIN=					11	65	67	1	5	5	1	1	2	1

Cuadro N° 8.14. Archivo de salida para la modelación histórica óptima del sistema Arenal-Corobici

USERS.1					DESIGNED OUTPUT									
										SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1				
LOC					1	1	1	2	2	2	1	1	1	
COD					1.150	1.160	1.220	2.150	2.160	2.220	1.260	1.280	1.290	
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL ENER R	ARENAL ENER G	ARENAL EOP ELEV	STA ROS ENER R	STA ROS ENER G	STA ROS EOP ELEV	ARENAL SYS EN R	ARENAL SYS EN G	ARENAL SYS EN S	
1	1	9	82	1	33657,99	33657,99	539,37	38962,08	39665,74	329	80607	73323,73	7283,27	
2	1	10	82	1	30798,38	30798,38	541,22	36636,05	38789,16	329,8	76664	69687,55	6076,46	
3	1	11	82	1	40230,93	40230,93	541,97	45226,08	47653,66	329,8	95938	87884,59	8053,41	
4	1	12	82	1	49535,04	54848,83	542,16	56313,36	62682,66	329,66	117629	117631,5	0	
5	1	1	83	1	66046,72	72040,05	542,56	74307,74	81891,17	329	157249	153931,2	3317,78	
6	1	2	83	1	67905,27	75478,34	541,45	76237,05	84696,3	329,63	160168	160174,6	0	
7	1	3	83	1	77171,61	86281,98	540,17	87253,35	97035,86	329,58	183310	183317,8	0	
8	1	4	83	1	76155,45	85120,69	538,42	86693,76	96250,88	329	182405	181371,6	1039,44	
9	1	5	83	1	63938,85	69917,64	537,18	73531,02	80027,6	329	153110	149945,3	3164,75	
10	1	6	83	1	45103,97	48012,43	536,65	53244	55559,33	329	109183	103571,8	5611,25	
11	1	7	83	1	42274,59	44035,2	537,07	50746,75	51270,09	329	103976	95305,28	8670,72	
12	1	8	83	1	39112,77	41848,38	537,46	46474,7	48741,56	329	95736	90589,94	5146,06	
13	1	9	83	1	33657,99	37138,43	537,7	38962,08	43470,24	329,49	80607	80608,67	0	
14	1	10	83	1	30798,38	34407,23	539,01	36636,05	41258,52	329,54	76664	75665,74	0	
15	1	11	83	1	40230,93	40230,93	539,68	45226,08	48350,62	329,8	95938	88581,55	7356,45	
16	1	12	83	1	49535,04	51846,46	539,26	56313,36	60002,6	329	117529	111849,1	5679,94	
17	1	1	84	1	66046,72	66046,72	539,05	74307,74	75920,98	329,8	157249	141967,7	15281,31	
18	1	2	84	1	70330,46	70330,46	538,03	78969,8	80689,8	329,8	160168	151020,3	9147,73	
19	1	3	84	1	77171,61	77171,61	536,63	87253,35	88965,24	329,8	183310	166136,8	17173,16	
20	1	4	84	1	76155,45	76155,45	534,96	86693,76	88281,43	329,8	182405	164436,9	17968,13	
21	1	5	84	1	63938,85	70659,24	533,49	73531,02	82459,14	329,35	153110	153118,4	0	
22	1	6	84	1	45103,97	47622,63	533,19	53244	56057,1	329	109183	103679,7	5503,27	
23	1	7	84	1	42274,59	46493,99	533,46	50746,75	54966,94	329	103976	101460,9	2515,07	
24	1	8	84	1	39112,77	43461,61	535,04	46474,7	52277,07	329,4	95736	95738,68	0	
25	1	9	84	1	33657,99	33657,99	536,52	38962,08	43714,23	329,8	80607	77372,22	3234,78	
26	1	10	84	1	30798,38	30798,38	537,93	36636,05	39336,03	329,8	76664	70133,41	5630,59	
27	1	11	84	1	40230,93	40230,93	538,49	45226,08	48238,87	329,8	95938	88469,8	7468,2	
28	1	12	84	1	49535,04	49535,04	539,13	56313,36	57646,59	329,8	117529	107181,6	10347,36	
29	1	1	85	1	66046,72	66046,72	538,83	74307,74	75994,26	329,8	157249	142041	15208,03	
30	1	2	85	1	67905,27	67905,27	538,33	76237,05	78109,34	329,8	160168	146014,6	14153,39	
31	1	3	85	1	77171,61	77171,61	537,17	87253,35	88828,4	329,8	183310	166000	17310	
32	1	4	85	1	76155,45	76488,4	535,47	86693,76	88291,44	329	182405	164779,8	17625,16	
33	1	5	85	1	63938,85	69648,38	534,12	73531,02	81028,35	329	153110	150676,7	2433,28	
34	1	6	85	1	45103,97	48349,47	534,18	53244	57767,24	329	109183	106116,7	3066,28	
35	1	7	85	1	42274,59	42274,59	534,75	50746,75	52289,26	329,8	103976	94563,84	9412,16	
36	1	8	85	1	39112,77	39112,77	535,12	46474,7	49293,64	329,8	95736	88406,41	7329,59	
37	1	9	85	1	33657,99	33657,99	535,66	38962,08	43440,5	329,8	80607	77098,48	3508,52	
38	1	10	85	1	30798,38	30798,38	535,89	36636,05	40980,87	329,8	76664	71779,25	3884,75	
39	1	11	85	1	40230,93	40230,93	536,16	45226,08	51934,23	329,8	95938	92165,16	3772,84	
40	1	12	85	1	49535,04	49535,04	535,74	56313,36	59630,46	329,8	117529	109165,5	8363,49	

