

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO – LA Balsa PARA EL PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025.

Presentado ante la ilustre Universidad
Central de Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil.

Por el Br. Raúl Cabrita Figuera

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO – LA Balsa PARA EL PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025.

TUTORES ACADÉMICOS:
Profesor José de Jesús Gaspar
Profesora Yuri Medina

Presentado ante la ilustre Universidad
Central de Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil.
Por el Br. Raúl Cabrita Figuera

Caracas, 2008

Acta de aprobación

El día 02 de junio de 2.008 se reunió el jurado formado por los profesores:

José De Jesús Gaspar , Yuri Medina

Mario Dubois

Jimena Arcaya

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado Titulado: "EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO – LA Balsa para el período de funcionamiento 2007 – 2025. Presentado Ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este Jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	NÚMERO	LETRAS
Br. Raúl Cabrita Figuera	20	Veinte

Recomendaciones (si las hubiera):

Firmas del Jurado:



Caracas, 02 de junio de 2008

Dedicatoria

A Dios por ser el más grande.

A mis Padres Raúl y Luz María, por su incondicional apoyo e inspiración por la Ingeniería.

A mi hermano Leonardo por su alegría y apoyo al verme trabajar en este proyecto.

A mi tía Pona, por su apoyo y bendiciones al momento de desarrollar este proyecto.

Agradecimiento.

Agradezco a Dios.

A mi padres Raúl y Luz María

A mi hermano Leonardo

A mi tía Pona

A la profesora Yuri Medina

Al profesor Gaspar

Al Ing. Jacinto Artigas

A MGR Consultores

Al Ing. Diego Ferrer

Al Ministerio del Ambiente.

Al Laboratorio Nacional de Hidráulica

Y a todas aquellas personas que permitieron el desarrollo de éste trabajo especial de grado.

GRACIAS.

CABRITA FIGUERA, RAÚL ALFONZO

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO – LA
BALSA PARA EL PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-
2025.**

**Tutor Académico: Prof. José De Jesús Gaspar, Prof. Yuri Medina. Tesis.
Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2008.**

El Embalse Pao – La Balsa, entra en funcionamiento en el año 1978. A partir de eventos que se presentan en los años 1996 y 2005, se evidencia el estado insatisfactorio del embalse, como la incapacidad del aliviadero para evacuar de forma segura los excedentes producidos por eventos hidrológicos extremos.

Conociendo esa situación, se plantea la necesidad de construir un nuevo aliviadero, cuya cota de diseño podría modificar el nivel de aguas normales del embalse permitiendo el incremento del rendimiento y el aumento del gasto aprovechable para suministro de agua potable.

La metodología, planteada inicia con la búsqueda de información referente a: la cuenca del río Pao, el proyecto del Embalse Pao – la Balsa, data hidrológica, etc.; para luego proceder a realizar movimientos del embalse, definir un nuevo nivel de aguas normales y conocer la cantidad de agua que se puede extraer del embalse en un intervalo de tiempo específico, lo cual se conoce como rendimiento.

La cuenca del río Pao con un área de 2.918 km^2 , abarca dos (2) estados: Cojedes y Carabobo. Como características importantes de la cuenca esta:

- Las precipitaciones mínimas ocurren en los primeros meses del año.
- Los escurrimientos medios mensuales mínimos ocurren en los primeros cuatros meses de año y en promedio no pasan de $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La temperatura promedio de la cuenca es $25,6^\circ\text{C}$.

- La evaporación máxima se presenta en el mes de marzo, equivalente a 271,8 mm.
- La velocidad máxima del viento es 6,5 m/s.

A partir de las características antes nombradas, se conoce de un modelo hidrológico desarrollado con el modelo matemático SWAT, el cual permitió conocer el hidrograma para un período de retorno de 1000 años. Donde se observa que el caudal pico es 2338 m³/s, acompañado de varios picos con caudales superiores a los 400 m³/s. Además, permitió obtener 10 secuencias de escurrimiento, precipitación y evaporación, conocidas como trazas, necesarias para el movimiento del embalse.

El Sistema Regional del Centro suministra agua potable a las poblaciones ubicadas en la región central del país, es decir a los estados: Aragua, Carabobo y Cojedes. El Embalse Pao – La Balsa es una de sus principales fuentes. Dicho embalse está compuesto por: una (1) presa de tierra homogénea de arcilla impermeable que tiene como cota de cresta 135,00 m.s.n.m., un (1) aliviadero tipo creager con un ancho de 15,00 m y una cota de alivio de 131,00 m.s.n.m., y una (1) obra de toma. De los componentes antes nombrado, el aliviadero presenta un estado insatisfactorio, el cual justifica el análisis de alternativas para su modificación. La modificación más optima, consiste en cambiar la geometría de la estructura de control y elevar los muros del rápido para así incrementar la capacidad de aliviadero al momento de evacuar de manera segura los excedentes producidos por eventos extremos hidrológicos.

El rendimiento del Embalse Pao – La Balsa, luego de conocer la seguridad de suministro obtenida a partir del movimiento del embalse, indica que el caudal máximo posible a extraer del Embalse Pao – La Balsa es de 9,55 m³/s, equivalente al 97,0% del caudal regulado por el embalse; y ligado a términos probabilísticos, permite una seguridad de suministro de 95,0% para el período de funcionamiento 2007-2025.

Para lograr el rendimiento antes mencionado, se recomienda fundamentalmente acondicionar las obras del embalse, como una buena política de conservación de la cuenca del Río Pao.

ÍNDICE

Lista de tablas, gráficos e imágenes.....	I
Introducción.....	IV
Capítulo I.- Fundamentos de la investigación.....	2
I. Planteamiento del problema.....	2
II. Objetivos.....	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos.....	3
III. Aportes.....	3
A. En cuanto a la Nación.....	3
B. En cuanto la Universidad Central de Venezuela.....	4
C. En lo personal.....	4
Capítulo II.- Marco teórico.....	7
IV. Marco teórico.....	7
A. Embalses.....	7
1. Clasificación.....	8
2. Ventajas y desventajas de los embalses.....	10
3. Componentes de los embalses.....	11
4. Capacidad de los embalses.....	25
5. Niveles característicos de los embalses.....	25
6. Movimiento de embalse.....	26
7. Rendimiento.....	28
Capítulo III.- Método.....	30
Capítulo IV.- Cuenca del Río Pao.....	34
V. Cuenca del río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa.....	34
A. Ubicación.....	34
1. Ubicación político-territorial.....	34
2. Ubicación geográfica.....	34
B. Características físico naturales de la cuenca.....	35
1. Clima.....	38
2. Uso de la tierra en las subcuencas.....	44

3. Suelos.....	47
C. Aspectos de interés del estudio hidrológico para el proyecto del desalojo de los excedentes de alivio en el Embalse Pao – La Balsa, año 2007.	48
Capítulo V.- Embalse Pao – La Balsa.....	52
VI. Embalse Pao - La Balsa	52
A. Sistema regional del centro.....	54
1. El Embalse Pao – Cachinche.	54
2. Embalse Guataparo y Dique Toma Río Torito.	54
3. Embalse Pao - La Balsa.	54
B. Descripción del proyecto del Embalse Pao - La Balsa	55
1. El Embalse	55
2. La presa.....	56
3. Obras de toma	57
4. Obras de de alivio	65
C. Geotecnia	71
1. Características geológicas de la región	71
D. Hechos relevantes desde la puesta en funcionamiento el Embalse Pao - La Balsa.....	72
1. Deslizamiento en el talud aguas abajo.	72
2. Períodos lluviosos.	77
E. Modificaciones propuestas para el Embalse Pao - La Balsa.....	80
1. Vertedero lateral doble.....	81
2. Vertedero en laberinto con eje recto.	82
3. Vertedero en laberinto con eje combinado.....	83
F. Inspecciones realizada al Embalse Pao - La Balsa.....	85
1. Criterios de clasificación internacional.....	86
2. Resultados de inspección visual.....	86
Capítulo VI.- Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.	93
VII. Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.	93
A. Curva de área-capacidad.	93
1. Curva de área-capacidad del año 1988.....	94
2. Curva de área-capacidad del año 2006.....	96
B. Movimiento del Embalse Pao – La Balsa.	99

1.	Trazas según estudio hidrológico para el proyecto del desalojo de los excedentes de alivio en el Embalse Pao – La Balsa, Estado Cojedes.	100
2.	Demandas según HIDROCENTRO.	100
3.	Curva de área- capacidad del Embalse Pao – La Balsa.	101
C.	Resultados del movimiento del embalse.	101
D.	Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.	111
	Capítulo VII.- Conclusiones y recomendaciones.	119
VIII.	Conclusiones.	119
A.	Embalse Pao – La Balsa.	119
1.	Presa.	119
2.	Obras de alivio.	119
3.	Obras de toma y descarga.	119
B.	Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.	119
IX.	Recomendaciones.	121
A.	Estado actual del Embalse Pao – La Balsa.	121
B.	Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.	122
	BIBLIOGRAFÍA.	125
	ANEXOS.	126

Lista de tablas, gráficos e imágenes.

Tablas

Tabla 1 Clasificación de los embalses según su tamaño.....	10
Tabla 2 Criterios de clasificación y clasificación de aliviaderos.....	23
Tabla 3 Áreas tributarias de subcuencas de la Cuenca del Río Pao.....	37
Tabla 4 Estaciones hidrométricas.....	38
Tabla 5 Incremento porcentual de áreas urbanas	44
Tabla 6 Tipo de suelos en la Cuenca de Río Pao.	47
Tabla 7 Componentes del Sistema Regional del Centro.....	54
Tabla 8 Características principales del Embalse Pao - La Balsa	70
Tabla 9 Registro de niveles del Embalse Pao – La Balsa para los años 1996 y 2005.	77
Tabla 10 Volumen de corte de las propuestas de aliviadero de vertedero en laberinto.	85
Tabla 11 Área - Capacidad del Embalse Pao - La Balsa, año 1988.....	94
Tabla 12 Área - Capacidad del Embalse Pao - La Balsa, año 2006.....	96
Tabla 13 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 7,5 m ³ /s.....	102
Tabla 14 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 8,0 m ³ /s.....	102
Tabla 15 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 9,0m ³ /s.....	103
Tabla 16 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 10,0 m ³ /s.....	103
Tabla 17 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 11,2 m ³ /s.....	104
Tabla 18 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 15,0 m ³ /s.....	104

Gráficos

Gráfico 1 Curva de descarga. Aliviadero del Embalse Pao - La Balsa.....	22
Gráfico 2 Precipitaciones promedio en período 1950-1970	39
Gráfico 3 Escurrimiento medio anual	40
Gráfico 4 Escurrimiento medios anuales	41
Gráfico 5 Temperatura promedio.....	42
Gráfico 6 Evaporación promedio	43
Gráfico 7 Velocidad promedio del viento.....	43
Gráfico 8 Hidrograma medio diario para Tr= 1000 años.....	50
Gráfico 9 Niveles del Embalse Pao - La Balsa. Años 1996 y 2005.....	78
Gráfico 10 Comparación de capacidades de descargas de los distintos vertederos existentes y el aliviadero actual del Embalse Pao - La Balsa.	85
Gráfico 11 Curva de Área-Capacidad del Embalse Pao - La Balsa. 1988.....	95
Gráfico 12 Curva de Área-Capacidad del Embalse Pao - La Balsa. 2006.....	98
Gráfico 13 Seguridad de suministro vs nivel de agua normales.	106
Gráfico 14 Curva de seguridad de suministro.....	109
Gráfico 15 Curva de Rendimiento del Embalse Pao - La Balsa.	114

Imágenes

Imagen1 Torre – Toma del Embalse Camatagua.....	15
Imagen2 Obra de toma del Embalse La Honda.	15
Imagen3 Aliviadero actual del Embalse Pao - La Balsa. Vista frontal.....	21
Imagen4 Aliviadero tipo laberinto. Modelo 3D.....	25
Imagen 5 Ubicación geográfico.	35
Imagen 6 Sub-cuencas de la Cuenca del Río Pao y ubicación de estaciones hidrométricas.....	36
Imagen 7 Imagen Satelital de las subcuencas 7, 8, 9, 10 y 15.	45
Imagen 8 Imagen satelital de la área de inundación del Embalse Pao - La Balsa	46
Imagen 9 Área inunda cercana a la estación de bombeo de aguas negras del Municipio Pao.	46
Imagen 10 Imagen satelital de zonas aguas abajo del Embalse Pao - La Balsa.....	47
Imagen11 Plano de planta del Embalse Pao - La Balsa.....	53
Imagen12 Modelo 3D del Embalse Pao - La Balsa	53
Imagen13 Sección transversal típica de la presa.....	57
Imagen14 Toma del Embalse Pao - La Balsa. Vista frontal	60
Imagen15 Toma del Embalse Pao - La Balsa. Vista longitudinal.....	61
Imagen 16 Sala de válvulas.....	62
Imagen17 Válvula Howell - Bunger (vista lateral)	63
Imagen18 Válvula Howell - Bunger (vista frontal)	63
Imagen19 Obras de toma del Embalse Pao - La Balsa	65
Imagen20 Vista hacia aguas abajo al canal de aproximación	66
Imagen21 Cimacio del aliviadero (vista desde aguas arriba hacia aguas abajo)	67
Imagen22 Cimacio de aliviadero (vista desde aguas abajo hacia aguas arriba)	67
Imagen23 Rápido del aliviadero sin descarga.....	68
Imagen24 Rápido del Aliviadero descargando	68
Imagen25 Pozo dissipador del aliviadero	68
Imagen26 Canal de descarga hacia el Río Pao.....	69
Imagen27 Perfil y secciones transversales del aliviadero	69
Imagen28 Mapa de suelos de la región cercana al Embalse Pao - la Balsa.	72
Imagen29 Plano de planta de Embalse Pao - La Balsa. (Zona de deslizamiento).	73
Imagen 30 Sección transversal en zona de deslizamineto.	73
Imagen 31 Carretera de acceso a Embalse Pao - La Balsa y estación de bombeo Pao 1.....	75
Imagen 32 Estación de Bombeo Pao 1 (esquina superior izquierda). Sala de Válvulas de Embalse Pao - La Balsa (esquina inferior derecha).	76
Imagen33 Desastre en la Presa El Guapo. Diciembre de 1999.....	79
Imagen34 Manta de protección del talud aguas abajo de la Presa Pao - La Balsa. ...	79
Imagen35 Planta y detalle del vertedero lateral doble.	82
Imagen36 Geometría en planta del vertedero en laberinto.	83
Imagen37 Geometría en planta del vertedero en laberinto con ejes combinado.....	84

Imagen38 Movimiento del Embalse	99
---------------------------------------	----

Introducción.

El presente es un Trabajo Especial De Grado, el cual se desarrolla para investigar el rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

En tal sentido, está compuesto por siete (7) capítulos que se refieren a: el fundamento de la investigación, el marco teórico, la metodología utilizada, la cuenca del Río Pao, el Embalse Pao – La Balsa, el rendimiento del embalse Pao – La Balsa, y por último las conclusiones y recomendaciones.

En el *capítulo I.- Fundamentos de la investigación*, se plantea la situación que motiva el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado. Se plantea el objetivo general, conjuntamente con los objetivos específicos a cumplir. Además, se resume los aportes esperados al momento de la culminación del Trabajo Especial de Grado.

En el *capítulo II.- Marco teórico*, se establecen los conceptos utilizados durante el desarrollo del trabajo especial de grado. De esta manera el lector y el autor hablarán el mismo idioma desde el principio.

En el *capítulo III.- Método*, se describen a las distintas etapas con sus respectivas actividades realizadas durante el desarrollo de la investigación, para así cumplir con los objetivos planteados del Trabajo Especial de Grado.

El *capítulo IV.- Cuenca del Río Pao*, se desarrolla porque el Embalse Pao – La Balsa es una de las obras hidráulicas de mayor importancia para el aprovechamiento de recursos hídricos contenido dentro de la cuenca. Se comentan aspectos como: la ubicación, el área que abarca la cuenca, el clima, los tipos de suelo, la población, etc. Por otro lado, también se exponen los aspectos importantes del estudio hidrológico más actualizado que existe para la fecha sobre la cuenca del Río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa realizado por el Laboratorio Nacional de Hidráulica, donde se comentará: la metodología usada para el desarrollo del estudio hidrológico, y los resultados obtenidos.

El *capítulo V.- Embalse Pao – La Balsa*, inicia describiendo el Sistema Regional de Centro, donde el embalse es uno de sus principales componentes;

conjuntamente se describe cada obra hidráulica del embalse con la finalidad de dar a conocer al lector el propósito del embalse, caudal regulado, características de las obras, etc. Por otro lado, se comenta los hechos relevantes ocurridos durante los 30 años de historia del embalse desde su puesta en funcionamiento, las cuales han motivado el desarrollo de investigaciones para plantear mejoras en el embalse. El capítulo finaliza con los resultados de un conjunto de inspecciones realizado al sitio del embalse por expertos en el tema y por el autor de este trabajo especial de grado.

El *capítulo VI.- Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa*, se refiere al objeto del trabajo especial de grado. Se establece la importancia de conocer la relación entre el rendimiento y la capacidad del embalse. Se da a conocer los datos utilizados para el desarrollo del movimiento del embalse a distintas cotas para diferentes caudales, para así presentar resultados en tablas y gráficos, los cuales son base para *Evaluar el Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el Período de Funcionamiento 2007-2025*.

Las conclusiones y recomendaciones generadas luego del desarrollo del trabajo especial de grado, se presenta en el *capítulo VII.- Conclusiones y recomendaciones*. Las conclusiones y recomendaciones se refieren al estado actual de las obras del embalse y al rendimiento del embalse.



Capítulo I: Fundamentos de la investigación.

Capítulo I.- Fundamentos de la investigación.

I. Planteamiento del problema.

En la época de lluvias del año 2005, se produjeron crecientes excepcionales en el Río Pao, que trajeron como consecuencia la sobre-elevación máxima registrada en el nivel del Embalse Pao-La Balsa desde su puesta en servicio. El proyecto de esta obra se efectuó en 1975, y en él se estableció un nivel de aguas máximas igual a la cota 132,50 m.s.n.m., valor para el que se hizo el diseño del aliviadero. Sin embargo, durante el invierno de 2005, la cota del embalse llegó a 133,27 m.s.n.m. el día 15/08/1996, es decir, sobrepasó en 77cm la cota de aguas prevista. Este escenario se repitió de manera parecida durante en el año 1996.

La situación antes expuesta representa un problema por las razones que se enumeran a continuación:

1. El diseño del aliviadero y sus condiciones actuales de mantenimiento no permiten la descarga efectiva de excesos de agua de manera controlada.
2. El posible desbordamiento de la presa de manera no controlada, implica un colapso de la estructura; trayendo como consecuencia el rompimiento de la misma la posibilidad de que se repitan situaciones como la ocurrida en la Presa El Guapo en el año de 1999, cuando la presa cedió por una creciente y trajo un desastre lamentable en zonas cercanas.
3. Un rompimiento de la Presa Pao- La Balsa tendría, entre otras las consecuencias siguientes:
 - a. Destrucción de poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa por la ola expansiva que se generaría.
 - b. Destrucción de la estación de bombas Pao I para el suministro de aguas, la cual está ubicada de manera muy cercana a la cara aguas abajo de la presa.

c. Riesgos en suministros de agua a la Zona Regional del Centro.

En tal sentido, luego de conocer la situación y los problemas que requieren de solución, se plantean las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la situación actual del Embalse Pao – La Balsa? Si se sustituye el actual aliviadero ¿Podría elevarse la cota de alivio o nivel de aguas normales del embalse? ¿Por qué modificar el nivel de aguas normales del embalse? ¿Cómo seleccionar el nivel de aguas normales? ¿Cuál será el rendimiento del Embalse Pao – La Balsa en los años 2007 al 2025, luego de las modificaciones planteadas?

II. Objetivos.

Los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

A. Objetivo general.

Evaluar el rendimiento del Embalse Pao- La Balsa para los años 2007 al 2025.

B. Objetivos específicos.

- Describir la situación actual en el Embalse Pao- La Balsa.
- Obtener el nuevo nivel de aguas normales para el Embalse Pao- La Balsa.

III. Aportes.

Los aportes esperados de este proyecto de tesis de grado se resumen a continuación:

A. En cuanto a la Nación.

El problema que se planteó es una situación que se está viviendo actualmente en el estado Cojedes, específicamente cerca de la población del Pao donde está ubicado el Embalse Pao-La Balsa. Por lo tanto, el analizar la factibilidad de una solución para la problemática, implica un aporte significativo para la población del Pao, porque soluciona problemas de inundación dentro de esa jurisdicción; para la Alcaldía del Municipio El Pao por ser garante del bienestar de la

población del Pao; para la Gobernación de Cojedes porque la situación está presente en su territorio; para el Ministerio del Ambiente, por ser garante del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y propietario del embalse; para el Laboratorio Nacional de Hidráulica, por estar encargado de la solución del problema y para HIDROCENTRO por ser el administrador del embalse y responsable del suministro de agua a la región del centro.

B. En cuanto la Universidad Central de Venezuela.

Debido a que el tema a tratar pertenece al área de la Ingeniería Hidráulica y es de carácter nacional. La Universidad Central de Venezuela está involucrada indirectamente debido a que el estudiante que está resolviendo la situación está contando principalmente con las herramientas aprendidas en la carrera. El aporte a la institución está enfocado al logro de los objetivos planteados con los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en las asignaturas: Mecánica de Fluidos, Hidráulica y Canales, todas dictadas por el departamento de Hidráulica de la escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

C. En lo personal.

La Hidráulica es la rama de la Ingeniería Civil que se busca desarrollar con este proyecto. Definitivamente, permite al estudiante analizar los comportamientos de las distintas variables que hacen presencia durante el desarrollo del evento, para así generar decisiones sustentadas por las teorías aprendidas en la Universidad, como también, tener acceso a experiencias comentadas por terceros con la finalidad de profundizar el aprendizaje. Se puede decir que el principal aporte en cuanto lo personal es que desarrolla seguridad de decisión en situaciones que requieran la aplicación de conocimientos de Hidráulica aplicada a obras civiles.



Capítulo II: Marco teórico.

Capítulo II.- Marco teórico.

IV. Marco teórico.

Para el desarrollo del presente trabajo especial de grado es importante establecer desde el principio conceptos que permitan hablar el mismo idioma entre el lector y el autor. A tales efectos, y tomando como referencias los textos: *Proyectos de Ingeniería Hidráulica* del Ing. Juan José Bolinaga, *Ingeniería de Presas* del Ing. Luis Miguel Suarez, *Curso de Diseño y Construcción de Presas de Tierra* dictado por el Ing. Diego Ferrer, *Estructuras Hidráulicas* de M.E. Guevara, y el libro de resumen extendidos del XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Se desarrollarán conceptos enfocados a las obras de embalses a lo largo de este capítulo.

A. Embalses.

Los embalses se definen como volúmenes de agua retenidos en un vaso topográfico natural o artificial gracias a la construcción de obras hidráulicas.

La creación de los embalses son justificados para una serie de propósitos, entre los cuales se pueden nombrar los siguientes:

Riego: son aquellos embalses que tienen como objetivo el incremento de la producción agropecuaria. Por ejemplo, el embalse El Diluvio, ubicado en el estado Zulia.

Usos domésticos e industriales: son aquellos embalses que tienen como objetivo el suministro de agua para el uso de las poblaciones y de las industrias. Por ejemplo, el embalse La Mariposa, ubicado en el Distrito Capital.

Generación de energía: son aquellos embalses que tienen como objetivo la generación de electricidad. Por ejemplo, el embalse Guri, ubicado en el estado Bolívar.

Control de inundaciones: son aquellos embalses que previenen los daños causados por el desbordamiento de los ríos durante la creciente, para así defender las

poblaciones, áreas cultivadas y áreas industriales. Por ejemplo, el embalse Masparro, ubicado en el estado Barinas.

Control de sedimentos: son aquellos pequeños embalses que tienen como objetivo retener sedimentos en una cuenca con el fin de controlar la entrada a otros embalses o corrientes de aguas.

Recreación: son aquellos embalses que tienen como objetivo incrementar el bienestar de la población. Por ejemplo, lagunas artificiales en el parque del este, ubicado en el Distrito Capital.

Caza y pesca: son aquellos embalses que tienen como objetivo el mejoramiento de la piscicultura para usos industriales, además del mejoramiento de la ecología vegetal y animal.

1. Clasificación.

Para fines del presente trabajo especial de grado, los embalses se clasifican de la siguiente manera:

a) Según su función.

A partir de las bibliografías consultadas se obtiene tres (3) clasificaciones según su función, las cuales son las siguientes:

- Embalses de acumulación: retienen excesos de agua en períodos de alto escurrimiento para ser usados en épocas de sequía.
- Embalses de distribución: no producen grandes almacenamientos pero facilitan regularizar el funcionamiento de sistemas de suministro de agua, plantas de tratamiento o estaciones de bombeo.
- Estanques: pequeños almacenamientos para suplir consumos locales o demandas pico.

b) Según su tamaño.

La clasificación de los embalses de acuerdo al tamaño se hace más por razones de tipo estadístico que por interés desde el punto de vista técnico. Dicho esto, en la Tabla 1 se muestra la clasificación y capacidad de los embalses.

Tabla 1 Clasificación de los embalses según su tamaño.

Embalse	Capacidad (10^6 m^3)
Embalses gigantes	Capacidad > 100,000
Embalses muy grandes	$100,000 > \text{Capacidad} > 10,000$
Embalses grandes	$10,000 > \text{Capacidad} > 1,000$
Embalses medianos	$1,000 > \text{Capacidad} > 1$
Estanques	$1 > \text{Capacidad}$

FUENTE: ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS. M.E. GUEVARA.

2. Ventajas y desventajas de los embalses.

A continuación se presentan algunas ventajas y desventajas que se originan al construir un embalse.

a) Ventajas.

- ✓ Regulación del escurrimiento superficial para el aprovechamiento en distintas épocas del año.
- ✓ Mejoramiento en el suministro de agua a núcleos urbanos en épocas de sequía.
- ✓ Aumento de las posibilidades y superficie de riegos.
- ✓ Desarrollo de la industria pesquera.
- ✓ Incremento de las posibilidades de recreación.
- ✓ Mantenimiento de reservas de agua para diferentes usos.
- ✓ Incremento de vías navegables y disminución de distancias para navegación.
- ✓ Control de crecientes de los ríos y daños causados por inundaciones.
- ✓ Mejoramiento de condiciones ambientales y paisajísticas.
- ✓ Generación de energía.

b) Desventajas.

- ✓ Pérdidas en la actividad agroindustrial por inundación de zonas con alto índice de desarrollo.
- ✓ Cambios en la ecología de la zona.

- ✓ Traslado de asentamientos humanos siempre difíciles y costosos.
- ✓ Posible incremento de la actividad sísmica, especialmente durante el llenado de embalses muy grandes.

3. Componentes de los embalses.

Desde el punto de vista técnico, los embalses están compuestos por una serie de obras hidráulicas, cada una de ellas cumplen con funciones específicas en cuanto la operación y seguridad del embalse. Estas obras hidráulicas básicamente son: presas, tomas, descargas de fondo y aliviaderos.

a) Presas.

La creación de los embalses se inicia con el represado del río. Esto se logra mediante estructuras hidráulicas que funcionan como obstáculos y se conocen como presas. Usualmente, las presas se construyen en los valles donde corren los ríos y el área ocupada por ella lleva generalmente el nombre del sitio de presa. Por ejemplo, el Embalse Pao – La Balsa, ubicado en el estado Cojedes, lleva su nombre porque está construido en el río Pao en el sitio La Balsa.

En cuanto el diseño de las obras hidráulicas conocidas como presas, estas deben estar diseñadas para soportar las fuerzas que se generan por la presión del agua, y para que impida filtraciones a lo largo de su estructura y en las superficies de contacto entre la estructura y el terreno natural adyacente.

En la práctica se han desarrollado diferentes tipos de presas, y en cada caso particular se selecciona el tipo de presa que mejor se acomode a las condiciones locales, tales como altura de la presa, acondicionamiento y facilidades de acceso de la zona, disponibilidad de material en sitio, cimentación que se requiere, costo y transporte de materiales y seguridad.

Para la finalidad del presente trabajo especial de grado, el tema de las presas se abordará hasta su clasificación. Si el lector desea ampliar su conocimiento sobre el tema, se sugiere consultar las bibliografías utilizadas para la elaboración del presente trabajo.

(1) Clasificación de las presas.

La clasificación que se propone se basa en el tipo de material predominante en la presa. Se opta por esta clasificación, ya que la mayoría de los autores la consideran que es la de mayor importancia y es el de empleo más común. Las otras clasificaciones se refieren a su finalidad principal y altura de presa.

A continuación se presenta la clasificación de presas según el tipo de material predominante.

(a) Presas de concreto.

Como reseña histórica, en muchas de las primeras presas se empleo con éxito el concreto. En la segunda parte del siglo XIX, el concreto se utilizó en la construcción de presas altas de acuerdo con los primeros criterios racionales de diseño. Teniendo en cuenta esa reseña histórica y las bibliografías consultadas, las presas de concreto se pueden clasificar en:

(b) Presas convencionales.

Las presas convencionales son aquellas construidas con concreto vibrado cuya composición, colocación y consolidación son tradicionales.

Existen varios tipos de presas convencionales, estas son:

Presas de gravedad: son aquellas presas sólidas construidas de concreto y en las cuales se resisten a las cargas actuantes principalmente por el peso propio de la estructura.

Presas de arcos: son presas de concreto que se muestran en planta o en perfil un alineamiento curvo, cóncavo hacia arriba visto desde aguas abajo. En ellas, la mayor parte de las fuerzas actuantes son transmitidas mediante el efecto del arco a los estribos de la presa, y el resto de las fuerzas actuantes las resiste el peso propio de la estructura.

Presas de contrafuerte: son presas que resisten las fuerzas actuantes mediante dos (2) elementos estructurales: un tablero inclinado, soportado por un contrafuerte que transmite las fuerzas actuantes a las fundaciones.

(c) Presas de concreto compactado (RCC).

Las presas de concreto compactado (RCC) son las construidas con un concreto que corresponde a un nuevo material, ya que su composición difiere sensiblemente a los concretos convencionales y resulta en un concreto de consistencia seca y asentamiento nulo. La técnica es distinta pues la colocación y consolidación difieren de los métodos empleados tradicionalmente, recurriéndose a medios diferentes, semejantes a los empleados en los grandes movimientos de tierra.

En Venezuela, esta técnica se emplea en la restauración de la presa El Guapo, ubicada en el estado Miranda.

(d) Presas de enrocado.

Son presas constituidas básicamente por fragmentos de rocas. El elemento impermeabilizante está conformado, generalmente, por una membrana apoyada sobre su talud aguas arriba, la cual puede estar constituida de diferentes materiales, o también, por una pantalla vertical ubicada en el centro de la presa; existen también la variante con un núcleo impermeable. Las fuerzas actuantes son soportadas por el peso propio de la estructura. Estas presas se construyen con alineamientos rectos, aunque algunas veces se introducen curvaturas para una mejor adaptación a la topografía.

(e) Presas de tierra.

Son presas en cuyas secciones predominan los siguientes materiales: arcillas, limos, arenas y gravas, colocados y compactados mediante equipos convencionales de movimiento de tierras o bien como rellenos hidráulicos. Las presas de tierra se adaptan a cualquier tipo de alineamiento. Dentro de este tipo de presas se han incluidos aquellas en cuya sección predomina zonas de enrocado compactado, pero cuyo elemento impermeabilizado está conformado por un núcleo construido a base de suelos impermeables. Esta clasificación obedece a la similitud que desde el punto de vista de diseño y comportamiento que tienen estas presas con las presas de tierras que poseen espaldones de gravas.

Debido a la gran diversidad de secciones que se pueden generar en el cuerpo de la presa de tierra o la de enrocado con núcleo, estas se pueden clasificar en:

(i) Presas homogéneas.

Son aquellas donde predomina un solo tipo de material que garantiza tanto impermeabilidad como estabilidad.

(ii) Presas zonificadas.

Constituidas por dos (2) o más materiales bien diferenciados. De ellos al menos uno tiene la función impermeabilizadora y los otros la función de estabilidad.

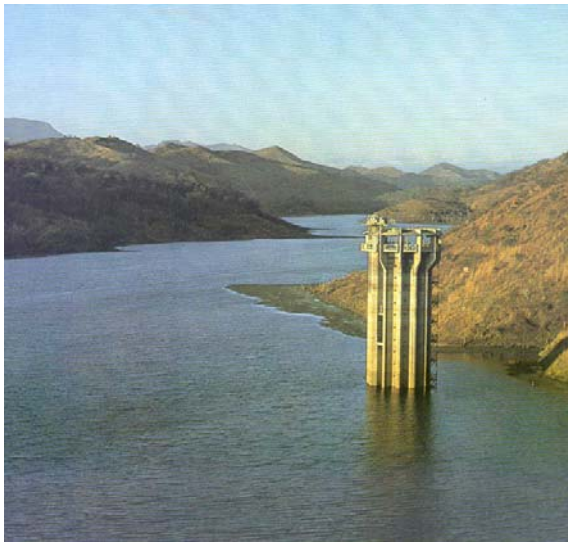
(iii) Presas mixtas.

Las presas del tipo mixto son las que tienen a lo largo de su longitud tramos con materiales de construcción diferentes, por ejemplo, la presa Guri del estado Bolívar es una presa mixta, ya que está construida con concreto convencional, enrocado y tierra. En estos casos, cada tramo se diseña de acuerdo con el tipo de material correspondiente, presentado especial cuidado con las superficies de contacto.

b) Tomas.

Otro de los componentes de los embalses son las obras tomas. Estas son estructuras hidráulicas ubicadas en la cara aguas arribas de la presa, o dentro del embalse, para dirigir el agua a un conducto confinado, túnel, canal o tubería, con el fin de satisfacer un propósito determinado. Como ejemplos, se encuentran la toma de los embalses Camatagua y La Honda. La toma del embalse Camatagua, es una obra de torre toma construida dentro del embalse, por otro lado, la toma del embalse La Honda es una toma que está incorporada al cuerpo de la presa y su función es la generación de energía. En las imágenes 1 y 2 se muestran ambas tomas.

Imagen1 Torre – Toma del Embalse Camatagua.



FUENTE: ING. DIEGO FERRER

Imagen2 Obra de toma del Embalse La Honda.



Toma del
Embalse La
Honda.

FUENTE: COMITÉ

VENEZOLANO DE GRANDES PRESAS

(1) Función.

Las obras de tomas tiene como función principal el permitir la extracción del agua embalsada para satisfacer el propósito para el cual fue construido el embalse.

(2) Clasificación según el propósito.

Debido a la función principal de la toma, estas se clasificarán de acuerdo a su propósito.

(a) Abastecimiento Urbano.

En este caso la toma capta el agua en el embalse para su conducción a una ciudad o centro poblado, donde esa agua es utilizada, generalmente con previo tratamiento o depuración, para el abastecimiento de la población.

(b) Riego.

Estas tomas sirven para abastecer un sistema de riego. La conducción del agua puede hacerse de varias maneras:

- 1.Descargando agua de la toma al canal principal que la conduce y distribuye al resto del sistema de riego.
- 2.Mediante una tubería a presión que, con o sin bombeo, conduzca el agua al sistema de riego, el cual podría ser en este caso por aspersión.

(c) Generación de energía.

La obra de toma se utiliza para conducir el agua hasta las turbinas de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía hidráulica en energía eléctrica para el consumo residencial o industrial. Lo más común es que la toma y conducción sea a presión.

(3) Clasificación según su funcionamiento.

Existe una diversidad de tipos de tomas, pero en líneas generales, se pueden clasificar según el punto de vista hidráulico y de acuerdo de la forma de captación.

(a) Según el punto de vista hidráulico.

Según el punto de vista hidráulico se clasifican en tres (3) grupos, los cuales son:

(i) Tomas a presión.

Son aquellas donde el flujo ocurre en su totalidad bajo presión.

(ii) Toma a superficie libre.

Son las aquellas que se caracterizan por una operación a canal abierto.

(iii) Toma con funcionamiento hidráulico mixto.

Son las que presentan ambos tipos de flujo, es decir, combina que el flujo ocurre en su bajo presión y una operación a canal abierto.

(b) Según la energía disponible.

Según la forma de captación se clasifica de la siguiente manera:

(i) Tomas por gravedad.

Son aquella donde el flujo ocurre debido a la gravedad; es decir, el agua captable tiene energía potencial disponible para fluir. Por esa razón, la captación ocurre a una cota mayor que la de descarga para así vencer las perdidas en función del recorrido.

(ii) Tomas por bombeo.

Son aquella que requieren de energía para extraer las aguas del embalse; es decir, el agua captable no tiene la energía necesaria para fluir hasta el sitio requerido por lo que se demanda de un sistema de bombeo para incrementar la energía al flujo.

(iii) Componentes de la toma.

Las obras de tomas, por lo general presentan los siguientes componentes, aunque no necesariamente existen todos ellos en todas las tomas.

(4) Canal de aproximación.

A veces la obra de toma no está dentro del embalse, sino algo alejada de él, por lo que es necesario construir una conexión ó canal de aproximación entre el embalse y la toma. Este canal podría estar o no revestido en función de las características hidráulicas, topográficas y de suelos de cada proyecto en particular.

(5) Obra de captación.

Es la estructura hidráulica cuyo objetivo es captar el agua del embalse. La captación puede realizarse por gravedad o por bombeo; en este último caso, la estructura será una estación que por lo general utiliza bombas verticales.

(6) Conducto de toma.

Es el conducto que lleva las aguas captadas hasta la obra de conducción del proyecto. El conducto puede funcionar todo a presión, a superficie libre o mixta.

(7) Controles de regulación.

Son los elementos destinados a controlar y regular las aguas a través de la toma, con el propósito de que los desagües del embalse vayan de acuerdo con las demandas. Los mecanismos más utilizados son las válvulas y las compuertas.

(8) Controles de contingencias.

Son aquellos destinados a permitir la inspección de las obras de tomas o de facilitar las reparaciones correspondientes.

(9) Obras de descarga y disipación

En algunos casos, la conexión final requiere de transiciones de una forma geométrica a otras y también reducir los niveles de energía, pues lo que trae el conducto de toma podría no ser aceptable por la obra de conducción.

(10) Obras complementarias.

Las obras de acceso a la cámara de maniobras u operación de los controles y la cámara en sí, son los elementos indispensables para una buena operación de la toma. Generalmente, es necesario efectuar obras de protección de taludes, accesos a la toma, etc.

c) Obras de desvío.

Son las primeras que se construyen y son, como su nombre lo indica, las que se utilizan para desviar al río y permitir efectuar la excavación de las fundaciones y posteriormente, la construcción del terraplén y del resto de las obras, en seco, sin que se produzcan daños. Para la construcción de la obra de desvío es necesario hacer un estudio hidrológico, a fin de determinar el régimen de escurrimiento del río y

seleccionar el gasto a desviar y de esta forma, poder hacer el dimensionamiento de las obras a construir.

La manera en cómo se desviará el río depende de los siguientes factores:

- Magnitud y frecuencia de la creciente a desviar.
- Ancho del valle donde estará ubicada la presa.
- Características topográficas.
- Características de los materiales de fundación.

d) Descargas de fondo.

La descarga de fondo es otro componente de las obras de embalse y son básicamente aperturas o conductos más bajos, que atraviesan bien sea a través o por los lados de la presa, permitiendo así el desagüe del embalse.

(1) Función.

Al contrario a las obras de toma, las obras de descargas tienen como función principal el permitir el desagüe del agua embalsada.

(2) Clasificación según su función.

Debido a la función principal de la descarga, estas a continuación se clasificarán de acuerdo a su propósito.

(a) Mantenimiento de una corriente permanente en el río o caudal ecológico.

Las obras de descargas se utilizan algunas veces para mantener un cierto caudal aguas abajo de la presa para así lograr los siguientes objetivos:

1. Mantener el sistema ecológico a lo largo del río aguas debajo de la presa.
2. Controlar la contaminación, principalmente cuando aguas abajo del embalse existen zonas pobladas que descargan sus aguas servidas en el río. En estos casos se trata de mantener el caudal mínimo sanitario o de dilución de los afluentes de las zonas pobladas.

3. Control de la intrusión de la salina, cuando la presa está ubicada cerca de la desembocadura del río al mar.

(b) Control de crecidas.

En estos casos se procura que el embalse permanezcan vacíos o con un nivel bajo durante la mayor parte del año, utilizándose para almacenar temporalmente los volúmenes de aguas que aportan las crecidas en las épocas de lluvias. Esos volúmenes son descargados al río de manera controlada a través de las obras de descargas y del aliviadero dependiendo del caso.

(c) Vaciados de embalse.

Por diversas razones, tales como: necesidad de reparaciones, emergencias causadas por la falla parcial de la presa, filtraciones, etc., puede haber la necesidad de vaciar el embalse, para ello siempre hay que contar con obras de descarga.

(d) Extracción de sedimentos.

En ciertos casos las obras de descargas pueden cumplir con una función de prolongación de vida útil del embalse, ya que la operación adecuada de la descarga de fondo permite la evacuación de sedimentos que de otra forma se quedarían en el embalse.

e) Aliviaderos.

(1) Función.

Son estructuras hidráulicas que tienen como función evacuar de manera controlada los excesos de agua no regulables de los embalses, de forma tal que:

1. Se garantice la integridad física de la presa y de las obras de embalse conexas.
2. Se garantice que no causen daños inaceptables aguas abajo.

A continuación se muestra la Imagen 3 donde se observa la descarga de un aliviadero.

Imagen3 Aliviadero actual del Embalse Pao - La Balsa. Vista frontal



FUENTE: RAÚL CABRITA

FIGUERA.

(2) Capacidad del aliviadero.

La capacidad del aliviadero de un embalse debe ser igual o mayor que el gasto de diseño, entendiendo este último como el caudal máximo de salida. El caudal de diseño provendrá de la amortiguación que sufran las crecidas del proyecto que se seleccione a través de su tránsito en el embalse. Por lo tanto, la crecida citada es el dato fundamental para el proyecto de un aliviadero y ésta es obtenida a partir de un estudio hidrológico.

(3) Curva de descarga.

La descarga de un aliviadero está muy relacionada con su mantenimiento y condiciones estructurales, pero en general ellos se rigen por la ecuación:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$

Donde:

Q: caudal de descarga, medido en m³/s.

