



**APLICACIÓN DE MATRIZ DE DECISIÓN DE EMBALSES  
COLMATADOS EN VENEZUELA.  
ESTUDIO DE TRES (3) CASOS.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR: Br. Adrián A. Cuberos Q.

TUTOR: Ing. José M. Divassón G.

FECHA: Caracas, Junio de 2016

---

## DEDICATORIA

**A mis Padres y Hermana.**

Adrián Alejandro Cuberos Quintero.

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo reconocer y expresar mi agradecimiento, a todas las personas que de una u otra manera, colaboraron conmigo en la realización del Trabajo Especial de Grado.

A mi Madre, Padre y Hermana, porque sin su apoyo incondicional mi formación como Ingeniero Civil no hubiese sido la misma. Son ellos mi ejemplo a seguir, por ellos nunca perdí la motivación y mi norte de ser un profesional, para regalarles esa satisfacción y retribuirles el orgullo que siento por ellos.

A mi Tutor, el Prof. Ing. José M. Divassón G. por confiar en mí, por su apoyo, tiempo, dedicación, conocimientos especializados durante la elaboración del Trabajo Especial de Grado.

Al Prof. Ing. Alejandro Rincón por compartir consejos y conocimientos en la elaboración de la parte técnica del Trabajo Especial de Grado.

A la Doc. Mercedes Terán, por su apoyo en la elaboración en la parte metodológica del Trabajo Especial de Grado.

Al Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, por facilitar información disponible e importante, para la ejecución de este Trabajo Especial de Grado, en especial a la Ing. Ximena Mariño y a la Lic. Aleidy Pantoja.

## ÍNDICE GENERAL

	p.p
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
SINOPSIS .....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	4
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo General .....	4
1.2.2. Objetivos Específicos .....	5
1.3. Justificación .....	5
1.4. Alcances y Limitaciones .....	6
1.5. Metodología .....	7
2. SEDIMENTACIÓN .....	8
2.1. Origen de los Sedimentos .....	8
2.2. Control de Sedimentos .....	10
2.3. Sedimentación en Embalses .....	14
3. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS .....	18
3.1. Embalse Maticora .....	18
3.2. Embalse Cumaripa .....	21
3.3. Embalse Dos Cerritos .....	25
4. MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN .....	31
4.1. Matriz de Toma de Decisión para Embalses en proceso de Colmatación .....	31
4.2. Aplicación de la Matriz de Toma de Decisión .....	33
4.2.1. Embalse Maticora .....	33
4.2.2. Embalse Cumaripa .....	40
4.2.3. Embalse Dos Cerritos .....	44
4.3. Análisis de la Matriz de Toma de Decisión .....	48
5. REHABILITACIÓN DEL EMBALSE CUMARIPA .....	51
5.1. Planteamiento Conceptual .....	51
5.2. Definición de Curva Área-Capacidad .....	52
5.3. Volumen muerto del embalse .....	56
5.4. Volumen Útil del embalse .....	57

---

5.5. Redefinición de Niveles Operativos del Embalse .....	57
5.6. Determinación Nivel de Aguas Máximas .....	58
5.6.1. Creciente de Diseño (Tr= 100 años) .....	59
5.6.2. Curva de Descarga del Aliviadero .....	60
5.6.3. Tránsito de la Creciente .....	62
5.7. Determinación del Nivel de Cresta de la Presa .....	63
5.8. Sobre-elevación de la Presa.....	64
5.9. Obra de toma.....	67
5.10. Aliviadero .....	69
5.11. Terraplén y Puente Sobre el río Yaracuy.....	71
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
6.1. Conclusiones .....	72
6.1.1. Relacionadas a la Información recopilada.....	72
6.1.2. Relacionadas con el estado de sedimentación de los embalses .....	73
6.1.3. Relacionadas con los embalses analizados.....	73
6.1.4. Relacionadas con la Matriz de Toma de Decisión.....	74
6.2. Recomendaciones .....	75
7. BIBLIOGRAFÍA.....	77
8. ANEXOS.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

p.p

Figura 2.1. Esquema general del comportamiento del sedimento dentro de un embalse. Fuente Gracia (1997). .....	9
Figura 2.2. Partes de un embalse diseñado de acuerdo al criterio norteamericano de dejar un volumen destinado al almacenamiento de los sedimentos. Fuente: Gaspar (2009). .....	12
Figura 2.3. Proceso de Corrientes de Densidad. Fuente: Gaspar (2003). ....	13
Figura 3.1. Volumen a NAN del Embalse Matícora. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas. ..	20
Figura 3.2. Curva de Capacidad del Embalse Matícora. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.....	20
Figura 3.3. Volumen a NAN del Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.....	23
Figura 3.4. Curva de Capacidad del Embalse Cumaripa. ....	23
Figura 3.5. Draga multipropósito, para la recuperación total del Embalse Cumaripa. Fuente: Pagina Web del Gobierno Bolivariano del Estado Yaracuy (2014). .....	24
Figura 3.6. Volumen a NAN del Embalse Dos Cerritos. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.....	26
Figura 3.7. Curva de Capacidad del Embalse Dos Cerritos. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas. ....	27
Figura 3.8. %Volumen de Sedimentos dentro del Volumen Útil. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas. ....	29
Figura 3.9. %Volumen Útil remanente de los Embalses. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.....	29

---

Figura 3.10. Fotografía satelital del Embalse Maticora. Fuente: Google Earth (2016). .....	30
Figura 4.1. Matriz de Toma de Decisión. Fuente: Riera y Vasconcelos (2015) y modificaciones: Adrián Cuberos (2016). .....	32
Figura 4.2. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Maticora. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.....	37
Figura 4.3. Esquema de trasvase desde el embalse Maticora hacia la cuenca del río Cocuiza. Fuente: Gaspar (2009). .....	39
Figura 4.4. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.....	43
Figura 4.5. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Dos Cerritos. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.47	
Figura 5.1. Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa-Estado Yaracuy. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	51
Figura 5.2. Curva Área-Capacidad del Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.54	
Figura 5.3. Vaso de Almacenamiento. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971). .....	55
Figura 5.4. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.....	55
Figura 5.5. Hidrograma Afluente al Embalse Cumaripa. Creciente de Diseño (Centenaria). Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1981). .....	60
Figura 5.6. Nueva Curva de Gasto del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.....	61
Figura 5.7. Hidrogramas de Caudales de Entrada y Salida. Fuente: Elaboración Propia (2016). .....	62

---

Figura 5.8. Variación del Nivel de Agua CAC. Fuente: Elaboración Propia (2016). .....	63
Figura 5.9. Sección Típica de Presa. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	64
Figura 5.10. Nueva Sección Típica de la Presa Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).....	67
Figura 5.11. Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971). .....	67
Figura 5.12. Estructura a anexar en la obra de toma. Fuente: Gaspar (2003). .....	68
Figura 5.13. Nuevo Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).....	69
Figura 5.14. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	70
Figura 5.15. Nuevo Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).....	71
Figura A-1. Presa Ing. Alonso Cuartín Armas, Matícora-Estado Falcón. Fuente: <a href="https://primeranoticia.net/hace-dos-anos-y-25-dias-dejo-de-funcionar-el-acueducto-bolivariano-de-falcon/">https://primeranoticia.net/hace-dos-anos-y-25-dias-dejo-de-funcionar-el-acueducto-bolivariano-de-falcon/</a> (2016).....	81
Figura A-2. Plano de Planta de la Presa. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976).....	88
Figura A-3. Sección Típica de la Presa. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	89
Figura A-4. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	89
Figura A-5. Perfil Longitudinal de la Obra de Toma. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976). .....	89
Figura A-6. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Maticora. Fuente: OTEHA (1968). .....	90
Figura A-7. Plano de los Diques de Cierre. Embalse Maticora. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1976). .....	90



---

Figura A-8. Plano de Planta y Perfil de las Obras de Toma. Embalse Maticora. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1975).....	91
Figura A-9. Plano de Planta de Excavación, Planta y Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Maticora. Fuente: OTEHA (1968).....	91
Figura A-10. Plano de Planta y Sección Típica de la Presa. Embalse Maticora. Fuente: OTEHA (1975).....	92
Figura A-11. Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa-Estado Yaracuy. Fuente: Revista El Agua (1976).....	93
Figura A-12. Sección Típica de Presa. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976).....	100
Figura A-13. Plano de Planta de la Presa. Plano de Planta de Aliviadero y Toma. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976).....	100
Figura A-14. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).....	101
Figura A-15. Plano General. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).....	101
Figura A-16. Plano de Planta y Perfil del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).....	102
Figura A-17. Plano de Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).....	102
Figura A-18. Presa Ing. Félix de los Ríos, Dos Cerritos-Estado Lara. Fuente: Revista El Agua (1976).....	103
Figura A-19. Plano de Plata de la Presa. Plano de Planta y Perfil Longitudinal del Aliviadero. Sección Típica de la Presa. Embalse Dos Cerritos. Fuente: Revista El Agua (1976).....	110
Figura A-20. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).....	111
Figura A-21. Plano de Presa N°1. Secciones y Dentellón. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).....	111
Figura A-22. Plano de Presa N°2. Secciones y Detalle de la Cresta. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).....	112

---

Figura A-23. Plano de Planta y Perfil del Aliviadero. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967). .....	112
Figura A-24. Plano de Planta y Perfil de la Obra de Toma. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).....	113
Figura A-25. Plano de Obras de Toma. Tubería de Acero. Estructura de Descarga. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1968). .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

	p.p
Tabla 3.1. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Matícora. ....	19
Tabla 3.2. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Matícora. ....	19
Tabla 3.3. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Maticora. ....	19
Tabla 3.4. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Cumaripa. ....	22
Tabla 3.5. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Cumaripa. ....	22
Tabla 3.6. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Cumaripa. ....	22
Tabla 3.7. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Dos Cerritos. ....	25
Tabla 3.8. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Dos Cerritos. ....	26
Tabla 3.9. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Dos Cerritos. ....	26
Tabla 3.10. Variación del Volumen Útil de los Embalses en el tiempo. ....	28
Tabla 3.11. Disminución Porcentual de Volumen Útil como consecuencia de la acumulación progresiva de sedimentos. ....	28
Tabla 5.1. Nueva Tabla Área-Capacidad. ....	53
Tabla 5.2. Niveles operativos Embalse Cumaripa. ....	58
Tabla 5.3. Tabla del Hidrograma de la Creciente Centenaria. Embalse Cumaripa. ....	59
Tabla 5.4. Nueva Curva de Gasto del Aliviadero. Embalse Cumaripa. ....	61

---

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE MATRIZ DE DECISIÓN DE EMBALSES COLMATADOS EN  
VENEZUELA. ESTUDIO DE TRES (3) CASOS.**

Autor: Br. Adrián A. Cuberos Q.

Tutor: Ing. José M. Divassón G.

Fecha: Junio de 2016

**SINOPSIS**

El Trabajo Especial de Grado<sup>1</sup> que a continuación se presenta, tiene como objetivo principal la evaluación de la Matriz de Toma de Decisión<sup>2</sup> recientemente desarrollada por los Ingenieros Riera/Vasconcelos con la finalidad de analizar su aplicabilidad y, proponer las recomendaciones que se consideren pertinentes para mejorar y/o ampliar el instrumento propuesto.

La MTD se ha concebido como una herramienta que facilita el análisis de aquellos embalses donde existe un volumen tal de sedimentos que habiendo superado el volumen muerto originalmente dispuesto en la fase de proyecto se mantienen operativos y donde se hace necesario definir obras que alarguen su vida operativa y permitan, de ser ello posible, restituir el volumen útil originalmente previsto para la correcta operación del embalse.

A tal fin se procede a la selección de tres (3) embalses que cumplen con las características antes mencionadas; es decir: “operativos”, “colmatados” y “necesarios para la región a la cual abastecen”. Son ellos: Embalse Ing. Alonso Cuartín Armas (Matícora), Embalse Ing. Francisco C. Amelinckx (Cumaripa) y Embalse Ing. Félix de los Ríos (Dos Cerritos).

Para cada uno de ellos se recopila información sobre sus características físicas, operación a lo largo de los años, demandas originales y actuales, inconvenientes detectados y, si es posible los estudios hidrológicos que permitieron su diseño, todo ello con la finalidad de evaluar y así, proponer las recomendaciones para mejorar y/o ampliar el instrumento.

---

<sup>1</sup> Se llamará al Trabajo Especial de Grado: TEG

<sup>2</sup> Se llamará a la Matriz de Toma de Decisiones: MTD

---

Como consecuencia de los resultados obtenidos al aplicar la MTD, se desarrolla a nivel de Ingeniería Conceptual, las obras que permitan la sobre-elevación del Embalse Cumaripa incluyendo la Presa propiamente dicha así como las Obras de Toma y Alivio.

**Palabras claves:** Embalses, Maticora, Cumaripa, Dos Cerritos, Sedimentación, Colmatación, Matriz de Toma de Decisión.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Se considera que un embalse está colmatado o en proceso de hacerlo, cuando los sedimentos empiezan a afectar su función, ello ocurre cuando el volumen de sedimentos acumulados en su vaso de almacenamiento supera el volumen muerto definido en el proyecto y, por lo tanto, impide alcanzar el nivel de regulación esperado para una extracción estimada.

La capacidad de un embalse se mide por el volumen de agua y sedimentos que pueden ser contenidos en el vaso de almacenamiento, para una determinada altura de la presa. Este volumen total se dividirá en dos (2) grandes regiones: la zona inferior donde se espera se acumulen los sedimentos acarreados por la corriente a lo largo de los años, denominada volumen muerto, y la zona superior o volumen útil, donde se espera la acumulación de agua durante la época de lluvia para poder ir abasteciendo las necesidades hídricas una vez que el gasto medio del río es menor a las extracciones totales del embalse en la época seca del año.

Cuando los sedimentos dentro del embalse superan en volumen al volumen muerto anteriormente mencionado, significa que parte de ellos invaden el volumen útil y restringe entonces la disponibilidad de agua para años secos con la consecuente afectación al servicio.

Esta visión extremadamente simplificada de los procesos allí involucrados deben ser vistos con una mayor amplitud, debido a que la capacidad de regulación se basa en una extracción dada y, en algunas oportunidades, las extracciones previstas en el proyecto original han debido modificarse ya sea por cambios en uso (ej., riego por abastecimiento), o por modificaciones en el crecimiento poblacional, en el área atendida, etc.

La MTD desarrollada por los Ingenieros venezolanos Riera/Vasconcelos (2015) en su TEG, denominado "Criterios para el manejo de embalses

colmatados”, presentado ante Universidad Católica Andrés Bello, permite siguiendo un flujograma de decisión, conocer cuáles son las acciones más convenientes a realizar en un embalse colmatado o en proceso de hacerlo.

Esta herramienta parte de algunos supuestos que es importante destacar y sobre las cuales se basan las decisiones que se toman a lo largo del TEG; son ellas:

- El embalse se encuentra colmatado, definiendo éste como aquel embalse donde el volumen de sedimentos acumulado en su vaso de almacenamiento excede el volumen muerto estimado durante el proyecto. Funcionalmente se podría decir que el embalse ha alcanzado su vida útil sin importar el número de años de servicio que tenga.
- El embalse, a pesar de presentar un volumen de sedimentos significativo, no ha dejado de operar y cumple una función importante dentro de la región a la cual abastece.
- No existe una fuente de agua alterna que pueda ser desarrollada con éxito a corto plazo que permita la sustitución del embalse.
- Es necesario mantener el embalse en operación y, de ser posible, restituir las condiciones funcionales que contaba al momento de iniciar operaciones, con lo cual se podría considerar extender el lapso de actividad.

La MTD, desde su formulación no ha sido aplicada y por ello, en el presente trabajo de investigación, se seleccionan tres (3) embalses venezolanos que cumplen los supuestos antes mencionados, y se emplea la MTD con el fin de poder evaluar correctamente su utilidad y así, poder realizar el diseño, a nivel de Ingeniería Conceptual, las obras hidráulicas necesarias para la recuperación de las condiciones operativas originales en uno (1) de los embalses.

Para cumplir con el presente objetivo se ha estructurado el TEG en seis (6) capítulos:

---

En el primer capítulo se plantea el problema existente, además se presenta el objetivo general y objetivos específicos, la justificación, los alcances y limitaciones que posee el trabajo y su respectiva metodología.

El capítulo dos (2) está comprendido en su totalidad por el marco teórico, en el cual se explican detalladamente los diferentes conceptos e investigaciones realizadas, durante la ejecución del TEG. A través de esta actividad se construyó la base teórica que sustenta el trabajo.

En el capítulo tres (3) se expone la evaluación de los embalses en función del cálculo del Módulo de Producción de Sedimentos por cada Embalse, definiéndose a éste como la rata de variación (disminución) del volumen de agua disponible al Nivel de Aguas Normales dividido entre el número de años transcurridos entre dos (2) mediciones consecutivas de la batimetría del embalse o entre el número de años transcurridos desde la puesta en operación del embalse y la última batimetría.

En el capítulo cuatro (4) se aplica la MTD a los tres (3) embalses seleccionados, con el fin de evaluar este instrumento en todos sus aspectos y definir las obras o actividades que, siguiendo su estructura, pudieran ser realizadas con el objetivo de extender la operación de los embalses afectados por los sedimentos.

Posteriormente, en el capítulo cinco (5), una vez definidas las obras o acciones necesarias para extender la operación de los embalses, se procede a seleccionar un embalse, donde sea posible desarrollar, a nivel de Ingeniería Conceptual, las obras requeridas para su rehabilitación.

Finalmente, en el capítulo seis (6) se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron después de la realización de este TEG.



---

## **1.1. Planteamiento del Problema**

Los embalses son estructuras hidráulicas cuya vida útil está usualmente limitada por la cantidad de sedimentos que conduce la corriente y que paulatinamente van acumulándose en las tranquilas aguas que se encuentran en su vaso de almacenamiento. Sin embargo, al ser los embalses estructuras costosas tanto económica como ambientalmente, es deseable que su vida se extienda más allá del tiempo que pudiera representar la colmatación del volumen de almacenamiento del embalse.

En Venezuela existen varios embalses que, ya sea por el tiempo en uso del mismo o por la gran cantidad de sedimentos acarreados por el río, se encuentran colmatados. Se entiende por embalse colmatado aquel donde el volumen de sedimentos acumulados en su vaso supera el volumen muerto definido en el proyecto y, por lo tanto, impide alcanzar los niveles de regulación para lo cual estaba diseñado, generando inconvenientes a la población a la cual surte.

Para conocer cuáles son las acciones más convenientes a realizar en un embalse colmatado, los Ingenieros Riera/Vasconcelos (2015) han desarrollado en su TEG, titulado “Criterios para el manejo de embalses colmatados” una MTD que permite, siguiendo un flujograma de decisión, verificar la idoneidad de una determinada acción u obra en el embalse en estudio.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar la Matriz de Toma de Decisión de Embalses Colmatados en Venezuela verificando su aplicabilidad en tres (3) embalses venezolanos y

---

diseño, a nivel de ingeniería conceptual, de las obras hidráulicas necesarias para su mejora en uno de ellos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Recopilar información relativa del estado de sedimentación, proyectos, planos, registros operativos y detalle de incidentes de embalses en Venezuela, para seleccionar tres (3) con problemas de atarquinamiento que se encuentren operativos.
- Aplicar la Matriz de Toma de Decisión a los embalses seleccionados y establecer las recomendaciones de acción u obras a realizar en cada uno de ellos.
- Evaluar la Matriz de Toma de Decisión, y de ser necesario, incorporar mejoras que pudieran detectarse.
- Seleccionar uno de los embalses estudiados donde sea posible o necesario la construcción de obras hidráulicas, para analizar las condiciones actuales operativas.
- Diseñar a nivel de Ingeniería Conceptual, las obras hidráulicas necesarias para la extensión de la vida útil del embalse, con funcionamiento adecuado y niveles de seguridad aceptables.

### **1.3. Justificación**

El hombre ha construido embalses desde la antigüedad, en Venezuela este tipo de construcciones tuvo un auge considerable destacándose la década de los 70, cuando se alcanza el mayor número de obras construidas (30), a partir de entonces comienza a decrecer y en los últimos 15 años tan solo se ha puesto en operación un (1) embalse.

Los embalses son estructuras fundamentales y pueden cumplir propósitos múltiples como: consumo humano, riego, control de inundaciones, hidroelectricidad, recreación, entre otros. Razón por la que es crucial mantener o extender su vida útil.

El rápido crecimiento de la población y en consecuencia el incremento de la demanda del recurso agua, han obligado al hombre a cambiar los propósitos originales de los embalses y como consecuencia de ello, significativas alteraciones en la operación de las estructuras anexas del mismo.

En la búsqueda de fuentes alternas del agua se debe incluir no solo áreas y ríos actualmente no aprovechados, sino que se deben tomar en cuenta la optimización en los aprovechamientos existentes y la prolongación en la vida útil de los embalses ya consolidados.

Es por ello, que con los datos recopilados acerca de la información relativa del estado de sedimentación, proyectos, planos, registros operativos y detalle de incidentes de embalses en Venezuela, esta investigación está basada en seleccionar tres (3) embalses con problemas de atarquinamiento, para poder aplicar la MTD y establecer las recomendaciones de acción u obras a realizar en cada uno de ellos. Posteriormente, diseñar a nivel de Ingeniería Conceptual, las obras hidráulicas necesarias para la extensión de la vida útil de un embalse, disminuyendo los costos que genera la construcción de un embalse nuevo y utilizando el mismo sitio de presa.

#### **1.4. Alcances y Limitaciones**

El TEG desea evaluar el instrumento desarrollado aplicándolo en varios embalses de manera de ampliar la visión obtenida en el trabajo de Riera/Vasconcelos y, de ser necesario, ajustarlo de tal manera que se pueda utilizar en todas las presas y condiciones.

---

Para el desarrollo del TEG fueron de gran incidencia las limitaciones que impone la carencia o dificultad en el acceso a información de proyectos, operativa y de inspección y seguimiento en los embalses de Venezuela por parte de las autoridades encargadas.

### **1.5. Metodología**

El TEG, como fase inicial tendrá la recopilación de información relativa del estado de sedimentación de embalses en Venezuela y de proyectos, planos, registros operativos y detalle de incidentes de embalses en Venezuela. Luego con dicha información, se seleccionarán tres (3) embalses venezolanos con problemas de sedimentación y con información adecuada y suficiente para la aplicación de la MTD. Con esto, establecer las recomendaciones de acción u obras a realizar en cada uno de ellos. Por último, una evaluación de la MTD y de ser necesario, incorporación de mejoras que pudieran detectarse.

En su segunda fase, se seleccionará uno (1) de los embales estudiados donde sea posible o necesario la construcción de las obras hidráulicas requeridas para rehabilitar y extender la vida operativa del embalse.

Para luego, hacer el diseño a nivel de Ingeniería Conceptual, de las obras hidráulicas requeridas para extender la operación del embalse, con funcionamiento adecuado y niveles de seguridad aceptables, así como también, cualquier obra anexa de acceso a la presa.

---

## 2. SEDIMENTACIÓN

### 2.1. Origen de los Sedimentos

Para Gaspar (2009), los sedimentos arrastrados por los ríos tienen su origen en la acción del agua sobre los suelos. La cantidad de sedimento que puede producir una cuenca depende de dos (2) factores:

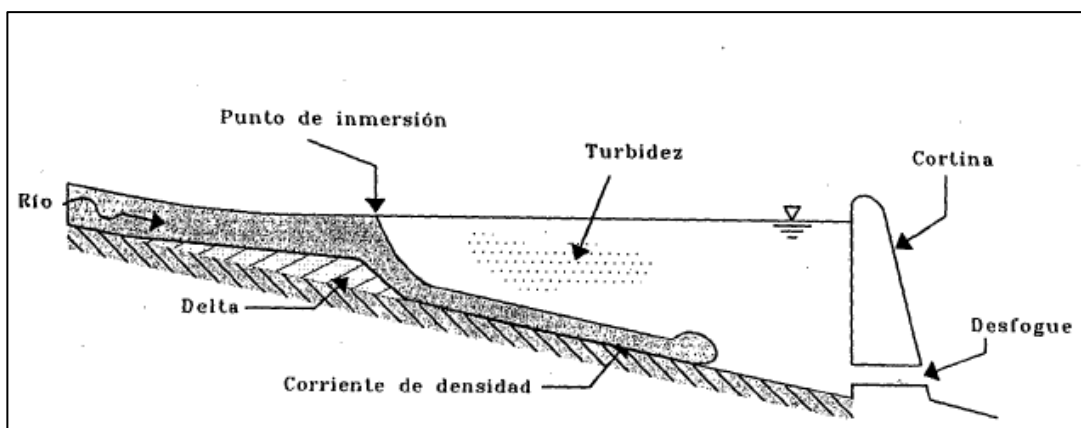
- Las condiciones de la cuenca que determinan la cantidad de sedimentos producidos como son: pluviosidad, topografía, geología, pendiente del terreno, cobertura vegetal y densidad de los drenajes.
- Las actividades del hombre, como deforestaciones, la actividad agrícola y urbanismos, que promueven el aporte de los sedimentos.

La producción y arrastre de sedimentos será menor en cuencas con densa cobertura de vegetación, cuencas con baja pluviosidad o baja pendiente, y será mayor en cuencas de alta pluviosidad; relieve pronunciado, cobertura vegetal escasa, concentraciones de flujos superficiales de agua, y en las cuales predominan suelos arcillosos, limosos, sueltos. La cobertura vegetal es quizás uno de los parámetros más importantes puesto que protege la superficie del suelo y, por lo tanto, minimiza el desgaste de la tierra y la movilización de las partículas. La topografía también representa una condicionante, ya que a mayores pendientes del suelo, mayor será el efecto cortante del agua y por lo tanto, mayor es la cantidad de partículas que serán transportadas.

Según Prats, et al. (2014), los sedimentos son principalmente generados por la acción de la lluvia sobre el suelo que desprende la superficie del mismo y lo transporta a los cursos de agua principalmente mediante la acción de la gravedad. Este proceso se denomina Erosión y ocurre de dos (2) maneras,

una en donde el efecto de la lluvia va removiendo pequeñas capas de suelo superficial y la segunda, los surcos y cárcavas, donde, al existir una concentración de agua, se incrementa el potencial de arrastre y los volúmenes y tamaños de los trozos de suelo movilizados. Cabe destacar, que los cauces de los ríos también son fuentes de aportes de sedimentos en los embalses.

Gracia (1997) visualiza que la acción de interponer un obstáculo a un río, como es el caso de una presa, da lugar a un estancamiento, por lo cual el sedimento transportado se comporta según el siguiente mecanismo: al entrar la corriente al embalse, el material grueso se depositará según la disminución de la velocidad del agua por efecto de ampliación del cauce y el crecimiento del tirante, formando en la “cola” del vaso una acumulación de sedimento grueso denominado delta. El sedimento más fino continuará hacia adentro del vaso como una corriente de densidad, para posteriormente al detenerse, depositarse en el fondo del mismo. Existen embalses en los que tal corriente no llega a formarse, y se produce en el vaso, o en gran parte del mismo, una turbidez generalizada que evolucionará, según la dinámica particular del almacenamiento (Ver Fig. 2.1).



**Figura 2.1. Esquema general del comportamiento del sedimento dentro de un embalse. Fuente Gracia (1997).**

El fenómeno de sedimentación descrito, es mucho más complejo, ya que depende de las características del embalse, de los sedimentos, de las

avenidas de ingreso, entre otros factores. Es por ello que Gracia (1997) señala lo siguiente:

*El delta se moverá adentro del embalse según las características de las avenidas y la variación de los niveles en el vaso. En los grandes embalses, la formación del delta tiene importancia por el efecto que causa hacia aguas arriba del río y por el volumen que ocupa dentro del vaso. El remanso en ocasiones inunda áreas que antes de la formación del delta no se inundaban. Sin embargo, existen casos en los que la penetración del material grueso dentro del vaso llega a ser tan acentuada, que pone en peligro las instalaciones en la cortina. Cuando la presa no es muy grande y sus extracciones o derrames son muy frecuentes, es posible que el delta ocupe gran parte del vaso y en tal caso el sedimento grueso si constituye la principal pérdida de capacidad, ya que gran parte del material fino muy probablemente no será retenido pues continuara hacia aguas abajo.*

*El material que se deposita en el fondo del embalse, estará sujeto a una compactación al transcurrir el tiempo. Este efecto se verá acentuado al cambiar sensiblemente los niveles en el vaso, haciendo que se produzca un alternado secado y humedecimiento del material sedimentado. Esto induce dos problemas importantes, uno, el cambio de volumen depositado a través del tiempo, que repercute en la cantidad de agua almacenada, y otro, la dificultad de remover sedimento altamente compactado.*

*Cuando la corriente de densidad no llega a formarse, y solamente se genera turbidez en el embalse, la cual generalmente ocurre con concentraciones bajas de sedimento, el problema principal no radica en la cantidad depositada, sino en la afectación de la calidad del agua. Dicho problema se vuelve fundamental desde el punto de vista ecológico, pues muchas veces se producen alteraciones de la flora y la fauna del almacenamiento en cuestión. Esto además de alterar la calidad del agua que en ocasiones se emplea como potable para una población.*

## **2.2. Control de Sedimentos**

Los sedimentos procedentes de las cuencas, son retenidos en su gran mayoría en los vasos de los embalses, por lo que la colmatación de un embalse supone una serie de consecuencias bien conocidas, como la pérdida

de capacidad de almacenamiento de agua hasta la regresión de deltas, pasando por un buen número de consecuencias limnológicas quizás no tan evidentes, pero no por ello menos importantes, como es la alteración de la pendiente longitudinal del cauce, la formación de humedales, la limitación del uso recreativo de los embalses o la propensión a la eutrofia. Lo que supone un coste que afecta tanto a rentabilidad de la inversión inicial de la propia obra hidráulica, como a las cuentas de explotación. Es por ello que, existen diferentes acciones para manejo y control de sedimentos en un embalse, las cuales, se mencionan a continuación:

- **Indirectas:** Son aquellas encaminadas a evitar la erosión de los suelos y su acarreo hasta el vaso de almacenamiento, con el fin de proveer una solución en la cuenca.

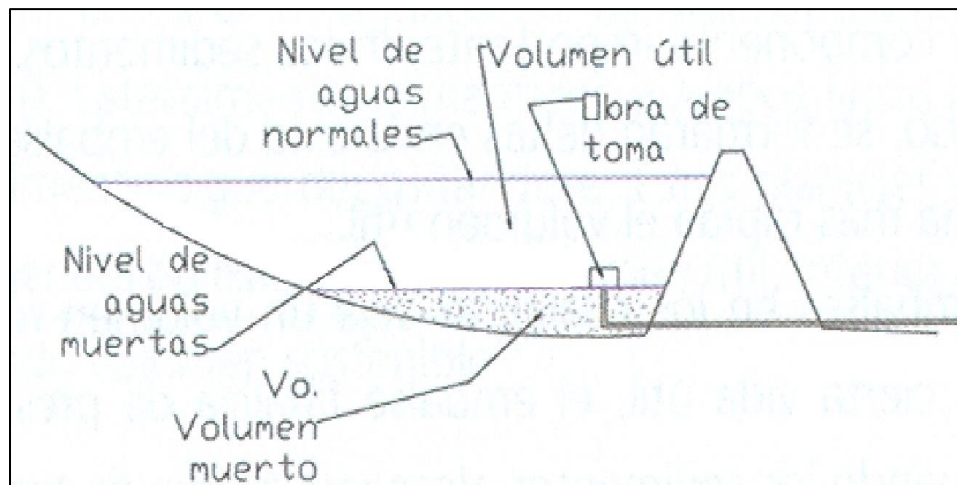
Entre las cuales destacan:

- **Control de la actividad humana:** Se enfoca principalmente en el desarrollo de políticas de orientación que se apliquen a largo plazo y de manera constante, entre ellas están, la concientización de la sociedad para el uso de manera racional del suelo, el ordenamiento del territorio, las actividades agrícolas en suelos de alto potencial erosivo, la creación de Monumentos Naturales y Parques Nacionales
- **Protección de los suelos que tienen gran aporte de sedimentos:** La reforestación comprende una actividad de alto costo y de trabajo a largo plazo, que ofrece grandes beneficios desde el momento en que se inicia su aplicación
- **Control del movimiento de tierra en las obras civiles:** La acumulación de material suelto en grandes cantidades no debe ser dispuesta sin compactar, ya que permite que el arrastre de este material sea mucho más fácil. Sin embargo, en algunos casos estos materiales (botes) no son compactados, ya que, son arreglados de manera adecuada como lo dispone la Norma COVENIN (Bote con arreglo).



- **Directas:** Son aquellos métodos, estructuras, criterios de diseño, y de operación de embalses, con el fin de proveer una solución dentro del mismo embalse, estos se resumen a continuación:

- **Diseño con volumen muerto:** Este procedimiento, de origen norteamericano consiste en dejar un volumen destinado al almacenamiento de los sedimentos. (Ver Fig. 2.2).



