

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

**DEFINICION DE LAS REGLAS DE OPERACIÓN HIDRAULICA DEL
EMBALSE LA ESPERANZA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL GRADO DE MAGISTER EN INGENIERIA
DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y CIENCIAS DEL AGUA.
MENCIÓN: DISEÑO DE PROYECTOS HIDRÁULICOS.**

EFREN WILFRIDO ORTIZ MOYA
e-mail: efrenwom@gmail.com

DIRECTOR: ING. REMIGIO GALARRAGA SANCHEZ, M.Sc., Ph. D.
e-mail: remigio.galarraga@epn.edu.ec

QUITO, Octubre de 2015

DECLARACIÓN

Yo, Efrén Wilfrido Ortiz Moya, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ing. Efrén Ortiz Moya

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Efrén Wilfrido Ortiz Moya, bajo mi supervisión.

Ing. Remigio Galarraga Sánchez, M.Sc., Ph.D.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica Nacional, porque dentro de sus aulas recibí la formación académica para alcanzar el grado de Magíster.

A SENAGUA, por el apoyo brindado a este trabajo al permitirme visitar el embalse La Esperanza, y la información necesaria para la realización de esta tesis.

Al Dr. Remigio Galarraga, por haberme dirigido en la realización de este trabajo, especialmente por su paciencia.

A todas la personas que me han ayudado de una u otra manera a finalizar este trabajo.

DEDICATORIA

A mi hijo Víctor Emilio.

A mi esposa Ana María.

A mis padres, hermanas y sobrinos.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
CONTENIDO.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE GRÁFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
PRESENTACIÓN.....	xvi
CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 TERMINOLOGÍA.....	2
1.3 DEFINICIONES.....	6
1.4 PROYECTO INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.....	8
1.4.1 CAMBIOS AL PROYECTO ORIGINAL.....	10
1.4.2 SITUACION ACTUAL DEL PROYECTO INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.....	11
1.5 OBJETIVOS DE LA TESIS.....	12
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
CAPITULO 2.....	13
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LA ESPERANZA.....	13
2.1 GENERALIDADES.....	13
2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.....	14

2.3 OPERACIÓN DEL EMBALSE, DOCUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS EXISTENTES.....	20
2.4 COMPORTAMIENTO ACTUAL DEL EMBALSE LA ESPERANZA FRENTE A PRECIPITACIONES EXTRAORDINARIAS.....	20
2.5 CONCLUSIONES.....	23
CAPITULO 3.....	23
ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE APORTACIÓN DEL EMBALSE...	23
3.1 ANÁLISIS DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO REALIZADO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	23
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS DE APORTACIÓN.....	33
3.3 UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS EN EL ÁREA DE APORTACIÓN AL EMBALSE.....	40
3.3.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	40
3.3.2 ESTACIONES HIDROLÓGICAS.....	43
3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA Y METEOROLÓGICA EXISTENTE.....	43
3.4.1 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	43
3.4.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	44
3.5 PRE – DISEÑO DE UNA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE.....	44
3.6 CONCLUSIONES.....	50
CAPITULO 4.....	51
ANÁLISIS DEL EMBALSE, VOLÚMENES DE DISEÑO Y LAMINACIÓN.....	51
4.1 GENERALIDADES.....	51
4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DEL EMBALSE.....	52
4.2.1 CONCEPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO DE LA PRESA.....	52

4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL CUERPO DE LA PRESA.....	53
4.3 CURVA ÁREA – COTA – VOLUMEN.....	55
4.4 LAMINACIÓN DEL HIDROGRAMA DE CRECIDA POR EFECTO DEL EMBALSE. METODOS DE CÁLCULO.....	56
4.5 NIVELES MÁXIMOS DE CRECIDA.....	64
4.6 CONCLUSIONES.....	65
CAPITULO 5.....	66
RELACIONES ENTRE PRECIPITACIÓN, NIVEL DEL EMBALSE Y CAUDALES EVACUADOS.....	66
5.1 ALTURA MÁXIMA MAXIMORUM DEL ESPEJO DE AGUAS DEL EMBALSE CONSIDERANDO TODOS LOS USOS DE AGUA.....	66
5,2, ELEMENTOS DE EVACUACIÓN DE AGUA DEL EMBALSE.....	70
5.3 CONCLUSIONES.....	73
CAPÍTULO 6.....	74
MODELO DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.....	74
6.1 CURVAS DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE PRECIPITACIONES EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL EMBALSE Y CAUDALES EVACUADOS.....	74
6.2 TIEMPO MÁXIMO DE INICIO DE OPERACIÓN DESDE CUANDO SE HA INICIADO LA TORMENTA.....	84
6.3 TIEMPO DE DURACIÓN DE LA OPERACIÓN.....	97
6.4 MANUAL DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.....	101
6.5 CONCLUSIONES.....	115
CAPITULO 7.....	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
7.1 CONCLUSIONES.....	116
7.2 RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	120.....
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. CAPACIDADES DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA INTEGRADO CHONE -PORTOVIEJO.....	9
TABLA 2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA PRESA LA ESPERANZA.....	15
TABLA 3.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.....	23
TABLA 3.2. APORTACIONES AL EMBALSE (ESTACIÓN CALCETA).....	24
TABLA 3.3. CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA ESTACION CALCETA.....	24
TABLA 3.4. AREAS, ALTURAS Y VOLÚMENES DEL EMBALSE LA ESPERANZA.....	25
TABLA 3.5. CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA ESTACIÓN CALCETA.....	26
TABLA 3.6. DEMANDAS DE AGUA EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.....	27
TABLA 3.7. RELACIÓN ÁREA, COTA Y VOLUMEN DEL EMBALSE LA ESPERANZA.....	29
TABLA 3.8. CAUDALES EVACUADOS POR EL VERTEDERO DE EXCESOS.....	30
TABLA 3.9. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE VERTIDO DE EXCESOS.....	31
TABLA 3.10. RESULTADOS DE BATIMETRÍAS.....	32
TABLA 3.11. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	35
TABLA 3.12. NUMERO DE CURVA PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO.....	40

TABLA 3.13. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.....	41
TABLA 3.14. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LAS CUENCAS DE APORTE AL EMBALSE.....	43
TABLA 5.1. SERIE DE CAUDALES DE APORTE AL EMBALSE LA ESPERANZA.....	67
TABLA 6.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 100 AÑO.....	77
TABLA 6.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 500 AÑOS.....	77
TABLA 6.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 100 AÑOS.....	78
TABLA 6.4. POSIBLES MODIFICACIONES A REALIZAR EN EL SISTEMA EN ESTUDIO.....	79
TABLA 6.5. CAUDALES, ANCHOS Y CALADOS DE INUNDACIÓN OARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.....	83
TABLA 6.6. TIEMPOS ASOCIADOS A CAUDALES MÁXIMOS EN EL EMBALSE.....	87
TABLA 6.7. CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DEL VERTEDERO DE EXCESOS.....	89
TABLA 6.8. CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DE AGUA DEL DESAGUE DE FONDO.....	91
TABLA 6.9. VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN EN INTERVALOS DE UNA HORA.....	93
TABLA 6.10. DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATIZADO.....	95
TABLA 6.11. PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO EN DIFERENTES MESES.....	99
TABLA 6.12. VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN EN INTERVALOS DE UNA HORA.....	104
TABLA 6.13. MANUAL DE OPERACIÓN DEL EMBALSE LA ESPERANZA	

CONSIDERACIÓN 1.....	107
TABLA 6.14. NIVELES DE OPERACIÓN ÓPTIMOS EN EL EMBALSE DURANTE LOS MESES DEL AÑO.....	110
TABLA 6.15. POSICIÓN DE LOS ELEMNTOS DE CONTROL EN CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMAL DE LA PRESA LA ESPERANZA.....	111
TABLA 6.16. POSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL DE LA PRESA CUANDO SE PRESENTA UNA ONDA DE CRECIDA EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.....	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1. CORTE ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.....	9
GRÁFICO 1.2. IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA CHONE – PORTOVIEJO....	10
GRÁFICO 3.1. CURVA ÁREA – COTA – VOLUMEN DEL EMBALSE.....	29
GRÁFICO 3.2. CUENCAS DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.....	34
GRÁFICO 3.3. GEOLOGÍA EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	36
GRÁFICO 3.4. EROSIÓN EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	37
GRÁFICO 3.5. TIPOS DE CLIMA EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	38
GRÁFICO 3.6. USO DE SUELO EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	39
GRÁFICO 3.7. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES EXISTENTES, RESPECTO A LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	42
GRÁFICO 3.8. ISOYETAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE.....	47
GRÁFICO 3.9. DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE UNA RED METEOROLÓGICA.....	48
GRÁFICO 3.10. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE.....	49
GRÁFICO 4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS PRESAS.....	51
GRÁFICO 4.2. ESQUEMA DEL CORTE DE LA PRESA LA ESPERANZA....	54
GRÁFICO 4.3. IMPLANTACIÓN DE LA PRESA LA ESPERANZA.....	55
GRÁFICO 4.4. CURVA ÁREA – COTA – VOLUMEN.....	56
GRÁFICO 4.5. FASES DE TRABAJO DEL PROGRAMA HEC – HMS.....	63
GRÁFICO 5.1. ALTURAS DE LOS VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO. PRESA LA ESPERANZA.....	69
GRÁFICO 5.2. ESQUEMA DEL ALIVIADERO, COMPUERTA TAINTOR.....	71

GRÁFICO 5.3. CURVA DE DESCARGA DEL DESAGUE DE FONDO.....	72
GRÁFICO 6.1. ESQUEMA DE SISTEMAS DE INGRESO Y SALIDA DE UN EMBALSE.....	75
GRAFICO 6.2. CORTE DE UNA PRESA CORTA PICOS.....	80
GRÁFICO 6.3. VISTA DE AGUAS ABAJO DE UNA PRESA CORTA PICOS.....	80
GRÁFICO 6.4. UBICACIÓN DE LAS PRESAS CORTA PICOS PROPUESTAS.....	81
GRÁFICO 6.5. VISTA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA; ATRÁS SE VE EL DISIPADOR DE ENERGÍA DEL DESAGUE DE FONDO.....	84
GRÁFICO 6.6. MAPA DE ISOCRONAS DE LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	85
GRÁFICO 6.7. HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.....	86
GRÁFICO 6.8. CAPACIDAD DE DESCARGA DEL VERTEDERO DE EXCESOS CON DIFERENTES NIVELES DE APERTURA DE LAS COMPUERTAS.....	90
GRÁFICO 6.9. CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.....	98
GRÁFICO 6.10. CURVAS DE VARIACIÓN MENSUAL DE APORTES Y DEMANDAS.....	100
GRÁFICO 6.11. FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES CUANDO SE PRESENTA UNA TORMENTA.....	103
GRÁFICO 6.12. NIVELES DE DISEÑO DE OPERACIÓN DEL EMBALSE....	109
GRÁFICO 6.13. NIVELES DEL AGUA EN EL EMBALSE, LUEGO DE UNA CRECIENTE.....	110

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – HMS DEL SISTEMA CUENCA – EMBALSE – PRESA LA ESPERANZA. PARA LA PRIMERA CONSIDERACIÓN.....	122
ANEXO 2. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – RAS DEL CAUCE DEL RÍO CARRIZALAGUAS ABAJO DE LA PRESA LA ESPERANZA.....	130
ANEXO 3. RESULTADOS DE MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – HMS DEL SISTEMA CUENCA – EMBALSE – PRESA LA ESPERANZA. PARA LA SEGUNDA CONSIDERACIÓN.....	133
ANEXO 4. CURVAS DE DURACIÓN GENERAL DEL RÍO CARRIZAL, ANTES Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.....	140

RESUMEN

En el país existen embalses para diferentes fines, como generación hidroeléctrica, dotación de agua potable, agua para riego y control de inundaciones; algunos de estos proyectos se encuentran aislados y cumplen uno, o varios propósitos a la vez; mientras que otros, pudiendo o no ser multipropósitos forman parte de un sistema de trasvases que permiten atender áreas más grandes y con alto déficit de recurso hídrico, así como laminar avenidas con el fin de proteger contra inundaciones a mayores áreas con riesgos de inundación.

El sistema Portoviejo Chone, está compuesto por tres embalses (Daule Peripa, La Esperanza y Poza Honda), y los trasvases entre ellos, lo que permite un sistema complejo de abastecimiento de agua para varios fines y control de inundaciones.

La presa La Esperanza, de material suelto homogéneo, está entre Daule Peripa y Poza Honda, de acuerdo a los trasvases; por si sola es un proyecto de propósito múltiple, es decir que regula aguas para riego, hidroenergía y agua potable, controla inundaciones y completa o permite el trasvase de agua desde Daule Peripa hasta Poza Honda. Es una presa de una altura de 47 m.; con una longitud total de alrededor de 700 m en su coronación.

La ubicación de este embalse está aproximadamente a 12 km de la ciudad de Calceta, cerca de la parroquia de Quiroga. A más de treinta años de estar en funcionamiento, presenta varios problemas, que se traducen en riesgo para las poblaciones que se encuentran aguas abajo de la misma, incluida la que vive en la ciudad de Calceta. Uno de los principales problemas de este embalse, es la inexistencia de un manual de operaciones que permita controlar de mejor manera las avenidas que se puedan presentar en el sistema; lo que ya ha provocado inundaciones en Calceta con al menos un muerto debido a estas causas.

Por lo expuesto anteriormente, en el presente trabajo se diseña un manual o instructivo de operaciones del embalse basado en la información hidrológica existente, las

memorias de diseño de las estructuras complementarias de la misma, que para este caso, es única y exclusivamente el conjunto de vertederos de excesos con compuertas tipo *taintor*, ya que el desagüe de fondo ha sido modificado y no cumple más con la función para la que fue diseñado.

Para realizar maniobras correctas en las compuertas de la presa, se divide al sistema en tres subsistemas básicos: la cuenca de aportación, el conjunto embalse – presa y las obras complementarias, y el cauce que se encuentra aguas abajo de la presa considerando como principal área a proteger la que constituye la ciudad de Calceta.

Para que haya eficacia en el control de inundaciones, se diseña a nivel de pre factibilidad una red de tres estaciones pluviométricas, que permitan identificar y predecir los caudales de crecida que llegarán al embalse. La información adquirida en estas estaciones pluviométricas debe ser comunicada instantáneamente a los técnicos encargados de la operación de las compuertas ubicadas sobre los vertederos de excesos.

Mediante simulaciones en el programa HEC-HMS, se comprueba que la eficacia en la laminación de la crecida es muy baja, por lo que se busca alternativas de estructuras, que ayuden a elevar la eficiencia en la laminación, las mismas que quedan analizadas y calculadas a nivel exploratorio y como recomendación para su implementación.

Finalmente considerando escenarios tales como el mes del año y la probabilidad de precipitaciones extraordinarias (meses de invierno y de verano); el nivel del agua al cambiar de estación; y el probable nivel del espejo de aguas cuando se presenta una lluvia asociada a períodos de retorno altos; se detalla las acciones de apertura y cierre que se deben realizar en las compuertas del vertedero de excesos, con el fin de regular o controlar los caudales de salida del embalse cuando se debe evacuar los volúmenes de agua provenientes de una crecida.

PRESENTACIÓN

Este trabajo presenta una descripción de los sistemas o proyectos de embalses, presas y las respectivas obras complementarias, una descripción de las condiciones que se debe tener para una laminación de avenidas y concluye con la redacción de un manual o instructivo de operaciones de la presa La Esperanza para que dicha laminación sea eficaz.

En los dos primeros capítulos se considera la parte conceptual del tema, la descripción del caso específico del sistema de propósito múltiple Chone – Carrizal y de la Presa La Esperanza o Sixto Durán Ballén.

En los capítulos 3 y 4, se realiza un análisis de los datos de entrada, es decir la información hidrológica y meteorológica existente, un pre diseño de una red de estaciones pluviométricas dentro de la cuenca de aportación; y un análisis de los caudales que se presentan a la salida del embalse en el caso de una avenida, mediante el uso del programa HEC-HMS. Esto se lo hace posterior a la validación de los resultados obtenidos frente a los del diseño.

En los capítulos finales, se presentan posibles soluciones al problema de la laminación de crecidas mediante estructuras que podrían ubicarse en la cuenca de aportación al embalse, modificaciones en la presa y obras complementarias y en el cauce donde se descargan los caudales producto de la laminación. Finalmente, y con toda la información disponible y generada en este trabajo, se redacta, a nivel exploratorio, un manual de operaciones de las compuertas de los aliviaderos de la presa.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.

El proyecto hídrico La Esperanza es uno de uso múltiple y cumple con los siguientes fines:

- Control de inundaciones.
- Regulación del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua para consumo humano, riego y regulación de agua dulce para las camaroneras ubicadas aguas abajo del embalse.

Uno de los principales problemas de este proyecto es la falta de un sistema de operación eficiente del embalse frente a caudales de crecida (avenidas con periodos de retorno mayores a 100 años). Y es de entenderse tal ineficiencia, cuando el sistema cuenta con un solo pluviómetro al pie de la presa; lo que genera limitación para determinar planes de alerta y operación.

Actualmente, la operación de la presa, se limita a la apertura y cierre de las compuertas tipo *TAINTOR*, cuando ya se presentan los caudales de crecida en el embalse y la consecuente elevación del nivel de agua. En estas condiciones, se deben realizar operaciones bruscas que generan caudales pico (caudales máximos) inusualmente elevados, sin que se cumpla a cabalidad con el objetivo de laminar el hidrograma de crecida (atenuar los caudales pico), ocasionando de esta manera que las poblaciones, cultivos, infraestructura e incluso las vidas humanas estén en peligro en determinadas épocas del año.

En este tipo de complejos hidráulicos es imprescindible implementar, aguas arriba del embalse una red hidrometeorológica que comunique a los responsables de la operación de la presa la presencia de lluvias extraordinarias en las cuencas aportantes

al embalse, así como de la existencia de caudales de crecida en los ríos afluentes al mismo.

De esta manera se puede tener el tiempo necesario, al menos igual al tiempo de concentración, para preparar las estructuras de control del embalse, evacuar en forma programada el agua existente en el mismo, y así obtener el mejor resultado en el control de inundaciones.

Una vez diseñada la red hidrometeorológica, se puede generar un manual de operaciones de los elementos de control del embalse, para cuando las condiciones climáticas de la cuenca de aportación cambian, y cuando se presentan precipitaciones y los consecuentes caudales con los períodos de retorno establecidos para su diseño.

1.2 TERMINOLOGÍA.

Aforo.- Medición del caudal de un río o corriente.

Aforo esporádico.- Medición del caudal de un río o corriente de manera eventual.

Año hidrológico.- Período de doce meses que comprende un ciclo hidrológico completo, partiendo del mes en que se observan los valores mínimos.

Avenida.- Crecida impetuosa de un río o arroyo. (Diccionario Enciclopédico Universal Siglo XXI, 2004). Afluencia repentina y violenta del agua e inundación debidas a una crecida.

Caudal.- Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río en una unidad de tiempo (segundo).

Caudal medio diario.- Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río durante el día dividido por el número de segundos del día.

Caudal medio mensual.- Media aritmética de los caudales medios diarios del mes.

Caudal medio anual.- Media aritmética de los caudales medios diarios del año.

Caudal máximo instantáneo.- Mayor caudal registrado instantáneamente en un período determinado. Este período puede ser un mes, un año o todo el registro.

Caudal máximo diario.- Mayor caudal diario registrado en un período determinado. Este período puede ser un mes, un año o todo el registro.

Caudal mínimo diario.- Caudal promedio diario más bajo registrado en un mes, un año o todo el registro.

Confluencia.- Unión o lugar de unión de dos o más cursos de agua.

Crecida.- Aumento brusco del nivel de agua de un arroyo, río u otra corriente. Porción de agua que se desplaza por la corriente tras este aumento. (<http://es.thefreedictionary.com>)

Cuenca hidrográfica.- Toda el área que tenga una salida común para su escorrentía superficial.

Curva de duración del caudal diario.- Muestra el tanto por ciento del tiempo en que el caudal de una corriente es superior a cantidades diarias determinadas con independencia de la continuidad en el tiempo.

Embalse.- Sinónimo de reservorio. Balsa artificial donde se acopian las aguas de un río o arroyo. Cantidad de aguas así acopiadas. (Diccionario Enciclopédico Universal Siglo XXI).

Escorrentía.- Volumen de agua que pasa por una sección de un río o corriente durante un período de tiempo. El período de tiempo generalmente usado es de un mes o un año.

Estación limnigráfica o fluviográfica.- Estación para la determinación de caudales por medio de registro gráfico continuo de los niveles de agua.

Estación limnimétrica o fluviométrica.- Estación para la determinación de caudales por medio de lecturas periódicas sobre una regla graduada llevadas a cabo por un observador.

Estación hidrométrica.- Estación en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos y propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua.

Estación hidrométrica electrónica.- Estación en la cual se obtienen mediciones de niveles del agua, en los ríos, lagos y embalses, de manera continua, utilizando equipos electrónicos.

Gasto sólido.- Volumen de sedimentos que pasa a través de una sección transversal del río en un periodo de tiempo determinado. Se expresa en toneladas/día, toneladas/mes o toneladas/año.

Hidrograma.- Gráfico que representa la variación de un caudal de agua (en el eje de ordenadas) respecto al tiempo (en el eje de las abscisas). (Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. 2007).

Isoyetas.- Línea que une puntos de un mapa que presentan el mismo índice de pluviosidad durante un periodo determinado. (Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. 2007).

Lechuguines.- Plantas acuáticas, entre las cuales la más conocida en nuestro medio es el Jacinto de Agua, *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach, distinguido mundialmente por su alta intensidad de crecimiento y reproducción, en relación a otras plantas acuáticas flotantes. (Mendoza Víctor, 2015).

Limnógrafo.- Aparato que registra gráficamente las fluctuaciones de los niveles de agua en forma continua.

Limnómetro.- Regla graduada que se instala en el río para leer las fluctuaciones de los niveles de agua.

Media aritmética.- Suma de un conjunto de valores dividido por su número, o suma de un conjunto de variables aleatorias dividida por el número de veces que aparecen.

Paramento.- Cualquiera de las dos caras de una pared, de un muro o de un sillar labrado. (Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. 2007).

Proyecto.- Plan y disposición detallados que se forman para la ejecución de una cosa. Conjunto de instrucciones, cálculos y dibujos necesarios para ejecutar una obra de arquitectura o de ingeniería. (<http://www.wordreference.com>)

Riesgo.- Posibilidad de sufrir un daño o adversidad. Es la posibilidad, ya que el riesgo se define mediante la amenaza, y esta, es la expresión de la posibilidad (objetiva o subjetiva; cuantitativa o cualitativa) de un estado de la naturaleza o sociedad en una resolución espacio – tiempo determinado.

Sedimento.- Material fragmentado transportado por el agua desde el lugar de origen al lugar de deposición.

Sedimento suspendido.- Material acarreado en suspensión por el agua, el cual se deposita en el fondo cuando el agua pierde velocidad.

Sequía hidrológica.- Un periodo de tiempo anormalmente seco, lo bastante prolongado para dar lugar a una escasez de agua, que se refleja en la disminución, inferior a lo normal, de los niveles de escorrentía y los lagos, y/o en la poca humedad del suelo y en el descenso de los niveles de agua subterránea.

1.3 DEFINICIONES.

Coefficiente de escorrentía.- Cociente entre el caudal de agua que circula por un cauce de una cuenca a consecuencia de un evento lluvioso (lluvia neta), y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma cuenca.

Estructuras de control del embalse.- Son todas las estructuras que se encuentran formando parte de la presa, o están incluidas en el sistema presa – embalse; el propósito de estas estructuras es el de regular el caudal de salida de agua del embalse, mediante cierre y/o apertura de válvulas y compuertas, o simplemente, por desbordamiento por sobre determinada estructura. Estas estructuras de control pueden ser:

- Captación.
- Desagüe de fondo.
- Vertedero de excesos.
- Compuertas.
- Válvulas ecológicas, etc.

Hidrograma de crecida.- El hidrograma de caudales es aquella representación gráfica que expresa la variación en el tiempo del caudal en una sección de un río, denominada sección de salida. En consecuencia, el hidrograma refleja la escorrentía total de la cuenca. Si sobre la cuenca se produce un aguacero de una intensidad de determinada columna de agua ($1\text{ mm} = 1\text{ l/m}^2$) que genera una escorrentía de un caudal determinado Q (m^3/s); el hidrograma definirá el caudal dependiente de t (s) como:

$$Q = f(t) \quad (1.1)$$

Ref: Ricardo Juncosa Rivera.- Hidrograma asociado a una precipitación.

Laminación de avenidas.- Reducción de los caudales máximos de avenida por almacenamiento. Puede ser natural en cauces anchos, o artificial, como consecuencia de embalses.

Proyecto multipropósito.- Un proyecto diseñado para riego, energía, control de inundaciones, municipal e industrial, de recreación y beneficios de peces y vida silvestre, en cualquier combinación de dos o más (contrasta a los proyectos de único propósito servir sólo una necesidad). (<http://es.termwiki.com>, 2014).

Período de retorno.- Este es un parámetro de los más significativos al instante en que es dimensionada la obra hidráulica, cuyo destino es el soporte de avenidas, como pueden ser el vertedero de una presa; o para una obra en la que vaya a cruzarse un río o arroyo, como puede ser un puente. El período de retorno, suele expresarse en años, pues prácticamente es el tiempo en que se espera la repetición de un caudal determinado. (<http://www.arqhys.com/construccion>).

Se define como período de retorno de un caudal, al intervalo medio de tiempo en el cual existe la probabilidad de que se produzca una avenida con un caudal superior al prefijado (Bañón Luis, 2012).

Scada.- SCADA proviene de las siglas de Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control). Es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Proporciona información del proceso a diversos usuarios: operadores, supervisores de control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. (Castro C., 2012).

Tiempo de concentración.- Es el tiempo definido como el necesario para que el agua precipitada en el punto más alejado de la cuenca de aportación respecto a una sección de desagüe llegue a dicha sección. Existen dos métodos de cálculo, dependiendo de si la cuenca presenta una canalización por cauces definidos o, por el contrario, el flujo del agua es difuso. (Bañón, 2012)

Tiempo de duración.- La mayor o menor pluviosidad de un clima viene definida no sólo por la cuantía de las precipitaciones sino también por su duración. El tiempo en que está lloviendo tiene en muchos casos mayor relevancia que la cantidad de lluvia caída.

1.4 PROYECTO INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.

Las presas Poza Honda, La Esperanza, Simbocal; y trasvases Daule Peripa – La Esperanza – Poza Honda – Mancha Blanca, son obras de hidráulica construidas en el Centro de Manabí, entre los años 1971 a 2001, y forman parte del proyecto integral Chone Portoviejo.

La Fase I del Proyecto Integrado Chone-Portoviejo consiste en el Proyecto de Propósito Múltiple Poza Honda ya construido.

La Fase II corresponde al Proyecto de Propósito Múltiple Carrizal-Chone, que consiste en la presa La Esperanza y el área de riego Carrizal-Chone, para 15000 Ha, cuya construcción fue decidida por el CRM (Corporación Reguladora del Manejo Hídrico de *Manabí*).

La Fase III del proyecto es el trasvase desde el embalse Daule Peripa a la parte central de Manabí con los desarrollos de riego en las cuencas de los ríos Portoviejo y Chone, que suman 29250 Ha, así como el suministro de agua purificada al Sistema de Agua Potable de Poza Honda, que incluye a Portoviejo, Manta, Jipijapa, etc.

Las características arriba indicadas se pueden observar en la tabla 1.1.

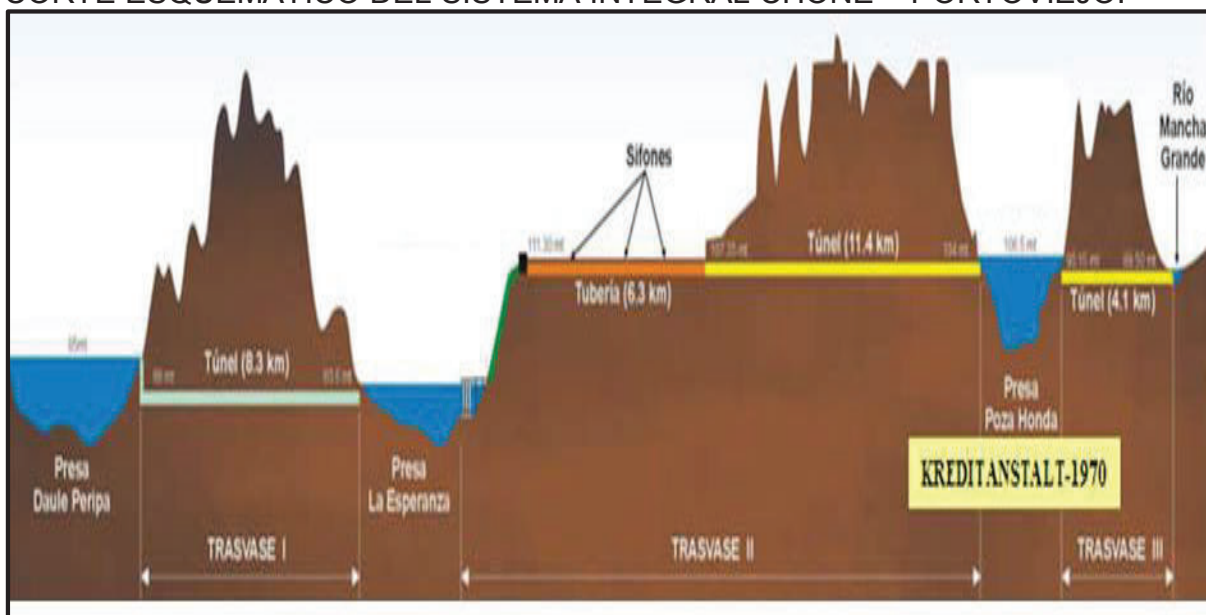
Los esquemas de cómo se conforma este conjunto de estructuras se observan en el gráfico 1.1, en un corte longitudinal, mientras que la vista en planta de la ubicación de las fases del proyecto general se puede observar en el gráfico 1.2.

TABLA 1.1.
CAPACIDADES DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA INTEGRADO CHONE -
PORTOVIEJO.

EMBALSE DAULE - PERIPA	
Volumen útil (hm ³)	530
Capacidad de trasvase Daule - Peripa al embalse La Esperanza (m ³ /s)	567
EMBALSE LA ESPERANZA	
Volumen útil (hm ³)	390
Caudal aprovechable aguas abajo de la presa (m ³ /s)	39
EMBALSE POZA HONDA	
Volumen útil (hm ³)	75
Caudal aprovechable aguas abajo de la presa (m ³ /s)	20
TOTAL VOLUMEN ÚTIL (hm³)	995
Trasvase promedio anual de Daule Peripa a La Esperanza (m ³ /s)	44

FUENTE: CRM 1984.

GRÁFICO 1.1.
CORTE ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.



FUENTE: (C.R.M., 2001)

GRÁFICO 1.2.
IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA CHONE – PORTOVIEJO.



FUENTE: (C.R.M., 2001)

1.4.1 CAMBIOS AL PROYECTO ORIGINAL.

Trasvases de agua.- Se considera que Manabí ha sido deficitaria en agua. En los valles fluviales grandes y medianos de la provincia se ha considerado que el nivel freático puede bajar en los estiajes. Para suplir en parte este problema se construyó el trasvase 1 (embalse Daule Peripa-La Esperanza), y los trasvases 2 (La Esperanza - Poza Honda) y 3 (Poza Honda-Mancha Grande) que alimentan al valle del río Portoviejo y

que permiten suplir las necesidades hídricas del centro de la provincia (eje Santa Ana-Portoviejo-Manta) que concentra el grueso poblacional e industrial de la misma. El correcto funcionamiento del sistema de trasvase necesita que el embalse La Esperanza se encuentre en un nivel óptimo, pero esto puede interferir en el control del nivel para evitar las posibles inundaciones del río Carrizal, a su paso por las poblaciones Calceta, La Estancilla, Tosagua y Bachillero y las áreas agrícolas de su productivo valle ya que aguas abajo tenemos más afluentes que drenan cuencas de importancia. Es decir, aquí encontramos el primer conflicto de uso de agua en el embalse.

Sistemas de riego. El diseño original en la represa La Esperanza estaba acorde con un sistema de riego a canal abierto. Posteriormente, se cambió el diseño por una tubería presurizada que permitía llevar el agua sin desperdicio a las parcelas. Esta obra, a cargo de la compañía brasileña Odebrecht, causó el primer cambio en la funcionalidad del embalse, ya que tuvo que adaptarse a este requerimiento a través de una obra de acoplamiento en el fondo de la presa. Tal vez por el hecho de ser un proyecto piloto de su tipo en el Ecuador, este sistema adolece de fallas desde su implementación, de tal forma que, la etapa I del proyecto, la única de las 3 que está terminada, constantemente tiene fallas en algunos de sus ramales causando incertidumbre entre los abonados del sistema durante sus cultivos de verano ya que no se garantiza la disponibilidad del líquido vital.

1.4.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO INTEGRAL CHONE – PORTOVIEJO.

Las presas Poza Honda, La Esperanza, Simbocal; y trasvases Daule Peripa – La Esperanza – Poza Honda – Mancha Blanca no han recibido una evaluación técnica integral que determine el estado de sus estructuras, por esta razón, los técnicos de SENAGUA que están a cargo de la operación de estos complejos hidráulicos deberían realizar sendos análisis de las estructuras existentes y contratar los estudios, correcciones, reparaciones y cambios respectivos; ya que estas estructuras en determinado momento, podrían representar un peligro latente para las personas,

bienes y estructuras que se encuentran dentro del área de influencia de las mismas; además, que la operación de los mismos no es la más adecuada, ya que no existen manuales de operación ni sistemas de alerta de crecidas que permitan a estas estructuras cumplir con sus objetivos iniciales.

1.5 OBJETIVOS DE LA TESIS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar, a nivel de estudio exploratorio, las reglas de operación del embalse La Esperanza para minimizar los daños aguas abajo de la presa, en época de crecidas, tomando en cuenta los otros usos del agua, ya que esta obra tiene propósito múltiple que permite el control de inundaciones, regula aguas de riego, para consumo humano y camarones de la zona central de Manabí.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones de manejo del embalse Las Esperanza y las estructuras del sistema La Esperanza.
- Analizar la calidad de la información hidrometeorológica existente en el sitio del proyecto y regional.
- Analizar la información hidrometeorológica y de usos del agua proveniente del embalse.
- Definir las reglas de operación del embalse.
- Definir un plan de actualización de la red hidrometeorológica mediante un perfil de proyecto.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LA ESPERANZA

2.1. GENERALIDADES.

La presa La Esperanza, cuyo nombre oficial es “Sixto Durán Ballén”, es parte del proyecto Integral Chone Portoviejo; es la más grande de la provincia de Manabí, con una capacidad de atender alrededor del 40 % de la provincia.

La presa de la Esperanza está ubicada en el cantón Bolívar, parroquia Quiroga, coordenadas 602875 S, 9901672 E; aproximadamente a 12 kilómetros de Calceta.

El comportamiento de las sequías de Manabí ha sido periódico; lo que generaba migración desde los campos de esta provincia, hacia lugares con mayor disponibilidad de agua, con el consecuente abandono de los campos de la región. Para tratar de remediar este problema, un estudio provincial hecho por una misión europea en el siglo pasado (década de los 50), marca el origen de este proyecto.