Cuadro N° 8.14. Continuación

41	1	1	86	1	66046,72	66046,72	534,85	74307,74	77793,05	329,8	157249	143839,8	13409,23
42	1	2	86	1	67905,27	67905,27	533,52	76237,05	79701,48	329,8	160168	147606,8	12561,25
43	1	3	86	1	77171,61	77171,61	531,92	87253,35	91323,14	329,8	183310	168494,8	14815,25
44	1	4	86	1	76155,45	76155,45	530,13	86693,76	90665,01	329,8	182405	166820,5	15584,53
45	1	5	86	1	63938,85	63938,85	528,8	73531,02	77841,81	329,8	153110	141780,7	11329,34
46	1	6	86	1	45103,97	45103,97	529,1	53244	57942,69	329,8	109183	103046,7	6136,34
47	1	7	86	1	42274,59	42274,59	530,06	60746,75	62423	329,8	103976	94697,58	9278,42
48	1	8	86	1	39112,77	39112,77	531,63	46474,7	48905,64	329,8	95736	88018,41	7717,59
49	1	9	86	1	33657,99	33657,99	532,61	38962,08	42599,66	329,8	80607	76257,66	4349,34
50	1	10	86	1	30798,38	30798,38	534,14	36636,05	40431,34	329,8	75664	71229,72	4434,28
51	1	11	86	1	40230,93	40230,93	534,71	45226,08	48436,69	329,8	95938	88667,63	7270,38
52	1	12	86	1	49535,04	49535,04	534,66	56313,36	58762,09	329,8	117529	108297,1	9231,88
53	1	1	87	1	66046,72	66046,72	533,95	74307,74	77533,07	329,8	157249	143579,8	13669,22
54	1	2	87	1	67905,27	67905,27	532,89	76237,05	79664,45	329,8	160168	147569,7	12598,28
55	1	3	87	1	77171,61	77171,61	531,12	87253,35	90983,23	329,8	183310	168154,8	15166,16
56	1	4	87	1	76155,45	76155,45	529,29	86693,76	90487,34	329,8	182405	166642,8	15762,2
57	1	5	87	1	63938,85	63938,85	527,84	73531,02	76758,29	329,8	153110	140697,1	12412,86
58	1	6	87	1	45103,97	45103,97	527,42	53244	54637,94	329,8	109183	99741,91	9441,09
59	1	7	87	1	42274,59	48950,09	527,75	50746,75	56978,16	329	103976	103928,3	47,75
60	1	8	87	1	39112,77	39112,77	528,96	46474,7	48141,24	329,8	95736	87254,02	8481,98
61	1	9	87	1	33657,99	33657,99	529,78	38962,08	41309,37	329,8	80607	74967,36	5639,64
62	1	10	87	1	30798,38	30798,38	531,2	36636,05	39590,83	329,8	75664	70389,21	5274,79
63	1	11	87	1	40230,93	40230,93	531,61	45226,08	48817,71	329,8	95938	89048,64	6889,36
64	1	12	87	1	49535,04	49535,04	531,98	56313,36	59566,9	329,8	117529	109101,9	8427,06
65	1	1	88	1	66046,72	66046,72	531,92	74307,74	78783,53	329,8	157249	144830,3	12418,75
66	1	2	88	1	70330,46	70330,46	531,66	78959,8	83860,52	329,8	160168	154191	5977,02
67	1	3	88	1	77171,61	77171,61	530,24	87253,35	91503,64	329,8	183310	168675,3	14634,75
68	1	4	88	1	76155,45	76155,45	528,29	86693,76	90956,65	329,8	182405	167112,1	15292,91
69	1	5	88	1	63938,85	63938,85	527,05	73531,02	77498,44	329,8	153110	141437,3	11672,72
70	1	6	88	1	45103,97	45103,97	526,56	53244	55153,72	329,8	109183	100257,7	8925,3
71	1	7	88	1	42274,59	42274,59	526,69	50746,75	52460,09	329,8	103976	94734,67	9241,33
72	1	8	88	1	39112,77	39112,77	528,49	46474,7	51460,83	329,8	95736	90573,61	5162,39
73	1	9	88	1	33657,99	33657,99	530,27	38962,08	44935,92	329,8	80607	78593,91	2013,09
74	1	10	88	1	30798,38	30798,38	532,26	36636,05	41193,31	329,8	75664	71991,69	3672,31
75	1	11	88	1	40230,93	40230,93	532,71	45226,08	50494,69	329,8	95938	90725,62	5212,38
76	1	12	88	1	49535,04	49535,04	534,25	56313,36	61361,23	329,8	117529	110896,3	6632,73
77	1	1	89	1	66046,72	66046,72	533,89	74307,74	78875,65	329,8	157249	144922,4	12926,63
78	1	2	89	1	67905,27	67905,27	532,68	76237,05	80132,8	329,8	160168	148038,1	12129,94
79	1	3	89	1	77171,61	77171,61	531,13	87253,35	91395,88	329,8	183310	168567,5	14742,5
80	1	4	89	1	76155,45	76155,45	529,54	86693,76	90640,63	329,8	182405	166796,1	15608,92
81	1	5	89	1	63938,85	63938,85	528,26	73531,02	77046,62	329,8	153110	140985,5	12124,53
82	1	6	89	1	45103,97	45103,97	528,5	53244	54942,37	329,8	109183	100046,3	9136,66
83	1	7	89	1	42274,59	45694,21	529,1	50746,75	55336,8	329	103976	101030	2946
84	1	8	89	1	39112,77	39112,77	530,02	46474,7	48810,69	329,8	95736	87923,46	7812,54
85	1	9	89	1	33657,99	33657,99	531,4	38962,08	43580,88	329,8	80607	77238,87	3368,13
86	1	10	89	1	30798,38	30798,38	532,38	36636,05	40263,49	329,8	75664	71061,88	4602,13
87	1	11	89	1	40230,93	40230,93	533,75	45226,08	50706,49	329,8	95938	90937,42	5000,58
88	1	12	89	1	49535,04	49535,04	533,8	56313,36	60622,93	329,8	117529	110158	7371,03
89	1	1	90	1	66046,72	66046,72	533,74	74307,74	78437,62	329,8	157249	144484,3	12764,66
90	1	2	90	1	67905,27	67905,27	532,61	76237,05	80103,11	329,8	160168	148008,4	12159,63