**Figura 2.2. Partes de un embalse diseñado de acuerdo al criterio norteamericano de dejar un volumen destinado al almacenamiento de los sedimentos. Fuente: Gaspar (2009).**

- **Método español (Flushing):** El método español, conocido en la literatura en inglés como Flushing (Lavado). Este método básicamente consiste en restituir las condiciones originales del río; para ello es necesario abrir las descargas de fondo y dejar pasar las aguas que arrastren los sedimentos depositados.
- **Corrientes de Densidad:** Las corrientes de densidad se generan cuando una corriente de agua cargada de sedimentos finos, entra en un gran cuerpo de agua, lago o un embalse, dando origen a la formación de una corriente secundaria que escurre en el fondo de las aguas más claras, las cuales se transportan aguas abajo a lo largo del fondo del embalse, pudiendo alcanzar el cuerpo de la presa, generando una

acumulación de sedimentos. Esta condición puede ser aprovechada favorablemente si se descargan los sedimentos aportados en crecientes, siempre que se tengan estructuras de descarga de fondo aptas para la movilización de estas partículas. (Ver Fig. 2.3).

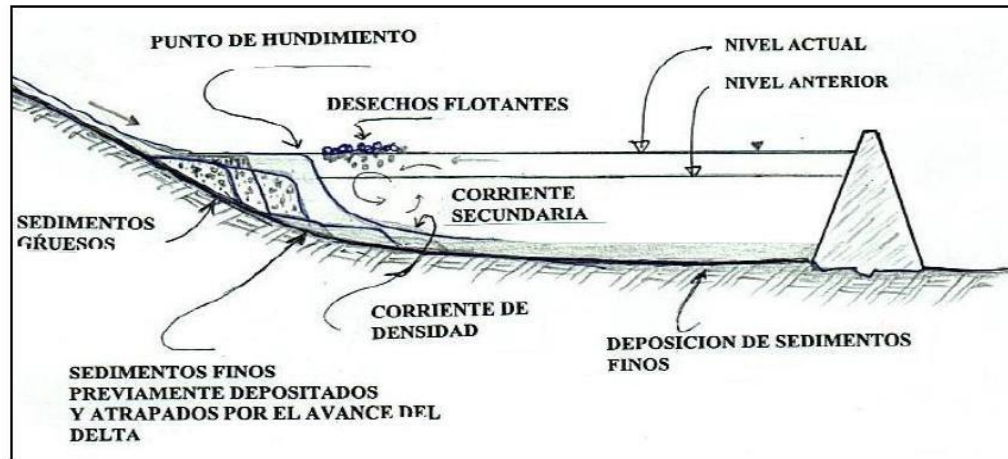


Figura 2.3. Proceso de Corrientes de Densidad. Fuente: Gaspar (2003).

- **Dragado del vaso de almacenamiento:** Es la solución que se ha utilizado desde hace muchos años, en especial en aquellos casos en que las otras soluciones, como el método español (Flushing), o el uso de las corrientes de densidad, no producen resultados satisfactorios y el valor del agua es elevado.

Existen dos modalidades de dragados:

- **Dragado Convencional:** Se utilizan las mismas dragas usadas para hacer canalizaciones, mejorar los cauces de los ríos, entre otros.
- **Dragado Hidráulico:** Aprovecha la energía que proporciona la altura de aguas disponible en el embalse. En este caso las tuberías actúan como un sifón.
- **Excavación de los sedimentos:** La excavación constituye un método, que al igual que el dragado, permite la extracción mecánica de los

sedimentos que se encuentran acumulados en los embalses, mediante el uso de maquinaria especializada para la extracción de los sedimentos y su posterior transporte a una zona de descarga. La excavación puede hacerse con draglines o equipos de movimiento de tierra, sin embargo, el dragado se realiza utilizando equipos flotantes.

- **Tránsito de Sedimentos:** Esta técnica abarca cualquier método utilizado para manipular la hidráulica y/o geometría de los embalses, con el fin de pasar los sedimentos a través, alrededor del mismo, o depositarlos en áreas previamente determinadas con el fin de minimizar la deposición no controlada de los sedimentos.
- **Sobre-elevación:** Quizás una de las características más atractivas que lleva el efectuar una sobre-elevación de presas es que el incremento de pocos metros de altura permite alcanzar un almacenamiento suplementario muy superior si se compara con una nueva presa para la misma configuración topográfica.

### 2.3. Sedimentación en Embalses

Para Gracia (1997), uno de los problemas que con mayor frecuencia afectan a los embalses, es su pérdida de capacidad debido al depósito de sedimento en su interior. Independientemente, que como parte del diseño de embalses, está el disponer de un volumen para almacenar dichos sedimentos, muchas veces rápidamente rebasado, con la consecuente pérdida de volumen útil en el embalse; dado que apenas se inicia el almacenamiento de las aguas, también se inicia la retención de los sedimentos arrastrados por el río. De esta manera el embalse pierde capacidad de almacenamiento y finalmente deja de ser útil.

En Venezuela, se acostumbra a diseñar los embalses dejando un volumen destinado al almacenamiento de sedimentos, por lo que la producción

de sedimentos incide directamente sobre el costo de la inversión inicial, ya que se necesitan mayores alturas de presa para almacenar la capacidad muerta.

Para Gaspar (2009), el origen de la sedimentación temprana de los embalses radica en diversos factores, básicamente: Carencia de datos confiables de producción y arrastre de sedimentos, procedimientos incorrectos para estimar el aporte de sedimentos, al usar en su cálculo los caudales medios diarios, incremento de la actividad humana dentro de las cuencas después que el embalse entra en operación.

Los ejemplos de la pérdida de capacidad de embalses en el mundo son muchos, entre los cuales destacan:

- En los Estados Unidos para el año 1941 el 30% de los embalses tenían una vida útil restante de solo 50 años.
- El embalse Cueva Foradada, España acumulo a pie de presa 13 metros de sedimentos en tan solo 11 años.
- En Sudán al Norte Este de África, se encuentra el embalse Roseires, en sólo 10 años perdió el 80% de su capacidad, a pesar de que disponía de descargas de fondo de gran capacidad.
- El embalse Sanmenxia sobre el río Amarillo, ubicado en la República Popular de China. Es uno de los casos más interesantes, en solo 4 años, acumuló 4.400 toneladas de sedimentos.

Según Suárez (2002), un incidente no significa necesariamente la falla de la obra, aunque en algunos casos extremos ello llegó a ocurrir en las presas de Venezuela.

En Venezuela existen varios casos de incidentes por sedimentación, uno de ellos es el Embalse Guaremal en el Estado Yaracuy, aunque el propósito original era el control de sedimentos su vida útil solo alcanzó un 50% de la prevista. Vale la pena mencionar que en este caso no se atendieron las recomendaciones del Proyectista acerca de la reforestación de la cuenca. Sin

---

embargo, el caso más importante de sedimentación en el país es la Presa Pedregal.

Los sedimentos que transporta el río Pedregal, están constituidos principalmente por arcilla y limo en suspensión. La información hidrológica de la cuenca del río Pedregal que existía cuando se hizo el proyecto de esta obra era prácticamente nula, no había datos fluviométricos, se disponía de tan solo alguna información pluviométrica, no existía ningún registro de los caudales del río, ni del transporte de sedimentos. Por lo que el estudio Hidrológico se hizo simulando el comportamiento de la cuenca del río Pedregal en base a la información disponible en otras cuencas de características más o menos parecidas. Cuando se elaboró el proyecto del embalse se estimó una producción de sedimentos de  $6,9 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

Una vez iniciada la operación del embalse y estimado el volumen de sedimentos que llegaba a él, se hizo una proyección de la vida remanente del embalse la cual fue estimada en 20 años, tiempo en el cual se debería producir el llenado total del volumen muerto. Considerando que una vida útil de 20 años es relativamente corta para un embalse, los proyectistas decidieron utilizar en este caso la técnica muy empleada en Europa y en otras partes del mundo, desde hace siglos, consistente de expulsar parte de los sedimentos que ingresan al embalse, mediante la operación de una descarga de fondo, con el objetivo de alargar la vida útil de la obra.

Sin embargo, durante los primeros años de operación (1979-1982) la descarga de fondo fue manejada correctamente, a partir de 1982, por razones que se desconocen, se cerró completamente la válvula de cono. Desde 1983 la descarga de fondo quedó inoperativa. A finales de 1988, es decir justamente 10 años después de la puesta en servicio del embalse, éste se llenó completamente de sedimentos y quedó fuera de servicio.

La sedimentación total del embalse Pedregal tuvo lugar en la mitad del tiempo estimado en el proyecto (sin tomar en cuenta el efecto de la descarga

---

de fondo), por lo tanto, la producción de sedimentos del río Pedregal, es en realidad del orden del doble del determinado en los estudios hidrológicos, es decir, de unos  $14 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

La experiencia con este caso indica la vital importancia que implica contar con datos hidrológicos confiables en aquellos sitios en los que se planifica la construcción de una presa, especialmente en lo referente a los registros fluviométricos y de transporte de sedimentos, de forma que permitan determinar hidrogramas confiables que representen acertadamente las crecientes extremas del río y se puedan estimar paralelamente la cantidad de sedimentos que pueden ser acarreados por la corriente en diversos escenarios hidrológicos. También quedó demostrada en este caso la gran utilidad que tiene para la seguridad de las presas tomar medidas preventivas que compensen de alguna manera las deficiencias implícitas en los estudios hidrológicos.

---

### 3. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

El parámetro más complejo de estimar durante el diseño de las presas en Venezuela es la cantidad de sedimentos que puede producir una cuenca en el tiempo y la forma en que éstos serán retenidos en el vaso de almacenamiento de la misma.

Con miras a definir los Módulos de Producción de Sedimentos de cada una de las cuencas en estudio se procede a analizar la información batimétrica existente en cada uno de ellos. Este análisis permitirá conocer la precisión en la estimación original y las consecuencias que dicha desviación pudiera traer a esta obra hidráulica.

#### 3.1. Embalse Maticora

En este embalse, se contó con batimetrías, que se realizaron en los años 1978, 1993, 2002, 2010 y 2012, por ello se pudieron conocer las Curvas de Áreas-Capacidad de estos años y, como consecuencia del cambio en el relieve subacuático, el Módulo de Producción de Sedimentos del Embalse Maticora. La cual fue suministrada por el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA).

El Módulo de Producción de Sedimentos, se calculó en función de la disminución del volumen de agua disponible al Nivel de Aguas Normales dividido entre el número de años transcurridos entre dos (2) mediciones consecutivas de la batimetría del embalse. Las unidades utilizadas para la expresión de dicho módulo pueden ser  $\text{Ton}/\text{Km}^2/\text{año}$  o  $\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$ , utilizándose en esta ocasión la segunda, debido a que es lo que permite una medición batimétrica.

**Tabla 3.1. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Maticora.**

<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>					
		<b>1978-1993</b>	<b>1993-2002</b>	<b>2002-2010</b>	<b>2010-2012</b>
Volumen de Sedimentos	m <sup>3</sup>	161.273.858	79.580.922	39.298.817	27.660.477
Cuenca	Km <sup>2</sup>	2.400	2.400	2.400	2.400
Intervalo	años	15	9	8	2
<b>MPS</b>	<b>m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año</b>	<b>4.480</b>	<b>3.684</b>	<b>2.047</b>	<b>5.763</b>

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

**Tabla 3.2. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Maticora.**

<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>		
<b>Lapso total de mediciones</b>		1978-2012
<b>Volumen de Sedimentos</b>	m <sup>3</sup>	307.814.076
<b>Área de la Cuenca</b>	Km <sup>2</sup>	2.400
<b>Intervalo de tiempo</b>	años	34
<b>Módulo de Producción de Sedimentos</b>	m <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> /año	3.772

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

**Tabla 3.3. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Maticora.**

	<b>1978</b>	<b>1993</b>	<b>2002</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>
<b>Volumen a NAN (Hm<sup>3</sup>)</b>	452,00	290,73	211,15	171,85	144,19

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



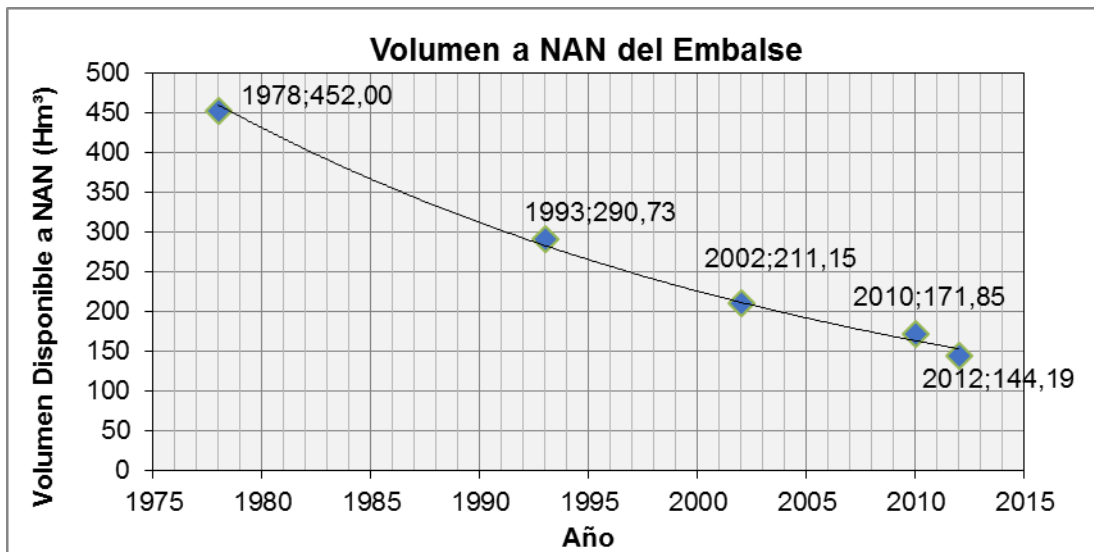


Figura 3.1. Volumen a NAN del Embalse Matícora. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

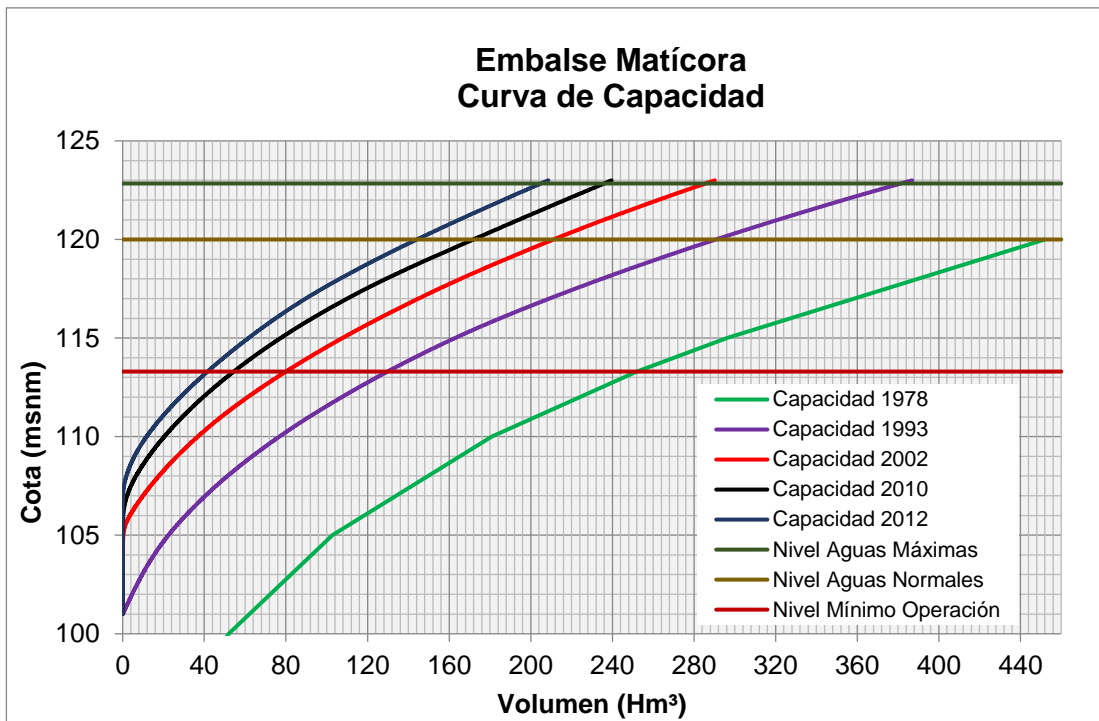


Figura 3.2. Curva de Capacidad del Embalse Matícora. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

El aumento en el Módulo de Producción de Sedimentos del período 2010-2012 pudiera deberse a las precipitaciones extremas ocurridas en Diciembre de 2009 en el embalse Matícora, que permitieron la descarga de grandes cantidades de sedimentos y aguas que causaron a su vez inundaciones y cambios en la geomorfología de los suelos en el embalse.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) publica en 1980, que un Módulo de Producción de Sedimentos de  $5.763 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  indica, que existe un riesgo de erosión muy severo en la cuenca contribuyente al embalse.

Por lo tanto, de mantener los niveles de producción de sedimentos en esta cuenca, el volumen disponible de agua establecido en el año 2012 se vería totalmente colmatado para el año 2028, por lo cual se podría decir que la vida útil remanente de este embalse es de menos de 12 años.

### **3.2. Embalse Cumaripa**

En este embalse, se contó con batimetrías, que se realizaron en los años 1971, 1989 y 2004, por ello se pudieron conocer las Curvas de Áreas-Capacidad de estos años, dicha información permitió realizar el cálculo del Módulo de Producción de Sedimentos del Embalse Cumaripa. La cual fue suministrada por el MINEA.

Al igual que en el caso de Matícora el Módulo de Producción de Sedimentos ha sido expresado en  $\text{m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  y su cálculo se realiza obteniendo el volumen diferencial de agua disponible para la cota de referencia que en este caso se adopta el Nivel de Aguas Normales.

**Tabla 3.4. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Cumaripa.**

<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>			
		<b>1971-1989</b>	<b>1989-2004</b>
Volumen de Sedimentos	m <sup>3</sup>	40.940.495	9.511.567
Área de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	435	435
Intervalo entre mediciones	años	18	15
<b>MPS</b>	<b>m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año</b>	<b>5.229</b>	<b>1.458</b>

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

**Tabla 3.5. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Cumaripa.**

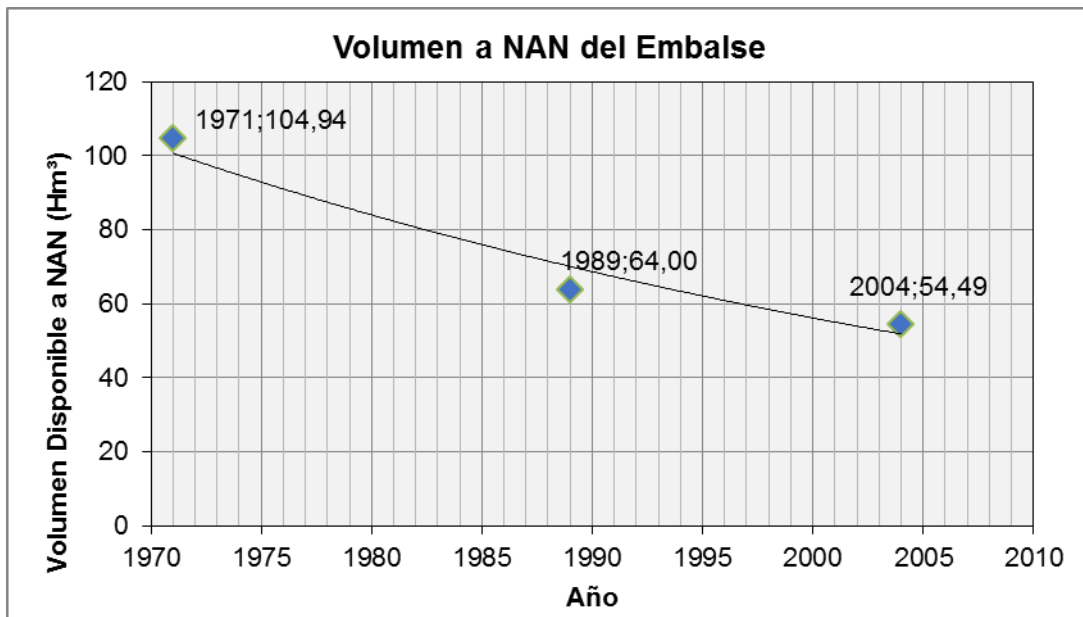
<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>		
<b>Lapso total de mediciones</b>	1971-2004	
Volumen de Sedimentos	m <sup>3</sup>	50.452.062
Área de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	435
Intervalo de tiempo	años	33
Módulo de Producción de Sedimentos	m <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> /año	3.515

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

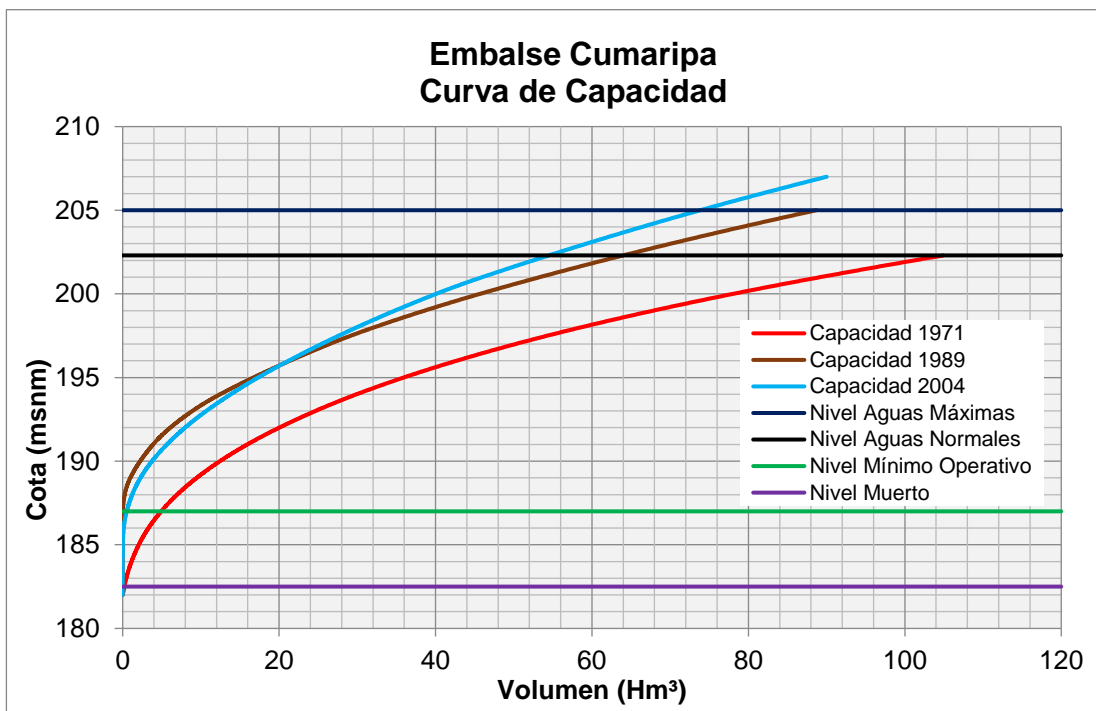
**Tabla 3.6. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Cumaripa.**

	<b>1971</b>	<b>1989</b>	<b>2004</b>
<b>Volumen a NAN (Hm<sup>3</sup>)</b>	104,94	64,00	54,49

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.3. Volumen a NAN del Embalse Cumaripa.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.4. Curva de Capacidad del Embalse Cumaripa.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

Es importante destacar que el Embalse Cumaripa ha sido objeto de dragado y excavación en varias oportunidades tanto por la Gobernación del Estado Yaracuy, por la empresa prestadora del servicio en el área: Aguas de Yaracuy, así como por el MINEA.

La disminución en la rata de producción de sedimentos en el embalse durante el período 1989-2004 puede deberse no a una disminución en el arrastre de suelos por parte del río sino al efecto de los trabajos de extracción de sedimentos realizados en su vaso de almacenamiento que, con la información disponible, no han podido ser cuantificados.



**Figura 3.5. Draga multipropósito, para la recuperación total del Embalse Cumaripa. Fuente: Pagina Web del Gobierno Bolivariano del Estado Yaracuy (2014).**

Si la cantidad de sedimentos aportados por la cuenca del río Yaracuy son similares a los que reporta el lapso comprendido entre los años 1971-1989, el Embalse Cumaripa estará totalmente atarquinado para el año 2029, por lo cual se podría decir que al embalse no le restan más de 13 años de vida operativa. Según la FAO (1980), un aporte de sedimentos de  $5.229 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  (lapso entre 1971-1989), representa un riesgo de erosión muy severo para la cuenca contribuyente al embalse.

### 3.3. Embalse Dos Cerritos

En este embalse, se contó con batimetrías, que se realizaron en los años 1973, 1988, 1991 y 2008, por ello se pudieron conocer las Curvas de Áreas-Capacidad de estos años, dicha información permitió realizar el cálculo del Módulo de Producción de Sedimentos del Embalse Dos Cerritos. La cual fue suministrada por el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA). Sin embargo el ente oficial encargado, informó que se descartó la batimetría del año 1988 por generar incongruencias con respecto a las otras batimetrías.

Siguiendo el método ya definido, el Módulo de Producción de Sedimentos ha sido expresado en  $m^3/Km^2/año$  y su cálculo se realiza obteniendo el volumen diferencial de agua disponible para la cota de referencia que en este caso se adopta el Nivel de Aguas Normales.

**Tabla 3.7. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) entre los años de las batimetrías. Embalse Dos Cerritos.**

<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>			
		<b>1973-1991</b>	<b>1991-2008</b>
Volumen de Sedimentos	$m^3$	19.540.852	35.119.499
Área de la Cuenca	$Km^2$	910	910
Intervalo entre mediciones	años	18	17
<b>MPS</b>	<b><math>m^3/Km^2/año</math></b>	<b>1.193</b>	<b>2.270</b>

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

**Tabla 3.8. Módulo de Producción de Sedimentos (MPS) del Embalse Dos Cerritos.**

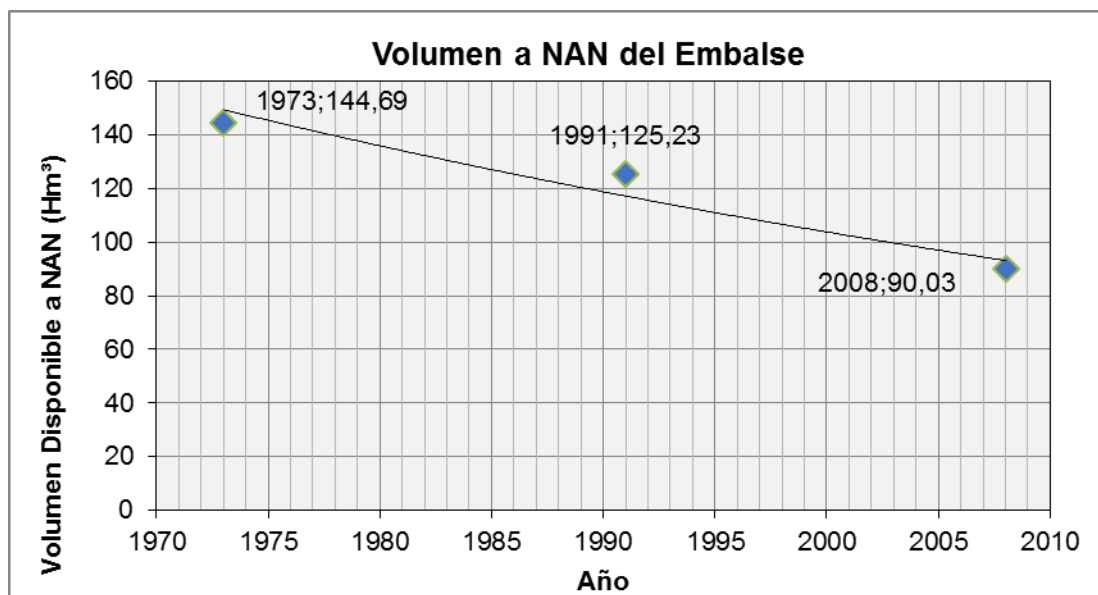
<b>Módulo de Producción de Sedimentos (MPS)</b>		
<b>Lapso total de mediciones</b>		1973-2008
Volumen de Sedimentos	m <sup>3</sup>	54.660.351
Área de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	910
Intervalo de tiempo	años	35
Módulo de Producción de Sedimentos	m <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> /año	1.716

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

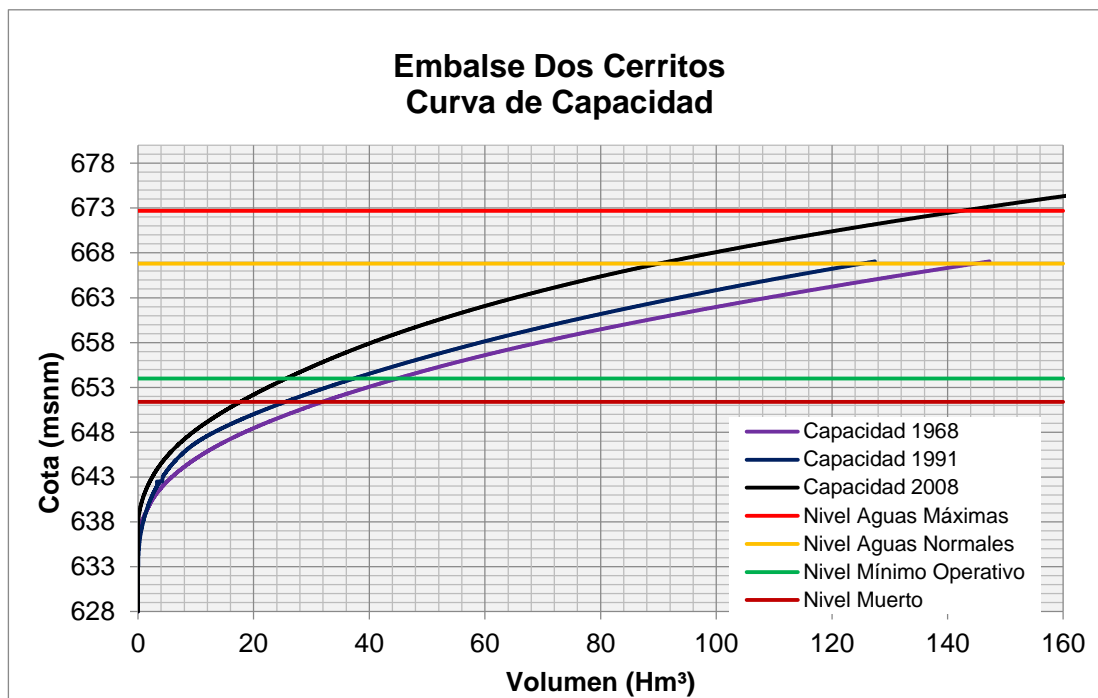
**Tabla 3.9. Variación del Volumen de Agua Disponible a Nivel de Aguas Normales en el tiempo. Embalse Dos Cerritos.**

	1973	1991	2008
<b>Volumen a NAN (Hm<sup>3</sup>)</b>	144,69	125,23	90,03

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.6. Volumen a NAN del Embalse Dos Cerritos.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.7. Curva de Capacidad del Embalse Dos Cerritos. Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.**

La producción de sedimentos en este embalse se ha incrementado en más de un 140% entre los dos (2) lapsos de medición con los que se cuenta lo cual pudiera denotar un proceso acelerado de degradación de los suelos y flora, que según la FAO (1980), existe un riesgo de erosión severo en la cuenca contribuyente al embalse para el lapso comprendido entre los años 1991-2008 (2.270 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año).

De mantener el nivel de producción de sedimentos medido entre los años 1991 y 2008 el volumen útil disponible establecido en el año 2008 se vería totalmente colmatado para el año 2031, por lo cual se podría decir que la vida útil remanente de este embalse es de menos de 15 años.