Luego de 20 años, se realizan estudios y diseños de este proyecto, integrándolo al Proyecto Carrizal Chone, que comprendía:

- Regulación del recurso hídrico con fines de agua potable, riego e hidroenergía.
- Control de inundaciones de la misma, y
- Control de flujos de agua dulce para la industria acuícola en el estuario del río Chone.

En 1978, la empresa surcoreana DAEWOO gana la licitación para la construcción de esta obra, y luego de un año, aduciendo problemas geológicos, abandona la obra.

Finalmente, DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, empresa española, logró superar el problema y terminar la construcción de la presa, en el año 1995. En la primera

temporada de lluvias (diciembre de 1995 - mayo de 1996), el embalse se llenó a su máxima capacidad determinando de esta manera una gran funcionalidad del proyecto.

El costo final del proyecto está estimado en aproximadamente 77 millones de dólares. 7900 hectáreas de suelo productivo fueron inundados, 25 comunidades campesinas fueron desplazadas o simplemente ya no existen.

Los comuneros, antes de iniciar el llenado del embalse en 1995, fueron desplazados a tierras más altas, migraron a otras zonas rurales o simplemente se fueron a las ciudades.

Luego de estar bajo la administración de varias instituciones como C.R.M. (aunque el agua la gestionaba Manageneración), actualmente está administrada por SENAGUA.

2.2. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.

“La construcción contempla un terraplén de 47 m. de altura sobre el cauce del río Carrizal, y con una longitud de 700 m., soportan un núcleo arcilloso, con un filtro drenaje para recoger las pequeña filtraciones que se pudieran haber producido durante el proceso de construcción y posteriormente durante la fase de explotación de embalse.

La Presa de la Esperanza almacena aproximadamente 450.000.000 de metros cúbicos de agua. Esto ha ocasionado la pérdida de más de 15.000 hectáreas de tierras productivas, tanto en la cuencas del río Barro como del Bejuco” (Moreno Quirola, 2006).

Las principales características físicas básicas de la presa La Esperanza, así como del embalse se indican en la tabla 2.1.

TABLA 2.1.
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA PRESA LA ESPERANZA.

Tipo de presa	Heterogénea de tierra
Capacidad total (hm ³ /s)	450
Capacidad útil (hm ³ /s)	390
Volumen anual entrante (hm ³)	376
Nivel máximo ocasional (m.s.n.m.)	67.5
Nivel máximo de operación normal (m.s.n.m.)	66
Nivel mínimo de operación normal (m.s.n.m.)	42
Nivel del lecho del río (m.s.n.m.)	22
Tipo de vertedero	Con compuertas taintor
Capacidad del vertedero (m ³ /s)	900
Capacidad del túnel de fondo (m ³ /s)	110
Área de la cuenca de hidrográfica de la presa (km ²)	445
Área del embalse a nivel de operación normal (km ²)	22.7
Precipitación media anual (mm)	1520

FUENTE: INFORME SENAGUA (Moreno Manuel, 2010)

ESTADO ACTUAL DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS DEL EMBALSE LA ESPERANZA (Moreno Manuel, 2010).- A continuación se presenta una transcripción de un informe presentado por el Ing. Manuel Moreno a SENAGUA, institución de la cual fue asesor en el año 2010.

“Presa.- No existe filtración en los paramentos de la presa. No se presenta ningún agrietamiento o fisura en el cuerpo de la presa. Los niveles de agua de los piezómetros del cuerpo de la presa y los de la cimentación, son controlados

permanentemente por la institución. La curva de depresión en el cuerpo de la presa se encuentra en niveles normales. Se controlan los caudales de filtración, tanto de la presa como de cimentación, los mismos que no presentan variación, en función de la cota de embalse o de la carga. Del control de los deformímetros, se concluye que no hay deformaciones. La corona de la presa, se ha convertido en camino de cuarto orden, destruido, sin mantenimiento y sin la menor seguridad, ni para la presa ni para los vehículos y personas, podría ocasionar riesgos en la estabilidad de la presa.

Vertedero de Excesos.- La estructura y superficie se observa en muy buenas condiciones, los equipos móviles están funcionales, y su capacidad para evacuar el caudal de crecida milenaria, es de aproximadamente 900 m³/s. El dissipador de energía también está en muy buen estado.

Desagüe de Fondo.- Con el fin de utilizar la carga de agua en el embalse para otro objetivo no planificado durante los estudios de este proyecto, esto es la dotación de agua para riego agrícola de una zona a la cual solo llega el agua por medio de una conducción a presión, la empresa encargada de la operación y mantenimiento del mismo, de forma anti técnica y destruyendo el plan básico de funcionamiento del sistema de riego, agua potable y control de inundaciones, ha taponado el desagüe de fondo para conectar una tubería forzada a dos turbinas, en la casa de máquinas construida al pie de la presa La Esperanza, con una potencia total de 6 Mw. Al implementar esta obra, no se tomó en cuenta la cota de control de inundaciones en el embalse, poniendo en peligro a los habitantes y propiedades aguas abajo de la presa, ni la colmatación del volumen muerto en esta estructura.

Torre de captación.- La estructura y equipo mecánico se encuentran en correcto estado de mantenimiento y en operación. Es importante controlar los niveles de sedimentación, mediante batimetrías periódicas.

Estación de Bombeo “Severino”.- La estación de bombeo está constituida por una sala de control de protección de los equipos del sistema de bombeo y por la sala de máquinas, donde se encuentran 6 bombas. La bomba No. 6 está dañada desde el año 2002. Aparentemente, esta bomba sirve como reserva, para cuando una de las bombas que operan normalmente se daña; por lo que es indispensable su reparación. Existe un correcto mantenimiento y medidas de seguridad contra incendios e industrial en toda la estación de bombeo.”

PROBLEMÁTICA DEL EMBALSE LA ESPERANZA.

El proyecto La Esperanza, debido a su tamaño, y a su tiempo de funcionamiento, presenta diferentes tipos de problemas, algunos generados por modificación al diseño original, por déficit de infraestructura que alerte sobre la presencia de crecidas, la presencia de vegetación en el embalse, y los generados por la presencia humana en los sectores aledaños al proyecto.

Eliminación del desagüe de fondo.- Inicialmente, el sistema contemplaba el riego agrícola por medio de un sistema a gravedad; pero, para poder atender a determinada zona de la provincia con agua para riego agrícola, cuya cota es muy alta para conducir el agua a gravedad hasta este sector, se implementó un sistema a presión.

Los objetivos de la construcción de la presa son el control de inundaciones, aprovisionamiento de agua potable y para riego, y facilitar el trasvase de agua de la presa Daule Peripa hacia Poza Honda. Sin embargo, posterior a la construcción de la presa se construyó una central hidroeléctrica, gestionada por la empresa Manageneración, la cual gestionaba el uso del agua en esos tiempos. Una vez puesta en funcionamiento esta central hidroeléctrica, la mayor cantidad de agua era utilizada para este propósito ($7 \text{ m}^3/\text{s}$), descuidándose notablemente uno de los objetivos fundamentales que es el riego ($5.5 \text{ m}^3/\text{s}$) y agua potable ($0.63 \text{ m}^3/\text{s}$). Sin embargo, al realizarse una evacuación no programada técnicamente se evacuó caudales muy grandes por el vertedero de excesos, se inundó el cuarto de máquinas de la central hidroeléctrica, razón por la que está fuera de funcionamiento hasta el día de hoy.

Para poder implementar estas dos variantes, esto es la central hidroeléctrica y la conducción a presión para riego agrícola, la modificación al sistema respecto al diseño original fue el taponamiento del desagüe de fondo antes de la salida al disipador de energía. El problema generado, es el de disminuir la capacidad de evacuación de agua en el caso de presentarse una avenida; por otro lado, al no evacuar agua por el desagüe de fondo, tampoco se eliminan los sedimentos acumulados en el fondo, mismos que disminuyen la capacidad de almacenamiento del embalse.

Lechuguines.- Como en todos los proyectos de este tipo, especialmente, los ubicados en la costa, existe un descontrolado crecimiento de lechuguines en el vaso del embalse; lo que genera problemas serios en la navegabilidad, y contaminación del agua, así como en el funcionamiento adecuado de las estructuras de evacuación de aguas, como es el caso de los vertederos de excesos.

Por la presencia de los lechuguines o jancitos de agua, se genera en el embalse un fuerte olor a podrido, lo que causa preocupación debido a que parte de esta agua se utiliza en el abastecimiento de agua potable, ya que son miles de toneladas de esta planta, que entra en descomposición cuando aumenta la temperatura.

El almacenamiento de lechuguines en descomposición en el cuenco amortiguador (122 m de largo por 22 m de ancho), da al agua una apariencia viscosa y de color oscuro.

Como solución a este problema, se ha contratado a una empresa para que haga limpieza y elimine estos vegetales del vaso del embalse, sin que existan soluciones definitivas, debido al rápido crecimiento de las plantas.

Impactos en la vida de las comunidades y en el medioambiente: Al construirse la presa, muchas comunidades fueron desplazadas del área cultivable; y las que quedaron en las zonas de impacto quedaron aisladas, al inundarse también la infraestructura vial de esa área. Como solución a este aislamiento, por iniciativa privada, se ha implementado un sistema de transporte por lanchas que cruzan el embalse. Pero el

problema ahora radica en la presencia de los lechuguines que han ocupado casi la superficie total del embalse, impidiendo esta forma de comunicación y quedando en riesgo de quedar incomunicadas más de 10000 personas que residen aguas arriba de la presa.

Inundaciones.- Cuando se presentan precipitaciones muy grandes en la cuenca de aporte al embalse, las estructuras de regulación para las inundaciones, no se operan correctamente, lo que provoca que el efecto laminador del embalse sea casi nulo; y se tenga que evacuar violentamente las aguas del embalse, y las áreas de cultivo, infraestructura vial, y las poblaciones que se encuentran aguas abajo de la presa se vean inundadas, poniendo en riesgo incluso las vidas de los animales y las personas.

En el mes de marzo de 2012, el nivel del agua se elevó en tal magnitud, que fue necesario evacuar un caudal de 240 m³/s, inundando la ciudad de Calceta, y manteniéndola anegada durante al menos 7 días; la solución fue tomada en forma apresurada, ya que se debía escoger entre abrir las compuertas y evacuar el agua en exceso o dejar que el nivel del agua siga incrementándose, con el riesgo de que supere la corona de la presa y se ponga a la misma en riesgo de colapsar (BIOMANABI, 2012).

Ausencia de un sistema de alerta.- Al tratarse de un proyecto de tal envergadura, y siendo uno de sus objetivos el control de inundaciones, éste debería contar con una red de pluviómetros, ubicados estratégicamente en las cuencas de aportación, y una red de limnímetros en los ríos aportantes al embalse, con el propósito de que mediante un sistema de comunicación entre estos aparatos de medición y la casa de máquinas de la presa, se pueda advertir de la presencia de precipitaciones y caudales extraordinarias aguas arriba del embalse; lo que permitiría preparar el embalse, la presa y las estructuras de regulación con un tiempo prudente y realizar las operaciones de manera planificada, para evitar la evacuación de caudales demasiado grandes.

Como ya se indicó anteriormente, ante la presencia de caudales de crecida muy grandes, es necesario realizar maniobras de apertura o cierre de compuertas muy bruscas, lo que desencadena en inundaciones hacia aguas abajo de la presa.

Esto se debe a que como elementos de control de los niveles de agua de la presa, se cuenta con un limnómetro ubicado cerca de la torre de captación; y como equipo para medir las precipitaciones, se cuenta con un único pluviómetro ubicado al pie de la presa.

2.3. OPERACIÓN DEL EMBALSE, DOCUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS EXISTENTES.

Lamentablemente no existe en la Presa LA ESPERANZA ningún documento que indique la forma en la que se debe operar el embalse, cuando se presentan fuertes precipitaciones en las cuencas de aporte al embalse.

La operación del embalse, solo se limita a solucionar problemas coyunturales inmediatos, y a cubrir necesidades según se van presentando. Muestra de ello son los registros de evacuación de caudales correspondiente al año 2012, donde se puede ver que los caudales ecológicos son evacuados del embalse en un caudal de 5 m³/s, sólo cuando hay suficiente agua en el embalse; mientras que en verano, cuando en realidad es necesario este caudal para la vida de la corriente no se entrega al cauce del río ningún caudal.

2.4. ESTADO Y OPERACIÓN ACTUAL DEL EMBALSE LA ESPERANZA FRENTE A PRECIPITACIONES EXTRAORDINARIAS.

En el periódico El Comercio del jueves 22 de marzo de 2012, aparece la siguiente noticia; y muchas otras similares aparecen por esas fechas y en diferentes medios de comunicación.

“A casi 17 años de haber entrado a funcionar para, entre otras cosas, evitar las inundaciones en la cuenca del Carrizal, la presa se ha vuelto una pesadilla, pues mantiene anegada por siete días a Calceta, que tiene 40 mil habitantes, y otras localidades (con unos 10 mil habitantes), así como cultivos y pastizales.”

"Toca estar alerta y dormir con los ojos abiertos", manifiesta Dolores Cedeño, habitante del sector Las Mercedes, de Calceta, donde el agua está a medio metro de altura."

"El lunes la represa llegó a su nivel más alto, producto del almacenamiento de gran cantidad de aguas lluvias y la apertura de sus compuertas provocó el desbordamiento del río Carrizal. Los técnicos mantienen abiertas tres compuertas, dijo ayer Antonio Zambrano, secretario del COE cantonal de Bolívar. El lunes y martes hubo la necesidad de evacuar hasta 240 m³ por segundo y ayer, "gracias a Dios, estaba en 170 m³ y el nivel ha bajado 1,25 metros", según Zambrano."

"Ese desfogue hace que Calceta siga inundada desde el viernes y podría seguir así varios días más, manifestó Ramón González, alcalde de Bolívar. Ayer, el nivel del agua en los barrios había bajado en unos 50 centímetros en el sector de San Felipe. Sin embargo, el temor de la población seguía latente. El 50% de esta ciudad todavía continuaba inundada y, ayer, el COE local decidió prohibir la venta de bebidas alcohólicas por cuatro días y el trasteo de casas por las noches."

"El problema se agudiza también en la zona rural, ya que el 80% de la red vial se encuentra destruido por deslizamientos y cuarteaduras en las vías, según informes del Municipio."

"¿La represa está a punto de colapsar? ¿Por qué se está evacuando más agua de la que recibe?", se preguntó ayer el ecologista y dirigente comunitario manabita Boris Zambrano, quien cuestionó que las autoridades y técnicos, supuestamente, no digan la verdad."

"Recordó que hace dos semanas, la gobernadora Susana Dueñas dijo que se estaban evacuando de La Esperanza 100 m³ por segundo y que el manejo de esta es técnico. Pero esta semana llegaron a evacuarse 240 m³. Zambrano

indicó que no es posible que los ríos Barro, Cañas y Carrizal (que alimentan la presa) aporten simultáneamente con tanto caudal.” (Eldiario.com.ec, 2012).

Estas noticias, dejan ver que la presa La Esperanza, tiene serios problemas en cuanto a su funcionalidad, y su eficiencia frente al control de inundaciones es muy baja, ya que como se puede leer, las poblaciones que se encuentran aguas abajo de este complejo hidráulico, están en peligro cada vez que en las cuencas aportantes al embalse se producen crecidas o tormentas importantes.

2.5. CONCLUSIONES.

- La presa la Esperanza ha sido diseñada y construida como un complejo multipropósito, es decir, como parte del sistema de trasvases de la provincia de Manabí, como un elemento de control de inundaciones, abastecimiento de agua potable y riego. No fue concebida con fines de proveer de agua a una central hidroeléctrica.
- Por una parte, al ser modificada la estructura del desagüe de fondo el embalse no tiene posibilidad de vaciarse, y por otro, el incremento del volumen de sedimentos en el embalse reduce drásticamente la funcionalidad del complejo.
- La acumulación de Jacintos de agua o Lechuguines, pone en riesgo la operatividad del complejo, debido a que produce malos olores al descomponerse, y no permite la navegabilidad en el embalse, perjudicando de esta manera a los comuneros que utilizan este medio de comunicación para poder comercializar los productos entre las áreas de producción agrícola y la ciudad.
- Respecto a la función de control de inundaciones, es limitada su funcionalidad, debido a que las operaciones de apertura de compuertas se realizan solo cuando ya se ha presentado la avenida en el embalse.

CAPITULO 3

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL AREA DE APORTACION DEL EMBALSE

3.1. ANÁLISIS DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO REALIZADO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.

El informe hidrológico es una actualización de algunos aspectos de estudios anteriores; su importancia radica en que es el último estudio realizado antes de la construcción del proyecto. Dicha actualización se refiere al régimen de caudales medios mensuales y de máximas crecidas y al control de caudales en el embalse (regulación y laminación).

En el informe hidrológico en estudio, se consideran los siguientes aspectos de relevancia para el diseño definitivo y construcción del proyecto.

APORTACIONES EN EL EMBALSE.- Las dos cuencas aportantes en este proyecto, presentan las características que se indican en la tabla 3.1.

TABLA 3.1.
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.

CUENCA	SUPERFICIE	PRECIPITACION
	km ²	(mm/año)
Río Carrizal en Calceta	580.00	1200.00
Río Carrizal en la Esperanza	475.00	1200.00

FUENTE: CRM, 1984.

Los datos de caudales considerados en el estudio, corresponden a la estación de Calceta publicados por el INAMHI comprendidos entre los años 1963 a 1977. Teniendo como datos de aportación los indicados en la tabla 3.2.

TABLA 3.2.
 APORTACIONES AL EMBALSE (ESTACIÓN CALCETA).

APORTACIONES	hm³/año
Aportación media anual	376
Aportación máxima (1976)	860
Aportación mínima (1963)	60

FUENTE: CRM, 1984.

La distribución media mensual de los caudales en la estación Calceta correspondientes a esta serie se puede ver en la tabla 3.3.

TABLA 3.3.
 CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA ESTACION CALCETA.

MES	CAUDAL
	m ³ /s
Diciembre	1.55
Enero	8.31
Febrero	27.94
Marzo	34.25
Abril	28.73
Mayo	23.75
Junio	9.31
Julio	5.44
Agosto	3.46
Septiembre	2.77
Octubre	2.85
Noviembre	4.74

FUENTE: CRM, 1984.

HIPÓTESIS DE CÁLCULO PARA LA EXPLOTACIÓN DEL EMBALSE.

Características geométricas del embalse.- Las curvas de áreas y capacidades en función de la altura, incluidas en el informe del estudio de diseño del proyecto La Esperanza, se presentan en la tabla 3.4.

TABLA 3.4.
ÁREAS, ALTURAS Y VOLÚMENES DEL EMBALSE LA ESPERANZA.

COTA	ALTURA	VOLUMEN	SUPERPICIE
(m.s.n.m.)	(m)	(hm ³)	(ha)
24.0	0.0	0.0	0.0
30.5	6.5	11.4	480.0
34.0	10.0	31.0	780.0
36.0	12.0	47.0	930.0
41.0	17.0	103.0	1270.0
46.0	22.0	171.0	1550.0
51.0	27.0	255.0	1800.0
56.0	32.0	351.0	2040.0
58.0	34.0	395.0	2145.0
61.0	37.0	460.0	2270.0
63.0	39.0	508.0	2375.0
65.0	41.0	556.0	2460.0

FUENTE: CRM. 1984.

El volumen de embalse muerto es de 31 hm³ (cota 34), el volumen para regulación (cotas 34 a 58) es de 364 hm³ y el de laminación de crecidas (cotas 58 a 63) de 113 hm³.

Evaporación.- En los estudios realizados en el año 1984 por la empresa surcoreana DAEWOO, la evaporación en lámina libre de agua se cifra en 5 mm/día, que suponen una pérdida media mensual de 2.5 hm³.

Caudal mínimo en el río.- El caudal mínimo que se debe entregar al río como requerimiento básico para su funcionamiento ecológico, como requerimiento permanente se ha determinado en este estudio en 0,5 m³/s, de acuerdo a los estudios realizados por DAEWOO.

Pérdidas por infiltración.- A las pérdidas por infiltración se les asignó en los estudios antes indicados un valor medio de 0,5 m³/s.

APORTACIONES DE ENTRADA EN EL EMBALSE.- En el estudio se proyecta - (generación estocástica mensual por el método de Thomas y Piering) una serie de 83 años de extensión como continuación de la serie histórica (1963-1979) correspondiente al río Carrizal en Calceta.

Las características medias de la serie de 100 años obtenida son la tabla 3.5.

TABLA 3.5.
CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LA ESTACIÓN CALCETA.

MES	CAUDAL
	(m ³ /s)
Diciembre	2.10
Enero	7.10
Febrero	21.20
Marzo	24.70
Abril	21.40
Mayo	11.90
Junio	9.60
Julio	5.90
Agosto	3.90
Septiembre	3.30
Octubre	3.80
Noviembre	6.70
Año	10.10

FUENTE: CRM, 1984.

El caudal medio anual resultante es un 85% del de la serie histórica de 17 años. El rango de variación de la serie generada es menor que el de la histórica. El coeficiente de variación de la serie histórica 0.98 se reduce a 0.79 en la serie de 100 años.

Demanda de agua.- En el Informe preliminar del estudio de factibilidad del "Proyecto Carrizal-Chone" se fijan las demandas anuales de riego de 18000 ha brutas (1963-1971) en 174.0 hm³/año (5.5 m³/s). En esta cifra se indica que están incluidas todas las pérdidas en los canales principales de conducción del sistema de riego y las pérdidas en la finca. (Con un coeficiente de eficiencia de riego de 0.6). La demanda del año máximo es de 214 hm³.

Para llegar a estas cifras se han utilizado los siguientes coeficientes, según el informe del CRM en el año de 1984.

Para riego en parcelas	0.65
Eficiencia de tiempo	0.67
Eficiencia de conducción	0.60

Además de estas necesidades de agua de riego, se ha calculado como demanda futura de agua de 20 hm³/año (0.63 m³/s de caudal mensual aproximado).

Resultados de la explotación del embalse.- A continuación, se resume los resultados de la demanda de agua en la tabla 3.6.

TABLA 3.6.
DEMANDAS DE AGUA EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.

Demanda bruta de riego	1568.0 hm ³
Descargas de regulación	381.0 hm ³
Caudal mínimo en el río	140.4 hm ³
Pérdidas por infiltración	140.4 hm ³
Pérdidas por evaporación	270.0 hm ³
Demanda total	2117.0 hm ³

FUENTE: CRM, 1984.

Muestra que con un embalse útil de regulación de 360 hm³ se obtienen 174 hm³/año para el riego de 18000 ha con una garantía de 99%. Se deja, así mismo, un caudal en el río de 0.5 m³/s.

HIDROGRAMAS DE CRECIDA.- Debido a la escasa información meteorológica y el corto período de los datos, en este estudio se utilizó métodos hidrométricos para estimar los valores de las crecidas.

Para la cuenca del Carrizal hasta Calceta (580 km²) se adopta una intensidad de 230 mm en un tiempo de retardo de 12 horas. El considerar una superficie mayor que la vertiente al embalse de La Esperanza (460 km²) se indica que constituye una seguridad adicional. Por la fórmula racional, considerando un coeficiente de escorrentía de 0.887, se obtiene un caudal pico (T = 1000 años) de 2.675 m³/s. Esto lo realizaron así las empresas INTECSA y GEOSISA, consultoras a cargo del estudio en el año 1984.

La selección de la crecida de diseño se realizó indicando que la lluvia de referencia debe estar comprendida entre 0.4 y 0.6 de la PMP, y que se opta por un valor de 0.45 PMP porque en La Esperanza las condiciones extremas de una crecida instantánea no son decisivas. Por otra parte se indica que la crecida de 100 años de período de retorno no debe superar la capacidad de desagüe del río, fijada en 175 m³/s.

LAMINACIÓN DE CRECIDAS.- EL control de crecidas originado por el volumen para laminación disponible se ha comprobado utilizando los hidrogramas de crecida de 100 a 10000 años de periodo de retorno anteriormente calculados.

Para analizar las posibilidades de controlar las crecidas en el embalse de La Esperanza se han probado aliviaderos de 35 y 36 m de longitud fijándose como condiciones de cálculo el que el embalse inicial coincida con el umbral del vertedero y la sobreelevación sea menor de 5 m.

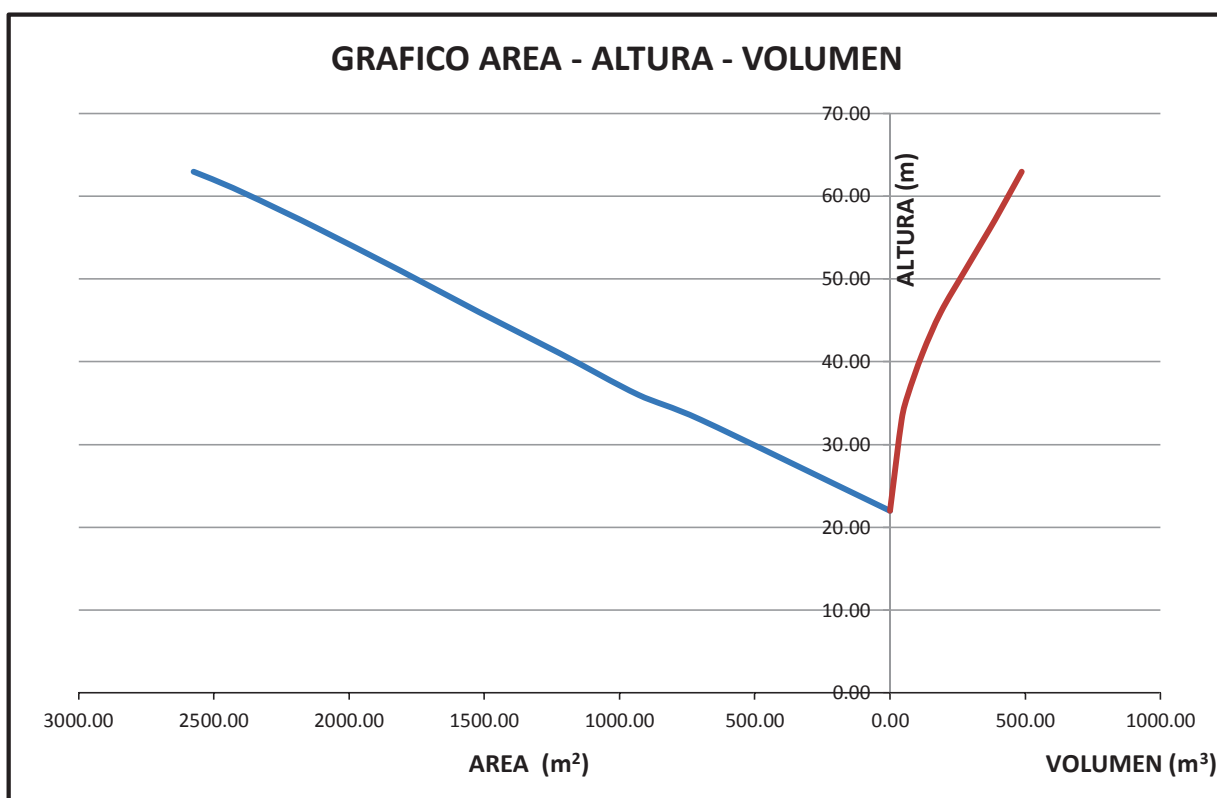
En la tabla 3.7 se muestran los valores de área – cota – volumen a partir de la cota 58 m.s.n.m. (nivel máximo aprovechable) hasta la 65 m.s.n.m., correspondientes a la zona del embalse donde se laminarán los caudales de crecida, y en el gráfico 3.1 se puede ver la curva área – cota – volumen.

TABLA 3.7.
RELACIÓN ÁREA, COTA Y VOLUMEN DEL EMBALSE LA ESPERANZA.

COTA (m.s.n.m)	VOLUMEN (hm³)	SUPERFICIE (ha)
58	0.00	2145.00
60	45.00	2230.00
62	90.00	2320.00
63	113.00	2375.00
64	135.00	2420.00
65	161.00	2460.00

FUENTE: CRM, 1984.

GRÁFICO 3.1.
CURVA ÁREA, COTA Y VOLUMEN DEL EMBALSE.



FUENTE: CRM, 1984.

Los 113 hm³ comprendidos entre las cotas 58 y 63 constituyen el embalse de control de crecidas en sentido estricto quedando 2 m de bordo libre, de acuerdo con las previsiones de dicho proyecto.

A partir de la curva de descarga por aliviadero incluida en el Estudio de Factibilidad se ha tomado un coeficiente ponderado de vertido sobre aliviadero de 0,45.

Se ha supuesto que el embalse está lleno (cota 62 m.s.n.m.) cuando se presenta la crecida de cálculo y que únicamente se producen vertidos por el aliviadero.

Caudales vertidos por el aliviadero.- En las condiciones de cálculo establecidas, los hidrogramas de crecida estimados originan resultados indicados en la tabla 3.8.

TABLA 3.8.
CAUDALES EVACUADOS POR EL VERTEDERO DE EXCESOS.

PERIODO DE RETORNO	LONGITUD DEL VERTEDERO	CAUDAL VERTIDO	CARGA SOBRE EL VERTEDERO	VOLUMEN RETENIDO
(años)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(hm ³)
500	35.00	495.00	3.69	82.00
1000	35.00	581.00	4.11	92.00
5000	35.00	665.00	4.50	101.00
10000	35.00	719.00	4.74	106.00
500	35.00	504.00	3.67	82.00
1000	35.00	593.00	4.09	91.00
5000	35.00	678.00	4.47	100.00
10000	35.00	732.00	4.71	106.00

FUENTE: CRM 1984.

Únicamente las crecidas estudiadas para 10.000 años de periodo de retorno producen unos resultados que se aproximan a los originalmente obtenidos en el Estudio de Factibilidad. En este estudio se indica también que la crecida centenaria, teniendo presente que la capacidad del río está entre 254 y 175 m³/s, no deberá sobrepasar los

175 m³/s, y que esta condición aún se cumple para una crecida con caudal constante de 100 años de periodo de retorno.

La crecida de T = 100 años estimada, lógicamente no plana, origina los resultados que se indican en la tabla 3.9.

TABLA 3.9.
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE VERTIDO DE EXCESOS.

LONGITUD VERTEDERO	CAUDAL VERTIDO	CARGA SOBRE EL VERTEDERO	VOLUMEN RETENIDO
(m)	(m³/s)	(m)	(hm³)
36	356	2,9	64.0
35	349	2.9	65.0
30	312	3.0	66.5
25	272	3.1	68.5

FUENTE: CRM 1984.

Únicamente con 25 m. de longitud de vertedero se aproxima el caudal vertido al límite superior de la capacidad de desagüe del río.

SEDIMENTACIÓN EN EL EMBALSE.- En el "Informe final del proyecto de la presa de La Esperanza (1976)" se indica que el volumen de deposición de materiales en suspensión en un período de 100 años alcanzará los 11.4 hm³.

En las "Aclaraciones y Ampliaciones de aspecto técnico y observaciones sobre el diseño final de la presa de La Esperanza" se indica que el transporte de sedimentos se determinó en base a aforos de materiales en suspensión en los ríos Carrizal y Chone y mediante correlación con la cuenca del río Portoviejo hasta Honorato Vázquez. Con una producción promedio mensual (1963-1971) en la cuenca de 0.250

ton/km²/año; el transporte en 100 años equivale a 9.9 hm³ adoptándose por seguridad el valor antes indicado de 11.4 hm³.

Teniendo en cuenta que los volúmenes de transporte de materiales que se obtienen a través de medidas de sólidos en suspensión suelen ser bastante inferiores a las que resultan de utilizar técnicas batimétricas se ha preferido partir de la información provisional del aterramiento del embalse de Poza Honda, obteniendo mediante este último procedimiento, a la hora de actualizar la sedimentación esperable en el embalse de La Esperanza.

En la primera versión del informe denominado "EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA EROSIÓN DE LA CUENCA Y LA SEDIMENTACIÓN DEL EMBALSE DE POZA HONDA (Varela 1982)", se indica que los reconocimientos batimétricos realizados en los veranos de 1978 y 1981 originaron los valores de volúmenes de embalse, los mismos que se observan en la tabla 3.10.

TABLA 3.10.
RESULTADOS DE BATIMETRÍAS.

AÑO	AREA
1978	89151899 m ²
1981	88259550 m ²

FUENTE: CRM, 1984.

Esto supone un aterramiento promedio de 297450 m³/año y, por tanto, una tasa de producción de sedimentos de 1700 m³/km².año (cuenca vertiente al embalse, 175 km²). Aunque esta cifra tiene el inconveniente de referirse a un período corto de tiempo, su utilización, con las consiguientes reservas, parece de mayor garantía que la deducible de la cartografía y batimetrías anteriores (1971 y 1976, respectivamente).

Admitiendo una eficiencia de retención del embalse de Poza Honda del 100%, la sedimentación del embalse de La Esperanza se ha obtenido suponiendo que la tasa

de sedimentación de una cuenca, en condiciones climáticas y fisiográficas equivalentes, varía en forma inversa y como una función exponencial del área de drenaje.

Según Brune (1953) dicho exponente es de 0.15, obteniéndose en la cuenca de La Esperanza una tasa de sedimentación de aproximadamente $1500 \text{ m}^3/\text{km}^2$; siendo el área de la cuenca de La Esperanza, 450 km^2 .

Como sedimentación en el embalse de La Esperanza se ha considerado un 95% del valor anterior que supone una sedimentación media anual de unos $0.64 \times 10^6 \text{ m}^3$.

A pesar de que los valores de sedimentación se los expresa normalmente en toneladas por unidad de tiempo, los estudios que sirven como base para el presente trabajo expresan estos valores en metros cúbicos por unidad de tiempo, ya que de esta manera, se puede interpolar directamente en la curva área – cota – volumen el espacio que ocuparían los sólidos en el embalse.