Cuadro N° 8.14. Continuación

91	1	3	90	1	77171,81	77171,81	531,42	87253,35	91233,7	329,8	183310	188405,3	14904,89
92	1	4	90	1	76155,45	76155,45	529,68	86693,76	90549,82	329,8	182405	166705,3	15699,72
93	1	5	90	1	63938,85	63938,85	528,93	73531,02	76648,82	329,8	153110	140687,7	12522,33
94	1	6	90	1	45103,97	45103,97	529,5	53244	54818,49	329,8	109183	99922,47	9260,53
95	1	7	90	1	42274,59	43821,79	530,43	50746,75	53756,82	329	103976	97578,6	6397,4
96	1	8	90	1	39112,77	39112,77	531,93	46474,7	48588,18	329,8	95736	87700,95	8035,05
97	1	9	90	1	33657,99	33657,99	532,66	38962,08	41092,91	329,8	80607	74760,89	6866,11
98	1	10	90	1	30798,38	30798,38	533,6	36636,05	39457,04	329,8	75664	70255,42	5408,58
99	1	11	90	1	40230,93	40230,93	534,29	46226,08	60114,9	329,8	95938	90345,83	5592,17
100	1	12	90	1	49535,04	49535,04	534,8	56313,36	59589	329,8	117529	109124	8404,95
101	1	1	91	1	66046,72	66046,72	533,76	74307,74	77979,21	329,8	167249	144026,9	13223,06
102	1	2	91	1	67905,27	67905,27	532,78	76237,05	80098,55	329,8	160168	148003,8	12164,19
103	1	3	91	1	77171,61	77171,61	531,12	87253,35	91458,91	329,8	183310	168630,5	14679,47
104	1	4	91	1	76155,45	76155,45	529,29	86693,76	90889,63	329,8	182405	167045,1	15359,92
105	1	5	91	1	63938,85	63938,85	528,21	73531,02	77102,89	329,8	153110	141041,7	12068,27
106	1	6	91	1	45103,97	45103,97	528,16	53244	54979,61	329,8	109183	100083,6	9099,41
107	1	7	91	1	42274,59	42274,59	529,45	50746,75	52632,34	329,8	103976	94906,92	9069,08
108	1	8	91	1	39112,77	39112,77	531,33	46474,7	49731,53	329,8	95736	88844,3	6891,7
109	1	9	91	1	33657,99	33657,99	532,71	38962,08	41942,7	329,8	80607	75600,69	5006,31
110	1	10	91	1	30798,38	30798,38	533,93	36636,05	39430,17	329,8	75664	70228,55	5435,45
111	1	11	91	1	40230,93	40230,93	534,98	46226,08	48804,9	329,8	95938	89035,83	6902,17
112	1	12	91	1	49535,04	49535,04	535,24	56313,36	59000,15	329,8	117529	108535,2	8993,81
113	1	1	92	1	66046,72	66046,72	534,51	74307,74	77563,24	329,8	167249	143610	13639,03
114	1	2	92	1	70330,46	70330,46	533,16	78959,8	82598,37	329,8	160168	152928,8	7239,17
115	1	3	92	1	77171,61	77171,61	531,67	87253,35	91069,23	329,8	183310	168240,8	15069,16
116	1	4	92	1	76155,45	76155,45	529,92	86693,76	90474,11	329,8	182405	166629,6	15775,44
117	1	5	92	1	63938,85	63938,85	528,73	73531,02	76674,3	329,8	153110	140813,2	12496,84
118	1	6	92	1	45103,97	45103,97	528,15	53244	54713,84	329,8	109183	99817,81	9365,19
119	1	7	92	1	42274,59	45901,12	529,12	50746,75	55647,98	329	103976	101549,1	2426,9
120	1	8	92	1	39112,77	39112,77	529,94	46474,7	47868,05	329,8	95736	86980,93	8755,17
121	1	9	92	1	33657,99	33657,99	530,71	38962,08	41296,05	329,8	80607	74964,04	6652,96
122	1	10	92	1	30798,38	30798,38	532,15	36636,05	39037,21	329,8	75664	69835,59	5828,41
123	1	11	92	1	40230,93	40230,93	532,48	46226,08	48850,77	329,8	95938	89081,7	6866,3
124	1	12	92	1	49535,04	49535,04	534,06	56313,36	59800,09	329,8	117529	109335,1	8193,88
125	1	1	93	1	66046,72	66046,72	533,62	74307,74	78680,95	329,8	167249	144727,7	12621,34
126	1	2	93	1	67905,27	67905,27	532,29	76237,05	80139,86	329,8	160168	148045,1	12122,88
127	1	3	93	1	77171,61	77171,61	530,77	87253,35	91339,2	329,8	183310	168510,8	14799,19
128	1	4	93	1	76155,45	76155,45	528,86	86693,76	90758,4	329,8	182405	166913,8	15491,16
129	1	5	93	1	63938,85	63938,85	527,68	73531,02	76931,63	329,8	153110	140870,6	12239,62
130	1	6	93	1	45103,97	45103,97	527,32	53244	54803,27	329,8	109183	99907,23	9275,77
131	1	7	93	1	42274,59	42921,56	527,97	50746,75	52635,21	329	103976	95556,77	8419,23
132	1	8	93	1	39112,77	39112,77	529,43	46474,7	48417,36	329,8	95736	87530,14	8205,86
133	1	9	93	1	33657,99	33657,99	530,72	38962,08	43087,85	329,8	80607	76725,84	3881,16
134	1	10	93	1	30798,38	30798,38	531,73	36636,05	38507,62	329,8	75664	69306	6358
135	1	11	93	1	40230,93	40230,93	531,96	46226,08	48901,25	329,8	95938	89132,18	6805,82
136	1	12	93	1	49535,04	49535,04	531,79	56313,36	59457,28	329,8	117529	108992,3	8536,68
137	1	1	94	1	66046,72	66046,72	530,62	74307,74	78762,09	329,8	167249	144798,8	12460,19
138	1	2	94	1	67905,27	67905,27	528,78	76237,05	81286	329,8	160168	149191,3	10976,72
139	1	3	94	1	77171,61	77171,61	526,67	87253,35	93234,35	329,8	183310	170406	12904,03
140	1	4	94	1	76155,45	76155,45	524,49	86693,76	92927,98	329,8	182405	169083,4	13321,56

Cuadro N° 8.14. Continuación

141	1	5	94	1	63938,85	63938,85	522,87	73531,02	78796,96	329,8	153110	142735,8	10374,19
142	1	6	94	1	45103,97	45103,97	522,22	53244	56067,81	329,8	109183	101171,8	8011,22
143	1	7	94	1	42274,59	42274,59	523,08	50746,75	52660,59	329,8	103976	94935,18	9040,82
144	1	8	94	1	39112,77	39112,77	524,26	46474,7	48897,87	329,8	95736	88010,64	7725,36
145	1	9	94	1	33657,99	33657,99	524,9	38962,08	41978,55	329,8	80607	75636,55	4970,45
146	1	10	94	1	30798,38	30798,38	526,33	36636,05	40660,89	329,8	75664	71459,28	4204,72
147	1	11	94	1	40230,93	40230,93	526,86	46226,08	60276,47	329,8	96938	90506,4	6431,6
148	1	12	94	1	49535,04	49535,04	528,16	56313,36	62000,64	329,8	117529	111535,7	5993,31
149	1	1	95	1	66046,72	66046,72	526,84	74307,74	80469,67	329,8	157249	146516,4	10732,61
150	1	2	95	1	67905,27	67905,27	525,43	76237,05	82772,13	329,8	160168	150677,4	9490,59
151	1	3	95	1	77171,61	77171,61	523,34	87253,35	94745,73	329,8	183310	171917,3	11392,66
152	1	4	95	1	76155,45	52502,88	522	86693,76	65158,45	329	182405	117661,3	64743,67
SUM =					8031958	8109057	80893,3	9217308	9755157	50112,5	19231370	17864210	1367191
MAX =					77171,61	86281,98	542,56	87253,35	97035,86	329,8	183310	183317,8	64743,67
MIN =					30798,38	30798,38	522	36636,05	38507,62	329	75664	69306	0
PMAX=					7	7	5	7	7	2	7	7	152
AVG =					52841,83	53349,06	532,19	60640,18	64178,66	329,69	126522,2	117527,7	8994,68
PMIN=					2	2	152	2	134	1	2	134	4

ERROR

COMPUTER CHECK FOR POSSIBLE ERRORS

FLOOD NUMBER 1

POSSIBLE ERRORS FOUND = 31 ALLOWABLE ERROR CHECK = 50

Cuadro N° 8.15. Archivo de entrada para el primer escenario en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema.