**Tabla 3.10. Variación del Volumen Útil de los Embalses en el tiempo.**

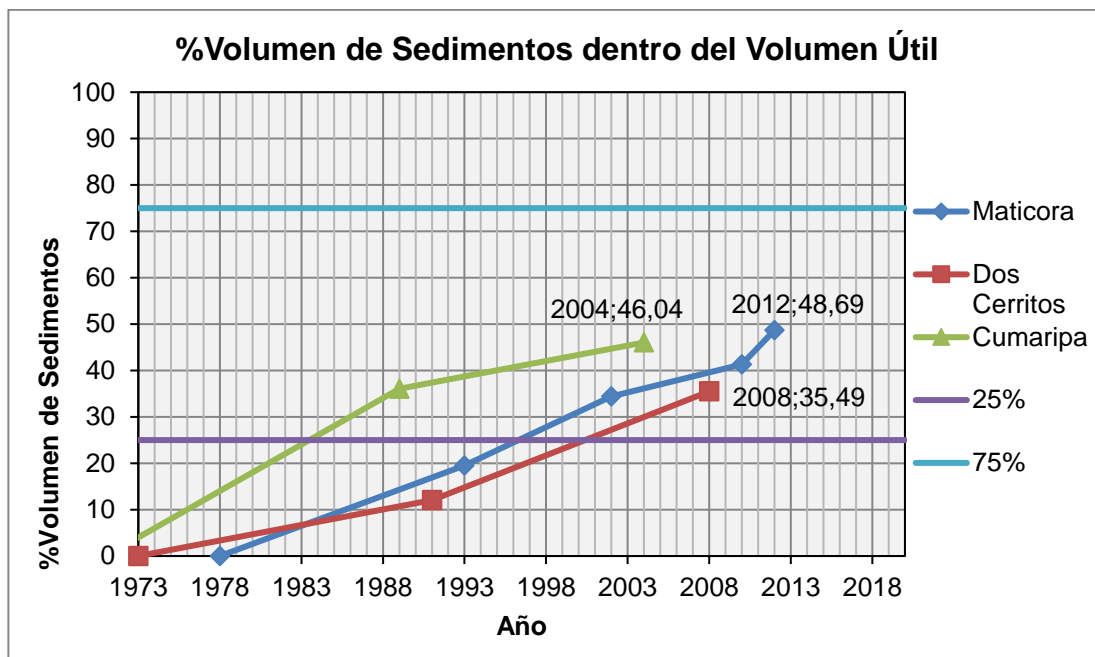
Embalse	Año	Volumen Útil (m <sup>3</sup> )	Porcentaje respecto al inicial
Maticora	1978	200.000.000	100.0%
	1993	160.917.644	80.5%
	2002	131.138.406	65.6%
	2010	117.423.004	58.7%
	2012	102.614.511	51.3%
	2028 (e)	Colmatación	0.0%
Cumaripa	1971	100.018.783	100.0%
	1989	63.963.009	64.0%
	2004	53.970.396	54.0%
	2029 (e)	Colmatación	0.0%
Dos Cerritos	1973	99.827.099	100.0%
	1991	87.759.324	87.9%
	2008	64.396.626	64.5%
	2031 (e)	Colmatación	0.0%

(e): Fecha estimada en función del Módulo de Producción de Sedimentos.

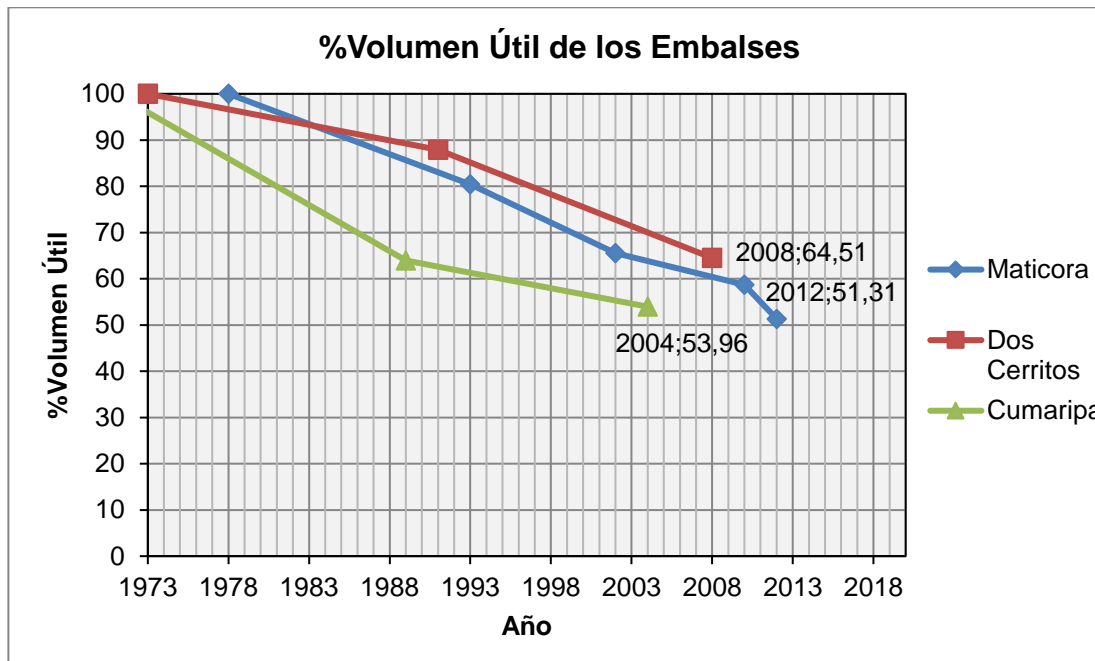
**Tabla 3.11. Disminución Porcentual de Volumen Útil como consecuencia de la acumulación progresiva de sedimentos.**

Año	Maticora					Dos Cerritos			Cumaripa		
	1978	1993	2002	2010	2012	1973	1991	2008	1971	1989	2004
% Volumen de Sedimentos	0,00	19,54	34,43	41,29	48,69	0,00	12,09	35,49	0,00	36,05	46,04
% Volumen Útil	100,00	80,46	65,57	58,71	51,31	100,00	87,91	64,51	100,00	63,95	53,96

Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.8. %Volumen de Sedimentos dentro del Volumen Útil.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.



**Figura 3.9. %Volumen Útil remanente de los Embalses.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

Como se puede observar en la tabla el Volumen de Sedimentos acumulados hasta la última medición en los embalses Maticora, Cumaripa y Dos Cerritos es de 48,69%, 46,04% y 35,49% respectivamente por lo cual la capacidad de surtir agua a la población ha mermado y la posibilidad de falla se ha incrementado en forma significativa.

La Figura 3.10 muestra al Embalse de Maticora donde la acumulación se hace evidente puesto que más de la mitad del vaso de almacenamiento (sector noreste), ya está totalmente sedimentado, mientras que el resto del embalse, al Sur, muestra una sedimentación menor.



**Figura 3.10. Fotografía satelital del Embalse Maticora. Fuente: Google Earth (2016).**

---

## 4. MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN

### 4.1. Matriz de Toma de Decisión para Embalses en proceso de Colmatación

La MTD sirve al profesional encargado de rehabilitar o inhabilitar un embalse colmatado, como herramienta fundamental para la toma de decisión en el manejo y operación de dichas obras, así como las acciones que pueden desarrollarse para lograr el restablecimiento del servicio o el disfrute y uso de las áreas afectadas por el conjunto presa-embalse.

Cabe destacar, que la MTD se basa en preguntas simples, que no reflejan la gran complejidad de variables incluidas en cada proyecto particular por lo cual debe ser interpretada como una orientación y no sustituye en poca o gran medida el juicio experto del profesional a cargo de la evaluación del proyecto.

En general la MTD responde a los siguientes cuestionamientos:

- a. ¿Es necesario el Embalse o existe una fuente alterna que pueda sustituirlo?
- b. ¿El grado de colmatación está acorde a la rata esperada de llenado de sedimentos o se ha acelerado el proceso recortando su vida útil?
- c. ¿Qué nivel de colmatación tiene el embalse, expresado éste cómo % de su volumen útil?
- d. ¿Qué condiciones topográficas prevalecen en el área?
- e. ¿Qué características estructurales tiene el embalse?
- f. ¿Cuáles son los impactos ambientales y riesgos asociados a la presa, su mantenimiento o su eliminación?
- g. ¿Qué valor histórico tiene la presa?

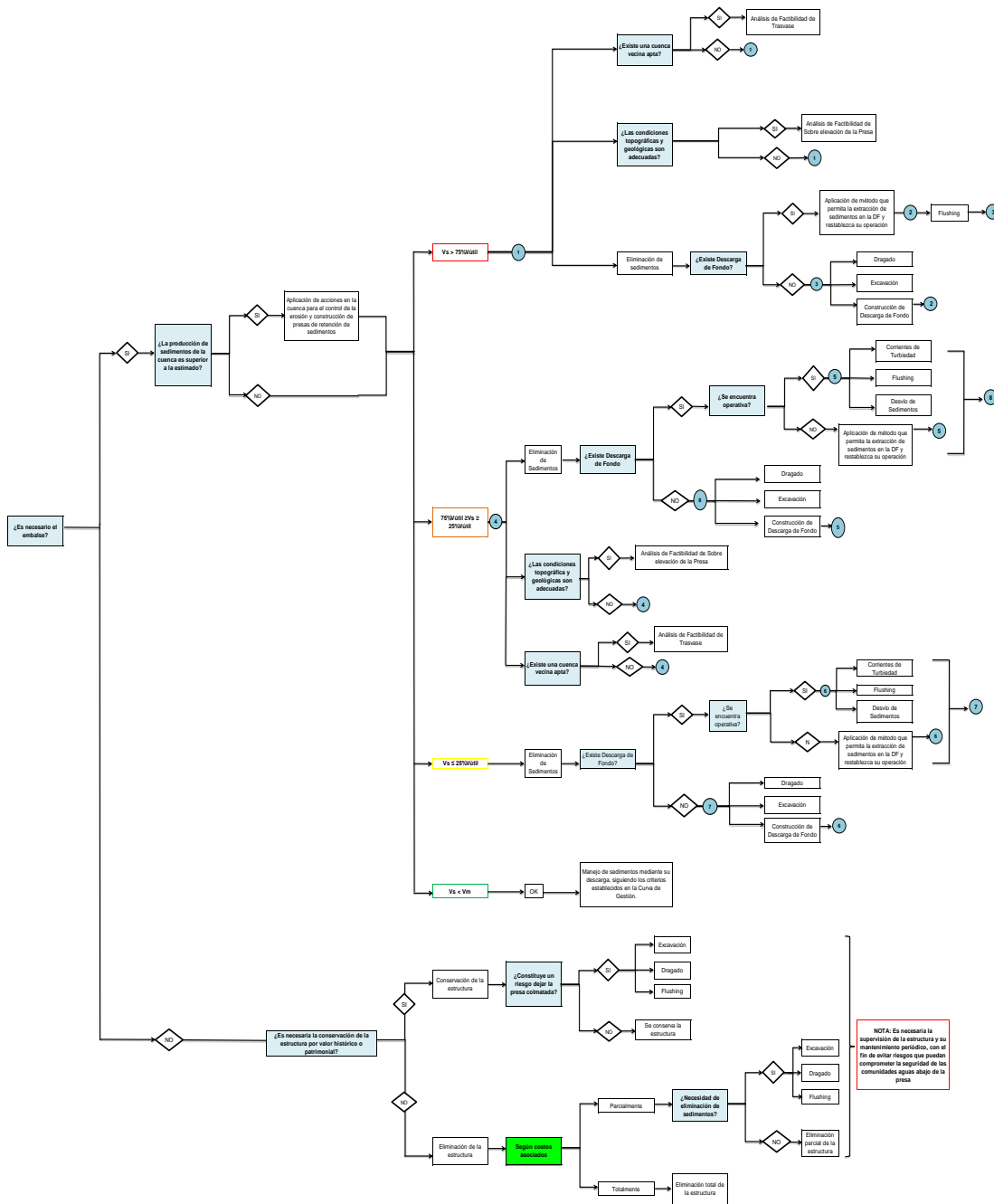


Figura 4.1. Matriz de Toma de Decisión. Fuente: Riera y Vasconcelos (2015) y modificaciones: Adrián Cuberos (2016).

La MTD, tal como se aprecia en la Figura 4.1, está dividida en una primera categoría donde se define hasta qué punto es necesario preservar esta obra hidráulica ya sea por su fin principal o por motivos patrimoniales o si es posible sus sustitución.

Posteriormente y sólo para aquellas estructuras que deban preservarse para mantener su función actual se divide en 4 grandes sectores donde se trata de ponderar el grado de afectación que los sedimentos han alcanzado en el embalse así, se definen como valores de significativos Volumen de Sedimentos inferior al Volumen Muerto del Embalse y Volumen de sedimentos ocupando ya el 25, el 50 o más del 75% del volumen útil del embalse.

Finalmente la MTD sugiere algunas acciones que pudieran desarrollarse en el embalse o en la presa y sus obras anexas para mejorar la condición del embalse, extender su vida útil y restituir o mejorar las condiciones operativas del embalse.

## **4.2. Aplicación de la Matriz de Toma de Decisión**

### **4.2.1. Embalse Maticora**

La cuenca del río Maticora está situada en la parte occidental del Estado Falcón, en sus límites con el estado Zulia. El embalse Maticora se encuentra dividido en dos sectores: a) por el noreste, el vaso del río Maticora. b) por el suroeste, el vaso de la quebrada Uca.

Los objetivos del proyecto de este Embalse, fueron Riego por gravedad de 10.000 Has de tierras existentes en la margen izquierda del río Maticora y Control de inundaciones de las riberas del río. Actualmente dicho embalse abastece de agua potable a la población de Mene Mauroa, La Puerta, caseríos circunvecinos, sirve de riego de 3.000 Has y se mantiene su función como control de inundaciones. Por la importancia del Embalse Maticora para el

Estado Falcón, es necesario proponer una solución para evitar su colmatación y prolongar su vida útil aumentando el Volumen Útil del Embalse.

Anteriormente se mencionó que el Modulo de Producción de Sedimentos del Embalse Matícora es de 3.772 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año que, al compararlo con el estimado durante la fase de Proyecto (1.569 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año) lo supera en poco más del 140% y por ende, al entrar en la MTD, ésta recomienda aplicar acciones en la cuenca para el control de la erosión y, de ser posible, construcción de presas de retención de sedimentos.

Inmediatamente es necesario verificar el rango de afectación que a la fecha se encuentra el embalse y, según la batimetría del 2012, tan sólo se encuentra disponible el 51,31% de la capacidad útil del embalse original o, tal como lo requiere la matriz, el volumen de sedimentos ocupa el 48,69% de la capacidad útil por lo cual se entra en la opción que indica que el volumen de sedimentos es superior al 25 % e inferior al 75% del volumen útil este volumen.

Una vez en esta zona la matriz permite seguir tres (3) rutas; ellas son:

1. Eliminación de Sedimentos acumulado en el embalse
2. Análisis de sobre-elevación de la presa
3. Análisis de trasvase de las aguas hacia cuenca vecina.

La primera ruta allí indicada puede ser tomada sola o en conjunto con la segunda opción. De tomar la tercera ruta ésta debe hacerse individualmente.

A continuación se siguen las tres (3) rutas para el Embalse Matícora.

### **Eliminación de Sedimentos**

La forma más económica de eliminar sedimentos es utilizando las descargas de fondo que pudieran existir en los embalses por lo cual, se inicia esta ruta preguntado sobre la existencia y operatividad de las Obras de Descarga.

En el Embalse Matícora existe una Válvula de Descarga de Fondo Howell Bunger de 1,20 m de diámetro (48”), esta válvula cumple tres funciones: descarga de sedimentos, lavados periódicos y vaciado de emergencia del embalse. Con base en la inspección visual realizada el 13 de Noviembre de 1985 por el Ing. Roberto Araya Álamo, se encuentra obstruida por los sedimentos del embalse desde el año siguiente a su puesta en operación.

Aunque la matriz señala que se debe aplicar un método que permita restablecer la operatividad de la válvula ésta opción se considera descartada por la similitud que pudieran tener las condiciones actuales de la cuenca (geología y clima) con esta solución y las descritas para el Embalse Pedregal por el Ing. Luis Miguel Suárez en su plasmada en su libro “Incidentes en las Presas de Venezuela”, ya que ambos embalses están en el Estado Falcón:

*A finales de 1988, es decir justamente 10 años después de la puesta en servicio del Embalse Pedregal, este se llenó completamente de sedimentos y quedó fuera de servicio.*

*A mediados de 1990 se intentó destapar la descarga de fondo. Para ello se desmontaron ambas válvulas, se excavó el sedimento del interior del conducto y se tuvo así acceso desde aguas abajo a la estructura de rejillas. Se colocaron explosivos y se esperó a que el río tuviera un caudal importante para proceder a hacer voladura, con el propósito de remover el sedimento acumulado y lograr la interconexión de la entrada del conducto con el agua del embalse, intentando que se estableciera un flujo capaz de arrastrar el barro acumulado. Todo fue inútil. El espesor de 36 metros de barro consolidado, mezclado con palos y troncos, formaba un “barro consolidado” muy resistente, sobre la estructura de rejas, que hizo fracasar la operación.*

### **Análisis de las Condiciones topográficas del Vaso**

Al seguir la segunda ruta descrita en la matriz “Análisis de Factibilidad de Sobre-elevación de la Presa” se hace necesario verificar si existen condiciones topográficas adecuadas para el alzamiento de la presa y la inundación de un



vaso de almacenamiento por encima de los niveles superiores hasta ahora conocidos en ella.

Esta verificación topográfica consiste en evaluar, si por encima de los niveles actuales el Vaso de Almacenamiento se encuentra totalmente confinado o si fuese necesaria la construcción de taponos o presas auxiliares que eviten la fuga de agua hacia otras cuencas.

Igualmente se hace necesario verificar si hay asentamientos poblacionales o desarrollos agrícolas o industriales en la nueva área a inundar que hubiese que proteger, trasladar o simplemente constituyen una limitación tal que obligarían a descartar esta opción.

Para definir como primera aproximación la magnitud de la sobre-elevación del embalse se hizo un cálculo simple donde se busca que exista un Volumen Útil equivalente al originalmente previsto en esta presa por encima del actual NAN. Bajo esta premisa, la totalidad del volumen disponible actual se define como el nuevo Volumen Muerto de la presa y adoptando como consecuencia un nuevo Nivel mínimo Operación en la cota 120 msnm.

La sobre-elevación máxima podría establecerse entonces como el volumen útil dividido entre el área del espejo de agua a cota 120 msnm

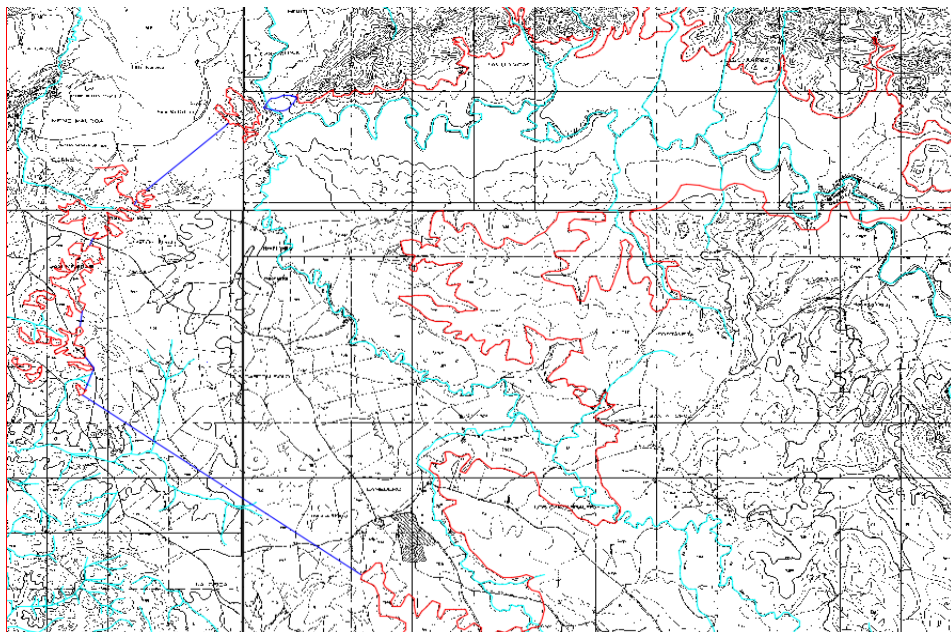
$$\text{Sobreelevación} = \frac{V_{\text{útil}}}{\text{Área}_{120}} = \frac{452\text{Hm}^3}{3.560\text{Ha}} = 12,70\text{m}$$

Vale la pena aclarar que a la hora de decidir sobre el nuevo volumen útil es necesario verificar el propósito actual del embalse y las modificaciones que han podido ocurrir en la demanda actual y futura así como analizar si con la nueva información hidrológica obtenida como consecuencia de la data que reportan los años transcurridos desde su puesta en operación modifican los movimientos de embalse y, por lo tanto, el volumen útil requerido para alcanzar una seguridad en el suministro. Al no contar con dicha información y escapar

del alcance general de los trabajos se procede a suponer que el volumen útil original es todavía válido para este embalse.

La sobre-elevación obtenida debe entonces añadirse al antiguo NAN y se obtiene una nueva cresta de la estructura de alivio en la cota 132,70 msnm y manteniendo el borde libre de la antigua estructura se obtiene una nueva cota de cresta de 137,70 msnm que, por razones de la información topográfica disponible, se adopta el nivel 140 msnm.

Una simple inspección de la curva de nivel 140 en los planos cartográficos disponibles muestra la necesidad de incorporar una gran cantidad de Diques secundarios de Cierre que eviten desvíos de agua hacia las zonas oeste, suroeste y sur del Embalse Maticora, lo que haría podría implicar importantes costos de construcción que pudieran hacerlo inviable. La Figura 4.2 muestra el Vaso de Almacenamiento a cota 140 msnm donde se han destacado los “tapones” que deberían construirse para lograr la sobre elevación de la presa.



**Figura 4.2. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Maticora.** Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.

**Nota:** Cota máxima propuesta 140 msnm (color rojo), sitios probables de construcción de Diques secundarios de Cierre (color azul oscuro).

### **Factibilidad de Trasvase**

El análisis de esta ruta sugerida por la MTD, igualmente, con la evaluación detallada de los cursos de agua ubicados en la periferia del Vaso de Almacenamiento y parcialmente queda sustentada con las posible fugas de aguas en el embalse que obligaban en el análisis previo a la construcción de “tapones” o diques de cierre para poder desarrollar la sobre-elevación de la presa.

En este caso en particular, se puede invocar la descripción realizada por el Ing. José de Jesús Gaspar, publicada en el Capítulo VIII “Sedimentación de Embalses en Venezuela”, del libro Ingeniería Forense y Estudios de Sitio/Guía para la Prevención y Gestión de Riesgos. Volumen II, donde se indica lo siguiente:

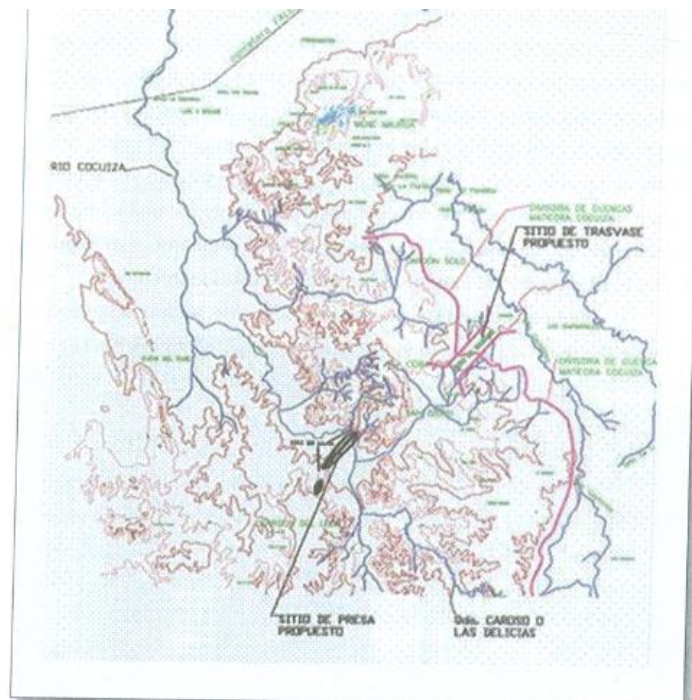
*Una posible solución a la sedimentación de este embalse pudiera ser el trasvase de aguas superficiales a un embalse en la cuenca adyacente del río Cocuiza. Es factible mediante diques cuya altura no excederían los 30 metros, construir un nuevo embalse sobre el río Cocuiza. Se obtendrían un vaso de almacenamiento cuya capacidad estaría en el orden de los 100 millones de metros cúbicos. Este embalse se puede comunicar con el Embalse Maticora mediante un canal de trasvase.*

*El trasvase desde el Embalse Maticora, se haría en la parte Sureste del Embalse, cuenca de la Quebrada Uca y Cachimbo.*

La Figura 4.3 muestra un esquema de las obra de trasvase propuesta por el Ing. Gaspar (2009), como se puede apreciar en ella el Embalse de Maticora se mantendría operando como se encuentra en la actualidad y su vaso sería un gran sedimentador con la posibilidad de contar con un nuevo almacenamiento en la Quebrada Cocuiza capaz de albergar hasta 100 Hm<sup>3</sup> de

aguas con poco o ningún sedimento y donde probablemente sea necesario la construcción de una nueva obra de toma.

La opción así alcanzada tendría un volumen útil inferior al previsto originalmente por lo cual, y con mejor información cartográfica, quizás sea viable la combinación de sobre-elevación (a una cota inferior a la mencionada previamente) con el trasvase hacia la Quebrada Cocuiza e instalando una nueva obra de descarga que permita evacuar parcialmente los sedimentos retenidos en el vaso de almacenamiento.



**Figura 4.3. Esquema de trasvase desde el embalse Maticora hacia la cuenca del río Cocuiza. Fuente: Gaspar (2009).**

Por otro lado, es importante tomar en cuenta la vida útil esperada de esta rehabilitación del Embalse Maticora, puesto que si se considera la producción media de sedimentos de la cuenca de  $3.772 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  o, lo que es lo mismo  $9,05 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , el volumen disponible para el año 2012 ( $144.19 \text{ Hm}^3$ ) quedaría colmatado para el año 2028.

---

La aplicación de la MTD al Embalse de Matícora se podría concluir como sigue:

- La rehabilitación de la estructura de descarga debe ser una primera opción a evaluar y deberán desarrollarse análisis más profundos sobre la viabilidad de ello. Cualquier otra opción a desarrollar debe instalar una nueva obra de descarga de sedimentos.
- La sobre-elevación del embalse parece comprometida por el relieve alrededor del embalse y la gran cantidad de diques secundarios a construir.
- El trasvase hacia la Quebrada Cocuiza, tal como fue recomendado por el Ing. Gaspar, puede ser evaluado más a fondo aunque el volumen añadido no permitiría garantizar el suministro de agua en períodos medios a secos.
- Analizar la posibilidad de realizar una solución combinada que incorpore la sobre-elevación parcial de la presa principal, la construcción de diques secundarios de menor dimensión y el trasvase hacia la Quebrada Cocuiza instalando una obra de descarga al nivel de aguas normales actual.

#### **4.2.2. Embalse Cumaripa**

La Presa “Cumaripa” se encuentra en el sitio denominado “El Voladero” situado a 4 Km aguas abajo del Puente Cumaripa (Puente de la Carretera Chivacoa-Encrucijada de Carabobo, sobre el río Yaracuy) Municipio Chivacoa en el Estado Yaracuy.

El Embalse Cumaripa fue diseñado para control de inundaciones del Alto Yaracuy y riego de 10.600 Has, en el Medio Yaracuy. También para control de sedimentos y fines recreacionales. Actualmente abastece agua potable a San Felipe y Cocorote, sirve de Riego a 1.600 Has. y para el Control de crecientes, sedimentos y polución. Por la importancia del Embalse Cumaripa para el Estado Yaracuy, es necesario proponer una solución para evitar su colmatación y prolongar su vida útil aumentando el Volumen Útil del Embalse.

Al analizar el proceso de sedimentación del embalse se puede notar que el Módulo de Producción de Sedimentos es muy alto, llegando a alcanzar un valor medio de  $5.229 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  para el período 1971-1989 sin incluir lo que han dragado y/o descargado por la obra de limpieza que, en el embalse se traduce en una disminución de su capacidad de almacenamiento de agua equivalente a  $2,25 \text{ Hm}^3/\text{año}$ . Esta rata de producción de sedimentos es 30 veces mayor a la supuesta en el proyecto por lo cual es necesario establecer urgentemente medidas de preservación de la cuenca que disminuyan en lo posible el acarreo de sedimentos por parte del río, la construcción de presas de retención de sedimentos a lo largo del cauce del río y el incremento de la capacidad de acopio de sedimentos en el embalse propiamente dicho.

Al aplicar la MTD con un volumen de sedimentos superior al 25% e inferior al 75% del volumen útil de la presa (Valor obtenido para el año 2004 es de 46,04%) se obtiene en primera instancia la recomendación de medidas que tiendan a disminuir el acarreo de sedimentos tal como las mencionadas previamente y a la selección de las tres (3) rutas siguientes:

### **Eliminación de Sedimentos**

Para eliminar los sedimentos se necesita saber si el embalse posee Descarga de Fondo, el embalse Cumaripa si posee Descarga de Fondo de diámetro 90" y se realiza por el mismo conducto donde se hace la descarga ecológica al río Yacucuy, la información suministrada por el ente encargado, indica que los vástagos de las compuertas radiales no se encuentran en buen estado, por lo que se dejó de descargar sedimentos hace unos 15 años. La descarga ecológica continua operativa y se realizan descargas programadas.

La matriz establece como recomendación la rehabilitación de la obra y, tomando en cuenta que la descarga ecológica se encuentra aún en operación, parece viable esta opción y se deberá analizar con mayor detalle la factibilidad de poner en funcionamiento esta estructura.



La presencia de esta estructura y su rehabilitación abre la posibilidad de remover los sedimentos por cualquiera de los métodos allí expuestos: Flushing, Corrientes de Densidad o Desvío de Sedimentos.

Esta opción queda a la espera del análisis de la factibilidad real de rehabilitación de la descarga de fondo por lo cual se procede a continuar con el análisis sugerido en la matriz.

### **Análisis de las Condiciones topográficas del Vaso**

Gran parte del vaso de almacenamiento de Cumaripa se encuentra delimitado por laderas de altas montañas que parecen sugerir que la topografía del área tiene condiciones adecuadas para realizar un Análisis de Factibilidad de Sobre-elevación de la Presa.

Siguiendo la misma metodología descrita en el Embalse Matícora, la sobre-elevación para alcanzar un volumen útil igual o inferior al que se esperaba en el diseño original es de 8,29 metros y fue obtenido al dividir el volumen útil entre el área del espejo de agua a nivel de aguas normales.

$$\text{Sobreelevación} = \frac{V_{\text{útil}}}{\text{Área}_{202}} = \frac{107,75 \text{Hm}^3}{1.300 \text{Ha}} = 8,29 \text{m}$$

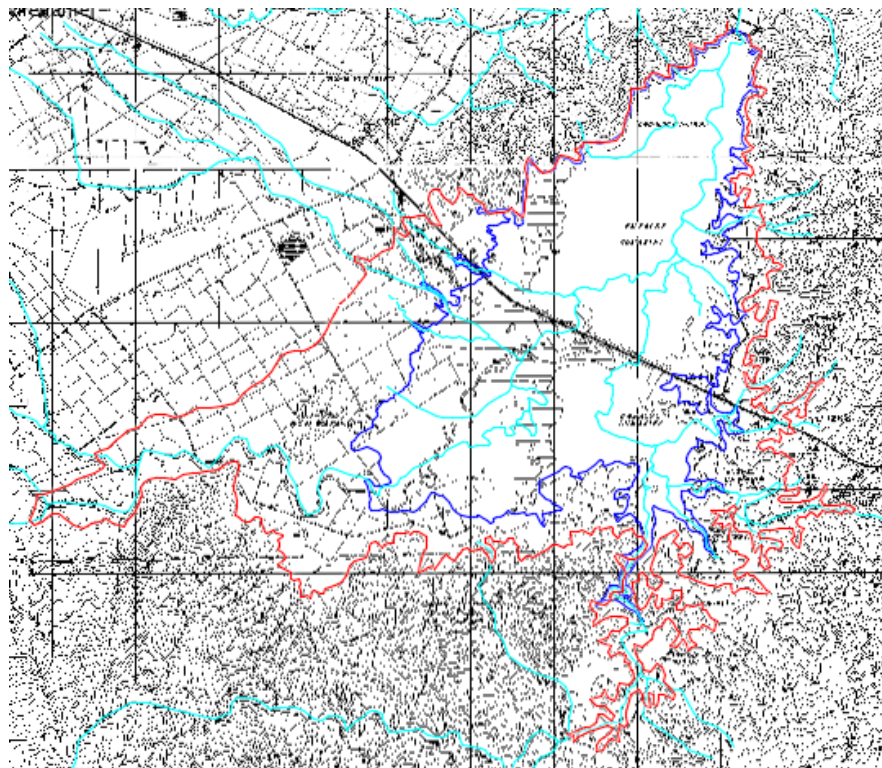
Nuevo NAN= 202,30 msnm + 8,29 m= 210,59 msnm.

El nuevo nivel de cresta se adaptaría en consecuencia y se obtendría sumando al NAN el borde libre actual de presa.