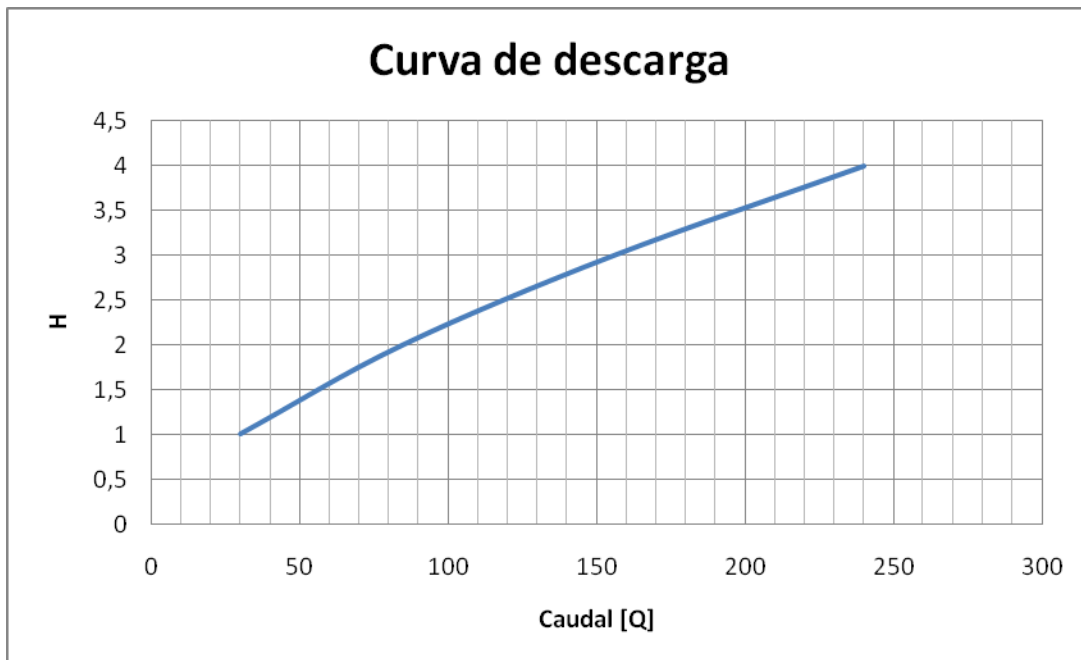
C: coeficiente de descarga.

L: longitud efectiva de cresta de aliviadero.

H: altura de aguas por encima de crestas de aliviadero.

Esta ecuación relaciona directamente la geometría de un aliviadero mediante la longitud efectiva de cresta (L), lo cual permite una variedad de tipos de aliviaderos, por ej.: aliviaderos de laberinto.

Gráfico 1 Curva de descarga. Aliviadero del Embalse Pao - La Balsa.



En cuanto al coeficiente de descarga, éste se determina experimentalmente pero hay investigaciones que muestran coeficientes de descargas bastante confiables.

Para la finalidad del presente trabajo especial de grado, el tema de aliviaderos se abordará hasta sus componentes y su clasificación.

(4) Componentes de los aliviaderos.

Debido a la variedad de aliviaderos que existen en la actualidad, por la diversidad de geometrías que desarrollan los distintos proyectistas, los componentes de un aliviadero van de acuerdo a la filosofía del diseñador, aunque básicamente se pueden decir que son:

(a) Canal de aproximación.

Son necesarios para que las aguas de exceso alcancen la estructura de control del aliviadero. Generalmente, son muy utilizados en presas de tierra.

(b) Estructura de control.

Son necesarias para controlar el agua, es decir, establecer la forma de la curva de descarga y el nivel de alivio. Dichas estructuras de control pueden ser libres ó reguladas mediante compuertas.

(c) Estructura de conducción.

Es el componente que se encarga de conducir el agua una vez que pasa la estructura de control hacia el cauce natural del río ó quebrada que recibirá las aguas aliviadas. Esta conducción puede ser mediante conductos cerrados, canales con poca pendiente, ó con canales con gran pendiente conocidos como rápidos.

(d) Estructura de disipación.

Las aguas una vez que finalizan su viaje por la estructura de conducción, generalmente, poseen una alta energía generada por la caída que sufren al pasar de un nivel de alivio a uno de descarga. Por esa razón, son necesarias las estructuras de disipación, para reducir el nivel de energía que lleva el agua al momento de la descarga y así evitar socavación en el cauce natural del río o quebrada que recibirá las aguas aliviadas.

(e) Canal de descarga.

Existen ocasiones donde la descarga se realiza lejos del río o quebrada donde llegarán las aguas aliviadas, por esta razón, es necesario el uso de los canales de descargas, que son la conexión entre la estructura disipadora y el río o quebrada que recibirá las aguas aliviadas.

(5) Clasificación de los aliviaderos.

Los aliviaderos pueden ser clasificados según varios criterios, estos son resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2 Criterios de clasificación y clasificación de aliviaderos.

Criterio de clasificación	Clasificación
Tipo de flujo.	• A superficie libre. • A presión.

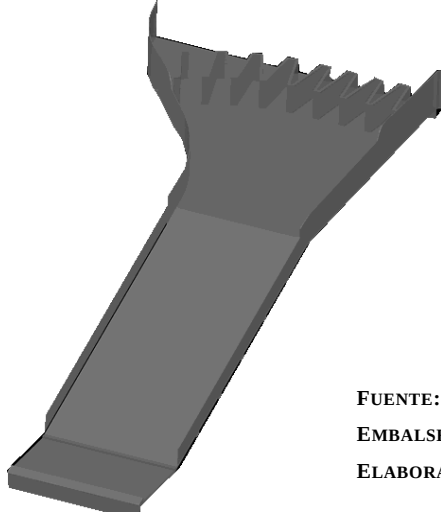
Ubicación del aliviadero.	• Independientes • Integrados
Regulación de los gastos.	• Libres. • Regulados con mecanismos de control (compuertas).
Función primordial.	• Operación normal. • Aliviaderos de emergencias.
Tipos de estructuras de conducción.	• Canales abiertos. • Conductos cerrados.
Tipos de estructura de control	• Tipo lámina de vertiente. • Tipo caída libre. • Tipo abanico. • Tipo canal lateral. • Tipo embudo o vertical. • Tipo sifón. • Tipo alcantarilla. • Tipo rápido dissipador. • Tipo orificio. • Tipo laberinto. • Etc.

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA.

Es importante hacerle conocer al lector que la clasificación más utilizada en la mayoría de las bibliografías es la que se refiere al tipo de estructura de control, y a

su vez es la más amplia ya que la única limitante es la imaginación del diseñador. Como ejemplo se presenta en la Imagen 4 el aliviadero tipo laberinto.

Imagen4 Aliviadero tipo laberinto. Modelo 3D



FUENTE: ING. JOSÉ DE JESÚS GASPAS. PROYECTO DE ALIVIADERO EN EL EMBALSE PAO – LA Balsa
ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA.

4. Capacidad de los embalses.

Lo más importante de un embalse es su capacidad de almacenamiento, que se representa por medio de las curvas características, las cuales son dos:

1. Curva área-elevación: se construye a partir de información topográfica planimetrando el área comprendida entre cada curva de nivel del vaso topográfico. Indica la superficie inundada correspondiente a cada elevación.
2. Curva capacidad-elevación: se obtiene mediante la integración de la curva área-elevación. Indica el volumen almacenado correspondiente a cada elevación.

5. Niveles característicos de los embalses.

Cada embalse presenta unos niveles característicos, los cuales son:

a) Nivel muerto (NME).

Es el nivel mínimo de agua en el embalse. Delimita superiormente el volumen muerto del embalse, el cual debe exceder en capacidad al volumen de sedimentos calculado durante la vida útil, con el fin de que el embalse los pueda

contener. Su determinación es muy compleja, sobre todo si el embalse es de propósito múltiple (caso en que debe tenerse en cuenta la carga de agua sobre las turbinas, condiciones de navegación aguas arribas, altura de comando sobre las tierras de riego, etc.).

b) Nivel mínimo de operación del embalse (NMOE).

Delimita superiormente el volumen generado por la altura mínima de agua necesaria para el correcto funcionamiento de toma de agua la que se sitúa por encima de *NME*.

c) Nivel aguas normales del embalse (NNE).

Delimita superiormente al volumen útil del embalse, que es el que se aprovecha y gasta en función de diferentes propósitos: energía, riego, suministro de agua, etc. Para su ubicación se tienen en cuenta los siguientes aspectos: aportes de la cuenca, demanda de agua, pérdidas por infiltración y evaporación.

d) Nivel de aguas máximas del embalse (NMAE).

Se presenta temporalmente durante la creciente de los ríos dando lugar al volumen máximo del embalse, el cual puede ser usado en algunos casos, pero por lo general es evacuado rápidamente por medio del aliviadero.

En condiciones normales ocurre oscilación del nivel del agua entre el *NNE* y el *NMOE*.

Volumen total del embalse = volumen muerto + volumen de operación + volumen útil + volumen forzado.

6. Movimiento de embalse.

Para determinar la capacidad normal de operación de un embalse, existen diversas técnicas sencillas hasta complejos modelos matemáticos. Los más empleados por los distintos proyectistas son los movimientos secuenciales determinísticos y movimientos secuenciales estocásticos. Básicamente, se diferencian en que el primero no considera el cálculo probabilístico y el otro sí. A continuación se describen cada uno de ellos.

a) Movimiento secuencial determinístico.

Este es el método tradicional para realizar los movimientos de embalses ya que se utiliza la llamada curva de masa desarrollada por Rippl en 1983. Esta curva conocida también como curva de gastos o volúmenes acumulados, consiste en la representación gráfica de la sumatoria de las disponibilidades en función del tiempo. Normalmente, la unidad de tiempo seleccionada es el mes y, en consecuencia, deben utilizarse como disponibilidades los volúmenes escurridos mensuales.

Este es un método que cumplió una función durante muchos años, pero puede ocasionar muchos errores apreciables y consumir mucho tiempo de dedicación, aunque, puede ser aplicado a:

1. Estimaciones preliminares.
2. Estimaciones que pueden ser datos de arranque de métodos más elaborados.
3. Cálculo de capacidades para control de eventos aislados o en conducciones y distribuciones, siempre que los aportes a estas últimas no tengan un componente aleatorio apreciable.

b) Movimiento secuencial estocástico.

Esta es una técnica que realiza los movimientos de embalses usando un conjunto de secuencias de eventos de escurrimientos, evaporación y precipitaciones conocidas como trazas, obtenidas a partir de un modelo hidrológico. Este método es más preciso que el determinístico, ya que considera todas las extracciones.

Existen diversas formas de desarrollar el movimiento secuencial estocástico, algunas se presentan a continuación.

1. Se fija una demanda y una capacidad normal; a continuación se hace un movimiento de embalse para cada traza y se contabiliza aquellas donde la capacidad no es suficiente porque el embalse se seca.
2. Una variante de lo anterior es contabilizar el número de años totales disponibles y realizar el movimiento de embalse, para luego contabilizar el número de años donde hay fallas.

3. Fijando una capacidad normal y luego haciendo movimientos de embalses, para cada traza y para distintas demandas, hasta encontrar la demanda que produce falla.

Ambas técnicas emplean la ecuación general de los movimientos de embalses, la cual es la siguiente:

$$VF = V_0 + AP - EX$$

Donde:

VF: Volumen final almacenado luego de un período de tiempo [m³].

AP: Aportes que recibe el embalse, los cuales pueden provenir de los ríos que llegan al embalse, trasvases, etc., [m³].

EX: Es donde se considera las extracciones que se le hace al embalse a partir de la demanda que hay que surtir; además, de la evaporación e infiltraciones que se producen en el embalse [m³].

7. Rendimiento.

La cantidad de agua que puede proporcionar el embalse en un intervalo específico de tiempo, se conoce como rendimiento. A su vez, el rendimiento seguro o firme, es la cantidad máxima de agua que puede garantizarse durante un período crítico de sequía, y el rendimiento secundario es el agua disponible en exceso del rendimiento seguro durante períodos de escurrimiento altos.



Capítulo III: Método.

Capítulo III.- Método.

El objeto del presente trabajo de grado es ***Evaluar el rendimiento del Embalse Pao- La Balsa para el periodo de funcionamiento 2007 - 2025***. A continuación se describe la metodología a utilizada:

1. Describir situación actual en el Embalse Pao- La Balsa.

Para ***Evaluar el rendimiento del Embalse Pao- La Balsa para el periodo de funcionamiento 2007 - 2025***, se debe entender la situación actual del Embalse Pao – La Balsa. Esto se hizo con siguientes actividades:

- a. Revisión del proyecto original del Embalse Pao - La Balsa en la planoteca del Ministerio del Ambiente.
- b. Inspección visual en el sitio del embalse, ubicado en el Estado Cojedes cerca de la población el Pao, aproximadamente a hora y media de la ciudad de San Carlos, capital del Edo. Cojedes.
- c. Elaboración de un registro fotográfico de lo observado en la visita de inspección.

La intención de las actividades antes nombradas es la de observar el estado actual de los componentes del embalse, los cuales son: Presa, obras de descarga y obras de toma.

2. Ubicar estudios de hidrología actualizados para el Embalse Pao - La Balsa.

Para buscar los estudios de hidrología actualizados para el Embalse Pao - La Balsa, las actividades realizadas fueron las siguientes:

- a. Ir al Ministerio del Ambiente, específicamente a la Dirección de General de Cuencas donde se ubica la división de hidrología.
- b. Ir al Biblioteca del Ministerio del Ambiente, ubicada en el piso 13 para revisar informes de estudios hidrológicos realizados.

- c. Ir al Laboratorio Nacional de Hidráulica, ubicado en el Distrito Capital para localizar estudios hidrológicos realizados.

La intención de las actividades antes nombradas era la de ubicar la información referida a estudios hidrológicos, específicamente las denominadas trazas de eventos hidrológicos, las cuales fueron necesarias para movimientos del embalse.

3. Ubicar estudios de demandas de agua potable actualizados para zona Regional del Centro.

Para buscar los estudios de demandas de agua potable actualizados para la zona regional del centro, las actividades a realizadas fueron las siguientes:

- a. Ir al Ministerio del Ambiente, específicamente a la Dirección de General de Cuencas donde se ubica la división de hidrología.
- b. Ir al Biblioteca del Ministerio del Ambiente, ubicada en el piso 13 para revisar informes de estudios hidrológicos realizados.
- c. Ir a la oficina principal de la Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), ubicada en la ciudad de Valencia.

La intención de las actividades antes nombradas era la de ubicar la información referida a las demandas de agua en la zona regional del centro, la cual fue necesaria para conocer la extracción que se la hace al Embalse Pao – La Balsa y así realizar movimientos de embalse.

4. Realizar movimiento del embalse para el período de funcionamiento 2007 – 2025.

A partir de un movimiento de embalse secuencial estocástico se observa el comportamiento del embalse. Con esta información se obtiene el beneficio al aumentar el nivel de aguas normales y esto permite observar hasta que nivel el incremento del beneficio es representativo.

5. Evaluar resultados obtenidos

Los resultados serán presentados en Tablas y Gráficos de rendimiento. Para así generar análisis y conclusiones de una manera sencilla debido a la cantidad de resultados que se manejaran.



Capítulo IV: Cuenca del Río Pao.

Capítulo IV.- Cuenca del Río Pao.

V. Cuenca del río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa.

Este capítulo se refiere a la cuenca del río Pao hasta el sitio La Balsa, donde el río Pao atraviesa la barrera montañosa conocida con el nombre de las Galeras; además, están ubicadas las obras del Embalse Pao – La Balsa, objeto a la evaluación del rendimiento para el período de funcionamiento 2007 - 2025.

Ésta es una cuenca de gran importancia para la zona central de Venezuela, debido a los aportes del río Pao a los embalse Pao – Cachince y Pao – La Balsa, ya que estos son aprovechados para el abastecimiento y riego de las tierras aptas para este fin.

La hoya tributaria de la cuenca del río Pao hasta el sitio de presa del Embalse Pao – La Balsa tiene un área de 2918 km², de los cuales 1440 km² están regulados aguas arriba por las obras del Embalse Pao – Cachinche, construido sobre el mismo río Pao en el sitio conocido con el nombre de Cachinche.

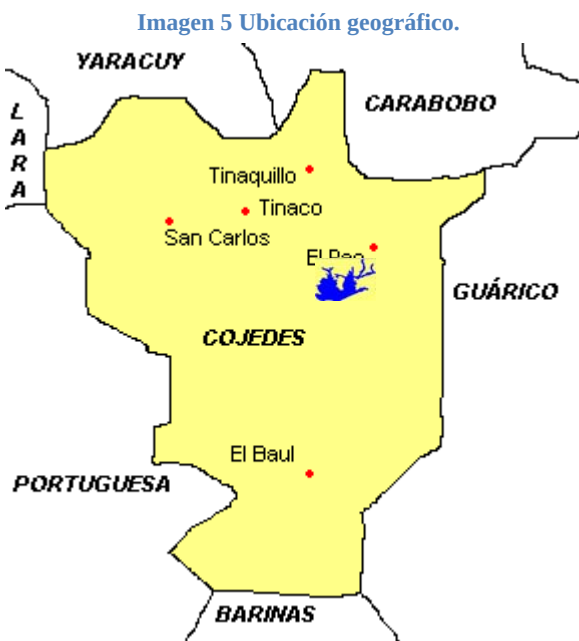
A. Ubicación.

1. Ubicación político-territorial.

El área drenada por el río Pao y sus afluentes hasta el sitio de presa del Embalse Pao – La Balsa ocupa 2918 km², de los cuales 1440 km² están regulados aguas arriba por las obras del Embalse Pao – Cachinche, como se mencionó anteriormente. De acuerdo a la división político-territorial, la cuenca del río Pao hasta el sitio de presa del Embalse Pao – La Balsa abarca aproximadamente un 10% de la superficie del Estado Cojedes y un 31% del Estado Carabobo.

2. Ubicación geográfica.

La cuenca del río Pao está ubicada en la región central de Venezuela, nace fundamentalmente al sur del Estado Carabobo para así verter sus aguas al norte del Estado Cojedes.



Los límites geográficos son:

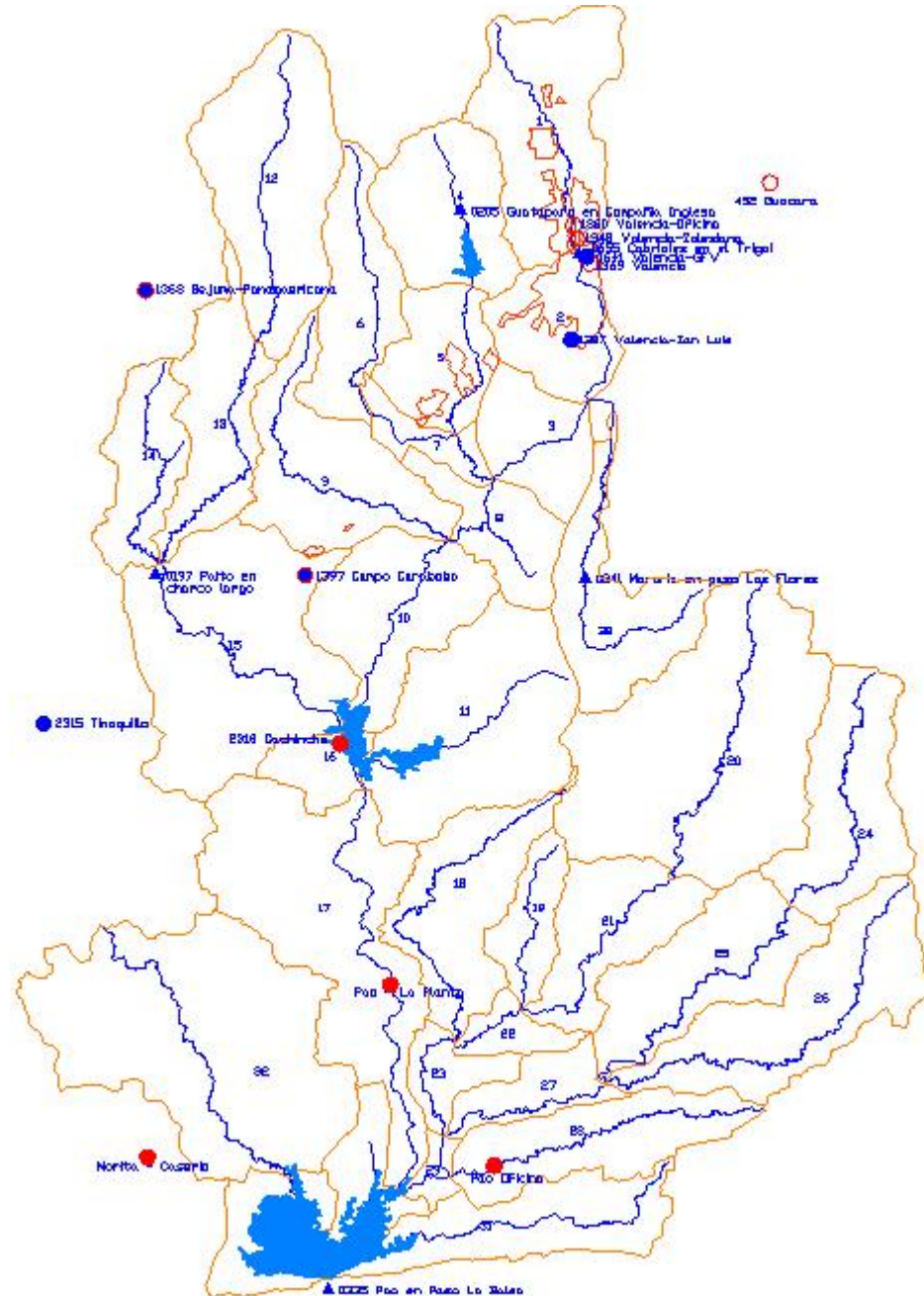
- Al norte: El Lago de Valencia y la ciudad de Valencia a una distancia de 62,0 km desde el pueblo El Pao.
- Al Este: La ciudad de San Carlos a una distancia de 48,56 km
- Al Sur: El poblado El Baúl a una distancia de 69.42 km desde la Población El Pao.
- Al Oeste: Con el Poblado de Calabozo a una distancia de 108.87 km desde la Población El Pao.

B. Características físico naturales de la cuenca.

Para fines descriptivos se divide en treinta y tres (33) subcuencas la cuenca del río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa para así considerar los diversos aspectos físico-naturales de la cuenca. Es de notar que las subcuencas 1 y 2 corresponden al río Cabriales el cual fue restituido a la cuenca del Pao, aunque el tipo de obra construida está conformado por un dique tipo fusible que en teoría dejaría

pasar las crecientes al Lago de Valencia. En la Imagen 6 se observa la distribución de las subcuencas y en la Tabla 3 el área de cada una.

Imagen 6 Sub-cuencas de la Cuenca del Río Pao y ubicación de estaciones hidrométricas.



Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

Tabla 3 Áreas tributarias de subcuencas de la Cuenca del Río Pao.

Subcuenca	Área (km ²)	% Área
1	119,73	4,10
2	62,70	2,15
3	53,42	1,83
4	82,13	2,81
5	59,87	1,95
6	72,29	2,48
7	22,55	0,77
8	49,13	1,68
9	103,41	3,54
10	94,17	3,23
11	152,58	5,23
12	135,95	4,66
13	76,93	2,64
14	56,35	1,93
15	190,56	6,53
16	29,84	0,92
17	191,86	6,57
18	93,47	3,20
19	34,85	1,19
20	241,53	8,27
21	73,46	2,52
22	20,09	0,69
23	26,97	0,92
24	95,50	3,27
25	98,14	3,36
26	125,20	4,29
27	34,93	1,20
28	84,90	2,91
29	10,69	0,37
30	42,02	1,44
31	85,90	2,04
32	249,18	8,54

33	54,53	1,87
Área TOTAL (km²)	2.918,83	100,00

Las características físico-naturales de la cuenca que se consideraron se enumeran a continuación:

1. Clima.

La información climática es obtenida a partir de estaciones hidrométricas establecidas dentro y cerca de la cuenca del río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa. Dichas estaciones se presentan en la Tabla 4 y las ubicaciones en la Imagen 6.

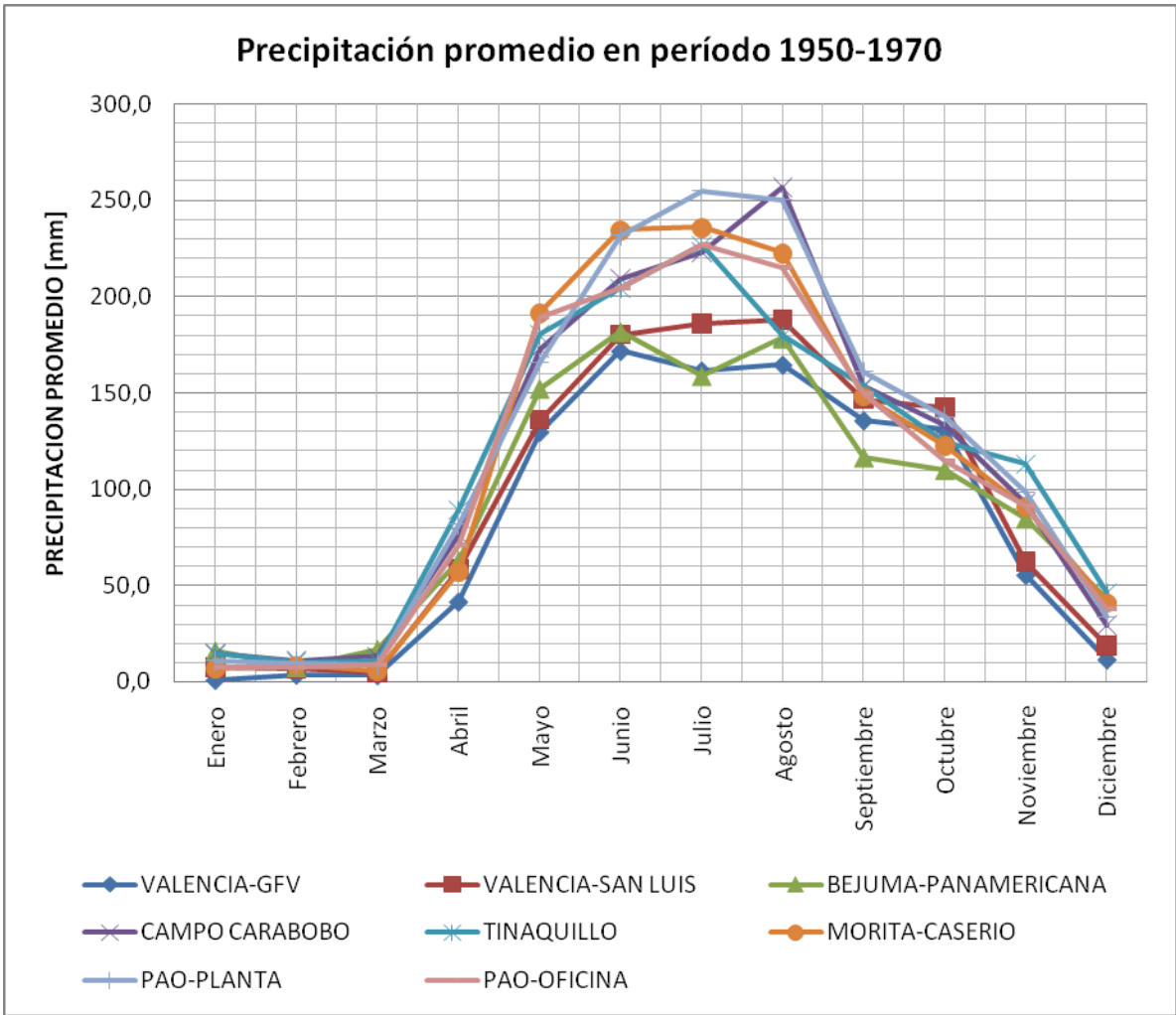
Tabla 4 Estaciones hidrométricas

Estación	Serial	Tipo	Período
Valencia – GFV	0461	PR	1950-2004
Valencia– Salesianas	1348	C1	1950-1980
Valencia – Oficina	1360	PR	1968-1983
Valencia	1369	PR	1950-1975
Valencia – San Luis	1387	PR	1950-2004
Bejuma – Panamericana	1368	PR	1961-2004
Campo Carabobo	1397	PR	1951-2004
Tinaquillo	2315	PR	1962-1984
Tinaquillo	2316	PR	1950-2004
Cachinche	2319	PR	1962-1973
Cachince	2318	C1	1962-1973
San Carlos – Unellez	2311	C1	1981-2003
Morita – Caserío	2348	PR	-----
Pao – La Planta	2338	PR	1950-2003

Pao - Oficina	2349	PR	1956-2003
---------------	------	----	-----------

A partir de la información pluviométrica diaria registrada por las estaciones antes mencionadas desde los años 1950 aproximadamente, se observa que los promedios mensuales de precipitación mínima ocurren en los primeros meses del año y los máximos en los meses de julio y agosto. Esto se muestra en la Gráfica 2.

Gráfico 2 Precipitaciones promedio en período 1950-1970



En lo que se refiere a los escurrimientos medios anuales y mensuales. Se observa una gran variabilidad en los escurrimientos medios anuales (ver Gráfico 3). En los escurrimientos medios mensuales, los gastos mínimos se producen en los

primeros meses del año, con valores que en promedio no alcanzan los $5\text{m}^3/\text{s}$. (Ver Gráfico 4)

Gráfico 3 Esgurrimiento medio anual

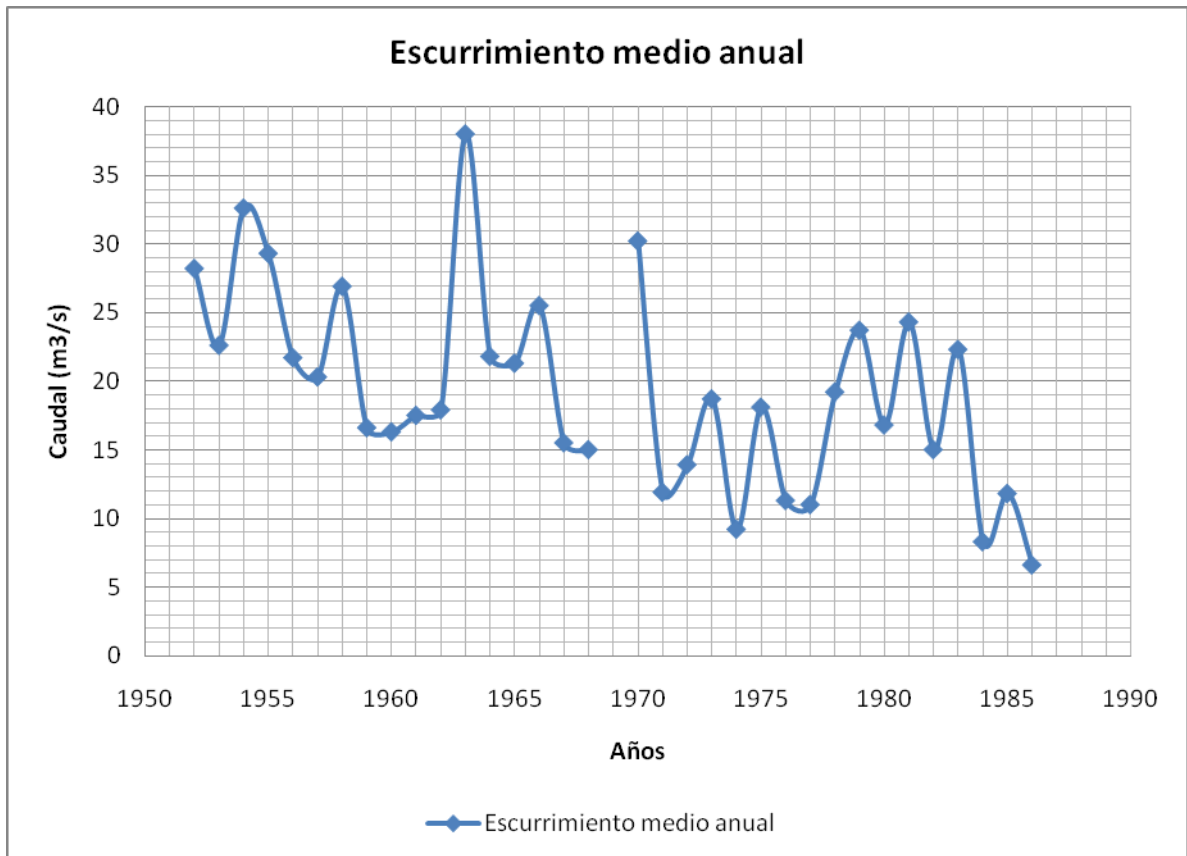
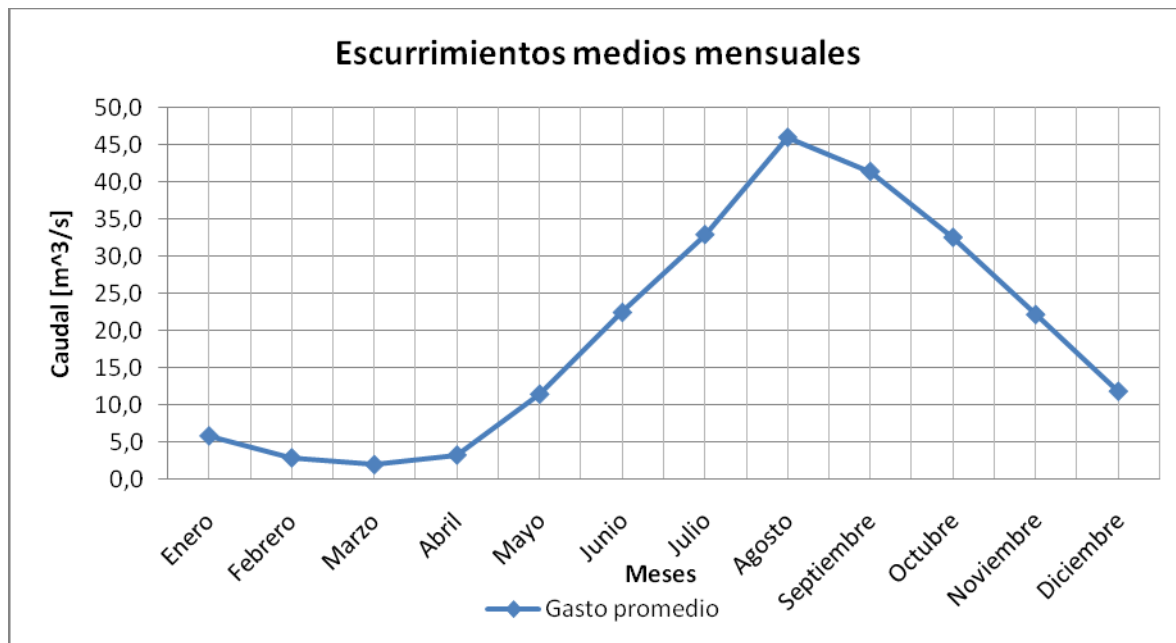
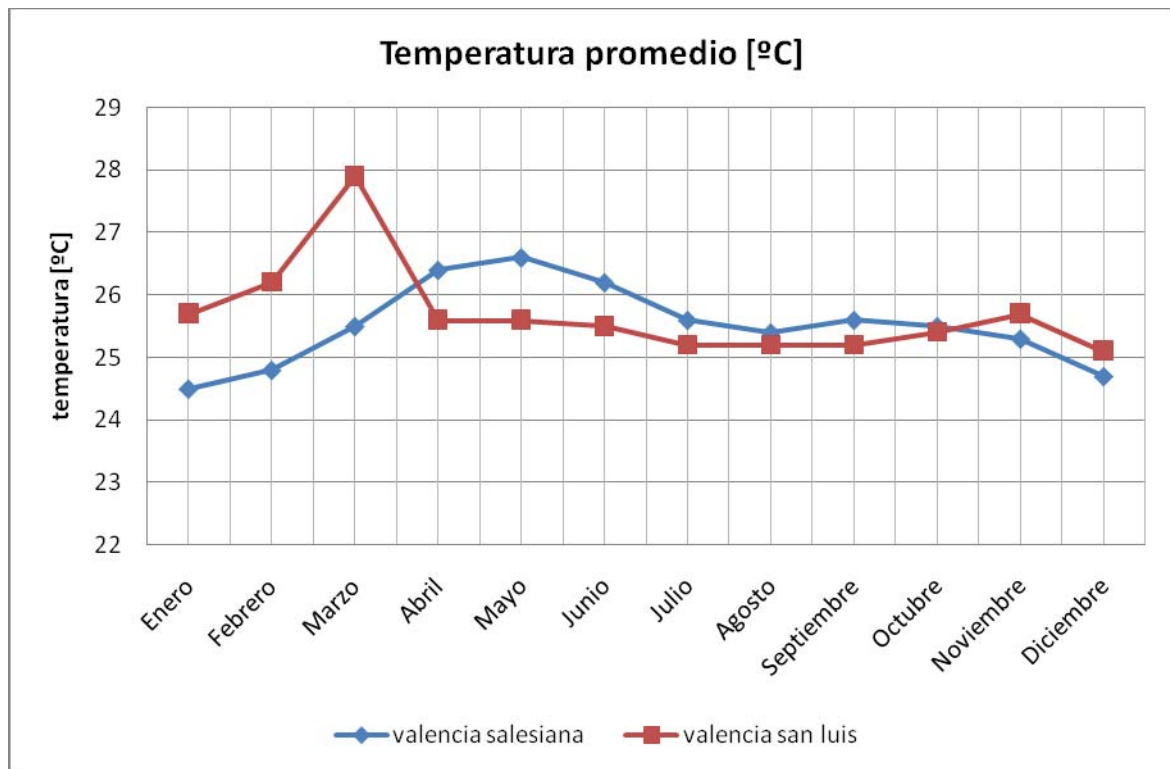


Gráfico 4 Esgurrimiento medios anuales



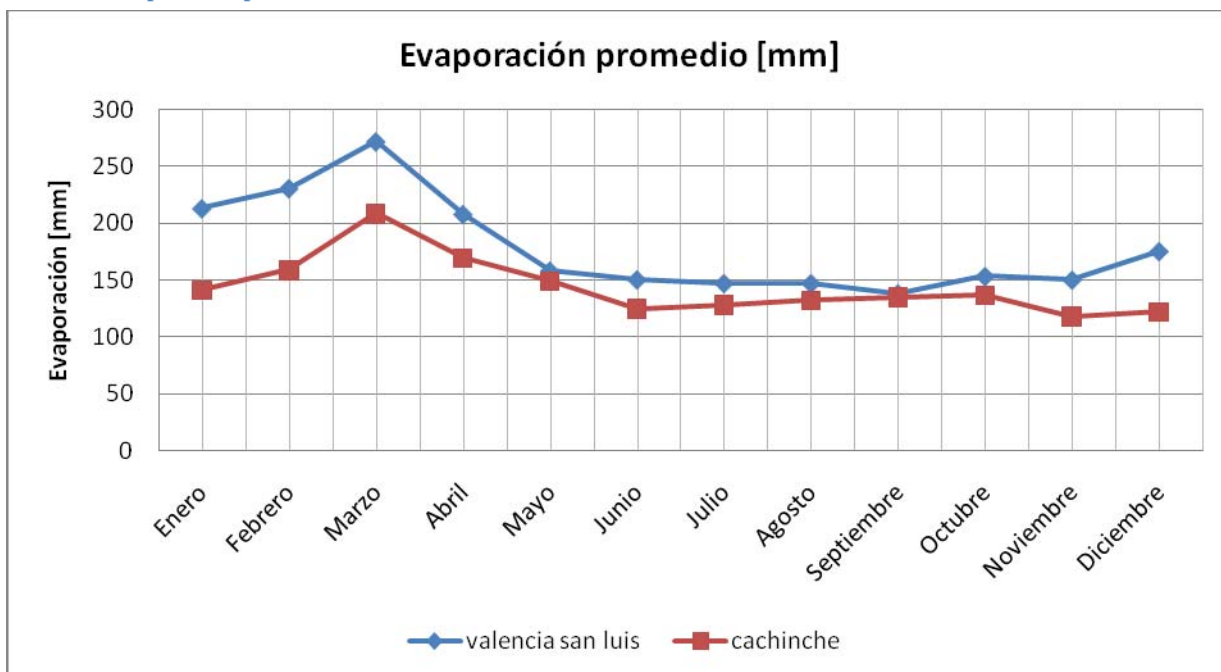
En lo que se refiere a temperaturas medias, se presentan las más bajas en los meses diciembre y enero, a medida que avanza el año en el mes de febrero aumenta la temperatura hasta el mes de mayo donde se observa el máximo para que luego en julio empieza a bajar. La temperatura promedio es 25,6°C, la máxima 27,9°C en marzo y la mínima es 24,5°C en enero. En el Gráfico 5 se observa el comportamiento de las temperaturas medias desde el año 1950.

Gráfico 5 Temperatura promedio



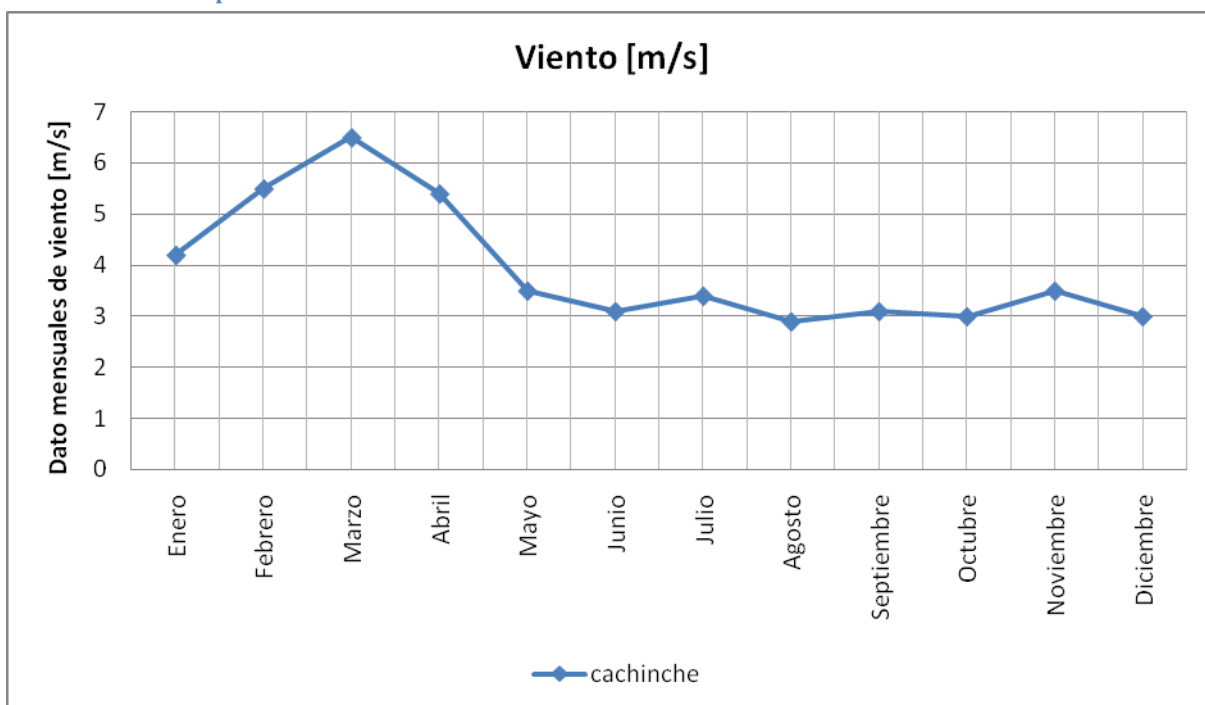
Los registros de evaporación fueron obtenidos a partir de las estaciones Valencia-San Luis y Cachinche. En ellas se observa que la evaporación mensual máxima ocurre en el mes de marzo con 271,8 mm (Valencia-San Luis) y la mínima de 118,2 mm (Cachinche) en noviembre, según se muestra en el Gráfico 6.