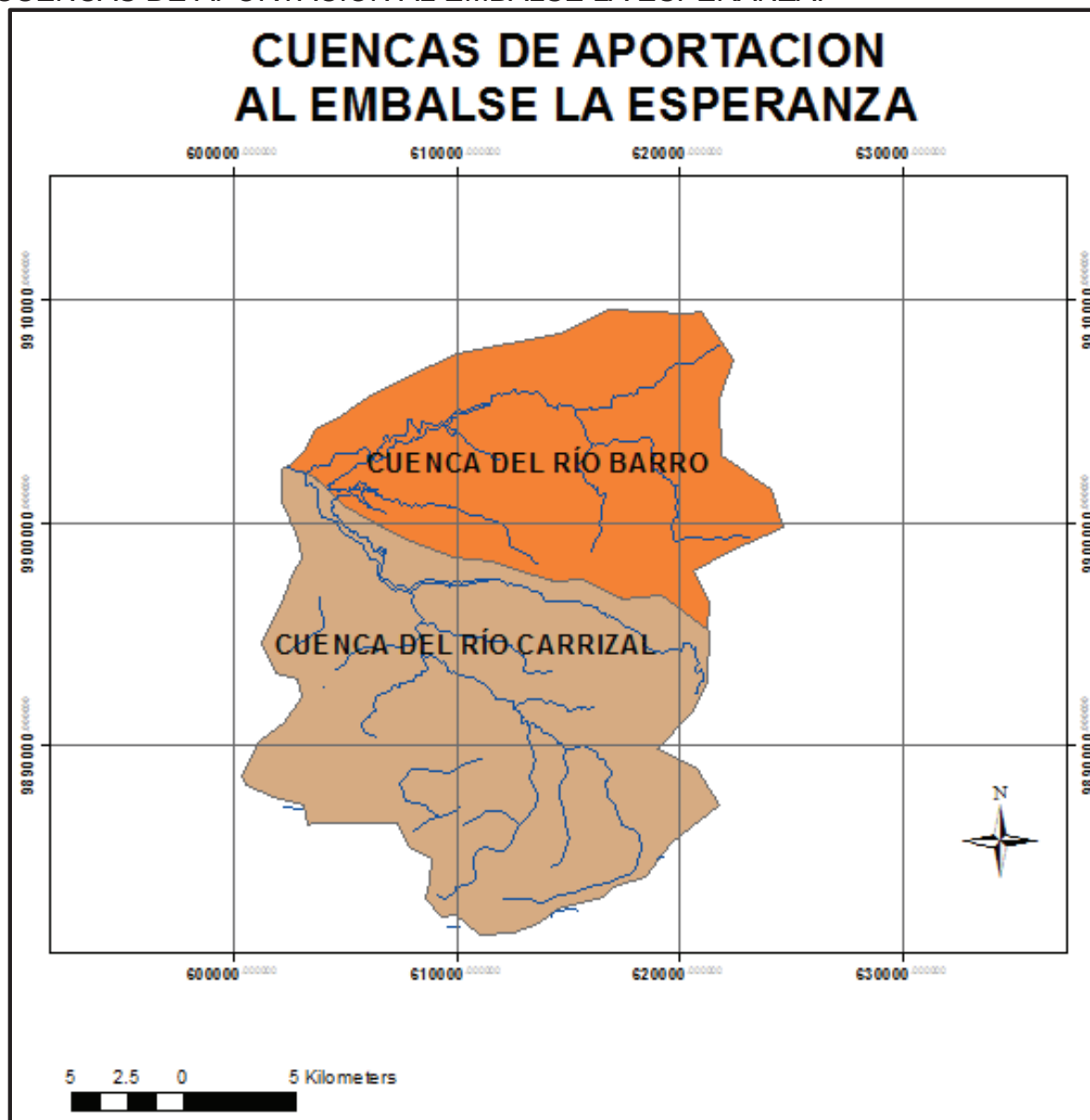
3.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS DE APORTACIÓN.

El embalse La Esperanza recibe y embalsa las aguas provenientes de los ríos Barro y Carrizal.

Por lo tanto, se definen para el presente estudio las dos cuencas de los ríos afluentes principales al embalse, cada una con sus respectivos ríos y esteros tributarios.

El esquema de la división de estas dos cuencas aportantes o tributarias al embalse La Esperanza, se muestra a continuación en el gráfico 3.2.

GRÁFICO 3.2.
CUENCAS DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.



FUENTE: INFOPLAN, 2012.

En la tabla 3.11, se puede observar las principales características físicas de las cuencas de aportación al embalse La Esperanza; las mismas que serán de gran ayuda para definir los valores de precipitaciones, y la generación de los respectivos hidrogramas de crecida generados en estas cuencas.

TABLA 3.11.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN.

PARÁMETRO	CUENCA	
	RÍO CARRIZAL	RÍO BARRO
ÁREA (km ²)	272.71	154.49
PERÍMETRO (km)	90.94	71.35
LONGITUD DEL CAUCE (km)	24.15	22.75
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	0.09	0.13
FACTOR DE FORMA	0.47	0.30
ALTITUD MEDIA (m.s.n.m.)	195.00	198.00
DENSIDAD DE DRENAJE	1.46	1.62

FUENTE: INFOPLAN, 2012.

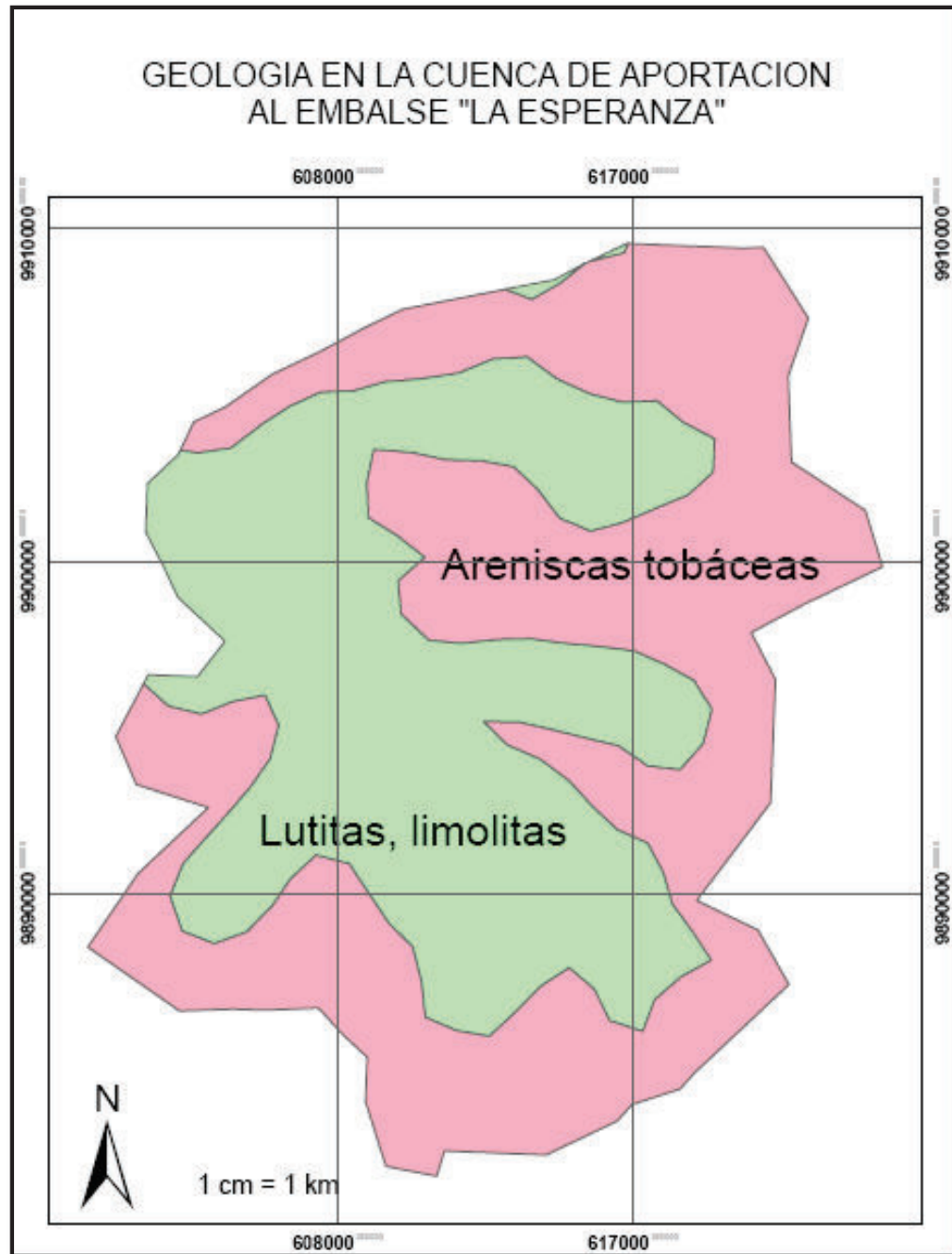
Como se puede observar, las cuencas son relativamente pequeñas, con un área de aportación inferior a 500 km²; por tal motivo, las demás características de la cuenca, en cuanto permitan la determinación del NUMERO DE CURVA, se facilitan, ya que no existen variaciones representativas del tipo de suelo, cobertura vegetal, pendientes, etc.

En los gráficos 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se observan los mapas de geología, erosión, tipos de clima, y uso del suelo de la cuenca de aportación; los cuales son usados para la determinación del número de curva correspondiente a la cuenca de aportación.

De esta manera, se puede definir el número de curva para esta cuenca; el mismo que permitirá realizar las proyecciones de hidrogramas de crecida que llegan al embalse La Esperanza.

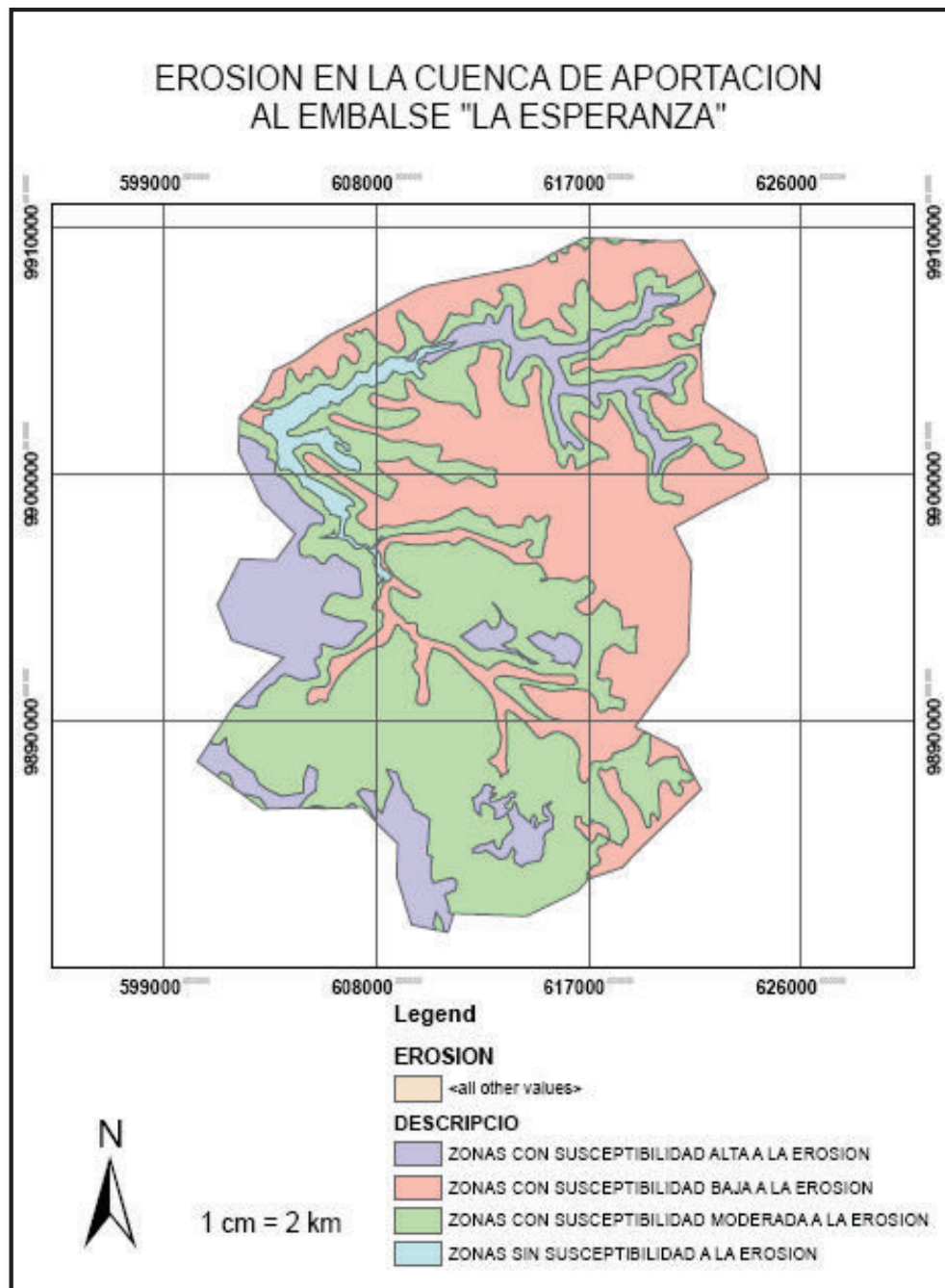
Luego de las ponderaciones realizadas entre las áreas de cultivos diferentes y los números de curva parciales, se ha determinado el número de curva de toda la cuenca en un aproximado de 45.03; tal como se puede ver en la tabla 3.12.

GRÁFICO 3.3.
GEOLOGÍA EN LA CUENCA DE APORTACIÓN



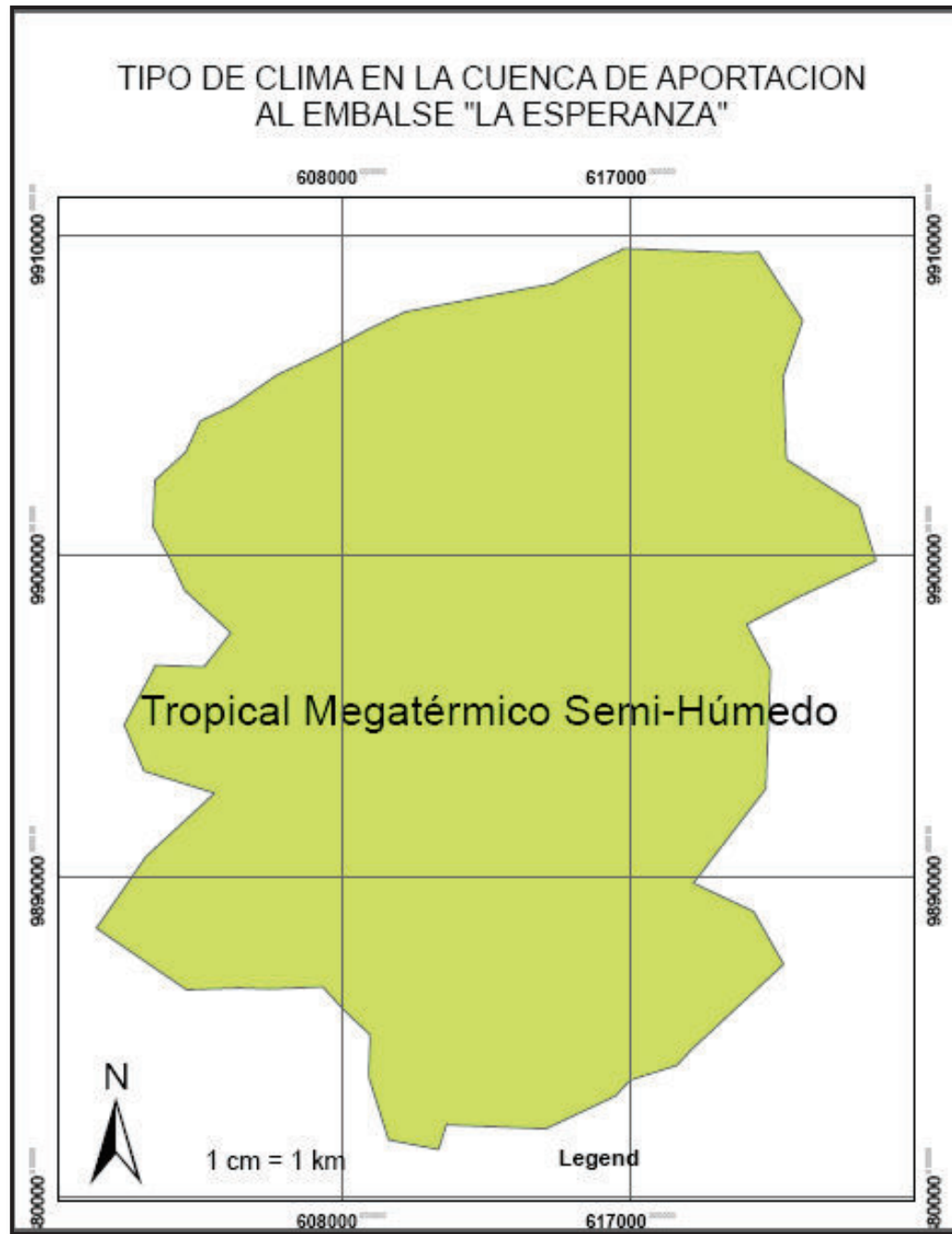
FUENTE: INFOPLAN, 2012.

GRÁFICO 3.4.
EROSIÓN EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.



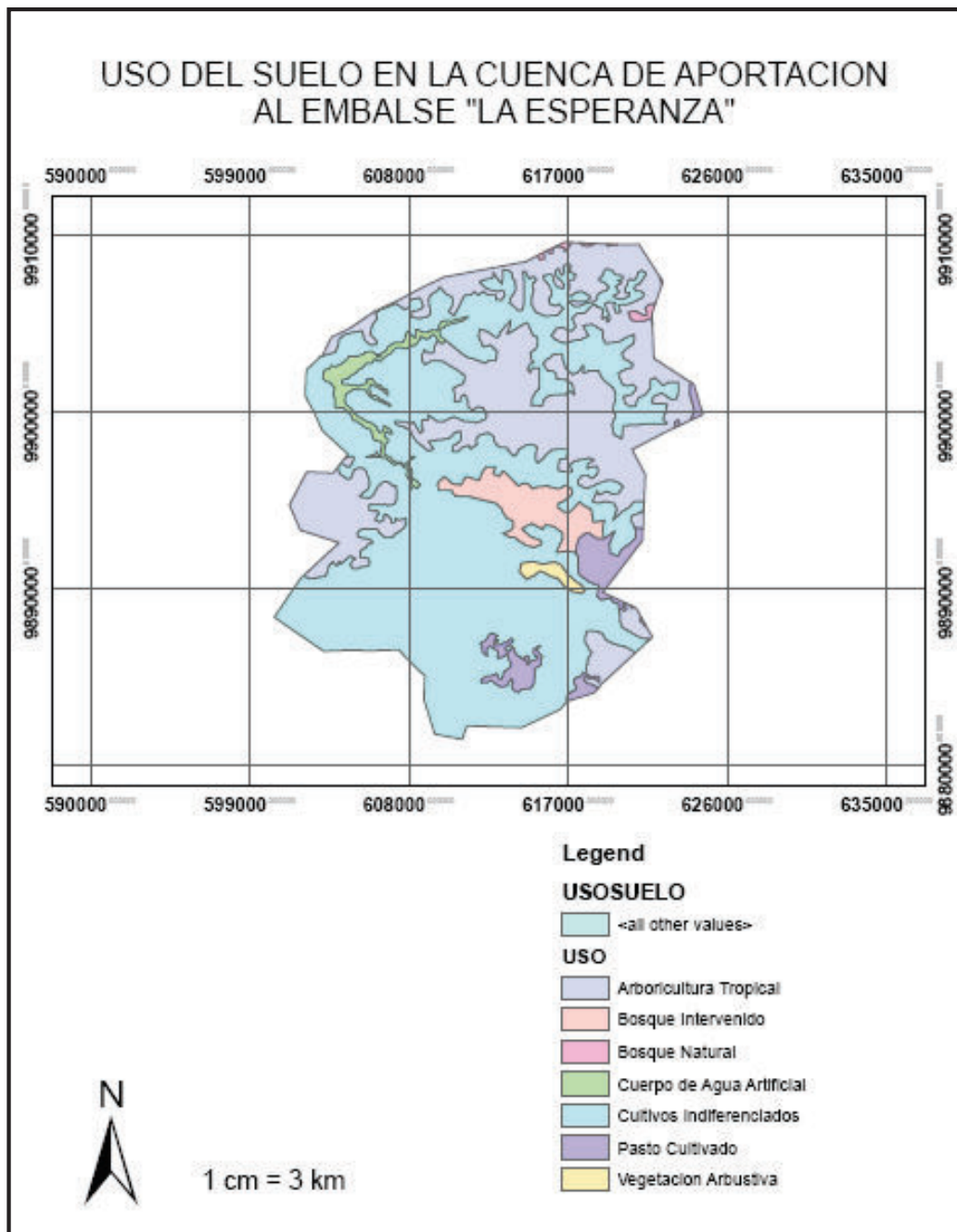
FUENTE: INFOPLAN, 2012.

GRÁFICO 3.5.
TIPOS DE CLIMA EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.



FUENTE: INFOPLAN, 2012.

GRÁFICO 3.6.
USO DE SUELO EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.



FUENTE: INFOPLAN, 2012.

Los valores del número de curva se definen de acuerdo a los valores que se indican en la tabla 3.12.

TABLA 3.12.

NUMERO DE CURVA PARA LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA.

COBERTURA DEL SUELO			NUMERO DE CURVA	AREA RELATIVA	AREA RELATIVA	CN
CLASE	LABOREO	CONDICIONES PARA LA INFILTRACIÓN	EL GRUPO HIDROLÓGICO CORRESPONDE AL "A"	%	FRACCIÓN	PONDERADO
Arbocultura tropical	----	Regulares	36	19	0.19	6.84
Bosque intervenido	----	Regulares	36	8.5	0.085	3.06
Bosque natural	----	Buenas	26	16	0.16	4.16
Cultivos indiferenciados	C	Buenas	61	39	0.39	23.79
Pasto cultivado	C	Buenas	61	10	0.1	6.1
Vegetación Arbustiva	----	Regulares	36	3	0.03	1.08
Cuerpo de agua artificial	----	----	0	4.5	0.045	0
CUENCA DE APORTACIÓN				100	1	45.03

3.3. UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS EN EL ÁREA DE APORTACIÓN DEL EMBALSE.

3.3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Las estaciones meteorológicas que se encuentran cerca de la zona de estudio constan en la tabla 3.13, donde consta además su tipo, ubicación, cota, fecha de instalación y estado actual. En el gráfico 3.7 se puede observar esquemáticamente la posición de las estaciones meteorológicas con respecto al embalse La Esperanza.

La identificación de las estaciones, por tipo o uso se dan de acuerdo al INAMHI, de la siguiente manera:

Agronómica	AG
Climatológica Principal	CP
Climatológica Ordinaria	CO
Pluviométrica	PV.

TABLA 3.13.
ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL
EMBALSE LA ESPERANZA.

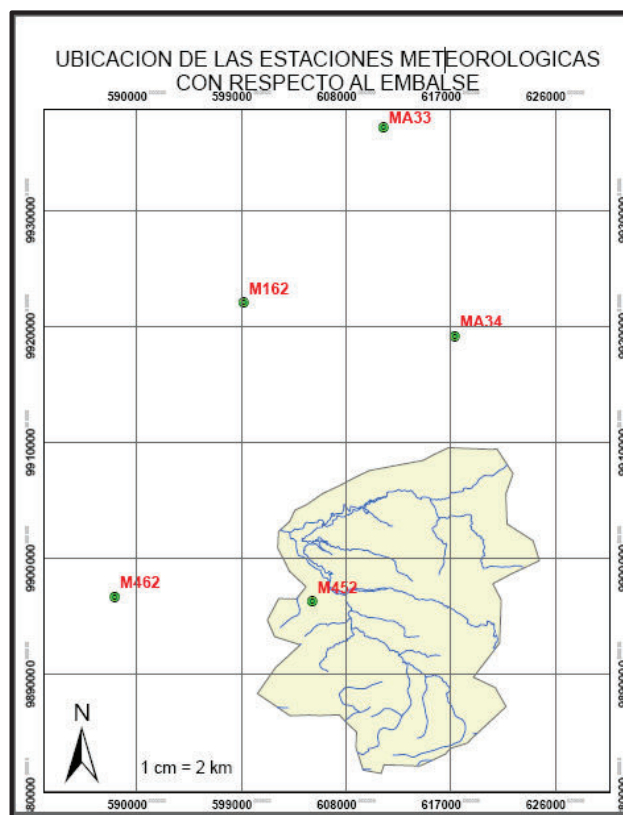
SUBCUENCA	NOMBRE	CODIGO	TIPO	UBICACIÓN			ESTADO
				LATITUD	LONGITUD	COTA	
				(m)	(m)	(m.sn.m.)	
Chone	Chone	M162	CP	9922066.8	599185.8	182	Nuevo
	Zapote	M452	PV	9896271.7	605083.8	79	Nuevo
	Junín	M462	PV	9896705.8	588083.9	20	Nuevo
	Río Santo	MA33	PV	9937141.7	611213.4	75	Nuevo
	Río Grande	MA34	PV	9919176.4	617330.4	124	Nuevo

FUENTE: INAMHI (2012)

De las estaciones que constan en el cuadro anterior, excepto la estación Río Santo que tiene registro de datos entre 10 y 20 años, todas tienen registros superiores a 20 años.

La cuenca en estudio, está ubicada en la región Costa del Ecuador, con una precipitación anual de 1432.30 mm, y una temperatura media de 25 °C, por lo que según Pourrut, P., 1983, el clima es de tipo megatérmico tropical semi húmedo.

GRÁFICO 3.7.
UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES EXISTENTES, RESPECTO A LA CUENCA DE APORTACIÓN.



FUENTE: INFOPLAN, 2012.

En cuanto al análisis de lluvias intensas, se lo debe realizar en base al ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS realizado por el INAMHI en 1999, consistente en asociar las intensidades de lluvias, con tiempos de duración y períodos de retorno.

Generalmente las ecuaciones para estas relaciones son:

$$I_{TR} = a * t^b * Id_{TR} \quad (3.1)$$

Donde:

I_{TR} .- representa la intensidad de lluvia asociada a un período de retorno determinado; se expresa en (mm/h).

I_{TR} .- es la intensidad de las precipitaciones diarias con período de retorno, se expresa en (mm/h).

t.- es el tiempo de duración de la precipitación (minutos).

a y b.- son constantes de ajuste.

3.3.2. ESTACIONES HIDROLÓGICAS

Son pocas las estaciones hidrológicas operativas en el país; la mayoría de ellas es operada por el INAMHI, que les ha clasificado en Limnométricas (LM) y Limnigráfica (LG).

Dentro de las estaciones de interés para el presente estudio están las que se indican en la tabla 3.14.

TABLA 3.14.

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LAS CUENCAS DE APORTE AL EMBALSE.

SUBCUENCA	NOMBRE	CODIGO	TIPO	UBICACIÓN			ESTADO
				LATITUD	LONGITUD	COTA	
				(m)	(m)	(m.s.n.m.)	
Chone	Carrizal en Calceta	H229	LM	593897.1	9907083.1	22	Operativo

FUENTE: INAMHI, 2012.

3.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA Y METEOROLÓGICA EXISTENTE.

3.4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.

La información respectiva, y que es aplicable a la cuenca del embalse La Esperanza, es bastante deficiente, ya que existe una sola estación dentro de la cuenca; mientras que las restantes quedan cerca del embalse, pero fuera del área de influencia directa.

La estación Zapote (M452) que está ubicada dentro del área de estudio posee información de precipitaciones mensuales en un 60%; dejando en el período comprendido entre el año 2000 y 2005 dos años sin registrar; probablemente por no existir información, o por ser muy pobre.

La estación Chone (M162), tiene una serie de información de precipitaciones mensuales completa; pero está a una distancia muy grande de sitio de estudio.

En definitiva, la estación más representativa para el presente estudio, es la M452, a pesar de la información incompleta.

3.4.2. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Respecto a esta variable, ubicada en un río perteneciente a esta cuenca, existe solo una estación hidrométrica, esta es la estación ubicada en el Río Carrizal, y se encuentra en Calceta, aguas abajo de la presa.

Cabe recalcar que los datos tomados en la actualidad, posterior a la construcción de la presa, se ven afectados por la presencia del embalse La Esperanza, que se encuentra aguas arriba de la estación, por lo tanto, se registran los datos de los caudales que se podrían generar aguas abajo del embalse, o los residuales del mismo. Tal es así que en un año al azar, antes de implementada la presa, se tenía un caudal medio de 17.63 m³/s, mientras que luego de implementada la presa se tiene en un año al azar, un caudal de 2.054 m³/s.

3.5. PRE - DISEÑO DE UNA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN DEL EMBALSE.

Objetivos de la red.-

- Mantener registros del comportamiento meteorológico de las cuencas aportantes al embalse La Esperanza.

- Relacionar las mediciones de los fenómenos que se puedan presentar en las cuencas aportantes, con el comportamiento del embalse La Esperanza; para de esta manera tomar decisiones anticipadas de operación del embalse, para que el efecto de estas crecidas sea el menor posible.

Usuarios.- Los usuarios de esta red hidrometeorológica, serán los operadores de la presa; los mismos que deberán realizar las mediciones respectivas, registro y operación del embalse, de acuerdo al manual de operaciones de la presa.

Frecuencia de medición.- La principal magnitud que se deben medir en las estaciones diseñadas en este trabajo es la precipitación; la misma que debe ser medida permanentemente, como la duración de las precipitaciones es variable y no cuenta con un operador permanente, las mediciones serán continuas, y transmitidas por algún medio (internet, radio, sistema scada, etc.) al centro de operaciones de la presa. Al tratarse de una estación automática, entonces los registros serán continuos.

Criterios de diseño.- Fundamentalmente, las estaciones meteorológicas deben estar relacionadas con el embalse de acuerdo a tres variables básicas, y que tienen directa influencia con el efecto de laminación de caudales en el embalse.

- La primera variable es la asociación de los fenómenos meteorológicos al tiempo de retardo de los caudales de escorrentía al embalse, o lo que es lo mismo, el tiempo de llegada de la avenida de crecida hasta el embalse. Esta variable, no está definida por cuencas hidrográficas, sino que ubicaría las estaciones en sitios que no guardan relación directa con las variables climatológicas de determinadas micro cuencas aportantes, y las mediciones realizadas no tendrían validez en las proyecciones de caudales en el embalse, sino en el tiempo en el cual se pueden realizar operaciones para bajar el nivel de espera
- Una segunda variable con directa influencia en la generación del hidrograma de crecida es el valor de las diferentes intensidades de lluvia que se presentan en la cuenca. Se puede diseñar la red de estaciones meteorológicas de acuerdo a áreas de la cuenca con iguales valores de pluviometría, es decir, de acuerdo a

las isoyetas; o de acuerdo a los polígonos de Thiessen. En el gráfico 3.8, se puede observar un mapa de isoyetas para la cuenca de aportación al embalse La Esperanza.

- La tercera manera de ubicar a las estaciones meteorológicas, es según las microcuencas de aporte al embalse; este criterio, permite asociar claramente, una tormenta con una intensidad aleatoria, a una avenida de crecida que llegaría al embalse. Esto implica que cada micro cuenca tendría una estación meteorológica, o al menos un pluviógrafo; pero al ser una cuenca aportante pequeña, se podría asociar o agrupar varias microcuencas, de acuerdo a las otras variables que se mencionaron anteriormente.

Muy importante es además, que las estaciones tengan facilidades de instalación, operación (referente a las mediciones) y de mantenimiento; para lo cual se debe buscar un sitio donde haya fácil acceso, electricidad, etc.

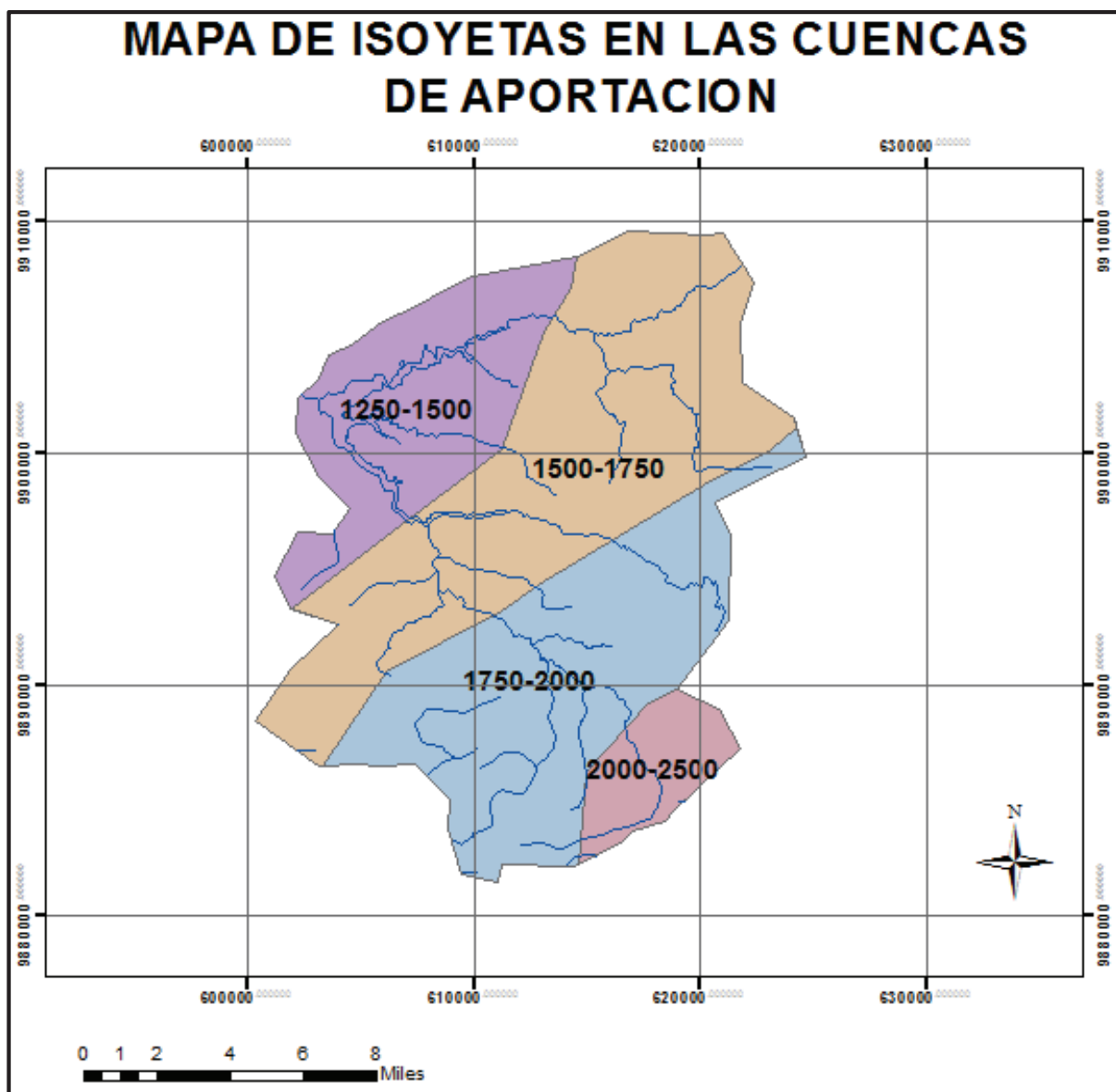
Finalmente, se debe hacer una combinación de las tres variables de medición, más las condiciones logísticas, para definir finalmente la ubicación de las estaciones. El gráfico 3.9, corresponde a un ideograma de las condiciones que se deben considerar para el diseño de una red hidrometeorológica.

Las estaciones pluviométricas propuestas, se han ubicado considerando las variables indicadas anteriormente. Las tres estaciones propuestas se han colocado sobre o al menos cerca de las líneas isócronas, es decir las correspondientes a 6 horas.

Así también, se han ubicado las estaciones propuestas considerando que se cubren las dos principales cuencas de aportación, a saber la del río Barro y la del río Carrizal.

Se ha considerado también la ubicación de las estaciones pluviométricas, de acuerdo a las isoyetas y áreas de igual precipitación, para de esta manera tener una información valedera, que permita tomar decisiones adecuadas frente a eventos extraordinarios como avenidas generadas por precipitaciones extraordinarias asociadas a períodos de retorno de 500 y 1000 años.