T1 MODELACION EN SERIE PARA RECUPERACION DEL NIVEL UTIL										
T1 EMBALSE ARENAL - SANTA ROSA - SANDILLAL										
T2 PRIMER ESCENARIO										
J1	1	7	4	3	4	2				
J2				3						
J3	7					1				
J6	76.95	81.25	82.65	82.85	70.30	76.55	88.80	94.95	130.80	139.85
J6	113.25	87								
J8	1.09	2.09	3.09	1.10	2.10	3.10	1.26	1.28		
J8	1.12	1.13	1.15	1.16	1.11	1.22				
J8	2.15	2.16	2.11	2.22	3.15	3.16	3.11	3.22		
SM	56699	52205	43954	41258	52313	64087	85747	87340	99958	99464
SM	83490	59537								
RL	1	-529.88	549668	549668	2330000	2701500				
RO	1	2								
RS	19	0	640	4790	13310	26050	49260	177280	429940	729260
RS	800000	1065890	1433260	1830000	2252170	2330000	2440000	2530000	2610000	2701500
RQ	19	0	91	91	91	91	91	91	91	91
RQ	91	91	91	91	91	91	130.667	191.417	263.891	345.208
RA	19	0	260	1400	2000	3090	6190	45020	56040	63680
RA	65100	70980	76520	82180	86690	88000	89000	90000	91500	93040
RE	19	485	490	495	500	505	510	515	520	525
RE	526	530	535	540	545	546	547	548	549	550
P1	1	157398			329.78		0.85			
P2			1							
PR	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
PR	-0.02	-0.02								
CP	1	346								
ID ARENAL										
RT	1	2	1.2	0	720					
RL	2	-329.80	84.35	84.35	101.07	105.25				
RO	1	3								
RS	7	0	8.3	25.7	44.4	64	84.35	105.25		
RQ	7	0	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	268		
RA	7	0	16.6	18.2	19.2	20.0	20.7	21.1		
RE	7	315.5	325	326	327	328	329	330		
P1	2	174000			93					
P2			1							
PR	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
PR	-0.02	-0.02								
CP	2	270								
ID SANTA ROSA										
RT	2	3	1.2	0	360					
RL	3	-80	1099	1099	6260	8660				
RO	1	4								
RS	5	0	1099	6960	7810	8661				

Cuadro N° 8.16. Archivo de salida para el primer escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

USERS.2 USER DESIGNED OUTPUT

					SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1					
LOC					1	1	1	1	1	1
COD					1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV
1	1	7	95	1	0,12	2,34	2342,08	23506,44	1150486	531,15
2	1	8	95	1	0,12	2,41	2342,08	21106,18	1276151	532,86
3	1	9	95	1	0,12	2,47	2266,53	17284,22	1379841	534,27
4	1	10	95	1	0,12	2,54	2342,08	15015,52	1510629	535,98
5	1	11	95	1	0,12	2,59	2266,53	21334,56	1595261	537,04
6	1	12	95	1	0,12	2,63	2342,08	26626,49	1673972	538,03
7	1	1	96	1	0,12	2,64	2342,08	36355,41	1697527	538,33
8	1	2	96	1	0,12	2,64	2190,98	37361,95	1683799	538,16
9	1	3	96	1	0,12	2,61	2342,08	42929,77	1644100	537,66
10	1	4	96	1	0,12	2,58	2266,53	42746,05	1585844	536,92
11	1	5	96	1	0,12	2,57	2342,08	35671,36	1561769	536,62
12	1	6	96	1	0,12	2,59	2266,53	24984,05	1593409	537,02
13	1	7	96	1	0,12	2,64	2342,08	23632,68	1686833	538,20
14	1	8	96	1	0,12	2,71	2342,08	21058,17	1813464	539,79
15	1	9	96	1	0,12	2,77	2266,53	16935,09	1918429	541,05
16	1	10	96	1	0,12	2,84	2342,08	18013,47	2047588	542,58
17	1	11	96	1	0,12	2,89	2266,53	21168,82	2133454	543,59
18	1	12	96	1	0,12	2,93	2342,08	26899,12	2212806	544,53
19	1	1	97	1	0,12	2,95	2342,08	36667,11	2237453	544,83
20	1	2	97	1	0,12	2,94	2115,43	37701,38	2222330	544,85
21	1	3	97	1	0,12	2,92	2342,08	43314,10	2183726	544,19
22	1	4	97	1	0,12	2,89	2266,53	43132,41	2126501	543,51
23	1	5	97	1	0,12	2,87	2342,08	35995,26	2103311	543,24
24	1	6	97	1	0,12	2,89	2266,53	25206,42	2135531	543,82
25	1	7	97	1	0,12	2,94	2342,08	23710,64	2229803	544,74
26	1	8	97	1	0,03	3	2342,08	34658,90	2330000	546
SUM =					3,03	70,79	59911,93	751015,57	47734017	14038,56
MAX =					0,12	3	2342,08	43314,10	2330000	546
MIN =					0,03	2,34	2115,43	15015,52	1150486	531,15
PMAX=					1	26	1	21	26	26
AVG =					0,117	2,723	2304,305	28885,214	1835923,731	539,945
PMIN=					26	1	20	4	1	1

Cuadro N° 8.17. Archivo de salida para el segundo escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

USERS.2					USER DESIGNED OUTPUT						
					SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1						
LOC					1	1	1	1	1	1	
COD					1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220	
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV	
1	1	7	95	1	0,12	2,33	2342,08	27569,02	1141742	531,03	
2	1	8	95	1	0,12	2,4	2342,08	24844,90	1259402	532,63	
3	1	9	95	1	0,12	2,45	2266,53	20437,80	1356382	533,95	
4	1	10	95	1	0,12	2,52	2342,08	18676,44	1479444	535,58	
5	1	11	95	1	0,12	2,57	2266,53	24850,03	1556664	536,56	
6	1	12	95	1	0,12	2,6	2342,08	31235,75	1625679	537,42	
7	1	1	96	1	0,12	2,61	2342,08	42521,30	1636246	537,56	
8	1	2	96	1	0,12	2,6	2190,98	43626,90	1609274	537,22	
9	1	3	96	1	0,12	2,56	2342,08	50085,42	1554376	536,53	
10	1	4	96	1	0,12	2,52	2266,53	49843,57	1480942	535,6	
11	1	5	96	1	0,12	2,5	2342,08	41610,14	1444076	535,14	
12	1	6	96	1	0,12	2,52	2266,53	29224,32	1466576	535,42	
13	1	7	96	1	0,12	2,56	2342,08	27665,41	1551312	536,49	
14	1	8	96	1	0,12	2,63	2342,08	25034,74	1669467	537,98	
15	1	9	96	1	0,12	2,68	2266,53	20445,46	1767038	539,21	
16	1	10	96	1	0,12	2,75	2342,08	18840,75	1890248	540,71	
17	1	11	96	1	0,12	2,8	2266,53	24972,87	1968084	541,64	
18	1	12	96	1	0,12	2,84	2342,08	31481,07	2037749	542,46	
19	1	1	97	1	0,12	2,84	2342,08	42812,04	2049363	542,6	
20	1	2	97	1	0,12	2,83	2115,43	43947,87	2020944	542,26	
21	1	3	97	1	0,12	2,8	2342,08	50442,20	1967121	541,62	
22	1	4	97	1	0,12	2,76	2266,53	50212,43	1894691	540,77	
23	1	5	97	1	0,12	2,74	2342,08	41918,54	1858692	540,34	
24	1	6	97	1	0,12	2,75	2266,53	29436,55	1881769	540,61	
25	1	7	97	1	0,12	2,8	2342,08	27858,46	1967095	541,62	
26	1	8	97	1	0,12	2,86	2342,08	25193,76	2085750	543,03	
27	1	9	97	1	0,12	2,92	2266,53	20396,96	2184009	544,19	
28	1	10	97	1	0,12	2,99	2342,08	18985,55	2307447	545,71	
29	1	11	97	1	0,03	3	2266,53	53053,27	2330000	546	
SUM =					3,39	77,73	66787,07	957223,52	51041582	15631,88	
MAX =					0,12	3	2342,08	53053,27	2330000	546	
MIN =					0,03	2,33	2115,43	18676,44	1141742	531,03	
PMAX=					1	29	1	29	29	29	
AVG =					0,117	2,680	2303,002	33007,708	1760054,552	539,030	
PMIN=					29	1	20	4	1	1	