Gráfico 6 Evaporación promedio



En cuanto el viento en la zona, se obtiene información a partir de la estación cachinche, en la cual registra como velocidad máxima mensual de 6,5 m/s y su comportamiento se observa en el Gráfico 7.

Gráfico 7 Velocidad promedio del viento



2. Uso de la tierra en las subcuencas.

La información se conoce a partir de imágenes de satélite, obtenidas por el Google Earth y fotografías aéreas observadas, en donde el uso de la tierra en cada una de las subcuencas fue discriminado según las siguientes categorías:

- Agua
- Bosques
- Cultivos / Pastos
- Suelo desnudo
- Matorral
- Bosque latifoliado
- Zona urbana

Es de notar que la cobertura de la cuenca del río Pao ha variado de manera significativa a lo largo de los últimos 10 años, especialmente en las áreas que están ubicadas a lo largo del eje de Valencia – Tocuyito – Campo Carabobo, las cuales presentan una expansión de las áreas urbanas con incrementos de hasta un 28,7% en comparación a la décadas de los años setentas (70), como ocurrió en la subcuenca 2; donde en los años setenta tenía el 34,6% de su área urbanizada, actualmente es un 63,4%. La consecuencia del aumento por concepto de zonas urbanas, implica un mayor grado de impermeabilización de la cuenca y tiempos de concentraciones más reducidos. En la Tabla 5 se muestra el incremento porcentual del área urbana en algunas de las subcuencas que conforma la cuenca del río Pao.

Tabla 5 Incremento porcentual de áreas urbanas

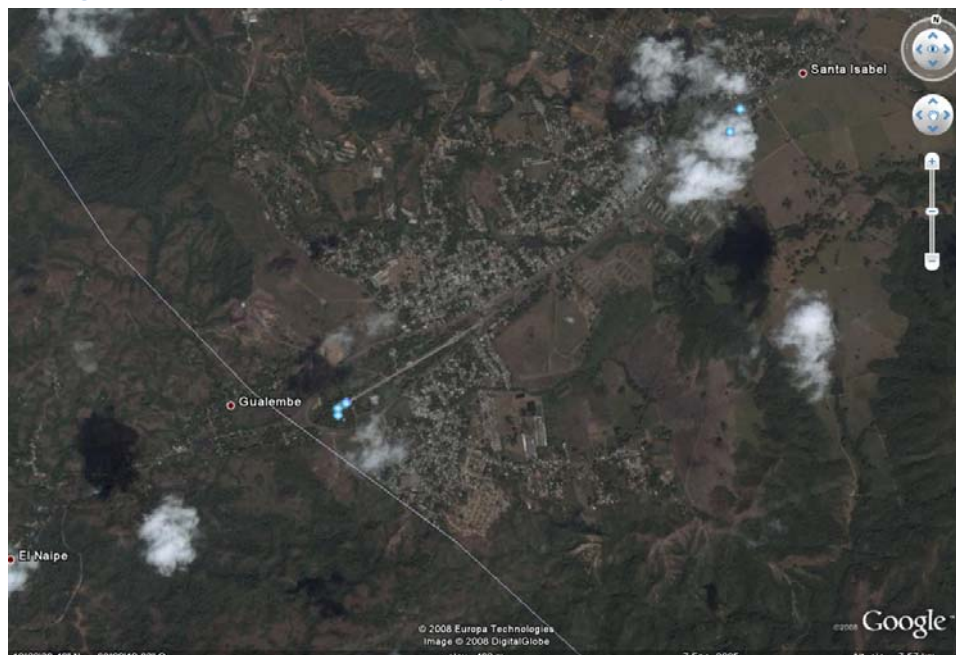
Subcuenca	% AU 1970	% AU 2000	Incremento (%)
1	19,6	29,2	9,7
2	34,6	63,4	28,7
3	0	3,9	3,9
5	10,3	24,4	14,1
7	0,1	9,3	9,2

Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

8	0	0,5	0,5
9	0,7	4,0	3,3
15	0	0,2	0,2

FUENTE: ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL PROYECTO DEL DESALOJO DE LOS EXCEDENTES DE ALIVIO EN EL EMBALSE PAO – LA Balsa, ESTADO COJEDES.

Imagen 7 Imagen Satelital de las subcuencas 7, 8, 9, 10 y 15.



FUENTE: GOOGLE EARTH.

Es necesario comentar que aguas arriba del embalse está ubicada la población El Pao. Éste es un poblado que tiene como principales actividades económicas: la agricultura, la ganadería y el turismo. En caso de incrementar el nivel de aguas normales del Embalse Pao – La Balsa a un nivel superior de las aguas máximas, la población El Pao estaría afectada directamente. También es necesario comentar que dicha población se ha expandido sin respetar la mancha de inundación del embalse; trayendo como consecuencias inundaciones en épocas de lluvias de: viviendas, vías de comunicación interna, la zona donde está ubicada la Planta de Potabilización El Pao y la Estación de Bombeo de aguas negras del Municipio Pao. (Ver Imágenes 8 y 9)

Imagen 8 Imagen satelital de la área de inundación del Embalse Pao - La Balsa



Imagen 9 Área inunda cercana a la estación de bombeo de aguas negras del Municipio Pao.



Aguas abajo del Embalse Pao – La Balsa, se encuentran poblaciones que tiene como actividades económicas la agricultura. (Ver imagen 10)

Imagen 10 Imagen satelital de zonas aguas abajo del Embalse Pao - La Balsa.



3. Suelos.

La información sobre los suelos que caracterizan las subcuencas fue obtenida a partir del Atlas del suelo de los estados Carabobo y Cojedes realizado por el Ing. Samuel Strebin.

Las características de los principales tipos de suelos presentes en la cuenca se muestran en la Tabla6.

Tabla 6 Tipo de suelos en la Cuenca de Río Pao.

Clase o subclase	Geomorfología	Drenaje	Textura dominante	Fertilidad
I	Napa de desborde	Bien drenado	Franco	alta
II s	Terra aluvial	Bien drenado	Franco	alta
II d	Napa de desborde	Imperfectamente bien drenado	Fr. Arcillo	alta
II sd	Terra aluvial	Imperfectamente bien drenado	Arcillo	alta
III s	Altiplanicie de mesa y de denudación	Bien drenado	Arcillo	mod. Baja
III d	Planicie intermedia	Imperfectamente bien drenado	Fr. Arcillo	mod. Baja

III sd	Cubeta de desborde	Imperfectamente bien drenado	Arcillo	mod. Baja
III se	Altiplanicie de denudación	Bien drenado	Fr. Lim. Ped	mod. Baja
IV s	Altiplanicie de mesa	Bien drenado	Fr. Arcillo	baja
IV d	Napa de limo de desborde	Pobremente drenado	Arcillo lim.	alta
IV ds	Cubeta de desborde	Pobremente drenado	Arcillo	mod. Baja
IV es	Glacis, coluviones	Bien drenado	Fr. Arcillo	mod. Baja
V ds	Cubeta de desborde	Muy pobremente drenado	Arcillo	mod. Baja
VI s	Altiplanicie de denudación	Bien drenado	Arc. Pedreg.	baja
VI e	Ablacion montañosa, coluviones	Bien drenado	Arcillo	mod. Baja
VI se	Colinas	Bien drenado	Arcillo	baja
VI es	Colinas			
VI ds	Cubeta de desborde y de decantación	Muy pobremente drenado	Arcillo	mod. Baja
VII s	Altiplanicie de mesa	Bien drenado	Grava	muy baja
VII es	Ablación montañosa, colinas altas	Excesivamente drenado	Fr. Arcillo	baja
VII esc	Ablacion montañosa	Excesivamente drenado	Fr. Arcillo	baja
VII ds	cubeta de decantación	Muy pobremente drenado	Arcillo	mod. Baja
VIII es	Ablación montañosa	Excesivamente drenado	Variable	baja
VIII esc	Ablación montañosa	Excesivamente drenado	Variable	baja

FUENTE: ATLAS DEL SUELO DE LOS ESTADOS CARABOBO Y COJEDES REALIZADO POR EL ING. SAMUEL STREBIN.

C. Aspectos de interés del estudio hidrológico para el proyecto del desalojo de los excedentes de alivio en el Embalse Pao – La Balsa, año 2007.

La finalidad del estudio es el suministrar los caudales de diseño a considerar en el desarrollo de soluciones para el desalojo de excedentes de alivio en el Embalse Pao – La Balsa. Teniendo como filosofía de análisis que el volumen del hidrograma

de diseño es tan importante como lo es el pico. Se opta por esa filosofía, porque el proyecto original del aliviadero del Embalse Pao- La Balsa se diseñó considerando hidrogramas simples o aislados, sin embargo se ha observado en la cuenca del río Pao la ocurrencia de crecidas complejas caracterizadas por tener varios picos con gran volumen.

La metodología aplicada para el desarrollo del estudio fue la siguiente:

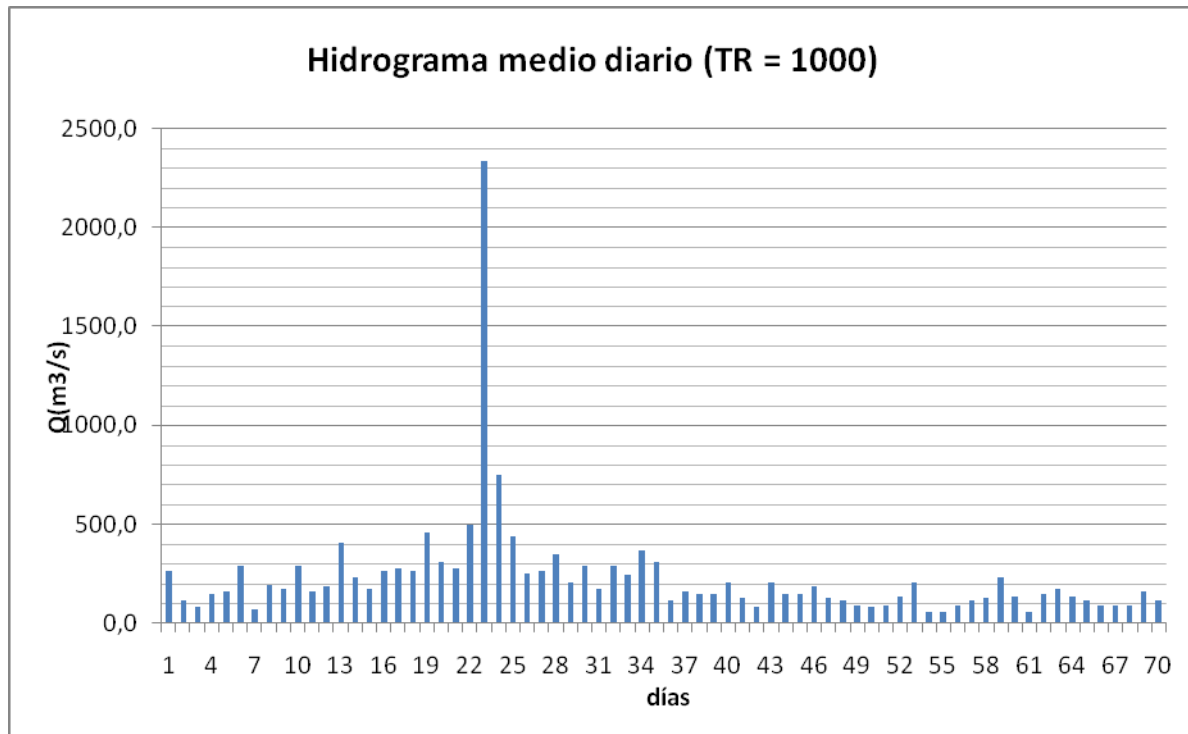
1. Recopilación de información básica, para así obtener registros hidroclimáticos diarios y mensuales, información planimétrica, estudios anteriores realizados, etc.
2. Caracterización de las variables físico-naturales del área de la cuenca del proyecto del Embalse Pao – La Balsa.
3. Aplicación de un modelo de lluvia-escorrentía, el cual es calibrado a partir de los registros con valores mensuales de escurrimiento del río Pao, para así obtener valores de caudal medio diario para un largo periodo, permitiendo así tener información necesaria para la aplicación de metodología que permitan derivar las crecidas complejas.
4. Estimación de los hidrogramas de crecidas complejas mediante la metodología desarrollada por Cekota, Cordova y Rodriguez – Iturbe (1988).

Para la calibración del modelo lluvia-escorrentía se usa el modelo SWAT, desarrollado por investigadores del *Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agriculture Research Service, USDA*. Las siglas SWAT expresan “Soil and Water Assessment Tool”. Este tipo de modelo representa en su esquema el proceso de lluvia-escorrentía tomando en cuenta los procesos de intercepción, infiltración, escorrentía superficial, percolación, flujo no saturado, flujo superficial, flujo subsuperficial, flujo subterráneo, evapotranspiración, tránsito a través de la red de drenaje, etc., en distintos sectores de la cuenca, de acuerdo a las características topográficas, suelos y vegetación existentes en la cuenca.

La estimación de los hidrogramas de crecidas complejas se realizó una vez obtenido los caudales diarios para el periodo de 1967-1992 para así aplicar la

metodología desarrollada por Cekota, Córdova y Rodríguez – Iturbe (1988). Ésta consiste en tres (3) pasos: el primero, el análisis de volúmenes extremos para diferentes niveles de agregación, posteriormente se estima el tiempo total y el gasto base del hidrograma y por último se construye el hidrograma medio diario para el período de retorno (Tr) de 1000 años, el cual se presenta en el gráfico 6.

Gráfico 8 Hidrograma medio diario para Tr= 1000 años



FUENTE: ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL PROYECTO DEL DESALOJO DE LOS EXCEDENTES DE ALIVIO EN EL EMBALSE PAO – LA Balsa, ESTADO COJEDES.

Como se observa en el hidrograma complejo, el caudal máximo medio diario está por el orden de los 2.338m³/s, el cual es acompañado con picos secundarios que superan los 400m³/s.



Capítulo V: Embalse Pao – La Balsa.

Capítulo V.- Embalse Pao – La Balsa.

VI. Embalse Pao - La Balsa

Con una capacidad de almacenamiento de trescientos cincuenta millones de metros cúbicos ($350,00 \times 10^6 \text{ m}^3$) en el año de 1978 entró en funcionamiento el Embalse Pao – La Balsa, ubicado en el Estado Cojedes cerca del Municipio Pao, aproximadamente a dos (2) horas y media de la ciudad de San Carlos. Éste se nutre de la cuenca del río Pao y sus afluentes principales, los cuales son los ríos: Paíto, Mucaria y Pacaragua.

El embalse tiene como componentes una (1) presa de tierra que tiene como cota de cresta 135,00 m.s.n.m., un (1) aliviadero tipo creager con un ancho de 15,00 m y una cota de alivio de 131,00 m.s.n.m. y una (1) obra de toma que permite suministrar agua a la zona regional del centro del país, particularmente al estado Aragua y ciudades del estado Carabobo tales como: Güigüe, Yuma, Magdaleno, Boquerón, Central Tacarigua, Los Guayos, Guacara, San Joaquín y zonas circunvecinas. Todos los componentes antes nombrados se muestran en la Imagen 11.

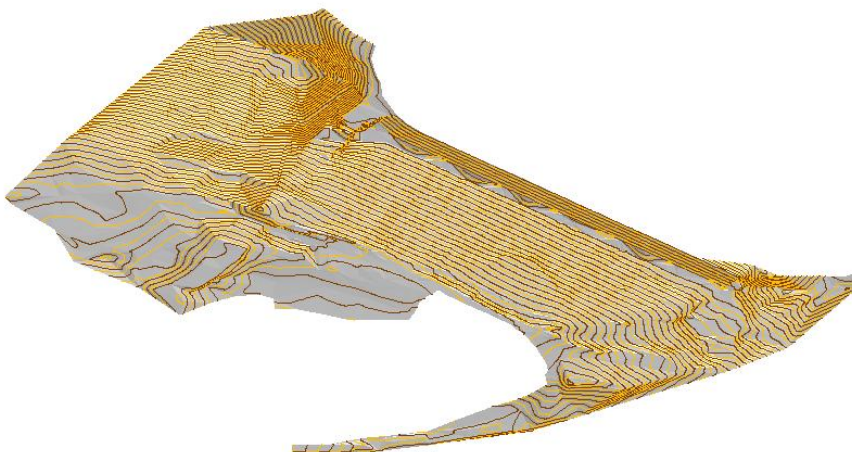
Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

Imagen11 Plano de planta del Embalse Pao - La Balsa



FUENTE: PLANOTECA MINAMB

Imagen12 Modelo 3D del Embalse Pao - La Balsa



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

A. Sistema regional del centro

El Embalse Pao - La Balsa forma parte del Sistema Regional del Centro. Éste es administrado por la empresa hidrológica HIDROCENTRO y fue diseñado para suministrar agua potable a las poblaciones ubicadas en la región central del país, es decir a los estados: Aragua, Carabobo y Cojedes.

Sus fuentes principales de abastecimiento son:

1. El Embalse Pao – Cachinche.

El agua captada por este embalse se envía por gravedad a la Estación de Bombeo Cachinche, para luego ser bombeada hasta la Planta Potabilizadora Alejo Zuloaga, en donde se inicia el proceso de potabilización y posterior distribución.

2. Embalse Guataparo y Dique Toma Río Torito.

Éstos funcionan como auxiliares del Embalse Pao - Cachinche. El agua captada en estas fuentes se envía, por gravedad, directamente a la planta de potabilización Alejo Zuloaga.

3. Embalse Pao - La Balsa.

El agua captada de este embalse se envía por gravedad a la estación de bombeo Pao I, desde allí se bombea a la estación Pao II y luego se impulsa hacia la planta de potabilización Lucio Baldó Soulés ubicada en Mesa de Torres, municipio Carlos Arvelo.

Este sistema de abastecimiento suministra agua al Estado Aragua, y algunas poblaciones del estado Carabobo tales como Guigue, Yuma, Magdaleno, Boquerón, Central Tacarigua, Los Guayos, Guacara, San Joaquín y zonas circunvecinas.

Luego de conocer las principales fuentes de abastecimiento del Sistema Regional del Centro, a continuación se presenta la Tabla 7 con los componentes que lo conforma.

Tabla 7 Componentes del Sistema Regional del Centro

Componentes	Características
Embalse Pao- Cachinche	200 x 10 ⁶ m ³

Embalse Guataparo	26,7 x 10 ⁶ m ³
Embalse Pao –La Balsa	350 x 10 ⁶ m ³
Planta de Potabilización Alejo Zuloaga	3.000 lts./Seg.
Planta de Potabilización Degremont	3.500 lts./Seg.
Planta de Potabilización Lucio Baldó Soulés	5.600 lts./Seg.
Estaciones de Bombeo	Cachinche, Red Media, La Florida, Nueva Valencia, Red Alta, Primaria, N°1 Principal, N°2 Principal, Guacara, San Joaquín de Guere.
Estanques	San Luis, Castillito, Tinaquillo, La Pedrera, La Florida, Compensación E/B N°1, Compensación E/B N°2, P/P Baldó Soules, San Diego, Guacara, San Joaquín de Guere, Caña de Azúcar, Independencia, La Victoria.

FUENTE: HIDROCENTRO

B. Descripción del proyecto del Embalse Pao - La Balsa

A continuación se hace la descripción del Embalse Pao – La Balsa, obtenida a partir del informe técnico “*REVISIÓN Y ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE LAS OBRAS DE EMBALSE DEL RÍO PAO SITIO LA BALSA, EDO. COJEDES*”, elaborado por el Ingeniero Rafael Martínez Monro en septiembre de 1975; que a su vez citó textualmente ciertos aspectos de la memoria original del proyecto.

1. El Embalse

El nivel máximo de las aguas en el embalse se tiene como límite el nivel 132,50 m.s.n.m. de manera no inundar a la población El Pao. Para esta cota el área inundada es de 5.700 Ha. Aproximadamente.

El nivel de aguas normales quedó establecido a la cota 131,00 m.s.n.m. el cual coincide con la cota del aliviadero. Para esta cota el área inundada es de 5.100 Ha. Aproximadamente.

El volumen total almacenado a la cota de aguas normales es de $394 \times 10^6 \text{ m}^3$. De este volumen, $369 \times 10^6 \text{ m}^3$ corresponden al volumen útil y $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ al volumen del aporte de sedimentos durante la vida útil de las obras, 50 años estimados a partir del estudio ejecutado por la División Hidrología Dirección de Información Básica de la Dirección de Recursos Hidráulicos del M.O.P. Diciembre 1954.

El volumen almacenado permite la regulación de $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para abastecimiento, riego y gasto ecológico en el río.

Los gastos regulados serán extraídos del embalse por medio de obras de Toma ubicadas en el estribo izquierdo y los volúmenes en exceso al volumen almacenado a nivel normal, correspondiente a los aportes de las crecientes extraordinarias, serán evacuados a través de las obras de alivio ubicadas en el estribo derecho.

La diferencia de cotas entre el nivel de aguas normales y la cresta de la presa es de 4,00m. El borde libre por encima del nivel de aguas máximas es de 2,50m.

2. La presa

La presa Pao es del tipo de tierra homogénea de arcilla impermeable y tiene su cota máxima en la 135,00 m.s.n.m., con una altura máxima de 27,00m. El ancho de la cresta es de 6,00 m, suficiente para el paso cómodo de vehículos para operación y mantenimiento.

La vía de acceso a la presa se ubica en el estribo izquierdo lo cual permite a su vez llegar a la cámara de válvulas de las obras de tomas, localizada en ese estribo. Actualmente, la vía pasa al pie del talud de la presa, ocasionando problemas de drenaje interno de la misma.

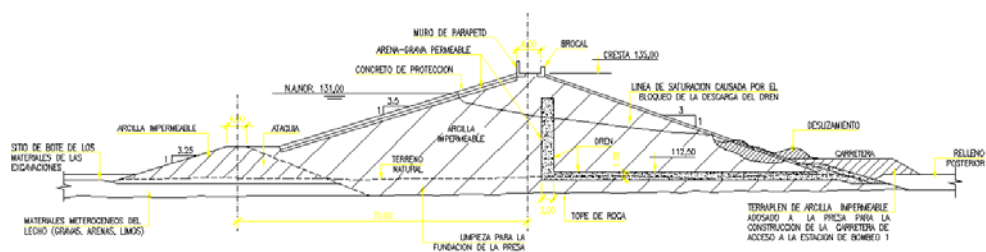
El talud aguas arribas de la presa está protegido con una carpeta de concreto, y la cara aguas abajo con una yerba conocida como yerba Bermuda o pelo de Indio.

Según el informe técnico “*REVISIÓN Y ADAPTACIÓN DEL PROYECTO DE LAS OBRAS DE EMBALSE DEL RÍO PAO SITIO LA Balsa, EDO. COJEDES*”, elaborado por el Ingeniero Rafael Martínez Monro en septiembre de 1975; se conoce que los taludes de la presa se estudiaron por medio de círculos de deslizamientos para diversos casos de construcción y operación, obteniéndose un factor de seguridad mínima de 1,43 para el talud aguas arriba y de 1,39 para el talud aguas abajo.

En cuanto al drenaje de la presa se cuenta con un dren tipo “L” de arena y grava permieable que sirve de base al espaldón de aguas abajo y que forma la parte inferior del talud aguas abajo de la presa.

En la Imagen 13 se muestra las características de la presa que fueron descritas.

Imagen13 Sección transversal típica de la presa



FUENTE: PLANOTECA MINAMB

3. Obras de toma

Las obras de toma están ubicadas en el estribo izquierdo y constan de un canal de aproximación, estructura de entrada, obras de conducción, las obras de regulación y control y finalmente, un canal de descarga.

a) Canal de aproximación.

El canal tiene una dirección del alineamiento S 8°9'26" W y está constituido por un cono de aproximación cuya margen derecha converge formando un ángulo de 45°; la otra margen tiene una orientación paralela al eje y ubicada a 6,00m a su izquierda.

El canal de aproximación fue excavado en roca y cuenta con una protección con roca volcada en una longitud de 10,00m aguas arriba de la estructura de captación de las obras de toma y a todo el ancho del canal.

b) Estructura de entrada.

La estructura de entrada es una unidad doble, es decir capta a través de dos estructuras separadas agua para usos distintos.

La captación de la izquierda tiene como objetivo tomar las aguas para el abastecimiento de la Región Central del país, y en caso de emergencia, se puede utilizar para el vaciado rápido del embalse.

La captación derecha tiene como objetivo la extracción de las aguas de embalse con fines de riego y suministro del gasto mínimo en el río para el uso de las aguas por los ribereños ubicados aguas abajo de las obras del embalse. Igualmente permite la descarga de los sedimentos depositados en las zonas próximas a las captaciones y en caso de emergencia, o durante las operaciones de mantenimiento periódico, está destinada a operar como una descarga de fondo con el fin de lograr el vaciado del embalse.

La captación para el abastecimiento de aguas tiene un alineamiento S 8°9'26" W y ubicado a su eje a una distancia de 1,225 m a la izquierda del eje del canal de aproximación y está constituido por una celda con rejillas frontales y superiores para evitar la entrada de objetos que pudieran estar flotando y sumergidos en el embalse.

La sección frontal tiene rejillas a partir de la cota 114,00 m.s.n.m. es decir, 3,80m por encima del fondo del canal de aproximación, estimada como cota del nivel muerto de embalse. Entre la cota 110,20 m.s.n.m. y la 114,00 m.s.n.m. existen 10 elementos prefabricados de concreto de 0,38m de alto cada uno y de 1,85m de largo que deslizan a lo largo de las ranuras previstas como guías para las rejillas. Estos elementos prefabricados pueden ser removibles. Las rejillas superiores van simplemente apoyadas en la parte superior de la estructura.

Cuando por alguna razón se desee en seco la obra de toma durante labores de mantenimiento o inspección, se podrá deslizar un tablero por el orificio destinado a las rejillas superiores ubicados más hacia aguas abajo en la estructura de captación. Estas estructuras tienen fondo y paredes laterales de concreto armado y en la pared posterior de la estructura se encuentra el orificio a través del cual son admitidas las aguas hacia las estructuras de conducción.

La estructura de captación para el agua de riego y descarga de fondo del embalse, tienen un alineamiento S 36°50'34" E.

El vértice en donde se cortan los ejes de ambas obras de captación, está ubicado sobre el eje de la obra de captación de abastecimiento y a 6,04m aguas abajo de la cara de la celda de rejillas en donde se encuentra ubicado el orificio para la admisión de las aguas.

Las características de la captación para riego y descarga de fondo son las mismas que la de abastecimiento, con la diferencia que en esta están hay rejillas a partir de la cota 110,20 m.s.n.m. hasta la cota 116,02 m.s.n.m., es decir no cuenta con los elementos prefabricados de concreto. Esto se debe a que uno de los objetivos es el de extraer los sedimentos que se depositen en las proximidades de las obras de captación por abajo de la cota 114,00 m.s.n.m. estimado como el nivel muerto del embalse.

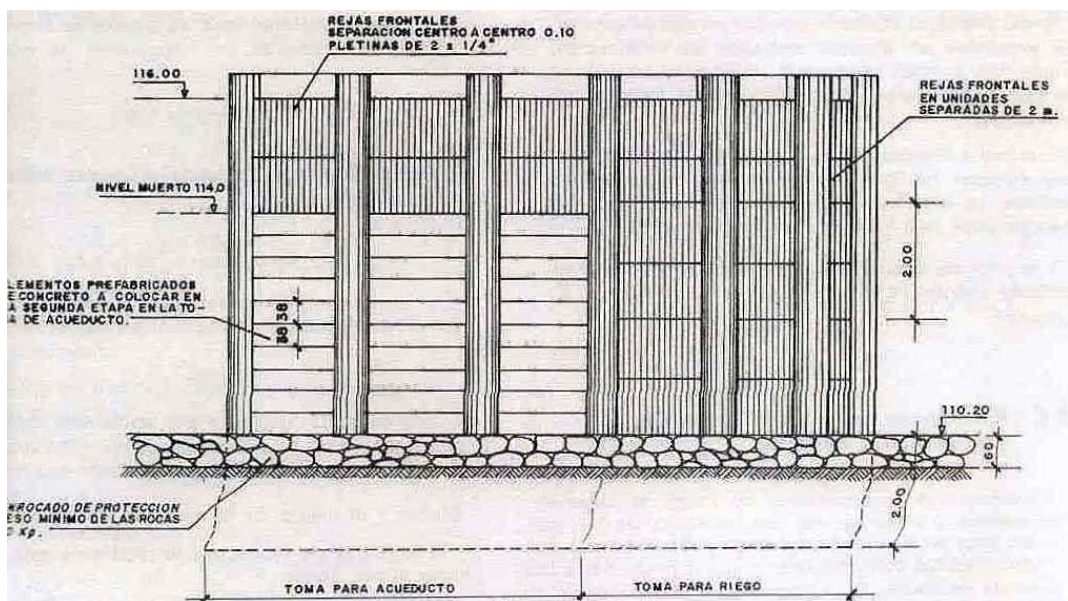
De los orificios en cada una de las obras de captación parten los respectivos conductos los cuales tienen entradas acampanadas idénticas. Los diámetros de los orificios a la entrada de los conductos son de 2,60m. Las longitudes de los acampanados son de 1,00m al final de los cuales los diámetros de ambos conductos son de 2,00m.

El alineamiento del conducto para el abastecimiento de agua es recto durante toda su longitud.

El conducto para la toma para riego y la descarga de fondo tiene un primer tramo de 1,13m con un alineamiento de rumbo S 36°50'34" E. A partir de ese punto el alineamiento es curvo y describe un arco circular hacia la derecha. El cambio total

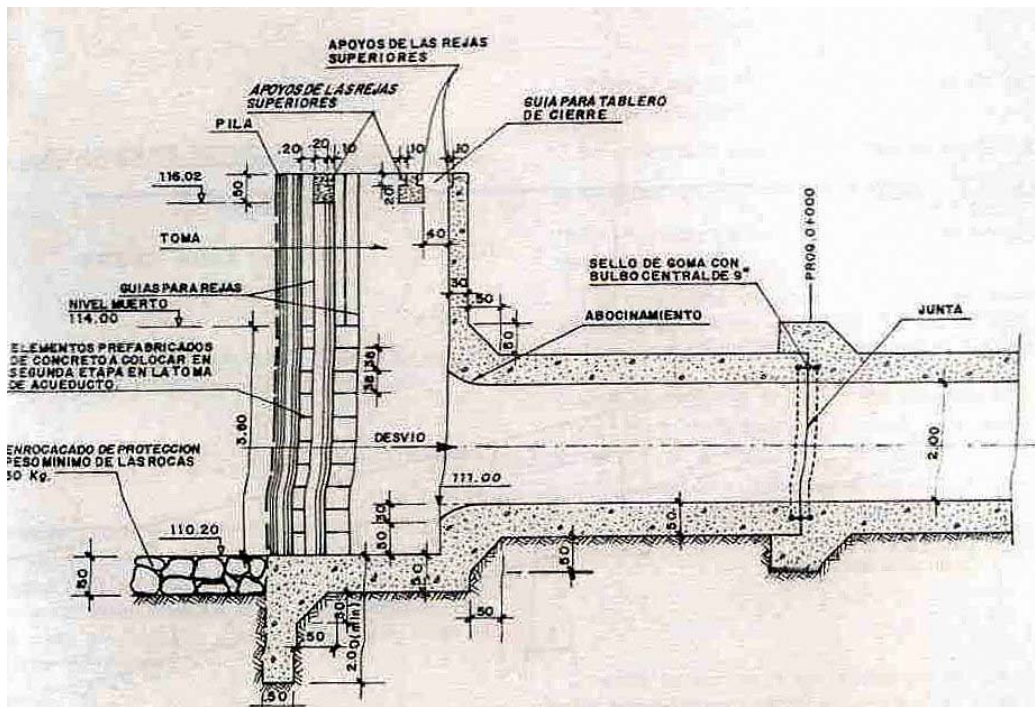
en el alineamiento entre las tangentes a la curva es de 45° . El radio de curvatura del eje del conducto es de 3,50m. De ese punto en adelante el conducto mantiene un alineamiento recto con rumbo $S8^\circ9'26''W$ y ubicado a 1,225m a la derecha del replanteo. Los dos conductos son de allí en adelante paralelos y sus ejes distan 2,45m entre ellos. La estructura de entrada termina a 5,887m aguas abajo del orificio de admisión a lo largo del conducto destinado a llevar las aguas de abastecimiento.

Imagen14 Toma del Embalse Pao - La Balsa. Vista frontal



FUENTE: INGENIERÍA DE PRESAS. ING. LUIS MIGUEL SUAREZ

Imagen15 Toma del Embalse Pao - La Balsa. Vista longitudinal



d) Obras de regulación y control.

Las obras de regulación y control consisten en dos (2) sistemas independientes cuya operación está centralizada en la sala de válvulas.

Imagen 16 Sala de válvulas



FUENTE: ING. YURI MEDINA

Las obras correspondiente a la toma para abastecimiento de aguas están ubicados a lo largo del eje de rumbo S 8°9'26" W es decir la prolongación del alineamiento del conducto ubicado a la izquierda del eje de replanteo.

El sistema consiste principalmente de una válvula de emergencia, tipo “Ring Follower” de 2,00m de diámetro. En esta compuerta están previstas las conexiones necesarias de by-pass, inyección de cloro y ventosas. Todos estos elementos están ubicados dentro de la sala de válvulas.

La regulación normal de la toma para abastecimiento, actualmente es de 7,5m³/s según fuente de HIDROCENTRO pero se proyecta que para el año 2025 se contará con equipamiento para extraer hasta 15,00m³/s.

El conducto continúa con el mismo alineamiento. Sin embargo inmediatamente aguas abajo de la tubería para expulsión y admisión de aire de la tubería de acero sale un ramal hacia la derecha formando un ángulo de 45° con la dirección original. El otro ramal mantiene el rumbo S 8°9'26" W.

La tubería que sale hacia la derecha, termina inmediatamente después de salir de la sala de válvulas y se ha previsto una brida ciega como tapa para la tubería. En caso de emergencia, cuando haya necesidad de vaciar rápidamente el embalse, puede ser removida la tapa y hacer que las aguas descarguen en el río directamente, incrementando la rata de descenso de las aguas.

El ramal de la tubería continua recto para así conectarse con la aducción que tiene establecido HIDROCENTRO como se explico en el *Sistema Regional del Centro*.

En lo que se refiere a la toma para riego y descarga de fondo están ubicados en la misma sala de válvulas pero a lo largo de un alineamiento de rumbo S 53°9'26" W. Una vez que se sale de la obra de conducción existe un cambio de dirección de 45° a través de un arco de circunferencia de 6,00m al eje.

Imagen17 Válvula Howell - Bunger (vista lateral)

Imagen18 Válvula Howell - Bunger (vista frontal)



FUENTE: FUNDACIÓN LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA

En la sección de la tubería siguiente al codo horizontal de 45° se encuentra ubicada otra válvula de tipo “Ring Follower” de idénticas características anteriores. Inmediatamente aguas abajo la tubería cambia de dirección nuevamente describiendo un arco de círculo de 6,00m de radio al eje. El cambio de dirección es ahora en el plano vertical y ocasiona que la tubería forme un ángulo de 25° con el eje original. Al final de este tramo de tubería se ha ubicado una sola válvula de cono conocida con el nombre de “Howell - Bunger” de 2,00m de diámetro, esta válvula permite la regulación de los gastos destinados a riego o a descargas al río en caso de que se quiera mantener el gasto mínimo aguas abajo de las obras. Así mismo permite descargar agua en caso de que sea necesario bajar el nivel en el embalse por razones de emergencia. Este tipo de válvula asegura una eficiencia similar para todos los rangos de operación previstos.

Ambos conductos aguas abajo de las compuertas de emergencia, tienen una tubería de drenaje de manera de poder vaciar el conducto y permitir la visita del personal necesario para ejecutar visitas rutinarias de inspección o efectuar reparaciones menores.

e) Canal de descarga.

El canal de descarga tiene una pendiente de 1,5%. Además, está provisto de una protección de roca aguas abajo de la descargas de las tuberías en una longitud de

siguiendo el alineamiento del pie los muros hasta la progresiva 0+041,08. La cota de fondo de esta parte del canal es aproximadamente 130,00 m.s.n.m.

Imagen20 Vista hacia aguas abajo al canal de aproximación



FUENTE: ING. VERÓNICA VALERA. MINAMB

b) Estructura de control

La sección de control está constituida por un cimacio de 15,00m ancho, ubicado entre las progresivas 0+041,08 y 0+045,68.

La cota superior es la 131,00 m.s.n.m., la cual coincide con el nivel de aguas normales del embalse. El cimacio consta de un parámetro inclinado aguas arriba con una pendiente 2:3 que permite aumentar el coeficiente de descarga por la sección de control. Ésta pendiente se mantiene hasta una altura de 0,195m por encima del fondo. Mediante dos (2) curvas circulares consecutivas de radios 0,34m y 0,75m, se alcanza la cota máxima de la sección. Ese punto constituye el punto de control a la cota 131,00 m.s.n.m.

A partir del punto de control el perfil del cimacio describe una parábola definida con la ecuación $x = 1,16y^{0,55}$ y que se ajusta al perfil que describe las aguas cuando ocurre la creciente máxima de diseño.

En el punto $x = 2,06$ e $y = 1,33$ el perfil del aliviadero adopta una trayectoria circular cóncava cuya curvatura es la correspondiente a un radio de 6,60m y con un cambio de dirección tal que la tangente a la salida tiene una pendiente de

1%. Dicho punto de tangencia se encuentra en la progresiva 0+045,68 y marca final de la estructura de control.

Imagen21 Cimacio del aliviadero (vista desde aguas arriba hacia aguas abajo)



FUENTE: RAÚL CABRITA FIGUERA

Imagen22 Cimacio de aliviadero (vista desde aguas abajo hacia aguas arriba)



FUENTE: ING. JOSÉ DE JESÚS GASPÁR

c) Descarga

La descarga está constituida por un canal rápido, una estructura de disipación y finalmente por el canal de descarga propiamente dicho.

El canal rápido inicia en la progresiva 0+045,68 con un pendiente de fondo de 1% permitiendo asegurar un régimen supercrítico al pie del cimacio para el gasto de diseño. El canal es revestido en concreto y de 15,00m de ancho. Entre la progresivas 0+062 y 0+065,6 la pendiente longitudinal del perfil del canal rápido varía hasta alcanzar una pendiente de 38%. Ésta pendiente se conserva hasta el final del rápido e inicio de la obra de disipación, la progresiva 0+120. Los cambios de pendiente a lo largo de perfil obedecen a las condiciones de topografía y geología del sitio. Además, el rápido cuenta con expansiones transversales cada 9m y un sistema de subdrenaje que permitan el alivio de las subpresiones bajo la placa y muros de la estructura del canal.

Imagen23 Rápido del aliviadero sin descarga



Imagen24 Rápido del Aliviadero descargando



FUENTE: FUNDACIÓN LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA

FUENTE: RAÚL CABRITA FIGUERA

El pozo disipador inicia en la progresiva 0+120 y tiene 14,00m de largo y 15,00m de ancho. El pozo corresponde al tipo III del Bureau of Reclamation.

La cota de fondo está a la 108 m.s.n.m. Al final del pozo disipador existe un dentellón de concreto de 3,00m de profundidad con el fin de detener cualquier erosión regresiva que pudiere producirse en el canal y poner en peligro la estabilidad de la estructura.

Imagen25 Pozo disipador del aliviadero



FUENTE: FUNDACIÓN LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA

Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

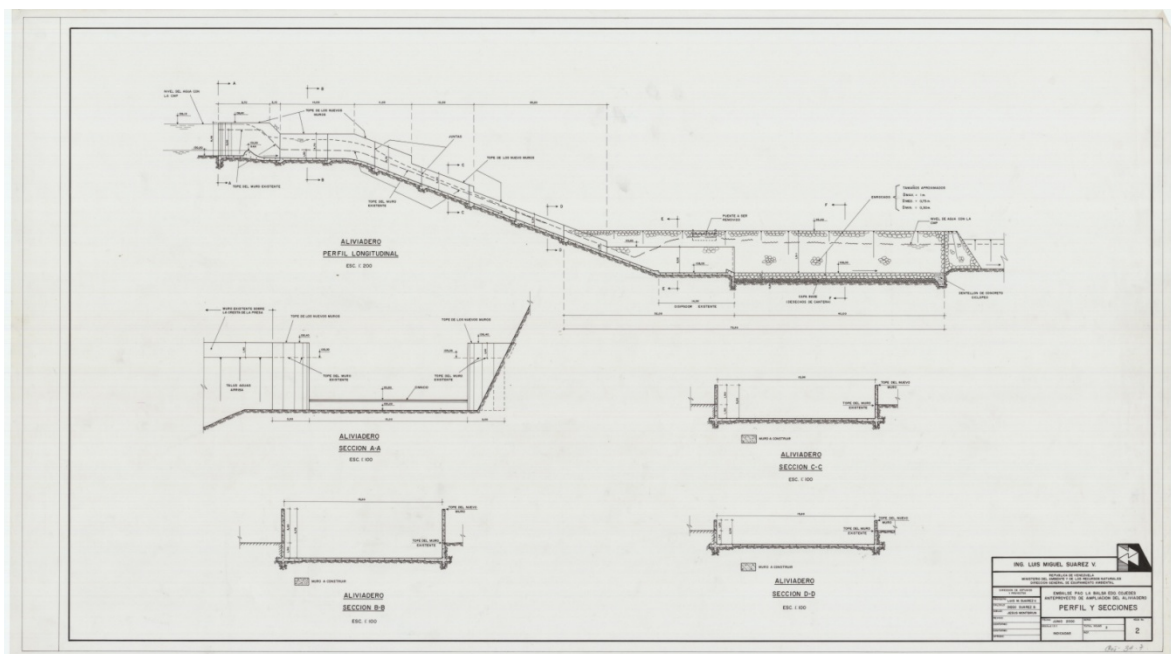
En la progresiva 0+135 inicia el canal de descarga. La sección transversal es trapecial y fue excavado en tierra, con un ancho de base de 17,00m y taludes 1,5:1 de altura variable. Además cuenta con una protección de roca de 5,00m de longitud a todo lo ancho a la salida de las obras de disipación para evitar la erosión por las aguas en las proximidades de la estructura de concreto. El canal de descarga se prolonga con una pendiente de 3% hasta su descarga en el Río Pao.