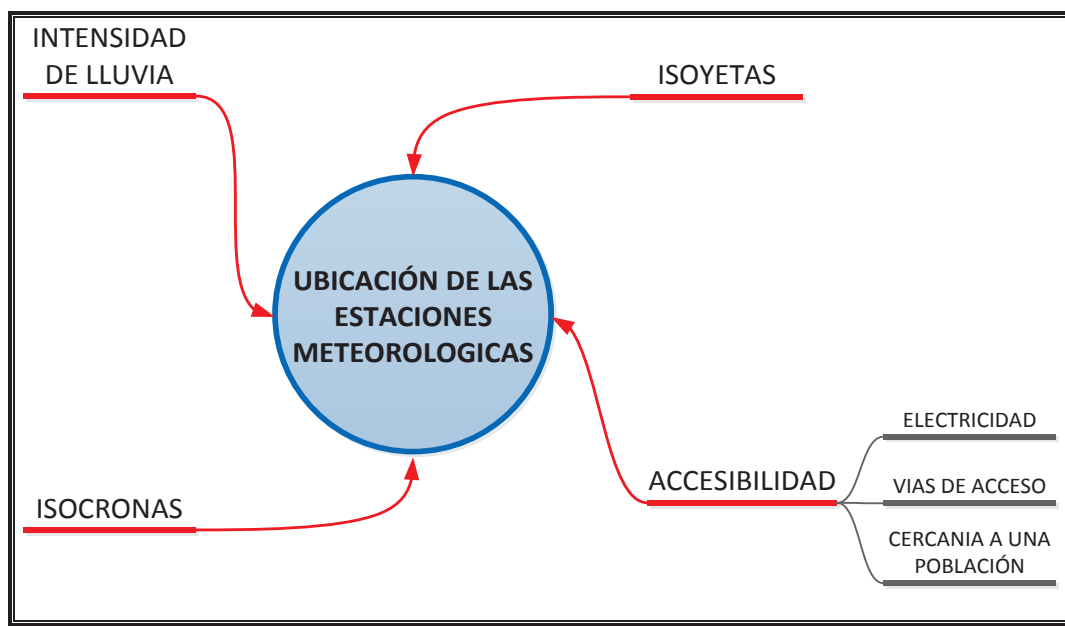
GRÁFICO 3.8.
ISOYETAS EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE.



FUENTE: INAMHI, 2010.

En el gráfico 3.10 se puede observar la ubicación de las tres estaciones pluviográficas con respecto a la cuenca de aportación y al embalse La Esperanza.

GRÁFICO 3.9.
DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE UNA RED METEOROLÓGICA.

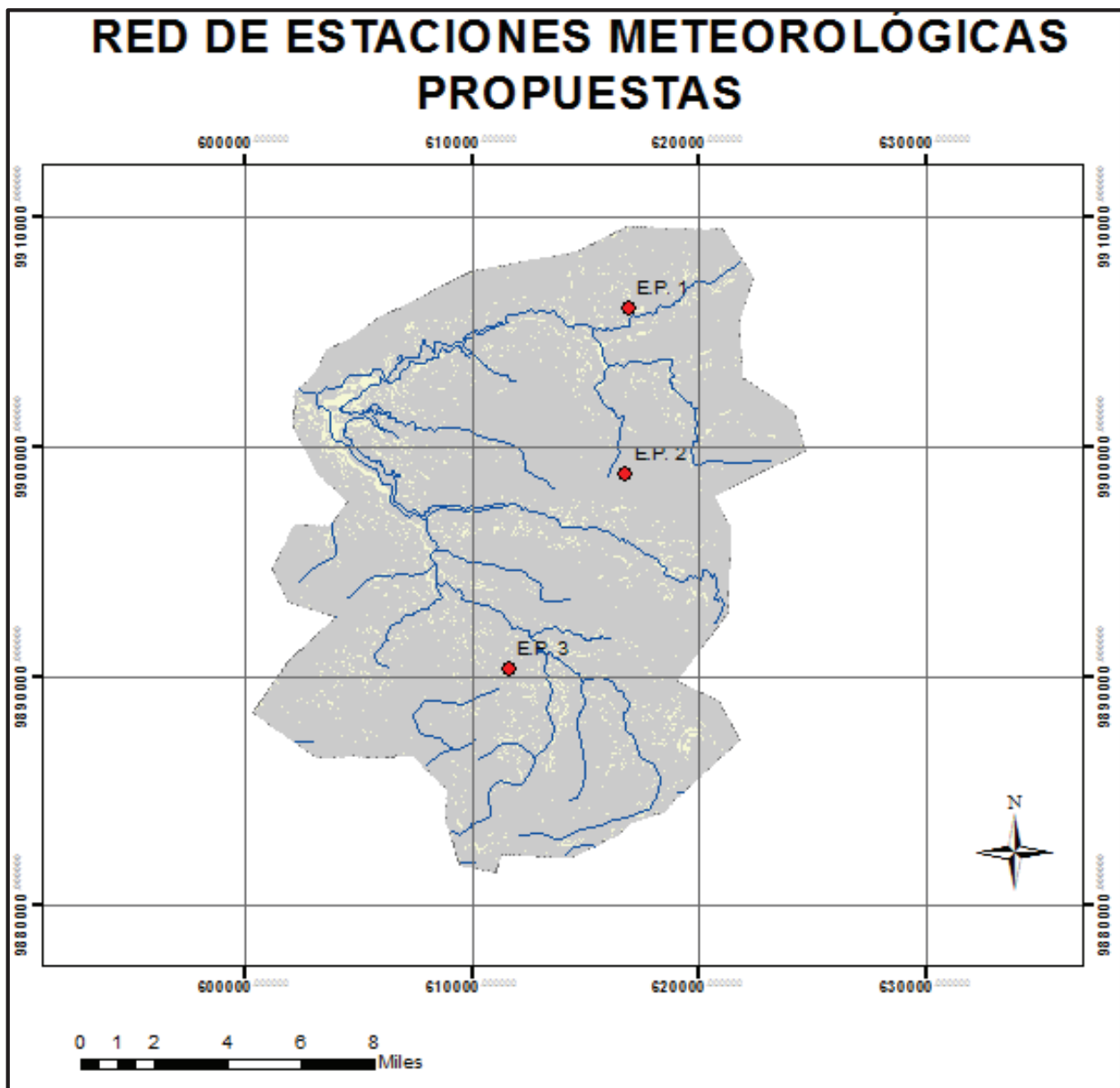


Finalmente, cumpliendo las condicionantes expuestas anteriormente, se han buscado lugares con acceso vial, electricidad y facilidades de acceso para la realización de las lecturas en caso de tratarse de una estación pluviométrica, y también facilidades para las operaciones de reparación y mantenimiento de las mismas, por estas razones, las estaciones meteorológicas se han ubicado en las coordenadas indicadas en la tabla 3.15.

TABLA 3.15.
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LAS CUENCAS DE APORTE AL EMBALSE.

ESTACION	ABSCISAS	ORDENADAS
EP. 1	616884	9906009
EP. 2	616740	9898775
EP. 3	611618	9890264

GRÁFICO 3.10.
ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA DE APORTE AL EMBALSE.



FUENTE: INFOPLAN, 2012.

3.6. CONCLUSIONES

- En la cuenca que se estudia, existe una sola estación meteorológica, ubicada a un lado del área inundada por el embalse; por tal motivo la información proveniente de esta estación no es muy confiable, y no es útil para el objeto del presente estudio.
- En ningún río perteneciente a la cuenca de aporte al embalse la Esperanza, existe una estaciones hidrométrica, o al menos un limnómetro o limnógrafo; la estación existente en Calceta, pierde validez en cuanto a la información que se obtiene de ella, ya que está aguas abajo del embalse, y no representa la realidad de la cuenca de aportación.
- Se deben ubicar estaciones meteorológicas en un número de tres, distribuidos como se indica en el mapa anterior; de esta manera se tiene una información suficiente, y que cumple con los objetivos de entregar la información para regular eficientemente las avenidas que pudieran presentarse en el embalse.
- La actualización de datos hidrológicos en el río Carrizal, es irrelevante para este estudio, por cuanto, los caudales han sido totalmente modificados por la presencia del embalse La Esperanza, tal es así que el caudal medio del año medio del río en estudio antes de la construcción de la presa es de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, y el caudal medio luego de la construcción de la presa es de $1.73 \text{ m}^3/\text{s}$.
- En cuanto a los datos meteorológicos, tampoco se puede realizar una actualización de los mismos, debido a que solo una de las estaciones consideradas para el diseño de la presa La Esperanza está en funcionamiento y tiene información confiable. Además, la proyección del hietograma de precipitaciones fue hecho para 100, 500 y 1000 años, y ha transcurrido un tiempo relativo muy pequeño frente al período de retorno considerado.

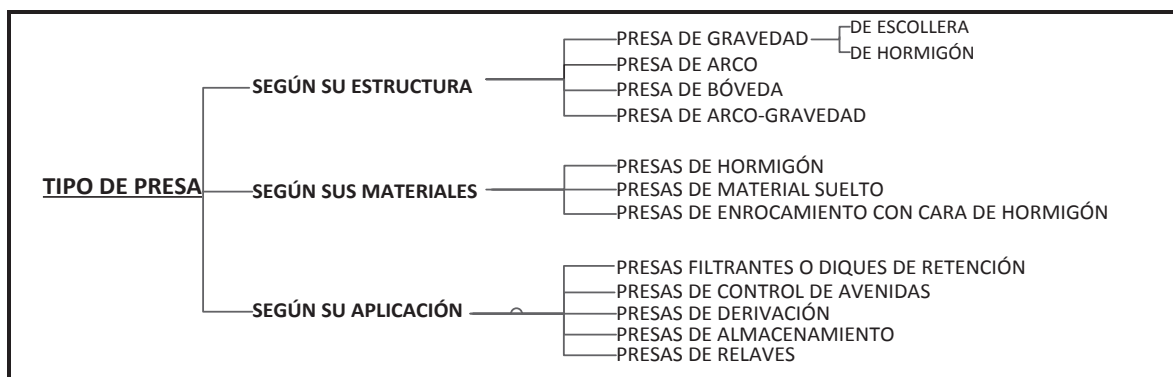
CAPITULO 4

ANÁLISIS DEL EMBALSE, VOLÚMENES DE DISEÑO Y LAMINACION.

4.1. GENERALIDADES

Las presas existentes en el mundo, están construidas de diferentes maneras y con diferentes objetivos; en el gráfico 4.1 se indica una clasificación de las presas, considerando tres parámetros básicos como son la estructura, materiales de construcción y aplicación o uso.

GRÁFICO 4.1.
CLASIFICACIÓN DE LAS PRESAS.



La presa La Esperanza es un proyecto multipropósito (agua potable, riego, luego de las modificaciones realizadas, también hidroenergía; y control de inundaciones). En el estudio realizado por DAEWOO en 1984 se analizó solo el control de inundaciones, debido a que la operación normal de la presa, se realiza en forma relativamente adecuada, de acuerdo a las necesidades de uso y a la experiencia de los operadores; sin embargo, los problemas se suscitan cuando se han presentado avenidas o crecidas en el embalse.

De acuerdo a su material de construcción, es una presa de material suelto, con núcleo de materiales finos para cortar las líneas de flujo de la infiltración, y escollera, o recubrimiento de rocas para evitar la erosión eólica, y para prevenir también la erosión hídrica en el caso de lluvias intensas sobre el paramento aguas abajo de la presa, y también en el caso de que el agua del embalse sobrepase el nivel de la corona de la presa; aunque por el diseño de la misma, este evento es improbable.

La altura de la presa, se define considerando los volúmenes de agua y sólidos que se almacenan en el embalse, y las alturas asociadas a diferentes requerimientos de espacio, y fenómenos. De modo muy general, se identifican estos volúmenes y alturas, desde el fondo o nivel fondo del río, hasta la corona de la presa.

4.2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DEL EMBALSE.

4.2.1. CONCEPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO DE LA PRESA

UBICACIÓN GENERAL.

El túnel de desvío y futuro conducto de toma, está construido sobre el estribo derecho, siguiendo una alineación recta, con su rasante a la cota 22 m.s.n.m.

Como se puede observar en el gráfico 4.3, el trazado en planta de la presa describe una curva de amplio radio ($R=2000$ m), lo que posibilita acomodarse mejor a las condiciones topográficas de los estribos y facilita la ubicación de la ataguía (incorporada en el cuerpo de presa), sobre el canal de arena del río actual.

El túnel de desvío, actúa como conducto de toma y desagües de fondo.

Aguas arriba del portal actual, la obra de entrada está constituida por una estructura de captación y una torre de compuertas.

Aguas abajo, de la salida provisional del desvío, se dispone, en prolongación con el túnel, un cuenco para vaciado del embalse. La alimentación del canal de riego, se efectúa a través de un segundo cuenco independiente del anterior. El aliviadero se

ubica sobre el estribo derecho de la presa, de manera de aprovechar las mejores condiciones geotécnicas existentes en este estribo para la cimentación del cuenco de disipación y de la estructura de control.

La cimentación de la presa en la terraza del río, tiene una pantalla vertical continua de 60 m. de profundidad máxima (que impermeabiliza la totalidad de los sedimentos fluviales) y una importante excavación en la zona de las arcillas flojas, con profundidades máximas de 12 m. y un volumen total de unos 4000000 m³.

El tratamiento de la ladera derecha se ha resuelto con unos rellenos de estabilización, en la zona de aguas arriba de la presa y unas excavaciones de regularización y saneo, complementadas por galerías de drenaje e inyección. Análogo tratamiento se realizó en el estribo izquierdo.

4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL CUERPO DE PRESA

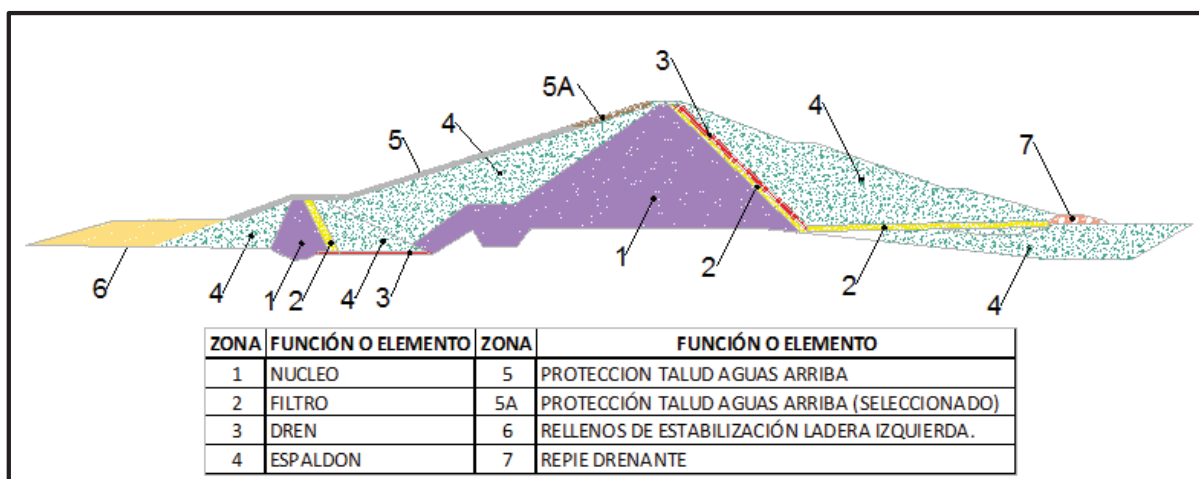
DESCRIPCIÓN GENERAL

La presa es básicamente un terraplén zonificado con un núcleo impermeable centrado, suficientemente ancho, protegido por transiciones de filtros y drenes que lo separan del espaldón de aguas abajo.

El núcleo enlaza aguas arriba con la Pantalla de impermeabilización N° 1 y con el dentellón que asciende por ambas laderas. El esquema de un corte transversal de la presa se observa en el gráfico 4.2.

El tapiz filtro-dren que separa el núcleo del espaldón de aguas abajo, descarga hacia un re-pie de empedrado (coronado a la cota 30) a través de una carpeta drenante de 2 m. de espesor, situadas sobre la cota 27. La carpeta drenante, se extiende bajo el espaldón de aguas abajo con un espesor de 1 m. En el gráfico 4.2 se observa un corte transversal de la presa en una sección media.

GRÁFICO 4.2.
ESQUEMA DEL CORTE DE LA PRESA LA ESPERANZA



FUENTE: CRM, 1984

GEOMETRÍA EXTERIOR

Ubicación del eje.

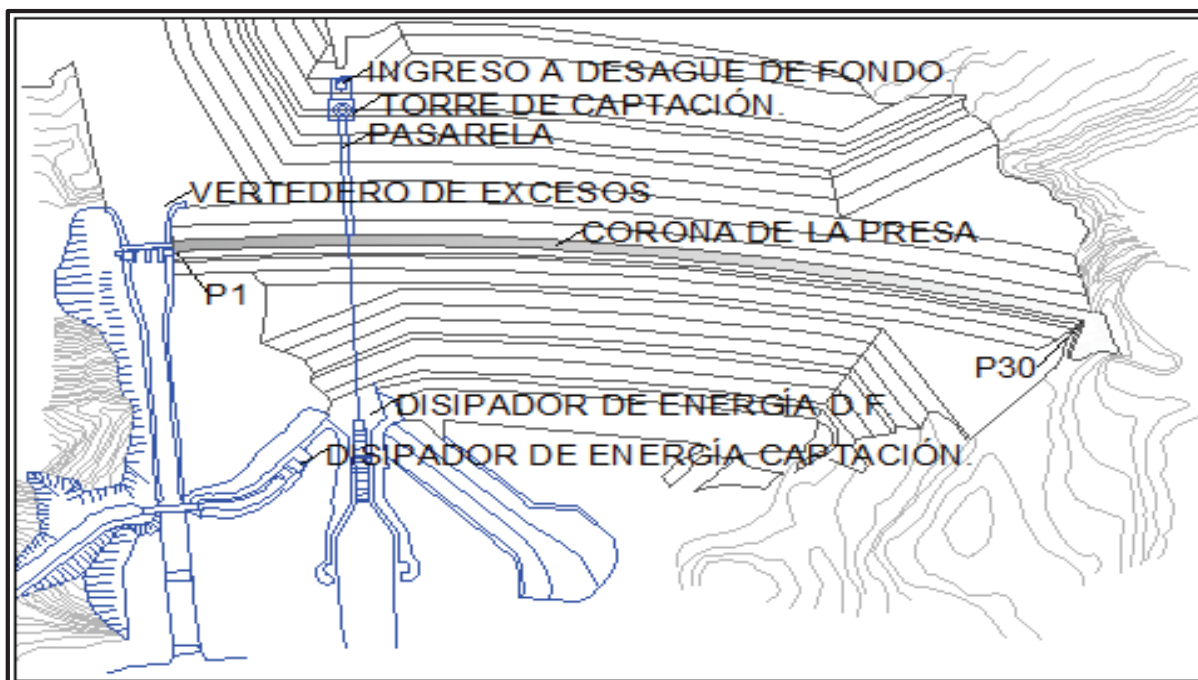
Las características topográficas de ambos estribos y la ubicación de la Pantalla N° 1, obligaron a que la presa tenga un eje de planta circular de amplio radio ($R=2000$ m).

La longitud total de la presa, medida entre los puntos P-1 y P-30 (que se observan en el gráfico 4.3) es de 696 m.

SECCIÓN TRANSVERSAL.

La sección transversal exterior del relleno de la presa es una sección trapezoidal coronada a la cota 69.00, con 10 m. de ancho y taludes 3.5:1 (H : V) aguas arriba y taludes variables entre el 2.5:1, 2.75:1 y 3:1 en el talud de aguas abajo con bermas de 6 m. a las cotas 55, 40 y 30. La altura máxima de la presa medida hasta la fundación (cota 12) es de 57 m.

GRÁFICO 4.3.
IMPLANTACIÓN DE LA PRESA LA ESPERANZA.



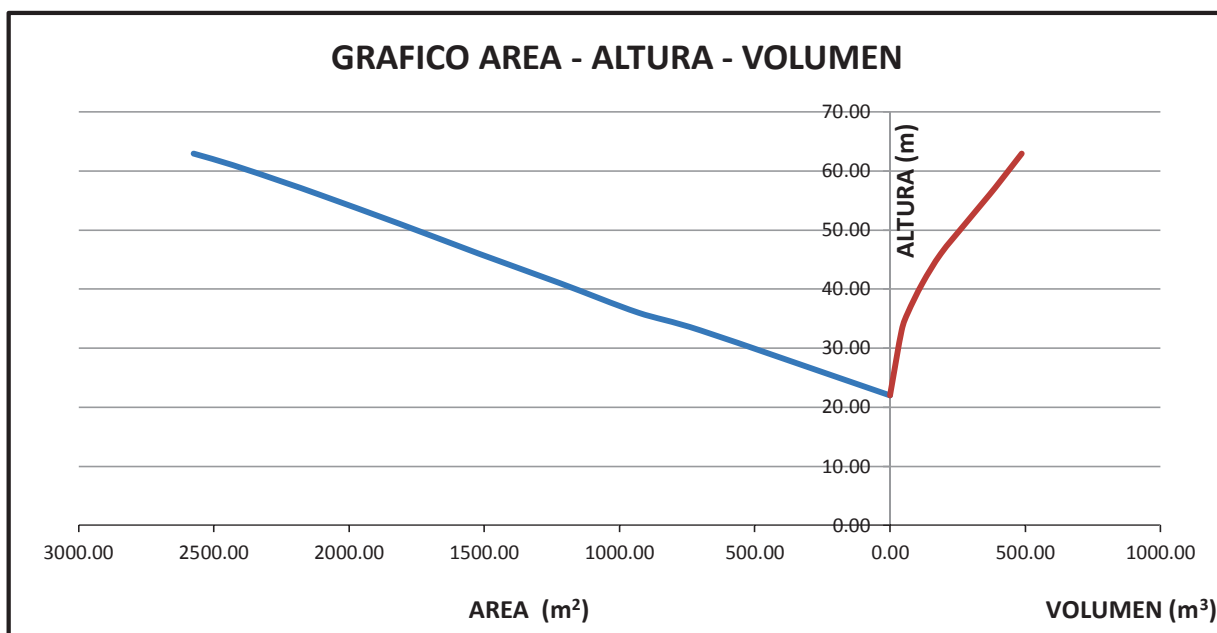
FUENTE: CRM, 1984

4.3. CURVA ÁREA – COTA – VOLUMEN.

La curva denominada también como área- altura – capacidad, es la combinación de dos curvas, en realidad es la unión de la curva área vs altura, y de la curva volumen vs altura. Como es de suponerse, permite relacionar los valores del área inundada y la capacidad de almacenamiento, cuando el nivel del agua ha alcanzado determinada altura con respecto a la presa. Su utilidad reside en que mediante esta gráfica se puede obtener fácilmente las relaciones entre estos tres parámetros.

La curva área – cota – volumen que se indica en el gráfico 4.4, se obtiene utilizando un levantamiento topográfico del sitio del vaso para el embalse aguas arriba del eje de la presa, a una escala que permita una precisión aceptable en las medidas e iteraciones; como referencia, se puede utilizar una cartografía con curvas de nivel cada metro.

GRÁFICO 4.4.
CURVA ÁREA – COTA – VOLUMEN.



FUENTE: CRM 1984.

4.4. LAMINACIÓN DEL HIDROGRAMA DE CRECIDA POR EFECTO DEL EMBALSE. MÉTODOS DE CÁLCULO.

Siendo un río, un canal de sección irregular, el caudal de agua que fluye por este cauce, va perdiendo energía; debido a las pérdidas ocasionadas por la rugosidad del cauce.

En el caso de haber una tormenta extraordinaria, se genera una avenida de crecida, la misma que va perdiendo energía debido a las causas descritas en el párrafo anterior.

Si sobre el cauce se ha implantado una presa, la gran área de este embalse, incrementa el radio hidráulico del canal y el perímetro mojado, lo que reduce drásticamente la velocidad del flujo. Con estas variaciones en las características del "canal", el efecto de laminación se evidencia en la disminución del caudal máximo de crecida (cresta del hidrograma), y su desplazamiento en el tiempo hacia la derecha del hidrograma.

En pocas palabras, el efecto de laminación de caudales en un embalse, es un fenómeno según el cual, el caudal que ingresa al embalse será mayor al caudal que sale del mismo. Es de entender que el tiempo de evacuación de la avenida de crecida del embalse durará un tiempo mayor, debido al principio de conservación de la masa.

Se conoce que en el diseño y construcción de una presa, se prevén obras hidráulicas complementarias, específicamente los vertederos de excesos y desagües de fondo, cuyo objetivo es aliviar los caudales de crecidas. Todas las obras de alivio se deben diseñar en función de los siguientes aspectos:

- Magnitud de la alta ola con sus correspondientes características de recurrencia, que se expresa mediante el hidrograma de crecida.
- Características del embalse, mediante la curva área – cota – volumen, que permiten establecer los volúmenes de almacenamiento de agua asociados a diferentes estados de cota o altura del nivel del líquido en la presa.
- Dimensiones de las obras de alivio, características y capacidad de descarga.

De esta manera se establecerá la capacidad de retención del embalse durante el tránsito de la avenida o alta ola que aparece cuando el nivel del agua en el embalse se encuentra en el nivel máximo aprovechable, que sería el caso más crítico. Además hay que recordar que el nivel máximo aprovechable coincide con la cota de la corona del vertedero de cualquier tipo de presa.

Existen casos excepcionales, en los cuales, para incrementar el volumen aprovechable de un embalse, se dispone compuertas sobre el labio del vertedero de excesos. Este es el caso de la presa LA ESPERANZA; y por tal motivo, se debe realizar el estudio de la laminación, cuando el nivel del agua está a diferentes alturas (0 a 4m) con relación a la cota del labio del aliviadero.

ECUACIÓN BÁSICA DE BALANCE HÍDRICO.

Por cualquier método que se calcule la retención o tránsito de la avenida o crecida, se debe partir de la ecuación básica de balance hídrico cuando el nivel del agua se encuentra en la cota nivel máximo aprovechable; en ese momento llega un gran volumen de agua, producto de la avenida, parte de cuyo volumen se retiene sobre la cota del nivel máximo aprovechable, y el resto se alivia o evacúa por el vertedero de excesos. Existen diferentes métodos para integrar y resolver la ecuación de balance hídrico, referentes a la laminación o retención de avenidas de crecida en un reservorio. Frecuentemente se determina la curva de descarga tanto del caudal de ingreso, como el de salida, y así establecer el volumen máximo retenido.

$$Q_{\text{medio de ingreso}} * \Delta t = Q_{\text{medio evacuado}} * \Delta t + Vol \text{ retenido.} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{medio evacuado}} = Q_{\text{medio desagüe de fondo}} + Q_{\text{medio vertedero de excesos}} \quad (4.2)$$

LAMINACIÓN EN CAUCES: MÉTODO DE MUSKINGUM.

La transformación que sufre un hidrograma a lo largo de un tramo o de un cauce se puede resumir en dos puntos significativos.

- Un aumento del tiempo al pico (tiempo en que se presenta el máximo caudal de la crecida) en el hidrograma de salida del tramo con respecto al hidrograma de entrada.
- Una disminución del caudal pico (máximo caudal de la crecida) en el mismo sentido.

Esto se debe a una variación en el almacenamiento de agua en el tramo, que atenúa la onda de avenida de una forma parecida a como se produce en un embalse.

LAMINACIÓN DE EMBALSES: MÉTODO DE PULS.

Para el análisis de la transformación que sufre un hidrograma de crecida de una avenida al entrar a un embalse en la situación más crítica para este caso, cuando el agua está en la cota del nivel máximo aprovechable, se debe tomar en cuenta que el flujo es variable, por lo que conceptualmente se trata de la aplicación de la ecuación de continuidad de Saint – Venant, adaptado para la situación concreta que se analiza.

$$\frac{S_1 - S_2}{t} = \frac{Q_{i1} + Q_{i2}}{2} - \frac{Q_{s1} + Q_{s2}}{2} \quad (4.3)$$

Donde:

S₁.- Volumen de almacenamiento de agua en un estado inicial 1.

S₂.- Volumen de almacenamiento de agua en un estado final 2.

Q_{i1}.- Caudal de ingreso al embalse en un estado inicial 1.

Q_{i2}.- Caudal de ingreso al embalse en un estado final 2.

Q_{s1}.- Caudal de salida del embalse en un estado inicial 1.

Q_{s2}.- Caudal de salida del embalse en un estado final 2.

El procedimiento de cálculo consiste en un método iterativo que comprende las siguientes fases:

1. Cálculo de un coeficiente a_1 que es función de la altura de la lámina de agua H en el embalse.
2. Para una primera aproximación se supone que H_2 es igual a H_1 .
3. Se obtiene el caudal de salida Q_{s2} mediante la ecuación correspondiente.
4. Se calcula el volumen almacenado S_2 mediante la ecuación:

$$S2 = \left(a_1 - \frac{Q_{s2}}{2} \right) * t \quad (4.4)$$

5. Se obtiene la altura H_2 correspondiente a dicho almacenamiento.
6. Se calcula el caudal de salida Q_{s2} correspondiente a H_2 .
7. Si este valor de Q_{s2} coincide, o es muy próximo, con el obtenido en el apartado 3, se ha conseguido la convergencia del proceso; en caso contrario, se realiza la siguiente iteración comenzando por el apartado 4.

LAMINACIÓN DE EMBALSES: MÉTODO DE KOSHENY.

Para determinar el caudal Q que circulará por las obras de alivio, es decir para establecer el caudal de diseño del vertedero de excesos y desagüe de fondo, es necesario disponer del hidrograma de crecidas al inicio de sus tránsito por el reservorio así como también disponer de la curva del hidrograma de crecida considerando la capacidad de retención del vaso del embalse sobre el nivel máximo aprovechable. Los caudales de alivio corresponden a los que son evacuados por las obras de alivio, y con estos caudales se define el hidrograma de crecidas laminado. Por ser relativamente pequeñas las magnitudes de los caudales de la captación (sin embargo al ser constante se lo puede incluir), los caudales pérdidas por filtración y evaporación, son ignoradas en este método.

$$Q_i * \Delta t = \Omega * \Delta h + Q_s * \Delta t \quad (4.5)$$

Donde:

- Q_i : Caudal de ingreso o aporte al embalse, desde el momento en que llega la crecida al embalse.
- Δt : intervalo de tiempo elegido, de acuerdo al adoptado en el hidrograma de crecida.
- Ω : Área del embalse, asociado a cada Δt ; y se lo obtiene de la curva área – altura – volumen.

- Δh Incremento del nivel del embalse, al transcurrir Δt .
- Q_s : Caudal que sale del reservorio por alivio.

$$Q_s = Q_{\text{vertedero de excesos}} + Q_{\text{desagüe de fondo}} + Q_{\text{captación}}. \quad (4.6)$$

LAMINACIÓN DE EMBALSES: PROGRAMA COMPUTACIONAL HEC – HMS.

Fundamentalmente, este programa permite calcular el hidrograma de crecida producido por una tormenta que se sucede en una cuenca que descarga el caudal generado a determinado sitio de estudio. Para esto se deben ingresar al programa los datos físicos de la cuenca, datos de precipitaciones, etc., tal como se indica en la tabla 4.1.

El programa además permite simular el tránsito de una onda de crecida por un embalse, considerando que en un embalse la superficie del agua es horizontal, lo que permite el cálculo de la salida del agua por el procedimiento conocido como MODELO MODIFICADO DE ENRUTAMIENTO DE PULS. Ese modelo divide el tiempo total de análisis en intervalos iguales de duración. A continuación, resuelve de forma recursiva la aproximación dimensional de la ecuación de continuidad:

$$Q_i - Q_s = \frac{\Delta_s}{\Delta_t} \quad (4.7)$$

Donde:

Q_i .- Caudal promedio en el intervalo de tiempo considerado, que ingresa al embalse.

Q_s .- Caudal promedio en el intervalo de tiempo considerado, que sale del embalse.

Δ_s .- Variación del volumen almacenado en el embalse durante el intervalo de tiempo.

Δt .- Intervalo de tiempo.

Con una operación de diferencias finitas, la ecuación de continuidad puede quedar de la siguiente manera:

$$\frac{Q_{i_t} + Q_{i_{t+1}}}{2} - \frac{Q_{s_t} + Q_{s_{t+1}}}{2} = \frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} \quad (4.8)$$

Donde:

t .- es el instante de inicio del intervalo de tiempo; $(t+1)$ es el instante de final del intervalo de tiempo.

Q_{i_t} , $Q_{i_{t+1}}$.- Caudales de entrada al embalse, al inicio y al final del intervalo de tiempo respectivamente.

Q_{s_t} , $Q_{s_{t+1}}$.- Caudales de salida del embalse, al inicio y al final del intervalo de tiempo respectivamente.

Reordenando la ecuación 4.8, se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{2S_{t+1}}{\Delta t} + Q_{s_{t+1}} \right) = (Q_{i_t} + Q_{i_{t+1}}) + \left(\frac{2S_t}{\Delta t} - Q_{s_t} \right) \quad (4.9)$$

Todos los términos del lado derecho de la ecuación 4.9 son conocidos; los valores de Q_{i_t} y de $Q_{i_{t+1}}$ son las ordenadas de hidrograma de crecida que ingresa al embalse; tal vez calculados con este mismo programa. Los valores de Q_{s_t} y $Q_{s_{t+1}}$ se conocen en cada intervalo de tiempo; partiendo de que cuando $t=0$, se conocen las condiciones iniciales del flujo ($Q_{s_t} = 0$); y para cada intervalo subsecuente, el caudal de salida se conoce mediante el cálculo respectivo, cuyos datos de entrada son las condiciones del intervalo previo. Por lo tanto los valores del volumen y el caudal de salida en $t+1$ pueden ser calculados usando la ecuación 4.9.

Para un embalse, del cual se conozca las relaciones de volumen – caudal de salida, los valores del caudal de salida y de entrada para el tiempo $t+1$ pueden ser hallados mediante la repetición de cálculos para intervalos sucesivos, dando como resultado los caudales de salida para tiempos $t+1, t+2, \dots, t+n$; y de esta manera se tienen las ordenadas del hidrograma de salida o hidrograma laminado. Para el ingreso de datos de un embalse existente, o proyectado, se debe especificar el tipo de relación que se va a utilizar en el desarrollo del cálculo, dependiendo de las características del embalse, y de las estructuras de evacuación del agua como desagües de fondo, o vertederos, estas pueden ser:

- Volumen – caudal de salida,
- Elevación – volumen – caudal de salida, y,
- Elevación – área – caudal de salida.