Nuevo nivel de cresta de la presa = 210,59 msnm + 5,20 m = 215,79 msnm.

Para efectuar el análisis del vaso de almacenamiento se adopta como cota deseable máxima el nivel 220 msnm y al observar el área del nuevo embalse en los planos cartográficos de la zona se puede ver que no existe

necesidad de construir diques secundarios de cierre, confiriéndole mayor viabilidad a esta medida.



**Figura 4.4. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Cumaripa.** Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.

**Nota:** Cota actual 205 msnm (color azul), cota máxima propuesta 220 msnm (color rojo).

#### **Factibilidad de Trasvase**

Cerca del Embalse Cumaripa no existe una cuenca vecina apta para realizar un trasvase.

La aplicación de la MTD al Embalse de Cumaripa se podría concluir como sigue:



- La rehabilitación de la estructura de descarga parece ser viable, además de establecer una rutina de operación y de extracción de sedimentos. Sin embargo, si al analizar a profundidad la viabilidad de la rehabilitación, no es posible, cualquier otra opción a desarrollar debe instalar una nueva estructura de descarga de sedimentos.
- La sobre-elevación del embalse parece ser la mejor opción y la observación del relieve del vaso así lo confirma. Sin embargo, es importante tomar en cuenta las consecuencias de dicha sobre-elevación en el Puente de la Carretera Chivacoa-Encrucijada de Carabobo, debido a que su reubicación o alzamiento podrían descartar esta opción.
- No es viable el trasvase de aguas del río Yaracuy hacia un curso de agua cercano.
- Se debe analizar la posibilidad de realizar una solución combinada que incorpore la sobre-elevación de la presa principal con la mejora de la descarga actual y la instalación eventual de otra obra de descarga al nivel actual de la cresta del aliviadero.

#### **4.2.3. Embalse Dos Cerritos**

La presa “Dos Cerritos” está ubicada a unos 4 km aguas arriba de la población El Tocuyo, Municipio Bolívar en el Estado Lara captando las aguas que discurren por el río Tocuyo y la Quebrada La Goajira.

Con el fin de aprovechar el escurrimiento de ambos cursos, se proyectaron dos cierres de los cauces: uno sobre el río Tocuyo y otro sobre la quebrada La Goajira. El embalse que se forma en el sitio denominado “Dos Cerritos” se diseñó con la finalidad almacenar el volumen de agua necesario como para abastecer a Barquisimeto y poblaciones en los Valles de Quibor, regar unos 4.500 Has en los alrededores de El Tocuyo, controlar las crecientes del río Tocuyo y mantener en el río un gasto ecológico que permitiera mantener

la continuidad de las especies allí existentes. Actualmente abastece de agua potable a Barquisimeto, El Tocuyo, Quibor y Bobare, sirve de riego a través de los Bucos, Los Cocos y El Molino (1.000 Has de caña de azúcar) manteniendo también el aporte al gasto ecológico y el control de crecientes del río El Tocuyo.

Por la importancia del Embalse Dos Cerritos para el Estado Lara, es necesario proponer una solución para evitar su colmatación y prolongar su vida útil aumentando el Volumen Útil del Embalse, por lo cual, ante la primera pregunta al aplicar la matriz sobre la necesidad del embalse, la respuesta es positiva.

El Módulo de Producción de Sedimentos contemplado en el proyecto del Embalse Dos Cerritos fue de  $1.000 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  el cual es similar al medido durante las dos (2) primeras mediciones del embalse (lapso comprendido entre los años 1968 y 1991) pero significativamente inferior al obtenido entre los años 1991 y 2008 donde llegó a alcanzar  $2.270 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$ ; es decir, 127% más de lo esperado.

Esta situación nos obliga a recomendar en primer lugar una evaluación general de la cuenca y el desarrollo de medidas tendientes a disminuir el aporte de sedimentos que se ha incrementado en los últimos años de una manera tal que debe corresponder a un proceso acelerado de afectación a la cobertura natural de los suelos y a la instauración de actividades en la cuenca que está deteriorando la superficie del suelo.

Al aplicar la matriz de decisión con un volumen de sedimentos superior al 25% e inferior al 75% del volumen útil de la presa (Valor obtenido para el año 2008 es de 35,49%) se obtiene en primera instancia la recomendación de medidas que tiendan a disminuir el acarreo de sedimentos tal como las mencionadas previamente y a la selección de las tres (3) rutas siguientes:

## Eliminación de Sedimentos

Al igual que en la ruta establecida previamente y al no poseer descarga de fondo la matriz lleva a buscar soluciones que eliminen mecánicamente los sedimentos acumulados: Dragado y Excavación. Igualmente se propone la Construcción de Obra de Descarga.

## Análisis de las Condiciones topográficas del Vaso

Las condiciones de la cuenca del río Tocuyo, donde está situado el Embalse Dos Cerritos, son adecuadas para realizar un Análisis de Factibilidad de Sobre-elevación de la Presa, al realizar la relación entre el Volumen a Nivel Normal y el Área de Inundación a Nivel Normal como primera aproximación se obtiene:

$$\text{Sobreelevación} = \frac{V_{\text{útil}}}{\text{Área}_{667}} = \frac{156 \text{Hm}^3}{1.060 \text{Ha}} = 14,72 \text{m}$$

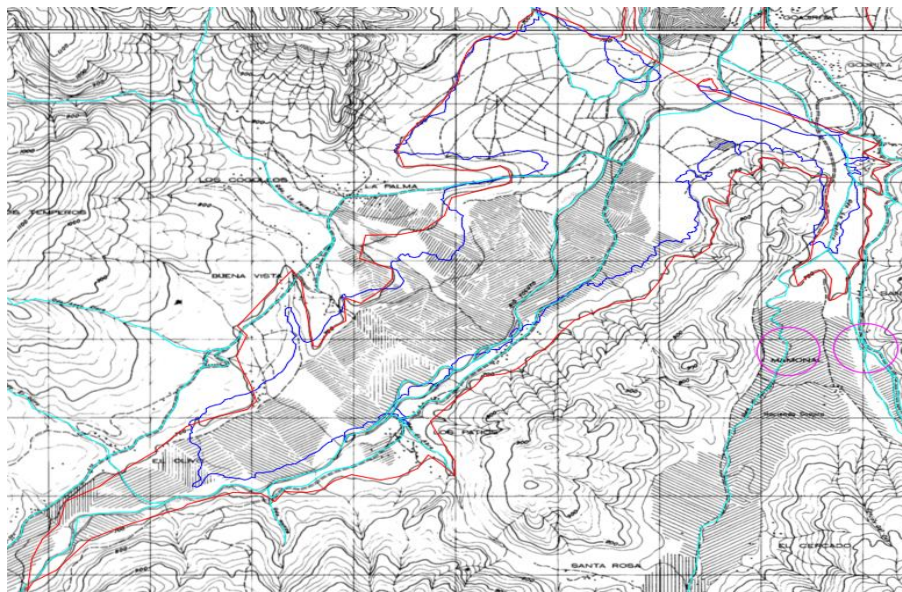
Por esta razón el nuevo NAN se encontraría en la cota 681,50 msnm que, al sumar el Borde Libre anterior de la presa (6,50 m) nos da una nuevo Nivel de Cresta de 688,02 msnm. Debido a las limitaciones en relación a la información cartográfica disponible, se hace la evaluación adoptando como nueva cota del espejo de agua a NAN la cota 700 msnm y aún para esta condición se observa que no se necesita ningún Dique de Cierre y que es factible considerar una Sobre-elevación en el Embalse Dos Cerritos.

Sin embargo, las condiciones geológicas de la zona pueden ser un inconveniente debido la sismicidad propia de esta región de Venezuela y a la recomendación dada por el Ing. José de Jesús Gaspar en el Capítulo VIII "Sedimentación de Embalses en Venezuela", del libro Ingeniería Forense y Estudios de Sitio/Guía para la Prevención y Gestión de Riesgos. Volumen II, quien al referirse al caso Dos Cerritos expresa lo siguiente:

*Una solución a la pérdida de capacidad del Embalse, no es fácil. La Sobre-elevación de las presas es difícil debido a su particular diseño, además de las condiciones de fundación de la presa sobre la Quebrada Goajira, no es apta para una Sobre-elevación.*

De confirmarse esta situación la sobre-elevación de las presas tendrá que ser descartada y se deberá entonces tratar de disminuir el aporte de sedimentos de la cuenca ya sea con medidas de mejoramiento en la cobertura tal como ya se había expresado o implantado al menos dos (2) presas de retención de sedimentos que se ven favorecidas por las condiciones topográficas aguas arriba del vaso de almacenamiento, específicamente en la zona de Mamonal, cuyos afluentes son la Quebrada El Cercado y Quebrada Guárico. (Ver Figura 4.5).

Es importante destacar, que el alzamiento trae como consecuencia la modificación de la carretera que cruza por la cresta de la presa (El Tocuyo-Guárico), la cual podría ser reubicada en la cola del nuevo vaso de almacenamiento.



**Figura 4.5. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Dos Cerritos. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.**

**Nota:** Cota actual 672,7 msnm (color azul), cota máxima propuesta 700 msnm (color rojo), sitios probables de construcción de presas de retención de sedimentos (color morado).

### **Factibilidad de Traslase**

Cerca del Embalse Dos Cerritos no existe una cuenca vecina apta para realizar un traslase. Existe la posibilidad de que aguas abajo del Embalse Dos Cerritos se implante una presa, cuyo Nivel de Aguas Normales sería el mismo que el del Embalse Dos Cerritos, dicha solución se descartaría porque el área de inundación para 660 y 700 msnm afectaría todo lo que es la población del Tocuyo, Dos Caminos, entre otras.

La aplicación de la MTD al Embalse de Dos Cerritos se podría concluir como sigue:

- Para tomar la solución de la Sobre-elevación se recomienda realizar un estudio más exhaustivo, y así determinar si las condiciones geológicas son las adecuadas.
- En cuanto al Dragado, Excavación y Obra de Toma, se debería hacer un estudio económico para así determinar cuál de las tres (3) soluciones es la más factible.

### **4.3. Análisis de la Matriz de Toma de Decisión**

Al aplicar la MTD sugerida por Riera/Vasconcelos se pueden hacer los siguientes comentarios:

- Es necesario que la matriz se vea acompañada de un pequeño glosario y listado de abreviaturas que facilite la comprensión de personas no directamente vinculadas con su diseño. Así, abreviaturas como OD, relativa

a Obra de Descarga y el significado del  $V_s < 25\%$  del Vútil deben quedar claros antes de aplicar la matriz de evaluación.

- La matriz pareciera que contempla soluciones únicas al problema de manejo de sedimentos y es necesario acotar que puede ser la combinación de más de una de las rutas sugeridas.
- Es posible que los límites adoptados para medir el avance de la sedimentación en el embalse deban ser ajustados una vez se haga un estudio más amplio de los embalses a nivel nacional. Al momento de culminar este TEG se considera que el primer nivel, donde los sedimentos alcanzan menos del 25% del volumen útil es una franja menor donde las opciones relacionadas a dragado y excavación sólo se podrían realizar en la denominada “cola” del embalse. Por otro lado el rango medio de afectación ( $25\%V_{\text{útil}} < V_s < 75\%V_{\text{útil}}$ ) podría considerarse muy amplio y donde el extremo superior del mismo prácticamente ha perdido la posibilidad de manejar eficientemente el gasto medio del río.

Igualmente es razonable pensar que el cuaderno de aplicación de la MTD incorpore además de los elementos ya mencionados (abreviaturas y glosario) una descripción más detallada de las soluciones propuestas ya que, las acciones para el control de la erosión, deberían ser más específicas, como por ejemplo: Control de la actividad humana, control de los movimientos de tierra en las obras civiles. Obras de protección y recuperación de cauces, reforestaciones adecuadas y control de cárcavas en las cuencas. También indica construir presas de retención de sedimentos, mas no cuales parámetros seguir para la implementación de ellas.

Al ser la producción de sedimentos mayor o menor a lo estimado en el proyecto original, la matriz invita adoptar las mismas soluciones, esto es posible ya que el termino  $V_s$  no se refiere al Volumen Total de Sedimentos dentro del embalse, sino el Volumen de Sedimentos dentro del Volumen Útil del embalse lo cual afecta directamente a la garantía en el suministro de agua.

---

A la MTD, mostrada en la Figura 4.1, se le modificó los siguientes términos:

- Existe Obra de Descarga por Existe Descarga de Fondo
- Construcción de Obra de Toma por Construcción de Descarga de Fondo
- Aplicación de método que permita la extracción de sedimentos en la OD y restablezca su operación por Aplicación de método que permita la extracción de sedimentos en la DF y restablezca su operación
- Corrientes de Turbiedad por Corrientes de Densidad

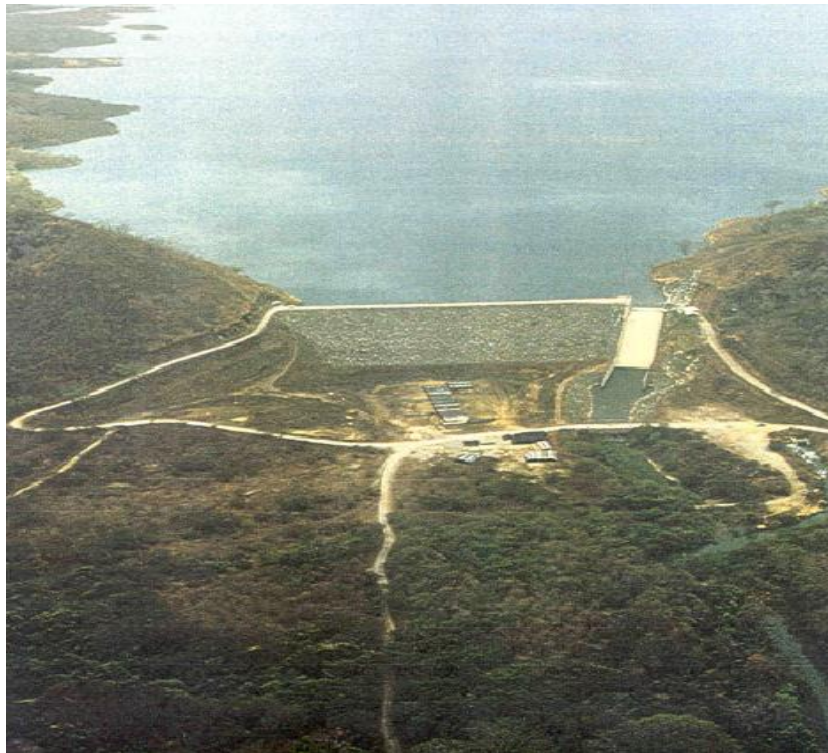


## 5. REHABILITACIÓN DEL EMBALSE CUMARIPA

### 5.1. Planteamiento Conceptual

Una vez analizada la aplicación de la MTD para los tres (3) embalses se procede a seleccionar al Embalse Cumaripa como aquel al cual se le hará el planteamiento, a nivel de Ingeniería Conceptual, de las obras asociadas a su rehabilitación.

El análisis siguiendo la MTD establece que la mejor opción para este embalse es la Sobre-elevación de la Presa, dejando como recomendación adicional la mejora de la descarga de fondo existente y la preparación de un manual de procedimientos relacionado a la operación futura de estas obras.



**Figura 5.1. Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa-Estado Yaracuy. Fuente: Revista El Agua (1976).**



Como puede apreciarse en la Figura 5.1 la sobre-elevación de la presa siempre trae como consecuencia directa la modificación de las obras de alivio, de toma, el Puente de la Carretera Chivacoa-Encrucijada y la presa misma. A continuación se hace una breve descripción de los elementos a modificar y del proceso de cálculo realizado.

## **5.2. Definición de Curva Área-Capacidad**

El alzamiento de la presa Cumaripa así como el tiempo en que este embalse ha estado operando, trae como consecuencia directa la modificación de la Curva Área-Capacidad y, por ende, de sus niveles operativos: Nivel de Aguas Muertas, Nivel Mínimo Operación, Nivel de Aguas Normales, Nivel de Aguas Máximas y Nivel de Cresta.

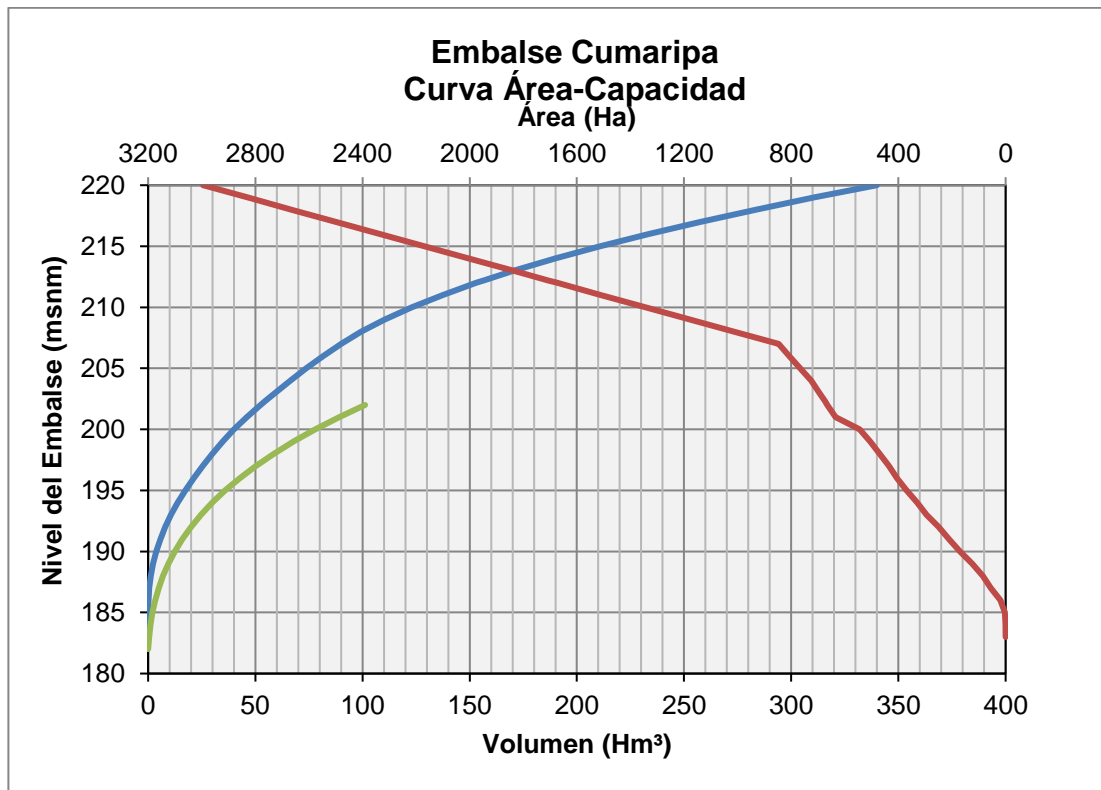
Para la definición de la nueva Curva de Área-Capacidad se tomaron como ciertos los valores obtenidos en la batimetría del año 2004 entre las cotas 184,00 y 206,99 msnm y las curvas de nivel tomadas de los planos de Cartografía Nacional a escala 1:25.000 hasta alcanzar la cota máxima estimada 220,00 msnm.

La unión de dichas informaciones permite obtener la nueva Curva Área-Capacidad del embalse Cumaripa que se muestra en la Tabla 5.1 y se grafica en la Figura 5.2 adjunta.

**Tabla 5.1. Nueva Tabla Área-Capacidad.**

Curva Área-Capacidad					
Cota (msnm)	Área (Ha)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Cota (msnm)	Área (Ha)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )
183,00	0,00	0,00	202,30	674,00	54,49
184,00	1,00	0,00	203,00	695,00	59,28
185,00	3,00	0,02	204,00	725,00	66,38
186,00	20,00	0,14	205,00	767,28	73,85
187,00	55,00	0,52	206,00	807,32	81,73
188,00	85,00	1,22	207,00	847,35	90,00
189,00	125,00	2,27	208,00	1.012,53	99,32
190,00	170,00	3,75	209,00	1.177,72	110,29
191,00	210,00	5,66	210,00	1.342,90	122,91
192,00	250,00	7,96	211,00	1.508,09	137,18
193,00	295,00	10,69	212,00	1.673,27	153,10
194,00	330,00	13,82	212,20	1.706,31	156,48
195,00	370,00	17,32	213,00	1.838,45	170,68
196,00	405,00	21,20	214,00	2.003,64	189,90
197,00	435,00	25,40	215,00	2.168,82	210,78
198,00	470,00	29,93	216,00	2.334,00	233,31
199,00	505,00	34,81	217,00	2.499,19	257,49
200,00	545,00	40,06	218,00	2.664,37	283,33
201,00	635,00	45,97	219,00	2.829,56	310,82
202,00	665,00	52,48	220,00	2.994,74	339,95

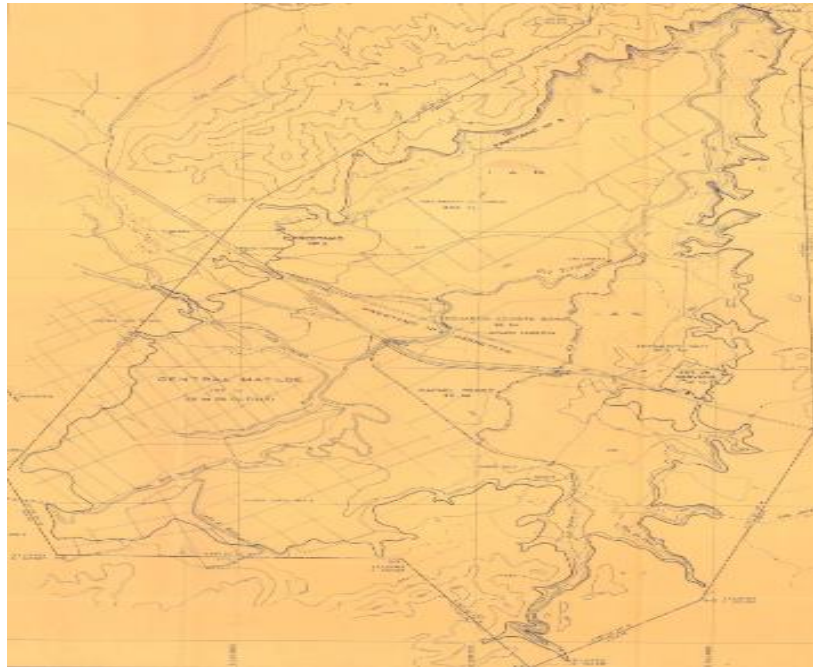
Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.



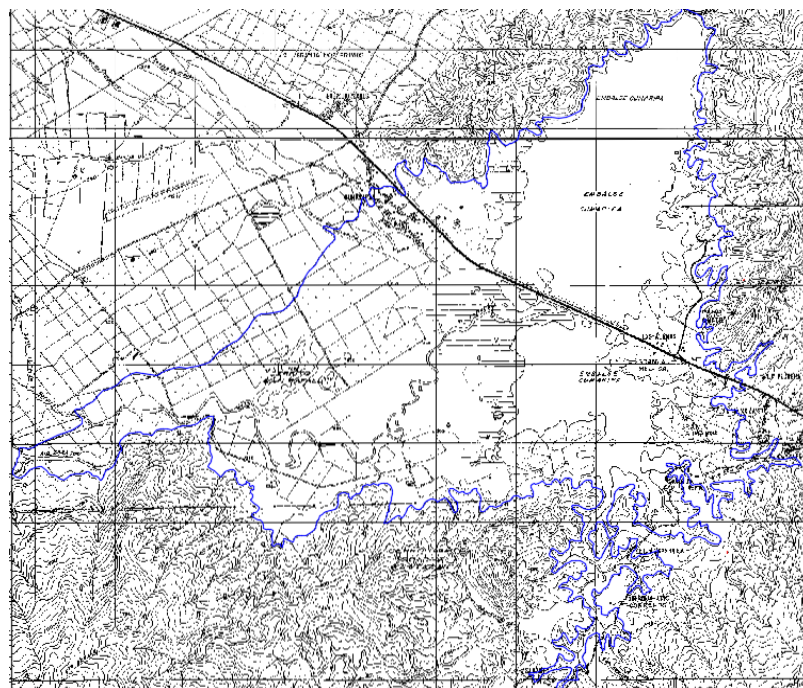
**Figura 5.2. Curva Área-Capacidad del Embalse Cumaripa.** Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”.

En la Figura 5.2 se ha incluido, sólo con carácter referencial, la Curva Área Capacidad del proyecto original entre las cotas 182 y 202 msnm (color verde) donde se observa una diferencia importante en el volumen acumulado en las cotas superiores como consecuencia de la gran cantidad de sedimentos retenidos en el embalse.

Las figuras 5.3 y 5.4 muestran el vaso de almacenamiento tal como lo mostraba el proyecto en el año 1971 y el área del nuevo vaso de almacenamiento en caso de alcanzar la cota 220 msnm.



**Figura 5.3. Vaso de Almacenamiento. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).**



**Figura 5.4. Delimitación del vaso de almacenamiento del Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia sobre planos cartográficos a escala 1:25.000 (2016). Datos: Instituto Geográfico de Venezuela "Simón Bolívar".**

**Nota:** El área inundada de color azul corresponde a una cota de 220 msnm.

### 5.3. Volumen muerto del embalse

La estimación del volumen necesario para almacenar sedimentos en el nuevo Embalse de Cumaripa debe tomar en consideración el aporte real medido como consecuencia de las diversas batimetrías realizadas y no mantener la estimación original del proyecto. Estos valores podrían ser disminuidos de llevarse a cabo las labores de mejoramiento en la cuenca y la operación continua de descargas de fondo que hagan fluir parte de los sedimentos acumulados.

El Módulo de Producción de Sedimentos obtenido en el lapso comprendido entre los años 1989-2004 alcanza un valor de  $1.458 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$ . Este valor incluye una gran cantidad de sedimentos efectivamente acumulados en el embalse y se encuentra afectado por las labores de excavación y dragado realizadas por los diversos entes gubernamentales para mejorar la operatividad del embalse.

En función de esta dualidad se considera que este módulo puede representar mejor la tasa futura de producción de sedimentos en la cuenca. A su vez, es una labor de rehabilitación combinada donde se sobre-elevará la presa y, la eliminación de sedimentos se podrá realizar a través de la rehabilitación de la estructura de descarga actual y/o la excavación de sedimentos dentro del embalse, de esta forma se justifica el valor adoptado. Lo que supone, desde el punto de vista práctico, un aporte de sedimentos al embalse equivalente a  $0,63 \text{ Hm}^3/\text{año}$  y, para una vida útil de 100 años, un Volumen Muerto total de  $63 \text{ Hm}^3$ .

Cabe destacar que aun considerando un aporte que pondera la remoción efectiva de gran parte de los sedimentos, el valor usado en esta primera

aproximación es casi 8 veces mayor (778%) a la estimación original o de proyecto. Si se tomara en cuenta el máximo valor medido, correspondiente al período 1971-1989, el Módulo de Producción de sedimentos alcanzaría un valor de  $5.229 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$  equivalentes a  $2,27 \text{ Hm}^3/\text{año}$  o, teniendo el volumen de sedimentos como referencia, 30 veces mayor a la estimación original.

#### **5.4. Volumen Útil del embalse**

Para la sobre-elevación de la presa se partirá de la premisa que el Embalse Cumaripa hasta la fecha de hoy, ha funcionado bien, es decir, que aún con las limitaciones impuestas sigue extrayendo agua de esta fuente, la suministra a la población y a los campos, por lo cual se debería esperar una buena operación de este embalse, adoptando el mismo volumen útil del proyecto.

De cualquier manera es conveniente acotar, la importancia de verificar tanto los aportes del río incorporando al análisis hidrológico del proyecto los más de 30 años de operación y conocimiento adicional del río como las posibles demandas futuras en la región. El resultado de dichas actividades debería aportar datos suficientes para desarrollar un movimiento de embalse que precise el Volumen Útil requerido en este embalse. Así como también, el balance hídrico anual debe ser tomado en cuenta a la hora de sobre-elevar una presa.

El Volumen Útil adoptado en el proyecto original y que se mantiene en esta primera aproximación es de  $100,70 \text{ Hm}^3$ .

#### **5.5. Redefinición de Niveles Operativos del Embalse**

Con los resultados previos y la curva área capacidad actualizada es posible definir los siguientes niveles:

**Tabla 5.2. Niveles operativos Embalse Cumaripa.**

Descripción		Según Proyecto	Según Ing. Conceptual
Nivel de fondo del río	msnm	178,30	178,30
Nivel mínimo en el embalse	msnm		184,00
Nivel Mínimo Operación	msnm	187,00	187,00
Nivel Muerto	msnm	182,50	203,71
Nivel de Aguas Normales - NAN	msnm	202,30	212,66
Volumen Muerto	Hm <sup>3</sup>	7,05	63,00
Volumen Útil	Hm <sup>3</sup>	100,70	100,70
Volumen Total	Hm <sup>3</sup>	107,75	163,70
Área a Nivel de Aguas Normales	Ha	1.300,00	1.782,49

Fuente: MOP (1969), MINEA (2016) y Elaboración propia (2016).

## 5.6. Determinación Nivel de Aguas Máximas

El Nivel de Aguas Máximas (NAM) puede ser obtenido suponiendo se mantienen las condiciones del proyecto original, lo cual establecería un valor en el rango de la seguridad puesto que el espejo de agua al NAN es mayor al momento de elevar la presa y, por lo tanto, un poder amortiguador mayor.

Sin embargo, se consideró prudente definir el NAM efectuando el tránsito de la creciente con 100 años de período de retorno a través del embalse ya que simultáneamente se deberá modificar el vertedero de alivio y podría ser necesaria la actualización hidrológica de las crecientes máximas adoptando los criterios que se desarrollan en la actualidad y que no formaban parte de los análisis realizados en la época de los 70; entre ellos: crecientes máximas probables, crecientes recurrentes, etc.

Para desarrollar el tránsito de las crecientes, además del conocimiento de la curva de capacidad del vaso de almacenamiento por encima del Nivel de Aguas Normales, es necesario establecer el Hidrograma afluente al embalse y la curva de descarga del aliviadero que a continuación se describen.



### 5.6.1. Creciente de Diseño (Tr= 100 años)

El Hidrograma utilizado es la Creciente Centenaria utilizado en estudio “Plan de Control de Crecientes del Embalse Cumaripa”, realizado en Abril de 1981, por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

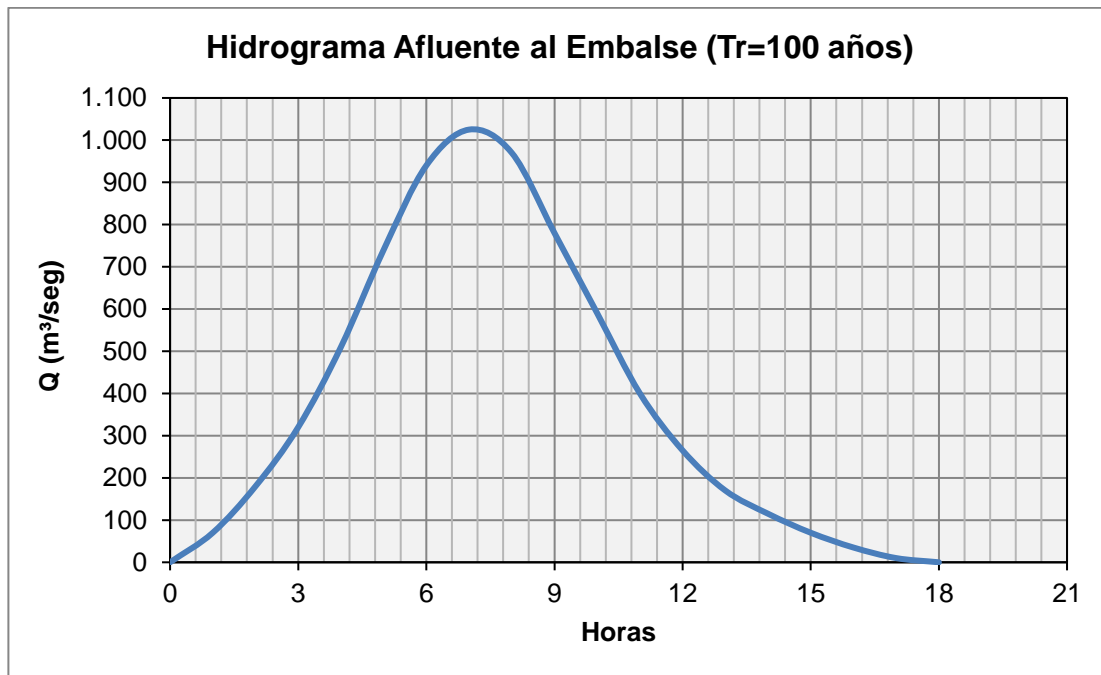
Cabe destacar que el aliviadero del proyecto se diseña para un hidrograma de crecientes recurrentes que contenía un volumen total de 21,50 Hm<sup>3</sup> y un gasto máximo o pico de 772 m<sup>3</sup>/s. El Hidrograma afluente considerado de diseño y definido en 1981 es de mayor exigencia puesto que el gasto pico alcanza 1.025 m<sup>3</sup>/s y un Volumen total de 25,90 Hm<sup>3</sup> con una duración total de 18 horas.