Cuadro N° 8.18. Archivo de salida para el tercer escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

USERS.2		USER DESIGNED OUTPUT									
SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1											
LOC		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COD		1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220				
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV	
1	1	7	95	1	0,12	2,33	2342,08	29599,39	1137371	530,97	
2	1	8	95	1	0,12	2,39	2342,08	26711,46	1251028	532,52	
3	1	9	95	1	0,12	2,45	2266,53	21962,25	1344758	533,8	
4	1	10	95	1	0,12	2,51	2342,08	20186,09	1464622	535,4	
5	1	11	95	1	0,12	2,56	2266,53	26727,57	1537875	536,32	
6	1	12	95	1	0,12	2,59	2342,08	33533,20	1602040	537,13	
7	1	1	96	1	0,12	2,59	2342,08	45596,86	1606098	537,18	
8	1	2	96	1	0,12	2,57	2190,98	46756,57	1572469	536,75	
9	1	3	96	1	0,12	2,54	2342,08	53656,25	1509931	535,97	
10	1	4	96	1	0,12	2,49	2266,53	53382,41	1428862	534,94	
11	1	5	96	1	0,12	2,47	2342,08	44567,90	1385551	534,35	
12	1	6	96	1	0,12	2,48	2266,53	31330,35	1403449	534,59	
13	1	7	96	1	0,12	2,52	2342,08	29676,11	1483800	535,64	
14	1	8	96	1	0,12	2,59	2342,08	26882,98	1597955	537,08	
15	1	9	96	1	0,12	2,64	2266,53	22137,01	1691915	538,26	
16	1	10	96	1	0,12	2,71	2342,08	19928,00	1812795	539,78	
17	1	11	96	1	0,12	2,75	2266,53	27033,10	1886240	540,67	
18	1	12	96	1	0,12	2,79	2342,08	33729,44	1951079	541,43	
19	1	1	97	1	0,12	2,79	2342,08	45867,06	1956115	541,49	
20	1	2	97	1	0,12	2,77	2115,43	47057,73	1920968	541,08	
21	1	3	97	1	0,12	2,74	2342,08	53987,47	1859442	540,35	
22	1	4	97	1	0,12	2,69	2266,53	53730,70	1779311	539,36	
23	1	5	97	1	0,12	2,67	2342,08	44864,52	1736814	538,83	
24	1	6	97	1	0,12	2,68	2266,53	31526,17	1755280	539,06	
25	1	7	97	1	0,12	2,72	2342,08	29863,31	1836178	540,07	
26	1	8	97	1	0,12	2,79	2342,08	27041,94	1950787	541,43	
27	1	9	97	1	0,12	2,84	2266,53	22242,61	2045101	542,55	
28	1	10	97	1	0,12	2,91	2342,08	20339,68	2165630	543,98	
29	1	11	97	1	0,12	2,95	2266,53	27012,52	2239931	544,86	
30	1	12	97	1	0,12	2,99	2342,08	33906,34	2305464	545,68	
31	1	1	98	1	0,12	2,99	2342,08	46123,05	2311466	545,76	
32	1	2	98	1	0,12	2,97	2115,43	47317,51	2277308	545,32	
33	1	3	98	1	0,12	2,94	2342,08	54293,68	2216838	544,58	
34	1	4	98	1	0,12	2,89	2266,53	54035,63	2137739	543,64	
35	1	5	98	1	0,12	2,87	2342,08	45125,23	2096116	543,15	
36	1	6	98	1	0,12	2,88	2266,53	31706,61	2115173	543,38	
37	1	7	98	1	0,12	2,93	2342,08	30026,19	2196669	544,34	

Cuadro N° 8.18. Continuación

38	1	8	98	1	0,12	2,99	2342,08	27179,46	2311787	545,77
39	1	9	98	1	0,03	3	2266,53	60609,54	2330000	546
SUM =					4,59	105,97	89754,57	1427253,89	71211955	21053,46
MAX =					0,12	3	2342,08	60609,54	2330000	546
MIN =					0,03	2,33	2115,43	19928,00	1137371	530,97
PMAX=					1	39	1	39	39	39
AVG =					0,118	2,717	2301,399	36596,254	1825947,564	539,832
PMIN=					39	1	20	16	1	1

Cuadro N° 8.19. Archivo de salida para el cuarto escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

USERS.2					USER DESIGNED OUTPUT					
					SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1					
LOC					1	1	1	1	1	1
COD					1.120	1.130	1.150	1.180	1.110	1.220
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV
1	1	7	95	1	0,12	2,33	2342,08	32440,49	1131251	530,89
2	1	8	95	1	0,12	2,39	2342,08	29320,65	1239308	532,36
3	1	9	95	1	0,12	2,44	2266,53	24211,09	1328236	533,57
4	1	10	95	1	0,12	2,5	2342,08	22082,21	1444073	535,14
5	1	11	95	1	0,12	2,54	2266,53	29435,23	1511592	535,99
6	1	12	95	1	0,12	2,57	2342,08	36757,53	1568929	536,71
7	1	1	96	1	0,12	2,57	2342,08	49901,77	1563840	536,65
8	1	2	96	1	0,12	2,55	2190,98	51127,88	1520868	536,10
9	1	3	96	1	0,12	2,50	2342,08	58640,28	1447600	535,18
10	1	4	96	1	0,12	2,45	2266,53	58322,27	1355779	533,95
11	1	5	96	1	0,12	2,42	2342,08	48697,89	1303372	533,23
12	1	6	96	1	0,12	2,43	2266,53	34287,47	1314779	533,39
13	1	7	96	1	0,12	2,47	2342,08	32469,85	1388953	534,40
14	1	8	96	1	0,12	2,53	2342,08	29472,73	1497443	535,81
15	1	9	96	1	0,12	2,58	2266,53	24320,46	1586676	536,93
16	1	10	96	1	0,12	2,65	2342,08	22261,17	1702573	538,39
17	1	11	96	1	0,12	2,69	2266,53	29526,54	1770607	539,25
18	1	12	96	1	0,12	2,72	2342,08	36922,82	1828516	539,98
19	1	1	97	1	0,12	2,72	2342,08	50134,45	1824243	539,93
20	1	2	97	1	0,12	2,69	2115,43	51389,63	1779589	539,36
21	1	3	97	1	0,12	2,65	2342,08	58921,39	1707177	538,45
22	1	4	97	1	0,12	2,60	2266,53	58611,09	1616189	537,31
23	1	5	97	1	0,12	2,57	2342,08	48949,21	1564515	536,65
24	1	6	97	1	0,12	2,58	2266,53	34443,06	1576423	536,80
25	1	7	97	1	0,12	2,62	2342,08	32630,45	1651089	537,75
26	1	8	97	1	0,12	2,68	2342,08	29604,91	1759983	539,12
27	1	9	97	1	0,12	2,73	2266,53	24417,10	1849508	540,23
28	1	10	97	1	0,12	2,80	2342,08	22275,14	1965801	541,61
29	1	11	97	1	0,12	2,83	2266,53	29675,24	2034228	542,42
30	1	12	97	1	0,12	2,87	2342,08	37069,69	2092737	543,11
31	1	1	98	1	0,12	2,86	2342,08	50339,53	2089311	543,07
32	1	2	98	1	0,12	2,84	2115,43	51607,06	2045508	542,55
33	1	3	98	1	0,12	2,8	2342,08	59185,19	1973991	541,71
34	1	4	98	1	0,12	2,75	2266,53	58885,16	1883852	540,64
35	1	5	98	1	0,12	2,72	2342,08	49185,10	1832897	540,03
36	1	6	98	1	0,12	2,73	2266,53	34605,65	1845295	540,18
37	1	7	98	1	0,12	2,77	2342,08	32783,47	1920445	541,07
38	1	8	98	1	0,12	2,83	2342,08	29730,73	2029762	542,37