Imagen26 Canal de descarga hacia el Río Pao



FUENTE: RAÚL CABRITA FIGUERA

Imagen27 Perfil y secciones transversales del aliviadero



FUENTE: PLANOTECA MINAMB

Luego de conocer las obras de embalse y conocer sus respectivas características, se presenta la Tabla 8 con las características principales del embalse.

Tabla 8 Características principales del Embalse Pao - La Balsa

Ubicación	Sobre el río Pao, en el sito La Balsa, Estado Cojedes.
Propósito	• Abastecimiento de agua potable a la región central del país, a través del Sistema Regional del Centro administrado por HIDROCENTRO. • Riego.
Embalse	• Nivel de aguas normales: 131,00 m.s.n.m. • Volumen embalsado: $349,87 \times 10^6 \text{ m}^3$. (curva de área-capacidad 2006) • Área de inundación: 4859,82 Ha. (curva de área-capacidad 2006) • Caudal regulado: $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$. (fuente: Hidrocentro)
Presa	• Tipo: de tierra, homogénea. • Altura máxima: 27m. • Longitud de cresta: 250m. • Cota de cresta: 135,00 m.s.n.m. • Ancho de la cresta: 6m. • Pendiente de talud aguas arriba: 3,5:1 • Pendiente de talud aguas abajo: 3:1
Toma	• Tipo: Conducto doble enterrado bajo de la presa. • Ubicación: Contacto de la presa con el estribo izquierdo. • Diámetro de ambos conductos: 2m. • Longitud de los conductos: 195,14m. • Caudal máximo de la descarga de fondo: $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aliviadero	• Tipo: Creager. Canal rectangular de concreto con vertedero recto, frontal de descarga libre. • Ubicación: Contacto de la presa con el estribo derecho. • Ancho: 15m. • Cota de vertedero: 131,00 m.s.n.m. • Caudal de diseño: 60 m³/s. • Pozo dissipador tipo III del Bureau of Reclamation.
-------------------	---

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

C. Geotecnia

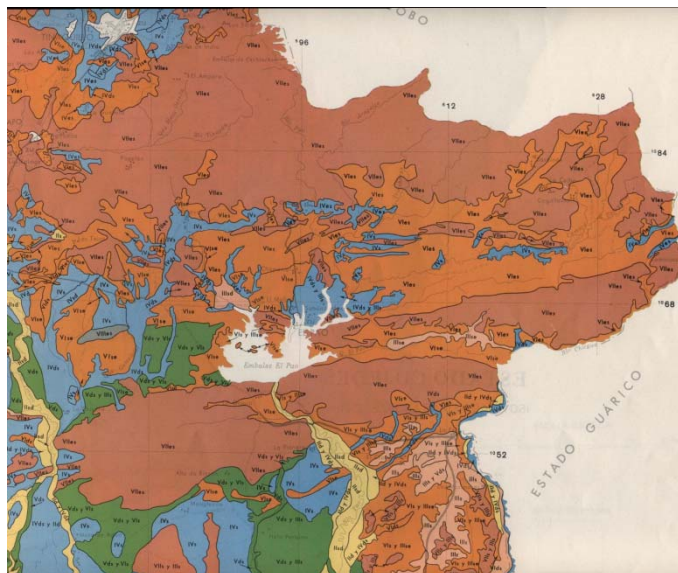
1. Características geológicas de la región

La región donde está construida las obras del embalse es constituida por una intercalación de capas areniscas y lutitas que tienen un rumbo general este-oeste con buzamientos variables entre 25° a 75° el sur.

En el sitio de presa y obras anexas, las capas de arenisca son de grano fino a medio con intercalaciones de lentes de conglomerados finos, toda la arena es cuarzosa con una cementación, por lo general, pobre que por efectos de la meteorización, hacen que las areniscas sean friables; esta roca es de color gris blanquecino con manchas de color pardo rojizo causadas por oxidación.

Los afloramientos de las capas de lutita son más escasos, ya que por su naturaleza arcillosa limosa están más afectadas por la meteorización que, prácticamente es la superficie del terreno, se consiguen como suelos residuales arcillosos limosos hasta arcillosos arenosos.

Imagen28 Mapa de suelos de la región cercana al Embalse Pao - la Balsa.



FUENTE: ATLAS DE SUELOS DE VENEZUELA. ING. SAMUEL STREBIN

D. Hechos relevantes desde la puesta en funcionamiento el Embalse Pao - La Balsa.

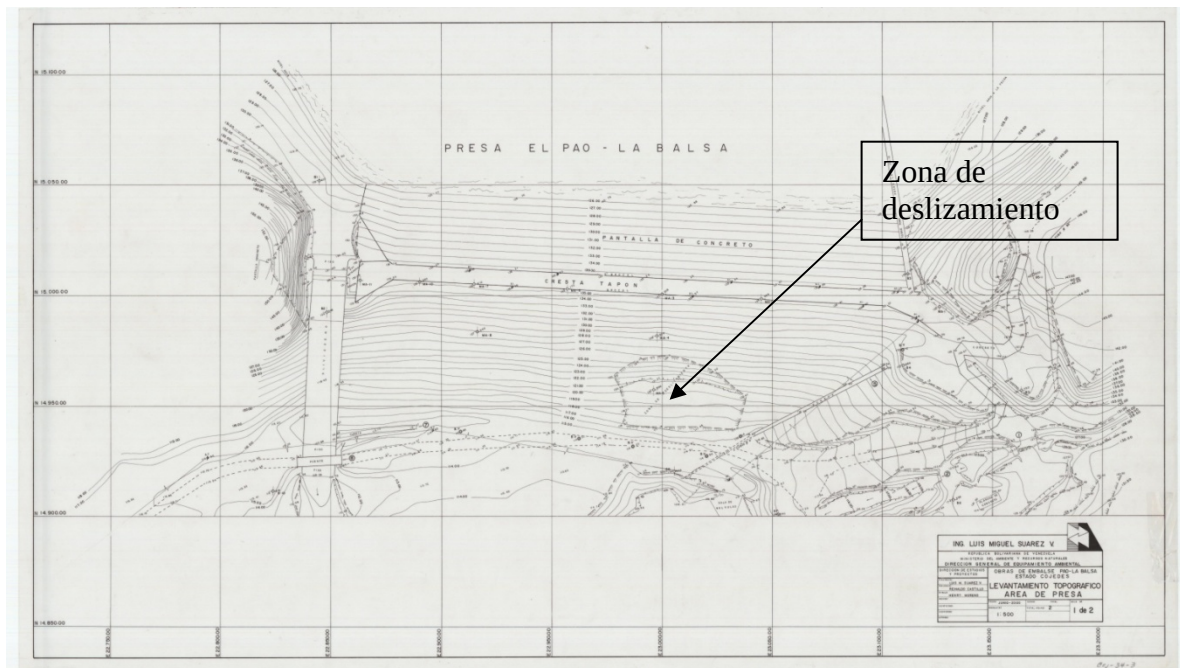
El Embalse Pao – La Balsa ha estado en funcionamiento desde el año 1978 como se menciona anteriormente. Se puede decir que ha presentado un comportamiento adecuado por casi 30 años, exceptuando situaciones que se presentaron en el año 1996 y en el 2005 que se explican a continuación.

1. Deslizamiento en el talud aguas abajo.

En agosto de 1996, se produjo un deslizamiento en la parte central, inferior del talud aguas abajo de la presa, como se muestra en las Imágenes 29 y 30. El deslizamiento tenía una forma circular, típico de las arcillas saturadas. La escarpa de falla en la parte superior del deslizamiento presentaba un escalón de 1,50m de altura, que posteriormente se fue incrementado. El deslizamiento comprendió una longitud de 40m aproximadamente en el sentido del eje de la presa, y afectó al talud hasta una altura de 7m. En la parte inferior de la masa se observaron filtraciones de agua, estimadas en 1,0 l/s aproximadamente.

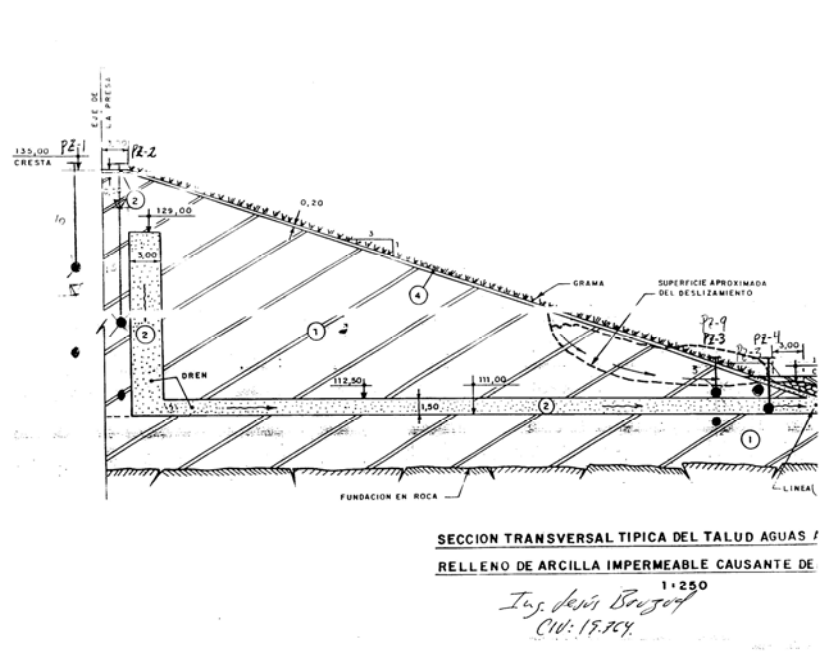
Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

Imagen29 Plano de planta de Embalse Pao - La Balsa. (Zona de deslizamiento).



FUENTE: PLANOTECA MINAMB

Imagen 30 Sección transversal en zona de deslizamineto.



FUENTE: ING. DIEGO FERRER.

Luego de las diferentes inspecciones, estudios y análisis. Se concluye que la causa de dicho deslizamiento es la obstrucción de los drenes de salida, ocasionado por la construcción de una carretera adosada en la parte inferior al talud aguas abajo de la presa, en dirección paralela al eje de la cresta. Dicha carretera es el único acceso a la estación de bombeo Pao 1 ubicada aguas abajo de la presa. Ésta fue construida con un terraplén conformado por arcilla impermeable, que cubrió completamente el enrocado colocado a la salida del dren drenaje de la presa, imposibilitando así la descarga de la presa y de los estribos. A continuación se cita textualmente el mecanismo que origino el deslizamiento en el talud aguas abajo de la presa, extraído del libro *INCIDENTES DE PRESAS DE VENEZUELA*. Ing. Luis Miguel Suarez Villar.

- “Desde el momento en que se lleno por primera vez el embalse comenzó la propagación de la saturación a través del terraplén de arcilla, proceso sumamente lento que normalmente toma muchos años hasta alcanzar los drenes, debido a la baja permeabilidad de la arcilla constitutiva de la presa.”
- “Una vez alcanzados los drenes internos por la red de filtraciones, se estableció un régimen de flujo dentro de la presa, ajustado a las variaciones de los niveles del embalse. El caudal captado por el sistema de drenaje interno del terraplén era descargado en la parte inferior del talud aguas abajo, a través del enrocado de protección. De esta manera la presa funcionó sin inconvenientes durante 18 años. La línea de saturación se mantiene tal que puede ser captada por el dren vertical, y el espaldón aguas abajo de la presa permanencia libre de saturación, sin presiones de poros, en forma estable, tal como fue previsto en el proyecto de la obra.”
- “Al construirse la carretera el pié de la presa, el pequeño caudal de las filtraciones no encontró salida, comenzando entonces un lento proceso de remanso de la línea de saturación dentro del terraplén de la presa, hasta alcanzar la altura que originó una presión de poros importante dentro del espaldón y la consiguiente reducción de la resistencia al corte de la arcilla por

saturación, hasta alcanzarse calores críticos que causaron el deslizamiento del domingo 11/08/1996.”

Imagen 31 Carretera de acceso a Embalse Pao - La Balsa y estación de bombeo Pao 1.



FUENTE: ING. DIEGO FERRER.

La solución que se ejecutó para solventar la situación consistió en excavar varias zanjas en el pié aguas abajo de la presa, perpendiculares al eje de la obra, hasta interceptar el dren de arena bajo la carretera. Las zanjas fueron rellenas con arena permeable, similar a la utilizada en la construcción de los drenes de la de la presa. La parte superior de la zanja fue rellena con arcilla compactada para proteger a la arena. Estas salidas intermitentes del sistema de drenaje fueron llevadas hasta el margen derecho del cauce del río Pao, donde cada una de ellas descarga las filtraciones a través de un enrocado de protección. Esta solución se adoptó para mantener operativa la carretera construida, la cual es la única vía de acceso a la estación de Bombeo Pao 1.

Imagen 32 Estación de Bombeo Pao 1 (esquina superior izquierda). Sala de Válvulas de Embalse Pao - La Balsa (esquina inferior derecha).



FUENTE: RAÚL CABRITA FIGUERA

Según investigadores del caso que ocurrió en el Embalse Pao – La Balsa, la cual es una presa fundada totalmente en roca dura, construida con arcilla de baja plasticidad compactada, dotada con un sistema de drenaje interno, con un talud con pendiente 3:1 aguas abajo, no podría presentar deslizamiento como el ocurrido, si dicho drenaje hubiese funcionado como se diseñó. Lo que sí es evidente, que el deslizamiento ocurrió debido a la falta de supervisión y de coordinación entre los diferentes organismos relacionado con la presa y la construcción de la carretera, trayendo como consecuencia el peligro de la seguridad de la presa que estuvo funcionando adecuadamente durante 18 años.

2. Períodos lluviosos.

El Embalse Pao - La Balsa con un nivel de aguas máximas en la cota 132,50 m.s.n.m. En el año 2005 asimiló crecidas de considerable magnitud de varios días de duración, que hicieron que los niveles del embalse alcanzaran la cota 134,50 m.s.n.m., es decir, 50 cm por abajo de la cresta de la presa y 2,00m por encima del nivel de aguas máximas; valores críticos que superan la cota de diseño del aliviadero, lo cual significó un riesgo para la estabilidad de la estructura. Un evento parecido se registro en el año 1996 donde el embalse alcanzó una cota de 133,06 m.s.n.m., es decir supero el nivel de aguas máxima en 56 cm. La Tabla 9 es resumen del registro del nivel de aguas del embalse para los años 1996 y 2005, y en el Gráfico 9 se observa los niveles del embalse para los mismos años.

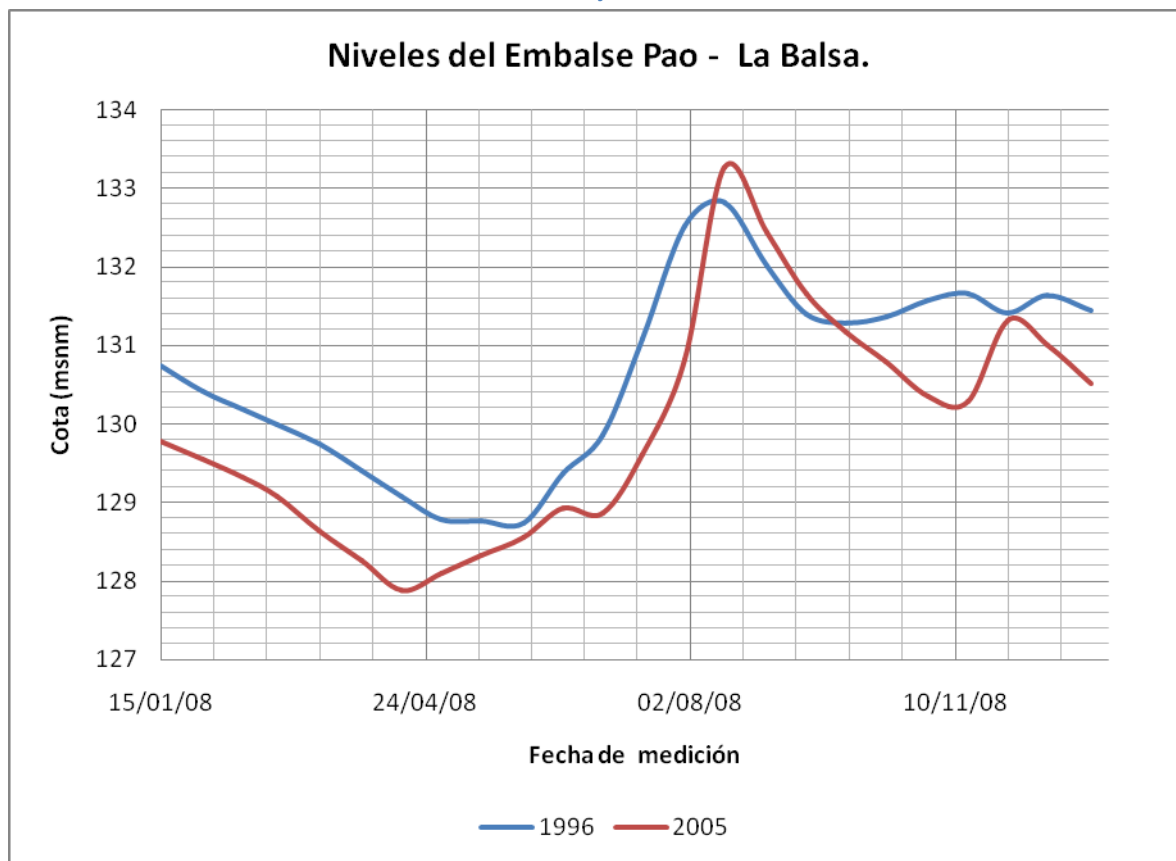
Tabla 9 Registro de niveles del Embalse Pao – La Balsa para los años 1996 y 2005.

Nivel del Embalse Pao - La Balsa. (m.s.n.m.)		
Fecha	Año 1996	Año 2005
15-Ene	130,74	129,78
31-Ene	130,41	129,55
15-Feb	130,19	129,33
28-Feb	129,99	129,08
15-Mar	129,74	128,63
31-Mar	129,81	128,26
15-Abr	129,08	127,88
30-Abr	128,78	128,10
15-May	128,76	128,33
31-May	128,73	128,55
15-Jun	129,37	128,93
30-Jun	129,86	128,87
15-Jul	131,09	129,62
31-Jul	132,52	130,82
15-Ago	132,82	133,27
31-Ago	132,02	132,44

15-Sep	131,40	131,65
30-Sep	131,28	131,17
15-Oct	131,36	130,79
31-Oct	131,57	130,35
15-Nov	131,66	130,29
30-Nov	131,41	131,32
15-Dic	131,64	131,01
31-Dic	131,45	130,52

FUENTE: HIDROCENTRO

Gráfico 9 Niveles del Embalse Pao - La Balsa. Años 1996 y 2005.



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Para un aliviadero con una capacidad de descarga de $60\text{m}^3/\text{s}$, se observó la insuficiencia de éste para desalojar eventos hidrológicos extremos.

Cabe mencionar que en Venezuela han ocurrido incidentes graves por situaciones similares. Ejemplo de casos, donde se evidenció la incapacidad del aliviadero debido a una crecida excepcional, trayendo como consecuencia el colapso de las obras de embalse es la presa El Guapo (diciembre de 1999). A partir de la publicación *INCIDENTES DE PRESAS EN VENEZUELA* del Ing. Luis Miguel Suárez, se cita lo siguiente: “ésta presa nunca fue desbordada, ya que el flujo superó antes los muros del aliviadero, causando así la destrucción”. En el aliviadero del Embalse Pao –La Balsa, se presentó una situación similar a la que ocurrió en la presa El Guapo. El flujo que se estaba aliviando superó los muros del rápido del aliviadero. En tal sentido, en vista de dicha emergencia, para evitar socavación y finalmente una posible erosión regresiva originada por el flujo en la fundación del aliviadero, se optó por cubrir con un manto el talud aguas abajo en la cercanías del aliviadero.

Por lo antes expuesto se hace necesaria la evaluación de las obras de alivio y el planteamiento de alternativas para sustituir el aliviadero existente. Esta circunstancia puede ser aprovechada para evaluar la posibilidad de elevar el nivel de aguas normales del actual embalse con el fin de incrementar su rendimiento.

Imagen33 Desastre en la Presa El Guapo. Diciembre de 1999.



FUENTE: HIDROVEN

Imagen34 Manta de protección del talud aguas abajo de la Presa Pao - La Balsa.



FUENTE: RAÚL CABRITA FIGUERA

Según el análisis de expertos en el tema, se considera que para el momento cuando se realizó el proyecto del embalse, era común diseñar los aliviaderos considerando hidrogramas simples o aislados, sin embargo se ha observado que la cuenca del río Pao se presentan crecidas complejas caracterizadas por tener varios picos con gran volumen. Este tipo de crecidas determina, que el volumen del hidrograma de diseño es tan importante como lo es el pico.

E. Modificaciones propuestas para el Embalse Pao - La Balsa.

A partir de la reciente actualización de la hidrología de la cuenca del río Pao hasta el sitio del Embalse Pao – La Balsa. Conjuntamente, con los resultados de los tránsitos de las crecientes confirman que el aliviadero existente no tiene capacidad para descargar la crecienta milenaria, el agua rebosaría la cresta de la presa en una altura de 7 cm aproximadamente y desbordarían los muros del aliviadero en la mayor parte de la longitud del canal. El puente que se encuentra sobre el pozo disipador se vería afectado por el flujo. Los muros del pozo disipador también serían desbordados por el resalto hidráulico, produciéndose daños por erosión en sus rellenos laterales, en el talud aguas abajo de la presa y en el canal de salida que desemboca al cauce del Río Pao.

En tal sentido, se han desarrollado estudios en los que recomiendan evaluar alternativas como las siguientes:

- Verificar la posibilidad de operar el embalse a una cota menor al nivel de aguas normales actuales (131,000 m.s.n.m.), para así poder almacenar parte del volumen que aportaría la crecienta milenaria y evacuar el excedente por al aliviadero existente.
- Modificar el cimacio del aliviadero existente, fijando un nuevo nivel de aguas normales. Además de considerar sobre-elevar muros y ampliar el pozo disipador.

- Construir un aliviadero auxiliar, de emergencia, a través del dique-carretera que limita al embalse por el suroeste, aproximadamente en la divisoria de las cuencas de los ríos Pao y Tinaco.

A continuación se describirá a nivel de comentario la alternativa que se refiere a modificar el cimacio del aliviadero existente, fijando un nuevo nivel de aguas normales. La razón, es que actualmente la Dirección de Estudios y Proyectos, perteneciente a la Dirección General de Equipamiento Ambiental del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, MINAMB, lleva acabo dicho proyecto bajo el asesoramiento del Ing. José De Jesús Gaspar.

La descripción es obtenida a partir del informe técnico “*PROYECTO DE UN NUEVO ALIVIADERO CON VERTEDERO EN LABERINTOS PARA EL EMBALSE DEL RÍO PAO EN LA Balsa*”, elaborado por los Ingenieros José de Jesús Gaspar y Verónica Valera Campos en julio de 2007.

En este informe se plantean tres (3) alternativas, y todas se diseñaron para aliviar el mayor caudal posible, estableciendo el nivel de agua máxima en la cota 133,75 m.s.n.m., la cual se llegaría alcanzar con una probabilidad de 1/1000, para así minimizar las inundaciones en la población El Pao, según se comenta en el informe.

Actualmente, el aliviadero del Embalse Pao – La Balsa tiene un ancho de 15m. El planteamiento según el informe, es incrementar el ancho actual del vertedero, al mayor ancho posible, utilizando el espacio disponible entre la entrada al canal rápido y entrada al canal de aproximación. “A mayor ancho, es mayor el caudal descargado para la misma carga hidráulica actuante”, comenta el Ing. José de Jesús Gaspar.

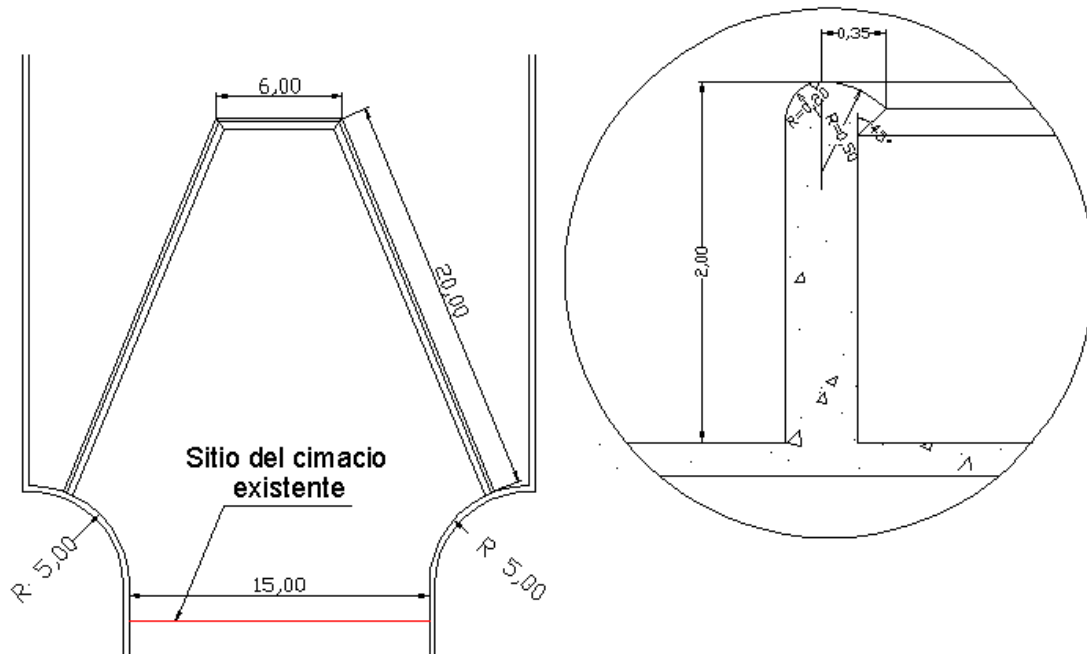
A continuación se realizará una breve descripción de las alternativas propuestas por los ingenieros José de Jesús Gaspar y Verónica Valera Campos.

1. Vertedero lateral doble.

Se estudia esta posibilidad ya que el vertedero con estas características tiene como ventaja su facilidad de adaptación a espacios reducidos, permitiendo así utilizar

el espacio actual de aliviadero del Embalse Pao - La Balsa. La geometría consiste en: dos tramos de 20 m de longitud y uno de 6 m, teniendo una longitud efectiva de 46 m, tal como se muestra en la Imagen 35.

Imagen35 Planta y detalle del vertedero lateral doble.



FUENTE: **PROYECTO DE UN NUEVO ALIVIADERO CON VERTEDERO EN LABERINTOS PARA EL EMBALSE DEL RÍO PAO EN LA Balsa.** Ing. José de Jesús Gaspar e Ing. Verónica Valera.

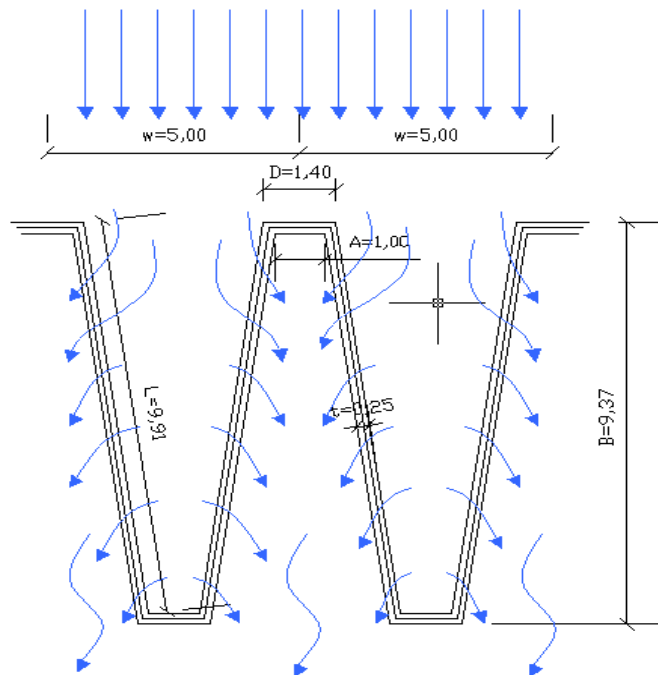
2. Vertedero en laberinto con eje recto.

Como segunda opción, se presenta el vertedero en laberinto con eje recto, el cual presenta las siguientes características:

- Altura de vertedero: 2,00m.
- Ancho: 38,30m.
- Angulo entre el vertedero y el eje del aliviadero: 8 grados.
- Longitud máxima obtenida: 157,50m.

En la Imagen 36 se muestra el vertedero laberinto con eje recto.

Imagen36 Geometría en planta del vertedero en laberinto.



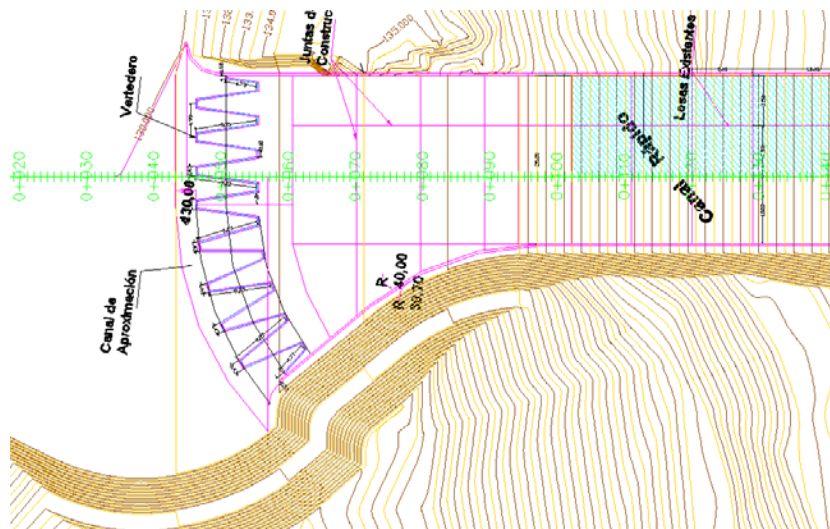
FUENTE: **PROYECTO DE UN NUEVO ALIVIADERO CON VERTEDERO EN LABERINTOS PARA EL EMBALSE DEL RÍO PAO EN LA Balsa.** Ing. José de Jesús Gaspar e Ing. Verónica Valera.

La geometría del vertedero en laberinto con eje recto, ha sido utilizada en la Presa de María Cristina, ubicada en Castellón – España. La finalidad de dicho vertedero es conseguir una gran longitud efectiva para la descarga en un ancho dado, con una disposición en planta en zig-zag. Normalmente la lámina cae libremente, para lo cual el parapeto aguas abajo del vertedero es vertical. El agua se recoge al pie y se le hace confluir hacia la conducción. Vale la pena comentar al lector que la denominación “laberinto” es la más usada internacionalmente, sin embargo no la más apropiada por su forma en zig-zag.

3. Vertedero en laberinto con eje combinado.

Como tercera alternativa, presentan el vertedero en laberinto con eje combinado. Éste consiste en combinar un tramo recto de 20,4m y uno en forma de arco de circunferencia de 36,3m, en los cuales se encuentran 8 módulos y se tiene una longitud efectiva 179m. Igualmente, presenta una altura en el vertedero de 2,00m. En la Imagen 37 se muestra el vertedero en laberinto con eje combinado.

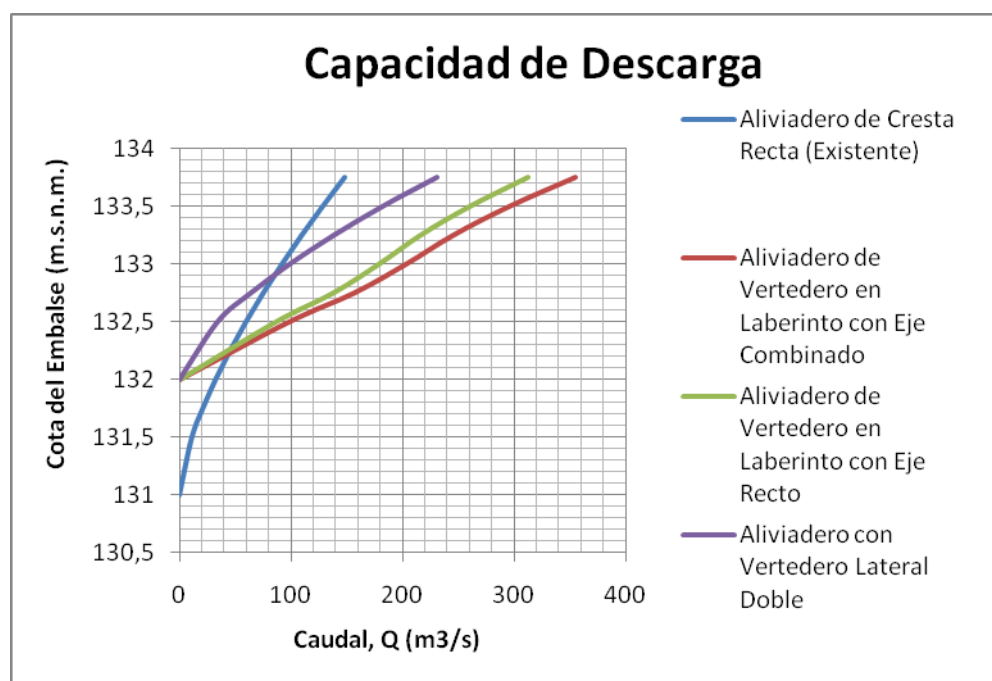
Imagen37 Geometría en planta del vertedero en laberinto con ejes combinado.



ELABORADO POR: ING. VERÓNICA VALERO CAMPOS Y RAÚL CABRITA FIGUERA

El vertedero en laberinto con eje combinado, es la alternativa que luce más atractiva, ya que maximiza la descarga de los excesos de agua y minimiza la excavación en roca en el estribo derecho de la presa. En el Gráfico 10, se muestra la superioridad en cuanto descarga del aliviadero con vertedero en laberinto con eje combinado, respecto a las otras alternativas, incluyendo el aliviadero actual del Embalse Pao – La Balsa. Además, seguidamente se muestra en la Tabla10 comparando los metros cúbicos de roca a excavar para las alternativas del aliviadero con vertedero en laberinto con eje recto versus el aliviadero con vertedero en laberinto con eje combinado.

Gráfico 10 Comparación de capacidades de descargas de los distintos vertederos existentes y el aliviadero actual del Embalse Pao - La Balsa.



FUENTE: Ing. José de Jesús Gaspar

Tabla 10 Volumen de corte de las propuestas de aliviadero de vertedero en laberinto.

Propuesta de aliviadero	Volumen de corte total (m ³)
Vertedero en Laberinto con Eje Recto	42,501.00
Vertedero en Laberinto con Eje Combinado	35,477.00

FUENTE: Ing. José de Jesús Gaspar y Raúl Cabrita

F. Inspecciones realizada al Embalse Pao - La Balsa

El Embalse Pao – La Balsa, durante los años 2006, 2007 y en lo que va del año 2008, ha sido sujeto a varias inspecciones visuales, a solicitud del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente MINAMB. Dichas inspecciones fueron ejecutadas por organismos y expertos sobre la materia de inspección de embalses, entre los cuales se pueden nombrar: equipos de ingenieros de la Dirección de Estudios y Proyectos del MINAMB, Laboratorio Nacional de Hidráulica LNH, Ing. José De Jesús Gaspar, Ing. Arturo Marcano y el Ing. Diego Ferrer, por nombrar algunos.

En tal sentido, y para efectos del presente trabajo especial de grado, se recopilaron fotografías de esas inspecciones en distintas fechas, especialmente, en épocas antes, durante y después de períodos lluviosos, y combinadas con la experiencia de participar en una (1) de esas inspecciones, permite describir el estado actual del Embalse Pao – La Balsa.

1. Criterios de clasificación internacional

Para describir el estado actual del Embalse Pao – La Balsa, se utilizarán como base, el aspecto visual de las obras de embalse reflejado en las fotografías disparadas al momento de la inspección, para luego establecer el estado de esas obras mediante criterios aceptados internacionalmente. Dichos criterios son utilizados por el Ing. Arturo Marcano, en su informe “INSPECCIÓN VISUAL A LAS OBRAS DE EMBALSE PAO – LA Balsa”, en julio de 2007, y será aplicado a todo el registro fotográfico.

En tal sentido, los criterios son:

- Satisfactorio: La estructura cumple su función y no requiere de mantenimiento.
- Aceptable: La estructura cumple su función y requiere algún mantenimiento.
- Pobre: La estructura puede operarse con riesgo, requiere mantenimiento mayor o modificación.
- Insatisfactorio: La estructura no cumple su función, el riesgo de operación es alto, requiere remplazo o reconstrucción.

La clasificación de cada una de las estructuras o elementos que conforman las obras del Embalse Pao – La Balsa, se muestran en el anexo fotográfico y se resume a continuación.

2. Resultados de inspección visual

Cinco (5) inspecciones fueron consideradas para el presente trabajo de grado, las cuales fueron realizadas en fechas: 01 de septiembre de 2006, 02 de marzo de 2007, 08 de junio de 2007, 26 de febrero de 2008 y 12 de marzo de 2008; y luego

del análisis de las imágenes capturadas en fotografías, se presenta a continuación los resultados.

a) Embalse.

En ciertas imágenes, se observa que el embalse presenta una coloración verde en las aguas, lo cual presume la presencia de algas. Se considera, que debido a la importancia estratégica del Embalse Pao – La Balsa para el Sistema Regional del Centro, existe un monitoreo continuo en la calidad de las aguas, sin embargo un posible deterioro de estas se puede presentar; probablemente por la cercanía de la estación de bombeo de las aguas negras del Municipio Pao, la cual en períodos de lluvia se inunda con las aguas del embalse; además, el posible vertido de contaminantes aguas arriba del embalse.

b) Presa.

(1) Talud aguas arriba.

El proyecto original contemplaba que el talud aguas arriba estaría protegido con enrocado, lo cual contrasta con la carpeta de concreto que se construyó en dicho talud. Durante las inspecciones se observaron, que las juntas de esta carpeta de concreto se encuentran totalmente abiertas, desecadas y cubiertas por maleza. En el tope de la presa, se colocó un parapeto de unos 80.00cm de altura que protege adicionalmente contra el oleaje. La junta entre el parapeto y la losa del talud aguas arriba está abierta y requiere mantenimiento.

(2) Talud aguas abajo.

Se distinguen tres áreas: hacia el estribo izquierdo no presenta ninguna anomalía, hacia el centro se observa los restos de los trabajos de reparación realizados a partir del incidente de 1996 y hacia el estribo derecho, en la zona de contacto con el aliviadero, se ha colocado una membrana plástica que previene la erosión de la cara del relleno del flujo que eventualmente pueda rebosar desde los muros del rápido del aliviadero para grandes caudales. En la zona del deslizamiento se instalaron dos piezómetros. Aguas abajo, ya en la zona cercana a la carretera de acceso se encuentra

un canal construido aparentemente para conducir las filtraciones o aguas pluviales. No se observa un sistema de recolección de las filtraciones ni de su medición.

(3) Estribo izquierdo.

A nivel de la cresta de la presa, luce en buenas condiciones. Aguas arriba, del lado del embalse se colocó una escollera que luce suficiente para proteger el estribo de erosión por oleaje y, durante el lento proceso de ascenso y descenso del nivel del embalse.

(4) Estribo derecho.

Este es el sitio donde existe el contacto de la presa con el aliviadero. Actualmente, hay elementos de cesta de gaviones que fueron puestos para prevenir el paso del flujo durante la creciente del año 2005. Esta condición limita la operación del aliviadero que deberá ser reducida hasta que se sobre-eleven los muros.

(5) Cresta de presa.

La cresta de la presa luce en buenas condiciones, ya que no se apreciaron grietas, asentamientos.

c) Obras de alivio.

(1) Canal de aproximación.

El conocer el estado de la rasante del canal de aproximación es difícil debido a la presencia de maleza, rocas, etc.

(2) Estribos del canal de aproximación del aliviadero.

El estribo izquierdo del aliviadero luce en buen estado. Sin embargo, aguas arriba de este estribo se dejó aparentemente un tramo de roca recubierto con concreto que evidentemente obstaculiza la aproximación del flujo al aliviadero. Este obstáculo genera separación del flujo en ese estribo, vorticidad, disminución de descarga ya que aumenta las pérdidas de energía, y mal funcionamiento del aliviadero tanto en la sección de control como en los tramos aguas abajo.

El estribo derecho del aliviadero luce en buen estado. Por otro lado, la protección de la superficie de la excavación está partida en varias partes y requiere un mantenimiento mayor.

(3) *Cresta y rápido del aliviadero.*

La estructura de control y la cresta del aliviadero están en buen estado. Aguas abajo de la cresta se aprecia el movimiento de la losa en el rápido y se comienza a notar de manera generalizada la apertura de las juntas de las losas de concreto que constituye la superficie del aliviadero.

(4) *Muros del aliviadero.*

Algunas de las juntas de los muros se encuentran abiertas por pérdidas del material de relleno. Además, en el tramo medio del rápido se colocaron bolsas de arena debido que en el año 2005 se evidenció la poca altura de los muros para los caudales de alivio, en la cara de la presa anexa al aliviadero se colocó una membrana plástica para prevenir daños en la presa por desbordamiento del flujo sobre los muros de conducción.

(5) *Pozo disipador.*

La estructura de disipación estuvo inundada en las inspecciones, pero se resalta el movimiento del muro derecho dentro del flujo. Por otro lado, encima del disipador se encuentra el puente de acceso a la estación de bombeo Pao I, el cual está bajo y podría obstaculizar el flujo para grandes caudales de alivio.

(6) *Canal de descarga del aliviadero.*

La protección del canal de descarga se encuentra en buen estado.

d) Torre toma.

Esta se encuentra en buenas condiciones de mantenimiento y en condiciones aparente de total operatividad.

e) Descarga de fondo.

En cuanto la descarga de fondo, se observa operativa la válvula que descarga el caudal ecológico al Río Pao. Ésta, para el momento que se realizaron las inspecciones, estuvo en funcionamiento, evitando así conocer el estado físico de la

tubería de la descarga de fondo. Por esta razón, se recomienda inspeccionar la tubería de la descarga de fondo, ya que es de vital importancia su buen funcionamiento para lograr el pre-vaciado del embalse y reducir el alivio; debido a la condición actual del aliviadero, que fue comentado anteriormente.