La Tabla 5.3 y la Figura 5.5 muestran el Hidrograma considerado afluente al embalse para el tránsito de la creciente.

**Tabla 5.3. Tabla del Hidrograma de la Creciente Centenaria. Embalse Cumaripa.**

Tiempo (min)	Tiempo (horas)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0	0	0
60	1	70
120	2	180
180	3	320
240	4	510
300	5	740
360	6	940
<b>420</b>	<b>7</b>	<b>1.025</b>
480	8	970
540	9	780
600	10	590
660	11	400
720	12	265
780	13	170
840	14	115
900	15	70
960	16	35
1.020	17	10
1.080	18	0





**Figura 5.5. Hidrograma Afluyente al Embalse Cumaripa. Creciente de Diseño (Centenaria).** Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1981).

### 5.6.2. Curva de Descarga del Aliviadero

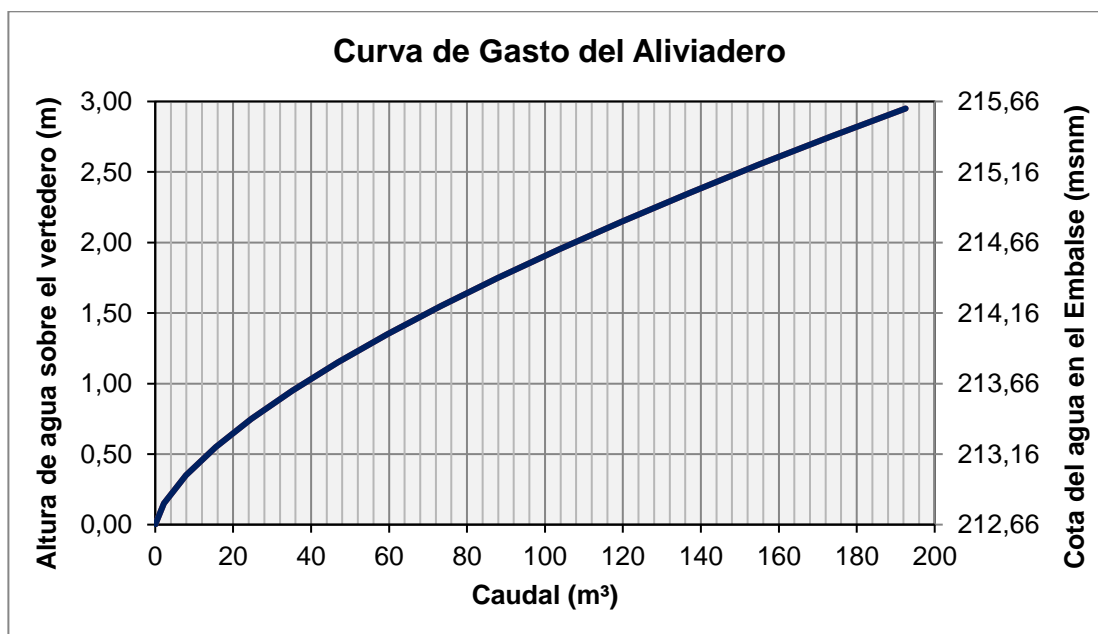
Por el gran poder amortiguador del embalse, se estima que un aliviadero similar al existente podrá ser implantado y construido en la presa sobre elevada. El aliviadero entonces será frontal de 20 metros de ancho vertiente y con perfil Ogee en su superficie. La cota de cresta será 212,66 msnm y sus características y configuración general se tratarán de mantener para alcanzar la misma capacidad de descarga que presenta en la actualidad.

Como consecuencia de estas condiciones se considera adoptar como curva de descarga del aliviadero aquella obtenida en el estudio “Plan de Control de Crecientes del Embalse Cumaripa”, (MINEA; 1981) y, por ello, se transcribe a continuación.

**Tabla 5.4. Nueva Curva de Gasto del Aliviadero. Embalse Cumaripa.**

Altura de Agua (m)	Cota de Agua en el Embalse (msnm)	Caudal de Descarga (m <sup>3</sup> /s)
0,00	212,66	0,00
0,15	212,81	2,21
0,35	213,01	7,87
0,55	213,21	15,50
0,75	213,41	24,68
0,95	213,61	35,19
1,15	213,81	46,86
1,35	214,01	59,61
1,55	214,21	73,33
1,75	214,41	87,97
1,95	214,61	103,48
2,15	214,81	119,80
2,35	215,01	136,89
2,55	215,21	154,74
2,75	215,41	173,29
2,95	215,61	192,54

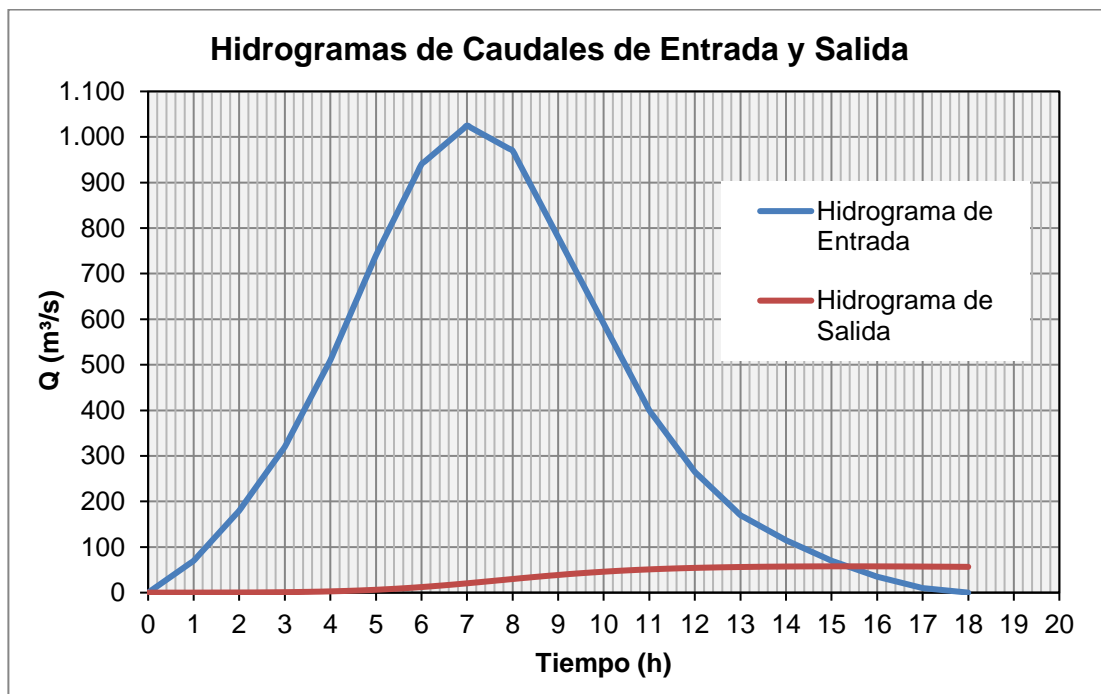
Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.



**Figura 5.6. Nueva Curva de Gasto del Aliviadero. Embalse Cumaripa.**  
Fuente: Elaboración Propia (2016). Datos: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

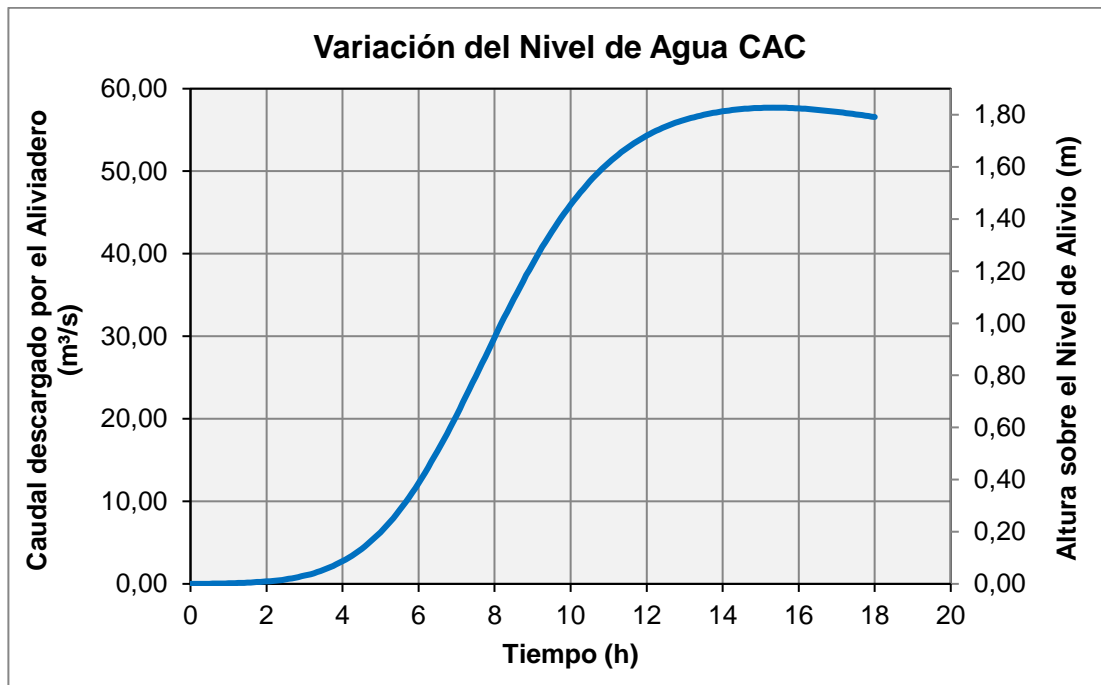
### 5.6.3. Tránsito de la Creciente

En la Tabla B-1 del Anexo B se muestra el cálculo del tránsito de la creciente centenaria a través del embalse rehabilitado y del aliviadero reubicado a cota 212,66 msnm. La Figura 5.7 muestra los hidrogramas afluente y efluente del embalse donde se puede apreciar el gran poder amortiguador de este vaso de almacenamiento, capaz de reducir el gasto máximo afluente de 1.025 m<sup>3</sup>/s a tan sólo 57,70 m<sup>3</sup>/s. La carga máxima de agua sobre el vertedero es de 1,80 metros y, por ello, el nuevo Nivel de Aguas Máximas alcanza la cota 214,46 msnm.



**Figura 5.7. Hidrogramas de Caudales de Entrada y Salida. Fuente: Elaboración Propia (2016).**

La Figura 5.8 muestra el hidrograma efluente y la variación de los niveles sobre el vertedero durante el paso de la creciente de diseño.



**Figura 5.8. Variación del Nivel de Agua CAC. Fuente: Elaboración Propia (2016).**

### 5.7. Determinación del Nivel de Cresta de la Presa

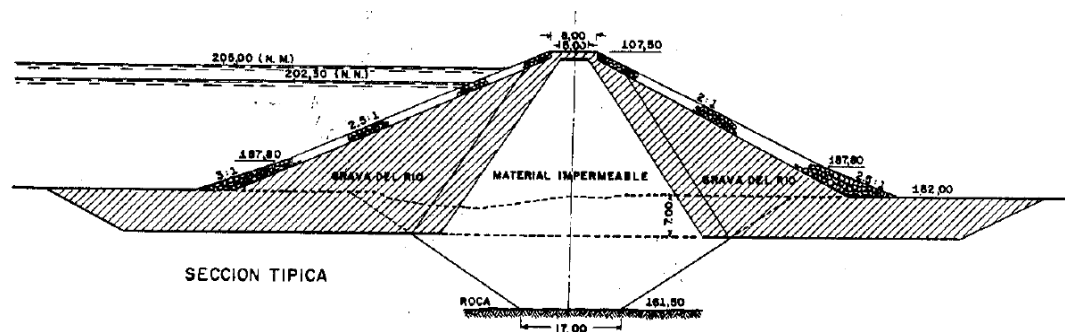
El tránsito de la creciente realizado con antelación define que el Borde Libre Húmedo de la presa no debe ser inferior a 1,80 metros.

Por otra parte el Borde Libre Seco se adopta en 3,00 metros, ligeramente superior al valor adoptado durante el proyecto: 2,50 m, debido a que no existe información suficiente para su estimación exacta además de considerar que algunos parámetros involucrados (p.ejem: Fetch) se incrementan al sobre-elevar la presa.

En conclusión el Borde Libre Total es de 4,80 m con lo cual la cota de cresta de la presa sería 217,46 msnm y que, para el nivel conceptual de esta propuesta se adopta la cota 217,50 msnm.

## 5.8. Sobre-elevación de la Presa

El dique que actualmente constituye la presa Cumaripa es clasificada, tomando en consideración sus elementos constitutivos, como Presa de Tierra Zonificada con taludes 2,5:1 aguas arriba y 2:1 aguas abajo y un ancho de cresta de 8 m (Ver Figura 5.9). La longitud de la presa es de 187 metros aunque el ancho del cañón en su base es de tan sólo 120 metros. Con el fin de impermeabilizar la fundación, se construyó un dentellón de 17 metros de ancho y 20 metros de profundidad máxima. La altura de la presa sobre el fondo del río es de 29,20 metros y alcanza los 45 m desde el fondo del dentellón.



**Figura 5.9. Sección Típica de Presa. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976).**

El cuerpo impermeable de la presa tiene forma piramidal y se extiende hasta el dentellón. El material utilizado en el núcleo puede clasificarse como arcilla de baja plasticidad (CL).

La granulometría de los materiales de los espaldones varía gradualmente, aumentando su permeabilidad a medida que nos alejamos del núcleo impermeable. En general se utilizó grava de río. Las protecciones de talud aguas arriba y aguas abajo se hicieron con roca de cantera y el tamaño mínimo fue de 30 cm.

La escogencia de la sección del terraplén fue función directa de la máxima utilización de los materiales de préstamo encontrados en las

cercanías del sitio de presa, especialmente en lo que se refiere a material impermeable para el núcleo y los espaldones permeables, construidos por grava de río. El material de transición o filtro entre el núcleo impermeable y los espaldones de grava lo constituye una mezcla de grava y arena, limitando el tamaño máximo a 3" (7,62 cm).

La sobre-elevación propuesta debe tomar en cuenta los materiales constituyentes actuales y la disponibilidad de los mismos en el área cercana al sitio de los trabajos.

La Figura 5.10 muestra la sobre-elevación propuesta manteniendo, en lo posible, los materiales existentes en la zona y el concepto general del uso de materiales, los cuales, luego de casi 45 años de operación mantiene su integridad casi intacta.

La sobre-elevación de la presa será en total de 10 metros; es decir, se llevará la cota de cresta de la presa del nivel actual, ubicado en la cota 207,50 msnm a la nueva cota sugerida de 217,50 msnm. Se adopta como criterio de diseño continuar el talud aguas arriba de la presa y, por esta razón, el eje de la presa se desplazará un total de 25 metros hacia aguas abajo.

Como puede observarse en la Figura 5.10, la estanqueidad de esta obra sólo podrá garantizarse si se logra que el núcleo de la presa tenga continuidad dentro de la nueva etapa y se logra proteger ambas caras del núcleo con filtros o materiales geo-sintéticos que impidan la migración del material hacia otros espacios de la presa con mayor permeabilidad. La prolongación del núcleo debe alcanzar como mínimo el Nivel de Aguas Máximas; es decir, la cota 214,46 msnm.

Para la sobreelevación de la presa se deben realizar las siguientes actividades:

- Verificar la estabilidad de los taludes finales de la sección de la presa ante la ocurrencia de sismos y descensos súbitos del embalse. A efectos de la

---

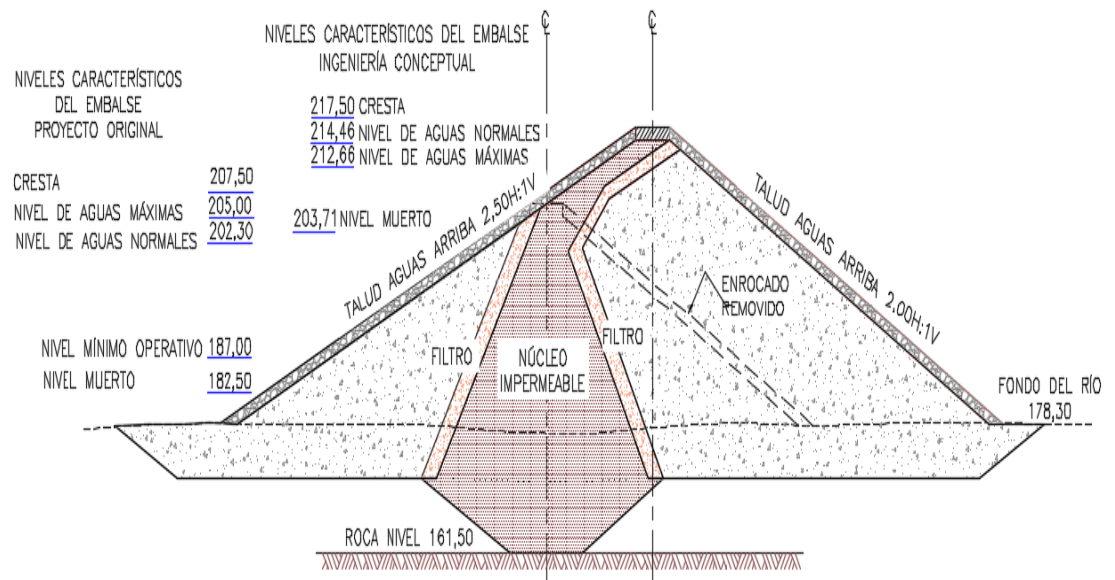
presente ingeniería se ha adoptado la inclinación prevista en el proyecto original.

- Antes de proceder a sobre-elevar el dique se debe remover el espaldón de roca aguas abajo para lograr la integración adecuada de los materiales.
- Es necesario proceder a la remoción de todo el material existente entre el tope del nivel de cresta actual y el tope del núcleo impermeable y proceder entonces a la construcción de la extensión del mismo.

El Ing. José de Jesús Gaspar en su trabajo de ascenso denominado “Sedimentación de Embalses, Problemática y Soluciones. Situación de los Embalses en Venezuela, hace la siguiente acotación para aquellos proyectos donde se desee sobre-elevar una presa de tierra:

*En el caso de una presa de tierra se pueden presentar múltiples circunstancias que dependen tanto del diseño de la presa como de la disponibilidad de materiales, en este caso solo disponibles aguas abajo de la presa.*

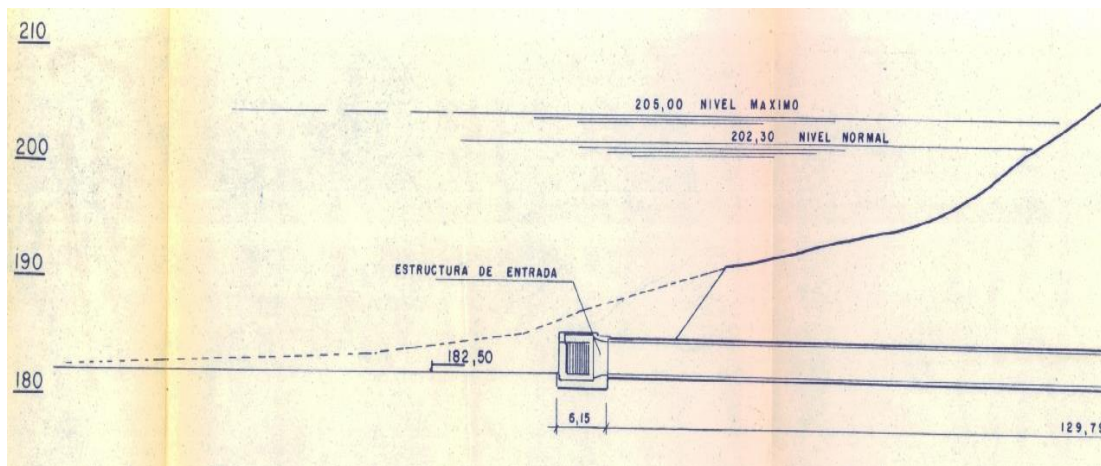
*Las presas zonificadas con núcleo de arcillas, pueden ser sobre elevadas, extendiendo el núcleo central como núcleo inclinado en el caso de núcleos verticales o como una simple extensión en las presas con núcleo inclinado hacia aguas arriba.*



**Figura 5.10. Nueva Sección Típica de la Presa Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).**

### 5.9. Obra de toma

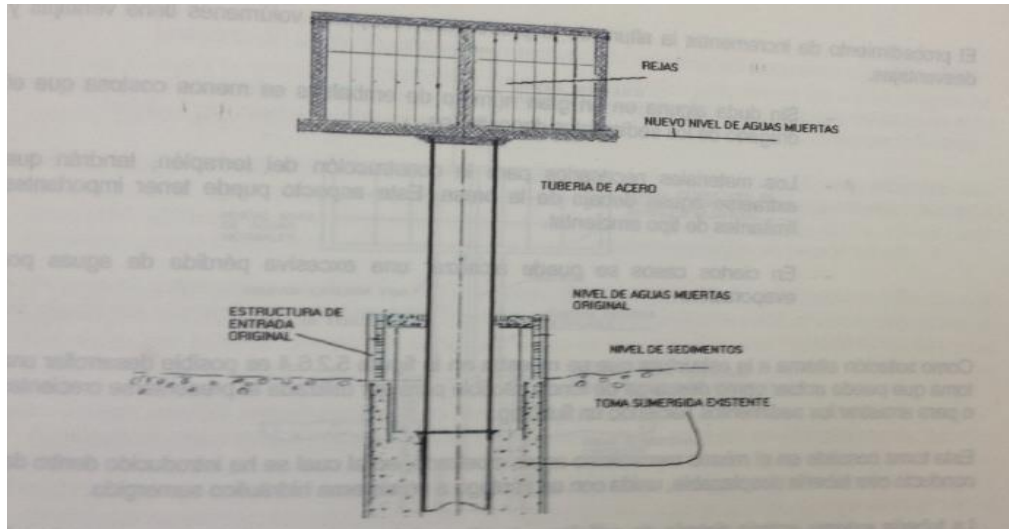
La obra de toma se ubicó, según proyecto original, en el estribo izquierdo cruzando su eje bajo el del aliviadero mediante un túnel.



**Figura 5.11. Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).**

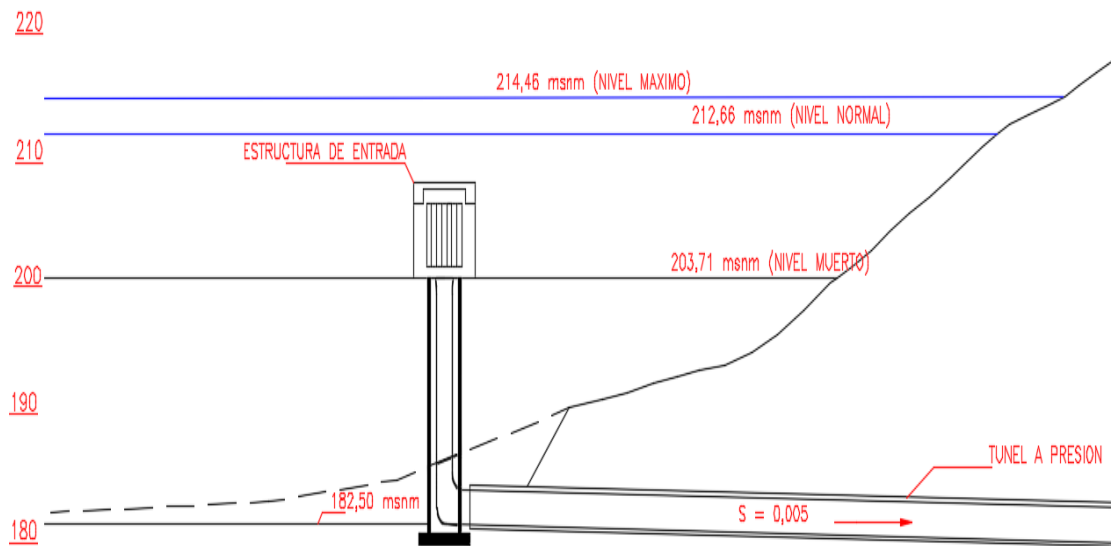


El tipo de Obra de Toma es Sumergido, por lo tanto se puede adoptar la recomendación dada por Gaspar (2009). Las Tomas sumergidas que son las más comunes, requerirán aumentar la cota de la entrada de aguas para impedir la captación de sedimentos. Es factible, adosar a la estructura existente un elemento metálico prefabricado, en acero, tal como se ilustra en la Figura 5.12.



**Figura 5.12. Estructura a anexar en la obra de toma. Fuente: Gaspar (2003).**

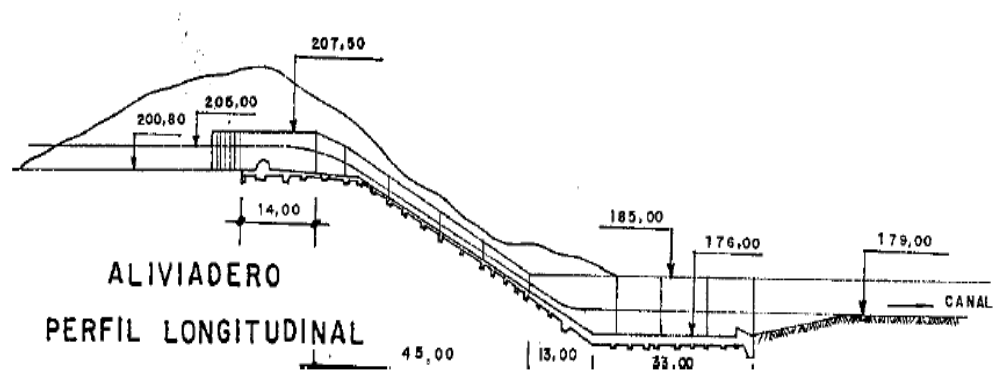
Bajo ese criterio hidráulico se le hará la siguiente adaptación en la estructura de entrada, aguas abajo de la estructura de entrada, no se modificara nada. Quedando de la siguiente manera:



**Figura 5.13. Nuevo Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).**

## 5.10. Aliviadero

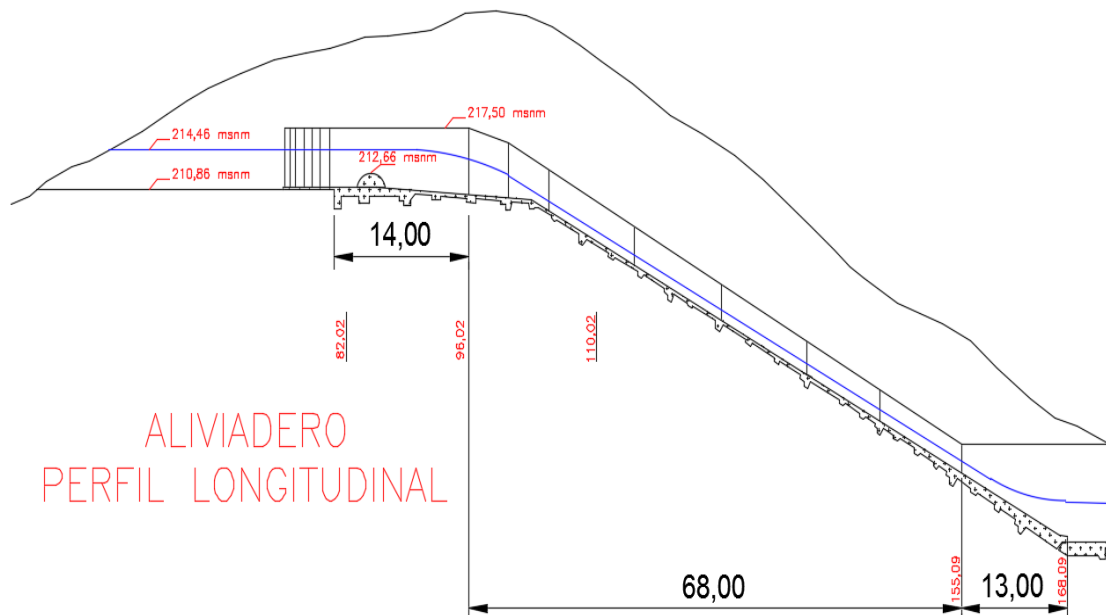
El aliviadero actual está ubicado en el estribo izquierdo, tiene un ancho constante de 20 m, una longitud de 108 m y un gasto de diseño de  $190 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ver Figura 5.14). La propuesta para la rehabilitación del embalse consiste en construir un nuevo aliviadero, también ubicado en el estribo izquierdo a la nueva cota de aguas normales y de 20 metros de ancho vertiente pero con un gasto de diseño muy inferior ( $57,70 \text{ m}^3/\text{s}$ ), debido al mucho mayor poder de amortiguación del embalse.



**Figura 5.14. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa.**  
Fuente: Revista El Agua (1976).

A este nivel parece posible que el aliviadero pueda conectarse con el canal rápido existente y ajustar el pozo disipador a las nuevas condiciones de gasto unitario y energía de entrada que prevalecerá en el nuevo embalse.

En el caso de que la conexión no fuese factible, se recomienda analizar la posibilidad de construir la nueva estructura de alivio en el estribo derecho de la presa, manteniendo las características iniciales del proyecto, tomando en cuenta el nuevo canal de aproximación y la sección vertedora, los cuales se ubicaran a una cota mayor, como se explica anteriormente y la construcción del canal de descarga hasta el río.



**Figura 5.15. Nuevo Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Elaboración propia (2016).**

### 5.11. Terraplén y Puente Sobre el río Yaracuy.

La carretera Barquisimeto Nirgua cruza el embalse Cumaripa con un puente de vigas pretensadas de 4 tramos y 25 m de luz, que permite el paso sobre el río Yaracuy y un terraplén, con ancho de cresta de 17,40 m y taludes 2:1 y 4:1 para alturas mayores de 9 m. Este tramo de carretera está provisto de isla e iluminación central, aceras y defensas laterales.

Como consecuencia de la sobre-elevación propuesta es necesario reubicar esta carretera y, siguiendo recomendaciones del Ing. Gaspar (2009), pudiera reubicarse en las laderas del Cerro Campo Solo, que limita el extremo sur del Embalse.

---

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

En relación a los objetivos planteados, se presentan las siguientes conclusiones:

#### **6.1.1. Relacionadas a la Información recopilada**

- En Venezuela existen varios embalses con problemas de sedimentación. Debido a su complejidad, información disponible e interés regional se seleccionaron los Embalses Maticora, Cumaripa y Dos Cerritos para su análisis.
- La información que manejan los entes encargados de operar, supervisar y mantener los embalses del país es insuficiente, dispersa y, en algunos casos no coherente. La obtención de información relacionada con la operación de los embalses no pudo ser localizada por la dispersión y manera en que son llevados los datos relacionados a ésta.
- Las batimetrías en los embalses han sido escasas y, la mayor parte de ellas, están desactualizadas.
- La información pluviométrica, fluviométrica y de sedimentos utilizada en los proyectos ha sido escasa y en algunos casos obtenida de cuencas vecinas o similares y trasladadas al sitio con el fin de llenar inexistencias previas al desarrollo del proyecto.
- Las rutinas de operación de los embalses no incluyen mediciones rutinarias de los aportes de sedimentos a los embales ni de las actividades relacionadas con la extracción de sedimentos: dragado y excavación de embalses.

- El diseño de nuevos embalses y la precisión de las estimaciones en los Módulos de Producción de Sedimentos sólo podrá lograrse de contar con una información hidrológica y de sedimentos amplia.

#### **6.1.2. Relacionadas con el estado de sedimentación de los embalses**

- Los Módulos de Producción de Sedimentos adoptados en los proyectos subestiman en gran medida los valores promedio obtenidos a lo largo de la operación de los embalses analizados.
- La producción de sedimentos casi siempre tiende a aumentar con el transcurso de los años debido a la degradación de las cuencas a causa de la intervención.
- Los errores en la estimación del aporte de sedimentos, conduce a que éstos ocupen el volumen destinado para su almacenamiento (Volumen Muerto) en tiempos inferiores a los previstos y, como consecuencia, inician un proceso progresivo de reducción del volumen útil de los embalses con las consecuencias operativas que ello conlleva.
- Las descargas de fondo de los embalses analizados se encuentran inoperantes y las rutinas de operación de los embalses no incluyen mediciones rutinarias de los aportes de sedimentos a los embalses ni de las actividades relacionadas con la extracción de sedimentos: dragado y excavación de embalses.

#### **6.1.3. Relacionadas con los embalses analizados**

- Los embalses deben ser recuperados puesto que no hay una fuente alterna de suministro de agua en su área de influencia.
- La operación de los embalses está comprometida al contar con menos del 60% del volumen útil previsto en los proyectos.