Cuadro N° 8.19. Continuación

39	1	9	98	1	0,12	2,88	2266,53	24498,24	2119635	543,43
40	1	10	98	1	0,12	2,95	2342,08	22396,75	2236124	544,81
41	1	11	98	1	0,12	2,99	2266,53	29772,28	2305047	545,68
42	1	12	98	1	0,03	3	2342,08	54290,57	2330000	546
SUM =					4,95	111,79	96705,26	1625579,42	72537744	22622,2
MAX =					0,12	3	2342,08	58921,39	2330000	546
MIN =					0,03	2,33	2115,43	22082,21	1131251	530,89
PMAX=					1	42	1	21	42	42
AVG =					0,118	2,662	2302,506	38704,272	1727089,143	538,624
PMIN=					42	1	20	4	1	1

Cuadro N° 8.20. Archivo de salida para el quinto escenario, en la recuperación del nivel títul del embalse Arenal con el sistema

USERS.2					USER DESIGNED OUTPUT						
					SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1						
LOC					1	1	1	1	1	1	
COD					1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220	
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV	
1	1	7	95	1	0,12	2,33	2342,08	33657,93	1128628	530,85	
2	1	8	95	1	0,12	2,38	2342,08	30438,11	1234284	532,29	
3	1	9	95	1	0,12	2,43	2266,53	25157,12	1321190	533,47	
4	1	10	95	1	0,12	2,5	2342,08	23112,10	1434839	535,02	
5	1	11	95	1	0,12	2,53	2266,53	30482,70	1500131	535,84	
6	1	12	95	1	0,12	2,56	2342,08	38133,42	1554546	536,53	
7	1	1	96	1	0,12	2,56	2342,08	51737,48	1545543	536,42	
8	1	2	96	1	0,12	2,53	2190,98	52994,88	1498562	535,82	
9	1	3	96	1	0,12	2,49	2342,08	60776,22	1420671	534,83	
10	1	4	96	1	0,12	2,44	2266,53	60428,86	1324227	533,52	
11	1	5	96	1	0,12	2,4	2342,08	50459,84	1267907	532,75	
12	1	6	96	1	0,12	2,41	2266,53	35518,32	1276525	532,87	
13	1	7	96	1	0,12	2,45	2342,08	33669,00	1348022	533,84	
14	1	8	96	1	0,12	2,51	2342,08	30579,16	1454062	535,26	
15	1	9	96	1	0,12	2,56	2266,53	25251,96	1541259	536,36	
16	1	10	96	1	0,12	2,62	2342,08	23092,74	1655350	537,8	
17	1	11	96	1	0,12	2,66	2266,53	30661,30	1720905	538,63	
18	1	12	96	1	0,12	2,69	2342,08	38283,05	1775831	539,32	
19	1	1	97	1	0,12	2,68	2342,08	51674,54	1768118	539,22	
20	1	2	97	1	0,12	2,66	2115,43	52953,13	1719949	538,61	
21	1	3	97	1	0,12	2,61	2342,08	60687,75	1643541	537,65	
22	1	4	97	1	0,12	2,56	2266,53	60690,14	1547869	536,44	
23	1	5	97	1	0,12	2,53	2342,08	50686,11	1492239	535,74	
24	1	6	97	1	0,12	2,53	2266,53	35682,50	1501319	535,86	
25	1	7	97	1	0,12	2,57	2342,08	33819,43	1573269	536,76	
26	1	8	97	1	0,12	2,63	2342,08	30701,75	1679682	538,11	
27	1	9	97	1	0,12	2,68	2266,53	25343,47	1767144	539,21	
28	1	10	97	1	0,12	2,75	2342,08	23271,30	1881252	540,61	
29	1	11	97	1	0,12	2,79	2266,53	30706,92	1947346	541,39	
30	1	12	97	1	0,12	2,82	2342,08	38417,93	2002813	542,05	
31	1	1	98	1	0,12	2,81	2342,08	52140,09	1995290	541,96	
32	1	2	98	1	0,12	2,79	2115,43	53434,25	1947303	541,39	
33	1	3	98	1	0,12	2,74	2342,08	61269,27	1870990	540,49	
34	1	4	98	1	0,12	2,69	2266,53	60949,88	1776056	539,32	
35	1	5	98	1	0,12	2,66	2342,08	50905,31	1721064	538,63	
36	1	6	98	1	0,12	2,66	2266,53	35832,34	1730583	538,75	
37	1	7	98	1	0,12	2,7	2342,08	33951,63	1802984	539,66	
38	1	8	98	1	0,12	2,76	2342,08	30812,58	1909783	540,94	

Cuadro N° 8.20. Continuación

39	1	9	98	1	0,12	2,81	2266,53	25425,48	1997537	541,98
40	1	10	98	1	0,12	2,88	2342,08	23332,71	2111929	543,34
41	1	11	98	1	0,12	2,91	2266,53	30803,31	2178456	544,13
42	1	12	98	1	0,12	2,95	2342,08	38547,03	2234473	544,79
43	1	1	99	1	0,12	2,94	2342,08	52318,95	2227726	544,71
44	1	2	99	1	0,12	2,92	2115,43	53624,96	2180517	544,15
45	1	3	99	1	0,12	2,87	2342,08	61496,26	2105039	543,26
46	1	4	99	1	0,12	2,82	2266,53	61173,94	2010933	542,14
47	1	5	99	1	0,12	2,79	2342,08	51100,72	1956635	541,5
48	1	6	99	1	0,12	2,8	2266,53	35965,88	1966634	541,62
49	1	7	99	1	0,12	2,84	2342,08	34083,21	2039494	542,48
50	1	8	99	1	0,12	2,9	2342,08	30923,38	2146693	543,75
51	1	9	99	1	0,12	2,95	2266,53	25499,24	2234768	544,79
52	1	10	99	1	0,03	3	2342,08	33098,52	2330000	546
SUM =					6,15	139,05	119672,76	2105757,9	91001910	28022,85
MAX =					0,12	3	2342,08	61496,26	2330000	546
MIN =					0,03	2,33	2115,43	23092,74	1128628	530,85
PMAX=					1	52	1	45	52	52
AVG =					0,118	2,674	2301,399	40495,344	1750036,731	538,901
PMIN=					52	1	20	16	1	1