GRAFICO 4.5.
FASES DE TRABAJO DEL PROGRAMA HEC – HMS.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	DATOS
Modelo de la cuenca	Ingresar al programa la geometría de la cuenca, con sus características físicas principales, así como los cauces que existen entre las microcuencas y las juntas de las mismas. El número de curva y área. También identificar la existencia del embalse y sus componentes.	GRÁFICO 6.4. Cuenca 1: A= 34.1 km ² , CN=45. Cuenca 2: A=57.31 km ² , CN=45. Cuenca 3: A= 58.67 km ² , CN= 45. Cuenca 4: A= 49.71 km ² , CN= 45. Cuenca 5: A= 21.86 km ² , CN=45 Cuenca 6: A=43.37 km ² , CN=45. Cuenca 7: A=21.86 km ² , CN=45. Cuenca 8: A= 26.72 km ² , CN=45. Cuenca 9: A= 62.88 km ² , CN= 45. Cuenca 10: A= 40.48 km ² , CN=45. Cuatro compuertas tipo taintor, y un desagüe de fondo.
Modelo meteorológico	Asociar un evento meteorológico (hietograma de crecida) a cada microcuenca.	Para este caso se asume el escenario mas crítico, es decir que llueve simultáneamente en toda la cuenca con la misma intensidad.
Especificaciones de control	Especificar los intervalos de tiempo de la modelación, así como la duración de la misma.	Inicial el 01 de abril (0:00) y finaliza el 06 de abril del 2014 (24:00). El intervalo de tiempo de de una hora.
Series de datos en el tiempo	Ingresar el hietograma de diseño para cada microcuenca, y se ancla a un tiempo referencial de inicio y de fin del evento.	Los hietogramas de diseño que se indican en el GRAFICO 6.6. Todos los hietogramas se inician el día 2014-04-01.
Series de datos del embalse.	Ingresar las curvas características del embalse.	Curva área - cota - volumen que se muestra en el GRÁFICO 3.1.

Aplicabilidad y limitaciones del programa, respecto a la modelación de embalses.- El modelo para reservorios, incluido en el programa HEC – HMS, es apropiado para la simulación y desarrollo de cualquier configuración de embalses o reservorios y de estructuras de evacuación. Sin embargo, este programa asume que los desagües de fondo tienen flujo controlado, que es únicamente una función del nivel del espejo de aguas. Si la configuración de los desagües de fondo del embalse tienen o están controlados por un efecto de remanso, aguas abajo de la salida, este modelo no debe ser usado, ya que no permite introducir las condiciones del flujo luego de la descarga del desagüe de fondo.

4.5. NIVELES MÁXIMOS DE CRECIDA

De acuerdo con el estudio de optimización del aliviadero, los valores considerados fueron:

Nivel máximo de explotación (m.s.n.m):	66.00
Caudal de diseño para TR = 1000 años (m ³ /s):	3030.00
Dimensiones aliviadero:	4 vanos de 7.50 m. con compuertas de 4 m. de carga
Máximo caudal evacuado (m ³ /s):	896.00
Máxima sobreelevación desde el N.M.E (m):	1.67

En consecuencia, el máximo nivel de avenidas (M.N.A), será la cota 67.67 m.s.n.m., de acuerdo con la siguiente expresión:

$$MNA = MNE + \text{máxima sobreelevación} = 66.00 + 1.67 = 67.67 \text{ m.s.n.m.}$$

4.6. CONCLUSIONES.

- Las características del embalse La Esperanza están dentro de las restricciones de uso del programa HEC – HMS, por tal motivo, el cálculo de la laminación en este embalse se lo realizará con este programa.
- Al realizar el cálculo de la laminación de crecidas con el programa HEC – HMS, se puede realizar con facilidad varios cambios de escenarios, en cuanto a hietogramas de precipitación, estado inicial del nivel del agua en el embalse, y combinaciones de las intensidades de precipitación en la cuenca de aporte. Esto debido a que el programa tiene 5 módulos independientes que pueden ser modificados por separado.
- De los resultados obtenidos en la simulación de las distintas laminaciones, se puede observar que la eficacia en la laminación de avenidas es mayor cuando el nivel de espera en el embalse es más bajo, debido a que la capacidad de retención en el embalse es mucho mayor.
- De lo expuesto anteriormente, se puede entonces concluir que dentro de la operación del embalse, se debe controlar los niveles del agua en el embalse, de manera que en los meses de mayor probabilidad de crecidas, se mantenga el espejo de aguas en un nivel tan bajo como sea posible; sin que esto disminuya o ponga en riesgo el abastecimiento de agua para los usos establecidos.

CAPITULO 5

RELACIONES ENTRE PRECIPITACIÓN, NIVEL DEL EMBALSE Y CAUDALES EVACUADOS.

5.1. ALTURA MÁXIMA MAXIMORUM DEL ESPEJO DE AGUAS DEL EMBALSE CONSIDERANDO TODOS LOS USOS DE AGUA.

La Esperanza tiene su cota de coronación a los 69.00 m.s.n.m., para responder eficientemente a los requerimientos de su diseño, esto es, disponer del volumen de regulación necesario para la demanda de riego y de abastecimiento de agua potable; para afrontar la sedimentación sin grandes problemas durante su vida útil; y regular las crecidas del río Carrizal.

NIVEL DE EMBALSE MUERTO Y NIVEL MINIMO DE EXPLOTACIÓN O NIVEL BLINDADO.

De acuerdo con el estudio de la sedimentación del embalse de La Esperanza, los valores considerados son:

• Extensión de la cuenca (km ²)	450.00
• Tasa anual de sedimentación (m ³ /m ² /año)	1500.00
• Coeficiente de retención	0.95
• Volumen anual de sedimentos (m ³)	640000.00
• Vida útil del embalse (años)	100.00
• Volumen total sedimentos (hm ³)	64.00

Aceptando que dos tercios de este volumen de sólidos se depositan en el fondo del embalse y que el tercio restante se deposita o sigue por los cauces, el nivel mínimo de explotación corresponde a la cota 37.00 m.s.n.m., correspondiente a un volumen de embalse de 41 hm³.

VOLUMEN ÚTIL Y NIVEL MÁXIMO DE EXPLOTACIÓN.

De acuerdo al estudio de regulación del embalse de La Esperanza, los valores considerados son:

- Demanda a satisfacer: 260 hm³ (240 hm³ para riego y 20 hm³ para agua potable)
- Aportaciones: Según la serie que se indica en la tabla 5.1.

TABLA 5.1.
SERIE DE CAUDALES DE APORTE AL EMBALSE LA ESPERANZA.

MES	CAUDAL (m ³ /s)
Diciembre	2.1
Enero	7.1
Febrero	21.2
Marzo	24.7
Abril	21.4
Mayo	11.9
Junio	9.6
Julio	5.9
Agosto	3.9
Septiembre	3.3
Octubre	3.8
Noviembre	6.7

FUENTE: CRM 1984.

Asumiendo una garantía del 88% del suministro frente a la demanda, resulta que el volumen útil de embalse es de 386 hm³.

El máximo nivel de explotación (M.N.E.) está definido por la cota que permite disponer de una capacidad de embalse de 450 hm³ (64 hm³ del volumen blindado, y 386 hm³

de embalse útil para regulación). De acuerdo con la capacidad del embalse se sitúa el M.N.E. a la cota 66.00 m.s.n.m. con lo que se dispone de un volumen de 455 hm³, que es ligeramente superior al valor necesario según los diseños.

RESGUARDOS Y NIVEL DE CORONACIÓN

SOBREELEVACIÓN POR AVENIDAS

De acuerdo al estudio hidrológico realizado por la empresa surcoreana DAEEEO en el año 1984 para un período de retorno de 1000 años, las dimensiones del aliviadero y el tamaño del embalse, se determina como la altura vertiente por crecidas en 1.70 m. Significando que la máxima cota del espejo de aguas cuando hay una crecida es 67.70 m.s.n.m.

SOBREELEVACIÓN POR OLAJE

Los valores que se deben considerar para el estudio de la sobreelevación por oleaje son los siguientes:

Fetch de diseño del embalse (km)	2.90
Velocidad del viento en tierra (km/h)	93.00
Velocidad del viento en agua (km/h)	111.00
Sobreelevación por efecto marea (Δh_1) (m)	0.05
Sobreelevación por rodamiento de la ola sobre el talud protegido con enrocamiento (Δh_2)= 0.05 m. (m)	3,5/1 0,93

En consecuencia, la sobreelevación total por el efecto oleaje es:

$$\Delta h_o = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,98 \quad (5.1)$$

NIVEL DE CORONACIÓN

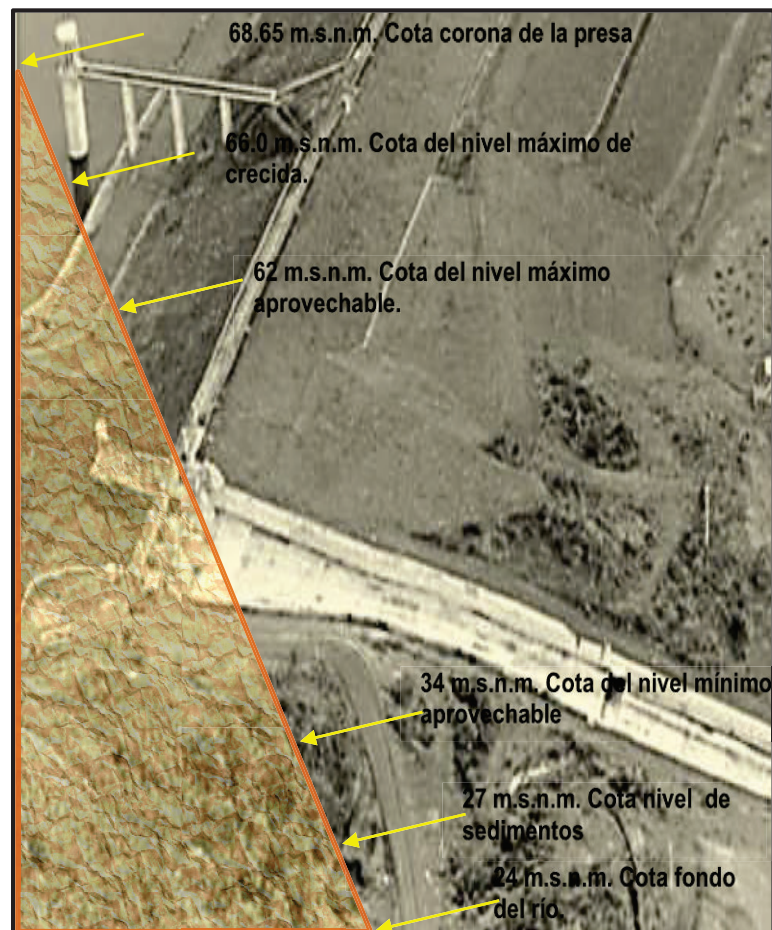
La cota de coronación de la presa está definida por la siguiente expresión:

$$\text{Coronación} = \text{MNA} + \Delta h_o = 67,67 + 0,98 = 68.65 \text{ m.s.n.m.}$$

Se adoptó en los estudios de diseños la cota 69.00, ligeramente superior a la necesaria (0.35 m. en exceso) con una contra flecha en el camino de coronación de 1 m. de manera de absorber los asentamientos producidos por la consolidación natural de los rellenos y de la cimentación, así como por las sacudidas sísmicas de la zona. En la actualidad no se ha levantado información acerca de la cota coronación de la presa.

GRAFICO 5.1.

ALTURAS DE LOS VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO. PRESA LA ESPERANZA



5.2. ELEMENTOS DE EVACUACIÓN DE AGUA DEL EMBALSE.

Una vez cerrado el cauce del río, se da la obvia elevación del nivel del agua; y se corre el riesgo de que al producirse crecidas en el cauce del río aportante, el nivel del agua suba sin control, sobrepasando la cota de coronación de la presa. El otro riesgo existente es que el cuerpo de la presa o las estructuras de captación evidencien anomalías en su funcionamiento, lo que obliga a realizar trabajos de mantenimiento y reparaciones de las estructuras, para lo cual se debe vaciar total o parcialmente el embalse.

Por lo expuesto anteriormente, se hace obligatorio que todo embalse tenga estructuras de evacuación. A continuación se realiza una breve descripción de las existentes en La Esperanza.

VERTEDERO DE EXCESOS.

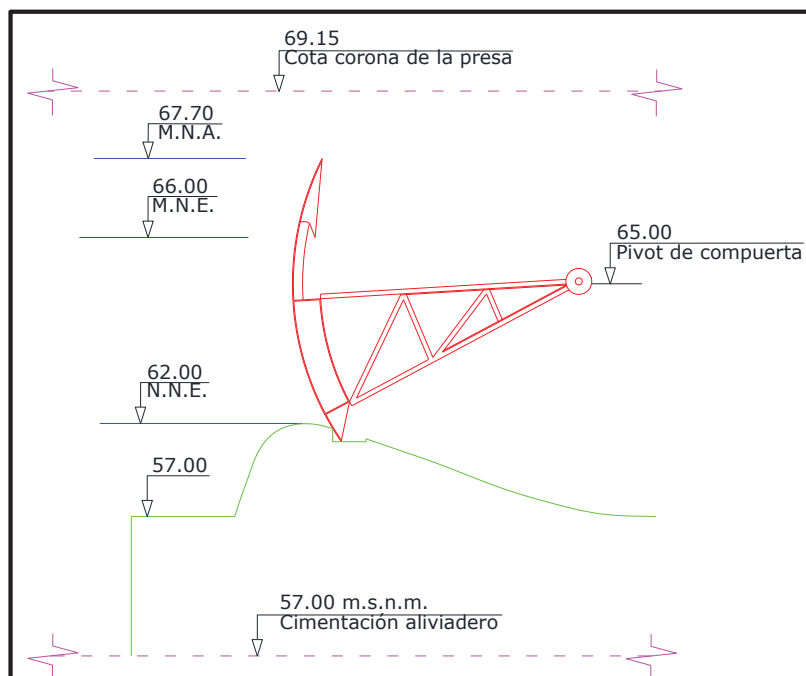
Esta estructura hidráulica cumple con la función de evacuar y transportar hacia el cauce natural del río aguas abajo de la presa, los excesos de agua que en determinado momento se presentan en el embalse. El diseño del aliviadero, debe observar tres condicionantes básicas:

- Crecida máxima previsible, asociada a un período de retorno.
- Capacidad de laminación o almacenamiento del embalse.
- Características del cauce del río aguas abajo de la presa, capacidad hidráulica, áreas de inundación, poblaciones existentes e infraestructura existente en las áreas de inundación, etc.

En el gráfico 5.2, se muestra el esquema del aliviadero de excesos, que es el elemento principal por donde se evacuará el agua proveniente de las tempestades que se sucedieron en la cuenca de aportación al embalse. En este esquema se puede distinguir, que cuando el nivel libre del líquido está en el máximo nivel de explotación (M.N.E), si sucede una crecida, el nivel del agua subirá a la cota 67.70 m.s.n.m. sin

que llegue al nivel de la corona de la presa (69.15 m.s.n.m.). Es de suponer que se debe entonces abrir las compuertas tipo taintor para poder evacuar el volumen de agua acumulado y evitar que el nivel del agua siga incrementándose.

GRÁFICO 5.2.
ESQUEMA DEL ALIVIADERO DE CRECIDAS, COMPUERTA TAINTOR.



FUENTE: CRM 1984.

El sistema de vertederos de excesos de la presa La Esperanza, consiste en 4 tramos de vertederos rectos, con perfil hidrodinámico tipo Creager; provisto cada uno de compuertas tipo Taintor.

Cada compuerta totalmente abierta tiene una capacidad de evacuación de agua de 120 m³/s; lo que da un total de 480 m³/s. En el año 2010, ocurrió una crecida que debido a las malas maniobras de apertura de las compuertas, ya que se detectó demasiado tarde la presencia de la avenida en el embalse; de la conversación con el operador de las estructuras de control, manifiesta, que llamaron a SENAGUA de

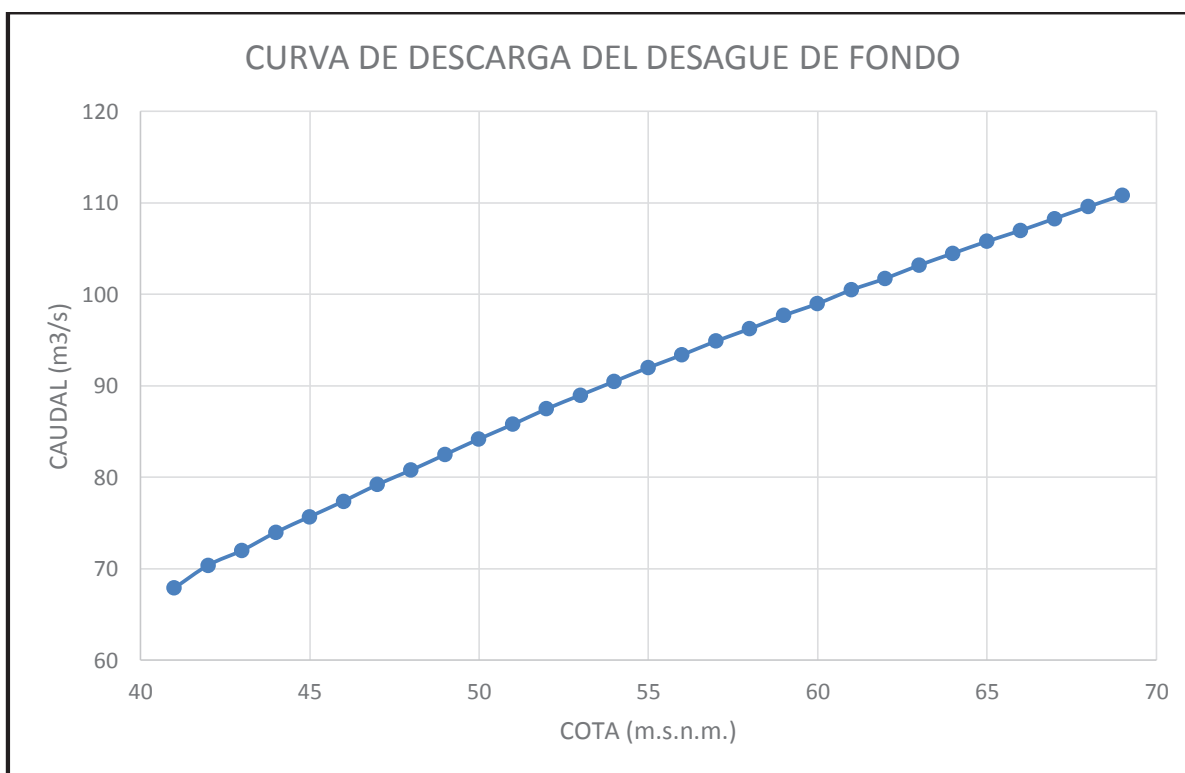
Portoviejo, cuando detectaron que el nivel del agua había subido mucho, y que iba a sobrepasar el nivel de coronación de la presa, ante lo cual se les ordenó que abrieran totalmente las compuertas para evacuar todo el volumen excedente; lo que generó un caudal de $240 \text{ m}^3/\text{s}$, con lo cual se inundó la ciudad de Calceta. Actualmente, estas estructuras se encuentran en buen estado y funcionales.

DESAGÜE DE FONDO

Para poder hacer operaciones de mantenimiento, reparaciones, así como evacuar los sólidos contenidos en el embalse, se hace indispensable que toda presa tenga un desagüe de fondo.

El diseño e implementación de esta estructura, tiene una curva de descarga, como se evidencia en el gráfico 5.3:

GRÁFICO 5.3.
CURVA DE DESCARGA DEL DESAGÜE DE FONDO.



FUENTE: CRM 1984.

En la actualidad, el desagüe de fondo, está totalmente cerrado, por las condiciones expuestas en el capítulo 2, por este motivo, las reparaciones y mantenimiento que se hagan serán superficiales, incrementando de esta manera el riesgo de falla de la presa, y por lo tanto el peligro de una catástrofe en la ciudad de Calceta y los pueblos que se encuentran aguas abajo del embalse.

5.3. CONCLUSIONES.

- La presa y las poblaciones que se encuentran aguas abajo del embalse, se encuentran en constante riesgo de sufrir graves daños por producirse una tormenta con período de retorno milenario.
- Los aliviaderos al tener una capacidad de 480 m³/s, no tienen la capacidad de evacuar el gran caudal que se presentaría en una tormenta con un período de retorno 1000 años, ni siquiera de 500, lo que ocasiona que el nivel del agua se siga elevando, corriendo el riesgo de que el agua sobrepase o se desborde por sobre la cota corona de la presa, la misma que se deterioraría mucho, por no hablar de destrucción, ya que es una presa de material suelto.
- La vida útil de la presa debe haber disminuido radicalmente debido a la ausencia del desagüe de fondo, ya que no se puede hacer reparaciones ni mantenimiento en el cuerpo de la presa y las obras complementarias.

CAPITULO 6

MODELO DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.

6.1. CURVAS DE RELACIÓN DIRECTA ENTRE PRECIPITACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL EMBALSE Y CAUDALES EVACUADOS.

Al implantarse una presa, se forma un gran sistema conformado por tres partes macros o generales, que a la vez tienen subsistemas; por lo pronto, se realizará un estudio general de los componentes generales del sistema.

El primer subsistema que se ubica en la parte aguas arriba de la presa, donde se originan todos los fenómenos hidrometeorológicos que llegan e influyen en el comportamiento del embalse y como es lógico de las estructuras anexas o complementarias de la presa.

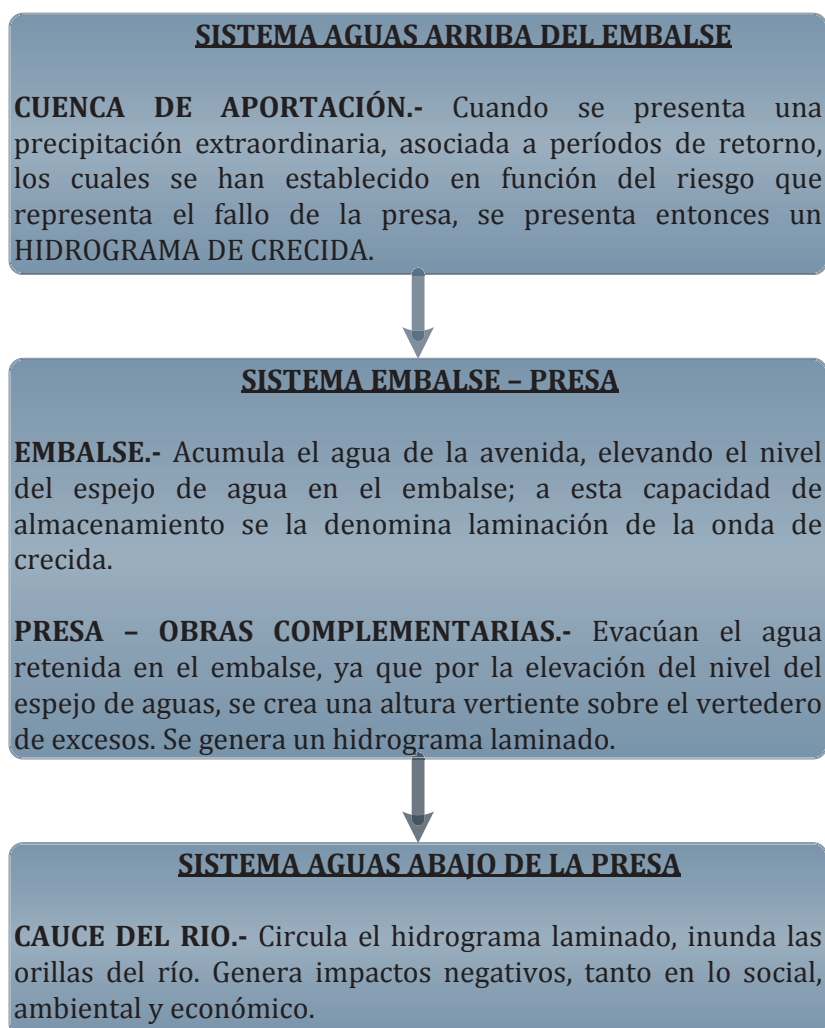
El segundo subsistema a considerarse, está conformado por el embalse, que se lo considera en el nivel máximo aprovechable para fines del presente estudio, más la presa de material suelto y sus obras complementarias; donde se realizan las operaciones de respuesta a los fenómenos que se podrían suceder en la cuenca de aportación.

Finalmente, el área que recibe los caudales; es en realidad lo que se debe proteger de sufrir los posibles daños a la integridad de las personas, infraestructura y cultivos.

En el gráfico 6.1 se esquematizan estos elementos.

La cuenca de aportación para la presa, así como las características físicas, hidrológicas y meteorológicas, están descritas en el capítulo 3; mientras que la descripción de la presa y sus obras complementarias, así como las características del embalse se encuentran descritas en los capítulos 2 y 4.

GRÁFICO 6.1.
ESQUEMA DE SISTEMAS DE INGRESO Y SALIDA A UN EMBALSE.



De la comparación de los caudales que circulan y/o se generan en estas tres etapas del sistema general, se puede concluir en la eficiencia de la presa y sus obras complementarias en cuanto a la laminación de la crecida. Es decir que se compara los caudales generados en la cuenca de aporte al embalse, con respecto a los caudales que circulan por el cauce ubicado aguas abajo de la presa, es decir el área que se pretende proteger, o al menos disminuir los impactos que se podrían generar por la avenida.

Para el análisis de estas curvas se considera solamente el caudal generado por las precipitaciones extraordinarias, ya que son las que directamente producen los caudales de escorrentía máximas. Estas precipitaciones a considerar son las asociadas a períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años.

Además, se asume que la precipitación se sucede en toda la cuenca; esta suposición la podemos hacer, debido al tamaño relativamente pequeño de la cuenca, su uniformidad en cuanto al tipo y uso de suelo; la cuenca en toda su área es homogénea respecto a presión atmosférica y temperatura del ambiente; pero sobre todo, es la situación más crítica que se puede presentar.

A continuación se presentan las tablas 6.1, 6.2, y 6.3 en las que se indica el comportamiento del sistema cuenca (aguas arriba) – embalse – cauce (aguas abajo), cuando se presentan tormentas para los períodos de retorno especificados en estos cuadros se considera que el nivel del agua se encuentra en la cota del labio del vertedero (62 m.s.n.m.), y a diferentes estados de apertura de las compuertas. La modelación se realizó considerando el único sistema de evacuación que tiene el embalse, los vertederos de excesos.

Las características aguas abajo del sistema, están consideradas en la ciudad de Calceta, sitio que tiene problemas por inundación debido a la apertura desordenada o muy rápida de las compuertas.

Una manera de validar los resultados obtenidos puesto que en el año 2010, cuando se produjo la inundación, la descarga de los vertederos fue de 240 m³/s, y la altura del agua alcanzó un metro sobre el nivel del suelo, según se puede ver en los diarios que presentamos esta noticia (ver capítulo 2).

Como se puede observar, en todos los casos, se produce inundación del área estudiada, por lo que se debe considerar que el sistema de regulación de las crecidas debe ser mejorado.

TABLA 6.1.
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 100 AÑOS

	<u>AGUAS ARRIBA</u>	<u>EMBALSE</u>		<u>AGUAS ABAJO</u>	
ABIERTO COMPUERTA	CAUDAL MAXIMO DE ENTRADA	CAUDAL MAXIMO EVACUADO	ALTURA MAXIMA EN EMBALSE	ANCHO INUNDACION MAXIMO	CALADO INUNDACION MAXIMO
(m)	(m³/s)	(m³/s)	msnm	(m)	(m)
1.00	802.60	203.20	63.40	138.21	1.00
2.00	802.60	109.70	63.50	114.27	0.71
3.00	802.60	109.70	63.50	114.27	0.71
4.00	802.60	109.70	63.50	114.27	0.71

TABLA 6.2.
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 500 AÑOS

	<u>AGUAS ARRIBA</u>	<u>EMBALSE</u>		<u>AGUAS ABAJO</u>	
ABIERTO COMPUERTA	CAUDAL MAXIMO DE ENTRADA	CAUDAL MAXIMO EVACUADO	ALTURA MAXIMA EN EMBALSE	ANCHO INUNDACION MAXIMO	CALADO INUNDACION MAXIMO
(m)	(m³/s)	(m³/s)	msnm	(m)	(m)
1.00	1202.60	257.20	64.00	143.80	1.11
2.00	1202.60	262.90	64.20	144.23	1.12
3.00	1202.60	210.80	64.20	139.34	1.01
4.00	1202.60	192.70	64.20	136.42	0.96

TABLA 6.3.
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PARA TR = 1000 AÑOS

	<u>AGUAS ARRIBA</u>	<u>EMBALSE</u>		<u>AGUAS ABAJO</u>	
ABIERTO COMPUERTA	CAUDAL MAXIMO DE ENTRADA	CAUDAL MAXIMO EVACUADO	ALTURA MAXIMA EN EMBALSE	ANCHO INUNDACION MAXIMO	CALADO INUNDACION MAXIMO
(m)	(m³/s)	(m³/s)	msnm	(m)	(m)
1.00	1226.10	421.10	66.60	154.93	1.40
2.00	1226.10	612.00	65.80	165.93	1.68
3.00	1226.10	811.00	65.80	165.93	1.93
4.00	1226.10	672.80	66.30	165.93	1.76

En la tabla 6.4, se describe las posibles modificaciones que se puede hacer en el sistema, sus ventajas y desventajas; para que al fin, luego de realizar análisis técnicos, económicos y ambientales se tome una decisión que ofrezca los mejores resultados.

De las acciones o modificaciones que se puede realizar en el sistema, las que son factibles de realizar son:

- Implementación de presas cortapicos en los cauces principales de los ríos aportantes al embalse.
- Recuperación del desagüe de fondo, la misma que debe ser considerada como una acción emergente, ya que su falta de funcionalidad disminuye la vida útil del embalse, limita la operación del embalse, y genera riesgos de falla en el sistema, ya que no se pueden hacer actividades de mantenimiento y reparaciones.

TABLA 6.4.
POSIBLES MODIFICACIONES A REALIZAR EN EL SISTEMA EN ESTUDIO.

SISTEMA	ACCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AGUAS ARRIBA (CUENCA)	Construcción de presas cortapicos.	Áreas de inundación relativamente pequeñas.	Se inundan áreas agrícolas.
		No necesitan sistemas de operación.	Costos elevados.
		Altura de las presas pequeña.	Costos sociales y ambientales elevados.
EMBALSE - OBRAS ANEXAS	Modificación de vertederos de excesos.	Mejora la laminación del hidrograma de crecida.	Altera estabilidad de la presa.
	Recuperación del desagüe de fondo.	Mejora evacuación del agua cuando hay tormentas.	Elimina abastecimiento de agua a presión para riego.
		Permite bajar más rápidamente el nivel del agua en el embalse antes que la avenida se haga presente en el embalse.	Elimina abastecimiento de agua a presión para central hidroeléctrica al pie de la presa. En caso de ser recuperada.
		Bajos costos relativos.	
		Permite realizar reparaciones y mantenimiento en el cuerpo de la presa.	
	Incremento de la altura de la presa.	Aumenta capacidad de almacenamiento del embalse.	Altera estabilidad de los taludes de la presa y se modifica la geometría.
		Aumenta la capacidad de laminación del embalse.	Altos costos de implementación.
AGUAS ABAJO (CAUCE)	Reducción de la rugosidad del cauce. Estructuras de protección de las orillas. (Muros de gaviones, etc.)	Incrementa la velocidad del flujo, por tanto disminuye el calado.	Altos costos de implementación.
		Confina el flujo, disminuye el área de inundación.	Vida útil de estructuras baja, debido a las altas velocidades del agua.
			Altera el ecosistema del río por la pérdida de la vegetación.
	Presas cortapicos en el cauce del río.	Disminuye el caudal punta del hidrograma laminado en el embalse.	Inunda áreas cultivables y con infraestructura.
		Fácil implementación.	Costos sociales elevados.
		Bajo mantenimiento y operación.	Costos ambientales elevados.

- **IMPLEMENTACIÓN DE PRESAS CORTAPICOS EN LOS CAUCES PRINCIPALES DE LOS RÍOS APORTANTES AL EMBALSE.-**

En el gráfico 6.2, y en el gráfico 6.3 se puede observar esquemáticamente una presa que sirve para laminar las crecidas; su funcionamiento se basa en almacenar temporalmente el agua proveniente de crecidas; la capacidad hidráulica del o de los orificios practicados en el cuerpo de la presa está determinada para caudales base o caudales asociados a períodos de retorno pequeños; mientras que cuando se presentan grandes caudales aguas arriba de la presa, debido a la baja capacidad de los orificios el nivel del agua sube, inundando un área determinada, laminando de esta manera el hidrograma de crecida natural.

GRÁFICO 6.2.
CORTE DE UNA PRESA CORTA PICOS.

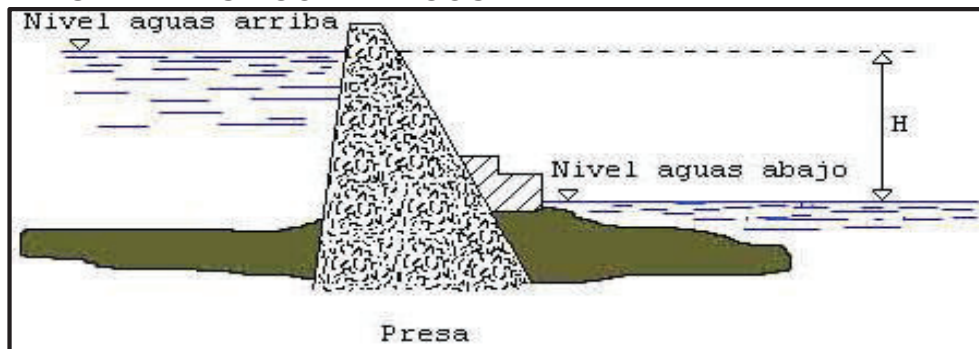
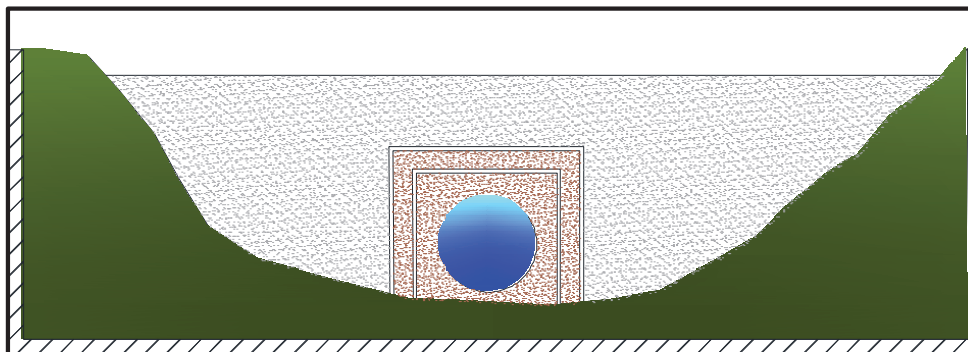
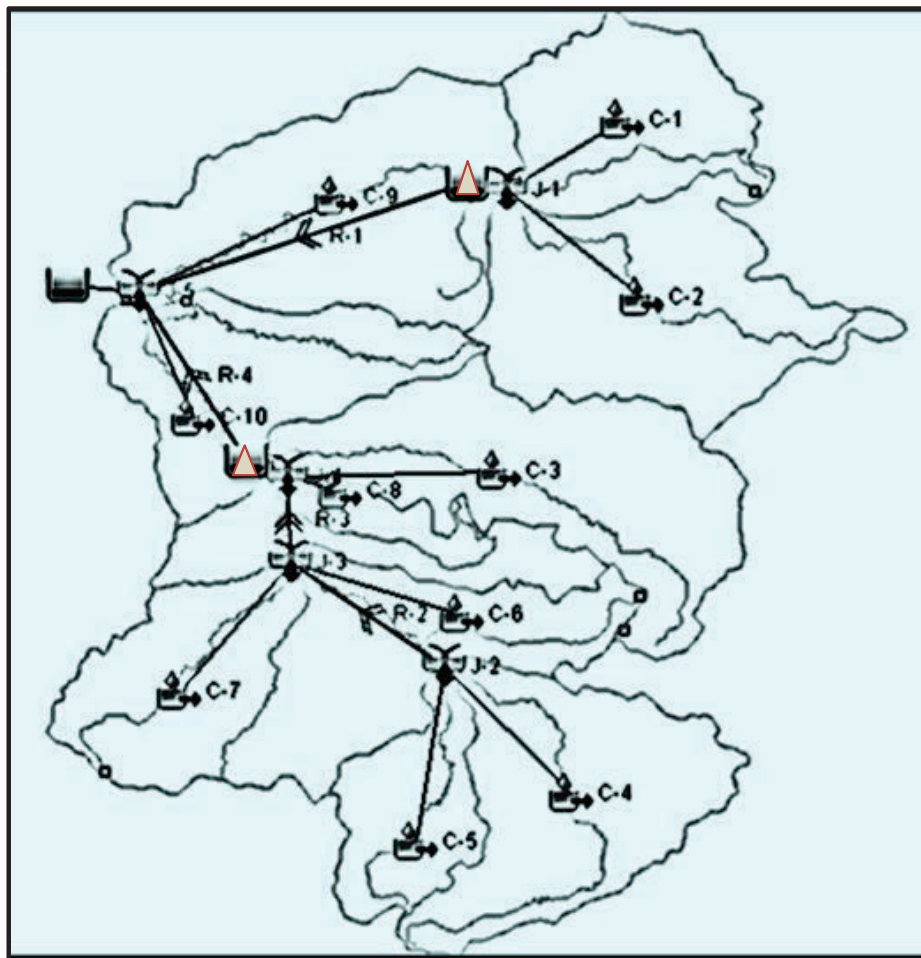


GRÁFICO 6.3.
VISTA DESDE AGUAS ABAJO DE UNA PRESA CORTA PICOS.