Capítulo VI: Rendimiento del Embalse Pao – La

Capítulo VI.- Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

VII. Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

Este capítulo trata el rendimiento del embalse. Objeto fundamental de este trabajo especial de grado.

En el capítulo II, se definió el rendimiento como la cantidad de agua que puede proporcionar el embalse en un intervalo de tiempo específico. Un aspecto importante en la evaluación del embalse es el conocer la relación entre el rendimiento y la capacidad del embalse para el evaluar o definir el: vaso de almacenamiento, estudiar la posible modificación en el nivel de agua normal y otros aspectos de interés para el aprovechamiento.

En tal sentido, para conocer el rendimiento del Embalse Pao – La Balsa, se hará uso de la curva de área-capacidad más actualizada, conjuntamente con el movimiento de embalse a distintas cotas.

A. Curva de área-capacidad.

La curva de área-capacidad, es una representación de la capacidad y área inundación del embalse en función de la cota inundada. Durante la búsqueda de información del presente trabajo se recopilieron dos (2) curvas de área-capacidad. Éstas fueron facilitadas por la Dirección de Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, perteneciente a la Dirección General de Cuencas Hidrográficas del MINAMB, obtenidas a partir de las batimetrías realizadas en los años de 1988, y la más actual del año 2006. La Batimetría es la ciencia que mide las profundidades en los cuerpos de agua para determinar la topografía del fondo, y así obtener una carta batimétrica. La carta batimétrica es un mapa que representa la forma del fondo de un cuerpo de agua.

A continuación se comenta cada curva área-capacidad.

1. Curva de área-capacidad del año 1988.

A diez años de la puesta en servicio el Embalse Pao – La Balsa. El resultado de esa batimetría, permitió obtener información para el desarrollo de la curva de área capacidad para el año 1988. Ésta información se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11 Área - Capacidad del Embalse Pao - La Balsa, año 1988

Cota (m.s.n.m.)	Capacidad (10⁶ m³)	Área (Ha)
112,00	0,00	0,00
113,00	0,34	163,37
114,00	3,94	298,53
115,00	8,00	444,05
116,00	12,76	601,10
117,00	18,48	770,32
118,00	25,00	981,56
119,00	34,50	1169,80
120,00	43,93	1357,49
121,00	56,03	1581,88
122,00	70,36	1821,68
123,00	87,17	2077,55
124,00	106,73	2350,13
125,00	129,29	2640,07
126,00	155,09	2948,03
127,00	184,40	3274,64
128,00	217,47	3620,55
129,00	254,56	3989,84
130,00	295,92	4372,92
131,00	341,80	4780,66
132,00	392,46	5210,30
133,00	448,15	5662,40

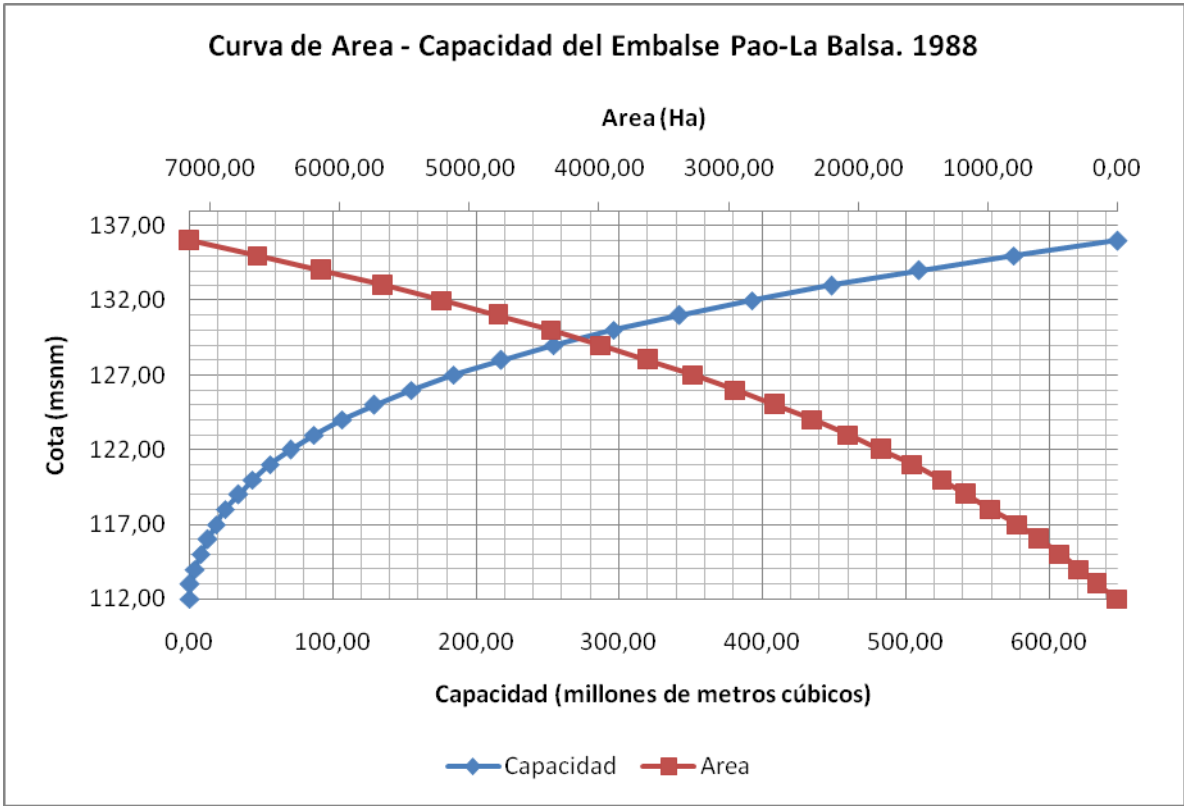
Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

134,00	509,14	6137,39
135,00	575,67	6637,13
136,00	647,99	7160,38

FUENTE: DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Con la información mostrada en la Tabla 11, se desarrolla la curva de área – capacidad del Embalse Pao - La Balsa del año 1988, la cual permite conocer de manera gráfica la variación de las áreas inundadas y de los volúmenes disponibles respecto a las distintas cotas del embalse para ese entonces. La curva se presenta en el Gráfico 11.

Gráfico 11 Curva de Área-Capacidad del Embalse Pao - La Balsa. 1988



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

A partir de la lectura de la curva, se observa que para el año 1988, el embalse tenía un volumen de $341.80 \times 10^6 \text{ m}^3$, con un área de inundación de 4780,66 Ha para el actual nivel de agua normales de 131,00 m.s.n.m. Además, una

capacidad muerta de $25,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ para la cota 118,00 m.s.n.m. con área de depósito para sedimentos de 981,56 Ha, dando como capacidad útil del embalse $319,80 \times 10^6 \text{ m}^3$.

2. Curva de área-capacidad del año 2006.

De igual manera, a solicitud de la Dirección de Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, perteneciente a la Dirección General de Cuencas Hidrográficas del MINAMB. En el año 2006 se realiza una batimetría para conocer la topografía del fondo del embalse, y obtener así la curva de área-capacidad más actual que se posee del Embalse Pao – La Balsa. En la Tabla 12 se muestran los valores actualizados para el desarrollo de la curva área-capacidad para el año 2006.

Tabla 12 Área - Capacidad del Embalse Pao - La Balsa, año 2006.

Cota (m.s.n.m.)	Capacidad (10^6 m^3)	Área (Ha)
112,00	0,00	0,00
113,00	0,07	11,35
114,00	0,46	66,69
115,00	1,97	235,48
116,00	5,27	424,67
117,00	10,24	570,42
118,00	16,76	733,50
119,00	25,19	951,45
120,00	35,61	1132,60
121,00	47,70	1284,24
122,00	61,67	1510,51
123,00	77,98	1751,00
124,00	97,40	2131,77
125,00	120,21	2430,13
126,00	146,29	2785,21
127,00	175,87	3130,46
128,00	208,79	3453,51

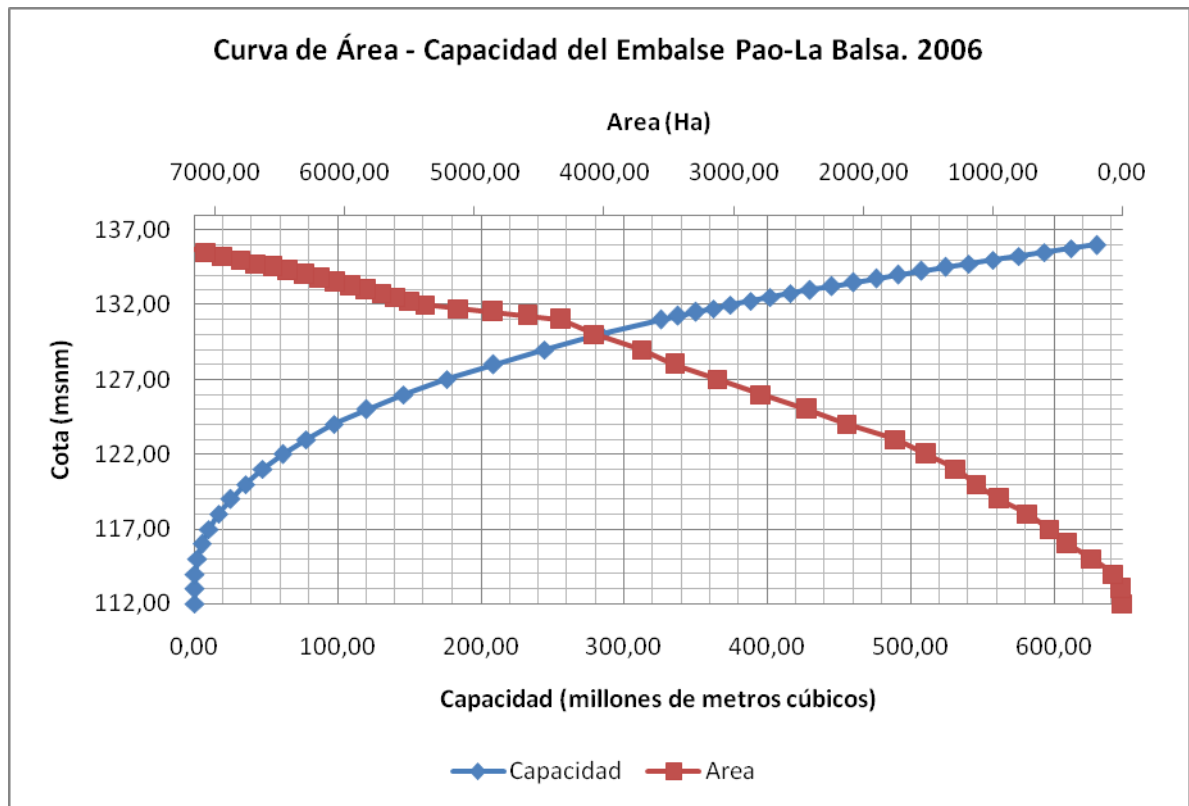
Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

129,00	244,62	3712,75
130,00	283,56	4075,16
131,00	325,59	4331,15
131,25	337,73	4593,78
131,50	349,87	4859,82
131,75	362,01	5119,05
132,00	374,15	5381,68
132,25	388,07	5494,71
132,50	402,00	5607,73
132,75	415,92	5720,76
133,00	429,84	5833,78
133,25	445,09	5952,53
133,50	460,34	6071,28
133,75	475,58	6190,02
134,00	490,83	6308,77
134,25	507,46	6433,71
134,50	524,10	6558,64
134,75	540,73	6683,58
135,00	557,36	6808,51
135,25	575,44	6939,32
135,50	593,52	7070,14
135,75	611,60	7200,95
136,00	629,68	7331,76

FUENTE: DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

De manera similar que en la curva de área – capacidad del Embalse Pao - La Balsa del año 1988, se desarrolla una curva a partir de los valores de la Tabla 12 para así obtener la curva de área – capacidad del Embalse Pao - La Balsa del año 2006, la más actualizada para el momento de la culminación de este trabajo especial de grado. Ésta se muestra en el Gráfico 12.

Gráfico 12 Curva de Área-Capacidad del Embalse Pao - La Balsa. 2006



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

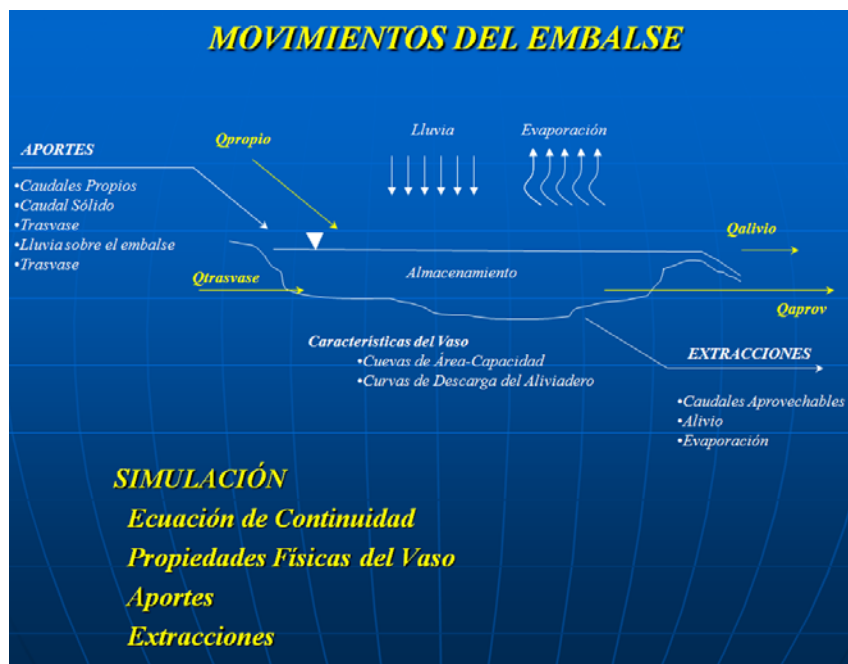
En el Gráfico 12, se observa que para el actual nivel de agua normales de 131,00 m.s.n.m., el embalse posee un volumen de $325,59 \times 10^6 \text{ m}^3$, con un área de inundación de 4331,15 Ha; una capacidad muerta de $16,76 \times 10^6 \text{ m}^3$ con área de depósito para sedimentos de 733,50 Ha, dando como capacidad útil del embalse para el año 2006 de $308,83 \times 10^6 \text{ m}^3$.

En tal sentido, y haciendo una comparación entre las curvas de área – capacidad de 1988 y de 2006, se puede decir que la capacidad útil del Embalse Pao – La Balsa se ha reducido en un 2,52% a lo largo de 18 años. Lo cual se puede considerar aceptable, debido a que el embalse lleva 36,0% de su vida útil ya cumplida, permitiendo destinar una capacidad muerta de $16,76 \times 10^6 \text{ m}^3$, según batimetría del año 2006, para los próximos 32 años de vida útil.

B. Movimiento del Embalse Pao – La Balsa.

Para obtener el nuevo nivel de agua normal en el Embalse Pao – La Balsa, se opta por realizar la técnica del movimiento secuencial estocástico, la cual es la más utilizada porque da como resultado la garantía de que una determinada disponibilidad con una capacidad definida, pueda suplir unas demandas conocidas. Ésta técnica fue explicada en el capítulo II, que se refiere al Marco Teórico y se ilustra en la siguiente imagen.

Imagen38 Movimiento del Embalse



FUENTE: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE TIERRA. ING. DIEGO FERRER E ING. SERGIO MARÍN.

Según la Imagen 38, se observa que para realizar un movimiento del embalse es necesario conocer: los aportes, las extracciones y las características del vaso de almacenamiento.

Los aportes vienen dados por: los caudales propios, trasvases, lluvias sobre el embalse, etc. Las extracciones son: los caudales aprovechables, alivios y la

evaporación. Y por último, la característica del vaso de almacenamiento, donde es importante conocer la curva de área-capacidad.

En lo que se refiere al Embalse Pao – La Balsa, a continuación se explicará con detalle cada aspecto que involucra el movimiento del embalse.

1. Trazas según estudio hidrológico para el proyecto del desalojo de los excedentes de alivio en el Embalse Pao – La Balsa, Estado Cojedes.

Para realizar el movimiento del embalse, se usa lo que se conocen como TRAZAS, que son un conjunto de secuencias de eventos de: escurrimiento, evaporación y precipitación. Específicamente para el Embalse Pao – La Balsa, se utilizan 10 trazas de 25 años cada una, a niveles mensuales obtenidos empleando el modelo matemático SWAT, el cual se calibra previamente a nivel diario usando, en este caso, un registro de 14 años. De esta forma se pueden evaluar hasta 250 años con distintos escenarios. El proceso de calibración del modelo matemático SWAT, por sus siglas en inglés, se explica en el capítulo VI, que se refiere a la Cuenca del Río Pao.

Las trazas utilizadas para el movimiento del embalse, se pueden observar en el anexo.

2. Demandas según HIDROCENTRO.

Para definir la demanda del intervalo específico que se está evaluando. Se utiliza la información facilitada por la empresa hidrológica HIDROCENTRO, administradora del Embalse Pao – La Balsa. En sus reportes dan a conocer, que desde el año 2001 están extrayendo del embalse hasta $7,5\text{m}^3/\text{s}$ con la capacidad mecánica (equipos de bombas) que poseen actualmente. Además, también informan que quieren incrementar su extracción hasta $15,0\text{m}^3/\text{s}$, ya que tienen proyectado aumentar la capacidad mecánica en los próximos años.

El caudal regulado por el Embalse Pao – La Balsa es $9,8\text{m}^3/\text{s}$. Según HIDROCENTRO el caudal ecológico es $2,04\text{ m}^3/\text{s}$, equivalente al 21% del caudal regulado.

Para complementar la información sobre la demanda. Se revisa el informe: “*ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA DE LOS CENTROS POBLADOS UBICADOS DENTRO DE LA HOYA HIDROGRÁFICA DEL LAGO DE VALENCIA*”, elaborado por CALTEC S.C. en el año 2005, donde establecen que la demanda máxima a satisfacer para estos poblados para el año 2025 se estima en $11,2\text{ m}^3/\text{s}$, la cual es inferior en un 25,33% al caudal de $15,0\text{ m}^3/\text{s}$ que estima incrementar HIDROCENTRO.

3. Curva de área- capacidad del Embalse Pao – La Balsa.

La curva área-capacidad utilizada para el movimiento del embalse es la obtenida según la batimetría del año 2006. (Ver Gráfico 12)

C. Resultados del movimiento del embalse.

Luego de realizar el movimiento del Embalse Pao – La Balsa, para distintos escenarios con caudales de extracción uniformes y permanentes de: $7,5\text{ m}^3/\text{s}$, $8,0\text{ m}^3/\text{s}$, $9,0\text{ m}^3/\text{s}$, $10,0\text{ m}^3/\text{s}$, $11,2\text{ m}^3/\text{s}$ y $15,0\text{ m}^3/\text{s}$, destinados a satisfacer las demandas de: abastecimiento, riego y caudal ecológico. Se calcula el porcentaje promedio de seguridad de suministro en función de los niveles de agua del embalse: 131,00 m.s.n.m., 131,50 m.s.n.m., 132,00 m.s.n.m., 132,50 m.s.n.m., 133,00 m.s.n.m. y 133,50 m.s.n.m.; con volúmenes de embalse: $325,59 \times 10^6\text{ m}^3$, $332,02 \times 10^6\text{ m}^3$, $374,15 \times 10^6\text{ m}^3$, $402,00 \times 10^6\text{ m}^3$, $429,84 \times 10^6\text{ m}^3$ y $460,34 \times 10^6\text{ m}^3$, respectivamente. Se obtuvieron resultados que se resumen en las Tablas 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

Tabla 13 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 7,5 m³/s

Qextr	7,5												
TRAZAS													
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	% PROMEDIO DE SEGURIDAD DE SUMINISTRO	
131,00	325,59	0,00	2,00	3,00	0,30	1,30	3,00	2,30	4,00	0,70	0,00	98,34	
131,50	332,02	0,00	2,00	3,00	0,00	1,00	2,70	2,30	4,00	0,70	0,00	98,43	
132,00	374,15	0,00	0,30	2,00	0,00	0,00	2,00	1,30	2,00	0,30	0,00	99,21	
132,50	402,00	0,00	0,30	1,70	0,00	0,00	1,70	1,00	2,00	0,00	0,00	99,24	
133,00	429,84	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	1,30	0,00	1,70	0,00	0,00	99,30	
133,50	460,34	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	1,00	0,00	1,70	0,00	0,00	99,36	

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Tabla 14 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 8,0 m³/s

Qextr	8												
TRAZAS													
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	% PROMEDIO DE SEGURIDAD DE SUMINISTRO	
131,00	325,59	0,30	2,30	3,70	0,70	1,70	4,00	3,00	5,30	1,00	0,00	97,80	
131,50	332,02	0,00	2,00	3,70	0,30	1,30	4,00	2,70	5,00	1,00	0,00	98,00	
132,00	374,15	0,00	1,30	3,30	0,00	1,00	3,70	2,00	4,00	0,70	0,00	98,40	
132,50	402,00	0,00	0,30	2,70	0,00	0,00	3,00	1,70	3,70	0,30	0,00	98,83	
133,00	429,84	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	3,00	1,30	2,70	0,00	0,00	99,07	
133,50	460,34	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	2,30	0,30	2,70	0,00	0,00	99,27	

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Evaluación del rendimiento del Embalse Pao – La Balsa para el período de funcionamiento 2007-2025.

Tabla 15 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 9,0m³/s

Qextr	9	TRAZAS												
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	% DE CONFIABILIDAD	PROMEDIO	
131,00	325,59	1,30	4,00	7,00	4,30	2,70	6,70	4,30	8,00	4,00	2,70	95,50		
131,50	332,02	1,30	3,70	7,00	4,30	2,70	6,70	4,00	8,00	4,00	2,00	95,63		
132,00	374,15	0,30	2,70	6,70	3,00	2,30	5,70	3,30	7,30	2,30	0,30	96,61		
132,50	402,00	0,00	2,70	6,00	2,30	2,00	5,00	2,70	6,70	1,70	0,00	97,09		
133,00	429,84	0,00	1,70	5,70	1,70	1,70	5,00	2,30	5,70	1,70	0,00	97,45		
133,50	460,34	0,00	1,00	5,00	1,30	0,70	4,70	2,00	5,30	1,00	0,00	97,90		

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Tabla 16 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 10,0 m³/s

Qextr	10	TRAZAS											%	PROMEDIO
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		DE SEGURIDAD	DE SUMINISTRO
131,00	325,59	3,70	4,70	11,30	7,30	4,00	10,70	6,00	11,70	7,30	5,70	92,76		
131,50	332,02	3,70	4,30	11,00	7,30	4,00	10,70	6,00	11,70	7,00	5,70	92,86		
132,00	374,15	3,00	3,70	10,70	6,70	3,70	8,70	5,00	11,00	6,30	4,30	93,69		
132,50	402,00	2,70	3,30	10,30	5,00	3,30	8,70	4,70	10,30	5,70	3,00	94,30		
133,00	429,84	2,00	2,70	10,00	4,70	3,00	8,30	3,70	9,70	5,70	2,00	94,82		
133,50	460,34	1,30	2,00	9,30	4,00	2,70	8,30	3,00	9,70	4,30	1,30	95,41		

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Tabla 17 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 11,2 m³/s

Qextr	11,2	TRAZAS											% PROMEDIO DE SEGURIDAD DE SUMINISTRO
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
131,00	325,59	10,00	6,30	14,30	14,30	8,70	16,30	11,30	15,00	12,30	11,70	87,98	
131,50	332,02	9,70	6,00	14,30	14,00	8,70	16,30	11,30	14,70	12,30	10,70	88,20	
132,00	374,15	8,70	5,00	13,70	12,30	7,00	15,00	10,00	13,70	11,70	8,30	89,86	
132,50	402,00	7,70	4,70	13,30	11,30	6,00	14,70	9,00	13,00	11,00	7,30	90,20	
133,00	429,84	7,70	4,00	12,70	11,00	6,00	14,00	8,30	13,00	10,70	7,30	90,53	
133,50	460,34	7,30	3,70	12,70	11,00	5,30	13,70	7,70	12,30	10,30	6,30	90,97	

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

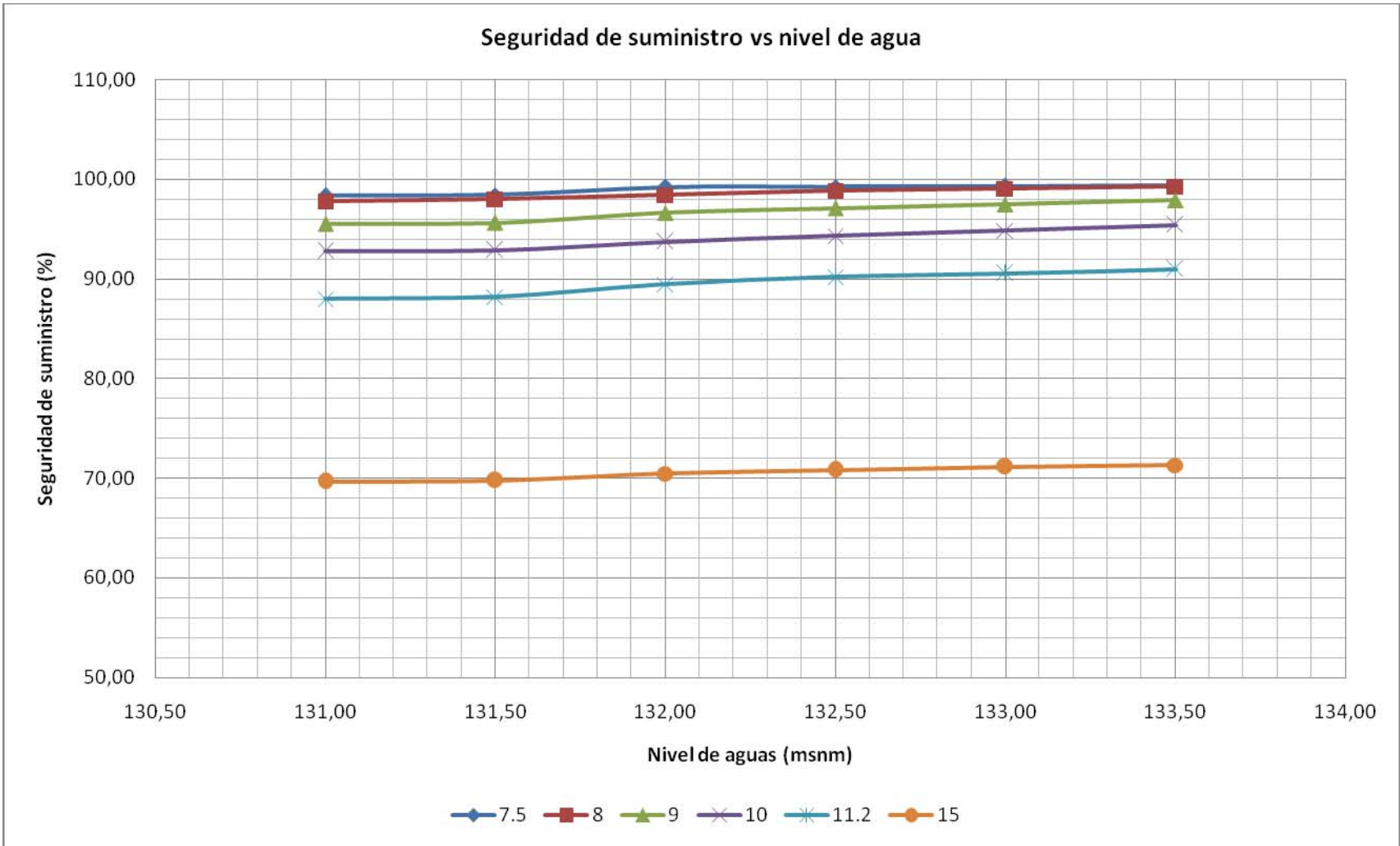
Tabla 18 Promedio de seguridad de suministro para caudal extraído 15,0 m³/s

Qextr	15												
TRAZAS													
COTA [m.s.n.m.]	Volumen [10^6 m^3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	% PROMEDIO DE SEGURIDAD DE SUMINISTRO	
131,00	325,59	31,70	24,30	30,70	31,30	27,30	36,70	31,70	24,70	31,70	33,30	69,66	
131,50	332,02	31,70	24,00	30,70	31,30	27,30	36,70	31,70	24,00	31,70	33,00	69,79	
132,00	374,15	31,00	23,70	30,00	31,00	26,00	36,30	30,70	22,70	31,00	33,00	70,46	
132,50	402,00	30,30	23,00	29,30	31,00	25,30	36,30	30,70	22,30	30,70	32,70	70,84	
133,00	429,84	30,00	22,70	29,30	30,70	24,30	36,30	30,30	21,70	30,70	32,70	71,13	
133,50	460,34	30,00	22,70	29,00	30,70	23,70	36,30	30,30	21,30	30,30	32,70	71,30	

ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

A partir de los resultados obtenidos y mostrados en las Tablas 13, 14, 15, 16, 17 y 18. Se genera el Gráfico 13, donde se relaciona la seguridad de suministro vs el nivel de agua del Embalse Pao – La Balsa. De esta manera se identifica fácilmente la variación de la seguridad de suministro a medida que se incrementa el volumen del embalse, dado por el nivel de agua.

Gráfico 13 Seguridad de suministro vs nivel de agua normales.



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

Del análisis de los datos representados en el Gráfico 13 se observa que para los distintos caudales a extraer del embalse, existe un aumento apreciable en la seguridad de suministro desde el nivel de agua 131,00 m.s.n.m. hasta el nivel de agua 132,00 m.s.n.m. Ese comportamiento se nota especialmente en las curvas para los caudales extraídos: 9,0 m³/s, 10,0 m³/s y 11,2 m³/s. Para los otros caudales, el comportamiento es más ligero.

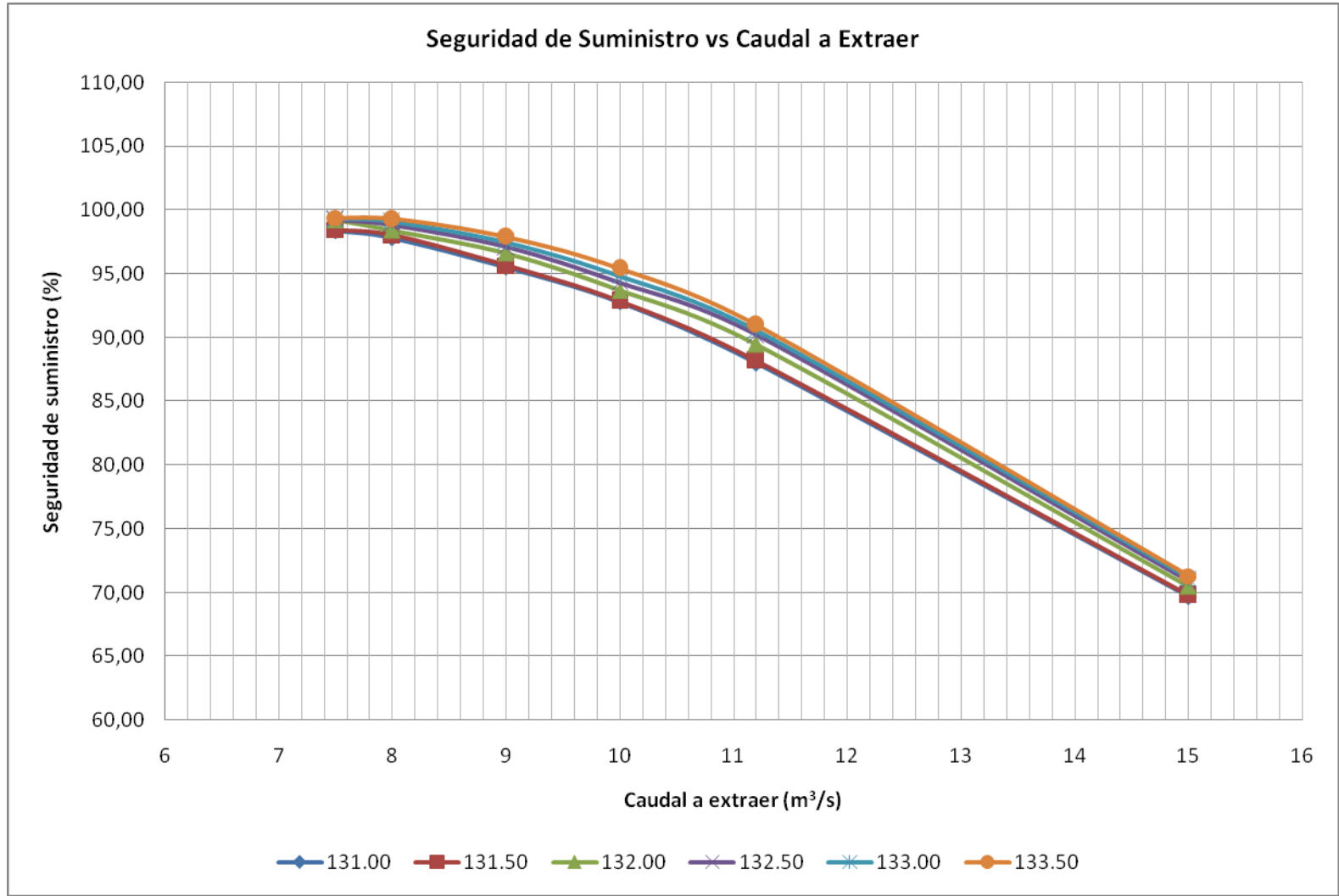
Adicionalmente, se puede observar la caída de la seguridad de suministro a medida que se aumenta el caudal a extraer del embalse, como es de esperar. El caso más extremo donde se refleja esa caída en la seguridad de suministro es en la curva del caudal de 15,0 m³/s, ya que si se compara con la curva del caudal de 7,5 m³/s, hay una diferencia de 28,63 puntos porcentuales para un mismo nivel de agua (131,00 m.s.n.m.). Caso contrario ocurre, cuando se compara la caída de la seguridad de suministro de la curva correspondiente al caudal de 7,5 m³/s y la curva del caudal de 9,0 m³/s; donde al incrementar en 1,5 m³/s el caudal a extraer, la seguridad de suministro cae en 2,60 puntos porcentuales para el mismo nivel de agua (132,00 m.s.n.m.).

A partir de nivel de agua 132,00 m.s.n.m. en adelante, se observa un comportamiento parecido en todas las curvas. Se observa que a partir de ese nivel, el incremento de seguridad de suministro no es tan apreciable como se evidenció anteriormente con el incremento del volumen del embalse, dado por los niveles de agua 131,00 m.s.n.m. hasta el 132,00 m.s.n.m. El incremento que se observa a partir del nivel 132,00 m.s.n.m. en adelante es poco significativo, el cual permite establecer que la ganancia en cuanto a seguridad de suministro es más representativa cuando se incrementa el volumen dado por el nivel de 131,00 m.s.n.m. hasta el 132,00 m.s.n.m.

Otra manera de visualizar los resultados obtenidos a partir del movimiento del embalse, es relacionando la seguridad de suministro vs el caudal a extraer para los niveles de agua del embalse. Con este tipo de gráfico se visualiza el comportamiento del embalse a medida que se incrementa el caudal a extraer para un mismo nivel de

agua del embalse. Generalmente, la curva que se genera es decreciente, ya que a mayor caudal a extraer, menor es la seguridad de suministro para un mismo nivel de agua. A continuación se presenta el Gráfico 14 que se desarrolla para mostrar dicha relación.

Gráfico 14 Curva de seguridad de suministro.



ELABORADO POR: RAÚL CABRITA FIGUERA

En el Gráfico 14 se tienen seis (6) curvas, las cuales corresponden a los seis (6) niveles de agua evaluados para el movimiento del embalse. En ese gráfico se reafirma el comportamiento decreciente en cuanto a la seguridad de suministro a medida que se incrementa el caudal a extraer para un mismo nivel de agua. También se observa que a medida que se incrementa el nivel de agua, la seguridad de suministro aumenta para un mismo caudal a extraer.

A partir de la información obtenida con el movimiento del embalse. Se establece el rendimiento del embalse, y se resume a continuación.

D. Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

La estimación del rendimiento hoy en día, tiene necesariamente que venir ligado a términos probabilísticos. La razón es que si se plantea hacer un embalse, modificar el nivel de agua normal a uno existente, etc.; es necesario conocer la cantidad de agua que puede proporcionar el embalse en un intervalo de tiempo específico con una seguridad de suministro establecida.

En tal sentido, considerando el resultado del movimiento del embalse comentando en la sección anterior. Y estableciendo el valor probabilístico de 95% de acuerdo al uso del Embalse Pao – La Balsa, resulta lo siguiente:

1. Del Embalse Pao – La Balsa, los caudales máximos posibles a extraer son: 7,5 m³/s, 8,0 m³/s, 9,0 m³/s y hasta 10,0 m³/s para así mantener una seguridad de suministro superior a 95%.
2. Los niveles de aguas normales mínimos que permiten una seguridad de suministro superior a 95% para los caudales máximos posibles a extraer del embalse son: 131,00 m.s.n.m. para 7,5 m³/s, 131,00 m.s.n.m. para 8,0 m³/s, 131,00 m.s.n.m. para 9,0 m³/s y 133,50 m.s.n.m. para 10,0 m³/s, respectivamente.
3. Para caudales superiores a 10,0 m³/s, la seguridad de suministro es inferior al 95%. La más cercana a la fijación probabilística es cuando se extrae del embalse hasta 11,2 m³/s, con una seguridad de suministro de 90,57%, equivalente a 4,43 puntos porcentuales por debajo de la probabilidad fijada.

Además, el nivel de agua normal estaría establecido en la cota 133,50 m.s.n.m. Superior al nivel de aguas máximo establecido en el Proyecto del Embalse Pao – La Balsa.

4. Para el caudal de $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual estima extraer del Embalse Pao – La Balsa en los próximos años la empresa hidrológica HIDROCENTRO, estaría comprometida la seguridad de suministro, ya que si se mantiene el nivel de agua normal actual, para una demanda continua de $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ la seguridad de suministro sería de 69,66%; 25,34 puntos porcentuales por debajo de la probabilidad fijada.

A partir de lo comentado anteriormente, es conveniente generar una serie de curvas donde el nivel de agua normal y el caudal a extraer estén relacionados mediante la seguridad de suministro; de tal manera se obtiene la “CURVA DE RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO – LA Balsa”. Mostrada en el Gráfico 15.

Del Gráfico 15 se puede interpretar lo siguiente:

1. No se llega a obtener una seguridad de suministro en 100%. El máximo porcentaje se obtiene cuando se extrae hasta $7,50 \text{ m}^3/\text{s}$ del embalse a un nivel de agua normal de 133,50 m.s.n.m.
2. A medida que se incrementa el caudal a extraer, se observa que la seguridad de suministro cae lentamente hasta el caudal de $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$. La caída del porcentaje de seguridad de suministro se incrementa a partir del caudal a extraer de $10,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Este comportamiento se observa debido al espacio entre las curvas de rendimiento: 99,0%, 98,0%, 97,0%, 96,0%, 95,0% y 94,0%, en las cuales existe una separación entre ellas mayor que el que se presenta a partir de la curva de rendimiento 94,0% hasta la curva de rendimiento 71,0%.
3. La curva de rendimiento 99,0%, válida para caudales a extraer que están en el rango de: $7,50 \text{ m}^3/\text{s}$ y $8,20 \text{ m}^3/\text{s}$; presenta una silueta distinta a las otras curvas. La razón a este comportamiento obedece a que la seguridad de suministro varía muy poco a pesar de que se incrementa el caudal a extraer ó el nivel de agua normal.
4. En la curva de rendimiento 98,0%, se observa un comportamiento lineal creciente. El cual permite visualizar que a medida que aumenta el caudal a extraer a partir de $7,30 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $8,90 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente, se va a mantener la misma seguridad de suministro a medida que aumento el nivel de agua normal.
5. En la curva 97,0%, se observa una silueta distinta a las dos (2) anteriores. Ésta es válida para cuando se plantea extraer del embalse un caudal que está en el rango de $8,35 \text{ m}^3/\text{s}$ y $9,36 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicha curva inicia de manera creciente con una pendiente mayor a las curvas de rendimiento 99,0% y 98,0%. Luego en el nivel de aguas 131,75 m.s.n.m., aproximadamente, dicha pendiente baja para así lograr una ganancia evidente en la posibilidad de incrementar el caudal a extraer ($0,434 \text{ m}^3/\text{s}$) respecto al caudal $8,35 \text{ m}^3/\text{s}$, garantizando la misma seguridad de suministro de 97,0%, y esto sucede en el nivel de aguas 132,00 m.s.n.m. Luego la pendiente se incrementa otra vez, hasta llegar al nivel de

aguas máximas del embalse. El incremento en el caudal a extraer, respecto a $7,50 \text{ m}^3/\text{s}$, sería aproximadamente $1,28 \text{ m}^3/\text{s}$, permitiendo extraer hasta $8,78 \text{ m}^3/\text{s}$ con una seguridad de suministro de 97,0%, para el nivel de aguas normales 132,00 m.s.n.m.

6. La curva 96,0% presenta un comportamiento parecido a la curva 97,0%. La diferencia está en que el incremento es menor, aproximadamente, $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$. Y se observa que es entre el nivel de agua 131,56 m.s.n.m. y 132,00 m.s.n.m. dicho incremento.
7. La curva de rendimiento 95,0% es aplicable a caudales a extraer que están en el rango de $9,18 \text{ m}^3/\text{s}$ y $10,11 \text{ m}^3/\text{s}$. El comportamiento es interesante, y muestra que si se incrementa el nivel de agua normal desde 131,00 m.s.n.m. hasta 131,50 m.s.n.m., la variación del caudal a extraer es prácticamente insignificante para efectos de mantener una seguridad de suministro de 95,0%. Caso contrario ocurre cuando se eleva el nivel de agua normal hasta 132,00 m.s.n.m., donde se observa que ese incremento respecto al caudal a extraer referido al nivel de 131,50 m.s.n.m. ($9,23 \text{ m}^3/\text{s}$) es aproximadamente, $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente a $9,55 \text{ m}^3/\text{s}$.
8. Desde la curva de rendimiento 95,0 hasta la curva de rendimiento 71,0, se observa un comportamiento similar. Éste consiste, en que la ganancia en el caudal a extraer no es representativo si se eleva el nivel de agua normal desde 131,00 m.s.n.m. hasta 131,50 m.s.n.m. Caso contrario ocurre cuando existe el incremento desde 131,50 m.s.n.m. hasta 132,00 m.s.n.m.; donde se sí se observan incrementos representativos en los caudales a extraer.
9. Para el caso del caudal a extraer de $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se estima como la demanda para el año 2025 en los poblados cercanos a la cuenca hidrográfica del Lago de Valencia, se observa que para el nivel de agua normal en 132,00 m.s.n.m. tiene una seguridad de suministro de 90%.



Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones.

Capítulo VII.- Conclusiones y recomendaciones.

VIII. Conclusiones.

A. Embalse Pao – La Balsa.

Las conclusiones que se refieren al estado actual del Embalse Pao – La Balsa, se basan exclusivamente en la apariencia visual de los elementos que conforman el embalse.

En tal sentido, se concluye lo siguiente:

1. Presa.

El estado de la presa en general es INSATISFACTORIO, debido al riesgo en la estabilidad del talud aguas abajo, consecuencia de la obstrucción del dren tipo chimenea ocasionado por la vía construida a pie de talud.

2. Obras de alivio.

El estado de las obras de alivio es INSATISFACTORIO debido a la necesidad de ejecutar con urgencia trabajos de reparación, rehabilitación y sustitución que garanticen la seguridad del embalse. En caso de no ejecutarlos se pone en riesgo la estabilidad de la presa, trayendo como consecuencia la ruptura de la misma, ocasionando problemas como la falta de abastecimiento a las poblaciones dependientes del Embalse Pao – La Balsa, por nombrar alguna.

3. Obras de toma y descarga.

La torre toma presenta un estado SATISFACTORIO en lo que respecta a operatividad y al estado físico de la estructura. Por otro lado, la descarga de fondo presenta un estado ACEPTABLE, condicionado exclusivamente a su operación, ya que no fue inspeccionada la tubería de la descarga.

B. Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

De los resultados y análisis desarrollados en el presente trabajo se concluye que:

- El estado INSATISFACTORIO de las obras de alivio del embalse, motiva la sustitución del mismo en corto plazo. En tal sentido, es oportuno elevar el

nivel de aguas normales, siempre y cuando esté por debajo del nivel de aguas máximas 132,50 m.s.n.m. De esta manera el beneficio a las poblaciones dependientes del embalse será reflejado en términos de seguridad de suministro para los próximos 20 años.

- Es necesario implementar medidas para la conservación de la cuenca del Río Pao, de modo de disminuir el aporte de sedimentos al embalse e incrementar el rendimiento del mismo.
- El embalse actualmente construido presenta un nivel de aguas máximas de 132,50 m.s.n.m., tal como establece el proyecto original. Este nivel impide la eventual inundación en la población El Pao ubicado en la cola del embalse. Tomando esa limitante, el nuevo nivel de aguas normales debe estar por debajo del nivel mencionado.
- Al establecer el nivel de aguas normales en 132,00 m.s.n.m., se tiene como beneficio el incremento de la capacidad útil del embalse hasta $357,39 \times 10^6 \text{ m}^3$. De esta manera aumenta la seguridad de suministro a las poblaciones del estado Aragua, Carabobo y Cojedes, dependientes del Embalse Pao – La Balsa.
- El caudal máximos promedio posibles a extraer del Embalse Pao – La Balsa durante el período 2007 - 2025 es $9,55 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal representa el 97% del caudal regulado por el Embalse Pao – La Balsa y garantiza una seguridad de suministro de 95% para el nivel de aguas normales 132,00 m.s.n.m.
- Es posible extraer del embalse hasta $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$ para la misma cota de 132,00 m.s.n.m. en el período en funcionamiento 2007 a 2025, garantizando un rendimiento de 93,69%. Sin embargo en los criterios internacionales de los embalses de sistema de abastecimiento urbano, no se recomiendan extracciones que garanticen una seguridad de suministro por debajo de 95,0%.

IX. Recomendaciones.

A. Estado actual del Embalse Pao – La Balsa.

- La Presa
 - o Inspección anual de las losas de concreto del talud aguas arriba, el mantenimiento a las juntas de la losa y del parapeto y el desmalezamiento periódico.
 - o Evitar el crecimiento de maleza en todas las áreas del talud aguas abajo, estribo derecho, cresta y talud aguas arriba.
 - o Realizar un monitoreo continuo de las filtraciones en el talud aguas abajo y en el estribo izquierdo.
- Obras de alivio.
 - o Limpiar el canal de aproximación de cualquier elemento, maleza, etc., que se encuentre sobre la cota 130,00 m.s.n.m., con el fin de garantizar la sección del proyecto.
 - o Realizar tránsitos de crecidas para el nivel de aguas normales 132,00 m.s.n.m. para así definir la longitud efectiva del aliviadero tipo laberinto que se propone como alternativa en cuanto a modificaciones del aliviadero del Embalse Pao – La Balsa.
 - o Realizar un modelo físico del aliviadero tipo laberinto con la longitud efectiva obtenida a partir del tránsito de crecidas anteriormente sugerido, tomando como nivel de alivio, el nivel de aguas normales 132,00 m.s.n.m., manteniendo así la misma filosofía de diseño del proyecto original (nivel de alivio, igual al nivel de aguas normales).
 - o Elaborar un modelo físico para el estribo izquierdo para conocer geometrías que permitan minimizar los efectos desfavorables para la operación del aliviadero.

- Realizar trabajos de reparación en las losas del rápido, para así evitar perturbaciones en el fluido a medida que transita por ese canal.
 - Rellenar las juntas abiertas en los muros de aliviadero.
 - Realizar un análisis matemático mediante el programa HEC-RAS, para así definir la altura de los muros en el rápido del aliviadero.
 - Extraer el agua estancada en el pozo dissipador para así conocer el estado actual de dicha estructura.
- Inspeccionar la tubería de la descarga de fondo para así realizar los trabajos de mantenimiento o reparación en caso de que se necesiten.

B. Rendimiento del Embalse Pao – La Balsa.

- Según estudios realizados sobre la demanda a suplir para el año 2025, exigen de un caudal de $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$, se recomienda crear otras fuentes de abastecimiento para así satisfacer dicha demanda.
- Ejecutar las obras de mantenimiento requerida para garantizar el estado SATISFACTORIO del Embalse Pao – La Balsa, garantizando así un rendimiento óptimo.
- Se recomienda construir un nuevo aliviadero con la cota de descarga de 132,00 m.s.n.m., para reducir el número de alivios causados por eventos hidrológicos, e incrementar la garantía del suministro del agua para el 2025.



Bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA.

- BOLINAGA, JUAN JOSÉ; Y COLABORADORES. “Proyectos de Ingeniería Hidráulica”. Fundación Polar. Caracas – Venezuela. 1999. Volumen 1 y 2.
- SUAREZ VILLAR, LUIS MIGUEL. “Ingeniería de Presas. Obras de Toma, Descarga y Desviaciones”. Ediciones VEGA, s.r.l. Caracas – Venezuela.
- SUAREZ VILLAR, LUIS MIGUEL. “Incidentes en las Presas de Venezuela”. Ediciones VEGA, s.r.l. Caracas – Venezuela. 2002.
- XXII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. “Libro de resúmenes extendidos”. Marcano - López Editores. Venezuela. 2006.
- FALVEY, HENRY. “HYDRAULIC DESIGN OF LABYRINTH WEIRS”. American Society of Civil Engineer. Virginia – Estados Unidos de América. 2003.
- HENDERSON, FM. “OPEN FLOW CHANNEL”. Macmillan. 1966. 552pp. Estados Unidos de América
- MARCANO, ARTURO. “Inspección visual a las obras de embalse El Pao La Balsa”. Julio 2007.



Anexos.

Registro fotográfico

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Embalse	fecha			
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa				
Título	Placa	01/09/2006	Título	Embalse	01/09/2006
		La obra fue puesta en funcionamiento en el año 1978			Embalse Pao - La Balsa.
Título	Embalse	01/09/2006	Título	Embalse	08/06/2007
					Presas del Embalse Pao - La Balsa.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Presa		fecha		
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa		ver fotografía		
Título	Presa Pao - La Balsa - Talud aguas arriba	01/09/2006	Título	Presa Pao - La Balsa - Talud aguas arriba	02/03/2007
		Se observa el crecimiento de la vegetación			Se observa luego reparación de las juntas de losa.
Título	Presa Pao - La Balsa - Talud aguas abajo	01/09/2006	Título	Presa Pao - La Balsa - Talud aguas abajo	01/09/2006
		Predominante la vegetación en el talud aguas abajo			Predominante la vegetación en el talud aguas abajo

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Presa	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Presa Pao La Balsa	02/03/2007
		Vista general de la presa. Se observa la membrana de protección
Título	Cresta de presa	10/05/2007
		Crecimiento de vegetación en cresta de presa.
Título	Parapeto de presa	02/03/2007
		Se observa reparación en la junta entre el parapeto y el talud aguas arriba de la presa.
Título	Presa Pao - La Balsa Estribo izquierdo	10/05/2007
		

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Obras de alivio	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Obra de alivio - Canal de aproximación	02/03/2007
	Se observa en un estado aceptable.	
Título	Obra de alivio - Estribo derecho	12/03/2007
	Pantalla de concreto proyectado agrietado.	
Título	Obra de alivio - Estructura de control	12/03/2007
	La estructura de control presenta un estado aceptable.	
Título	Obra de alivio - Estructura de control	01/09/2006
	Paso del flujo en la estructura de control.	

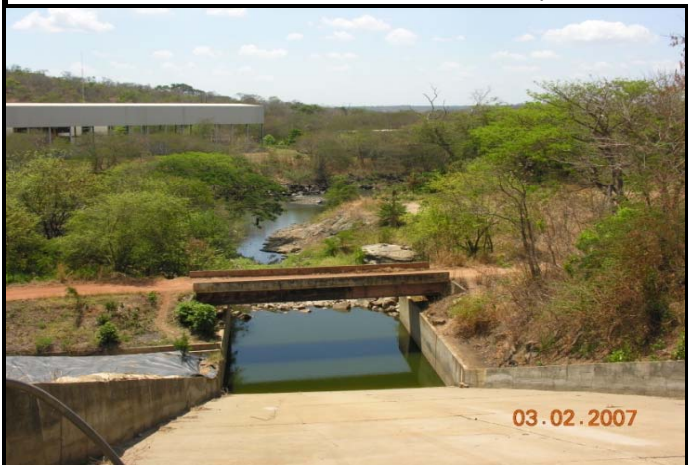
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Obras de alivio	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Obra de alivio - Rápido de aliviadero	02/03/2007
	Losa desplazadas en el rápido.	
Título	Obra de alivio - Rápido de aliviadero	02/03/2007
	Losa desplazadas en el rápido.	
Título	Obra de alivio - Rápido de aliviadero	02/03/2007
	Losa desplazadas en el rápido.	
Título	Obra de alivio - Rápido de aliviadero	01/09/2006
	Perturbación en el flujo. Su causa parece tener origen en la intersección de la capa laminar con la superficie de agua mas que debido al desplazamieto de las losas	

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Obras de alivio	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Obra de alivio - Muro de aliviadero	01/09/2006
	Junta en el muro del rápido abierta.	
Título	Obra de alivio - Muro de aliviadero	01/09/2006
	Marca de perfil de aguas en el muro del rápido	
Título	Obra de alivio- Pozo disipador	01/09/2006
	Rápido y Pozo disipador funcionando. Considerar la ubicación del puente.	
Título	Obra de alivio- Pozo disipador	02/03/2007
	Agua estancada en el pozo disipador.	

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Obras de alivio	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Obra de alivio- Canal de descarga	08/06/2007
	Protección en el canal de descarga.	
Título	Obra de alivio- Canal de descarga	08/06/2007
	Protección en el canal de descarga y estación de la planta de bombeo.	
Título	Obra de alivio- Canal de descarga	01/09/2006
	Canal de descarga funcionando.	
Título	Obra de alivio- Canal de descarga	08/06/2007
	Protección en el canal de descarga.	

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Obra de toma		fecha		
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa				
Título	Pasarela	01/09/2006	Título	Mecanismo de izamiento	01/09/2006
		Pasarela en un estado aceptable			La grúa luce operativa.
Título	Mecanismo de izamiento	01/09/2006	Título	Pasarela	01/09/2006
		Luce en un estado aceptable.			Pasarela en un estado aceptable

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Obra de embalse	Descarga de fondo	fecha
Ubicación	Embalse Pao - La Balsa	
Título	Válvula de descarga	01/09/2006
		Válvula operativa. Notese que presenta un color que indica transporte de sedimentos.
Título	Válvula de descarga	26/02/2008
		
Título	Válvula de descarga	08/06/2007
		
Título	Sala de válvulas	08/06/2007
		Estado aceptado

Trazas

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

MOVIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa

Mes	Traza 1			Traza 2			Traza 3			Traza 4			Traza 5		
	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)
1	6.40	11.99	171.10	5.3	0	184.75	2.75	12.77	173.13	6.04	0	190.07	4.72	0	188.7
2	2.16	3.49	198.48	1.94	0	192.76	1.55	24.72	170.67	0.49	7.26	183.27	2.7	11.7	195.91
3	0.00	3.83	253.89	1.59	0	244.25	1.7	28.7	224.77	0	5.97	247.4	3.89	33.99	223
4	2.80	161.59	196.37	1.37	160.04	186.27	1.74	130.09	217.18	1.08	147.51	234.31	8.51	142.02	211.21
5	10.68	257.36	150.25	12.95	244.56	147.56	24.19	277.84	176.54	24.96	441.39	166.87	16.03	147.82	212.99
6	40.30	281.36	137.60	49.7	384.15	115.95	52.82	306.2	174.56	47.2	125.39	169.65	0	319.86	156.38
7	53.05	182.62	154.99	56.38	206.79	167.72	53.69	122.09	171.06	21.65	175.8	166.76	21.55	191.53	149.46
8	49.78	237.69	154.60	67.97	143.26	147.5	37.61	205.7	170.96	32.3	204.86	150.55	32.67	259.47	152.75
9	53.84	215.72	162.81	44.51	245.33	153.77	28.46	193.89	155.35	20.77	147.03	138.78	18.56	204.44	138.59
10	38.83	116.98	145.04	51.89	134.95	134.68	39.13	184.64	110.95	24.23	128.83	143.75	17.93	97.7	144.02
11	16.73	92.46	165.16	25.43	119.49	142.69	18.47	40.74	121.87	10.59	101.33	137.12	9.92	90.26	126.9
12	9.09	22.56	194.12	10.89	80.03	154.14	2.17	45.68	124.28	13.95	49.8	155.86	21.86	4.66	128.07
1	2.54	2.33	222.30	0	9.12	173.01	0.57	1.55	146.75	6.13	0.19	188.62	9.15	2.89	153.83
2	0.00	0.00	245.94	0.7	8.27	179.18	2.72	1.59	171.5	0	0	192.72	0.64	5.47	176.75
3	0.00	13.90	257.59	0.3	28.19	218.63	2.83	0	216.74	0	33.79	207.17	1.22	23.55	194.61
4	0.00	0.59	219.66	0.75	75.79	164.6	0	7.1	169.13	0	0	177.04	0	136.54	129.9
5	1.16	276.99	148.88	10.18	304.91	145.29	0	132.49	116.3	0	259.15	131.86	10.97	352.31	109.52
6	4.57	170.96	130.44	12.55	79.46	130.51	0	112.08	129.66	12.67	96.6	157.6	41.62	306.91	106.22
7	4.50	192.60	157.33	9.9	121.07	124.07	0	152.97	143.27	22.15	241.97	152.76	28.91	81.67	148.5
8	30.13	230.01	157.64	23.58	204.54	128.19	24.43	213.55	171.63	57.67	228.75	160.6	16.28	155.45	152.62
9	14.84	269.49	115.19	8.12	195.53	124.07	53.18	158.33	150.3	43.97	69.79	161.86	7.3	192.15	144.37
10	6.10	156.00	117.51	10.75	136.08	119.99	49.41	130.14	162.77	38.85	132.84	152.47	14.06	126.73	152.61
11	3.39	86.22	115.56	11.79	85.48	113.61	31.97	112.35	136.79	10.26	145.85	150.56	15.52	72.92	138.64
12	1.24	30.49	153.50	16.4	84.06	121.34	29.58	0	123.51	27.4	44.17	134.97	25.68	14.36	155.95
1	0.00	10.20	165.27	11.7	3.4	152.12	17.68	3.49	161.94	17.64	2.61	169.86	15.28	10.32	171.99
2	4.58	2.21	164.39	4.49	8.98	175.81	1.13	22.03	183	4.32	2.66	211.22	5.35	11.15	172.53
3	3.64	0.00	224.40	5.25	0	237.38	1.64	32.28	208.79	4.39	0	244.55	3.08	22	234.4
4	6.37	143.65	212.42	4.61	138.64	209.9	6.15	191.62	165.97	0	0	232.65	3.2	0	228.65
5	17.17	165.44	169.74	5.74	100.47	141.72	7.97	236.68	166.77	2.49	187.3	172.57	2.23	49.6	219.45
6	13.85	140.48	181.29	13.49	209.24	118.5	22.91	254.76	142.95	50.1	283.51	116.29	15.54	232.79	163.73
7	16.80	112.68	163.27	5.96	196.72	149.62	10.86	159.07	122.15	54.87	149.29	135.16	18.71	172.24	167.45
8	31.08	185.77	164.30	42.7	158.86	162.85	22.12	178.15	117.92	47.46	137.47	128.11	70.38	276.47	154.77
9	24.74	132.58	137.84	30.45	22.59	197.94	26.29	236.68	133.3	27.38	210.27	144.18	70.58	56.11	167.5
10	27.75	102.33	140.63	38.17	116.15	172.52	27.38	156.59	143.89	34.49	164.27	137.96	65.24	96.63	163.57
11	22.73	123.53	115.91	25.74	129.82	148.21	9.29	71.24	137.52	18.39	51.01	159	22.33	105.47	162.5
12	21.48	64.53	132.52	9.29	7.09	180.9	10.09	0	150.69	3.46	37.05	194.99	24.46	11.3	147.9
1	12.96	8.80	154.80	0	8.19	199.55	2.87	7.54	179.84	0	0	219.94	16.35	3.43	187.36
2	8.60	3.81	198.37	0	12.44	190.12	4.73	21.2	181.14	1.89	0.73	232.23	2.48	0	223.21
3	6.15	0.00	250.78	0	27.79	233.44	5.73	0.79	229.96	1.23	17.48	246.21	1.99	21.26	243.55
4	5.00	136.57	227.96	0	107.2	213.01	5.26	57.3	244.18	3.94	133.62	166.62	2.26	102.76	252.42
5	21.41	328.12	156.90	11.64	258.15	132.62	11.73	92.82	217.14	1.98	208.51	153.42	12.11	208.45	152.7
6	0.00	0.00	149.56	25.26	192.57	161.42	12.24	283.21	149.75	28.42	157.21	150.95	21.33	308.5	123.71
7	1.03	99.06	133.93	15.42	154.21	145.94	38.1	81.97	150.02	25.41	129.05	132.41	38.12	156.22	149.96
8	17.51	160.47	165.60	0	232.27	144.46	42.7	125.68	133.18	39.65	226.45	142.15	46.16	249.26	171.8
9	28.33	194.36	160.92	18.33	294.72	123.05	43.61	162.18	130.51	31.63	174.48	136.58	32.48	106.64	191.61
10	23.12	167.39	155.01	35.22	113.92	126.51	37.59	133.38	152.61	39.91	138.62	143.91	45.89	104.45	185.9
11	26.32	44.96	121.91	22.18	35.31	143.17	17.74	74.15	148.15	21.28	107.8	126.03	17.6	55.57	170.75
12	3.93	29.19	163.10	5.52	66.57	173.14	9.66	0	163.39	27.93	32.02	114.3	9.69	0	194.74
1	2.72	4.22	178.23	0	0	202.94	9.21	0	213.25	14.64	0	154.41	9.61	0	233.47
2	3.57	9.26	158.86	0	9.16	221.44	0	0	236.55	2	0	204.21	0	3.65	247.54
3	4.32	5.32	221.33	0	40.76	212.04	0.4	33.06	242.78	1.19	0	253.44	0	43.14	276.68
4	5.51	135.39	197.23	1.67	211.6	152.51	0	0	232.6	2.29	117.17	249.84	2	30.07	281.87
5	27.13	289.05	155.93	13.57	265.13	118.41	0	166.54	175.34	5.5	154.65	164.73	6.71	114.01	197.25
6	52.72	214.78	137.80	7.99	254.96	141.62	6.16	170.91	176.75	8.41	142.26	144.34	24.03	135.85	185.61
7	54.91	173.40	154.90	26.06	147.11	160.94	27.33	153.19	147.61	25.73	112.91	136.24	8.18	168.06	168.08
8	32.88	129.72	138.91	41.51	169.78	144.99	60.13	239.6	135.27	40.01	87.71	151.52	0	286.23	130.62
9	12.10	151.86	158.09	36.15	242.73	126.15	74.1	137.11	144.18	19.7	212.45	155.42	12.01	255.03	106.53
10	22.87	59.52	152.33	48.98	158.79	110.38	52.41	120.42	144.26	25.73	128.96	158.35	19.52	75.31	150.01
11	18.53	73.79	137.84	24.32	98.59	123.07	10.26	108.3	161.43	0	74.36	152.28	3.87	133.57	145.21
12	10.87	0.00	170.12	24.45	0	134.25	0	36.89	221.12	3.02	7.47	162.98	0	13.73	222.9
1	8.90	0.26	198.99	13.56	11.1	163.08	0	0	246.37	0	0.87	201.85	0	15.36	229.6
2	3.00	4.49	229.02	2.93	14.73	161.31	0	13.18	226.61	0	9.82	179.35	2.67	10.49	232.52
3	1.50	23.09	265.26	3.48	32.72	207.51	0	27.67	249.16	0	50.49	190.59	4.91	19.9	271.79
4	3.91	27.61	242.00	3.39	233.59	140.33	0.48	103.84	213.36	0	32.8	183.63	7.5	53.18	245

10	9.77	102.71	133.50	29.08	126.67	152.39	17.18	132.93	124.59	24.14	94.37	159.31	41.42	99.27	143.16
11	19.46	93.48	107.04	13.1	100.02	144.03	26.07	110.42	116.29	9.5	86.71	161.9	23.62	147.17	158.7
12	17.57	36.39	102.02	12.59	53.31	169.65	23.63	24.14	108.67	0.14	0	207.32	30.8	150.79	112.31
1	15.54	0.00	130.98	2.47	11.75	187.08	18.68	5.24	147.2	0	0	258.32	11.87	11.14	132.06
2	1.65	8.89	149.69	5.17	12.28	209.65	5.21	15.19	159.87	0	7.84	225.62	7.09	9.2	169.26
3	1.52	49.87	169.01	5.09	0	264.64	5.06	33.18	196.17	0	56.28	217.19	6.95	0	217.67
4	4.40	246.65	111.68	9.04	129.08	201.57	6.26	82.41	150.62	3.83	80.42	203.59	0.68	0	180.98
5	9.51	287.27	118.76	14.33	67.24	193.93	12.05	5.71	185.6	15.1	260.75	188.87	0	16.33	139.57
6	9.54	148.34	130.83	30.41	398.15	135.38	22.53	347.82	135.41	15.37	151.89	169.04	0	179.63	163.16
7	2.18	194.38	145.31	23.49	145.01	151.02	13.37	192.85	165.38	19.75	159.58	178.37	0	178.71	131.91
8	39.05	199.23	142.31	62.89	206.86	158.59	37.43	184.69	148.84	22.54	237.07	159.7	0	152.01	162.44
9	70.29	135.29	168.80	18.26	193.63	160.36	27.33	233.94	139.09	24.96	194.19	182.47	0	130.56	140.41
10	50.61	80.48	183.20	30.82	146.27	142.54	25	102.63	133.82	41.98	69.42	167.27	13.51	91.94	180.67
11	21.89	216.05	143.98	22.15	106.51	119.7	16.53	27.94	141.58	17.52	193.33	140.13	3.78	103.87	158.21
12	51.93	51.18	134.42	7.19	35.48	127.28	0	64.65	179.8	29.34	63.01	159.38	7.33	0	158.21
1	29.89	14.14	163.39	2.37	0.31	155.91	0	10.2	191.97	17.45	0.79	193.96	4.1	0	197.71
2	8.70	0.00	234.85	3.34	17.8	144.16	0	9.87	177.76	0	0.77	218.82	0	16.76	210.72
3	7.28	0.00	264.23	1.98	9.34	212.82	0.65	45.38	202.73	0	18.99	260.52	0.04	27.86	263.98
4	4.75	0.04	257.15	0.15	215.35	149.15	0.99	39.08	144.46	0	0	232.57	1.41	0	227.96
5	16.17	292.20	203.46	11.5	374.25	148.6	0	308.12	148.6	1.97	131.76	153.72	2.43	164.8	187.65
6	36.17	165.33	163.70	22.96	172.25	121.72	29.85	303.16	112.13	23.97	142.73	160.88	0.42	125.2	159.78
7	14.92	87.97	182.97	37.23	193.24	125.13	45.38	195.92	162.45	12.69	145.74	144.28	9.24	112.38	141.38
8	10.36	117.69	174.12	41.82	53.54	127.76	39.36	122.69	137.97	25.34	164.27	171.16	8.63	156.39	153.47
9	3.57	47.43	189.94	54.95	0.47	172.71	28.45	171.89	165.72	11	83.24	197.71	38.28	161.34	172.83
10	16.04	89.04	198.27	38.34	140.55	160.91	32.03	141.09	131.47	26.38	110.35	206.42	31.54	175.72	145.54
11	4.40	160.63	148.09	14.99	86.31	146.96	17.9	9.71	133.3	9.59	51.8	171.22	26.74	36.69	127.6
12	22.72	0.00	162.85	4.69	24.46	167.02	10.11	78.41	189.11	0	61.39	215.82	0	20.27	127.25
1	15.03	0.00	204.52	2.5	13.73	190.29	3.75	12.1	203.03	0	11.84	216.05	0	2.5	157.36
2	1.04	0.00	224.61	1.91	7.25	201.42	3.67	12.11	195.97	4.9	17.77	213.28	1.12	10.64	176.04
3	2.40	25.65	218.05	0.31	31.57	208.95	1.98	31.78	231.82	4.96	0	289.16	0	15.69	237.76
4	1.21	68.05	168.43	4.13	244.22	138	4.4	110.63	193.47	2.11	66.28	284.82	0	0	227.13
5	0.00	127.61	131.30	6.73	207.02	150.46	3.94	0	174.29	13.49	156.12	170.48	11.04	214.39	157.26
6	6.58	247.02	123.35	7.75	181.66	141.66	15.38	156.68	152.71	10.59	234.15	151.32	37.74	165.68	160.81
7	8.47	188.09	161.96	9.37	230.61	128.52	0.16	188.08	183.82	3.41	118.51	168.17	20.63	139.4	124.52
8	35.35	209.96	148.75	6.6	159.28	148.73	0	194.35	160.33	5.58	200.36	161.92	10.09	146.32	127.91
9	14.30	282.83	132.20	30.7	189.36	135.25	5.47	181.02	139.55	29.24	53.75	163.42	15.88	276.18	122.65
10	24.39	158.73	181.43	24.17	116.1	127.49	2.93	94.69	183.44	22.02	125.61	148.95	8.59	179.68	121.3
11	16.14	67.92	139.57	15.94	95.86	133.25	0	156.4	136.17	19.02	117.55	132.91	16.07	1.78	122.18
12	11.91	0.00	148.31	22.52	0	144.41	21.44	51.08	131.05	0	83.09	124.57	0	0	124.23
1	6.92	3.36	179.92	17.09	2.72	184.76	15.34	4.27	158.45	0	8.22	148.22	2.68	21.04	136.29
2	3.50	6.12	171.93	5.13	3.38	211.26	4.19	0	219.74	3.73	8.01	156.06	6.7	5.27	159.45
3	3.76	5.11	222.32	1.15	0	256.72	4.03	22.24	253.29	2.76	0	229.97	5.86	0	202.68
4	1.06	29.86	195.33	2.09	90.28	266.1	5.23	71.87	261.97	0.46	176.03	174.15	3.77	179.48	143.49
5	0.62	74.64	166.40	5.08	149.69	174.99	0	0	155.71	0.34	257.15	128.92	2.57	208.23	134.69
6	17.23	225.04	130.43	7.93	174.6	145.31	6.15	294.91	181.36	33	193.81	107.45	4.49	162.54	115.37
7	32.79	154.02	158.25	20.58	271.37	168.41	0.34	203.9	155.32	25.37	198.56	150.92	24.21	159.76	149.52
8	27.03	130.11	172.97	44.91	155.53	152.84	6.33	224.5	161.54	16.1	101.17	125.95	17.79	193.45	136.96
9	36.14	187.25	157.43	49.65	150.23	157.51	33.99	49.43	163.52	2.83	158.58	114.86	15.89	206.62	131
10	27.69	178.53	126.18	40.39	107.99	152.22	28.53	167.31	141.81	13.02	101.38	137.92	26.86	132.56	126.04
11	22.20	51.36	120.96	13.43	100.38	160.94	18	73.83	146.62	7.1	84.92	150.56	13.75	51.98	135.61
12	2.80	50.45	167.96	14.71	5.47	189.83	22	0	123.77	4.53	34.08	174.85	14.6	38.64	149.28
1	0.00	0.00	187.25	6.32	0	207.81	15.07	0	160.54	1.73	0	215.54	6.83	3.97	178.15
2	0.00	2.06	174.19	0.28	1.16	209.39	1.01	0	199.22	0	0	211.4	4.1	3.38	195.94
3	0.00	29.03	214.67	0	0	255.03	0	8.1	227.53	0	22.14	216.05	2.08	35.98	219.75
4	0.00	10.51	198.82	0	11.42	216.83	0	178.91	172.85	0.61	133.94	192.25	5.3	117.25	213.01
5	0.00	190.08	145.86	0	214.55	125.69	20.34	225.31	137.47	12.14	306.73	130.07	16.99	218.73	160.88
6	0.00	60.22	144.57	0	0	143.2	14.42	185.41	148.93	4.17	126.14	136.86	36.81	278.52	126.91
7	11.31	305.79	166.24	0.56	200.07	136.88	27.8	81.24	144.83	12.71	198.95	147.01	36.25	200.14	151.33
8	26.55	205.99	142.49	2.6	151.47	155.76	5.22	149.41	128.8	22.16	208.94	171.21	75.16	233.21	150.01
9	53.04	199.42	152.84	1.56	67.99	168.96	32.75	138.2	144.47	31.57	214.02	161.23	56.8	174.25	157.94
10	49.81	126.76	145.25	16.04	184.57	161.5	34.97	164.09	138.87	43.6	161.68	135.45	36.85	133.94	162.06
11	19.99	77.61	125.48	13.95	40.33	141.72	31.52	0	136.91	26.72	4.95	132.48	16.02	181.33	143.19
12	11.23	39.69	146.94	4.28	37.81	182.87	2.23	86.73	138.74	0	22.59	156.59	28.08	93.35	114.75
1	8.96	0.00	174.79	2.64	0	213.64	0	0	164.2	0	1.85	189.58	17.73	17.76	140.31
2	0.97	2.97	183.34	0	12.78	197.79	2.37	4.04	194.14	0.01	5.62	198.5	10.15	11.05	151.59
3	0.00	0.00	231.50	0	30.6	247.59	0.62	10.61	228.6	0	27.29	228.35	5.54	0	202.36
4	1.45	235.64	218.31	0	67.38	212.96	1.34	70.16	176.23	1.67	145.37	202.57	3.04	225.84	162.87
5	22.25	294.72	149.98	19.84	398.43	134.24	0	28.49	133.66	4.5	201.8	155.43	18.35	345.4	130.21
6	12.57	121.84	176.76	51.24	111.55	138.07	0	252.78	131.87	41.66	254.97	128.42	10.22	0	134.76
7	0.00	155.55	173.06	64.08	80.87	138.71	14.6	216.47	152.35	30.8	254.56	126.1	0	65.74	138.07
8	0.00	241.52	154.70	31.9	98.39	124.67	0.48	233.92	167.78	8.28	221.23	133.91	0	189.94	160
9	0.00	343.58	117.40	43.11	67.38	164.75	6.49	237.75	118.86	3.11	42.51	142.24	12.92	221.58	131.91
10	11.07	130.17	123.06	34.31	139.46	148.72	28.53	143.86	105.86	27.44	169.21	127.99	25.28	165.08	106.99
11	8.57	91.68	104.01	23.56	66.35	143.5	19.86	50.88	115.81	16.82	35.18	142.11	20.52	1.36	126.97
12	14.57	71.33	103.51	1.05	67.69	174.67	0	74.36	136.87	0.37	34.52	190.48	0	106.26	157.83
1	1.96	0.00	140.20	0	2.65	188.83	0	21.94	149.53	0	4.53	211.34	0	4.55	179.02
2	0.00	6.37	141.43	3.72	1.84	189.3	6.54	9.17	154.91	0	2.89	18			

7	14.39	177.08	147.93	6.9	172.11	143.38	7.28	184.34	192.62	17.92	159.7	162.74	32.02	124.8	186.99
8	26.51	158.80	135.57	21.66	255.03	143.28	9.27	301.75	148.45	34.28	211.1	143.16	33.49	234	172.41
9	37.47	119.42	106.76	28.29	239.13	125.13	1.95	147.19	144.85	33.08	232.09	139.76	45.03	181.64	147.07
10	37.47	163.05	107.87	22.7	123.5	142.14	29.9	126.54	152.33	26.82	93.27	188.8	52.62	134.93	151.62
11	18.27	54.11	131.16	16.88	75.09	135.93	10.78	146.47	127.48	24.4	76.95	164.62	24.73	89.96	157.52
12	1.57	46.94	165.48	14.87	0.06	138.43	15.03	84.46	128.14	2.77	3.97	198.99	13.53	76.23	194.02
1	0.00	0.00	198.21	8.33	6.97	167.36	7.21	5.35	152.07	1.26	0	244.76	3.31	7.66	225.72
2	0.00	3.93	208.55	0.44	6.99	171.96	7.26	0	170.4	0	0	197.58	0.35	4.7	239.19
3	0.00	19.38	230.18	1.23	18.12	228.82	5.29	0	234.07	0	22.49	208.05	1.18	36.92	244.97
4	0.00	176.87	174.51	1.4	153.95	160.7	3.74	124.48	204.76	0.96	114.25	164.16	3.5	73.06	216.68
5	19.91	277.44	155.20	11	182.21	126.88	0.14	49.23	156.81	0	334.45	122.55	3.77	81.94	151.63
6	38.05	229.81	155.44	14.31	232.66	140.78	0	164.03	140.57	2.26	0	144.7	11	216.94	164.36
7	47.89	208.19	157.86	27.02	140.34	169.27	0	222.13	158.32	0	175.77	136.94	15.91	184.04	164.63
8	30.84	198.42	116.99	26.08	240.08	153.58	0	197.09	171.84	12.02	189.36	146.72	10.73	218.88	130.6
9	4.23	225.39	95.37	11.81	213.57	139.48	0	169.94	151.79	0	237.85	154.52	6.22	271.98	116.85
10	3.41	146.99	118.50	16.84	142.82	139.63	2.04	92.41	177.52	11.97	163.82	148.09	24.61	113.04	131.93
11	16.61	50.52	121.24	20.51	38.67	112.25	0	114.01	144.37	1.32	135.06	144.44	25.9	51.07	120.53
12	11.29	0.00	136.89	18.36	50.8	115.17	31.77	0	144.08	13.1	94.05	209.96	15.08	28.52	122.45
1	7.56	0.96	177.72	15.68	5.87	154.66	17.63	4.09	183.5	4.96	0	247.61	11.83	17.38	141.78
2	1.03	11.64	160.99	3.21	0	225.43	5.44	0	219.24	0	0	248.7	6.89	13.24	194.59
3	1.80	5.49	223.98	1.39	2.97	301.64	2.08	4.01	258.65	0	32.94	240.05	3.38	0	267.03
4	1.67	157.88	170.92	2.19	63.18	340.34	2.44	122.44	220.32	2.23	151.8	212.82	0.59	0	240.2
5	0.00	124.17	144.45	6.46	197.82	190.44	10.12	289.99	156.47	21.54	404.49	159.06	0	79.37	188.86
6	0.00	174.56	113.41	26.13	325.78	170.1	48.35	167.33	153.78	33.2	195.54	118.94	0.39	147.86	161.61
7	17.00	188.71	122.27	27.44	206.96	170.54	51.76	126.96	162.67	16.1	195.61	152.83	3.8	211.28	173.48
8	42.41	196.94	147.77	36.43	264.22	156.01	77.35	215.22	149.24	25.46	192.92	119.07	58.49	218.27	170.45
9	38.80	207.43	129.75	32.37	201.29	131.87	59.7	170.54	150.24	56.85	77.33	160.34	25.28	198.31	136
10	27.21	151.87	121.72	26.15	156.64	127.3	62.96	90.66	163.9	44.79	119.03	171.17	41.38	185.96	129.87
11	13.44	24.40	123.81	19.79	38.52	126.83	20.65	164.32	166.32	30.27	113.18	162.57	24.18	52.61	129.81
12	1.86	6.57	156.22	8.79	94.53	147.52	28.77	0	175.25	22.58	66.83	137.91	21.3	44.87	144.65
1	0.00	1.13	180.53	4.21	0	172.91	20.05	12.41	208.98	15.99	13.3	161.99	9.41	10.32	171.32
2	5.20	0.00	182.69	0	0	192.14	6.58	5.08	243.58	6.91	0	241.46	2.04	10	180.91
3	4.50	18.07	217.14	0	52.17	210.65	4.98	0	273.73	6.07	0.56	257.9	2.36	18.57	200.07
4	4.97	205.66	158.23	0	0	232.99	4.86	13.62	324.01	10.27	116.15	238.64	3.55	195.97	152.77
5	11.72	242.95	146.51	0	214.4	122.73	17.57	165.44	234.21	18.85	38.28	218.01	9.58	286.12	131.91
6	0.00	129.89	144.30	3.63	73.37	105.7	8.47	174.57	218.27	0	307.78	148.79	6.59	298.95	121.31
7	0.00	176.73	139.65	36.45	157.35	148.64	0	204.22	152.8	34.39	162.52	186.07	16.66	235.56	153.88
8	9.46	188.74	154.29	29.23	170.87	144.81	0	277.52	170.82	9.9	184.84	129.62	3.44	189.05	163.84
9	14.68	157.87	132.70	43.72	108.39	148.83	21.17	205.52	159.69	18.4	197.93	123.37	10.47	101.64	176.65
10	31.11	102.45	153.66	47.18	125.28	143.04	14.15	176.93	123.8	30.41	141.91	138.84	16.44	144.4	178.13
11	27.32	31.25	139.42	25.73	0	143.87	7.46	22.28	132.1	23.25	61.98	143.1	3.3	101.18	151.42
12	12.57	0.00	162.56	0	1.56	186.7	14.71	0	130.1	11.65	20.14	164.95	9.5	0	181.7
1	6.92	0.49	196.45	0	10.79	202.5	9	18.4	151.73	7.09	12.03	183.54	7.72	3.66	211.66
2	2.88	9.50	224.29	0	6.4	198.41	1.53	1.9	177.22	3.96	0	214.42	3.83	18.2	205.08
3	1.86	0.00	268.78	0	39.9	204.49	2.08	7.17	216.6	4.05	38.52	224.71	4.47	18.08	259.59
4	0.39	52.53	244.84	0.4	98	135.64	3.16	166.21	166.93	3.29	126.09	167	1.02	0	256.28
5	0.21	309.79	159.10	0	65.13	138.55	7.34	171.57	178.59	1.8	33.08	152.8	4.13	203.17	164.8
6	26.17	124.19	147.10	18.38	152.22	113.1	11.71	292.78	206.75	5.37	85.13	144.89	15.39	254.59	156.91
7	22.57	88.95	150.73	9.89	195.16	140.46	0	217.11	167.47	6.08	171.67	165.85	27.58	151.74	148.54
8	0.00	140.56	173.54	33.42	217.24	161.2	0	178.74	164.55	32.05	249.44	171.24	21.87	238.26	144.19
9	5.01	232.34	171.44	42.44	161.05	154.21	0	259.22	132.38	2.16	128.45	149.89	23.38	167.09	127.63
10	35.35	112.01	171.29	41.42	106.15	168.93	30.99	162.47	133.15	3.37	139.84	163.14	30.77	197.2	102.98
11	14.26	99.00	180.30	15.7	64.5	156.82	27.78	65.72	135.81	4.81	55.01	142.91	21.84	75.53	111.67
12	2.97	74.47	215.92	0	0	249.42	28.25	20.82	132.76	0	46.72	173.99	18.66	10.13	94.6
1	0.13	5.30	226.51	0	2.59	263.69	12.63	5.19	172.81	0	0	206.27	11.98	13.29	117.07
2	3.56	4.43	208.39	0.96	2.61	269.83	3.82	3.74	202.69	0	12.64	176.75	9.9	17.83	128.9
3	4.21	16.02	240.53	2.93	11.98	289.11	5.92	17.08	262.16	0	23.53	205.96	8.16	0	214.28
4	3.64	90.15	278.54	2.43	48.89	346.23	2.39	0	226.64	0	88.85	157.38	4.44	117.74	157.65
5	19.59	321.83	181.74	21.54	356.08	176.33	8	192.11	198.44	8.29	309.14	124.16	17.06	345.05	165.16
6	25.10	133.17	171.16	43.44	148.73	138.4	15.35	233.64	147.28	10.58	168.69	141.39	40.42	242.53	184.47
7	10.96	115.88	141.59	52.14	113.21	140.73	17.61	215.96	158.37	14.51	292.33	137.18	37.45	158.78	147.65
8	5.49	185.95	132.85	75.87	135.58	147.9	25.25	187.93	144.14	43.34	257.41	128.7	14.91	149.67	132.06
9	24.85	127.31	134.12	38.37	166.17	154.92	46.64	253.4	147.08	47.31	319	114.59	0	131.74	141.3
10	18.71	89.29	157.38	49.68	153.86	153.54	50.77	107.09	149.36	32.65	161.02	116.28	4	152.31	162.51
11	24.44	69.39	157.86	16.98	129.8	135.73	26.26	54.81	164.32	23.52	36.78	119.45	14.61	80.36	151.45
12	0.00	0.00	145.72	27.69	56.62	138.88	15.46	147.12	165.52	5.13	100.06	140.98	0	44.39	173.99
1	3.05	0.22	173.19	11.52	8.72	167.13	5.74	6.08	183.12	0	0	163.71	0	0	196.32
2	2.14	11.02	193.98	5.19	0	206.8	4.87	23.27	174.58	0.68	0	183.43	0.66	12.16	187.14
3	0.64	0.00	270.77	4.36	3.59	246.53	4.1	27.97	221.04	0	17.92	211.75	3.66	21.74	221.66
4	0.00	101.44	193.89	2.99	48.09	274.19	2.52	15.79	164.46	0	177.68	196.01	2.1	72.33	222.22
5	1.19	279.09	99.36	15.46	296.52	174.94	1.93	156.49	156.65	16.43	412.33	142.72	2.17	310.71	192.65
6	27.36	123.63	113.89	9.77	153.29	141.08	24.33	150.86	159.07	28.42	70.1	140.4	64.15	303.97	183.67
7	35.20	174.55	136.14	20.77	173.03	147.65	9.38	159.29	133.16	26.78	142.94	144.88	28.23	136.5	173.27
8	48.69	154.70	127.94	49.97	156.82	179.01	23.97	149.19	144.31	44.89	180.48	170.88	0	243.34	141.08
9	53.77	277.34	122.36	54.68	0	193	20.46	117.88	153.06	34.77	111.92	167.66	29.52	207.53	136.62
10	45.25	123.02	114.93	32.94	79.89	191.88	44.55	149.07	142.63	35.69	139.15	171.27	22.65	153.19	162.93
11	29.22	0.00	125.55	10.24	149.45	1									