Cuadro N° 8.21. Archivo de salida para el sexto escenario, en la recuperación del nivel útil del embalse Arenal con el sistema

USERS.2 USER DESIGNED OUTPUT

					SUMMARY BY PERIOD FLOOD = 1						
					1	1	1	1	1	1	
					COD	1.120	1.130	1.150	1.160	1.110	1.220
PER	DY	MO	YR	DW	ARENAL CASE	ARENAL LEVEL	ARENAL ENERGY R	ARENAL ENERGY G	ARENAL EOP STOR	ARENAL EOP ELEV	
1	1	7	95	1	0,12	2,32	2342,08	35688,05	1124253	530,79	
2	1	8	95	1	0,12	2,38	2342,08	32303,11	1225900	532,18	
3	1	9	95	1	0,12	2,43	2266,53	26730,4	1309438	533,31	
4	1	10	95	1	0,12	2,49	2342,08	24594,59	1419929	534,82	
5	1	11	95	1	0,12	2,52	2266,53	32359,04	1481232	535,6	
6	1	12	95	1	0,12	2,55	2342,08	40431,07	1530757	536,23	
7	1	1	96	1	0,12	2,54	2342,08	54811,17	1515184	536,03	
8	1	2	96	1	0,12	2,51	2190,98	56113,49	1461486	535,36	
9	1	3	96	1	0,12	2,46	2342,08	64323,46	1375879	534,22	
10	1	4	96	1	0,12	2,41	2266,53	63937,43	1271692	532,8	
11	1	5	96	1	0,12	2,37	2342,08	53392,43	1208822	531,95	
12	1	6	96	1	0,12	2,37	2266,53	37607,71	1212750	532	
13	1	7	96	1	0,12	2,41	2342,08	35651,09	1279788	532,91	
14	1	8	96	1	0,12	2,47	2342,08	32407,93	1381740	534,3	
15	1	9	96	1	0,12	2,51	2266,53	26809,55	1465505	535,41	
16	1	10	96	1	0,12	2,58	2342,08	24657,46	1576189	536,8	
17	1	11	96	1	0,12	2,61	2266,53	32445,55	1637801	537,58	
18	1	12	96	1	0,12	2,64	2342,08	40542,85	1687726	538,21	
19	1	1	97	1	0,12	2,63	2342,08	54967,73	1672719	538,02	
20	1	2	97	1	0,12	2,6	2115,43	56295,03	1617093	537,32	
21	1	3	97	1	0,12	2,55	2342,08	64514,59	1532090	536,25	
22	1	4	97	1	0,12	2,49	2266,53	64147,16	1428509	534,94	
23	1	5	97	1	0,12	2,46	2342,08	53575,59	1366171	534,09	
24	1	6	97	1	0,12	2,46	2266,53	37735,1	1370466	534,15	
25	1	7	97	1	0,12	2,5	2342,08	35770,13	1437866	535,06	
26	1	8	97	1	0,12	2,56	2342,08	32506,53	1540121	536,35	
27	1	9	97	1	0,12	2,6	2266,53	26877,12	1624104	537,41	
28	1	10	97	1	0,12	2,67	2342,08	24715,51	1734975	538,8	
29	1	11	97	1	0,12	2,7	2266,53	32531,43	1796896	539,58	
30	1	12	97	1	0,12	2,73	2342,08	40654,08	1847222	540,2	
31	1	1	98	1	0,12	2,72	2342,08	55123,48	1832782	540,03	
32	1	2	98	1	0,12	2,69	2115,43	56459,42	1777725	539,34	
33	1	3	98	1	0,12	2,64	2342,08	64705,18	1693333	538,28	
34	1	4	98	1	0,12	2,58	2266,53	64339,04	1580348	536,98	
35	1	5	98	1	0,12	2,55	2342,08	53742,13	1528534	536,2	
36	1	6	98	1	0,12	2,55	2266,53	37852,77	1533192	536,26	
37	1	7	98	1	0,12	2,59	2342,08	35879,3	1600942	537,11	
38	1	8	98	1	0,12	2,65	2342,08	32596,69	1703494	538,41	

Cuadro N° 8.21. Continuación

39	1	9	98	1	0,12	2,7	2266,53	26944,73	1787696	539,47
40	1	10	98	1	0,12	2,76	2342,08	24772,34	1898761	540,81
41	1	11	98	1	0,12	2,79	2266,53	32609,77	1961014	541,55
42	1	12	98	1	0,12	2,82	2342,08	40752,12	2011772	542,15
43	1	1	99	1	0,12	2,81	2342,08	55263,84	1997930	541,99
44	1	2	99	1	0,12	2,78	2115,43	56609,73	1943475	541,34
45	1	3	99	1	0,12	2,74	2342,08	64887,88	1859722	540,35
46	1	4	99	1	0,12	2,68	2266,53	64534,74	1757340	539,08
47	1	5	99	1	0,12	2,64	2342,08	53903,94	1696052	538,31
48	1	6	99	1	0,12	2,65	2266,53	37962,71	1701076	538,38
49	1	7	99	1	0,12	2,68	2342,08	35990,08	1769171	539,23
50	1	8	99	1	0,12	2,74	2342,08	32693,85	1872011	540,5
51	1	9	99	1	0,12	2,79	2266,53	27005,92	1956457	541,5
52	1	10	99	1	0,12	2,85	2342,08	24818,89	2067756	542,82
53	1	11	99	1	0,12	2,89	2266,53	32690,84	2130343	543,56
54	1	12	99	1	0,12	2,92	2342,08	40855,79	2181531	544,16
55	1	1	100	1	0,12	2,91	2342,08	55403,6	2168303	544,01
56	1	2	100	1	0,12	2,88	2190,98	56736,71	2116969	543,4
57	1	3	100	1	0,12	2,83	2342,08	65072,41	2033882	542,41
58	1	4	100	1	0,12	2,78	2266,53	64722,86	1932147	541,21
59	1	5	100	1	0,12	2,74	2342,08	54068,57	1871404	540,49
60	1	6	100	1	0,12	2,75	2266,53	38082,93	1876790	540,55
61	1	7	100	1	0,12	2,78	2342,08	36094,82	1945258	541,37
62	1	8	100	1	0,12	2,84	2342,08	32779,34	2048432	542,59
63	1	9	100	1	0,12	2,89	2266,53	27069,18	2133135	543,59
64	1	10	100	1	0,12	2,95	2342,08	24877,56	2244651	544,91
65	1	11	100	1	0,12	2,99	2266,53	32776,28	2307574	545,71
66	1	12	100	1	0,03	3	2342,08	55559,59	2330000	546
SUM =					7,83	175,07	151933,03	2835335,41	112995305	35536,72
MAX =					0,12	3	2342,08	64887,88	2330000	546
MIN =					0,03	2,32	2115,43	24594,59	1124253	530,79
PMAX=					1	66	66	45	66	66
AVG =					0,119	2,653	2302,016	42959,627	1712050,076	538,435
PMIN=					66	1	20	4	1	1

9. A N E X O

9.1. Parámetros iniciales para el análisis del embalse Arenal aislado

9.1.1. Variables de Trabajo

En el campo J1,1 se seleccionó el valor de "1" que corresponde a las unidades métricas con las que se trabajó en la modelación. En la misma línea de variables para el campo J1,2 se colocó el valor de "6" que corresponde al mes de junio.