- 
- La carga de sedimentos del río, a la tasa promedio de producción, hará que los embalses se colmaten hasta el NAN para los años 2028 (Matícora); 2029 (Cumaripa) y 2031 Dos Cerritos.
  - Es necesario adoptar cuanto antes medidas de rehabilitación y mejora tanto en las cuencas tributarias como en los propios embalses.
  - La eliminación de sedimentos en los embalses se encuentra limitada, en la mayor parte de los embalses venezolanos, al no contar con descargas de fondo operativas.
  - Las soluciones planteadas en este TEG tienen un carácter conceptual y con información limitada, por lo tanto sólo una Ingeniería de Detalle podrá definir con la precisión adecuada las obras que se deberán desarrollar en el Embalse Cumaripa.

#### **6.1.4. Relacionadas con la Matriz de Toma de Decisión**

- Es necesario que la matriz se vea acompañada de un glosario y listado de abreviaturas que facilite la comprensión de personas no directamente vinculadas con su diseño.
- La matriz pareciera que contempla soluciones únicas al problema de manejo de sedimentos y es necesario acotar que puede ser la combinación de más de una de las rutas sugeridas.
- Es posible que los límites adoptados para medir el avance de la sedimentación en el embalse deban ser ajustados una vez se haga un estudio más amplio de los embalses a nivel nacional.
- La matriz desarrollada por Riera y Vasconcelos, es aplicable de manera general a cualquier embalse existente. Sin embargo, no pretende sustituir el criterio del profesional capacitado, ya que cada embalse representa un caso único.

---

## 6.2. Recomendaciones

- Ampliar la red fluviométrica nacional y tratar de rehabilitar aquellas que operaban hasta años recientes.
- En vista que los aportes de sedimentos en Venezuela y en el mundo entero, tienen tendencia a incrementarse en el tiempo, es prudente hacer los cálculos de aportes de sedimentos conservadoramente y, de ser posible, analizar el progreso de la rata de producción de sedimentos en otros embalses con condiciones físicas y geológicas similares.
- Determinar las condiciones de sedimentación en las cuales se encuentran los embalses de Venezuela, realizando levantamientos batimétricos. Así, como aumentar la frecuencia de levantamientos batimétricos en los tres (3) embalses estudiados para evaluar la evolución de la sedimentación.
- Desarrollar una evaluación de las condiciones existentes en las descargas de fondo y demás componentes hidráulicos que permitan el manejo de sedimentos en los embalses, con el fin de conocer el estado en que se encuentra cada uno de ellos y establecer metodologías para lograr una operación eficiente de los mismos.
- Informar y concientizar a los entes gubernamentales, la importancia de las mediciones y toma de datos relacionados con la producción de sedimentos en los ríos de Venezuela.
- En cuanto a las presas existentes acometer una campaña o proyecto para la recuperación y centralización de la información relativa a presas y embalses: hidrología, geología, planos, proyecto, planos como construido e historial del comportamiento de cada presa.
- Promover campañas sociales donde se enseñen las prácticas adecuadas de agricultura.



- 
- Controlar las actividades urbanas y cualquier otra actividad que contribuya a la alteración de las cuencas.
  - Se considera indispensable iniciar un plan de conservación de las cuencas, atacando el problema de erosión en sus raíces, protegiendo los sitios críticos, sembrando pastos, reforestando y en general aplicando todos los recursos posibles para frenar el crecimiento del volumen de sólidos arrastrados por el río Matícora y sus afluentes.
  - Estudio de gestión de riesgos al momento de dejar presas colmatadas sin supervisión/seguimiento.
  - Desarrollar un tríptico que incluya un pequeño glosario y listado de abreviaturas, que acompañe a la MTD para facilitar la comprensión de personas no directamente vinculadas con su diseño.

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Araya, R. (1985). **Informe sobre evaluación y control de obras de embalse**. Falcón, Venezuela: División de Proyecto. Proyecto embalse Maticora.
- Arias, F. (2006). **Proyecto de investigación: introducción a la metodología científica** (5ta edición). Caracas – Venezuela: Espíteme.
- Balestrini, M. (2008). **Cómo se elabora el proyecto de investigación**. Sexta Edición. Caracas, Venezuela: BL Consultores Asociados. Servicio Editorial.
- Bolinaga, J. y Colaboradores. (1999). **Proyectos de Ingeniería Hidráulica**. Caracas: Fundación Polar.
- Comisión Internacional de Grandes Presas (2010). **Declaración de ICOLD sobre las presas y el medio ambiente**. España: SPANCOLD. Revista Obras Públicas.
- División de Proyecto. (1976). **Proyecto embalse Maticora**. Memoria descriptiva y planos. Falcón, Venezuela: Autor.
- FAO (1980). **Riesgo de erosión de acuerdo a pérdida de suelo**. Chile: Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Ferrer, D. (2007). **Estado de las presas en Venezuela**. Caracas: Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.
- Ferrer, D. (2008). **Observaciones relativas al mantenimiento y operación de presas de tierra en Venezuela**. Caracas: Conferencia 50 Aniversario Sociedad Venezolana de Geotecnia.
- Fudeco. (1967). **Embalse Cumaripa. Anteproyecto. Sobre el río Yaracuy**. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela.
- Fudeco. (1968). **Embalse Cumaripa. Memoria Descriptiva**. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela.
- García, M., González, M. y Ore, H. (1982). **Estudio de operación del Embalse Cumaripa, Edo. Yaracuy**. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela. MOP.
- Gaspar, J. (2003). **Sedimentación de Embalses, problemática y soluciones. Situación de los embalses en Venezuela**. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

- Gaspar, J. (2009). **Ingeniería Forense y estudios de sitio/Guía para la prevención y gestión de riesgos**. Volumen II. Capítulo VIII: Sedimentación de Embalses en Venezuela. Caracas: Banesco Seguros, C.A.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez, A. y Besteiro, J. (2009). **Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas**. La Plata, Argentina: Editorial Autores.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez, A. y Besteiro, J. (2013). **Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas**. Curso de manejo de cuencas hidrográficas. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata.
- Gracia, J. (1997) **Manual de Ingeniería de Ríos**. Capítulo 18: Sedimentación en Embalses. México: UNAM.
- Grupo Estudios Hidrológicos. (1968). **Creciente de diseño para el río Maticora**. Falcón, Venezuela: División de Proyecto. Proyecto embalse Maticora.
- Koschewnikow, A. y Trías, F. (1969). **Memoria Descriptiva. Obras construidas, Embalse Cumaripa**. Yaracuy: Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales Renovables.
- Lozanos, R. (1993). **Informe de obra conservacionista en las áreas de batimetría y topografía en el vaso del río Maticora**. Falcón, Venezuela: División de Proyecto. Proyecto embalse Maticora.
- Mata, A. (1981). **Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa, Edo. Yaracuy. Estudio del funcionamiento del embalse para nuevas demandas de agua**. Yaracuy: Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales Renovables.
- Ministerio de Obras Públicas (1976). **Grandes Presas en Venezuela**. Caracas: Dirección General de Recursos Hidráulicos 40° Aniversario Venezuela. El Agua. Número Especial, 2da Edición.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales Renovables. (1981). **Plan de control de crecientes del embalse Cumaripa**. Yaracuy: Autor.
- Monserratte, A. (1985). **Informe de evaluación y control del embalse "Félix de los Ríos" Presa Dos Cerritos**. Lara, Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales Renovables.
- Morles, V. (2004), **Planeamiento y Análisis de la Investigación**. 8tva Edición. Caracas: El Dorado.
- Morris, G. L., & Fan, J. (1998). **Reservoir Sedimentation Handbook**. New York: McGraw-Hill Book Co.

- 
- OTEHA C.A. (1967). **Memoria descriptiva. Obras de embalse Alto Tocuyo. Presa Dos Cerritos-Edo. Lara.** Caracas: INOS, Oficina Técnica de Estudios Hidráulicos y Agronómicos.
- OTEHA C.A. (1968). **Informe sobre el proyecto Alto Tocuyo. Los Dos Cerritos.** Caracas: INOS, Oficina Técnica de Estudios Hidráulicos y Agronómicos.
- OTEHA C.A. (1968). **Obras de Embalse Alto Tocuyo/ Los Dos Cerritos. Memoria Descriptiva.** Caracas: INOS, Oficina Técnica de Estudios Hidráulicos y Agronómicos.
- Palombo, A. y Romero, S. (1951). **Proyecto para el estudio sobre erosión y sedimentación en la Hoya del Rio Tocuyo.** Caracas: INOS, Oficina Técnica de Estudios Hidráulicos y Agronómicos.
- Prats, J., et al. (2014). **Aportaciones de la limnología a la gestión de embalses.** Revista Ingeniería del Agua, Vol. 18, No. 1, 2014.
- Riera, A. y Vasconcelos, J. (2015). **Criterios para el manejo de embalses colmatados.** Trabajo Especial de Grado. Caracas: UCAB.
- Sorefame. (1976). **Embalse Maticora. Válvulas Howell Bunger. Nota técnica.** Falcón, Venezuela: División de Proyecto. Proyecto embalse Maticora.
- Suarez, L. (1993). **Ingeniería de Presas. Obras de Toma, Descarga y Desviación.** Caracas: Ediciones Vega.
- Suárez, L. (1997). **Estudio de la factibilidad para incrementar el almacenamiento en el embalse Dos Cerritos. Rio Tocuyo. Edo. Lara.** Caracas: Ediciones Vega.
- Suarez, L. (2002). **Incidentes en Presas de Venezuela. Problemas, Soluciones y Lecciones.** Caracas: Ediciones Vega.
- Universidad Experimental Libertador, UPEL. (2015) **Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales.** Caracas, Venezuela: Autor.

## **8. ANEXOS**

### **ANEXO A:**

#### **DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS**

---

**Presa Ing. Alonso Cuartín Armas, Matícora-Estado Falcón**



**Figura A-1. Presa Ing. Alonso Cuartín Armas, Matícora-Estado Falcón.**  
Fuente: <https://primeranoticia.net/hace-dos-anos-y-25-dias-dejo-de-funcionar-el-acueducto-bolivariano-de-falcon/> (2016).

---

**Construcción:** 1976-1978

**Ubicación:** El embalse Maticora sobre el río Maticora, confluencia con la Quebrada Uca, sitio el Cujicito, está ubicado aproximadamente a 7 km de la población de Mene Mauroa, Distrito Mauroa en el Estado Falcón.

El embalse Maticora se encuentra dividido en dos sectores: a) por el noreste, el vaso del río Maticora. b) por el suroeste, el vaso de la quebrada Uca, teniendo el primero una tercera parte de la superficie total del embalse.

**Propósito:** Riego por gravedad de 10.000 Has de tierras existentes en la margen izquierda del río Maticora y Control de inundaciones de las riberas del río.

**Presa:** Presa de tierra zonificada, formada por un núcleo impermeable y espaldones de grava permeable con sus correspondientes zonas de transición, drenes, etc. La cresta de la presa se ubica en la cota 125 msnm lo que da a la presa una altura máxima sobre el terreno natural de unos 48 m. Un núcleo central de arcilla limosa y espaldones de gravas limosas, con tamaño máximo de 8''.

Como transición entre los espaldones y el núcleo, aguas arriba y aguas abajo, existe material de filtro de grava tamizada.

**Diques de Cierre:** Para cerrar una depresión del embalse se construyó un dique de cierre el cual se encuentra situado en la divisoria con el río Cocuiza. Su longitud es de 1.480 m y su altura máxima es de 11,50 m. La sección del dique es de tipo homogénea, de material impermeable, con taludes 3:1 aguas arriba y 2,5:1 aguas abajo, teniendo su cresta de 5,00 m de ancho. A todo lo largo del dique se construyó un dentellón, cuyo ancho en la base es de 5,00 m y una profundidad de 2,00 m siendo los taludes de excavación de 1:1. Los taludes del dique están protegidos por un enrocado. El de aguas arriba tiene un espesor de 0,50 m y está colocado sobre una capa de grava de 0,30

m. El enrocado aguas abajo tiene un espesor de 0,40 m y está colocado directamente sobre el material impermeable.

**Aliviadero:** Está ubicado en el estribo derecho. La cresta del aliviadero está ubicada en la cota 120 msnm teniendo el embalse un volumen de 452 millones de metros cúbicos para este nivel.

El Aliviadero tiene las siguientes características:

- a) Canal de aproximación protegido por un enrocado de 40 cm de espesor, el ancho de la sección vertedora es de 20 m y tiene una altura de 5,59 m. Con el fin de proteger la fundación, la zona entre los muros de encauzamiento, lleva una placa de concreto de 40 cm de espesor.
- b) Sección vertedora de 20 m. Para determinar la curva del cimacio se siguió el método experimental del Bureau of Reclamation expuesto en "Studies of Crest for Overfall Dams". La pendiente del rápido que continua al pie del cimacio es 18% la cual garantiza un régimen supercrítico. El cuerpo de la sección vertedora será de concreto ciclópeo.
- c) Rápido de 20 m de ancho, este está dividido en dos tramos rectos, con pendientes del 18% el primero y 41,25% el segundo, enlazados por una curva vertical de radio 112,74 m. La altura de los muros en el rápido es de 2,00 m.
- d) La placa del rápido está anclada a la fundación mediante barras de anclaje de 5,60 m de profundidad. El espesor de la placa del rápido es de 30 cm en la mayor parte de su longitud.
- e) Pozo disipador de 30 m de longitud y es del Tipo II del USBR. La altura conjugada del agua alcanza 6,81 m y la altura de los muros 10 m.
- f) El espesor de la placa de fondo es de 1,50 m y el relleno detrás de los muros es de material permeable hasta 1,50 m.



- g) Transición de salida, de sección trapecial con taludes variables de 1,5:1 a 1:1.
- h) Canal de descarga, con una longitud de aproximadamente 430 m. Sección trapecial de 20 m en la base, taludes 1:1, altura 6 m y pendiente de 4 por diez mil.

### **Obras de Toma**

Constituida por:

- Canal de aproximación.
- Consta de una torre-toma de sección rectangular 5,00 x 5,00 m, de dimensiones interiores en la base y paredes de 1,40 m de espesor. Tiene una altura de 43 m en las cotas 82 msnm y 125 msnm. Hay tres compuertas deslizantes de 1,829 x 2,134 m y una de 2,134 x 3,048 m a las cotas 93,33 msnm, 103,23 msnm, 113,213 msnm y 82 msnm respectivamente, previstas las primeras tres para ser utilizadas como tomas selectivas y para garantizar el suministro de agua y la cuarta para la descarga de sedimentos y vaciado del embalse en algún caso de emergencia. Cada compuerta tiene una estructura y rejillas con sus guías respectivas que permite su remoción para limpieza y reparación.
- Un túnel que cumple con las siguientes funciones: Desvío del río durante la construcción de la presa, Toma para riego y Descarga de fondo. Está ubicado en el estribo izquierdo de la presa y tiene sección circular con diámetro interno de 3,00 m y una longitud de 260 m, revestido de acero en su porción inferior. En la salida del túnel se continúa la tubería 3,00 m de diámetro hasta donde hay una bifurcación.
- El ramal que continúa recto, sufre una reducción a 1,219 m (48") y termina en una válvula tipo Howell-Bunger del mismo diámetro, escogida para la regulación del caudal para descarga de fondo.

Esta válvula cumple las siguientes funciones: Descarga de sedimentos, Lavados periódicos y Vaciado de emergencia del embalse. El caudal previsto se estima en  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La válvula Howell-Bunger descarga a un canal de tierra protegido en sus primeros 16 metros y de taludes de 1,5:1.

- El ramal que se bifurca a  $45^\circ$ , continúa hacia el canal principal del sistema de riego, terminando en una válvula tipo Hollow-Jet, de 72"
- El pozo disipador de la válvula Hollow-Jet es del USBR tipo reforzado con una lámina de acero.
- Tanto a la entrada como a la salida del túnel, se construirán canales de aproximación y descarga respectivamente.

### **Características principales de las obras de embalse Maticora.**

#### Embalse

Capacidad total  $452 \text{ Hm}^3$

Volumen muerto  $252 \text{ Hm}^3$

Volumen útil:  $200 \text{ Hm}^3$

Cota de fondo del río: 78 msnm

Cota de aguas muertas: 113,30 msnm

Cota de aguas normales: 120 msnm

Cota de aguas máximas: 122,84 msnm

Área inundada a N.A.N: 3.560 Has

Volumen embalsado a nivel máximo  $550 \text{ Hm}^3$

Rendimiento en volumen de sedimentos  $1.569 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$

---

Presa

Tipo Zonificada

Longitud de la cresta 600 m

Anchura de la cresta 8 m

Ancho máximo en la base 350 m

Cota de la cresta 125 msnm

Altura máxima (sobre el cauce) 48 m

Profundidad del dentellón Variable

Talud aguas arriba 3:1

Talud aguas abajo 2,25:1

Longitud de la cresta 600 m

Volumen total 2.868.700  $m^3$

Obra de Toma

Tipo Torre-Toma

Sección Rectangular

Tipo compuertas Deslizantes

Altura 43 m

Diámetro interior túnel 3,00 m

Longitud 259 m

Salida túnel Conducto de acero bifurcado

Longitud 60 m

Control riego Válvula Hollow-Jet (D=72")

Pozo dissipador USBR Tipo B

---

Caudal de diseño  $26 \text{ m}^3/\text{s}$

Control sedimentos Válvula Howell-Bunger (D=48")

Aliviadero

Pico de la creciente máxima  $3.081 \text{ m}^3/\text{s}$

Frecuencia 1.000 años

Volumen  $76,1 \text{ Hm}^3$

Tipo de aliviadero Vertedero de cresta recta sin controlar

Longitud del vertedero 20 m

Coeficiente de gasto del vertedero 2

Gasto máximo de descarga  $192 \text{ m}^3/\text{s}$

Tipo de pozo "Bureau of Reclamation Tipo II"

Rápido (ancho) 20 m

Pozo disipador (longitud) 30 m

Canal de transición y descarga Sección trapezoidal

20 m de ancho en la base.

Carga sobre la cresta 2,84 m

Cota de la cresta 120 msnm



**Figura A-2. Plano de Planta de la Presa. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976).**

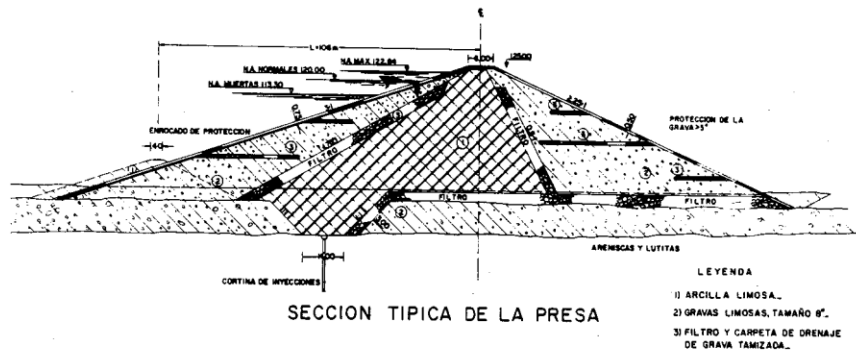


Figura A-3. Sección Típica de la Presa. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976).



Figura A-4. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976).

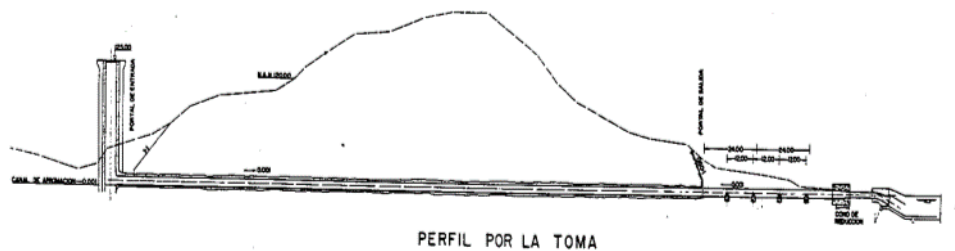
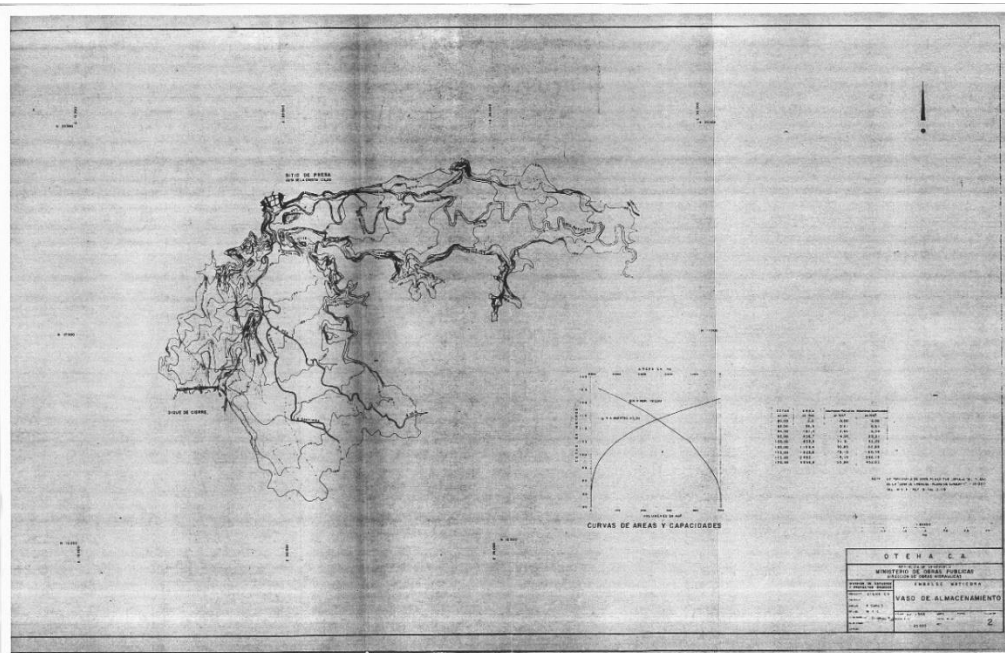
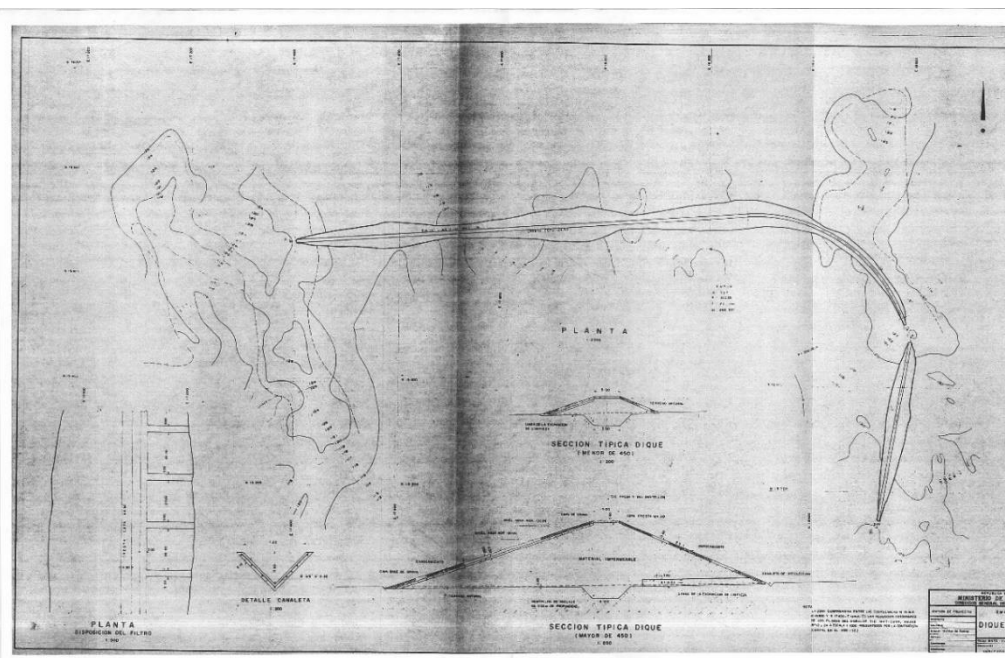


Figura A-5. Perfil Longitudinal de la Obra de Toma. Embalse Maticora. Fuente: Revista El Agua (1976).





**Figura A-6. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Maticora. Fuente: OTEHA (1968).**



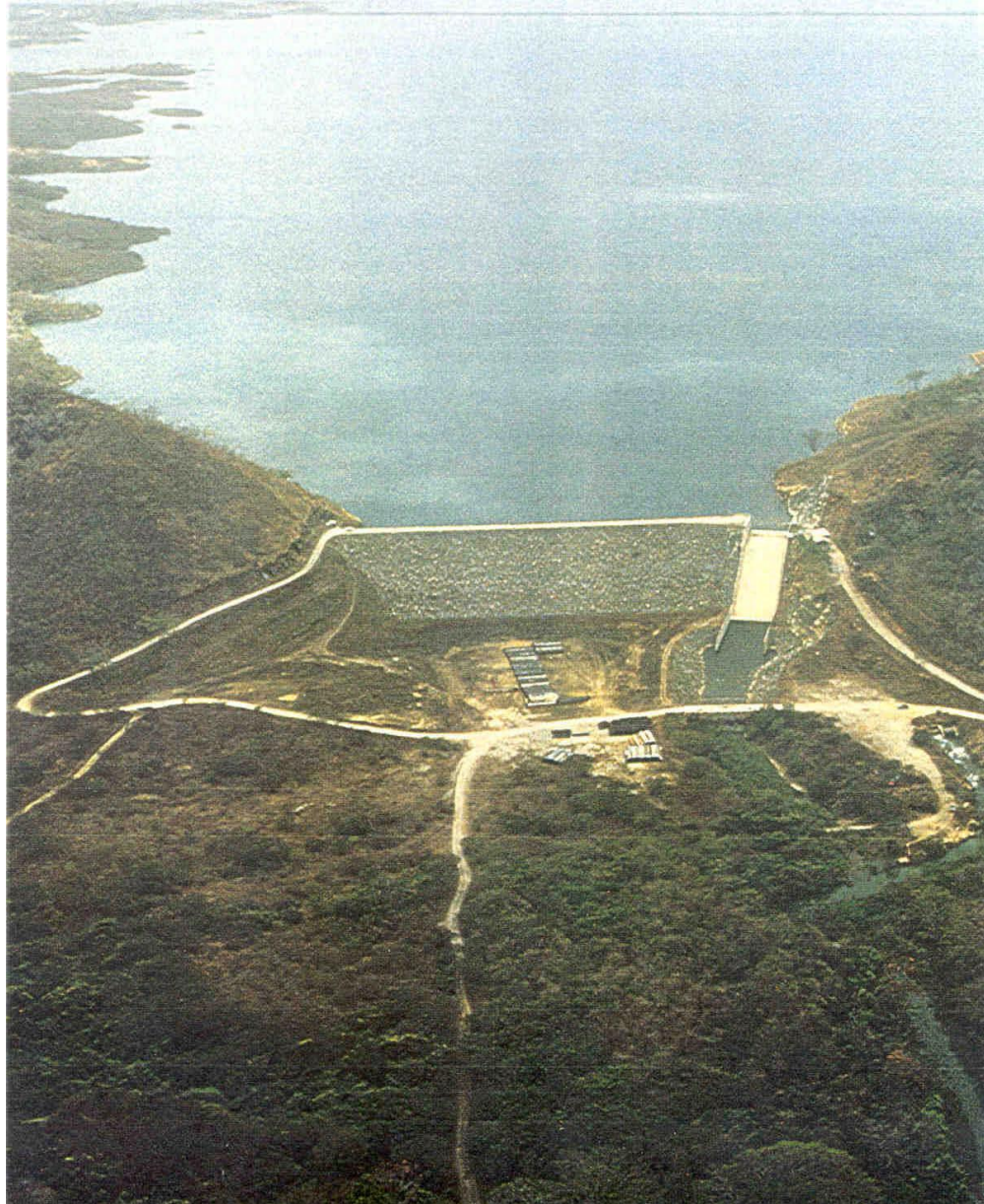
**Figura A-7. Plano de los Diques de Cierre. Embalse Maticora. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1976).**







**Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa-Estado  
Yaracuy**



**Figura A-11. Presa Ing. Francisco C. Amelinckx, Cumaripa-Estado  
Yaracuy. Fuente: Revista El Agua (1976).**

**Construcción:** 1967-1971

**Ubicación:** La Presa “Cumaripa” se encuentra en el sitio denominado “El Voladero” situado a 4 Km aguas abajo de Puente Cumaripa, Municipio Chivacoa, Distrito Bruzual en el Estado Yaracuy.

**Propósito del Embalse:** El Embalse Cumaripa tiene como propósito principal el control de inundaciones del Alto Yaracuy y el riego de 10.600 Has, en el Medio Yaracuy. Sirve además para control de sedimentos y fines recreacionales.

**Embalse:** La capacidad total del embalse es de  $107,75 \text{ Hm}^3$ , la capacidad útil es de  $100,7 \text{ Hm}^3$  y la capacidad muerta es de  $7,05 \text{ Hm}^3$ . La Hoya tributaria del embalse es de  $435 \text{ Km}^2$  y fue proyectado para una vida útil de 100 años.

**Presa:** Presa zonificada con taludes 2,5:1 aguas arriba y 2:1 aguas abajo, con una cresta de 8 m de ancho y 187 m de longitud, el ancho en el fondo del cañón es de 120 m. Esta provista de un dentellón de 17 m de ancho de base y 20 m de profundidad máxima medida a partir de la línea de excavación. La presa tiene una altura de unos 29,20 m desde el cauce del río y unos 45 m desde el fondo del dentellón.

**Toma:** La obra de toma está ubicada, en el estribo izquierdo cruzando su eje bajo el aliviadero mediante un túnel. Esta sirve como toma para riego y conducto de desviación durante la construcción y está formada por las siguientes partes:

- a) Una estructura de rejillas, de concreto armado, del tipo sumergido y de sección rectangular.
- b) Un tramo corto de conducto circular a cielo abierto de 2,70 m de diámetro, que une la estructura de rejillas y la entrada del túnel. En este tramo existe una transición de sección cuadrada a circular inmediatamente aguas abajo de la estructura de rejillas.



- c) Un túnel de 270 m con dos tipos de sección: sección circular sencilla de 2,70 m de diámetro entre el portal de entrada y la chimenea de control, y sección doble circular de 1,80 m de diámetro entre la chimenea de control y el portal de salida.
- d) Una estructura de control, de sección formada por 4 celdas rectangulares, en la cual están ubicados los mecanismos de emergencia y servicio para control del gasto en la toma.
- e) Un tramo corto de conducto circular doble de 1,80 m de diámetro con bifurcación, entre el portal de salida y los disipadores de energía.
- f) Un par de disipadores de impacto del tipo U.S.B.R que descargan mediante una transición empedrada al canal revestido.

**Aliviadero:** El aliviadero está ubicado en el estribo izquierdo, tiene un ancho constante de 20 m, una longitud de 108 m, un gasto de diseño de  $190 \text{ m}^3/\text{s}$  y está formado por:

- a) Un canal de acceso de sección trapecial, excavado en roca, con taludes 0,5:1 y unos 50 m de longitud.
- b) Una sección de control formada por un vertedero de 20 m, de perfil Ogee. La sección de control se une al canal de acceso mediante muros que forman una transición cilíndrica de directriz circular y generatrices verticales.
- c) La descarga se efectúa a través de un rápido de unos 75 m de longitud y 20 m de ancho, con pendiente variable entre 0,05 y 0,50.
- d) Un pozo disipador del tipo U.S.B.R. II de 33 m de longitud.
- e) Transición de salida enrocada en contrapendiente 6:1 y canal de descarga hasta el río.

**Modificación de la carretera troncal II:** Al construir el embalse se inundó un tramo de la carretera troncal II, por lo cual fue necesario construir una variante recta sobre un terraplén de 2.600 m de longitud con altura máxima aproximadamente y con cota igual a la de la presa.

**Puente sobre el río Yaracuy:** En este tramo se construyó un puente de 4 tramos de 25 m de luz cada uno con vigas pretensadas, que permite el paso sobre el río Yaracuy.

El terraplén tiene un ancho de cresta de cresta de 17,40 m y taludes 2:1 con quiebre de 4:1 para alturas mayores de 9 m. Este tramo de carretera está provisto de isla e iluminación central, de aceras y defensas laterales.