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

MOVIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa

Mes	Traza 6			Traza 7			Traza 8			Traza 9			Traza 10		
	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)
1	7.19	0.89	181.04	4.09	0	185.55	5.45	0	189.76	4.88	8.98	170.52	7.37	0.84	181.13
2	0.93	0	194.61	2.01	0	191.79	1.08	16.19	185.29	1.51	10.63	198.71	0.95	0	188.49
3	0.01	0	251.36	2.25	0	260.71	0.04	28.61	211.44	2.75	33.23	221.9	0.03	1.28	244.9
4	0	44.62	268.63	2.74	155.79	216.48	0.49	192.3	197.28	5.42	189	220.53	0	56.19	245.57
5	0.75	252.32	168.96	15.55	224.35	176.58	23.25	389.03	148.83	19.11	272.78	199.52	0.64	173.96	171.45
6	19.79	305.39	150.98	23.67	207.36	168.15	46.41	254.74	158.49	47.12	84.86	193.67	23.99	247.96	178.47
7	15.3	189.55	173.57	22.59	182.06	158.79	17.1	103.99	143.17	17.63	194.13	168.32	23.47	185.58	165.7
8	27.76	263.6	167.17	53.01	138.34	144.78	76.37	202.78	160.78	22.04	264.72	139.62	67.72	275.03	156.91
9	47.57	195.29	136.42	44.89	146.4	157.25	63.02	156.5	149.58	37.33	226.41	112.2	69.95	22.04	196.49
10	29.96	104.78	179.56	42.32	140.28	143.09	45.98	87.1	146.78	26.1	164.29	113.08	51.71	132.63	162.31
11	20.52	84.31	162.03	31.82	91.75	126.89	26.09	81.35	134.57	18.54	45.41	112.22	29.57	66.09	164.33
12	10.58	67.7	157.24	0	59.98	142.53	15.63	47.48	128.75	8.83	31.32	133.77	1.01	20.76	161.65
1	0	0	190.7	0	11.23	161.03	5.3	12.12	148.94	0	9.79	150.18	1.3	22.95	166.02
2	0	0	186.22	0.85	4.28	173.82	4.7	5.4	159.24	3.48	31.51	136.91	2.41	15.63	174.56
3	0	20.12	221.49	0	11.9	226.87	0	0	211.1	0.78	24.9	207.66	1.23	22.51	212.29
4	0	115.42	157.84	0	118.16	195.46	0	231.17	139.85	0	70.48	171.05	0	72.58	175.84
5	0	242.96	126.64	3.77	155.94	131.07	1.74	219	116.42	2	421.1	125.63	7.76	210.17	136.41
6	13.61	184.92	128.72	0	107.08	132.19	0	141.8	144.18	10.92	109.24	138.34	21.52	194.57	136.82
7	13.24	163.11	139.53	0	125.6	154.76	0	167.6	167.85	30.87	194.29	141.37	25.78	142.82	162.01
8	0	165.8	119.8	8.06	113.78	182.87	39.03	217.27	179.9	0	169.46	130.75	11.65	96.78	145.79
9	0.16	137.51	101.96	0	99.39	156.62	30.06	194.6	187.18	0	97.65	122.91	0	117.44	137.06
10	24.3	161.3	96.22	1.87	126.67	184.44	50.96	84.92	185.19	1.99	107.82	154.12	0	188.12	131.93
11	29.04	2.58	97.77	17.48	23.99	159.61	24.88	121.82	159.03	16.53	82.89	122.25	0.13	63.8	128.93
12	1.39	53.61	125.24	0	19.53	191.46	8.06	47.01	161.97	24.91	11.78	141.45	0	0	148.04
1	0	3.74	156.17	1.24	0	232.55	3.93	8.32	180.52	14.84	3.85	180.66	0.26	0	179.32
2	3.1	4.95	178.69	0	0	243.71	5.94	0	202.1	4.49	0	224.05	1.55	6.48	189.16
3	2.22	20.65	220.72	0	0	252.78	6.96	0	239.26	0	0	254.15	2.76	19.22	239.17
4	3.52	201.83	201.63	0	62.89	228.74	3.72	78.98	261.71	0.38	141.63	209.39	3.28	96.97	218.64
5	16.14	136.82	161.28	3.11	205.09	142.84	16.68	161.37	210.52	18.23	399.24	147.57	22	300.47	164.27
6	24.85	270.69	146.6	25.9	66.14	135.35	0	44.17	180.39	16.33	155.27	175.53	36.45	292.35	126.56
7	14.1	165.1	134.75	46.63	144.44	181.37	7.23	186.92	154.24	0.5	173.84	136.4	40.2	140.42	161.25
8	22.28	157.75	129.74	45.38	225.14	129.01	64.8	224.51	140.21	15.54	260.87	164.95	23.25	142.21	126.5
9	5.83	99.52	141.28	68.87	183.45	144.23	76.01	67.69	158.54	0	113.45	145.36	26.55	94.31	138.26
10	38.94	106.36	144.38	51.3	135.73	115.37	52.3	133.53	173.55	23.78	132.07	135.25	17.34	141.92	150.9
11	9.74	169.01	161.43	19.65	56.85	132.14	13.48	99.67	183.03	14.47	89.71	133.1	21.35	0	138.58
12	25.94	35.51	163.15	0	64.32	170.83	20.39	61.28	183.42	12.01	27.13	134.16	0	47.96	212.93
1	11.61	4.17	199.88	0	0	212.06	12.58	0	238.34	5.18	0	172.95	0	4.56	229.63
2	5.77	0	243.16	0	0	212.06	0	0	252.32	1.38	15.27	165.97	0	5.52	226.82
3	5.64	0	245.67	0	0	269.31	0	0	277.93	1.93	45.87	194.84	1.32	18.45	268.1
4	1.93	26.07	221.27	0	38.63	245.16	0	77.45	258.59	1.22	40.27	159.34	4.5	0	220.83
5	0	77.83	176.64	0	295.61	138.94	10.7	250.54	162.53	0	83.55	143.95	0	0	196.69
6	12.62	299.97	132.01	19.02	168.51	125.64	31.59	305.45	135.44	0	160.7	159.85	0	119.06	192.54
7	2.49	253.04	160.93	17.93	126.04	168.18	13.5	127.99	163.47	10.36	202.66	131.28	0	306.97	148.44
8	28.85	249	128.93	47.01	155.82	172.76	48.5	198.07	176.71	0	228.08	154.37	0	221.59	143.22
9	38.97	230.51	125.49	47.9	21.24	194.85	56.37	116.71	177.01	8.05	216.36	130.22	11	203.16	109.63
10	29.11	186.62	114.25	43.97	167.76	142.23	35.68	158.67	152.73	36.65	151.17	111.71	15.17	108.4	159.25
11	11.52	83.73	125	32.18	0	133.41	30.03	63.06	151.06	28.11	70.28	112.27	16.23	68.14	129.31
12	23.63	93.59	117.55	1.7	24.34	129.94	13.49	29.65	171.54	9.95	84.89	113.63	15.48	22.26	123.59
1	15.02	5.64	147.61	3.52	0	160.14	6.19	16.99	183.41	5.91	18	125.98	8.28	3.21	152.57
2	2.91	15.29	193.63	0	15.4	167.39	0.8	16.47	202.92	3.8	10.72	181.7	5.36	12.85	186.59
3	1.16	26.1	246.62	0.63	35.66	225	0	11.14	235.51	3.55	39.29	194.14	3.39	28.76	218.05
4	4.55	95.49	210.7	4.44	148.88	198.45	2.83	129.89	180.28	4.72	174.25	122.6	4.9	169.33	178.15
5	2.54	158.22	171.42	11.73	120	158.25	19.05	282.23	157.62	7.01	101.67	134.58	19.12	202.9	180.81
6	38.07	120.48	134.16	26.99	108.84	180.5	38.65	154.28	129.3	0	267.77	133.93	14.86	127.55	148.61
7	20.62	139.12	163.81	10.3	132.96	169.1	40.24	87.52	140.86	15.71	188.66	133.18	31.66	143.54	159.63
8	20.16	107.13	176.74	32.26	170.72	194.68	47.5	110.23	160.52	53.8	115.92	129.94	35.67	258.18	119.31
9	19.02	132.63	145.53	34.84	236.25	154.04	60.65	65.15	165.8	61.93	14.76	156.73	34.07	165.22	120.79
10	31.26	134.38	168.97	26.99	179.83	149.21	29.91	184.32	143.62	39.3	116.18	139.15	36.91	148.82	103.38
11	19.36	97.96	136.53	22.98	42.35	136.99	13.55	5.51	151.12	6.79	83.81	138.58	16.06	98.35	117.79
12	13.87	54.54	140.86	9.59	100.91	131.2	0	62.61	206	17.3	9.71	140.22	32.25	37.64	124.93
1	2.5	11.71	160.71	1.06	12.07	153.69	0	0	231.73	10.86	20.78	151.93	15.49	5.82	161.19
2	7.98	15.46	158.57	4.92	16.88	147.31	0	13.68	206.81	5.8	12.74	162.22	4.42	6.27	175.73
3	4.15	5.57	212.61	4.66	5.9	198.14	0	34.22	232.47	6.36	15.45	215.77	0.75	15.3	239.37
4	5.06	187.4	179.46	2.69	178.05	169.23	0	75.01	222.07	7.56	192.55	166.6	1.44	42.59	203.34
5	11.45	213.04	141.48	0	170.86	147.77	6.55	337.47	108.57	7.27	9.08				

10	38.94	125.78	149.96	12	102.3	154.32	50.84	126.53	97.17	34.05	156.21	132.39	23.82	161.54	153.35
11	16.59	121.92	146.07	1.48	62.34	153.09	32.24	58.57	109.26	25.91	34.74	124.73	26.79	55.09	125.4
12	4.23	64.77	165.7	15.54	0	142.63	15.41	25.14	117.8	11.7	0	134.96	21.16	46.13	130.46
1	3.29	5.43	186.41	7.53	0.68	180.53	8.48	0	160.43	8.91	0	169.64	11.28	6.63	158.31
2	4.15	0	214.96	0	7.12	195.6	1.57	0	159.8	4.09	0	201.03	4.58	17.97	173.13
3	4.23	0	269.58	0	43.58	215.83	1.28	0	212.85	0.62	0	242.48	1.13	14.94	229.2
4	1.64	103.78	284.03	0	21.24	184.86	2.87	182.47	167.67	0	83.19	182.94	2.37	120.66	172.26
5	18.43	285.22	178.16	0	241.41	122.05	8.07	246.23	129.93	8.22	338.3	131.3	22.22	307.87	160.26
6	10.52	136.94	186.16	0	91.83	129.48	14.04	234.04	121.67	0	30.31	151.25	24.15	89.55	178.39
7	19.47	217.03	154.91	0	217.08	176.01	23.63	140.13	147.44	2.54	196.74	179.93	15.87	206.07	144.99
8	26.31	177.78	108.42	29.66	206.63	153.35	19.95	225.83	158.17	0	145.09	154.9	34.82	219.31	147.58
9	33.17	163.6	112.69	23.68	105.93	176.7	26.89	207	131.05	13	77.68	134.63	41.37	194.54	137.65
10	41.67	159.96	115.49	50.49	93.28	156.68	35	143.22	145.19	29.52	96.38	157.77	41.08	139.32	137.94
11	29.54	105.34	123.04	16.3	108.77	167.33	13.74	55.47	124.02	11.71	77.44	132.79	19.17	31.85	131.83
12	14.12	32.86	129.82	5.58	91.31	191.45	16.38	42.27	151.45	11.47	0	142.37	2.08	56.3	146.97
1	5.85	4.42	156.71	1.67	19.03	192.79	4.71	14.07	165.88	10.81	0	193.43	0	0	191.23
2	1.25	0	193.22	5.85	7.31	201.38	3.31	22.61	167.86	3.18	0	226.08	1.15	0	196.79
3	0	36.57	0	4.22	2.55	251.26	4.53	22.19	254.27	2.13	0	241.39	2.85	16.95	212.96
4	2.59	25.95	184.32	4.01	87.5	236.18	2.79	24.22	244.88	1.04	157.1	230.86	1.28	106.26	150.81
5	7.17	217.5	177.54	12.71	107.49	189.53	0	59.68	211.57	15.4	315.35	143.18	10.35	319.62	122.8
6	0	198.21	145.05	9.63	257.13	154.42	0	144.61	171.71	31.17	108.43	146.62	6.3	49.92	117.91
7	0	176.75	147.38	6.51	132.15	149.95	17.35	169.67	144.49	11.37	63.85	167.88	15.99	174.35	144.12
8	0	188.22	163	7.33	82.5	175.09	0	183.2	152.34	0	132.7	175.81	3.37	198.74	148.7
9	0	106.12	146.63	10.25	179.87	164.54	0	245.99	117.87	15.59	161.23	163.29	12.06	187.81	127.83
10	19.43	206.56	125.07	19.88	90.05	159.35	0	179.96	126.01	29.91	127.43	152.43	17.45	70.77	150.85
11	22.05	20.49	129.45	14.53	156.82	123.12	7.06	0	116.31	11.99	43.44	149.81	14.42	72.78	129.09
12	4.32	9.58	136.01	22.73	21.67	135.62	0	3.53	146.75	0	82.92	172.94	11.24	25.74	146.05
1	6.73	15.02	160.08	9.29	2.77	162.07	0	1.71	171.97	0	0	195.94	6.88	10.13	168.94
2	6.68	0	180.15	0.64	12.11	164.73	0	22.6	164.17	0.05	7.46	163.51	2.35	4.25	206.68
3	3.99	0	246.18	0.77	8.03	255.16	0	69.07	180.7	0	30.28	209	1.72	0	267.45
4	0.58	27.34	241.69	1.82	105.61	227.46	0	192.13	141.2	0	98.49	158.74	3.23	141.47	193.66
5	10.44	170.51	153.56	19.22	330.87	174.86	8.93	342.77	112.04	0	251.54	112.84	18.52	376.81	183.41
6	31.62	65.75	149.45	10.4	138.58	133.26	0	60.45	104.36	11.24	38.14	127.4	40.3	145.35	139.5
7	33.98	148.99	147.71	18.54	220.82	160.78	14.54	273.84	153.28	34.66	94.45	153.19	21.75	98.92	148.66
8	28.51	35.95	156.53	24.19	177.39	128.96	3.94	238.95	138.98	21.26	174.93	160.21	24.48	196.18	151.35
9	24.31	140.47	151.79	33.99	172.23	131.58	25.2	208.93	134.26	28.98	200.81	167.07	37.49	294.27	115.63
10	27.58	123.53	142.98	32.38	179.78	153.7	40.9	139.73	119.65	33.55	116.64	135.6	43.36	63.56	134.62
11	35.4	68.18	113.54	23.92	0	144.76	19.34	45.64	119.37	6.84	82.68	125.2	25.41	113.52	131.87
12	12.4	0	101.98	9.39	0	150	13.08	9.61	139.63	8.12	34.32	175.74	20.95	0	146.3
1	10.62	0	140.2	6.71	0	179.17	8.32	7.63	162.82	3.06	16.59	191.87	13.86	4.17	177.66
2	0.17	17.1	146.83	3.77	0	197.34	3.73	0	192.38	6.67	0	200.68	2.81	4.53	185.22
3	1.2	22.65	191.6	2.86	3.1	234.87	1.87	29.26	216.33	5.75	9.63	238.64	4.73	37.82	207.19
4	0.34	56.41	144.32	0	0	220.2	0.34	96.48	214.66	4.61	77.85	202	3.42	38.1	159.75
5	7.3	330.13	122.85	0	241.89	128.34	0	214.93	128.47	0	0	184.15	0	0	172.65
6	20.17	28.88	135.02	20.79	103.87	111.9	20.99	156.17	130.55	0	156.82	191.44	3.02	328.82	125.33
7	19.31	187.85	143.44	8.48	145.3	138.98	20.61	82.14	123.94	0	244.33	146.76	19.42	191.63	144.29
8	0	260.07	134.78	9.28	240.21	119.71	31.09	183.11	152.97	2.4	213	127.05	7.77	148.69	146.98
9	24.69	132.39	154.41	41.74	154.34	111.15	28.37	236.34	138.28	12.47	160.43	114.94	0	135.76	140.36
10	39.83	196.61	119.22	28.32	79.4	120.34	38.92	133.62	121.51	38.74	130.09	111.81	20.1	183	127.47
11	28.29	43.5	138.63	22.52	58.41	119.9	24.48	6.56	137.81	30.29	87.07	119.7	13.35	2	126.84
12	9.67	66.85	134.52	0.68	50.74	150.12	8.08	83.81	145.85	28.04	11.14	103.09	0	0	140.48
1	0	2.9	158.4	0	5.29	173.8	5.97	0.84	179.83	15.43	7.7	126.94	2.34	4.98	174.36
2	2.45	0.98	188.67	5.81	12.13	179.72	1.86	1.47	190.55	4.94	1.2	157.03	3.89	0	201.65
3	0.32	9.97	225.62	4.03	13.74	195.68	0	0	232.21	2.01	0	230.26	3.11	12.34	242.67
4	0.04	112.11	171.59	1.99	209.68	159.54	0	62.81	194.01	1.59	123.06	180.73	4.27	104.73	231.44
5	8.32	401.39	153.99	21.64	268.24	167.64	8.43	343.72	134.91	6.28	232.68	138.88	1.27	110.03	162.06
6	39.57	56.55	157.27	9.53	163.83	175.55	15.81	178.67	122.11	28.18	121.63	145.69	0	161.03	175.04
7	25.53	144.61	169.54	17.86	175.79	173.34	9.18	165.77	136.21	18.83	229.42	145.03	15.27	127.28	151.12
8	14.51	156.47	168.2	21.85	105.68	169.62	36.88	214.42	155.2	23.2	177.27	132.29	17.36	161.44	151.95
9	8.72	123.52	158.38	14.53	211.39	134.16	22.99	200.39	130.56	3.98	222.6	121.06	10.24	89.72	155.41
10	11.65	97.75	199.31	25.34	137.44	136	15.26	171.55	114.93	25.52	176.96	119.66	30.96	137.41	181.17
11	6.23	71.71	151.87	13.53	46.05	138.02	2.25	35.94	146.44	15.38	54.45	139.99	24.08	0	161.56
12	0	29.54	233.52	8.8	0.93	155.58	0	0	176.4	0	3.92	189.67	14.05	30.9	155.56
1	0	0	244.34	7.08	9.6	177.53	0	0	200.42	0	0.85	212.36	6.1	0.38	186.34
2	0	3.53	196.98	3.24	6.35	167.84	0	3.24	198.63	1.63	10.12	195.28	0.46	0	198.7
3	0	48.28	205.7	2.58	27.67	215.93	0	52.03	225.8	2.7	29.79	221.23	0	14.46	247.78
4	0	97.26	150.21	5.81	191.52	203.26	0	0	229.55	0.95	47.08	192.84	0.45	116.3	204.19
5	0	97.37	150.81	0	81.57	171.11	1.57	259.28	171.68	0	236.34	148.38	0	118.95	133.64
6	0	149.48	137.91	25.99	201.38	162.36	17.81	85.14	164.3	11.32	122.93	120.17	0	0	148.61
7	9.22	140.99	138.26	33.04	69.95	123.05	7.84	153.17	131.08	16.77	212.21	156.96	24.23	112.82	153.28
8	0.1	165.64	148.46	53.25	163.52	132.67	19.21	139.01	152.31	41.87	122.25	139.21	19.07	122.27	142.47
9	0	276.77	115.58	57.32	90.17	159.94	0	169.09	152.7	46.68	95.34	142.96	32.42	72.4	155.56
10	30.37	154.4	120.8	44.55	118.69	155.11	25.53	154.76	127.42	37.91	117.27	137.81	30.99	171.88	123.11
11	19.9	119.49	127.07	22.33	119.19	136.47	13.41	6.93	136.8	15.3	105.81	152.82	13.02	23.21	135.17
12	22.01	31.75	144.62	21.33	0	153.53	6.04	0	170.89	6.57	21.18	170.52	0	0	187.42
1	11.05	9.26	156.97	17.21	13.9	178.39	2.97	4.08	196.33	0.62	1.54	190.9	0	15.68	193.76
2	3.56	10.62	192.73	8.79	0	229.12	3.09	11.35	203.13	0	23.71	156.57	5.3	3.79	196.36
3	4.5	20.58	223.55	7.02	0	295.79	2.32	25.27	239.76	1.2	21.22	208.			

7	0	138.11	145.44	26.08	174.23	164.04	18.42	192.66	163.01	27.75	159.49	141.32	28.7	169.18	147.76
8	6.83	241.5	152.5	30.81	189.36	134.12	23.3	187.33	131.05	24.55	145.62	149.45	15.99	137.57	147.89
9	18.63	162.76	137.79	3.54	37.42	156.77	60.81	77.99	120.84	48.94	94.81	192.36	30.14	193.19	176.68
10	19.58	192.28	128.49	23.19	142.83	190.9	52.99	119.11	132.38	41.57	164.7	150.24	29.35	143.05	170.47
11	24.33	0	120.21	23.61	119.6	146.91	35.4	64.33	132.98	15.53	21.54	154.37	10.83	66.39	173.84
12	0	63.88	165.62	9.34	99.25	159.41	34.48	35.79	125.99	0.86	80.2	186.33	5.78	0	189.53
1	0	0.91	192.14	3.31	8.08	186.04	21.59	1.84	162.11	0	5.52	210.9	0	9.11	194.9
2	0	6.71	190.24	0.23	7.55	202.13	7.89	0	189.41	0.8	4.52	206.36	1.28	4.82	207.95
3	0	32.4	194.08	0.34	33.15	224.94	6.78	0	274.92	0	0	269.26	0.28	0	272.23
4	0.78	211.43	114.65	4.08	190.24	164.06	4.84	32.84	281.98	0	161.47	264.78	0.56	22.48	254.9
5	5.36	339.91	127.87	12.71	211.8	151.71	16.88	0.95	188.16	18.81	272.92	157.57	2.53	230.07	203.4
6	25.54	174.54	120.81	6.91	0	125.52	15.83	194.58	174.82	22.97	207.75	155.97	0	130.21	139.05
7	17.87	129.86	142.17	15.47	142.46	168.36	25.49	183.67	178.07	36.68	130.85	154.9	20.19	172.98	165.04
8	27.11	192.98	119.59	4.83	168.08	162.05	41.43	203.03	148.8	20.5	158.36	151.89	31.28	260.55	150.63
9	39.67	155.98	122.51	47.38	33.56	160.22	26.59	158.48	179.29	36.53	100.32	163.66	14.9	186.83	137.5
10	23.37	211.69	110.01	26.34	129.82	168.08	49.67	120.76	139.16	56.68	171.63	148.28	10.51	155.81	129.01
11	23.96	49.59	113.01	9.18	156.47	158.21	15.53	116.41	141.12	35.25	70.97	140.23	11.15	19.54	106.47
12	0	37.08	126.12	13.69	0	211.53	15.46	46.09	178.12	29.84	94.07	117.05	19.21	7.88	145.49
1	0	2.29	154.01	3.28	0	251.24	9	0	210.76	15.96	0	161.52	9.46	2.09	180.05
2	1.75	3.34	170.04	0	20.92	216.76	0	5.18	214.12	4.23	0	208.1	0.73	0	213.44
3	1.23	8.37	204.9	0	49.88	228.12	0	15.83	250.35	7.31	0	250.77	0	24.74	213.78
4	0.18	130.99	148.76	0	99.35	212.17	0.19	157.22	168.83	6.32	42.9	205.65	0	102.84	167.61
5	0	121.11	127.2	15.19	396.64	124.46	23.01	386.18	116.74	11.13	101.52	224.06	2.09	386.29	115.53
6	17.81	237.18	147.26	30.58	199.43	126.9	20.5	153.62	126.71	28.48	144.58	170.48	17	183.65	121.28
7	25.52	144.47	158.1	32.87	153.81	129.27	22.54	132.19	153.3	3.1	151.93	158.65	1.28	188.01	146.61
8	37.66	183.81	157.43	32.69	41.48	120.16	38.04	157.1	182.69	28.39	223.18	153.95	18.27	217.15	166.3
9	27.3	107.42	158.92	25.79	1.25	158.87	40.62	28.35	225.02	37.87	231.03	144.58	18.17	20.49	182
10	40.68	143.61	165.33	38.34	136.47	157.57	58.13	147.72	160.14	42.72	161.23	114.45	27.88	96.05	157.83
11	25.32	53.25	148.77	12.24	86.81	159.36	37.76	143.92	145.55	30.25	58.02	129.52	9.21	119.39	137.54
12	2.71	0	168.07	0	57.68	217.58	24.79	127.18	168.69	12.22	60.14	142.87	22.33	0	136.91
1	2.47	0	215.12	0	2.49	226.05	9.79	0	208.69	9.06	10.36	175.95	12.17	3.04	180.15
2	0	0	205.93	0	14.01	195.88	3.45	12.81	194.88	6.17	30.17	169.49	1.88	0	227.08
3	1.3	24.8	202.64	0	60.75	221.92	3.74	4.19	238.55	6.87	24.6	226.42	0	15.64	271.1
4	4.27	250.43	130.86	1.68	120.78	190.14	4.77	125.93	209.48	5.86	163.96	173.9	0	32.64	263
5	24.93	411.17	165.4	7.9	253.22	164.22	18.45	347.37	182.85	11.96	142.33	150.45	4.85	286.42	172
6	27.87	150.07	165.1	44.37	138.36	132.83	56.7	124.02	164.77	9.33	139.01	169.14	31.91	238.39	147.71
7	6.21	268.52	163.43	29.29	93.61	162.14	28.06	145.22	137.55	18.95	184.24	148.38	12.33	162.1	141.02
8	43.24	279.34	140.26	9.99	225.14	138.63	47.07	161.72	158.05	23.06	103.78	152.37	28.85	214	148.82
9	62.62	181.8	131.93	31.03	300.86	123.72	19.51	82.55	171	1.63	253.28	149.62	36.15	164.99	141.73
10	56.51	129.59	134.51	43.96	129.86	121.99	28.97	113.81	154.44	23.27	132.05	128.52	34.23	118.51	142.79
11	28.75	127.05	153.44	31.71	98.28	144.08	17.12	85	144.51	27.17	41.66	131.5	7.15	117.5	156.2
12	26.35	60.83	146.54	18.59	75.98	162.63	23.66	37.51	168.26	4.24	0	117.04	11.23	67.23	203.34
1	14.85	2.98	180.97	6.12	7.45	189.02	11.29	2.16	202.87	1.06	18.96	130.94	6.54	0	244.06
2	1.51	0	209.48	1.23	21.95	192.75	2.82	29.26	215.47	6.91	21.36	146.76	0	0	271.12
3	0	10.59	265.32	3.7	20.29	227.32	4.21	23.68	248.88	5.7	0	207.76	0	3.91	320.32
4	1.35	28.42	241.21	3.48	178.52	204.89	3.4	31.26	240.43	2.52	88.82	173.8	2.43	90.26	310.9
5	0	305.66	162.05	19.12	190.23	168.89	11.31	258.61	182.61	0	66.19	183.93	15.66	256.21	176.07
6	29.26	0	140.97	0	65.88	187.85	2.42	159.38	144.48	12.7	330.93	129.86	27.38	265.63	148.03
7	3.68	129.81	165.9	20.16	161.05	160.52	18.19	214.63	149.46	8.09	145.81	150.5	43.98	216.81	151.83
8	6.38	252.79	166.12	35.29	319.46	154.13	38.08	89.53	156.57	13.35	185.86	146.93	34.12	182.83	137.31
9	25.51	147.01	164.26	32.92	229.15	133.21	3.87	118.1	154.56	38.54	212.1	136.81	46.12	119.04	149.49
10	29.03	173.94	119.54	44.3	197.17	110.28	13.31	118.14	165.05	46.11	120.12	142.77	36.76	91.35	144.9
11	19.21	0	115.62	30.05	0	138.37	10.64	35.2	157.63	21.56	56.23	155.87	14.91	149.94	143.35
12	6.47	0	130.98	0	19.54	166.2	12.98	18.4	172.9	5.56	32.7	165.87	15.18	9.94	151.26
1	5.54	10.77	154.09	0	3.57	195.9	5.5	0	210.59	4.85	5.72	192.58	7.36	16	177.76
2	2.03	3.57	196.14	3.02	6.7	220.1	1.24	11.21	195.87	3.17	0	204.38	5.23	0	201.04
3	0.25	27.77	239.72	3.64	0	255.46	0.45	21.7	243.07	0.3	0	283.44	0.92	0	267.49
4	0	93.84	201.8	0	0	244.94	4.63	95.05	234.96	0.68	63.61	286.43	0	56.94	266.07
5	9.48	275.44	123.51	5.54	359.08	147.53	16.05	334.57	176.93	14.7	305.36	204.61	15.26	429.9	156.5
6	19.65	133.04	119.67	18.49	51.69	136.85	4.02	0	179.58	4.36	62.24	180.09	3.98	13.12	131.94
7	0	203.91	146.28	0	100.55	157.2	0	196.29	138.56	0	201.32	165.93	17.28	45.06	140.79
8	7.08	203.5	171.47	17.02	131.84	179.5	0	205.53	150	1.1	139.72	174.88	2.22	142.51	179.08
9	35.85	123.39	154.1	27.47	188.11	154.35	0	203.87	128.56	0	77.55	179.39	0	168.11	157.04
10	44.48	91.93	145.57	36.66	133.24	142.14	18.36	61.6	145.17	6.36	105.91	203.76	36.93	200.74	126.39
11	20.54	128.62	142.67	23.32	106.45	133.21	7.68	83.23	134.58	0	151.32	180.83	19.82	1.4	136.09
12	6.38	0	184.24	15.81	125.22	155.63	6.28	0	176.07	2.09	0	228.09	5.45	0	134.84
1	0	2.67	204.16	11.14	3.3	182.81	0	1.74	198.61	0	0.27	249.25	5.58	0	166.37
2	2.89	5.32	224.71	4.79	9.45	185.74	0.69	20.83	192.5	0	2.27	235.66	0.74	0	178.4
3	3.96	17.53	259.17	4.03	0	236.18	2.17	37.22	215.2	0	12.87	251.37	0	24.1	187.98
4	4.34	48.6	243.03	0	166.94	208.64	2.02	73.94	135.98	4.47	48.31	251.69	0.83	268.34	114.89
5	15.04	181.23	191.88	18.55	462.85	132.63	0	191.05	144.13	16.72	226.96	232.32	6.94	271.36	119.06
6	21.96	181.01	142.71	19.64	321.38	114.09	21.5	163.32	149.64	20.7	119.54	171.83	0	72.69	151.45
7	22.53	117.55	181.43	34.06	116.72	170.6	25.53	164.7	148.2	9.72	131.84	153.44	4.16	184.41	127.04
8	16.08	183.73	157.15	37.34	187.73	156.01	19.53	149.75	124.12	47.76	155.42	166.55	25.93	130.71	129.26
9	38.2	136.94	166.73	28.79	172.56	151.55	33.54	60.21	136.27	49.13	302.69	187.9	29	149.51	125.09
10	41.57	123.71	164.7	41.89	152.44	162.87	30.9	95.26	201.25	40.57	144.97	181.89	27.94	138.39	120.96
11	17.56	153.67	163.7	30.89	0	152.87	13.83	64.66	177.89	3.56	134.68	175.03	36.95	52.63	117.66

Movimiento del embalse

Cálculo tipo

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa PARA PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO 2007-2025

MOVIMIENTO DEL EMBALSE PAO - LA Balsa

<i>Traza N°</i>	10
<i>Numeros de años</i>	25
<i>Caudal ext. (m³/s)</i>	15
<i>Gasto eco. (m³/s)</i>	2.04
<i>Dem. pob. (m³/s)</i>	12.96
<i>Vol ini (10⁶ m³)</i>	180
<i>Vol NAN (10⁶ m³)</i>	325.59
<i>Vol MO (10⁶ m³)</i>	3.94
<i>N° Alivio</i>	2
<i>% Alivios</i>	0.7
<i>N° Fallas</i>	100.000
<i>% Fallas</i>	33.3

<i>Nivel de aguas m.s.n.m.</i>	<i>Vol NAN (10⁶ m³)</i>	<i>Incremento del Vol NAN (10⁶ m³)</i>
131.00	325.59	6.43
131.50	332.02	48.56
132.00	374.15	76.41
132.50	402.00	104.25
133.00	429.84	134.75
133.50	460.34	

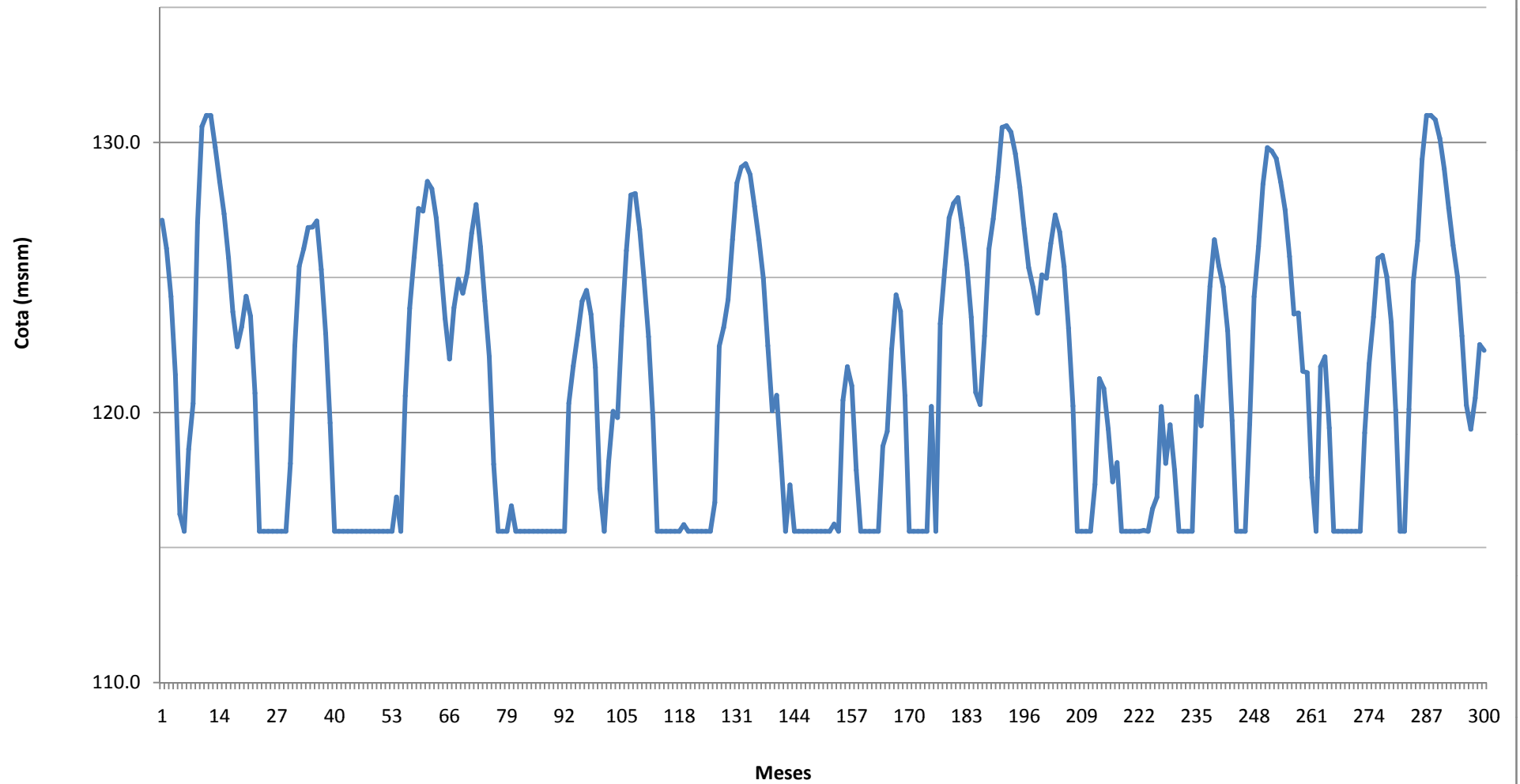
	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Anual</i>
<i>Precipitación (mm)</i>	6.1	6.5	15.6	97.6	239.5	160.9	163.2	197.2	149.4	135.2	60.4	33.3	1264.9
<i>Escurrimiento (m³/s)</i>	5.9	2.3	1.3	1.8	8.7	15.4	20.5	22.5	25.8	29.8	18.5	11.1	13.6
<i>Evaporación (mm)</i>	177.8	193.5	238.7	200.3	158.2	144.7	150.4	145.6	145.0	140.8	136.7	152.2	1983.9