Ubicadas en los cauces de los ríos principales, río Carrizal y río Barro (gráfico 6.4); deben estar situadas a partir de la cota del nivel máximo aprovechable (66 m.s.n.m.), estas presas permitirán realizar laminaciones previas de los ríos, antes de que los hidrogramas de crecida ingresen al embalse; de esta manera, se disminuye radicalmente el caudal punta que ingresa al embalse La Esperanza, y lógicamente, si es menor el caudal punta que ingrese al embalse, menor será el caudal punta que se evacúa hacia el cauce aguas abajo de La Esperanza.

GRÁFICO 6.4.
UBICACIÓN DE PRESAS CORTA PICOS PROPUESTAS. (UBICACIÓN SEÑALADA CON TRIÁNGULOS ROJOS)



Se hace el estudio de las crecidas para los períodos de retorno indicados (100, 500 y 1000 años), considerando que la cota del espejo de aguas coincide con la cota del labio del vertedero, y que las compuertas están totalmente abiertas.

Las presas que se proponen implementar para este estudio, tienen 5 metros de altura, y tienen en su parte inferior, coincidente con la cota del fondo del río, tres orificios de 1 metro de diámetro respectivamente. Esto se puede observar en el anexo 2.

Simulando una tormenta en la cuenca en estudio, con la existencia de estas dos presas cortapicos en los lugares indicados en el gráfico 6.4; adelante en la tabla 6.5, se muestra estos valores; y se puede ver que los caudales disminuyen notablemente, así como el calado, y el ancho del espejo de aguas.

Es decir, si bien no se consigue eliminar definitivamente los efectos de las crecidas, se disminuyen considerablemente.

Esta opción, es considerada como la más factible, por cuanto los resultados son muy buenos, y los costos sociales, son menores puesto que si bien, las áreas inundadas son cultivables, tienen una densidad poblacional baja, y su extensión es relativamente pequeña comparada con las ventajas que se puede obtener de la implantación de estas estructuras.

Además, la capacidad de almacenamiento de los embalses generados por las presas cortapicos es muy buena, lo que redundará en una altura de presas muy pequeña, y por lo tanto, los costos de la implantación de estas estructuras también es baja.

En cuanto a los costos ambientales, también son bajos, ya que estos embalses son temporales, es decir, que las presas generan la elevación del agua y consecuente inundación de las cuencas de aportación sólo cuando se

presentan lluvias extraordinarias, y se quedan nuevamente vacías luego de haber terminado la lluvia.

TABLA 6.5.
CAUDALES, ANCHOS Y CALADOS DE INUNDACIÓN PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.

PERIODO DE RETORNO	EMBALSE		AGUAS ABAJO	
	CAUDAL MAXIMO EVACUADO	ALTURA MAXIMA EN EMBALSE	ANCHO INUNDACION MAXIMO	CALADO INUNDACION MAXIMO
(años)	(m ³ /s)	(m.s.n.m.)	(m)	(m)
100	100.9	63.4	112.72	0.73
500	162.6	64.0	125.17	0.86
1000	475.0	66.0	154.24	1.35

- **RECUPERACIÓN DEL DESAGÜE DE FONDO.-** Consiste en quitar el taponamiento que se ha ejecutado en el desagüe de fondo, para recuperar su funcionalidad, ya que la capacidad de evacuación de esta estructura hidráulica es de 110 m³/s cuando el nivel del agua en el embalse está en la cota 66 m.s.n.m.; en todo caso, si bien el descenso del espejo de aguas es muy lento, el volumen evacuado es bastante grande.

Esta solución, a más de ser emergente, ya que pone en riesgo la estabilidad de la presa por falta de mantenimiento e imposibilita la realización de reparaciones en caso de ser necesario, es de fácil realización ya que existe la estructura como tal, existe el cuenco de disipación de energía y se lo puede ver funcional, entonces se deber solamente quitar la brida de cierre y reemplazarla por la válvula de chorro hueco.

GRÁFICO 6.5.

VISTA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA; ATRÁS SE VE EL DISIPADOR DE ENERGÍA DEL DESAGUE DE FONDO.



Incluso, una opción que solucionaría tanto el problema y riesgo ocasionado por el cierre permanente del desagüe de fondo, así como el abastecimiento de agua a presión para riego, colocando luego de la desviación o captación para riego una válvula adecuada, de tal manera, que en caso de ser estrictamente necesario se abra esta válvula para evacuar el agua por el desagüe de fondo aunque restringiendo la dotación de agua para riego.

6.2. TIEMPO MÁXIMO DE INICIO DE OPERACIÓN DESDE CUANDO SE HA INICIADO LA TORMENTA.

La realización de maniobras cuando se presenta una tormenta en la cuenca de aportación al embalse tiene que ver con diferentes variables; entre ellas:

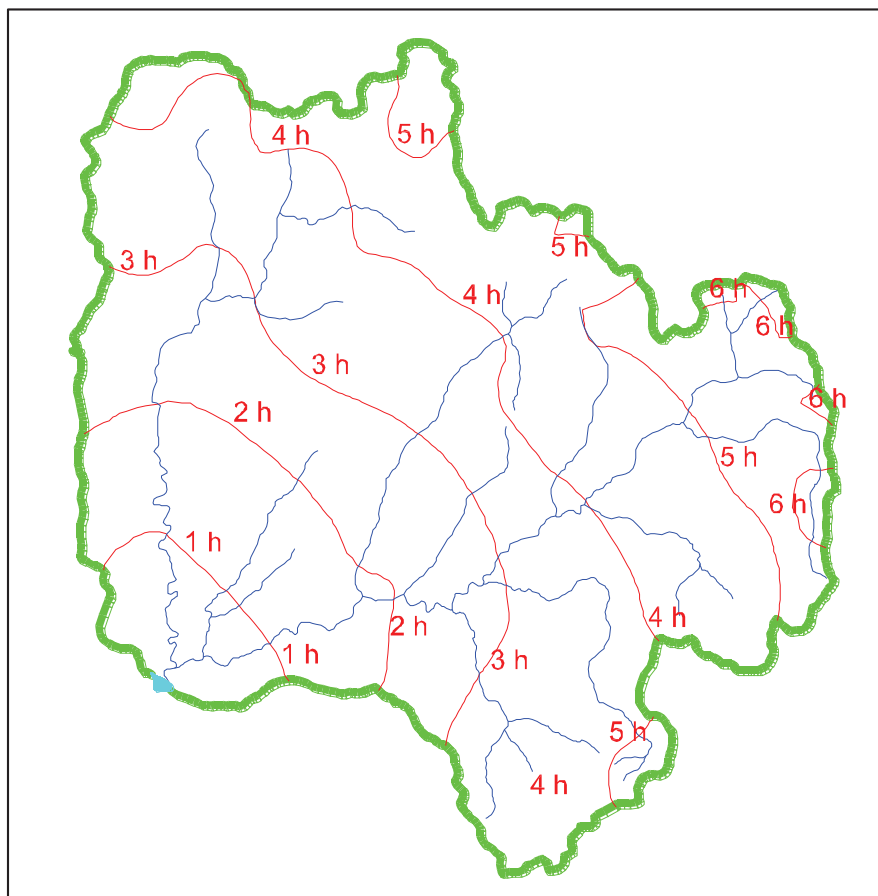
- El tiempo de llegada del agua de escorrentía desde las estaciones pluviométricas hasta el embalse,
- La capacidad de evacuación de los vertederos de excesos y desagües de fondo,

- El tiempo que se tarda en llegar la información del evento a la casa de máquinas.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.- Para el presente estudio, este concepto es relativo, ya que al definir el tiempo que se demora una gota de agua proveniente de una lluvia en recorrer el espacio existente entre un punto y otro, donde se realizan las mediciones, el caudal máximo debe presentarse en el embalse, luego de aproximadamente 6 horas de haberse presentado la tormenta en la cuenca. Esto se puede evidenciar en el gráfico 6.6, donde se han trazado isócronas, es decir líneas que cruzan la cuenca de aportación de acuerdo a los tiempos de aportación asociados.

GRÁFICO 6.6.

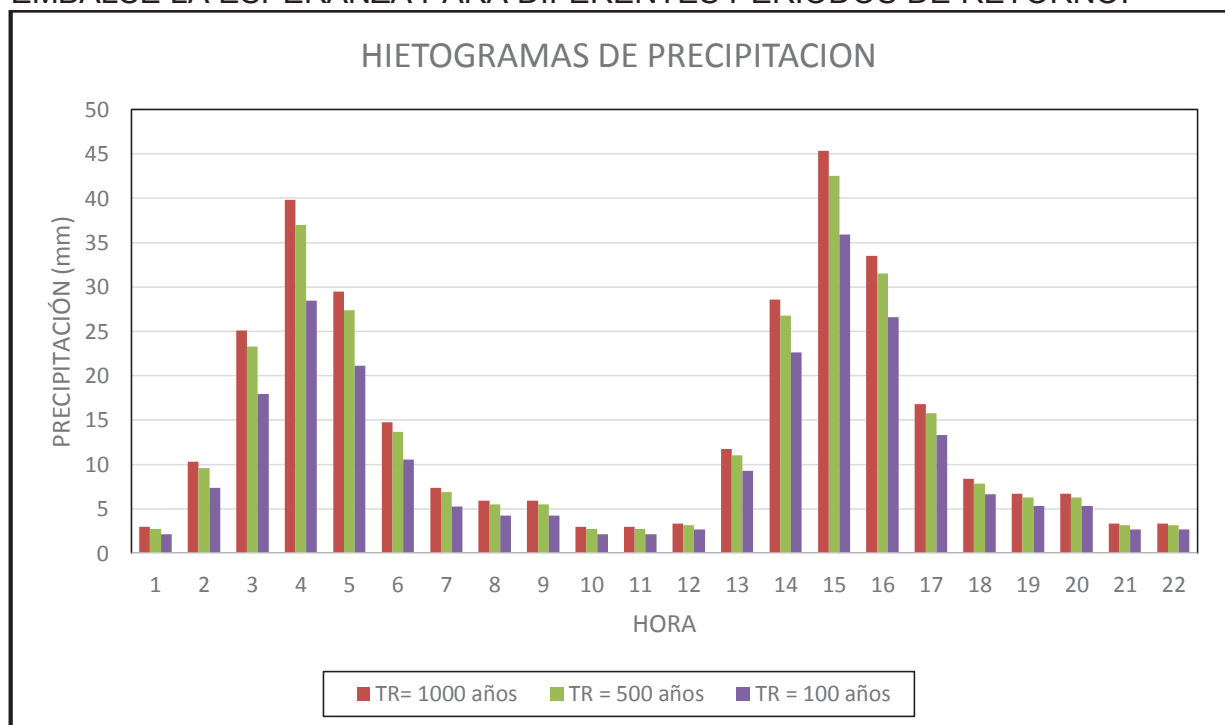
MAPA DE ISÓCRONAS DE LA CUENCA DE APORTACIÓN.



Sin embargo, una precipitación no es constante en el tiempo, ni en toda el área de la cuenca, sino que es variable en el tiempo y el área de estudio. Estrictamente hablando, cada precipitación se presenta de forma diferente a las demás, incluso dentro de una misma micro cuenca, pero con los estudios estadísticos respectivos, se las va asociando de acuerdo a la tendencia generalizada mediante el trazado de hietogramas de precipitación; y con respecto a la distribución espacial, se debe subdividir la cuenca en varias microcuencas, y establecer muchas combinaciones de precipitaciones, lo que llevaría a un trabajo muy largo y tedioso, por tal motivo, se asume una distribución uniforme de lluvia en toda el área de la cuenca estudiada. En el gráfico 6.7, se muestran los gráficos de los hietogramas de precipitación asociados a los períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años respectivamente. Como se puede ver, la tendencia de las curvas es la misma en todos los casos; esto se debe a que la configuración de la cuenca, y el historial de las precipitaciones lo determinan así.

GRÁFICO 6.7.

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE APORTACIÓN AL EMBALSE LA ESPERANZA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.



FUENTE: CRM 1984.

Los valores de las abscisas y de las ordenadas de los hietogramas mostrados anteriormente, se ingresaron en el programa HEC – HMS en el módulo TIME – SERIES DATA. Luego de computados todos los datos, se obtiene que los caudales máximos que ingresan y que se evacúan del embalse se presentan en diferentes tiempos, tal como se evidencia en la tabla 6.6.

.TABLA 6.6.

TIEMPOS ASOCIADOS A CAUDALES MÁXIMOS EN EL EMBALSE.

PERIODO DE RETORNO	TIEMPO EN QUE SE PRESENTA EL MAXIMO CAUDAL	
	INGRESO	SALIDA
(años)	(horas)	(horas)
100	22	31
500	24	33
1000	44	67

Por tal motivo, las acciones que se deben realizar para afrontar una crecida extraordinaria, deben iniciarse inmediatamente luego de haber detectado la presencia de una tormenta en la cuenca de aportación.

CAPACIDAD DE EVACUACIÓN.- Se refiere al caudal que se puede evacuar del embalse en determinado tiempo, con el propósito de que el volumen, y por ende el nivel del espejo de aguas sea el menor posible cuando se presente la avenida en el embalse, para de esta manera incrementar la capacidad de laminación del mismo, y disminuir el caudal punta del hidrograma de salida.

Como se expuso en los capítulos anteriores, la presa La Esperanza no dispone de desagüe de fondo, mejor dicho, esta estructura fue eliminada; por lo tanto, no se puede bajar en forma programada y técnica el nivel del espejo de aguas de la cota 62 m.s.n.m., que es la cota del labio del vertedero de excesos. Si en algún momento el

nivel del agua es menor que la cota del labio del vertedero de excesos, será porque dentro de la operación normal del embalse, la cantidad de agua que ingresa al mismo es menor que la cantidad de agua que se extrae. Analizando la capacidad hidráulica de los vertederos de excesos, se observa que la disminución de la cota de la superficie libre del embalse, es muy baja, a una relación promedio de 0.20 m cada 8 horas.

Esta disminución tan lenta de la altura del espejo de aguas del embalse, hace que frente a los caudales de ingreso, el nivel del agua suba constantemente, incrementando de esta manera el caudal vertiente; por tal motivo, la eficacia de estas estructuras es bastante baja. En la tabla 6.7 se asume que no ingresa ningún caudal proveniente de la precipitación que se está sucediendo, lo que en realidad incrementa el tiempo de disminución del nivel del agua, además, la lluvia que cae directamente sobre la superficie del embalse tiene un tiempo de concentración igual a 0, ya que incrementa directamente el volumen del embalse.

En el gráfico 6.8 se puede ver esquemáticamente la variación de los caudales de descarga del vertedero de excesos, de acuerdo a la cota del espejo de aguas del embalse, y de acuerdo a la apertura de las compuertas. Se puede observar que mientras mayor sea la cota del espejo de aguas del embalse y la apertura de las compuertas, mayor es el caudal evacuado. Por este motivo es recomendable que al abrir las compuertas se lo haga según una programación técnica y adecuada para no generar inundaciones aguas debajo de la presa debido a un caudal de descarga demasiado grande a la salida del embalse. Por lo expuesto anteriormente, se consigue muy poco con evacuar el agua por los vertederos de excesos luego de que se haya presentado la tormenta; lo que evidencia que lo más aconsejable es que el nivel del agua esté en la cota más baja posible cuando se presenta una avenida en el embalse.

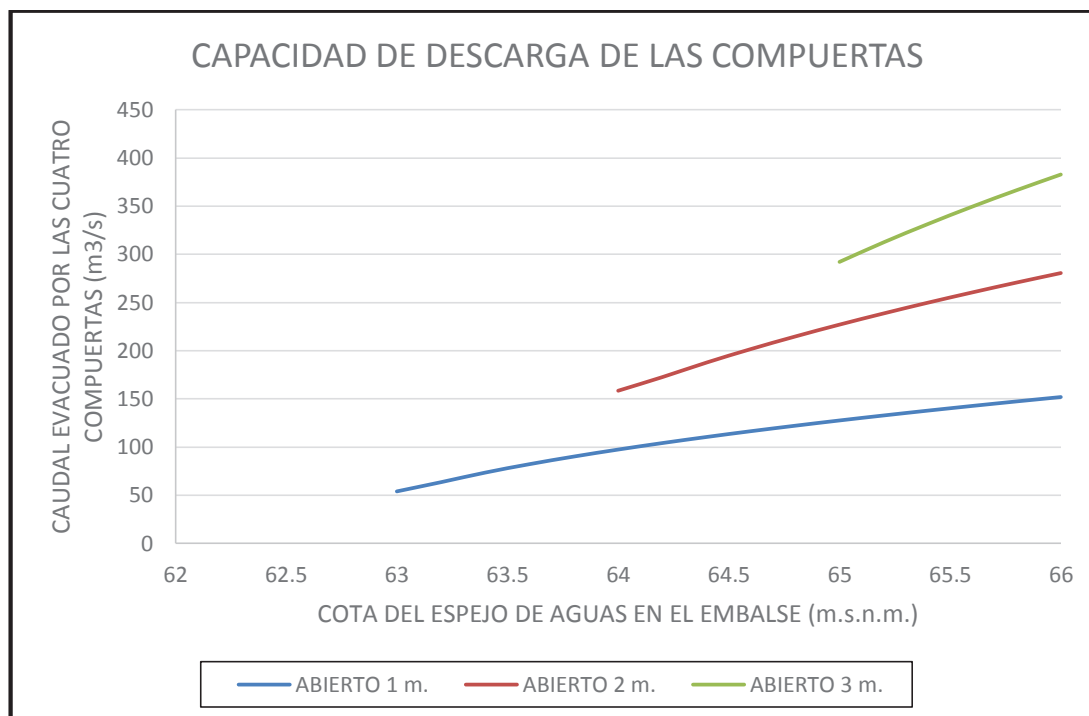
Como una de las recomendaciones que se dan con respecto a las obras de infraestructura que se deben realizar en este sistema, es imperante la recuperación del desagüe de fondo; a continuación, se presenta la tabla 6.8 con la capacidad de evacuación de agua de esta estructura.

TABLA 6.7.
CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DEL VERTEDERO DE EXCESOS.

ABIERTO COMPUERTA	H	COTA	Q total medio	ΔV (C:A-H-V)	ΔT	ΔT
(m)	(m)	(msnm)	(m ³ /s)	(hm ³)	(s)	(h)
1	3.5	66				
			151.90	4.80	31599.94	8.78
	3.3	65.8				
			147.36	4.80	32572.93	9.05
	3.1	65.6				
			142.68	4.80	33641.74	9.34
	2.9	65.4				
			137.84	4.80	34823.23	9.67
	2.7	65.2				
			132.82	4.80	36138.70	10.04
	2.5	65				
			127.61	4.33	33932.37	9.43
	2.3	64.8				
			122.17	4.33	35442.66	9.85
	2.1	64.6				
			116.48	4.33	37174.60	10.33
	1.9	64.4				
			110.49	4.33	39188.35	10.89
	1.7	64.2				
			104.16	4.33	41569.79	11.55
1.5	64					
		97.42	4.33	44446.64	12.35	
1.3	63.8					
		90.17	4.33	48018.97	13.34	
1.1	63.6					
		82.28	4.33	52622.37	14.62	
0.9	63.4					
		73.55	4.33	58875.38	16.35	
0.7	63.2					
		63.59	4.33	68088.50	18.91	
0.5	63					
2	3	66				
			280.56	4.80	17108.60	4.75
	2.8	65.8				
			270.71	4.80	17731.33	4.93
	2.6	65.6				
			260.48	4.80	18427.47	5.12
	2.4	65.4				
			249.84	4.80	19212.66	5.34
	2.2	65.2				
			238.71	4.80	20107.70	5.59
	2	65				
			227.05	4.33	19070.81	5.30
	1.8	64.8				
			214.75	4.33	20163.18	5.60
1.6	64.6					
		201.70	4.33	21468.00	5.96	
1.4	64.4					
		187.73	4.33	23064.59	6.41	
1.2	64.2					
		172.64	4.33	25081.25	6.97	
1	64					
3	2.5	66				
			382.82	4.80	12538.52	3.48
	2.3	65.8				
			366.51	4.80	13096.60	3.64
	2.1	65.6				
			349.43	4.80	13736.57	3.82
	1.9	65.4				
		331.48	4.80	14480.68	4.02	
1.7	65.2					
		312.49	4.80	15360.66	4.27	
1.5	65					

GRÁFICO 6.8.

CAPACIDAD DE DESCARGA DEL VERTEDERO DE EXCESOS CON DIFERENTES NIVELES DE APERTURA DE LAS COMPUERTAS.



FUENTE: CRM, 1984.

En la tabla 6.8, se observa que para bajar 20 cm el nivel del embalse mediante el desagüe de fondo, se requiere un promedio de 12 horas, frente a un tiempo de concentración máximo de 6 horas, y a un tiempo de que llegue el caudal máximo de la avenida a la estructura de 30 horas; este elemento, en el caso de estar funcional, sería de utilidad, ya que al identificar la creciente a tiempo, permitiría bajar el nivel del embalse, al menos 60 cm.

La operación entonces consistiría en abrir las compuertas para evacuar el caudal respectivo, lo que brinda una ventaja puesto que se dispone de un tiempo extra para bajar el nivel de espera en el embalse, y por lo tanto disminuir el caudal pico de salida; esto es más evidente cuando se tiene una avenida con período de retorno de 1000 años.

TABLA 6.8.
CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DE AGUA DEL DESAGÜE DE FONDO.

COTA ESP. AGUAS (m.s.n.m.)	Q (m ³ /s)	ΔH (m)	Δt	
			(s)	(horas)
65.9	110.00	0.20	44909.1	12.5
65.7	109.74	0.20	45016.8	12.5
65.5	109.47	0.20	45125.3	12.5
65.3	109.21	0.20	45234.5	12.6
65.1	108.94	0.20	45344.6	12.6
64.9	108.68	0.20	45271.4	12.6
64.7	108.41	0.20	45382.7	12.6
64.5	108.14	0.20	45494.7	12.6
64.3	107.88	0.20	45607.6	12.7
64.1	107.61	0.20	45721.3	12.7
63.9	107.34	0.20	45090.6	12.5
63.7	107.07	0.20	45204.2	12.6
63.5	106.80	0.20	45318.6	12.6
63.3	106.53	0.20	45434.0	12.6
63.1	106.26	0.20	45550.2	12.7
62.9	105.98	0.20	44818.1	12.4
62.7	105.71	0.20	44933.9	12.5
62.5	105.44	0.20	45050.6	12.5
62.3	105.16	0.20	45168.2	12.5
62.1	104.89	0.20	45286.8	12.6
61.9	104.61	0.20	45406.3	12.6
61.7	104.33	0.20	44472.4	12.4
61.5	104.06	0.20	44591.0	12.4
61.3	103.78	0.20	44710.5	12.4
61.1	103.50	0.20	44831.1	12.5
60.9	103.22	0.20	42143.0	11.7
60.7	102.94	0.20	42257.8	11.7
60.5	102.66	0.20	42373.6	11.8
60.3	102.38	0.20	42490.3	11.8
60.1	102.09	0.20	42608.1	11.8
59.9	101.81	0.20	42137.4	11.7
59.7	101.53	0.20	42255.4	11.7
59.5	101.24	0.20	42374.5	11.8
59.3	100.95	0.20	42494.5	11.8
59.1	100.67	0.20	42615.6	11.8

La curva de descarga del desagüe de fondo de la presa La Esperanza, se puede observar en el gráfico 5.3.

TIEMPO EN LLEGAR LA INFORMACIÓN DEL EVENTO A LA CASA DE MÁQUINAS.-

Es importante definir, el tiempo en que se transmite la información de la presencia de la tormenta en las estaciones meteorológicas a la casa de máquinas o punto de control. Es importante definir este tiempo en tres momentos principales

- Tiempo que se tarda en reconocer la tormenta.
- Tiempo de transmisión de datos.
- Tiempo de reacción.

Tiempo que se tarda en reconocer la tormenta.- Es importante que este punto esté bien definido, por cuanto, de una mala identificación pueden resultar falsas alarmas, maniobras inadecuadas y temor en las personas que están ubicadas aguas abajo del embalse.

A partir de los datos que se midan cada intervalo de tiempo, se puede ir construyendo un hidrograma de crecida, compararlo con los definidos en los estudios y determinar o aproximar a que período de retorno corresponde o predecir con cierta exactitud el caudal de crecida que se va a presentar.

Para identificar la magnitud de la crecida, se hará necesario contar con la información inicial del comportamiento de las crecidas que se suceden; y de acuerdo a la variación de la precipitación en el tiempo (pendiente de la curva) identificar preliminarmente el caudal pico o máximo de la avenida que se va a suscitar.

De los estudios realizados para la construcción del complejo La Esperanza, se definen como hietogramas de precipitación los mostrados en el gráfico 6.7.

Es importante para que la eficiencia de la laminación de las crecidas sea eficiente, que las lluvias tan grandes que se presentan cada 500 o 1000 años sean detectadas en las primeras horas de iniciado el evento. Por lo tanto, las mediciones se deben realizar con mucho cuidado al inicio de las precipitaciones, con el fin de comparar las

variaciones de las intensidades de lluvia y, de acuerdo a la tendencia de estas primeras horas, detectar o valorar la magnitud del evento.

En la tabla 6.9, se indican los valores de variación de la precipitación asociados a diferentes períodos de retorno; cuando las variaciones están dentro de estos rangos, entonces se debe tomar las medidas respectivas.

TABLA 6.9.
VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN EN INTERVALOS DE UNA HORA.

HORA	Tr = 1000	TR = 500	Tr = 100
0 a 1	2.95	2.74	2.11
1 a 2	7.38	6.85	5.27
2 a 3	14.74	13.7	10.55

De lo expuesto anteriormente, se puede colegir que es importante la observación, análisis y registro de las precipitaciones en las primeras tres horas luego de iniciado el fenómeno, puesto que esto permite predecir si una precipitación va a alcanzar valores extraordinarios que involucren acciones para prevenir daños y desastres en las estructuras involucradas.

Tiempo de transmisión de datos.- Una vez identificadas las características de las precipitaciones, es importante, que la información llegue lo más pronto posible, y en muy buena calidad, para que la toma de decisiones sea realizada en el menor tiempo posible, para que la eficacia de las acciones realizadas sea la mejor.

Para la transmisión de datos, desde las estaciones meteorológicas hasta la casa de máquinas y de mandos, se puede hacer uso de la tecnología de última generación, o en todo caso de medidas periódicas.

No siendo tema de este estudio el método de transmisión de los datos desde las estaciones hasta los equipos de mando de las compuertas, se supone que la transmisión va a ser inmediata con respecto al tiempo de duración de los eventos

meteorológicos y de las maniobras, vía teléfono, internet, radio o algún otro medio de comunicación moderno.

Sin embargo, como información básica de comunicación automatizada ponemos como ejemplo el sistema Scada y los sistemas de control distribuido.

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition. Un sistema SCADA está basado en computadores que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación, proceso o sistema de características variadas. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el proceso de control es generalmente complementado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática.

Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

En la tabla 6.10, se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los Sistemas de Control Distribuido (DCS).

Las características de cada uno de los sistemas no se deben considerar como limitantes para uno u otro tipo de sistemas, sino que por el contrario son típicas, y presentan ventajas y desventajas para cada caso específico.

Para el presente trabajo, al realizar los estudios y diseños definitivos, se debe seleccionar el sistema más adecuado para este caso específico, ya que se debe considerar las facilidades de instalación, acceso a internet, telefonía, y demás formas de transmisión de datos, para que no se presenten errores en la operación de los elementos de control de la presa La Esperanza.

TABLA 6.10.
DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATIZADO.

ASPECTO	SCADA	DCS
TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE	SUPERVISORIO: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
TIPOS DE VARIABLES	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
ÁREA DE ACCIÓN	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	Remotas, PLC's.	Controladores de lazo, PLC's.
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
BASE DE DATOS	CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA

FUENTE: <http://control-accesos.es>, 2012.

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación:

- El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir, dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo de potencia, intensidad de corriente, voltaje, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores.
- Los sensores o transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia. Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital. Para ello se utilizan acondicionadores

de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje.

Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de trascientes y ruidos originados en el campo. Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital.

La computadora (PC) almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real. Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso.

El operador comanda al computador a realizarla, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual la transforma de escala para manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador, etc.

Finalmente, tratándose de maniobras que dependen de muchas variables, y las características de las cuencas varían de forma estacional; las decisiones deben ser tomadas por los operadores que en base a experiencia, información disponible y características variables, el sistema recomendado es el que transmite la información hasta el sitio donde se realizan los comandos para las maniobras, de los cuales, un ejemplo muy bueno, es el sistema Scada. (<http://control-accesos.es/scada>, 2008).

Tiempo de reacción.- Tiene que ver con la rapidez con la que los operadores realizan las maniobras, esto depende de la experticia de los operadores, del estado inicial en el que se encuentra el embalse cuando se inician las operaciones frente a eventos meteorológicos extraordinarios con el propósito de proteger la infraestructura que se encuentra en la parte más baja del embalse.

Esta capacidad de reacción puede ser mejorada mediante la documentación del historial del comportamiento meteorológico de la cuenca de aportación, los niveles de los embalses, el comportamiento de las estructuras de la presa y de las que se encuentran aguas abajo del embalse.

Además luego del análisis de estos datos, se debe diseñar un documento que de acuerdo a las condiciones más repetitivas y las pronosticadas como más destructivas, describa las operaciones que se deben realizar para estos casos, en caso de que se presentasen.

6.3. TIEMPO DE DURACIÓN DE LA OPERACIÓN.

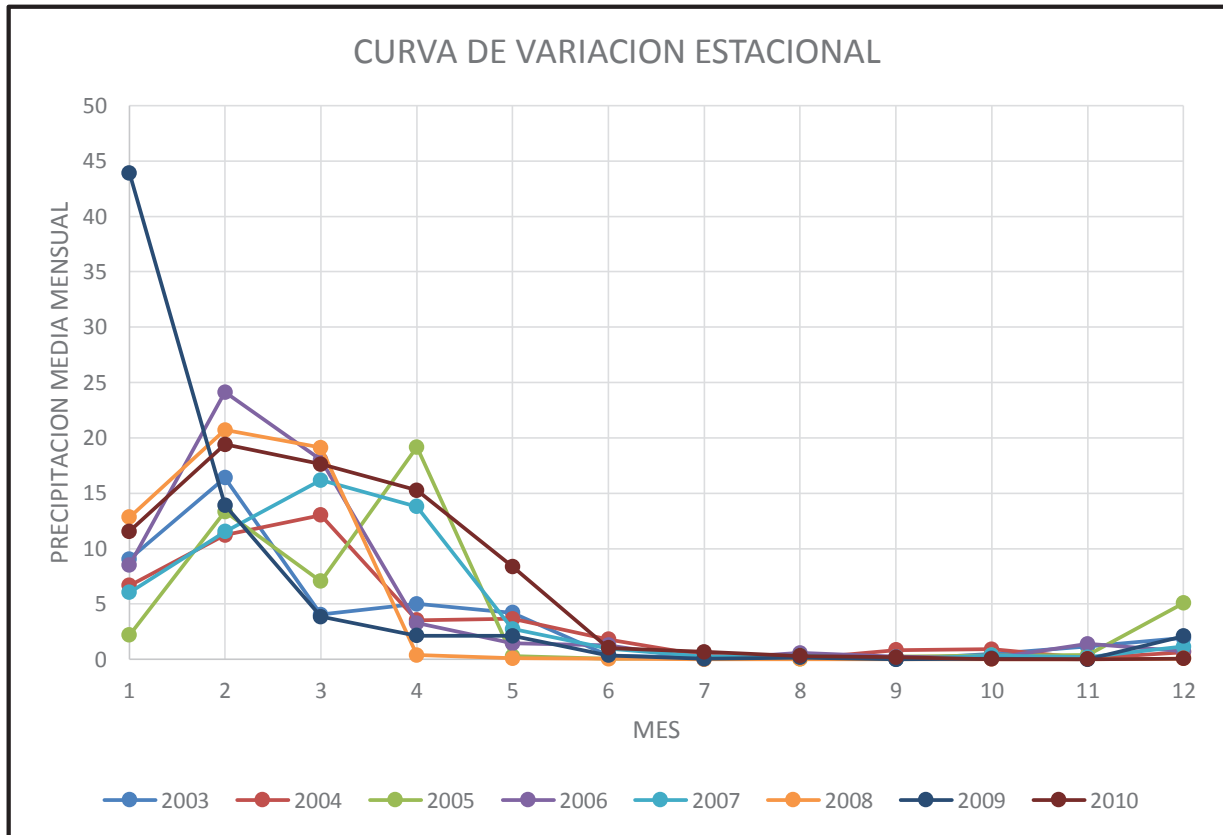
Se refiere al tiempo en que se deben realizar las maniobras para que el sistema La Esperanza sea muy eficiente para cumplir con su objetivo de proteger toda el área comprometida por las crecidas que se puedan suceder.

De acuerdo a lo que se observa en el historial del embalse, la operación de las estructuras de control del sistema, se deben realizar durante períodos de tiempo grandes y pequeños; las acciones que duran o se realizan en tiempos grandes, es decir que modifiquen el estado del embalse en intervalos de tiempo estacionales, sirven para preparar el embalse para recibir caudales mayores, mientras que las maniobras que se realizarían en intervalos de tiempo cortos ayudan a regular los caudales evacuados mientras dura la avenida.