### **Características generales del Embalse Cumaripa.**

#### Embalse

Área de la Cuenca 435 Km<sup>2</sup>

Rendimiento medio anual 102,61 Hm<sup>3</sup>

Rendimiento máximo anual 138,35 Hm<sup>3</sup>

Rendimiento mínimo anual 60,27 Hm<sup>3</sup>

Evaporación media anual del embalse 1.350 mm

Coefficiente de escorrentía 22,5 %

Precipitación medio anual 1.100 mm

Rendimiento en peso de sedimento 185 Ton/Km<sup>2</sup>/año

Rendimiento en volumen de sedimentos 166 m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/año

Cota de fondo del río 178,30 msnm

Cota del Nivel Normal 202,30 msnm

Cota de la Cresta de la presa 207,50 msnm

Cota a nivel máximo, creciente recurrente 205 msnm

Cota Nivel Mínimo de Operación 187 msnm

Cota del Nivel Muerto 182,50 msnm

Cota de entrada a la Toma 182,50 msnm

Vida útil del embalse 100 años

Capacidad a nivel máximo, creciente recurrente 147 Hm<sup>3</sup>

Capacidad Útil 100,7 Hm<sup>3</sup>

Capacidad Muerta 7,05 Hm<sup>3</sup>

Capacidad a nivel normal 107,75 Hm<sup>3</sup>

Lamina neta media anual para riego 550 mm

Lamina bruta media anual para riego 920 mm

Área Inundada para Nivel Normal 1.300 Has

Área Inundada para Nivel Máximo 1.600 Has

Capacidad de Riego 10.600 Has

### Presa

Tipo de Sección Zonificada

Longitud de la presa 187 m

Ancho máximo en la base 180 m

Altura máxima (sobre fondo del río) 29,20 m

Ancho de la cresta 8 m

Cota de la cresta 207,50 msnm

Cota de fondo del río 178,30 msnm

Talud aguas arriba 2,5:1

Talud aguas abajo 2:1

Ancho del dentellón 17 m

Profundidad promedio del dentellón, desde la línea de excavación 13 m

Volumen de relleno aprox: 400.000 Hm<sup>3</sup>

Obras de Toma

Gasto máximo en servicio 18 m<sup>3</sup>/s

Gasto máximo Desviación 29 m<sup>3</sup>/s

Cota de entrada a la toma 182,50 msnm

Cota mínimo probable de Operación 187 msnm

Longitud del túnel:

a) Total 278,35 m

b) Conducto a presión.

Sección Sencilla Diám. = 2,70 m. Longitud = 129,79 m

c) Conducto canal.

Sección Doble Diám. = 1,80 m. Longitud = 148,56 m

Aliviadero

Tipo Ogee de descarga libre

Longitud 108 m

Desnivel 26,30 m

Ancho del Aliviadero 20 m

Pico máximo afluente al embalse 772 m<sup>3</sup>/s

Pico de diseño el aliviadero 190 m<sup>3</sup>/s

Volumen de la creciente de diseño 21,5 Hm<sup>3</sup>

Tirante máximo sobre el vertedero 2,70 m

Pendiente del rápido 0,05 y 0,50

Canal de acceso Sección trapecial

Taludes del canal de acceso 0,5:1

Longitud del canal de acceso 50 m

---

Longitud del rápido 75 m, ancho y pendiente igual al aliviadero.

Pozo disipador Tipo II del U.S.B.R.

Longitud del pozo disipador 33 m

Taludes de transición de salida 6:1

Terraplén – Modificación troncal II

Tipo de sección Homogénea

Longitud del terraplén 2.200 m

Altura máxima 16,5 m

Ancho de la cresta 17,4 m

Cota de la cresta 207,50 msnm

Talud aguas arriba 2:1 y 4:1

Talud aguas abajo 2:1 y 4:1

Volumen de relleno aprox: 1.000.000 m<sup>3</sup>

Puente sobre el río Yaracuy

Longitud 100 m

Ancho 17,4 m

Número de tramos 4

Altura 17,2 m



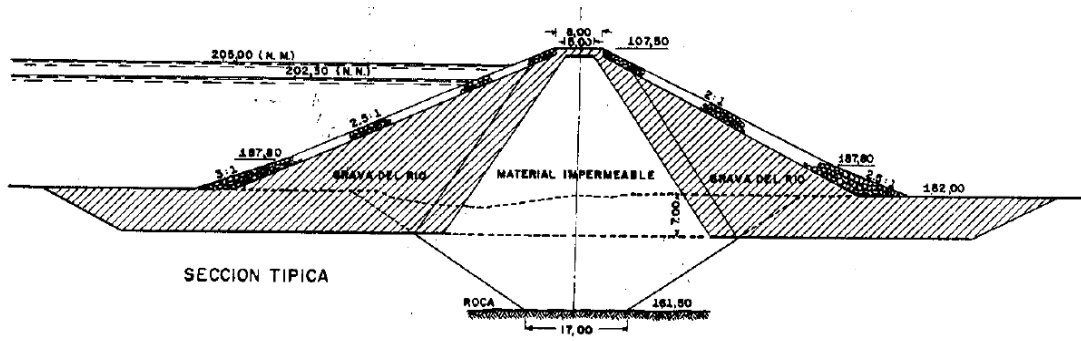


Figura A-12. Sección Típica de Presa. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976).

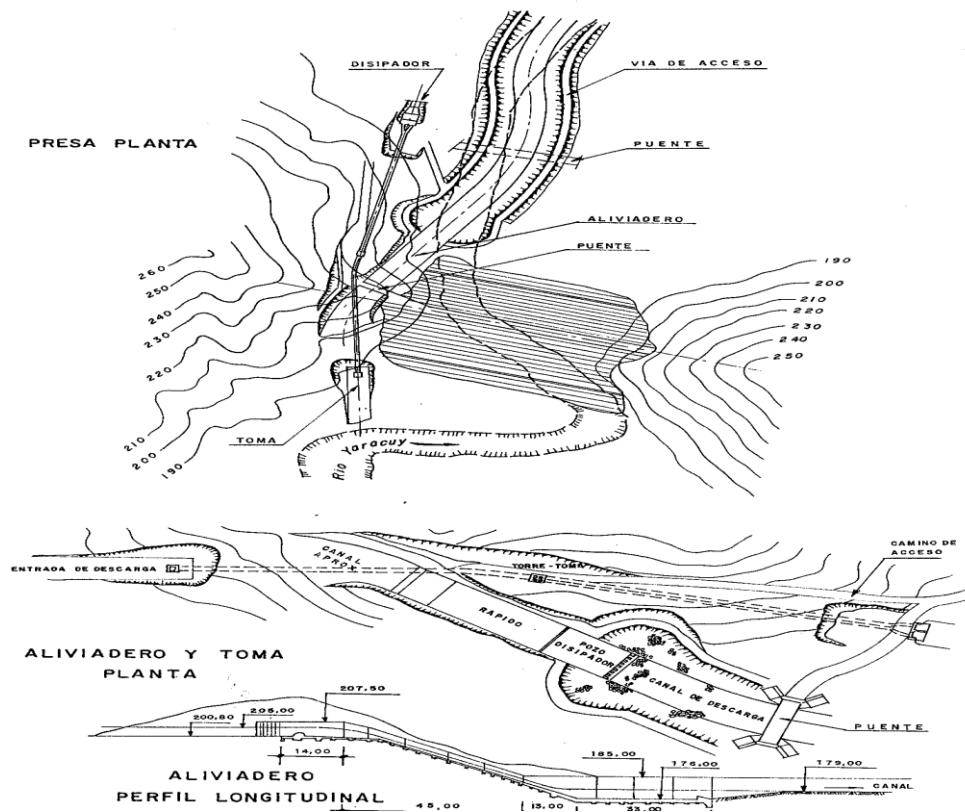
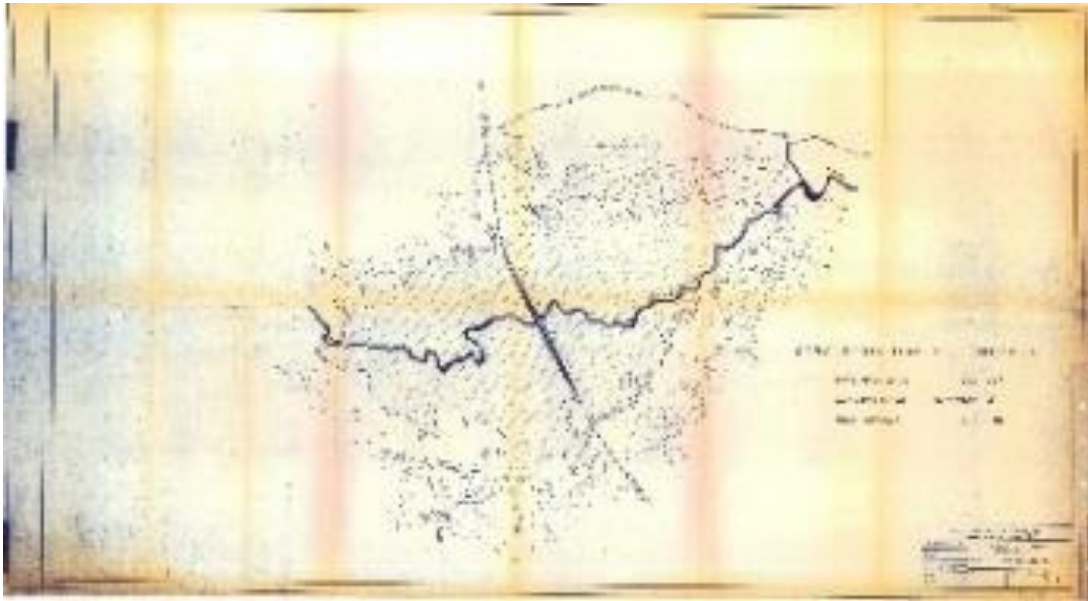


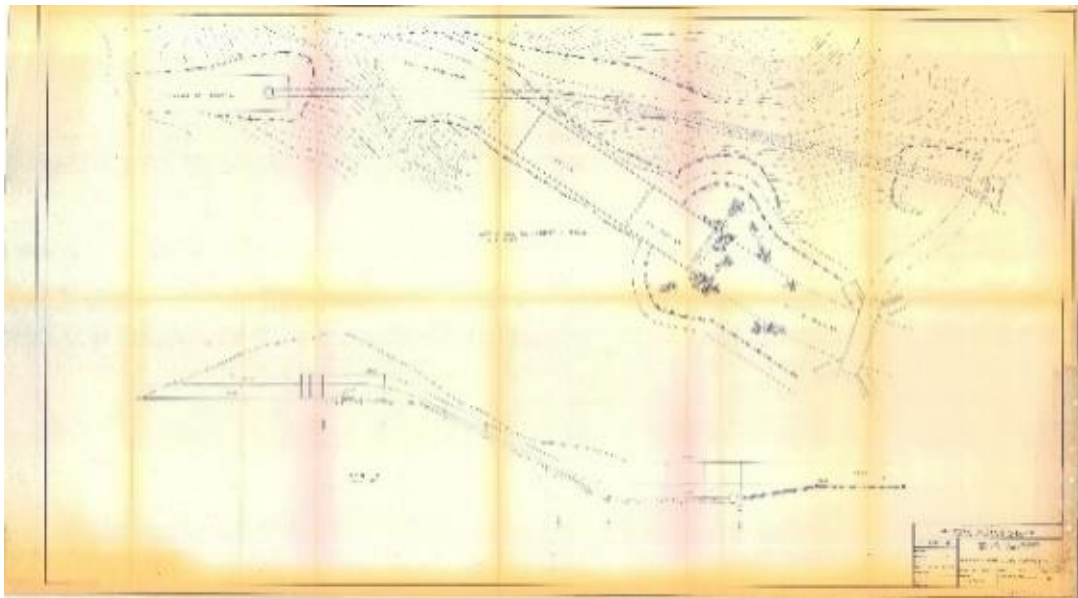
Figura A-13. Plano de Planta de la Presa. Plano de Planta de Aliviadero y Toma. Perfil Longitudinal del Aliviadero. Embalse Cumaripa. Fuente: Revista El Agua (1976).



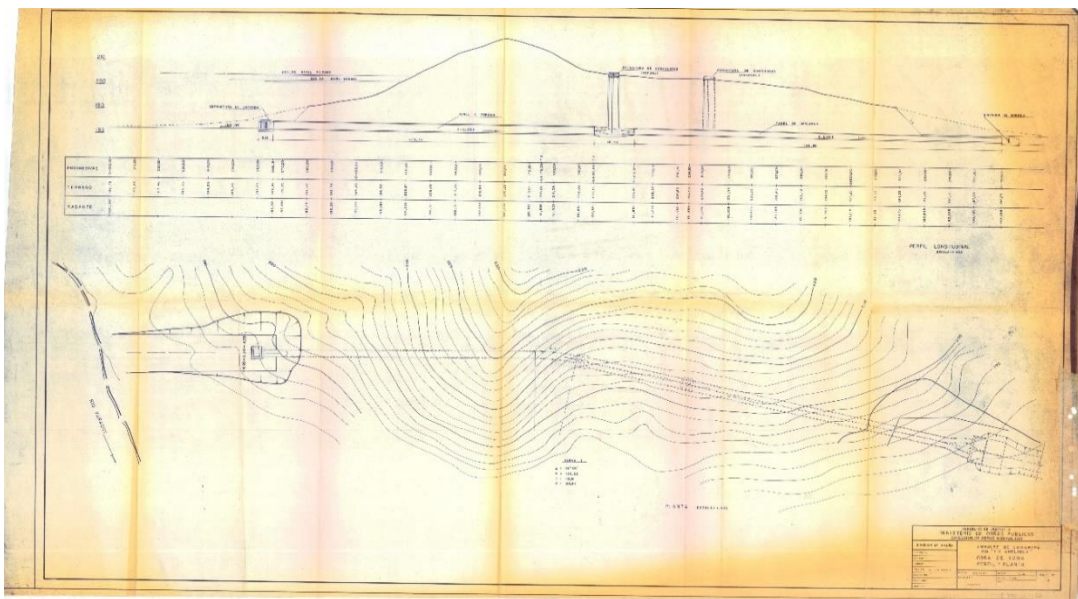
**Figura A-14. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Cumaripa.**  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).



**Figura A-15. Plano General. Embalse Cumaripa.** Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).



**Figura A-16. Plano de Planta y Perfil del Aliviadero. Embalse Cumaripa.**  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).



**Figura A-17. Plano de Perfil y Planta de la Obra de Toma. Embalse Cumaripa.**  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1971).



---

**Presa Ing. Félix de los Ríos, Dos Cerritos-Estado Lara**



**Figura A-18. Presa Ing. Félix de los Ríos, Dos Cerritos-Estado Lara.**  
Fuente: Revista El Agua (1976).

**Construcción:** 1968-1973.

**Ubicación:** La presa “Dos Cerritos” está ubicada a unos 4 km aguas arriba de la población El Tocuyo en el Municipio Bolívar, Distrito Moran del Estado Lara. Sobre el río Tocuyo y la Quebrada La Goajira.

**Propósito:** Abastecimiento de agua potable de Barquisimeto, Quibor y otros poblados de la zona. Riego de 4.500 Has.

**Embalse:** El embalse que se forma en el sitio denominado “Dos Cerritos” tiene por finalidad almacenar el volumen de agua necesario como para abastecer a Barquisimeto con 2.500 lts/s, regar unos 4.500 Has en los alrededores de El Tocuyo. El embalse sirve para controlar las grandes crecientes del Río Tocuyo que provocan inundación aguas abajo.

**Presa:** Con el fin de aprovechar el escurrimiento de la quebrada La Goajira, se construyeron dos cierres de los cauces: uno sobre el río Tocuyo y otro sobre la quebrada La Goajira inmediatamente aguas abajo del cerro Guinea.

**Aliviadero:** Aliviadero con vertedero de cresta recta sin controlar y para el cálculo hidráulico se usó la creciente máxima contenida en el informe hidrológico, la cual muestra un pico de  $2.966 \text{ m}^3/\text{s}$  y un volumen de  $85,5 \text{ Hm}^3$ .

El aliviadero se encuentra localizado en el Cerro Guinea que separa ambas presas, disponiendo sobre el un puente para la vía hacia Humacaro.

Un canal de aproximación de 85 m de longitud y tiene en su parte más ancha, 140 m reduciéndose a 15 m. La sección es trapezoidal, protegida por un enrocado de 40 cm de espesor, en la parte donde el ancho es de 55,50 m comienzan muros de encauzamiento verticales que van cerrando el canal de aproximación hasta un ancho de 15 m que es el ancho de la sección vertedora. Estos muros describen una curva horizontal de 20 m de radio y un ángulo al centro de  $54^\circ$ . Estos muros tienen una altura de 7,27 m. La zona situada entre

los muros de encauzamiento llevara una placa de concreto de 40 cm de espesor para proteger el material de fundación.

Una sección vertedora de 15 m, sin control.

El pozo disipador, tiene un ancho de 15 m y está dividido en dos tramos con pendientes diferentes: un primer tramo una pendiente de 2% y muros de encauzamiento de 3,50 m y un segundo tramo con una pendiente del 57,73% y muros de 3 m de altura. Los tramos se enlazan con una curva vertical de 145,805 m de radio y un ángulo del centro de 28° 51' 15", 25 teniendo los muros una altura que varía de 3,50 a 3 m. La placa de todo el rápido tiene un espesor de 40 cm en la mayor parte de su longitud.

El pozo disipador de 55 m de longitud es de tipo II del U.S.B.R.

La altura conjugada de agua alcanza los 12,74 m y la altura de los muros, 15 m.

La transición de salida es de sección trapecial y tendrá un enrocado de 2 m de espesor con juntas cogidas con mortero.

El canal de descarga con una longitud de 421,60 m conducirá las aguas de alivio al río Tocuyo. Su sección es trapecial con 15 m en la base, taludes 2:1 y pendiente de uno por mil. Llevará encorado de protección de 1 m de espesor.

**Obra de Toma:** Las obras de toma han sido situadas en el Cerro Guinea hacia el estribo derecho de la presa N°1. Las obras de toma se componen básicamente de:

Rejillas:

La estructura de rejillas, situada en la coronación de la torre está formada por un conjunto de 6 columnas y 6 vigas de apoyo y guía para las rejillas. Estas rejillas serán construidas de ángulos y pletinas. La separación entre las pletinas es de 8 cm. Hay seis rejillas laterales de 2,20 m x 2,00 m y una

---

horizontal en forma de hexágono de 2,80 m por lado. Las rejillas pueden removerse para mantenimiento.

Torre Toma: permitió desviar el río durante la construcción de las obras a través de un bloque donde se alojó un codo que une la torre con el túnel.

La torre propiamente dicha, de 15,80 m de altura, es de sección anular de 2,50 m de diámetro interior y paredes de 0,50 m de espesor.

La estructura para el codo vertical, sirve de apoyo a la torre y para la conexión posterior, la torre con el túnel, tiene 11 m de longitud por 7 m de ancho.

El Túnel que consta de dos tramos separados por la cámara para la válvula de emergencia: uno a presión y otro visitable.

El tramo a presión es recto con la excepción de una curva. La sección interior del túnel será circular de 3 m de diámetro.

Cámara de Válvula y Chimenea de acceso: La cámara para la válvula de emergencia, de forma cilindro-cónica de 5 m de diámetro interior y de 12,53 m de altura. El espesor mínimo de las paredes es de 0,75 m. El acceso a esta cámara se practicara a través de la chimenea vertical prevista a tal efecto. Esta chimenea de 34,81 m de altura, es de sección circular con un diámetro de excavación de 4,10 m y un diámetro interior de 3,30 m.

El tramo visitable del túnel es recto a todo lo largo de su longitud. El terminado interior del túnel es circular de 4 m de diámetro. En este tramo va alojado el primer tramo de tubería metálica de toma de 2 m de diámetro apoyada sobre bloques de concreto.

En el portal de salida, el túnel se extiende en un conducto con la misma sección y 15 m de longitud.

Válvulas y Tuberías: La válvula de emergencia estará situada en la cámara prevista. La válvula será del tipo “Ring Follower”, de 2 m de diámetro y diseñada para operar completamente abierta o cerrada.

La válvula de emergencia está conectada al túnel a presión mediante una transición y directamente a la tubería de 2 m de diámetro de salida de la toma. Una vez fuera del túnel la tubería se bifurca en dos ramales de 1,524 m de diámetro. Un ramal de descarga al cauce del río Tocuyo mediante una válvula del tipo “Hollow Jet” también de 1,524 m de diámetro. El segundo ramal conducirá el agua a la estación de bombeo del INOS. De este segundo ramal se desprende un tercer ramal de 0,762 m de diámetro para conducir el agua de riego requerida por las acequias de la margen derecha del valle de río Tocuyo. La descarga se efectúa mediante otra válvula tipo “Hollow Jet” de 0,762 m de diámetro.

Estructura de Descarga para la válvula de Chorro. Como se mencionó anteriormente la válvula tipo “Hollow Jet” de 1.524 m de diámetro se encuentra alojada en una estructura de descarga de 45,64 m de longitud, ubicada a continuación de la bifurcación en “Y”. Esta estructura está formada básicamente por: a) bloque de anclaje capaz de resistir las fuerzas hidrostáticas y dinámicas generadas en la válvula y en el codo vertical, b) caseta de operación situada sobre el bloque de anclaje, c) pilas de apoyo para la válvula, d) pozo disipador de 20 m de longitud, 3,85 m de ancho y muros de 7,00 m de altura, e) transición enrocada y f) canal enrocado que conducirán las aguas hasta el canal de descarga del aliviadero.

### **Características principales de las obras de embalse Dos Cerritos.**

#### Embalse

Volumen muerto: 36  $Hm^3$

Volumen útil: 120  $Hm^3$

Volumen normal: 156  $Hm^3$



Volumen máximo: 216  $Hm^3$

Cota de aguas normales: 666,80 msnm

Cota de aguas muertas: 651,40 msnm

Cota de aguas máximas: 672,70 msnm

Cota Mínima de Operación: 654,00 msnm

Área inundada al nivel de aguas normales: 1.060 Has

Área inundada al nivel de aguas máximas: 1.270 Has

Gasto máximo regulado por la toma: 30  $m^3/s$

Gasto mínimo regulado por la toma: 7,50  $m^3/s$

Rendimiento en volumen de sedimentos 1.000  $m^3/Km^2/año$

### Presa

N°1/N°2

Río El Tocuyo/La Goajira

Cota de fondo: 628 msnm/648 msnm

Cota de la cresta: 673,30 msnm

Ancho de la cresta: 15 m

Longitud de la cresta: 812 m/1.740 m

Radio circular 600 m/800 m y 700 m

Borde libre: 6,50 m

Pendiente del talud aguas arriba: 3:1

Pendiente del talud aguas arriba: 2,50:1

Tipo de sección: De tierra, Zonificada

Altura máxima: 45 m/25 m

Ancho máximo en la base: 260 m

Volumen total: 9.136  $m^3$

Numero de presas: 2, separadas por un cerro central (Cerro Guinea).

Altura máxima: 45 m

#### Obra de Toma

Tipo: Torre – toma sumergida con un nivel de captación y túnel.

Altura de la torre – toma: 15,80 m

Diámetro del túnel: 3,00 m

Longitud del túnel: 220 m

#### Aliviadero

Pico de la creciente máxima: 2.966  $m^3/s$

Frecuencia: 1: 100 años

Volumen de la creciente: 85,5  $Hm^3$

Tipo aliviadero: Frontal, rectangular, de descarga libre.

Longitud del vertedero: 15 m

Cota de la cresta: 666,80 msnm

Lamina vertiente: 5,86 m

Coefficiente de gasto del vertedero: 2,00

Gasto máximo de descargas: 425  $m^3/s$

Tipo del pozo disipador: Tipo II del U.S.B.R.

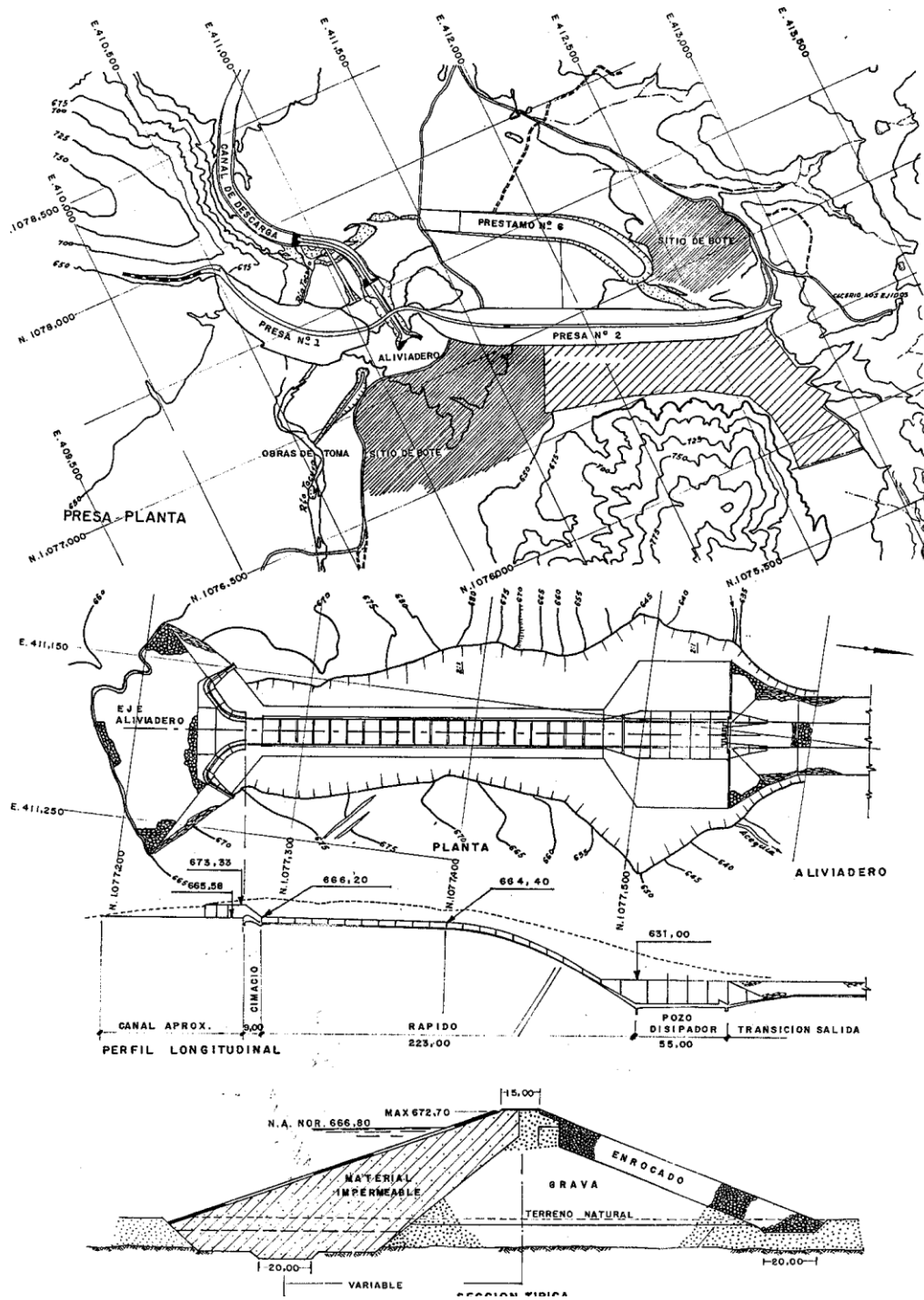


Figura A-19. Plano de Plata de la Presa. Plano de Planta y Perfil Longitudinal del Aliviadero. Sección Típica de la Presa. Embalse Dos Cerritos. Fuente: Revista El Agua (1976).

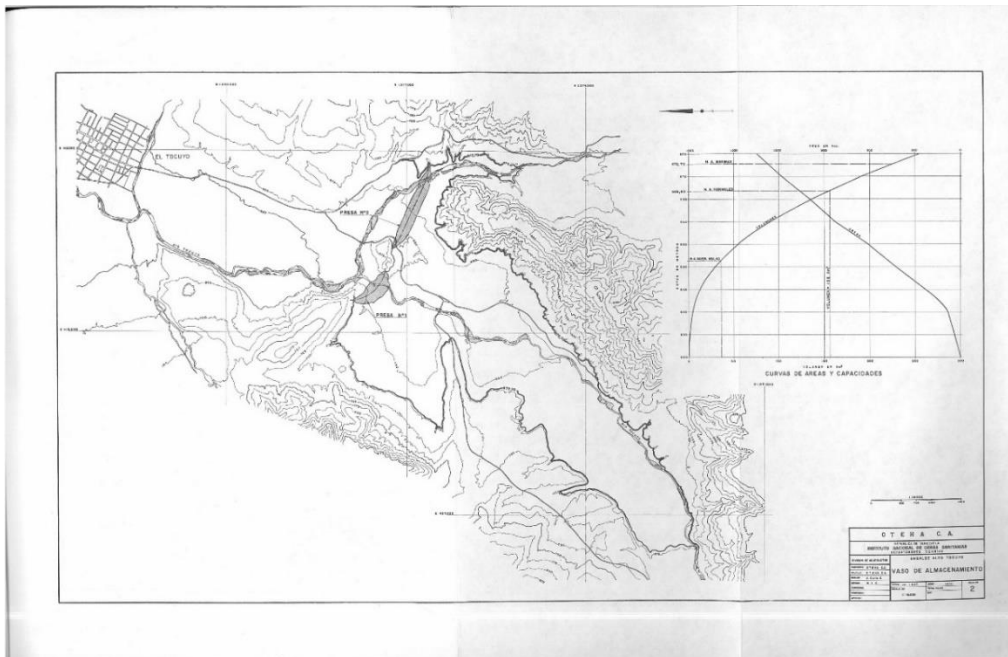


Figura A-20. Plano del Vaso de Almacenamiento. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).

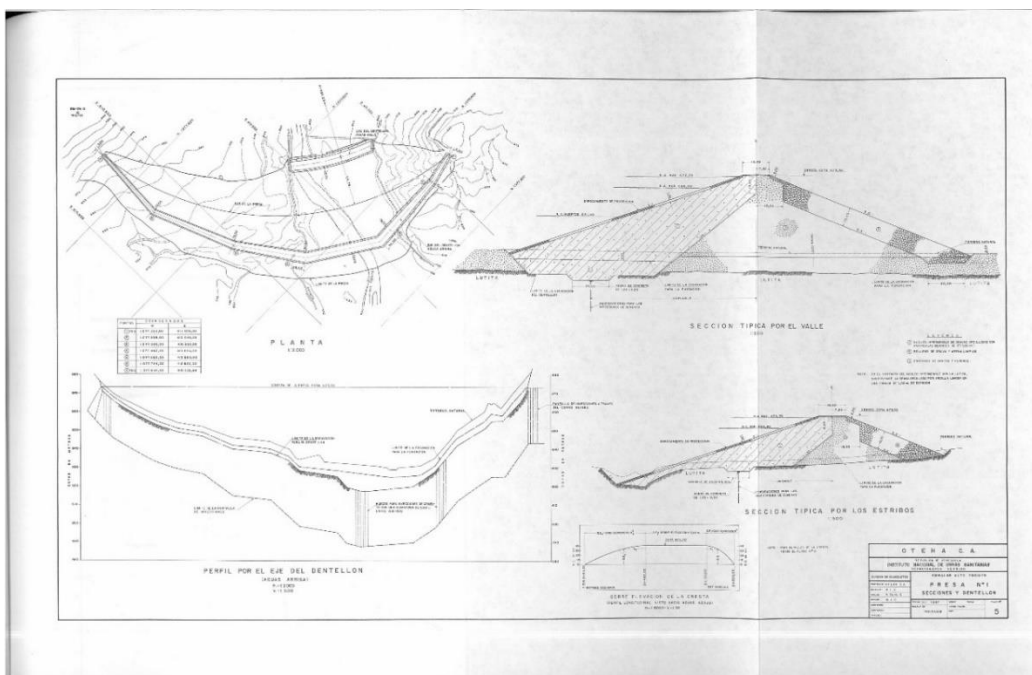
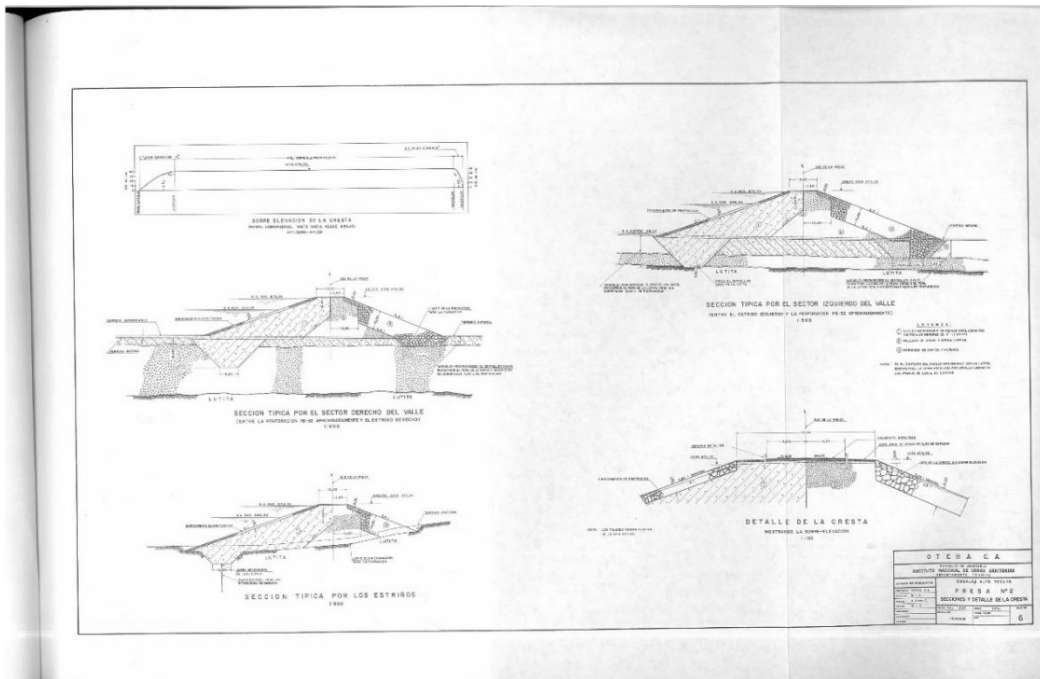
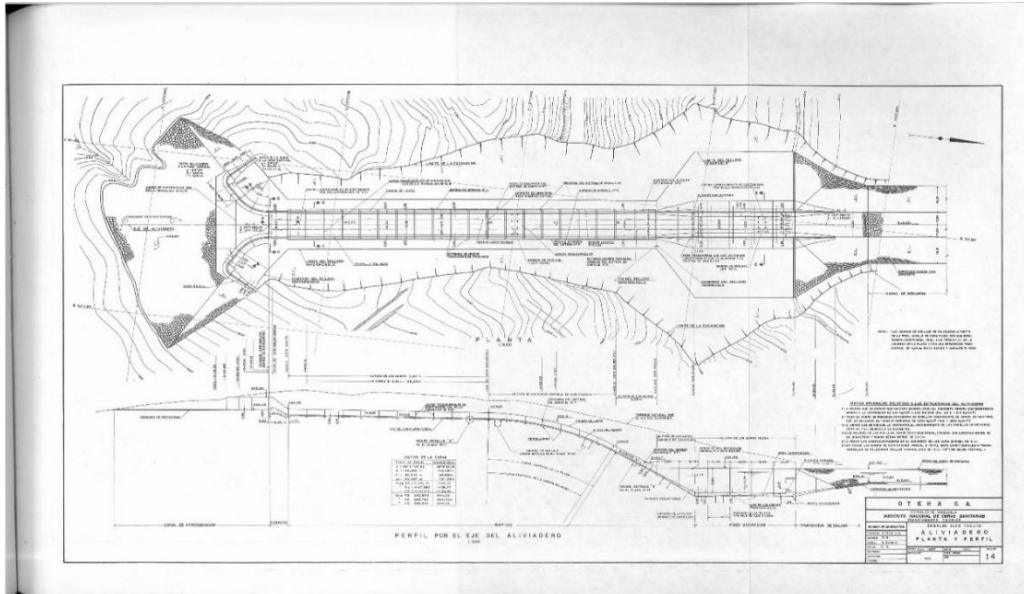


Figura A-21. Plano de Presa N°1. Secciones y Dentellón. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).