Traza		10													
Año	Mes	Qi(m3/s)	Precip(mm)	Evapo(mm)	Vi (10x6 m3)	Cota (msnm)	Área de embalse (ha)	Qi (10x6 m3)	P i (10x6 m3)	Evap i(10x6 m3)	Q e (10x6 m3)	Vf (10x6 m3)	Alivio	Falla	
2001	1	7.37	0.84	181.13	180.000	127.1	3171.0	19.740	0.027	5.744	45.640	148.383	0	0	
2001	2	0.95	0.00	188.49	148.383	126.1	2809.6	2.298	0.000	5.296	41.223	104.162	0	0	
2001	3	0.03	1.28	244.90	104.162	124.3	2220.2	0.080	0.028	5.437	45.640	53.194	0	0	
2001	4	0.00	56.19	245.57	53.194	121.4	1373.6	0.000	0.772	3.373	44.168	6.425	0	0	
2001	5	0.64	173.96	171.45	6.425	116.2	458.5	1.714	0.798	0.786	45.640	3.940	0	1	
2001	6	23.99	247.96	178.47	3.940	115.6	348.4	62.182	0.864	0.622	44.168	22.197	0	0	
2001	7	23.47	185.58	165.70	22.197	118.6	874.1	62.862	1.622	1.448	45.640	39.592	0	0	
2001	8	67.72	275.03	156.91	39.592	120.3	1182.7	181.381	3.253	1.856	45.640	176.731	0	0	
2001	9	69.95	22.04	196.49	176.731	127.0	3138.9	181.310	0.692	6.168	44.168	308.398	0	0	
2001	10	51.71	132.63	162.31	308.398	130.6	4226.4	138.500	5.606	6.860	45.640	325.590	1	0	
2001	11	29.57	66.09	164.33	325.590	131.0	4331.2	76.645	2.862	7.117	44.168	325.590	1	0	
2001	12	1.01	20.76	161.65	325.590	131.0	4331.2	2.705	0.899	7.001	45.640	276.553	0	0	
2002	1	1.30	22.95	166.02	276.553	129.8	4009.9	3.482	0.920	6.657	45.640	228.658	0	0	
2002	2	2.41	15.63	174.56	228.658	128.6	3597.3	5.830	0.562	6.279	41.223	187.548	0	0	
2002	3	1.23	22.51	212.29	187.548	127.4	3245.1	3.294	0.730	6.889	45.640	139.044	0	0	
2002	4	0.00	72.58	175.84	139.044	125.7	2686.6	0.000	1.950	4.724	44.168	92.102	0	0	
2002	5	7.76	210.17	136.41	92.102	123.7	2028.1	20.784	4.263	2.767	45.640	68.743	0	0	
2002	6	21.52	194.57	136.82	68.743	122.4	1615.2	55.780	3.143	2.210	44.168	81.288	0	0	
2002	7	25.78	142.82	162.01	81.288	123.2	1816.6	69.049	2.594	2.943	45.640	104.348	0	0	
2002	8	11.65	96.78	145.79	104.348	124.3	2222.7	31.203	2.151	3.240	45.640	88.822	0	0	
2002	9	0.00	117.44	137.06	88.822	123.6	1964.0	0.000	2.307	2.692	44.168	44.269	0	0	
2002	10	0.00	188.12	131.93	44.269	120.7	1241.6	0.000	2.336	1.638	45.640	3.940	0	1	
2002	11	0.13	63.80	128.93	3.940	115.6	348.4	0.337	0.222	0.449	44.168	3.940	0	1	
2002	12	0.00	0.00	148.04	3.940	115.6	348.4	0.000	0.000	0.516	45.640	3.940	0	1	
2003	1	0.26	0.00	179.32	3.940	115.6	348.4	0.696	0.000	0.625	45.640	3.940	0	1	
2003	2	1.55	6.48	189.16	3.940	115.6	348.4	3.750	0.023	0.659	41.223	3.940	0	1	
2003	3	2.76	19.22	239.17	3.940	115.6	348.4	7.392	0.067	0.833	45.640	3.940	0	1	
2003	4	3.28	96.97	218.64	3.940	115.6	348.4	8.502	0.338	0.762	44.168	3.940	0	1	
2003	5	22.00	300.47	164.27	3.940	115.6	348.4	58.925	1.047	0.572	45.640	17.699	0	0	
2003	6	36.45	292.35	126.56	17.699	118.1	757.8	94.478	2.215	0.959	44.168	69.266	0	0	
2003	7	40.20	140.42	161.25	69.266	122.5	1622.9	107.672	2.279	2.617	45.640	130.960	0	0	
2003	8	23.25	142.21	126.50	130.960	125.4	2576.5	62.273	3.664	3.259	45.640	147.998	0	0	
2003	9	26.55	94.31	138.26	147.998	126.1	2805.1	68.818	2.646	3.878	44.168	171.415	0	0	
2003	10	17.34	141.92	150.90	171.415	126.8	3078.5	46.443	4.369	4.645	45.640	171.942	0	0	
2003	11	21.35	0.00	138.58	171.942	126.9	3084.6	55.339	0.000	4.275	44.168	178.839	0	0	
2003	12	0.00	47.96	212.93	178.839	127.1	3159.6	0.000	1.515	6.728	45.640	127.986	0	0	
2004	1	0.00	4.56	229.63	127.986	125.3	2536.0	0.000	0.116	5.823	45.640	76.639	0	0	
2004	2	0.00	5.52	226.82	76.639	122.9	1732.1	0.000	0.096	3.929	41.223	31.583	0	0	
2004	3	1.32	18.45	268.10	31.583	119.6	1062.6	3.535	0.196	2.849	45.640	3.940	0	1	
2004	4	4.50	0.00	220.83	3.940	115.6	348.4	11.664	0.000	0.769	44.168	3.940	0	1	
2004	5	0.00	0.00	196.69	3.940	115.6	348.4	0.000	0.000	0.685	45.640	3.940	0	1	
2004	6	0.00	119.06	192.54	3.940	115.6	348.4	0.000	0.415	0.671	44.168	3.940	0	1	
2004	7	0.00	306.97	148.44	3.940	115.6	348.4	0.000	1.070	0.517	45.640	3.940	0	1	
2004	8	0.00	221.59	143.22	3.940	115.6	348.4	0.000	0.772	0.499	45.640	3.940	0	1	
2004	9	11.00	203.16	109.63	3.940	115.6	348.4	28.512	0.708	0.382	44.168	3.940	0	1	
2004	10	15.17	108.40	159.25	3.940	115.6	348.4	40.631	0.378	0.555	45.640	3.940	0	1	
2004	11	16.23	68.14	129.31	3.940	115.6	348.4	42.068	0.237	0.451	44.168	3.940	0	1	
2004	12	15.48	22.26	123.59	3.940	115.6	348.4	41.462	0.078	0.431	45.640	3.940	0	1	
2005	1	8.28	3.21	152.57	3.940	115.6	348.4	22.177	0.011	0.532	45.640	3.940	0	1	
2005	2	5.36	12.85	186.59	3.940	115.6	348.4	12.967	0.045	0.650	41.223	3.940	0	1	
2005	3	3.39	28.76	218.05	3.940	115.6	348.4	9.080	0.100	0.760	45.640	3.940	0	1	
2005	4	4.90	169.33	178.15	3.940	115.6	348.4	12.701	0.590	0.621	44.168	3.940	0	1	
2005	5	19.12	202.90	180.81	3.940	115.6	348.4	51.211	0.707	0.630	45.640	9.588	0	0	
2005	6	14.86	127.55	148.61	9.588	116.9	551.3	38.517	0.703	0.819	44.168	3.940	0	1	
2005	7	31.66	143.54	159.63	3.940	115.6	348.4	84.798	0.500	0.556	45.640	43.042	0	0	
2005	8	35.67	258.18	119.31	43.042	120.6	1226.2	95.539	3.166	1.463	45.640	94.644	0	0	
2005	9	34.07	165.22	120.79	94.644	123.9	2077.9	88.309	3.433	2.510	44.168	139.708	0	0	
2005	10	36.91	148.82	103.38	139.708	125.7	2695.6	98.860	4.012	2.787	45.640	194.153	0	0	
2005	11	16.06	98.35	117.79	194.153	127.6	3309.9	41.628	3.255	3.899	44.168	190.970	0	0	
2005	12	32.25	37.64	124.93	190.970	127.5	3278.6	86.378	1.234	4.096	45.640	228.846	0	0	
2006	1	15.49	5.82	161.19	228.846	128.6	3598.6	41.488	0.209	5.801	45.640	219.103	0	0	
2006	2	4.42	6.27	175.73	219.103	128.3	3528.1	10.693	0.221	6.200	41.223	182.594	0	0	
2006	3	0.75	15.30	239.37	182.594	127.2	3196.4	2.009	0.489	7.651	45.640	131.801	0	0	
2006	4	1.44	42.59	203.34	131.801	125.4	2587.9	3.732	1.102	5.262	44.168	87.206	0	0	
2006	5	7.04	203.80	154.76	87.206	123.5	1932.4	18.856	3.938	2.991	45.640	61.369	0	0	
2006	6	29.56	227.87	145.97	61.369	122.0	1505.7	76.620	3.431	2.198	44.168	95.054	0	0	
2006	7	25.60	174.61	136.41	95.054	123.9	2085.9	68.567	3.642	2.845	45.640	118.778	0	0	
2006	8	11.46	245.45	118.89	118.778	124.9	2411.4	30.694	5.919	2.867	45.640	106.885	0	0	
2006	9	23.68	153.73	129.86	106.885	124.4	2255.8	61.379	3.468	2.929	44.168	124.634	0	0	
2006	10	31.81	156.15	114.38	124.634	125.2	2490.4	85.200	3.889	2.848	45.640	165.234	0	0	
2006	11	31.58	0.00	132.44	165.234	126.6	3006.3	81.855	0.000	3.982	44.168	198.940	0	0	
2006	12	0.00	66.49	159.26	198.940	127.7	3356.9	0.000	2.232	3.346	45.640	150.186	0	0	
2007	1	0.00	18.29	164.19	150.186	126.1	2830.7	0.000	0.518	4.648	45.640	100.416	0	0	
2007	2	2.88	10.17	166.23	100.416	124.1	2171.2	6.967	0.221	3.609	41.223	62.772	0	0	
2007	3	1.20	25.61	215.21	62.772	122.1	1526.8	3.214	0.391	3.286	45.640	17.451	0	0	
2007	4	1.88	66.81	152.84	17.451	118.1	751.4	4.873	0.502	1.148	44.168	3.940	0	1	
2007	5	8.00	286.45	152.72	3.940	115.6	348.4	21.427	0.998	0.532	45.640	3.940	0	1	
2007	6	0.00	81.09	160.47	3.940	115.6	348.4	0.000	0.283	0.559	44.168	3.940	0	1	
2007	7	18.49	191.81	154.45	3.940	115.6	348.4	49.524	0.668	0.538	45.640	7.954	0	0	
2007	8	0.00	261.95	130.81	7.954	116.5	503.4	0.000	1.319	0.658	45.640	3.940	0	1	
2007	9	0.00	3.63	133.06	3.940	115.6	348.4	0.000	0.013	0.464	44.168	3.940	0	1	
2007	10	10.98	120.61	153.78	3.940	115.6	348.4	29.409	0.420	0.536	45.640	3.940	0	1	
2007	11	14.09	79.27	133.33	3.940	115.6	348.4	36.521	0.276	0.465	44.168	3.940	0	1	
2007	12	11.67	0.00	154.19											

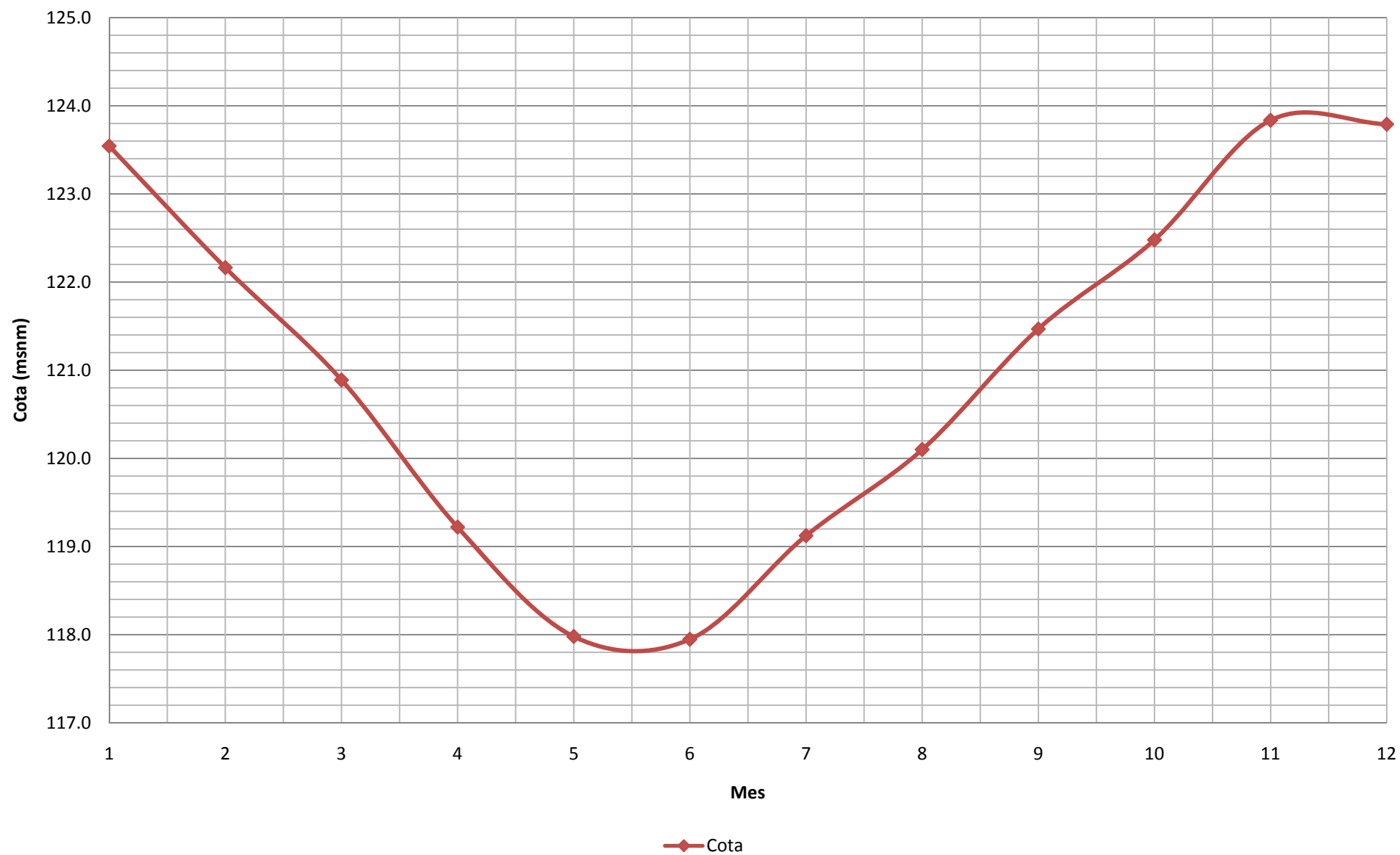
2010	3	2.85	16.95	212.96	74.757	122.8	1704.2	7.633	0.289	3.629	45.640	33.410	0	0
2010	4	1.28	106.26	150.81	33.410	119.8	1094.4	3.318	1.163	1.650	44.168	3.940	0	1
2010	5	10.35	319.62	122.80	3.940	115.6	348.4	27.721	1.114	0.428	45.640	3.940	0	1
2010	6	6.30	49.92	117.91	3.940	115.6	348.4	16.330	0.174	0.411	44.168	3.940	0	1
2010	7	15.99	174.35	144.12	3.940	115.6	348.4	42.828	0.607	0.502	45.640	3.940	0	1
2010	8	3.37	198.74	148.70	3.940	115.6	348.4	9.026	0.692	0.518	45.640	3.940	0	1
2010	9	12.06	187.81	127.83	3.940	115.6	348.4	31.260	0.654	0.445	44.168	3.940	0	1
2010	10	17.45	70.77	150.85	3.940	115.6	348.4	46.738	0.247	0.526	45.640	4.759	0	0
2010	11	14.42	72.78	129.09	4.759	115.8	395.4	37.377	0.288	0.510	44.168	3.940	0	1
2010	12	11.24	25.74	146.05	3.940	115.6	348.4	30.105	0.090	0.509	45.640	3.940	0	1
2011	1	6.88	10.13	168.94	3.940	115.6	348.4	18.427	0.035	0.589	45.640	3.940	0	1
2011	2	2.35	4.25	206.68	3.940	115.6	348.4	5.685	0.015	0.720	41.223	3.940	0	1
2011	3	1.72	0.00	267.45	3.940	115.6	348.4	4.607	0.000	0.932	45.640	3.940	0	1
2011	4	3.23	141.47	193.66	3.940	115.6	348.4	8.372	0.493	0.675	44.168	3.940	0	1
2011	5	18.52	376.81	183.41	3.940	115.6	348.4	49.604	1.313	0.639	45.640	8.578	0	0
2011	6	40.30	145.35	139.50	8.578	116.7	521.7	104.458	0.758	0.728	44.168	68.898	0	0
2011	7	21.75	98.92	148.66	68.898	122.4	1617.5	58.255	1.600	2.405	45.640	80.709	0	0
2011	8	24.48	196.18	151.35	80.709	123.1	1805.3	65.567	3.542	2.732	45.640	101.446	0	0
2011	9	37.49	294.27	115.63	101.446	124.2	2184.7	97.174	6.429	2.526	44.168	158.355	0	0
2011	10	43.36	63.56	134.62	158.355	126.4	2926.0	116.135	1.860	3.939	45.640	226.771	0	0
2011	11	25.41	113.52	131.87	226.771	128.5	3583.6	65.863	4.068	4.726	44.168	247.808	0	0
2011	12	20.95	0.00	146.30	247.808	129.1	3742.4	56.112	0.000	5.475	45.640	252.806	0	0
2012	1	13.86	4.17	177.66	252.806	129.2	3788.9	37.123	0.158	6.731	45.640	237.715	0	0
2012	2	2.81	4.53	185.22	237.715	128.8	3662.8	6.798	0.166	6.784	41.223	196.672	0	0
2012	3	4.73	37.82	207.19	196.672	127.6	3334.6	12.669	1.261	6.909	45.640	158.053	0	0
2012	4	3.42	38.10	159.75	158.053	126.4	2922.5	8.865	1.113	4.669	44.168	119.194	0	0
2012	5	0.00	0.00	172.65	119.194	125.0	2416.8	0.000	0.000	4.173	45.640	69.382	0	0
2012	6	3.02	328.82	125.33	69.382	122.5	1624.7	7.828	5.342	2.036	44.168	36.348	0	0
2012	7	19.42	191.63	144.29	36.348	120.1	1141.9	52.015	2.188	1.648	45.640	43.263	0	0
2012	8	7.77	148.69	146.98	43.263	120.6	1229.0	20.811	1.827	1.806	45.640	18.455	0	0
2012	9	0.00	135.76	140.36	18.455	118.2	777.3	0.000	1.055	1.091	44.168	3.940	0	1
2012	10	20.10	183.00	127.47	3.940	115.6	348.4	53.836	0.638	0.444	45.640	12.329	0	0
2012	11	13.35	2.00	126.84	12.329	117.3	622.7	34.603	0.012	0.790	44.168	3.940	0	1
2012	12	0.00	0.00	140.48	3.940	115.6	348.4	0.000	0.000	0.489	45.640	3.940	0	1
2013	1	2.34	4.98	174.36	3.940	115.6	348.4	6.267	0.017	0.608	45.640	3.940	0	1
2013	2	3.89	0.00	201.65	3.940	115.6	348.4	9.411	0.000	0.703	41.223	3.940	0	1
2013	3	3.11	12.34	242.67	3.940	115.6	348.4	8.330	0.043	0.846	45.640	3.940	0	1
2013	4	4.27	104.73	231.44	3.940	115.6	348.4	11.068	0.365	0.806	44.168	3.940	0	1
2013	5	1.27	110.03	162.06	3.940	115.6	348.4	3.402	0.383	0.565	45.640	3.940	0	1
2013	6	0.00	161.03	175.04	3.940	115.6	348.4	0.000	0.561	0.610	44.168	3.940	0	1
2013	7	15.27	127.28	151.12	3.940	115.6	348.4	40.899	0.443	0.527	45.640	3.940	0	1
2013	8	17.36	161.44	151.95	3.940	115.6	348.4	46.497	0.562	0.529	45.640	4.830	0	0
2013	9	10.24	89.72	155.41	4.830	115.9	399.5	26.542	0.358	0.621	44.168	3.940	0	1
2013	10	30.96	137.41	181.17	3.940	115.6	348.4	82.923	0.479	0.631	45.640	41.071	0	0
2013	11	24.08	0.00	161.56	41.071	120.5	1201.4	62.415	0.000	1.941	44.168	57.378	0	0
2013	12	14.05	30.90	155.56	57.378	121.7	1441.2	37.632	0.445	2.242	45.640	47.573	0	0
2014	1	6.10	0.38	186.34	47.573	121.0	1283.2	16.338	0.005	2.391	45.640	15.885	0	0
2014	2	0.46	0.00	198.70	15.885	117.9	711.6	1.113	0.000	1.414	41.223	3.940	0	1
2014	3	0.00	14.46	247.78	3.940	115.6	348.4	0.000	0.050	0.863	45.640	3.940	0	1
2014	4	0.45	116.30	204.19	3.940	115.6	348.4	1.166	0.405	0.711	44.168	3.940	0	1
2014	5	0.00	118.95	133.64	3.940	115.6	348.4	0.000	0.414	0.466	45.640	3.940	0	1
2014	6	0.00	0.00	148.61	3.940	115.6	348.4	0.000	0.000	0.518	44.168	3.940	0	1
2014	7	24.23	112.82	153.28	3.940	115.6	348.4	64.898	0.393	0.534	45.640	23.057	0	0
2014	8	19.07	122.27	142.47	23.057	118.7	896.3	51.077	1.096	1.277	45.640	28.313	0	0
2014	9	32.42	72.40	155.56	28.313	119.3	1005.7	84.033	0.728	1.565	44.168	67.341	0	0
2014	10	30.99	171.88	123.11	67.341	122.3	1594.5	83.004	2.741	1.963	45.640	105.483	0	0
2014	11	13.02	23.21	135.17	105.483	124.4	2237.5	33.748	0.519	3.024	44.168	92.558	0	0
2014	12	0.00	0.00	187.42	92.558	123.8	2037.1	0.000	0.000	3.818	45.640	43.100	0	0
2015	1	0.00	15.68	193.76	43.100	120.6	1226.9	0.000	0.192	2.377	45.640	3.940	0	1
2015	2	5.30	3.79	196.36	3.940	115.6	348.4	12.822	0.013	0.684	41.223	3.940	0	1
2015	3	1.70	24.75	257.74	3.940	115.6	348.4	4.553	0.086	0.898	45.640	3.940	0	1
2015	4	3.19	33.59	284.98	3.940	115.6	348.4	8.268	0.117	0.993	44.168	3.940	0	1
2015	5	9.05	134.88	223.26	3.940	115.6	348.4	24.240	0.470	0.778	45.640	3.940	0	1
2015	6	30.24	209.16	166.87	3.940	115.6	348.4	78.382	0.729	0.581	44.168	38.302	0	0
2015	7	0.04	144.49	126.49	38.302	120.2	1166.5	0.107	1.685	1.475	45.640	3.940	0	1
2015	8	46.66	245.33	165.38	3.940	115.6	348.4	124.974	0.855	0.576	45.640	83.553	0	0
2015	9	34.32	114.29	153.14	83.553	123.3	1860.9	88.957	2.127	2.850	44.168	127.620	0	0
2015	10	37.78	128.65	143.27	127.620	125.3	2531.0	101.190	3.256	3.626	45.640	182.800	0	0
2015	11	24.53	90.19	151.64	182.800	127.2	3198.5	63.582	2.885	4.850	44.168	200.248	0	0
2015	12	19.77	133.64	139.10	200.248	127.7	3369.7	52.952	4.503	4.687	45.640	207.376	0	0
2016	1	5.23	11.62	150.29	207.376	128.0	3439.6	14.008	0.400	5.169	45.640	170.975	0	0
2016	2	2.96	21.30	157.10	170.975	126.8	3073.3	7.161	0.655	4.828	41.223	132.739	0	0
2016	3	2.36	14.57	217.14	132.739	125.5	2600.7	6.321	0.379	5.647	45.640	88.151	0	0
2016	4	0.73	107.96	169.80	88.151	123.5	1950.9	1.892	2.106	3.313	44.168	44.670	0	0
2016	5	14.42	261.55	142.82	44.670	120.7	1246.7	38.623	3.261	1.781	45.640	39.132	0	0
2016	6	30.46	228.04	116.32	39.132	120.3	1177.0	78.952	2.684	1.369	44.168	75.232	0	0
2016	7	44.41	99.76	134.82	75.232	122.8	1711.2	118.948	1.707	2.307	45.640	147.940	0	0
2016	8	28.19	254.34	120.34	147.940	126.1	2804.5	75.504	7.133	3.375	45.640	181.562	0	0
2016	9	34.81	313.73	107.92	181.562	127.2	3186.3	90.228	9.996	3.439	44.168	234.179	0	0
2016	10	44.52	106.32	128.24	234.179	128.7	3637.2	119.242	3.867	4.664	45.640	306.985	0	0
2016	11	18.58	92.15	126.84	306.985	130.6	4217.8	48.159	3.887	5.350	44.168	309.513	0	0
2016	12	14.81	40.99	133.70	309.513	130.6	4233.2	39.667	1.735	5.660	45.640	299.616	0	0
2017	1	7.39	0.00	157.03	299.616	130.4	4172.9	19.793	0.000	6.553	45.640	267.216	0	0
2017	2	0.00	16.75	143.46	267.216	129.6	3923.1	0.000	0.657	5.6				

2019	11	9.21	119.39	137.54	38.247	120.2	1165.8	23.872	1.392	1.603	44.168	17.740	0	0
2019	12	22.33	0.00	136.91	17.740	118.1	758.8	59.809	0.000	1.039	45.640	30.870	0	0
2020	1	12.17	3.04	180.15	30.870	119.5	1050.2	32.596	0.032	1.892	45.640	15.966	0	0
2020	2	1.88	0.00	227.08	15.966	117.9	713.6	4.548	0.000	1.621	41.223	3.940	0	1
2020	3	0.00	15.64	271.10	3.940	115.6	348.4	0.000	0.054	0.945	45.640	3.940	0	1
2020	4	0.00	32.64	263.00	3.940	115.6	348.4	0.000	0.114	0.916	44.168	3.940	0	1
2020	5	4.85	286.42	172.00	3.940	115.6	348.4	12.990	0.998	0.599	45.640	3.940	0	1
2020	6	31.91	238.39	147.71	3.940	115.6	348.4	82.711	0.831	0.515	44.168	42.799	0	0
2020	7	12.33	162.10	141.02	42.799	120.6	1223.1	33.025	1.983	1.725	45.640	30.442	0	0
2020	8	28.85	214.00	148.82	30.442	119.5	1042.7	77.272	2.231	1.552	45.640	62.753	0	0
2020	9	36.15	164.99	141.73	62.753	122.1	1526.5	93.701	2.519	2.164	44.168	112.641	0	0
2020	10	34.23	118.51	142.79	112.641	124.7	2331.1	91.682	2.763	3.329	45.640	158.117	0	0
2020	11	7.15	117.50	156.20	158.117	126.4	2923.3	18.533	3.435	4.566	44.168	131.351	0	0
2020	12	11.23	67.23	203.34	131.351	125.4	2581.8	30.078	1.736	5.250	45.640	112.275	0	0
2021	1	6.54	0.00	244.06	112.275	124.7	2326.3	17.517	0.000	5.678	45.640	78.474	0	0
2021	2	0.00	0.00	271.12	78.474	123.0	1761.6	0.000	0.000	4.776	41.223	32.475	0	0
2021	3	0.00	3.91	320.32	32.475	119.7	1078.1	0.000	0.042	3.453	45.640	3.940	0	1
2021	4	2.43	90.26	310.90	3.940	115.6	348.4	6.299	0.314	1.083	44.168	3.940	0	1
2021	5	15.66	256.21	176.07	3.940	115.6	348.4	41.944	0.893	0.613	45.640	3.940	0	1
2021	6	27.38	265.63	148.03	3.940	115.6	348.4	70.969	0.926	0.516	44.168	31.151	0	0
2021	7	43.98	216.81	151.83	31.151	119.6	1055.1	117.796	2.288	1.602	45.640	103.993	0	0
2021	8	34.12	182.83	137.31	103.993	124.3	2218.0	91.387	4.055	3.046	45.640	150.749	0	0
2021	9	46.12	119.04	149.49	150.749	126.2	2837.3	119.543	3.377	4.241	44.168	225.261	0	0
2021	10	36.76	91.35	144.90	225.261	128.5	3572.7	98.458	3.264	5.177	45.640	276.166	0	0
2021	11	14.91	149.94	143.35	276.166	129.8	4006.3	38.647	6.007	5.743	44.168	270.909	0	0
2021	12	15.18	9.94	151.26	270.909	129.7	3957.4	40.658	0.393	5.986	45.640	260.334	0	0
2022	1	7.36	16.00	177.76	260.334	129.4	3859.0	19.713	0.617	6.860	45.640	228.165	0	0
2022	2	5.23	0.00	201.04	228.165	128.5	3593.7	12.652	0.000	7.225	41.223	192.370	0	0
2022	3	0.92	0.00	267.49	192.370	127.5	3292.4	2.464	0.000	8.807	45.640	140.387	0	0
2022	4	0.00	56.94	266.07	140.387	125.8	2704.8	0.000	1.540	7.197	44.168	90.563	0	0
2022	5	15.26	429.90	156.50	90.563	123.6	1998.0	40.872	8.590	3.127	45.640	91.258	0	0
2022	6	3.98	13.12	131.94	91.258	123.7	2011.6	10.316	0.264	2.654	44.168	55.016	0	0
2022	7	17.28	45.06	140.79	55.016	121.5	1403.0	46.283	0.632	1.975	45.640	54.316	0	0
2022	8	2.22	142.51	179.08	54.316	121.5	1391.7	5.946	1.983	2.492	45.640	14.113	0	0
2022	9	0.00	168.11	157.04	14.113	117.6	667.3	0.000	1.122	1.048	44.168	3.940	0	1
2022	10	36.93	200.74	126.39	3.940	115.6	348.4	98.913	0.699	0.440	45.640	57.472	0	0
2022	11	19.82	1.40	136.09	57.472	121.7	1442.7	51.373	0.020	1.963	44.168	62.735	0	0
2022	12	5.45	0.00	134.84	62.735	122.1	1526.3	14.597	0.000	2.058	45.640	29.634	0	0
2023	1	5.58	0.00	166.37	29.634	119.4	1028.7	14.945	0.000	1.711	45.640	3.940	0	1
2023	2	0.74	0.00	178.40	3.940	115.6	348.4	1.790	0.000	0.622	41.223	3.940	0	1
2023	3	0.00	24.10	187.98	3.940	115.6	348.4	0.000	0.084	0.655	45.640	3.940	0	1
2023	4	0.83	268.34	114.89	3.940	115.6	348.4	2.151	0.935	0.400	44.168	3.940	0	1
2023	5	6.94	271.36	119.06	3.940	115.6	348.4	18.588	0.945	0.415	45.640	3.940	0	1
2023	6	0.00	72.69	151.45	3.940	115.6	348.4	0.000	0.253	0.528	44.168	3.940	0	1
2023	7	4.16	184.41	127.04	3.940	115.6	348.4	11.142	0.643	0.443	45.640	3.940	0	1
2023	8	25.93	130.71	129.26	3.940	115.6	348.4	69.451	0.455	0.450	45.640	27.756	0	0
2023	9	29.00	149.51	125.09	27.756	119.2	996.1	75.168	1.489	1.246	44.168	59.000	0	0
2023	10	27.94	138.39	120.96	59.000	121.8	1467.4	74.834	2.031	1.775	45.640	88.450	0	0
2023	11	36.95	52.63	117.66	88.450	123.5	1956.7	95.774	1.030	2.302	44.168	138.784	0	0
2023	12	18.70	53.30	116.53	138.784	125.7	2683.0	50.086	1.430	3.127	45.640	141.534	0	0
2024	1	10.77	9.38	149.58	141.534	125.8	2720.5	28.846	0.255	4.069	45.640	120.926	0	0
2024	2	3.94	2.54	197.39	120.926	125.0	2439.9	9.532	0.062	4.816	41.223	84.481	0	0
2024	3	0.77	3.59	232.17	84.481	123.3	1879.1	2.062	0.067	4.363	45.640	36.608	0	0
2024	4	3.58	166.67	157.96	36.608	120.1	1145.2	9.279	1.909	1.809	44.168	3.940	0	1
2024	5	1.58	282.91	139.57	3.940	115.6	348.4	4.232	0.986	0.486	45.640	3.940	0	1
2024	6	29.70	209.29	127.91	3.940	115.6	348.4	76.982	0.729	0.446	44.168	37.038	0	0
2024	7	46.54	197.95	163.62	37.038	120.1	1150.6	124.653	2.278	1.883	45.640	116.446	0	0
2024	8	31.35	232.31	145.48	116.446	124.8	2380.9	83.968	5.531	3.464	45.640	156.841	0	0
2024	9	55.78	207.47	145.54	156.841	126.4	2908.4	144.582	6.034	4.233	44.168	259.057	0	0
2024	10	60.89	100.17	144.58	259.057	129.4	3847.1	163.088	3.854	5.562	45.640	325.590	1	0
2024	11	28.22	75.93	147.48	325.590	131.0	4331.2	73.146	3.289	6.388	44.168	325.590	1	0
2024	12	14.91	122.41	148.32	325.590	131.0	4331.2	39.935	5.302	6.424	45.640	318.763	0	0
2025	1	9.00	3.68	168.91	318.763	130.8	4289.6	24.106	0.158	7.246	45.640	290.141	0	0
2025	2	1.72	11.07	194.84	290.141	130.2	4115.2	4.161	0.456	8.018	41.223	245.516	0	0
2025	3	1.20	17.12	245.37	245.516	129.0	3721.1	3.214	0.637	9.130	45.640	194.597	0	0
2025	4	1.19	136.14	185.08	194.597	127.6	3314.2	3.084	4.512	6.134	44.168	151.892	0	0
2025	5	4.49	253.02	168.75	151.892	126.2	2850.6	12.026	7.213	4.810	45.640	120.680	0	0
2025	6	0.00	114.02	165.48	120.680	125.0	2436.5	0.000	2.778	4.032	44.168	75.258	0	0
2025	7	3.35	204.72	184.22	75.258	122.8	1711.6	8.973	3.504	3.153	45.640	38.942	0	0
2025	8	13.05	244.47	166.47	38.942	120.3	1174.6	34.953	2.871	1.955	45.640	29.171	0	0
2025	9	21.13	364.55	137.06	29.171	119.4	1020.7	54.769	3.721	1.399	44.168	42.095	0	0
2025	10	27.24	175.81	125.98	42.095	120.5	1214.3	72.960	2.135	1.530	45.640	70.019	0	0
2025	11	16.23	50.50	132.72	70.019	122.5	1634.1	42.068	0.825	2.169	44.168	66.576	0	0
2025	12	0.00	42.67	169.20	66.576	122.3	1583.1	0.000	0.676	2.679	45.640	18.933	0	0
Promedio		13.63	105.41	165.33	77.69	121.05	1062.00	0.00	0.67	2.68	45.64	18.93	2	100

Presa Pao - La Balsa. **Movimiento de Embalse**



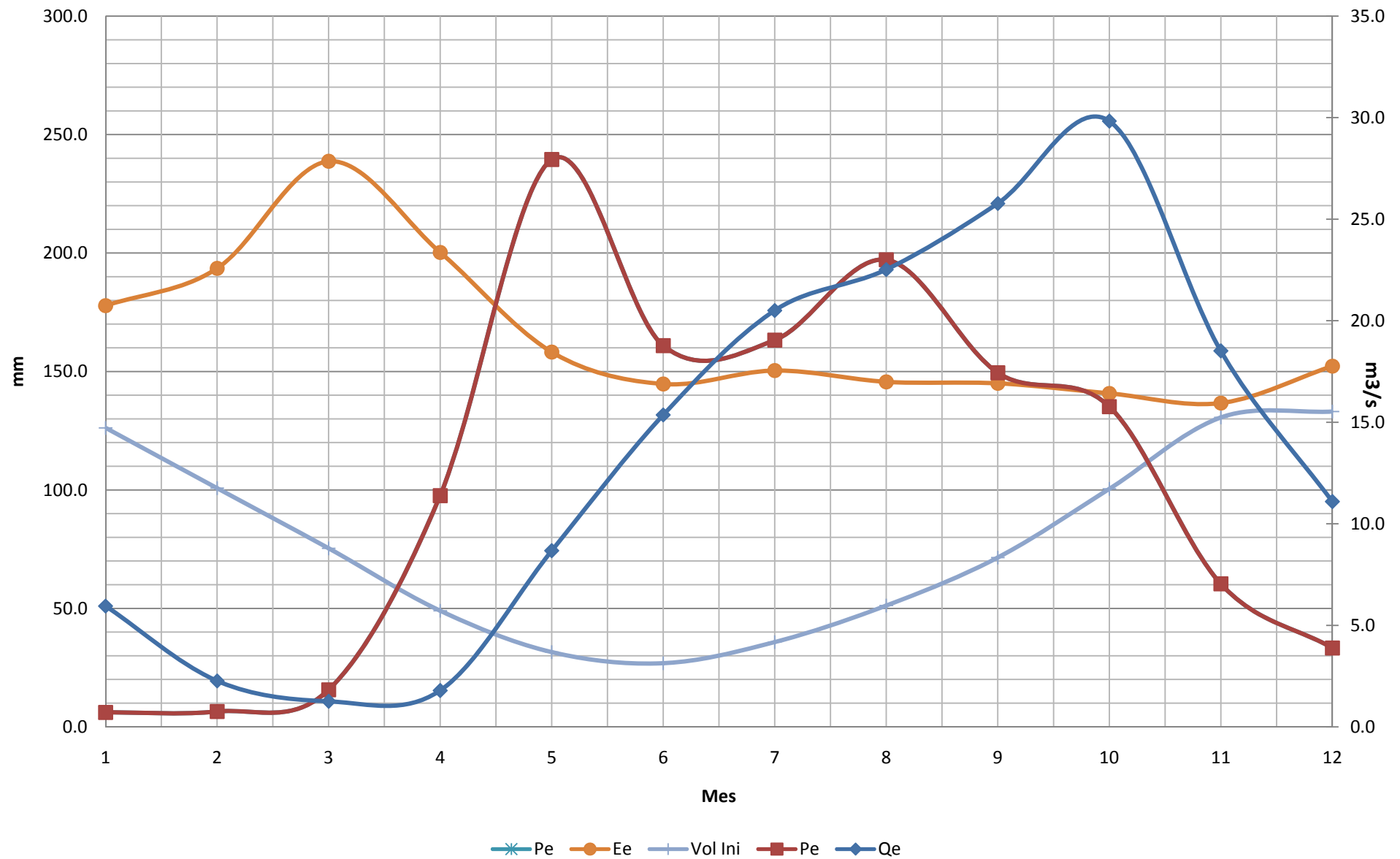
Nivel promedio mensual del embalse.



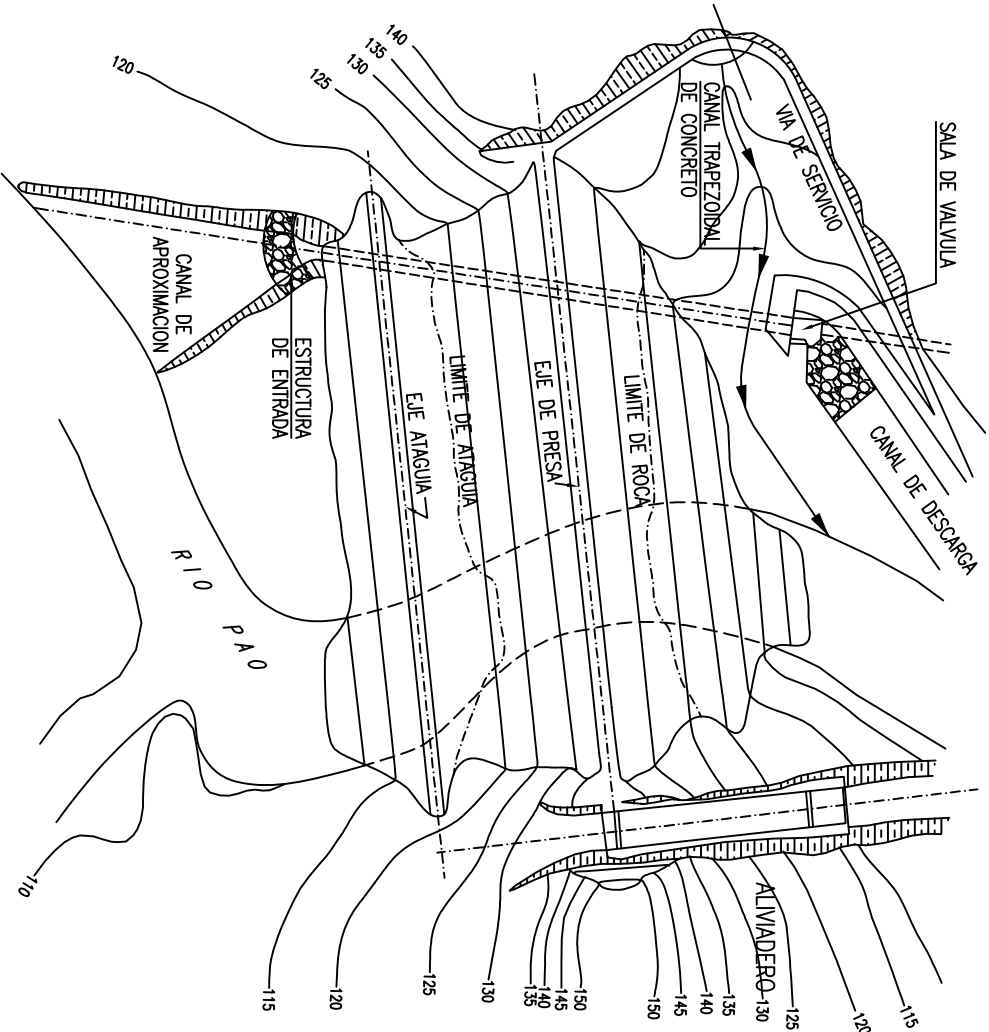
Promedio mensual mov. Del embalse para 25 años

Mes	Qi(m3/s)	Precip (mm)	Evapo (mm)	Vi (10x6 m3)	Cota (msnm)
1	5.9	6.1	177.8	126.2	123.5
2	2.3	6.5	193.5	100.8	122.2
3	1.3	15.6	238.7	75.3	120.9
4	1.8	97.6	200.3	49.0	119.2
5	8.7	239.5	158.2	31.5	118.0
6	15.4	160.9	144.7	26.9	117.9
7	20.5	163.2	150.4	35.8	119.1
8	22.5	197.2	145.6	51.2	120.1
9	25.8	149.4	145.0	71.5	121.5
10	29.8	135.2	140.8	100.5	122.5
11	18.5	60.4	136.7	130.6	123.8
12	11.1	33.3	152.2	133.1	123.8

Promedio mensual mov. del embalse para 25 años

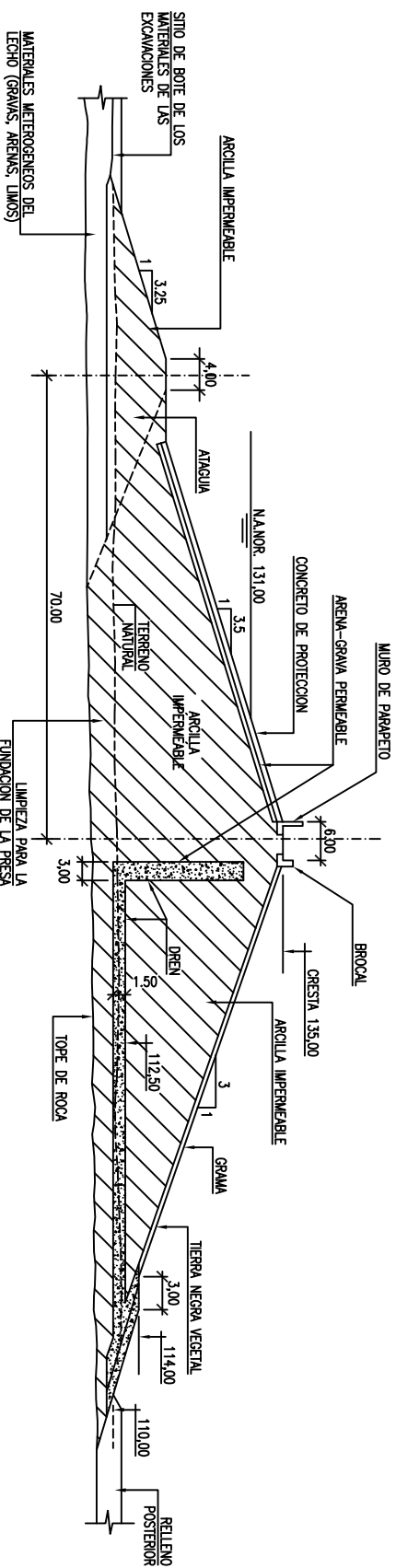


Planos



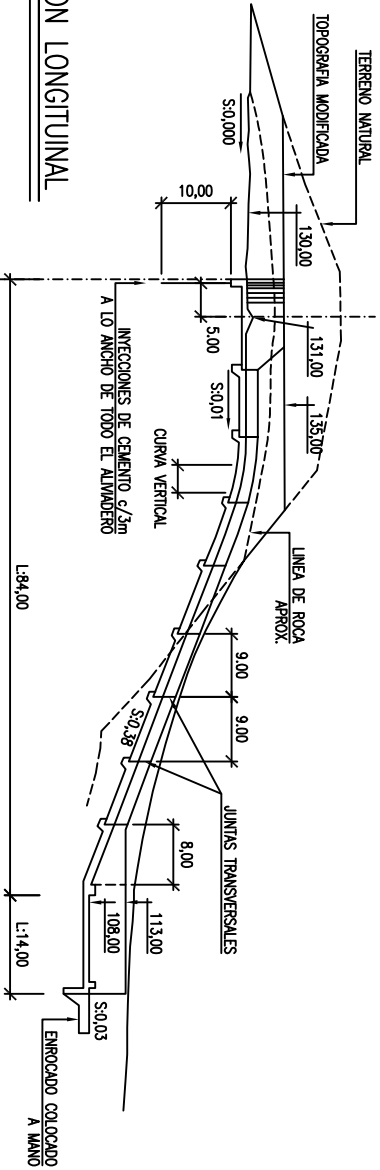
PRESA PRINCIPAL – PLANTA

Sin Escala



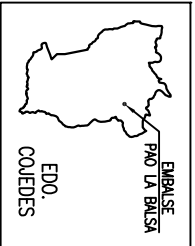
PRESA PRINCIPAL – SECCION TIPICA

Escala: 1:1000



ALMADERO – SECCION LONGITUDINAL

Escala: 1:1000



UBICACION GEOGRAFICA

Sin Escala



PRESA PRINCIPAL – PLANTA

Esc.: 1:1000

PROYECTO: N° 01
FECHA: 01/01/2024

PRESA "PAO" – LA BALSA
RIO PAO – ESTADO COJEDES
PLANTA CONJUNTO