Maniobras en tiempos largos, se refieren a aquellas acciones que se deben realizar de acuerdo al mes del año, es decir, los meses en los que se presentan precipitaciones mayores, y aquellas en las que no hay lluvias o hay déficit de agua. En el gráfico 6.9, la curva de variación estacional deja ver que en los meses de junio a diciembre, las precipitaciones son muy bajas, tendientes a cero; mientras que en el primer semestre del año, las precipitaciones son muy altas. La que corresponde a enero del año 2009, en especial es muy alta, coincidente con la inundación que se dio en Calceta, y que provocó muchos daños a la infraestructura existente, pérdidas agrícolas, etc.

GRÁFICO 6.9.

CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL EN LA CUENCA DE APORTACIÓN.



FUENTE: INAMHI, 2003 a 2010.

Haciendo una proyección de las precipitaciones (método de Gumbel) a los períodos de retorno que se han estudiado, es decir 100, 500 y 1000 años, se obtienen los resultados que se exponen en la tabla 6.11.

Se puede observar que las precipitaciones de los meses de verano son muy pequeñas, y por lo tanto la probabilidad de que se presente una avenida en el embalse es muy baja; mientras que en los meses de invierno la probabilidad se incrementa radicalmente.

TABLA 6.11.
PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO EN
DIFERENTES MESES.

MES	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
ENERO	43.02	50.24	53.01
FEBRERO	27.22	29.80	30.79
MARZO	27.35	30.90	32.27
ABRIL	23.89	27.44	28.81
MAYO	8.84	10.18	10.70
JUNIO	2.17	2.48	2.60
JULIO	0.72	0.84	0.88
AGOSTO	0.63	0.73	0.76
SEPTIEMBRE	0.87	1.02	1.08
OCTUBRE	0.99	1.13	1.18
NOVIEMBRE	1.71	1.99	2.09
DICIEMBRE	5.19	5.90	6.26

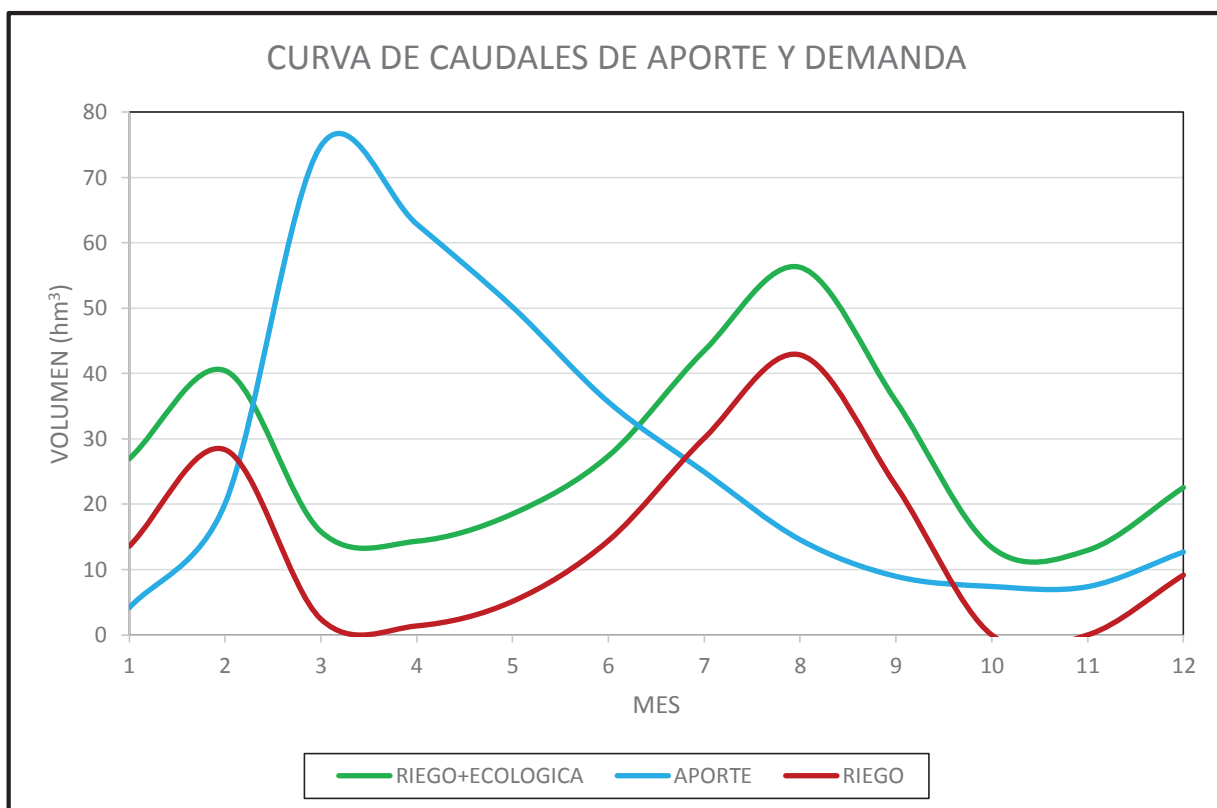
FUENTE: INAMHI, 2000-2010.

De acuerdo a la tabla 6.11; se puede concluir que en los meses de junio a diciembre, la probabilidad de que se presenten precipitaciones extraordinarias es muy baja; por lo tanto, se puede mantener relativa tranquilidad al respecto; sin embargo, la necesidad del recurso hídrico se incrementa, por tal motivo, se debe mantener cerradas las compuertas para que la capacidad de almacenamiento aumente y la garantía de abastecimiento de agua sea la adecuada.

De la observación de la tabla 6.11, también se concluye que las precipitaciones en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo son bastante altas, comparando con los hietogramas, presentados en el gráfico 6.7, asociados a períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años, los valores son similares; es decir que la mayor probabilidad de que se produzcan avenidas o crecidas es mucho mayor en estos meses; por lo tanto, en estos meses, se debe tener mucha precaución y mantener el nivel de espera en el embalse lo más bajo posible.

En definitiva, se debe comparar los caudales de aporte y los de demanda al embalse, para establecer si es posible abrir las compuertas en invierno, y cerrarlas en verano, para de esta manera facilitar la operación del sistema frente a crecidas, y al fin, darle una mayor efectividad al sistema.

GRÁFICO 6.10.
CURVAS DE VARIACIÓN MENSUAL DE APORTES Y DEMANDAS.



FUENTE: SENAGUA, 2012.

Al revisar el gráfico 6.10, se observa claramente, que en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, los caudales de aporte, considerados los caudales medios mensuales, son decididamente superiores a los de la demanda; lo que indica que en el mes de noviembre o diciembre, cuando los caudales de ingreso y salida son similares, por lo tanto se puede abrir las compuertas para disminuir el nivel del agua en el embalse y poder afrontar mejor una avenida que en época invernal es mucho más probable. En verano, en cambio, se debe almacenar la mayor cantidad de agua posible, por lo que

se debe cerrar las compuertas para elevar el nivel del agua, ya que en esta época el riesgo de inundación es mucho menor. El mes en el que se debería cerrar las compuertas es mayo, para que se almacene el exceso de agua que se presenta durante esta temporada.

6.4. MANUAL DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.

OBJETIVO.- Establecer procedimientos del manejo de las estructuras de control, en este caso de las compuertas, para cuando en la cuenca de aportación del embalse se presenta una tormenta extraordinaria que represente peligro tanto para las estructuras de la presa, como para las poblaciones, cultivos e infraestructura que se encuentran aguas abajo.

ALCANCE.- Partiendo de la información disponible, como son: la estación climatológica (verano o invierno), el nivel del espejo de aguas, y el fenómeno meteorológico (precipitación) que pueda suceder, se identifica una situación de peligro, y se toman las precauciones o se realizan las acciones respectivas para disminuir o evitar los daños a las estructuras de la presa, y las que están aguas abajo de la misma; pero sobre todo disminuir los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a un fenómeno hidrometeorológico extraordinario.

Este manual describe las características para identificar situaciones de peligro y las maniobras a realizar frente a estas condiciones. No se hace referencia a ninguna actividad respecto a las operaciones de explotación normal del recurso hídrico contenido en el embalse La Esperanza.

INTRODUCCIÓN.- Para la operación del embalse La Esperanza, se tienen como medios de control básicamente dos estructuras de medición:

- Limnímetros ubicados estratégicamente en el embalse (torre de captación), los cuales permiten medir el nivel del agua en el embalse.

- Estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en la cuenca de aporte, que permiten medir las precipitaciones en la cuenca y predecir si esta precipitación va a tener grandes magnitudes como las asociadas a períodos de retorno de 100, 500 o 1000 años.

Para generar una respuesta a las tormentas se cuenta únicamente con las compuertas tipo Taintor; que pueden generar un control del nivel del agua, cuando ésta se encuentra entre las cotas 62 m.s.n.m. y 66 m.s.n.m.; ya que el desagüe de fondo se encuentra deshabilitado por los motivos antes indicados.

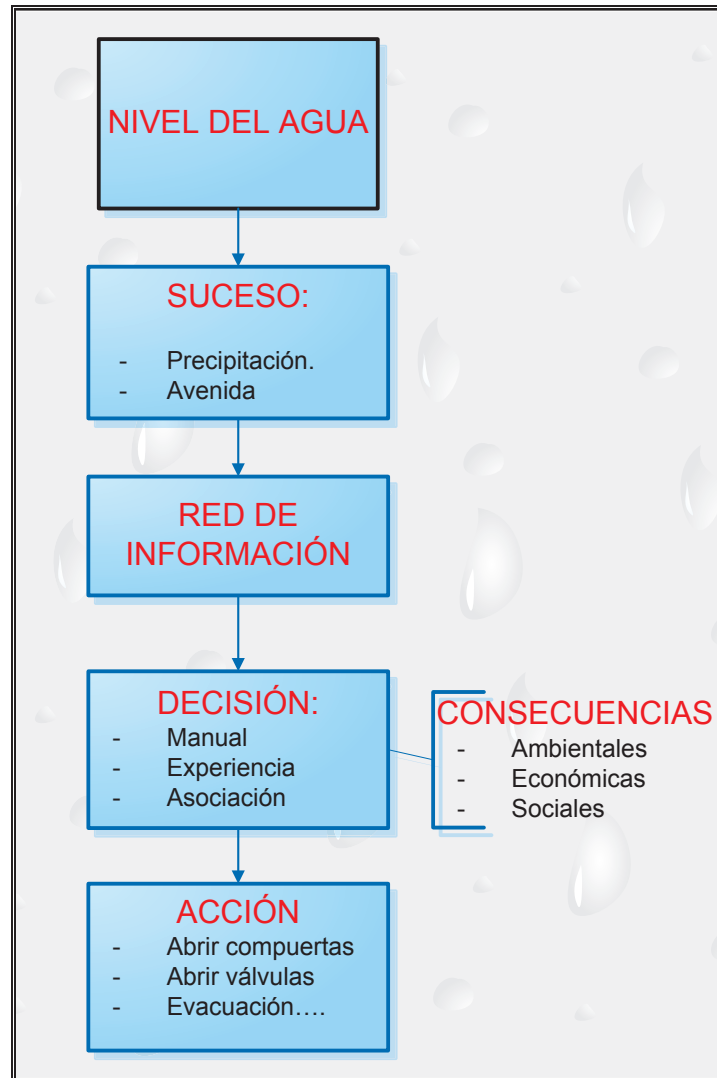
Las acciones que se pueden realizar son la apertura y el cierre de la compuertas de acuerdo a la estación climatológica (verano – invierno); ya que la probabilidad de ocurrencia de una tormenta es mayor, mientras que la necesidad de agua disminuye; al contrario, la probabilidad de una tormenta extraordinaria es mucho menor en verano, así como la necesidad de agua se incrementa.

En la tabla 6.11, se puede observar los valores de las precipitaciones correspondientes a cada mes, para períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años.

En el esquema que se presenta en el gráfico 6.11, se indica a nivel general las acciones que se deben realizar cuando hay un fenómeno extraordinario, partiendo de la información básica del nivel del agua, hasta las acciones más graves como la evacuación de las poblaciones que se encuentran aguas abajo.

Se debe señalar que esta forma de operar el embalse es totalmente equivocada ya que contradice los diseños que consideran que el nivel máximo aprovechable está en la cota 66 m.s.n.m., por lo tanto la operación normal de los órganos de control y evacuación se debe realizar con sus cuatro compuertas alzadas. Se supone que la operación actual tiene por objeto aumentar la capacidad de almacenamiento del embalse e incrementar la garantía de abastecimiento de agua.

GRÁFICO 6.11.
FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES CUANDO SE PRESENTA UNA TORMENTA.



NIVEL DEL AGUA.- Medido en el limnómetro del embalse, de acuerdo a este estado del sistema, se define la magnitud del caudal pico que se va a evacuar hacia aguas abajo de la presa. Es necesario, que el control de los niveles de agua, se lo haga de acuerdo a la probabilidad de que ocurra una tormenta extraordinaria; es decir que al iniciar el invierno, se debe bajar el volumen de agua del embalse, y recuperarlo

anticipadamente para poder abastecer del recurso hídrico cuando se aproxima el verano.

SUCESO.- El suceso que determina la existencia o no de una avenida o elevación del nivel del espejo de aguas en el embalse, es una lluvia extraordinaria en la cuenca de aportación del embalse. Lo importante es reconocer la magnitud del evento; esto se lo puede hacer de acuerdo a la pendiente, o variación en el tiempo inicial de la precipitación; en la tabla 6.12, se muestran rangos de variación de las precipitaciones en la tres primeras horas de iniciada la tormenta; no se puede realizar en un tiempo mayor, ya que se pierde capacidad de respuesta. Esta información se origina en las tres estaciones que se encuentran en la cuenca de aportación, ubicadas sobre isócronas iguales, y distribuidas estratégicamente para que la información abarque un área mayor en la cuenca.

TABLA 6.12.
VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN EN INTERVALOS DE UNA HORA.

HORA	Tr = 1000	TR = 500	Tr = 100
0 a 1	2.95	2.74	2.11
1 a 2	7.38	6.85	5.27
2 a 3	14.74	13.7	10.55

FUENTE: CRM, 1984.

Al estar las estaciones meteorológicas ubicadas en tres posiciones estratégicas, se tendrá información simultánea de las mismas; ya que no necesariamente va a llover siempre uniformemente en toda la cuenca a pesar que los cálculos realizados en este trabajo suponen una tormenta uniforme en la misma, y los caudales calculados son los máximos probables, como se puede ver en la tabla 6.11. Esto no quiere decir que cuando en una de las estaciones no se registre una tormenta, ya no se realicen las maniobras de apertura o cierre de las compuertas.

RED DE INFORMACIÓN.- Se refiere a la interconexión que debe existir entre las estaciones meteorológicas de la cuenca de aportación al embalse, el limnómetro del embalse y la casa o estación de control. La calidad y la velocidad con la que debe llegar la información para la toma de decisiones acerca de las actividades a realizarse. Esta información se debe transmitir por medio telefónico, internet, sistema SCADA, etc.

DECISIÓN.- Basada en cálculos realizados, experiencia o asociación de posibles escenarios con otros en el mismo sistema, o en otros similares, puede realizarse en forma manual, es decir que los comandos de acciones o maniobras se realizan por el operador, o se definen por un sistema informático o programación especializada.

En definitiva, las acciones que se tomen deben considerar las consecuencias que acarrearán, tales como sociales, económicas, ambientales, inclusive políticas; sin que estas últimas prevalezcan sobre las anteriores.

ACCIÓN.- Se refiere a la maniobra a realizarse como tal, abrir las compuertas, o cerrarlas, según sea el caso; el sistema no tiene desagüe de fondo, por lo tanto, no se puede considerar ninguna maniobra mientras no se recupere este elemento de control; y por último ordenar la evacuación de las áreas potencialmente afectadas por una inundación o una ruptura de la presa.

Las primeras acciones técnicas se describen en este manual, estas son a mediano y corto plazo. De los estudios técnicos a detalle que se deben realizar, se definirán áreas de riesgo y áreas de inundación; con estos datos, el comité de emergencias tomará las decisiones respectivas para evacuar a los habitantes de las poblaciones en riesgo.

PLAN DE ACCIONES DE OPERACIÓN.- Las acciones que se deben realizar en cuanto a la operación del embalse, se la debe analizar desde dos perspectivas; cuando se opera el nivel del embalse por sobre la cota del nivel máximo aprovechable, y aquella que está de acuerdo a los diseños de la presa y sus obras complementarias, es decir, con el desagüe de fondo funcional.

PRIMERA CONSIDERACIÓN, SEGÚN LA SITUACIÓN ACTUAL DEL EMBALSE.-

Es decir que la presa no cuenta con el desagüe de fondo, lo que limita la operación del mismo y que realiza las operaciones del embalse de modo “inadecuado”, ya que se mantiene el nivel del agua por encima del nivel máximo aprovechable, tal vez con el fin de incrementar la capacidad de almacenamiento del embalse, o por simple costumbre; esto hace que la capacidad de laminación del embalse disminuya, y se tenga que realizar operaciones demasiado riesgosas para el sistema, especialmente la ciudad de Calceta que recibe los caudales evacuados por el vertedero de excesos.

En el cuadro que se indica a continuación, se detallan las acciones que se deben realizar para disminuir el impacto que se podría generar debido a la presencia de una avenida. Obviamente, las acciones que se realizan cuando se da un cambio de estación, están en función de disminuir el riesgo y el impacto que se genera en la parte baja del embalse.

Se debe subir el nivel del agua, como es lógico, para solventar la escasez de agua en verano; y también la probabilidad de que suceda una avenida en estos meses es muy baja.

Por otro lado, se debe también disminuir o bajar el nivel del agua en invierno, para que el sistema pueda soportar de mejor manera las avenidas, ya que la probabilidad de ocurrencia de éstas es mucho mayor; y también, la necesidad de agua en las áreas servidas por este sistema es menor, ya que si hablamos de riego agrícola, la demanda disminuye.

Se prevé también las acciones que se debe tomar en caso de que se presente una precipitación muy grande, asociada a los períodos de retorno superiores a 100 años.

En la tabla 6.13 se puede observar las acciones que se deben realizar en diferentes estados del espejo de aguas y estacionales que se pueden presentar en el embalse cuando llega una creciente extraordinaria.

Como es obvio, las acciones indicadas anteriormente sirven solo para disminuir el caudal de crecida que va a circular aguas abajo del embalse, sin que se haya cumplido con el objetivo de laminar eficientemente la crecida, y por lo que subsiste el riesgo de inundación en los asentamientos poblacionales que se ubican aguas abajo del embalse. Esto se puede observar en las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.5 de este capítulo, que son el resumen de los resultados obtenidos del programa computacional HEC – HMS, que se presentan en el anexo 1. Y también de los resultados obtenidos en el programa computacional HEC – RAS, que se encuentran en el anexo 2; donde se puede ver que un caudal máximo que podría soportar en río Carrizal en Calceta es de 60 m³/s; siendo el caudal medio del río antes de construida la presa de 20 m³/s; y luego de construida la presa es de 1.83 m³/s.

TABLA 6.13

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EMBALSE LA ESPERANZA. CONSIDERACIÓN 1

FLUJOGRAMA DE ACCIONES PARA CRECIDAS				
	ESTADO INICIAL	ACCION CUANDO HAY CAMBIO DE ESTACIÓN	EVEN TO	ACCION
VERANO	COTA DEL ESPEJO DE AGUAS 62 m.s.n.m.	INICIA INVIERNO.- NINGUNA ACCION	TORMENTA EXTRAORDINARIA. Tr: 100, 500 y 1000 AÑOS	NO SE PUEDE REALIZAR NINGUNA ACCION
	COTA DEL ESPEJO DE AGUAS 68 m.s.n.m.	INICIA INVIERNO.- ABRE COMPUERTAS EN EL MES DE FEBRERO, BAJA EL NIVEL DEL AGUA A LA COTA 62 m.s.n.m.	TORMENTA EXTRAORDINARIA. Tr: 100, 500 y 1000 AÑOS	NO SE PUEDE REALIZAR NINGUNA ACCION
INVIERNO	COTA DEL ESPEJO DE AGUAS 62 m.s.n.m.	INICIA VERANO.- CIERRA COMPUERTAS EN EL MES DE MAYO, SUBE EL NIVEL DEL AGUA A LA COTA 68 m.s.n.m.	TORMENTA EXTRAORDINARIA. Tr: 100, 500 y 1000 AÑOS	APERTURA DE COMPUERTAS: 1º HORA: Se abre compuerta 1 metro. 2º HORA: Se abre compuertas 2 metros. 3º HORA: Se abre compuertas 3 metros. 4º HORA: Se abre compuertas totalmente.
	COTA DEL ESPEJO DE AGUAS 68 m.s.n.m.	INICIA VERANO.- NINGUNA ACCION	TORMENTA EXTRAORDINARIA. Tr: 100, 500 y 1000 AÑOS	APERTURA DE COMPUERTAS: 1º HORA: Se abre compuerta 1 metro. 2º HORA: Se abre compuertas 2 metros. 3º HORA: Se abre compuertas 3 metros. 4º HORA: Se abre compuertas totalmente.

SEGUNDA CONSIDERACIÓN, SEGÚN LOS DISEÑOS ORIGINALES DE LA PRESA.- En los diseños de la presa; se define como nivel máximo de operación la cota 62 m.s.n.m., y como nivel máximo de crecida la cota 66 m.s.n.m., esto significa que el embalse debe trabajar normalmente hasta la cota 62 m.s.n.m., y mantener las compuertas elevadas para que en el caso de existir exceso de agua, ésta se evacúe por el vertedero.

Sin embargo, la operación del embalse en situaciones “normales” se lo ha venido haciendo por arriba de la cota 62 m.s.n.m., probablemente con el fin de incrementar la capacidad de almacenamiento del embalse, o por desconocimiento de los diseños y manuales de operación.

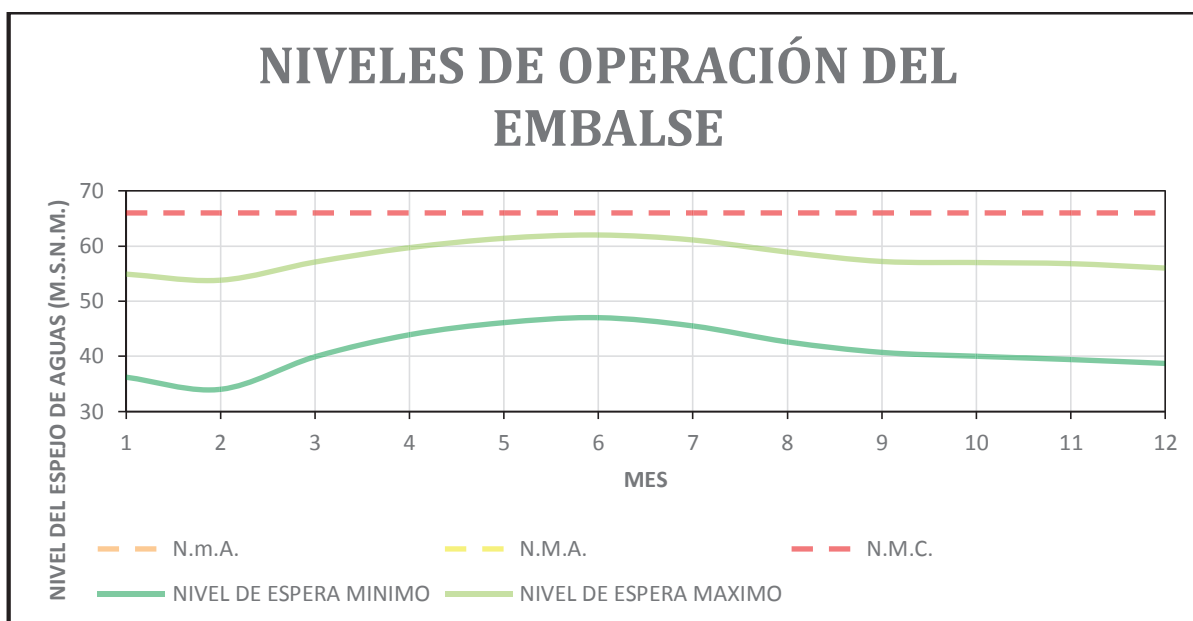
Esto ha ocasionado que cuando se ha presentado una avenida en el embalse, el nivel del agua suba hasta niveles que ponen en riesgo la estabilidad de la presa, debido a sobrecargas hidrostáticas en el cuerpo de la misma o rebosamiento por sobre la cota de coronación de la presa.

Al reestablecer la funcionalidad del desagüe de fondo, mediante la apertura o cierre de las válvulas del mismo, se debe mantener los niveles del agua dentro de márgenes del nivel de espera, que hagan que la eficacia en la laminación de las avenidas sea la correcta.

Estos niveles de espera se han calculado para todos los meses del ciclo hidrológico, como se muestra en la gráfica 6.12.

Conservados los niveles del agua dentro de los rangos indicados en el gráfico 6.10, al detectarse una avenida, según se describe en la tabla 6.12, se debe cerrar la compuerta totalmente, para que el volumen de agua proveniente de la avenida quede retenido en el embalse; de acuerdo a los diseños realizados, y a los cálculos efectuados; la capacidad de almacenamiento del embalse, desde la cota 62 m.s.n.m. hasta la cota 66 m.s.n.m., es suficiente para almacenar o retener el volumen generado aguas arriba del embalse durante una crecida milenaria.

GRÁFICO 6.12.
NIVELES DE DISEÑO DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.



Lo indicado anteriormente se puede observar en el gráfico 6.13. Lo expresado en este punto, se puede aseverar según los resultados obtenidos en el programa HEC – HMS; cuyos resultados se presentan en el anexo 3.

Una vez que se termina la avenida, se procede a la apertura de las compuertas, de tal forma que el caudal sea controlado y no supere la capacidad hidráulica del río en la ciudad de Calceta, para que de esta manera no se produzcan inundaciones en este lugar.

De acuerdo con todo lo expresado anteriormente, se debe entonces, mantener los niveles del embalse dentro de los niveles de operación máximo y mínimo, como se indica en la tabla 6.14, los mismos que permiten un óptimo abastecimiento de agua para los usos establecidos o de diseño, y por otro lado una eficacia del sistema para laminar las crecidas que se puedan presentar en el sistema.

GRÁFICO 6.13.

NIVELES DEL AGUA EN EL EMBALSE, LUEGO DE UNA CRECIENTE.

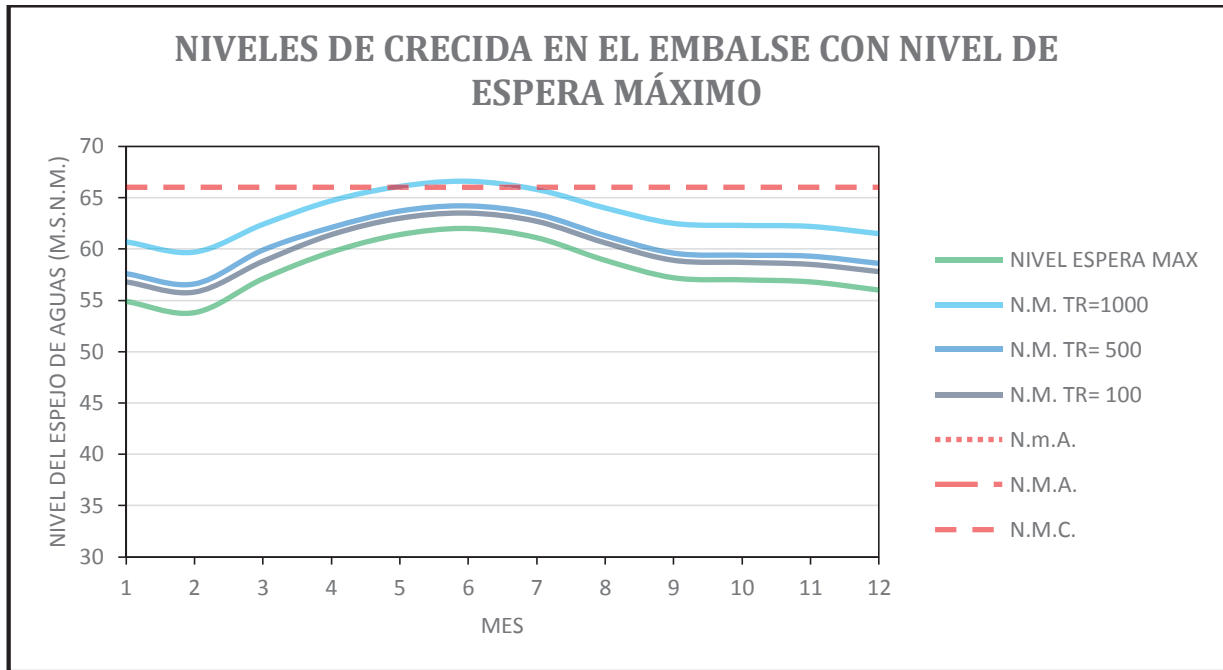


TABLA 6.14.

NIVELES DE OPERACIÓN ÓPTIMOS EN EL EMBALSE DURANTE LOS MESES DEL AÑO MEDIO.

MES	NIVEL DE ESPERA MÍNIMO	NIVEL DE ESPERA MÁXIMO
	m.s.n.m.	m.s.n.m.
ENERO	36.2	54.9
FEBRERO	34.0	53.8
MARZO	39.9	57.1
ABRIL	43.9	59.7
MAYO	46.1	61.4
JUNIO	47.0	62.0
JULIO	45.5	61.1
AGOSTO	42.6	58.9
SEPTIEMBRE	40.7	57.2
OCTUBRE	40.0	57.0
NOVIEMBRE	39.4	56.8
DICIEMBRE	38.7	56.0

En la tabla 6.15, se resume las posiciones que deben tener los elementos de control de la presa (compuertas del vertedero de excesos, válvula ecológica y desagüe de fondo) para diferentes situaciones del nivel del agua cuando no ha sucedido una lluvia extraordinaria en las cuencas de aportación al embalse, es decir en condiciones normales, para obtener una operación eficiente y un nivel de espera en el embalse que permita laminar correctamente una eventual onda de crecida en el embalse. Es decir, se debe buscar que los niveles de agua, mes a mes, estén dentro de los valores mínimo y máximo, para ello se debe cerrar y abrir la válvula del desagüe de fondo para cumplir con este objetivo.

TABLA 6.15.

POSICION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL EN CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMALES DE LA PRESA LA ESPERANZA.

MES	NIVEL DE ESPERA MINIMO	ACCIÓN, POSICIÓN FINAL DEL ELEMENTO DE CONTROL CUANDO NO SE PRESENTA UNA LLUVIA INTENSA			NIVEL DE ESPERA MÁXIMO	ACCIÓN, POSICIÓN FINAL DEL ELEMENTO DE CONTROL CUANDO NO SE PRESENTA UNA LLUVIA INTENSA		
	m.s.n.m.	DESAGUE DE FONDO	VALVULA ECOLOGICA	COMPUERTAS TAINTOR	m.s.n.m.	DESAGUE DE FONDO	VALVULA ECOLOGICA	COMPUERTAS TAINTOR
ENERO	36.2	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	48.9	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
FEBRERO	34.0	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	47.8	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
MARZO	39.9	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	51.1	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
ABRIL	43.9	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	53.7	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
MAYO	46.1	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	55.4	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
JUNIO	47.0	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	56.0	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
JULIO	45.5	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	55.1	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
AGOSTO	42.6	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	52.9	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
SEPTIEMBRE	40.7	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	51.2	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
OCTUBRE	40.0	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	51.0	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
NOVIEMBRE	39.4	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	50.8	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
DICIEMBRE	38.7	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	50.0	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO

Estando el nivel del agua dentro de los niveles de espera establecidos, en la tabla 6.14, y al detectarse una lluvia extraordinaria en la cuenca de aportación al embalse según se indica en la tabla 6.11, se debe bajar o cerrar las cuatro compuertas del vertedero de excesos para que se lamine o quede retenida en su totalidad la onda de crecida en el embalse.

Luego, una vez que la lluvia ha pasado, se debe iniciar las actividades de vaciado del volumen de crecida almacenado en el embalse, esto debe ser en forma controlada, mediante aperturas parciales de las compuertas para que la descarga no genere caudales muy grandes en las áreas que se encuentran junto al cauce del río Carrizal aguas abajo del embalse. En la tabla 6.16 se puede observar la posición de los elementos de control de caudales de la presa La Esperanza mientras dura el almacenamiento de la onda de crecida en el embalse.

TABLA 6.16.

POSICION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL DE LA PRESA CUANDO SE PRESENTA UNA ONDA DE CRECIDA EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.

MES	NIVEL DE ESPERA MINIMO	ACCIÓN, POSICIÓN FINAL DEL ELEMENTO DE CONTROL CUANDO SE PRESENTA UNA LLUVIA INTENSA			NIVEL DE ESPERA MÁXIMO	ACCIÓN, POSICIÓN FINAL DEL ELEMENTO DE CONTROL CUANDO SE PRESENTA UNA LLUVIA INTENSA		
	m.s.n.m.	DESAGUE DE FONDO	VALVULA ECOLOGICA	COMPUERTAS TAINTOR	m.s.n.m.	DESAGUE DE FONDO	VALVULA ECOLOGICA	COMPUERTAS TAINTOR
ENERO	36.2	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	48.9	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
FEBRERO	34.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	47.8	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
MARZO	39.9	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	51.1	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
ABRIL	43.9	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	53.7	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
MAYO	46.1	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	55.4	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
JUNIO	47.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	56.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
JULIO	45.5	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	55.1	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
AGOSTO	42.6	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	52.9	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
SEPTIEMBRE	40.7	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	51.2	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
OCTUBRE	40.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	51.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
NOVIEMBRE	39.4	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	50.8	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO
DICIEMBRE	38.7	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	50.0	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO

Operado el embalse de esta manera, se puede tener la certeza de que la laminación de las crecidas puede ser realizada eficientemente, sin generar riesgos para las poblaciones aledañas ni para la estructura de la presa.

DESCARGA DEL VOLUMEN DE CRECIDA LUEGO DE TERMINADA LA CRECIDA.

Una vez que ha pasado la lluvia, y el volumen de la avenida queda retenido en el embalse, es necesario descargar o evacuar dicha cantidad de agua; para lo cual se debe tomar en cuenta dos aspectos fundamentales:

- Que el caudal evacuado no genere inundaciones ni problemas hacia aguas abajo del embalse, es decir, se debe considerar la máxima área de inundación, la velocidad máxima, etc. De esta manera se cumple con el objetivo de la laminación del embalse, y se lo hace de manera óptima.
- Que la descarga del volumen almacenado en el embalse debido a la avenida, sea evacuado en el menor tiempo posible, para que de esta manera se disminuya el riesgo de que al presentarse una nueva avenida, el nivel del agua no supere la cota máxima de crecidas admisible y se produzca vertido de agua por sobre la cota corona de la presa La Esperanza.

En el anexo 4 se puede ver las curvas de duración general del río carrizal antes y después de la construcción de la presa; de donde se deduce que el caudal medio del río Carrizal antes de que se construya el embalse es $20 \text{ m}^3/\text{s}$; pero según la modelación matemática (HEC – RAS) se establece que con un caudal de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ no se corre ningún riesgo de inundación.

Por lo que se puede observar en la tabla 6.17, para mantener un caudal cercano a $60 \text{ m}^3/\text{s}$, se requiere abrir las compuertas parcial e independientemente, lo que define un descenso del nivel del espejo de aguas de 0.20 m por cada día.