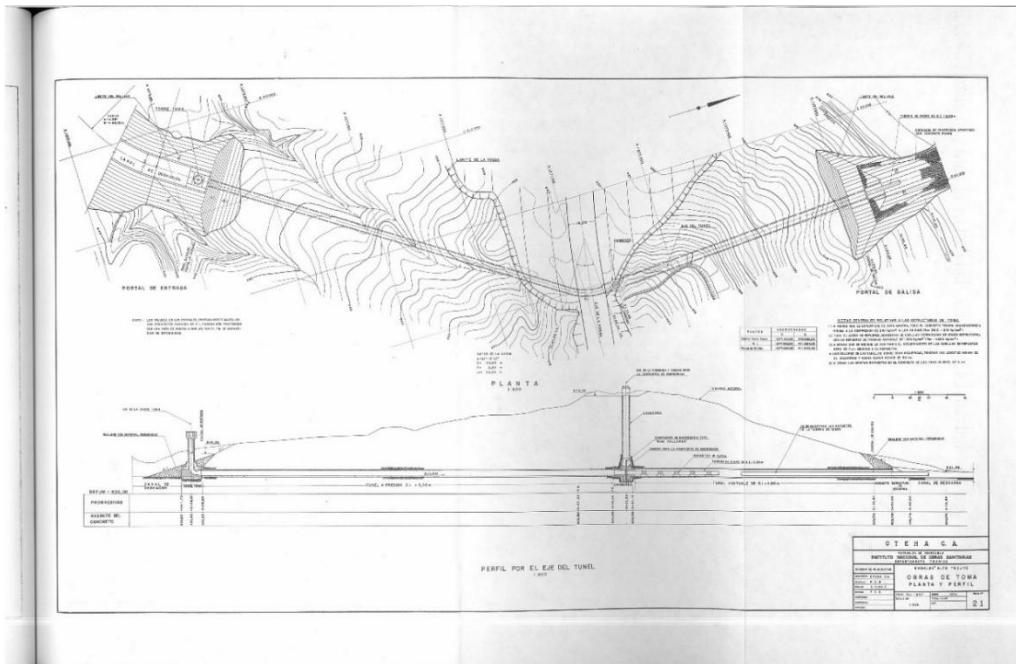


**Figura A-22. Plano de Presa N°2. Secciones y Detalle de la Cresta. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).**

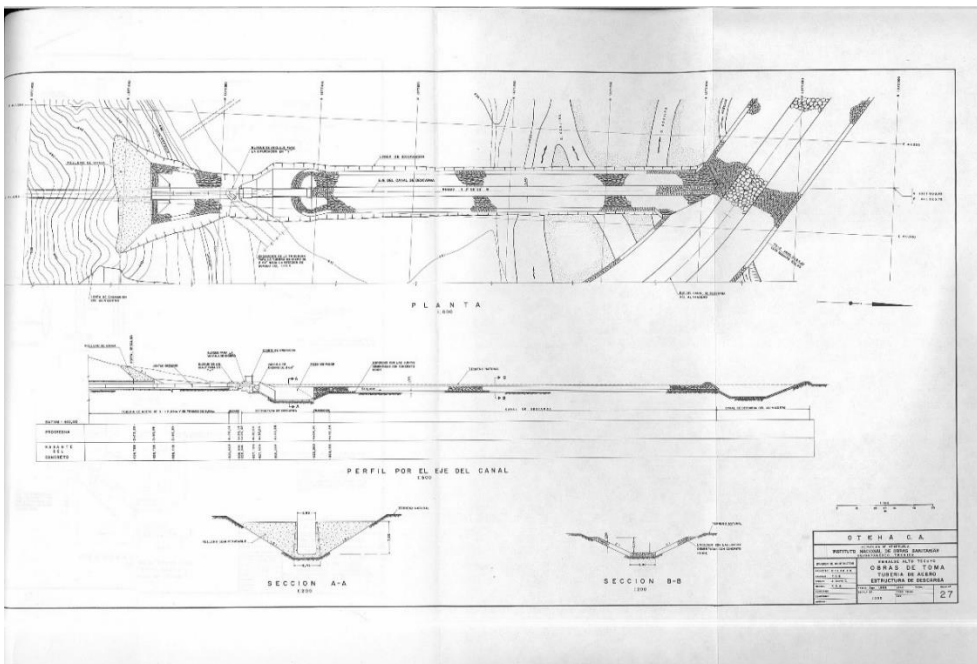


**Figura A-23. Plano de Planta y Perfil del Aliviadero. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).**





**Figura A-24. Plano de Planta y Perfil de la Obra de Toma. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1967).**



**Figura A-25. Plano de Obras de Toma. Tubería de Acero. Estructura de Descarga. Embalse Dos Cerritos. Fuente: OTEHA (1968).**

**ANEXO B:**

**TRÁNSITO DE CRECIENTE**

**Tabla B-1. Tránsito de Creciente.**

Tiempo (h)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	2S/Δt - QSS (m <sup>3</sup> /s)	2S/Δt + QSS (m <sup>3</sup> /s)	QSS (m <sup>3</sup> /s)	QE - QSS	$\bar{Q}_e - \bar{Q}_{ss}$	ΔS	ΔS'	h (m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,08	5,83	5,83	5,83	0,00	5,83	2,92	0,00	0,00	0,00
0,17	11,67	23,33	23,33	0,00	11,66	8,75	0,00	0,00	0,00
0,25	17,50	52,49	52,50	0,00	17,50	14,58	0,00	0,01	0,00
0,33	23,33	93,31	93,32	0,01	23,33	20,41	0,01	0,01	0,00
0,42	29,17	145,78	145,81	0,01	29,16	26,24	0,01	0,02	0,00
0,50	35,00	209,92	209,95	0,02	34,98	32,07	0,01	0,03	0,00
0,58	40,83	285,71	285,75	0,02	40,81	37,90	0,01	0,04	0,00
0,67	46,67	373,15	373,21	0,03	46,64	43,72	0,01	0,06	0,00
0,75	52,50	472,25	472,32	0,04	52,46	49,55	0,01	0,07	0,01
0,83	58,33	582,99	583,08	0,04	58,29	55,38	0,02	0,09	0,01
0,92	64,17	705,38	705,49	0,05	64,11	61,20	0,02	0,11	0,01
1,00	70,00	839,42	839,55	0,06	69,94	67,02	0,02	0,13	0,01
1,08	79,17	988,44	988,59	0,08	79,09	74,51	0,02	0,15	0,01
1,17	88,33	1.155,76	1.155,94	0,09	88,25	83,67	0,03	0,17	0,01
1,25	97,50	1.341,39	1.341,60	0,10	97,40	92,82	0,03	0,20	0,02
1,33	106,67	1.545,32	1.545,56	0,12	106,55	101,97	0,03	0,23	0,02
1,42	115,83	1.767,55	1.767,82	0,13	115,70	111,12	0,03	0,27	0,02
1,50	125,00	2.008,08	2.008,39	0,15	124,85	120,27	0,04	0,30	0,02
1,58	134,17	2.266,90	2.267,25	0,17	133,99	129,42	0,04	0,34	0,03
1,67	143,33	2.544,01	2.544,40	0,19	143,14	138,57	0,04	0,38	0,03
1,75	152,50	2.839,41	2.839,85	0,22	152,28	147,71	0,04	0,43	0,03
1,83	161,67	3.153,10	3.153,58	0,24	161,43	156,85	0,05	0,47	0,04
1,92	170,83	3.485,07	3.485,60	0,27	170,57	166,00	0,05	0,52	0,04
2,00	180,00	3.835,32	3.835,90	0,29	179,71	175,14	0,05	0,58	0,04
2,08	191,67	4.206,34	4.206,98	0,32	191,35	185,53	0,06	0,63	0,05
2,17	203,33	4.600,64	4.601,34	0,35	202,98	197,16	0,06	0,69	0,05
2,25	215,00	5.018,21	5.018,97	0,38	214,62	208,80	0,06	0,75	0,06
2,33	226,67	5.459,04	5.459,87	0,42	226,25	220,43	0,07	0,82	0,06
2,42	238,33	5.923,10	5.924,04	0,47	237,86	232,06	0,07	0,89	0,07
2,50	250,00	6.410,36	6.411,43	0,54	249,46	243,66	0,07	0,96	0,07
2,58	261,67	6.920,81	6.922,02	0,61	261,06	255,26	0,08	1,04	0,08
2,67	273,33	7.454,45	7.455,81	0,68	272,65	266,86	0,08	1,12	0,08
2,75	285,00	8.011,27	8.012,78	0,75	284,25	278,45	0,08	1,20	0,09
2,83	296,67	8.591,27	8.592,94	0,83	295,83	290,04	0,09	1,29	0,10
2,92	308,33	9.194,44	9.196,27	0,92	307,42	301,63	0,09	1,38	0,10
3,00	320,00	9.820,78	9.822,78	1,00	319,00	313,21	0,09	1,47	0,11
3,08	335,83	10.474,43	10.476,61	1,09	334,74	326,87	0,10	1,57	0,12
3,17	351,67	11.159,57	11.161,93	1,18	350,48	342,61	0,10	1,67	0,13
3,25	367,50	11.876,14	11.878,73	1,30	366,20	358,34	0,11	1,78	0,13
3,33	383,33	12.624,11	12.626,97	1,43	381,90	374,05	0,11	1,89	0,14
3,42	399,17	13.403,48	13.406,61	1,57	397,60	389,75	0,12	2,01	0,15
3,50	415,00	14.214,23	14.217,65	1,71	413,29	405,45	0,12	2,13	0,16
3,58	430,83	15.056,35	15.060,06	1,86	428,98	421,14	0,13	2,26	0,17
3,67	446,67	15.929,84	15.933,85	2,01	444,66	436,82	0,13	2,39	0,18
3,75	462,50	16.834,67	16.839,00	2,17	460,33	452,50	0,14	2,53	0,19



Tiempo (h)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	2S/Δt - QSS (m <sup>3</sup> /s)	2S/Δt + QSS (m <sup>3</sup> /s)	QSS (m <sup>3</sup> /s)	QE - QSS	$\bar{Q}_e - \bar{Q}_{ss}$	ΔS	ΔS'	h (m)
3,83	478,33	17.770,81	17.775,50	2,35	475,99	468,16	0,14	2,67	0,20
3,92	494,17	18.738,21	18.743,31	2,55	491,62	483,80	0,15	2,81	0,21
4,00	510,00	19.736,87	19.742,38	2,75	507,25	499,43	0,15	2,96	0,22
4,08	529,17	20.770,11	20.776,04	2,97	526,20	516,72	0,16	3,12	0,23
4,17	548,33	21.841,23	21.847,61	3,19	545,15	535,67	0,16	3,28	0,24
4,25	567,50	22.950,24	22.957,06	3,41	564,09	554,62	0,17	3,44	0,26
4,33	586,67	24.097,04	24.104,40	3,68	582,99	573,54	0,17	3,62	0,27
4,42	605,83	25.281,63	25.289,54	3,96	601,88	592,43	0,18	3,79	0,28
4,50	625,00	26.503,98	26.512,46	4,24	620,76	611,32	0,18	3,98	0,30
4,58	644,17	27.764,07	27.773,15	4,54	639,63	630,19	0,19	4,17	0,31
4,67	663,33	29.061,90	29.071,57	4,84	658,50	649,06	0,19	4,36	0,33
4,75	682,50	30.397,37	30.407,73	5,18	677,32	667,91	0,20	4,56	0,34
4,83	701,67	31.770,47	31.781,54	5,53	696,13	686,73	0,21	4,77	0,36
4,92	720,83	33.181,17	33.192,97	5,90	714,94	705,53	0,21	4,98	0,37
5,00	740,00	34.629,49	34.642,01	6,26	733,74	724,34	0,22	5,20	0,39
5,08	756,67	36.112,81	36.126,16	6,67	749,99	741,87	0,22	5,42	0,40
5,17	773,33	37.628,62	37.642,81	7,09	766,24	758,12	0,23	5,65	0,42
5,25	790,00	39.176,91	39.191,96	7,53	782,47	774,36	0,23	5,88	0,44
5,33	806,67	40.757,66	40.773,57	7,96	798,71	790,59	0,24	6,11	0,46
5,42	823,33	42.370,79	42.387,66	8,44	814,90	806,80	0,24	6,36	0,47
5,50	840,00	44.016,27	44.034,12	8,93	831,07	822,98	0,25	6,60	0,49
5,58	856,67	45.694,08	45.712,93	9,43	847,24	839,16	0,25	6,86	0,51
5,67	873,33	47.404,21	47.424,08	9,93	863,40	855,32	0,26	7,11	0,53
5,75	890,00	49.146,57	49.167,54	10,49	879,51	871,46	0,26	7,37	0,55
5,83	906,67	50.921,14	50.943,24	11,05	895,62	887,57	0,27	7,64	0,57
5,92	923,33	52.727,93	52.751,14	11,61	911,73	903,67	0,27	7,91	0,59
6,00	940,00	54.566,83	54.591,27	12,22	927,78	919,76	0,28	8,19	0,61
6,08	947,08	56.428,24	56.453,92	12,84	934,25	931,01	0,28	8,47	0,63
6,17	954,17	58.302,62	58.329,49	13,44	940,73	937,49	0,28	8,75	0,65
6,25	961,25	60.189,84	60.218,03	14,10	947,15	943,94	0,28	9,03	0,67
6,33	968,33	62.089,91	62.119,42	14,76	953,57	950,36	0,29	9,32	0,70
6,42	975,42	64.002,80	64.033,66	15,43	959,99	956,78	0,29	9,60	0,72
6,50	982,50	65.928,55	65.960,72	16,08	966,42	963,20	0,29	9,89	0,74
6,58	989,58	67.867,06	67.900,63	16,79	972,79	969,61	0,29	10,18	0,76
6,67	996,67	69.818,31	69.853,31	17,50	979,17	975,98	0,29	10,48	0,78
6,75	1.003,75	71.782,32	71.818,72	18,20	985,55	982,36	0,29	10,77	0,80
6,83	1.010,83	73.759,01	73.796,91	18,95	991,89	988,72	0,30	11,07	0,83
6,92	1.017,92	75.748,36	75.787,76	19,70	998,22	995,05	0,30	11,37	0,85
7,00	1.025,00	77.750,41	77.791,28	20,43	1.004,57	1.001,39	0,30	11,67	0,87
7,08	1.020,42	79.753,39	79.795,83	21,22	999,20	1.001,88	0,30	11,97	0,89
7,17	1.015,83	81.745,64	81.789,64	22,00	993,83	996,52	0,30	12,27	0,92
7,25	1.011,25	83.727,23	83.772,72	22,74	988,51	991,17	0,30	12,56	0,94
7,33	1.006,67	85.698,06	85.745,15	23,54	983,12	985,81	0,30	12,86	0,96
7,42	1.002,08	87.658,13	87.706,81	24,34	977,74	980,43	0,29	13,15	0,98
7,50	997,50	89.607,54	89.657,72	25,09	972,41	975,08	0,29	13,44	1,00
7,58	992,92	91.546,17	91.597,96	25,90	967,02	969,72	0,29	13,74	1,03
7,67	988,33	93.474,01	93.527,42	26,70	961,63	964,32	0,29	14,03	1,05
7,75	983,75	95.391,19	95.446,09	27,45	956,30	958,96	0,29	14,31	1,07

Tiempo (h)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	2S/Δt - QSS (m <sup>3</sup> /s)	2S/Δt + QSS (m <sup>3</sup> /s)	QSS (m <sup>3</sup> /s)	QE - QSS	$\bar{Q}_e - \bar{Q}_{ss}$	ΔS	ΔS'	h (m)
7,83	979,17	97.297,57	97.354,11	28,27	950,90	953,60	0,29	14,60	1,09
7,92	974,58	99.193,14	99.251,32	29,09	945,50	948,20	0,28	14,88	1,11
8,00	970,00	101.078,06	101.137,72	29,83	940,17	942,83	0,28	15,17	1,13
8,08	954,17	102.940,91	103.002,23	30,66	923,51	931,84	0,28	15,45	1,15
8,17	938,33	104.770,48	104.833,41	31,47	906,87	915,19	0,27	15,72	1,17
8,25	922,50	106.566,79	106.631,31	32,26	890,24	898,55	0,27	15,99	1,19
8,33	906,67	108.330,05	108.395,95	32,95	873,71	881,97	0,26	16,25	1,21
8,42	890,83	110.060,06	110.127,55	33,74	857,09	865,40	0,26	16,51	1,23
8,50	875,00	111.756,87	111.825,90	34,52	840,48	848,79	0,25	16,77	1,25
8,58	859,17	113.420,66	113.491,03	35,19	823,98	832,23	0,25	17,02	1,27
8,67	843,33	115.051,26	115.123,16	35,95	807,38	815,68	0,24	17,26	1,29
8,75	827,50	116.648,70	116.722,10	36,70	790,80	799,09	0,24	17,50	1,31
8,83	811,67	118.213,01	118.287,87	37,43	774,24	782,52	0,23	17,74	1,33
8,92	795,83	119.744,46	119.820,51	38,02	757,81	766,02	0,23	17,97	1,34
9,00	780,00	121.242,81	121.320,30	38,74	741,26	749,54	0,22	18,19	1,36
9,08	764,17	122.708,09	122.786,98	39,45	724,72	732,99	0,22	18,41	1,38
9,17	748,33	124.140,31	124.220,59	40,14	708,20	716,46	0,21	18,63	1,39
9,25	732,50	125.539,51	125.621,14	40,81	691,69	699,94	0,21	18,84	1,41
9,33	716,67	126.905,82	126.988,68	41,43	675,24	683,46	0,21	19,04	1,42
9,42	700,83	128.239,25	128.323,32	42,04	658,80	667,02	0,20	19,24	1,44
9,50	685,00	129.539,82	129.625,09	42,63	642,37	650,58	0,20	19,44	1,45
9,58	669,17	130.807,56	130.893,99	43,22	625,95	634,16	0,19	19,63	1,47
9,67	653,33	132.042,48	132.130,06	43,79	609,55	617,75	0,19	19,81	1,48
9,75	637,50	133.244,63	133.333,32	44,34	593,16	601,35	0,18	19,99	1,49
9,83	621,67	134.414,02	134.503,80	44,89	576,78	584,97	0,18	20,17	1,51
9,92	605,83	135.550,68	135.641,52	45,42	560,42	568,60	0,17	20,34	1,52
10,00	590,00	136.654,65	136.746,52	45,93	544,07	552,24	0,17	20,51	1,53
10,08	574,17	137.725,94	137.818,81	46,44	527,73	535,90	0,16	20,67	1,54
10,17	558,33	138.764,58	138.858,44	46,93	511,41	519,57	0,16	20,82	1,56
10,25	542,50	139.770,61	139.865,42	47,40	495,10	503,25	0,15	20,97	1,57
10,33	526,67	140.744,05	140.839,78	47,86	478,80	486,95	0,15	21,12	1,58
10,42	510,83	141.684,93	141.781,55	48,31	462,52	470,66	0,14	21,26	1,59
10,50	495,00	142.593,27	142.690,76	48,74	446,26	454,39	0,14	21,40	1,60
10,58	479,17	143.469,11	143.567,44	49,16	430,00	438,13	0,13	21,53	1,61
10,67	463,33	144.312,48	144.411,61	49,57	413,77	421,89	0,13	21,65	1,62
10,75	447,50	145.123,40	145.223,31	49,96	397,54	405,66	0,12	21,78	1,63
10,83	431,67	145.901,91	146.002,57	50,33	381,34	389,44	0,12	21,89	1,64
10,92	415,83	146.648,03	146.749,41	50,69	365,14	373,24	0,11	22,00	1,64
11,00	400,00	147.361,80	147.463,87	51,03	348,97	357,06	0,11	22,11	1,65
11,08	388,75	148.047,82	148.150,55	51,37	337,38	343,18	0,10	22,21	1,66
11,17	377,50	148.710,69	148.814,07	51,69	325,81	331,60	0,10	22,31	1,67
11,25	366,25	149.350,45	149.454,44	52,00	314,25	320,03	0,10	22,41	1,67
11,33	355,00	149.967,11	150.071,70	52,30	302,70	308,48	0,09	22,50	1,68
11,42	343,75	150.560,68	150.665,86	52,59	291,16	296,93	0,09	22,59	1,69
11,50	332,50	151.131,20	151.236,93	52,86	279,64	285,40	0,09	22,68	1,69
11,58	321,25	151.678,69	151.784,95	53,13	268,12	273,88	0,08	22,76	1,70
11,67	310,00	152.203,16	152.309,94	53,39	256,61	262,36	0,08	22,84	1,71
11,75	298,75	152.704,65	152.811,91	53,63	245,12	250,86	0,08	22,91	1,71

Tiempo (h)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	2S/Δt - QSS (m <sup>3</sup> /s)	2S/Δt + QSS (m <sup>3</sup> /s)	QSS (m <sup>3</sup> /s)	QE - QSS	$\bar{Q}_e - \bar{Q}_{ss}$	ΔS	ΔS'	h (m)
11,83	287,50	153.183,16	153.290,90	53,87	233,63	239,37	0,07	22,99	1,72
11,92	276,25	153.638,72	153.746,91	54,09	222,16	227,89	0,07	23,05	1,72
12,00	265,00	154.071,36	154.179,97	54,30	210,70	216,43	0,06	23,12	1,73
12,08	257,08	154.484,43	154.593,45	54,51	202,58	206,64	0,06	23,18	1,73
12,17	249,17	154.881,27	154.990,68	54,70	194,46	198,52	0,06	23,24	1,74
12,25	241,25	155.261,91	155.371,69	54,89	186,36	190,41	0,06	23,30	1,74
12,33	233,33	155.626,35	155.736,49	55,07	178,26	182,31	0,05	23,35	1,74
12,42	225,42	155.974,61	156.085,10	55,24	170,17	174,22	0,05	23,40	1,75
12,50	217,50	156.306,71	156.417,53	55,41	162,09	166,13	0,05	23,45	1,75
12,58	209,58	156.622,67	156.733,80	55,56	154,02	158,06	0,05	23,50	1,76
12,67	201,67	156.922,50	157.033,92	55,71	145,95	149,99	0,04	23,55	1,76
12,75	193,75	157.206,21	157.317,91	55,85	137,90	141,93	0,04	23,59	1,76
12,83	185,83	157.473,82	157.585,79	55,99	129,85	133,87	0,04	23,63	1,77
12,92	177,92	157.725,35	157.837,57	56,11	121,81	125,83	0,04	23,67	1,77
13,00	170,00	157.960,81	158.073,26	56,23	113,77	117,79	0,04	23,70	1,77
13,08	165,42	158.183,55	158.296,23	56,34	109,08	111,43	0,03	23,74	1,77
13,17	160,83	158.396,91	158.509,80	56,44	104,39	106,73	0,03	23,77	1,78
13,25	156,25	158.600,90	158.714,00	56,55	99,70	102,05	0,03	23,80	1,78
13,33	151,67	158.795,54	158.908,82	56,64	95,02	97,36	0,03	23,83	1,78
13,42	147,08	158.980,82	159.094,29	56,73	90,35	92,69	0,03	23,86	1,78
13,50	142,50	159.156,76	159.270,40	56,82	85,68	88,01	0,03	23,88	1,78
13,58	137,92	159.323,36	159.437,17	56,91	81,01	83,34	0,03	23,91	1,79
13,67	133,33	159.480,64	159.594,61	56,98	76,35	78,68	0,02	23,93	1,79
13,75	128,75	159.628,61	159.742,73	57,06	71,69	74,02	0,02	23,95	1,79
13,83	124,17	159.767,28	159.881,53	57,13	67,04	69,37	0,02	23,97	1,79
13,92	119,58	159.896,64	160.011,03	57,19	62,39	64,72	0,02	23,99	1,79
14,00	115,00	160.016,72	160.131,23	57,25	57,75	60,07	0,02	24,01	1,79
14,08	111,25	160.128,36	160.242,97	57,31	53,94	55,85	0,02	24,03	1,79
14,17	107,50	160.232,39	160.347,11	57,36	50,14	52,04	0,02	24,04	1,80
14,25	103,75	160.328,83	160.443,64	57,41	46,34	48,24	0,01	24,06	1,80
14,33	100,00	160.417,68	160.532,58	57,45	42,55	44,45	0,01	24,07	1,80
14,42	96,25	160.498,94	160.613,93	57,49	38,76	40,65	0,01	24,08	1,80
14,50	92,50	160.572,63	160.687,69	57,53	34,97	36,86	0,01	24,09	1,80
14,58	88,75	160.638,76	160.753,88	57,56	31,19	33,08	0,01	24,10	1,80
14,67	85,00	160.697,33	160.812,51	57,59	27,41	29,30	0,01	24,11	1,80
14,75	81,25	160.748,34	160.863,58	57,62	23,63	25,52	0,01	24,12	1,80
14,83	77,50	160.791,82	160.907,09	57,64	19,86	21,75	0,01	24,13	1,80
14,92	73,75	160.827,75	160.943,07	57,66	16,09	17,98	0,01	24,13	1,80
15,00	70,00	160.856,16	160.971,50	57,67	12,33	14,21	0,00	24,14	1,80
15,08	67,08	160.877,88	160.993,25	57,68	9,40	10,87	0,00	24,14	1,80
15,17	64,17	160.893,75	161.009,13	57,69	6,48	7,94	0,00	24,14	1,80
15,25	61,25	160.903,78	161.019,17	57,69	3,56	5,02	0,00	24,14	1,80
<b>15,33</b>	<b>58,33</b>	<b>160.907,97</b>	<b>161.023,37</b>	<b>57,70</b>	<b>0,64</b>	<b>2,10</b>	<b>0,00</b>	<b>24,14</b>	<b>1,80</b>
15,42	55,42	160.906,33	161.021,72	57,70	-2,28	-0,82	0,00	24,14	1,80
15,50	52,50	160.898,86	161.014,25	57,69	-5,19	-3,74	0,00	24,14	1,80
15,58	49,58	160.885,58	161.000,95	57,69	-8,10	-6,65	0,00	24,14	1,80
15,67	46,67	160.866,47	160.981,83	57,68	-11,01	-9,56	0,00	24,14	1,80
15,75	43,75	160.841,56	160.956,89	57,66	-13,91	-12,46	0,00	24,13	1,80

Tiempo (h)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	2S/Δt - QSS (m <sup>3</sup> /s)	2S/Δt + QSS (m <sup>3</sup> /s)	QSS (m <sup>3</sup> /s)	QE - QSS	$\bar{Q}_e - \bar{Q}_{ss}$	ΔS	ΔS'	h (m)
15,83	40,83	160.810,85	160.926,15	57,65	-16,81	-15,36	0,00	24,13	1,80
15,92	37,92	160.774,34	160.889,60	57,63	-19,71	-18,26	-0,01	24,12	1,80
16,00	35,00	160.732,04	160.847,26	57,61	-22,61	-21,16	-0,01	24,12	1,80
16,08	32,92	160.684,79	160.799,96	57,58	-24,67	-23,64	-0,01	24,11	1,80
16,17	30,83	160.633,42	160.748,54	57,56	-26,73	-25,70	-0,01	24,10	1,80
16,25	28,75	160.577,94	160.693,00	57,53	-28,78	-27,75	-0,01	24,10	1,80
16,33	26,67	160.518,35	160.633,36	57,50	-30,84	-29,81	-0,01	24,09	1,80
16,42	24,58	160.454,66	160.569,60	57,47	-32,89	-31,86	-0,01	24,08	1,80
16,50	22,50	160.386,87	160.501,75	57,44	-34,94	-33,91	-0,01	24,07	1,80
16,58	20,42	160.314,99	160.429,79	57,40	-36,98	-35,96	-0,01	24,06	1,80
16,67	18,33	160.239,02	160.353,74	57,36	-39,03	-38,01	-0,01	24,04	1,80
16,75	16,25	160.158,96	160.273,60	57,32	-41,07	-40,05	-0,01	24,03	1,80
16,83	14,17	160.074,81	160.189,37	57,28	-43,11	-42,09	-0,01	24,02	1,79
16,92	12,08	159.986,59	160.101,06	57,24	-45,15	-44,13	-0,01	24,01	1,79
17,00	10,00	159.894,29	160.008,67	57,19	-47,19	-46,17	-0,01	23,99	1,79
17,08	9,17	159.799,17	159.913,46	57,14	-47,98	-47,58	-0,01	23,98	1,79
17,17	8,33	159.702,49	159.816,67	57,09	-48,76	-48,37	-0,01	23,96	1,79
17,25	7,50	159.604,23	159.718,32	57,05	-49,55	-49,15	-0,01	23,95	1,79
17,33	6,67	159.504,40	159.618,39	57,00	-50,33	-49,94	-0,01	23,93	1,79
17,42	5,83	159.403,01	159.516,90	56,94	-51,11	-50,72	-0,02	23,92	1,79
17,50	5,00	159.300,06	159.413,85	56,89	-51,89	-51,50	-0,02	23,90	1,79
17,58	4,17	159.195,54	159.309,23	56,84	-52,67	-52,28	-0,02	23,89	1,78
17,67	3,33	159.089,47	159.203,04	56,79	-53,46	-53,07	-0,02	23,87	1,78
17,75	2,50	158.981,83	159.095,30	56,74	-54,24	-53,85	-0,02	23,86	1,78
17,83	1,67	158.872,63	158.986,00	56,68	-55,01	-54,62	-0,02	23,84	1,78
17,92	0,83	158.761,88	158.875,13	56,63	-55,79	-55,40	-0,02	23,82	1,78
18,00	0,00	158.649,58	158.762,72	56,57	-56,57	-56,18	-0,02	23,81	1,78

Fuente: Elaboración Propia (2016).