En el campo J1,3 se define el número de índices de nivel de operación a usar en el análisis del embalse, para el presente estudio se tomó un valor de "4". El campo J1,4 se utiliza para el índice del nivel de conservación, asignando un valor de "3", finalmente en los campos J1,5 y J1,6 se asignan los valores que corresponden a los niveles del control de inundaciones ("4") y nivel de amortiguamiento ("2").

A la variable de parámetros operacionales (J2) en el cuarto campo (J2,4) se asigna un valor de "3", significando que se generará durante los eventos de inundación y cuando el nivel del agua sea superior al nivel inactivo.

La variable J3,1 representa la suma de los códigos de salida seleccionados en la metodología (ver acápite 3.2.1), para el presente estudio se toma un valor de "7". Para J3,6 que representa el tipo de caudales a ser introducidos en la variable IN se asignó un valor de "1", significando que serán de forma incremental.

En la variable de optimización, en el primer campo (J7,1) se incluyó el código de optimización para requerimientos mensuales de energía, el cual toma un valor de "1". El octavo campo (J7,8) se utiliza para definir el periodo crítico, en base a la relación del almacenamiento útil y el caudal medio anual, asignandoun valor de "2", que es recomendado por el manual de operaciones para optimización con propósitos de conservación (HEC-5, 1989).

Para la optimización del periodo crítico y del registro completo (J7,9), se asignó un valor de "6", asimismo el décimo campo (J7,10) utilizado para indicar el margen de error, se asignó un valor de 0.05 que representa un error máximo de $\pm 5\%$, ambos valores son recomendados por el manual de operaciones (HEC-5, 1989).

9.1.2. Características físicas del embalse

El primer campo (RL,1) es utilizado para el identificador del embalse, que para el presente estudio toma el valor de "1", representando al embalse Arenal. En el

siguiente campo (RL,2) se indica la elevación del nivel de agua en el embalse para el mes de inicio de la modelación (junio de 1982), este valor debe ir antecedido por el signo negativo para que el programa lo asimile como altura del nivel del agua.

En los siguientes cuatro campos (RL,3; RL,4; RL5 y RL,6) se especificó los valores del volumen de almacenamiento para: los niveles inactivo, de amortiguamiento, de conservación y de control de inundaciones.

La variable RO define los puntos de control para los que opera el embalse. El primer campo (RO,1) se utiliza para especificar el número de puntos de control aguas abajo para los que opera el embalse, asignando para el presente estudio un valor de "1". El siguiente campo RO,2 sirve para definir el número de identificación de los embalses ubicados aguas, en el presente estudio tomó el valor de "2" el embalse Santa Rosa y de "3" el embalse Sandillal cuando se modela el sistema en serie.

9.1.3. Características de la planta de energía

La variable identificada con las siglas P1 sirve para describir las características de la planta de energía. El primer campo (P1,1) se utiliza para el identificador de la planta, que es similar al usado en la variable RL,1. En el siguiente campo (P1,2) se especifica la capacidad de generación de la planta de energía en KW.

El campo P1,5 es usado para definir la altura promedio del nivel de agua turbinada a la salida de la planta de generación. La eficiencia de la planta de generación se especifica en el campo P1,7.

Los requerimientos de energía están simbolizados con las siglas PR. En esta variable se especifica los valores históricos de energía promedio en forma mensual, para los doce meses del año y el primer valor debe ser el correspondiente al mes de inicio del periodo de modelación especificado en J1,2.

9.1.4. Variables de puntos de control para datos hidrológicos

La primera variable definida fue el punto de control identificada por las siglas CP, en el primer campo (CP,1) se coloca el identificador del embalse sujeto de modelación que debe ser igual al especificado en RL,1. En el campo CP,2 se indica el máximo caudal de salida que no cause daño aguas abajo del embalse.

En la variable RT, para el primer campo (RT,1) se debe especificar el número del punto de control aguas arriba, que es igual al colocado en el primer campo de la variable punto de control (CP,1). El segundo campo (RT,2) está destinado para el punto de control aguas abajo y que debe ser igual al valor de CP,1. En caso de quedar en blanco, el programa asume que es el último punto de control dentro del sistema.

El tercer campo (RT,3) presenta un formato de X.Y ; donde "X" esta referido al número de tramos de tránsito a realizar asignandose el valor de "1". La variable "Y" define el método de tránsito de avenidas a emplear, en el presente estudio se utiliza el método de Muskingum, que tiene un identificador de "2".

El cuarto campo del tránsito de avenidas (RT,4) está destinado para especificar el factor de peso o coeficiente de almacenamiento de Muskingum (X). El coeficiente de tránsito o tiempo de recorrido (K) de la onda se especifica en el quinto campo (RT,5).

9.1.5. Especificaciones para las variables de series temporales

El inicio de los caudales en la serie de tiempo está identificada por las siglas BF. El primer campo (BF,1) es utilizado para especificar el tipo de formato a leer por el programa, para el presente estudio se asigno un valor de 0, lo cual permite que el programa lea un formato de diez campos por línea de variable especificada. El segundo campo (BF,2) es utilizado para especificar el número total de caudales mensuales a utilizar. La siguiente variable a utilizar corresponde a la ubicada en el quinto campo (BF,5), que indica la fecha de inicio del periodo de estudio. Para esto se requiere un número de ocho dígitos; dos para el año, dos para el mes, dos para el día y los últimos dos la hora. El intervalo de tiempo a usar en el periodo de modelación viene especificado en el séptimo campo (BF,7).

En la siguiente línea del archivo se debe definir el valor de los caudales mensuales, esta variable es identificada con la siglas IN. En el primer campo (IN,1) se especifica el identificador del punto de control, que debe ser igual al introducido en el primer campo de la variable niveles objetivos (RL,1). El segundo campo (IN,2), está destinado a especificar la fecha de inicio de entrada de caudales que es la misma a la introducida en la variable identificación de inicio de caudales (BF,5). El tercer campo (IN,3) es utilizado para el inicio de los datos de caudales mensuales hacia el embalse.

9.2. Parámetros iniciales para el Análisis del sistema Arenal - Corobicí - Sandillal

9.2.1. Variables de trabajo

En la variable J1,2 que corresponde a la fecha de inicio del proceso de modelación se asignó el valor de "9" correspondiente al mes de septiembre.

9.2.2. Características físicas del embalse

En los niveles de operación del archivo de entrada para el sistema, en el primer campo (RL,1) se debe colocar el identificador del embalse a modelar, en este caso "1" será el embalse Arenal, "2" Santa Rosa y "3" Sandillal.

La segunda variable energética (P2), en el tercer campo (P2,3) se usa para definir que el embalse es parte y está operando como un sistema, asignándose un valor de "1", recomendado por el manual de operaciones (HEC, 1989).