Esta operación hace que el vaciado del volumen de crecida demore 19 días cuando el nivel del agua en el embalse sea de 66.00 m.s.n.m. , sin embargo, cuando los niveles estén en alturas menores, la posición de las compuertas será la correspondiente a la indicada en la tabla; es decir que si el nivel del agua alcanzado luego de la avenida es de 64 m.s.n.m. , la compuerta 1 deberá abrirse 0.50 metros , la compuerta 2 deberá

abrirse 0.20 metros, mientras que las compuertas 3 y 4 deberán estar totalmente cerradas. A partir de esta operación, se debe continuar con lo indicado en la tabla 6.17.

A partir de las 19 horas de evacuación, el caudal vertido es independiente de la posición de las compuertas, por lo tanto la descarga se la realiza con las compuertas totalmente abiertas (4 m.); es decir se vuelve a la operación normal del embalse.

TABLA 6.16.
POSICION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL DE LA PRESA CUANDO SE PRESENTA UNA ONDA DE CRECIDA EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.

DIA	COTA DEL ESPEJO DE AGUAS EN EL EMBALSE (msnm)		APERTURA DE LAS COMPUERTAS								CAUDAL (m ³ /s)	
			COMPUERTA 1		COMPUERTA 2		COMPUERTA 3		COMPUERTA 4			
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
1.0	66.00	65.80	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.20	55.40
2.0	65.80	65.60	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.40	53.70
3.0	65.60	65.40	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.70	51.70
4.0	65.40	65.20	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.70	50.00
5.0	65.20	65.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	48.10
6.0	65.00	64.80	0.50	0.50	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	48.10	62.80
7.0	64.80	64.60	0.50	0.50	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	62.80	59.90
8.0	64.60	64.40	0.50	0.50	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	59.90	57.10
9.0	64.40	64.20	0.50	0.50	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	57.10	54.30
10.0	64.20	64.00	0.50	0.50	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	54.30	51.60
11.0	64.00	63.80	0.50	0.50	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	51.60	59.80
12.0	63.80	63.60	0.50	0.50	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	54.70	59.00
13.0	63.60	63.40	0.50	0.50	0.20	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	56.30	60.00
14.0	63.40	63.20	0.50	0.50	0.40	0.50	0.00	0.10	0.00	0.00	60.00	59.60
15.0	63.20	63.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.10	0.20	0.00	0.00	54.10	62.70
16.0	63.00	62.80	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.40	0.00	0.00	55.60	60.90
17.0	62.80	62.70	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50	0.00	0.00	52.60	60.10
17.5	62.70	62.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	55.00	58.20
18.0	62.60	62.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.30	51.70	58.20
18.5	62.50	62.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.50	31.20	18.60
19.0	62.50	62.50	0.50	4.00	0.50	4.00	0.50	4.00	0.50	4.00	18.60	18.60

La posición del desagüe de fondo para esta operación deberá ser cerrada, ya que como se puede observar en el gráfico 6.8, los caudales evacuados por esta estructura y con el espejo de aguas en cotas superiores a 62.00 m.s.n.m. es muy grande, superior a los 60 m³/s. Considerando el riesgo de exceder el valor máximo de los caudales de

seguridad en Calceta, se recomienda que las operaciones se realicen en una sola estructura de control; además que como ya sabemos, en la realidad el desagüe de fondo no está funcional.

6.5. CONCLUSIONES

- Solo se cuenta con los cuatro vertederos de excesos y sus respectivas compuertas como elementos de control y protección del nivel del agua en el embalse, por lo que las acciones que se realicen frente a crecientes en el embalse son muy limitadas.
- Para incrementar la eficacia en el control de inundaciones del sistema embalse – presa, se debe considerar la regulación de los niveles del embalse de acuerdo a las estaciones climatológicas que se presentan en el sitio.
- La apertura de las compuertas se las debe realizar en forma progresiva y controlada para evitar que se generen caudales demasiado grandes y violentos que pondrían en peligro las estructuras como la rápida.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

- Los embalses del Ecuador, especialmente los que tienen ya varios años de existencia, carecen de un sistema de alerta que permita detectar lluvias intensas en las cuencas de aportación a los mismos, y por lo tanto prevenir operaciones inadecuadas en los órganos de control.
- De igual forma, la mayoría de los embalses del Ecuador no tiene un “**MANUAL DE OPERACIONES**” que permita tomar decisiones acertadas, es decir numéricamente definidas y de acuerdo a los diseños de las estructuras, sino que las maniobras realizadas en estos complejos se han basado en la experiencia de los operadores y en las condiciones que se presentan en el momento de afrontar sucesos extraordinarios.
- Los diseños de la Presa La Esperanza corresponden a la regulación del recurso hídrico para agua potable y para riego, a más de la laminación de crecidas; sin embargo estos han sido modificados sobre la marcha, y de una manera poco técnica ya que pone en riesgo la laminación de las crecidas. No fue concebida con fines de proveer de agua a una central hidroeléctrica.
- Por una parte, al ser modificada la estructura del desagüe de fondo el embalse no tiene posibilidad de vaciarse, y por otro, el incremento del volumen de sedimentos en el embalse reduce drásticamente la funcionalidad del complejo.
- La operación del embalse La Esperanza frente a lluvias intensas en la cuenca de aportación es muy limitada, ya que no corresponde a la concepción original del proyecto, y no tiene un sistema de detección y alerta frente a eventos extraordinarios como lluvias intensas y las consecuentes ondas de crecida que llegan al embalse.
- No existen estaciones de medida de caudales o niveles de agua que permitan el reconocimiento temprano de las crecientes en los ríos de aporte al embalse.

Por lo tanto, al diseñar y construir este tipo de obras civiles, se debe incluir de forma obligatoria el diseño de redes hidrometeorológicas en las cuencas de aportación a los embalses.

- Con un número adecuado de estaciones pluviométricas, dependiendo de la magnitud de la cuenca de aportación y de la variabilidad de las características de las microcuencas (para este caso se han determinado 3), y un sistema de comunicación entre las mismas y la casa de mando de la presa, se podría establecer tempranamente la magnitud de la lluvia en las cuencas de aportación al embalse y tomar medidas de precaución y mejorar las condiciones de espera de la onda de avenida en el embalse.
- Las características del embalse La Esperanza y las cuencas de aporte, están dentro de las características y condiciones de uso del programa HEC – HMS, por tal motivo, los cálculos del hidrograma de crecida que llega al embalse, así como del hidrograma laminado o de salida del embalse pudo ser realizado por este programa, lo que lleva a concluir que en los estudios de otros embalses y de otras cuencas, se puede utilizar este programa, siempre y cuando estén dentro de las restricciones de uso del mismo.
- Con las condiciones de operación actual del embalse, las poblaciones que se encuentran aguas abajo del embalse, se encuentran en riesgo de sufrir graves daños al producirse una tormenta con período de retorno milenario, ya que los caudales evacuados no son controlados y pueden superar la capacidad de transporte de agua del cauce del río Carrizal, y terminar en una inundación de magnitudes sin precedentes.
- Si se sigue operando el embalse en condiciones normales con el nivel del agua por sobre el nivel máximo aprovechable, los cuatro con una capacidad total de 480 m³/s, no tienen la capacidad de evacuar el gran caudal que se presentaría en una lluvia extraordinaria (con un período de retorno 500 o 1000 años), lo que ocasionaría que el nivel del agua en el embalse se siga elevando, corriendo el riesgo de que el agua sobrepase o se desborde por sobre la cota de coronación de la presa.

- Al haberse alterado la función del desagüe de fondo, no hay la posibilidad de hacer descargas de sedimentos por esta estructura, lo que conlleva a una disminución de la capacidad de almacenamiento del embalse, y por lo tanto la disminución de la vida útil del complejo.
- En la actualidad, la única estructura útil para el control de inundaciones es el aliviadero y las compuertas, lo que limita demasiado la eficiencia del embalse. La esperanza en cuanto al control de inundaciones.
- Para incrementar la eficacia en el control de inundaciones del sistema embalse – presa, se debe considerar la regulación de los niveles del embalse mediante la apertura y cierre de las compuertas del vertedero de excesos de acuerdo a las estaciones climatológicas que se presentan en el sitio, esto a pesar de que es totalmente anti técnica la opción de mantener las compuertas cerradas durante todo el tiempo.
- Al recuperar la funcionalidad del desagüe de fondo, es factible realizar la operación y control de los niveles de agua en el embalse de forma adecuada, para que los niveles de espera de cada mes del año sean los adecuados y las respuestas del sistema frente a ondas de crecida sean las esperadas de acuerdo a los diseños.

7.2. RECOMENDACIONES.

- Recuperar la funcionalidad del desagüe de fondo, ya sea por eliminación del bridado, o por la colocación de válvulas de control en esta estructura.
- Continuar con el estudio iniciado en este trabajo, de tal manera que se diseñe a nivel definitivo y se implemente un sistema de detección temprana de lluvias intensas, transmisión de datos e instructivos de operación del embalse La Esperanza.
- Implementar en todos los embalses del país, sistema de detección de lluvias intensas, y de transmisión de datos hacia la estación de control y mandos de las presas respectivas, para que la detección y alerta de caudales extraordinarios permitan realizar maniobras de control adecuadas.
- Recuperar o redactar para todos los embalses del país manuales o instructivos de operación, para que las decisiones tomadas frente a ondas de crecida se sustenten en estudios adecuados.
- Realizar una actualización hidrológica de las cuencas de aportación a los diferentes embalses existentes en el país, ya que debido al cambio climático los caudales de aporte a los embalses han variado, y por lo tanto la operación de los embalses debe ser modificada, así como las operaciones frente a eventos extraordinarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIOMANABI. (2012). La Esperanza. Crónica de una tragedia anunciada. Manabí: BioManabí.

Castro M., Notas de Clase de Hidráulica Fluvial. Departamento de Ciencias del Agua. Escuela Politécnica Nacional.

CLAVIJO H., Y PEÑAHERRERA C. (2013), Diseño de una red de estaciones meteorológicas e hidrológicas para previsión de crecidas e inundaciones en las subcuencas de los ríos Chone, Bulu-Bulu y Chongón. Quito, 2013.

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. (1980). Obras Hidráulicas II. Presas. Madrid España.

Galárraga R., (1989) Planificación de Recursos Hídricos. Poligrafiados. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador.

INAMHI. (1980-2010). Anuarios Meteorológicos. Quito Ecuador.

INAMHI. (1982-2011). Anuarios Hidrológicos. Quito. Ecuador.

INAMHI. (1999). Estudio de Lluvias Intensas. Quito. Ecuador.

INTECSA, GEOSISA. Estudios Adicionales Para el Rediseño de la Presa “la Esperanza” del Aprovechamiento Múltiple Carrizal – Chone. Estudios Hidrológicos. CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABÍ. Manabí. 1984.

INTECSA, GEOSISA. Estudios Adicionales para el Diseño de la Presa “La Esperanza” del Aprovechamiento Múltiple Carrizal - Chone. Rediseño de la Presa y sus Fundaciones CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABÍ. Manabí. 1984.

INTECSA, GEOSISA. Estudios Adicionales para el Diseño de la Presa “La Esperanza” del Aprovechamiento Múltiple Carrizal - Chone. Rediseño de las Obras de Salida. CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABÍ. Manabí. 1984.

INTECSA, GEOSISA. Estudios Adicionales para el Diseño de la Presa “La Esperanza” del Aprovechamiento Múltiple Carrizal - Chone. Rediseño de las Obras de Desvío de la Obras de Entrada. CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABÍ. Manabí. 1984.

INTECSA, GEOSISA. Estudios Adicionales para el Diseño de la Presa “La Esperanza” del Aprovechamiento Múltiple Carrizal - Chone. Estudio de Materiales. CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABÍ. Manabí. 1984.

SENAGUA. (2006). Informe de Visita de Campo al Embalse La Esperanza. Quito. Ecuador.

SENAGUA. (2013). Registros de la Operación del Embalse “La Esperanza”. Manabí.. Ecuador.

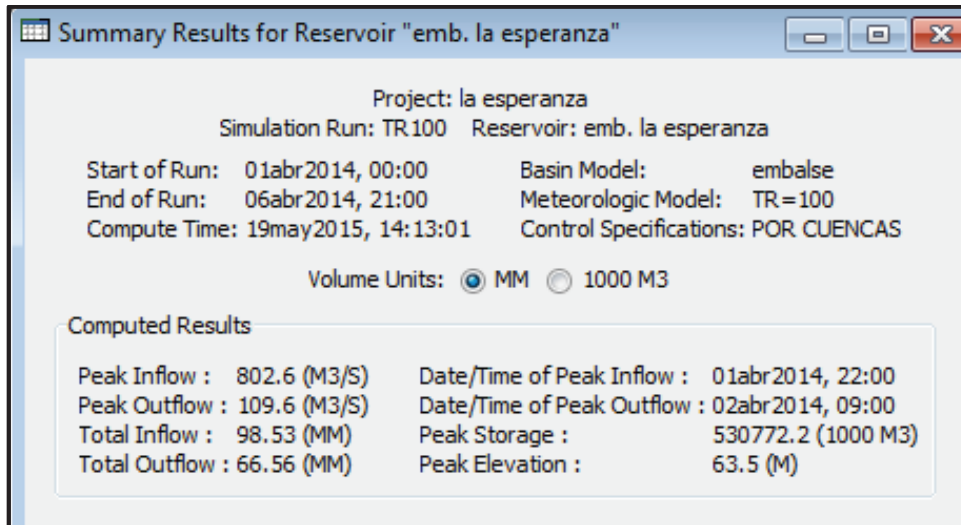
Smith, Amisial R., (1983). Operación de Embalses Mediante el Uso de la Programación Dinámica. Mérida.

UNESCO. 1990. El proceso de planificación de proyectos de recursos hídricos: un enfoque de sistema. Proyecto A 4.3 del programa hidrológico internacional. Bélgica 1990.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. (1964). HEC – HMS 3.5. US ARMY

ANEXO 1

**RESULTADOS DE MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – HMS DEL SISTEMA
CUENCA – EMBALSE – PRESA LA ESPERANZA.
PRIMERA CONSIDERACIÓN.**

TR = 100 AÑOS

Summary Results for Reservoir "emb. la esperanza"

Project: la esperanza
Simulation Run: TR100 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00	Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00	Meteorologic Model: TR=100
Compute Time: 19may2015, 14:13:01	Control Specifications: POR CUENCAS

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

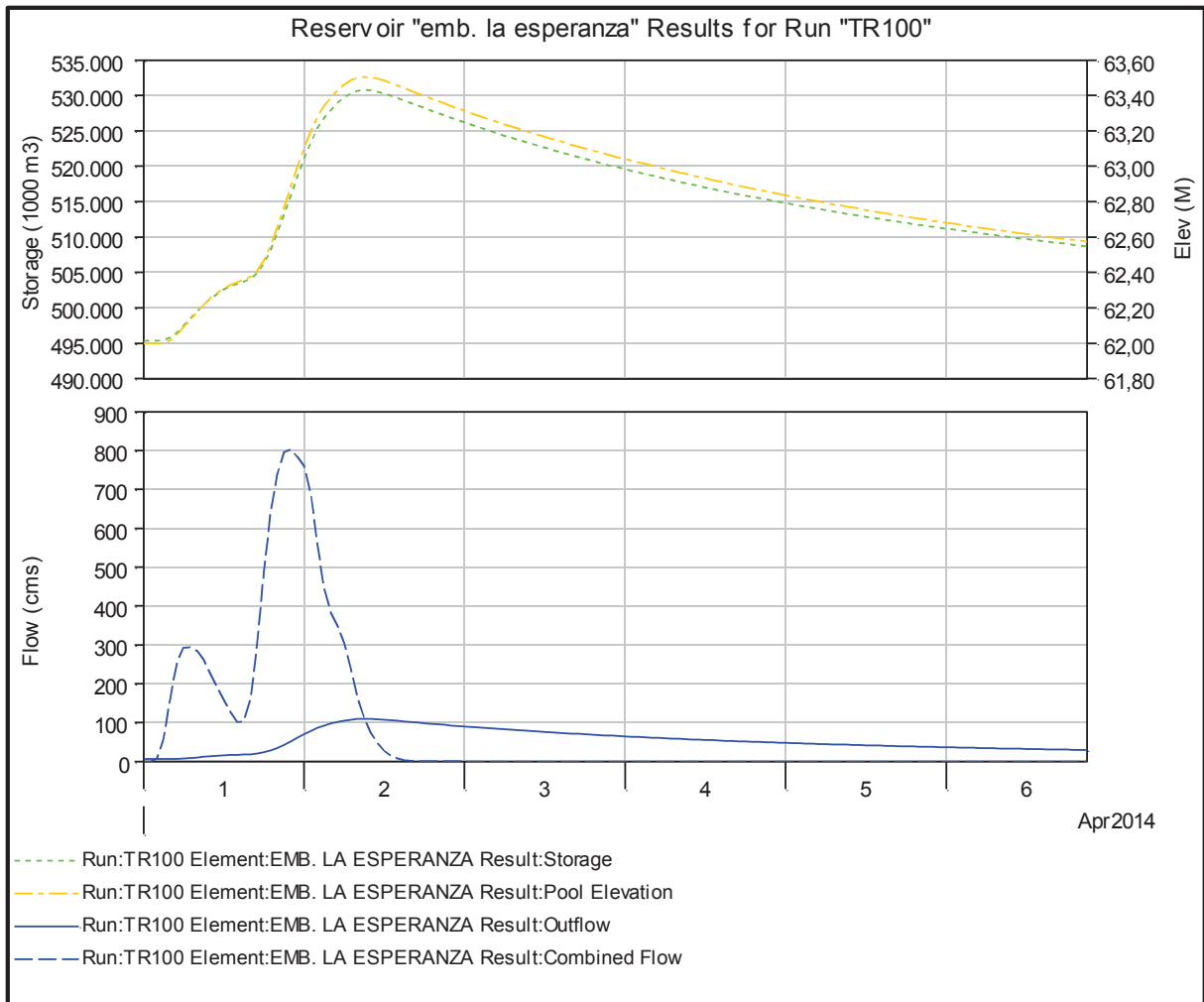
Peak Inflow : 802.6 (M3/S)	Date/Time of Peak Inflow : 01abr2014, 22:00
Peak Outflow : 109.6 (M3/S)	Date/Time of Peak Outflow : 02abr2014, 09:00
Total Inflow : 98.53 (MM)	Peak Storage : 530772.2 (1000 M3)
Total Outflow : 66.56 (MM)	Peak Elevation : 63.5 (M)

Time-Series Results for Reservoir "emb. la esperanza"

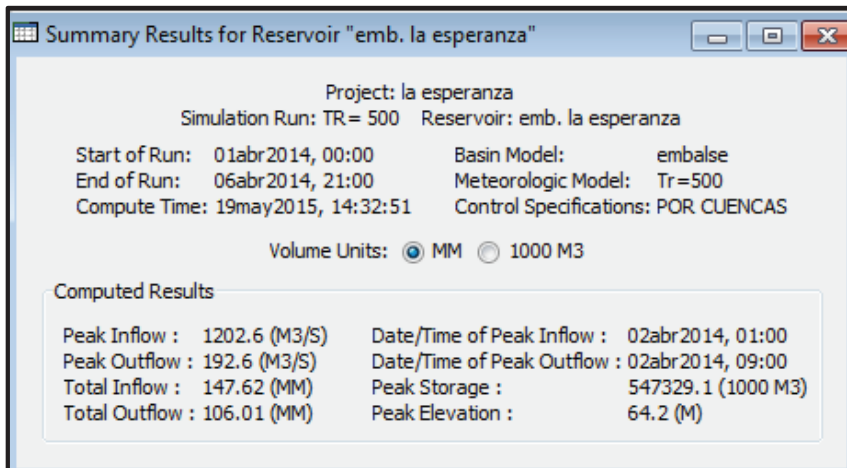
Project: la esperanza
Simulation Run: TR.100 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: TR=100
Compute Time: 19may2015, 14:13:01 Control Specifications: POR CUENCAS

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01abr2014	00:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	01:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	02:00	8.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	03:00	57.2	4954...	62.0	6.4
01abr2014	04:00	161.0	4958...	62.0	6.5
01abr2014	05:00	256.2	4965...	62.0	6.9
01abr2014	06:00	292.5	4974...	62.1	7.8
01abr2014	07:00	293.2	4985...	62.1	8.9
01abr2014	08:00	284.8	4995...	62.2	10.3
01abr2014	09:00	262.5	5004...	62.2	11.7
01abr2014	10:00	225.8	5013...	62.3	13.1
01abr2014	11:00	191.1	5020...	62.3	14.3
01abr2014	12:00	159.4	5025...	62.3	15.4
01abr2014	13:00	126.3	5030...	62.3	16.3
01abr2014	14:00	101.9	5033...	62.3	17.0
01abr2014	15:00	104.2	5037...	62.4	17.6
01abr2014	16:00	162.0	5041...	62.4	18.5
01abr2014	17:00	300.5	5048...	62.4	20.1
01abr2014	18:00	488.6	5062...	62.5	23.2
01abr2014	19:00	641.9	5081...	62.6	28.1
01abr2014	20:00	737.6	5105...	62.7	34.6
01abr2014	21:00	794.6	5131...	62.8	42.5
01abr2014	22:00	802.6	5158...	62.9	51.3
01abr2014	23:00	784.2	5185...	63.0	60.7
02abr2014	00:00	760.4	5210...	63.1	69.8
02abr2014	01:00	687.9	5234...	63.2	78.7



TR = 500 años

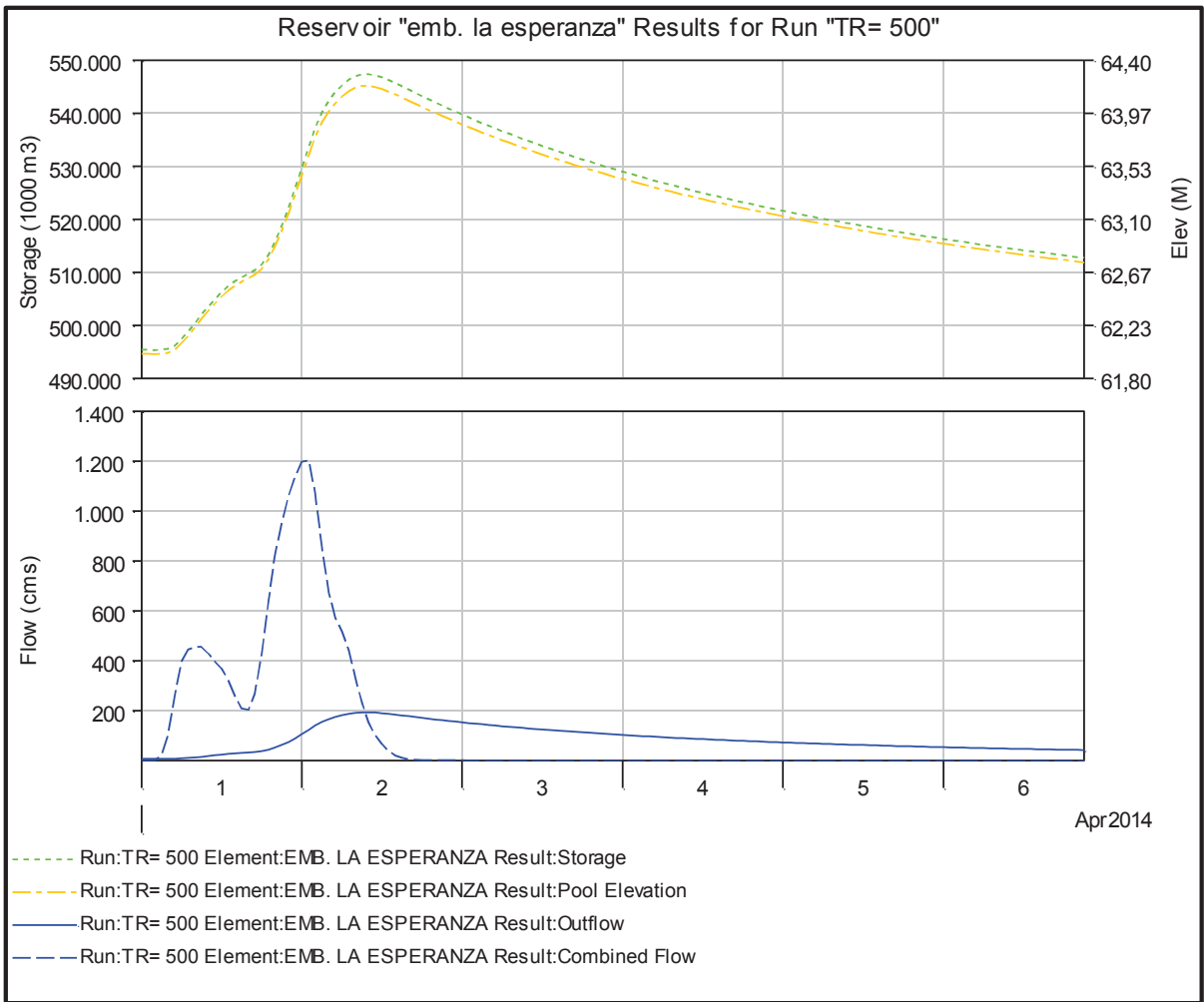


Time-Series Results for Reservoir "emb. la esperanza"

Project: la esperanza
Simulation Run: TR= 500 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: Tr=500
Compute Time: 19may2015, 14:32:51 Control Specifications: POR CUENCAS

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01abr2014	00:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	01:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	02:00	0.4	4953...	62.0	6.4
01abr2014	03:00	19.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	04:00	105.7	4955...	62.0	6.4
01abr2014	05:00	263.2	4961...	62.0	6.7
01abr2014	06:00	394.8	4973...	62.1	7.6
01abr2014	07:00	443.8	4988...	62.1	9.3
01abr2014	08:00	455.8	5004...	62.2	11.6
01abr2014	09:00	454.3	5019...	62.3	14.3
01abr2014	10:00	427.5	5035...	62.4	17.2
01abr2014	11:00	395.6	5049...	62.4	20.2
01abr2014	12:00	368.2	5062...	62.5	23.2
01abr2014	13:00	319.8	5073...	62.5	26.1
01abr2014	14:00	255.0	5083...	62.6	28.5
01abr2014	15:00	207.7	5090...	62.6	30.4
01abr2014	16:00	203.1	5096...	62.6	32.1
01abr2014	17:00	268.1	5104...	62.6	34.2
01abr2014	18:00	424.7	5115...	62.7	37.5
01abr2014	19:00	639.5	5132...	62.8	42.9
01abr2014	20:00	822.1	5157...	62.9	51.0
01abr2014	21:00	953.5	5187...	63.0	61.5
01abr2014	22:00	1059.9	5221...	63.1	73.8
01abr2014	23:00	1136.0	5257...	63.3	88.3
02abr2014	00:00	1197.3	5296...	63.5	104.6
02abr2014	01:00	1202.6	5335...	63.6	122.3



TR = 1000 años

Summary Results for Reservoir "emb. la esperanza"

Project: la esperanza
Simulation Run: TR=1000 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: Tr=1000
Compute Time: 19may2015, 14:38:51 Control Specifications: POR CUENCAS

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

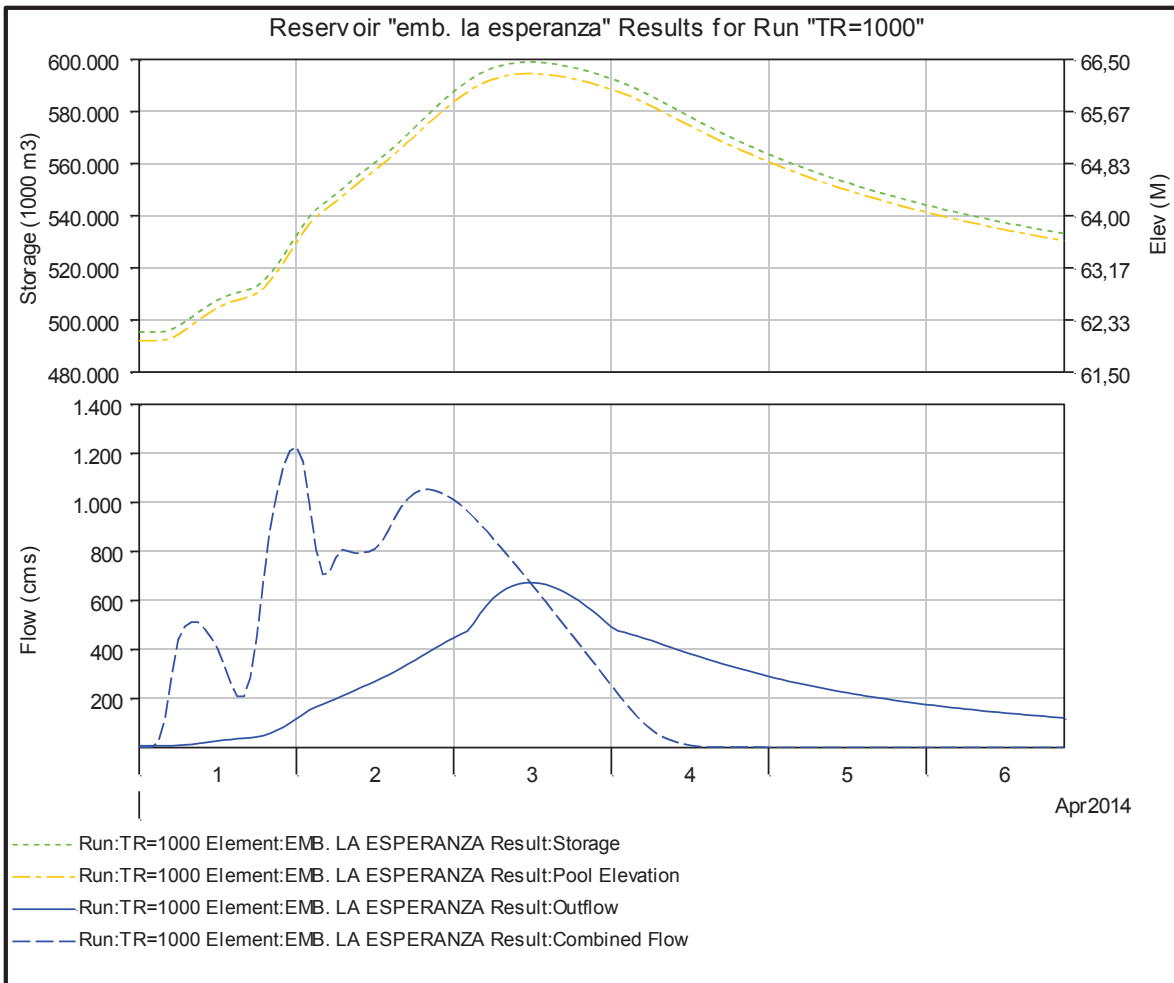
Peak Inflow : 1226.1 (M3/S) Date/Time of Peak Inflow : 02abr2014, 00:00
Peak Outflow : 671.8 (M3/S) Date/Time of Peak Outflow : 03abr2014, 12:00
Total Inflow : 430.18 (MM) Peak Storage : 598867.5 (1000 M3)
Total Outflow : 339.79 (MM) Peak Elevation : 66.3 (M)

Time-Series Results for Reservoir "emb. la esperanza"

Project: la esperanza
Simulation Run: TR=1000 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: Tr=1000
Compute Time: 19may2015, 14:38:51 Control Specifications: POR CUENCAS

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01abr2014	00:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	01:00	0.0	4953...	62.0	6.4
01abr2014	02:00	0.7	4953...	62.0	6.4
01abr2014	03:00	22.6	4953...	62.0	6.4
01abr2014	04:00	120.7	4955...	62.0	6.4
01abr2014	05:00	295.0	4963...	62.0	6.8
01abr2014	06:00	438.6	4976...	62.1	7.9
01abr2014	07:00	493.2	4992...	62.2	9.9
01abr2014	08:00	510.2	5010...	62.2	12.6
01abr2014	09:00	511.6	5028...	62.3	15.8
01abr2014	10:00	484.0	5045...	62.4	19.3
01abr2014	11:00	446.2	5061...	62.5	23.0
01abr2014	12:00	402.4	5075...	62.5	26.5
01abr2014	13:00	334.0	5087...	62.6	29.7
01abr2014	14:00	257.8	5097...	62.6	32.3
01abr2014	15:00	209.0	5104...	62.6	34.4
01abr2014	16:00	208.8	5110...	62.7	36.2
01abr2014	17:00	283.1	5118...	62.7	38.4
01abr2014	18:00	454.1	5130...	62.8	42.1
01abr2014	19:00	687.3	5149...	62.8	48.2
01abr2014	20:00	887.1	5175...	63.0	57.2
01abr2014	21:00	1032.4	5207...	63.1	68.8
01abr2014	22:00	1144.8	5244...	63.2	82.8
01abr2014	23:00	1208.1	5283...	63.4	99.0
02abr2014	00:00	1226.1	5323...	63.6	116.7
02abr2014	01:00	1164.5	5361...	63.7	134.8



ANEXO 2.

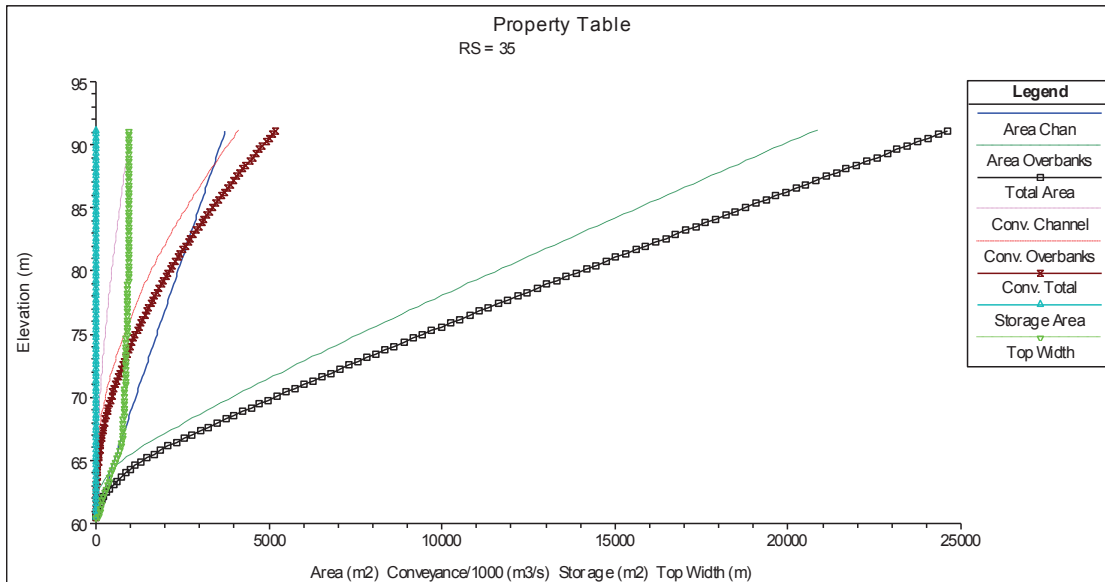
**RESULTADOS DE LA MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – RAS DEL CAUCE
DEL RÍO CARRIZALAGUAS ABAJO DE LA PRESA LA ESPERANZA**

Tabla de resultados.

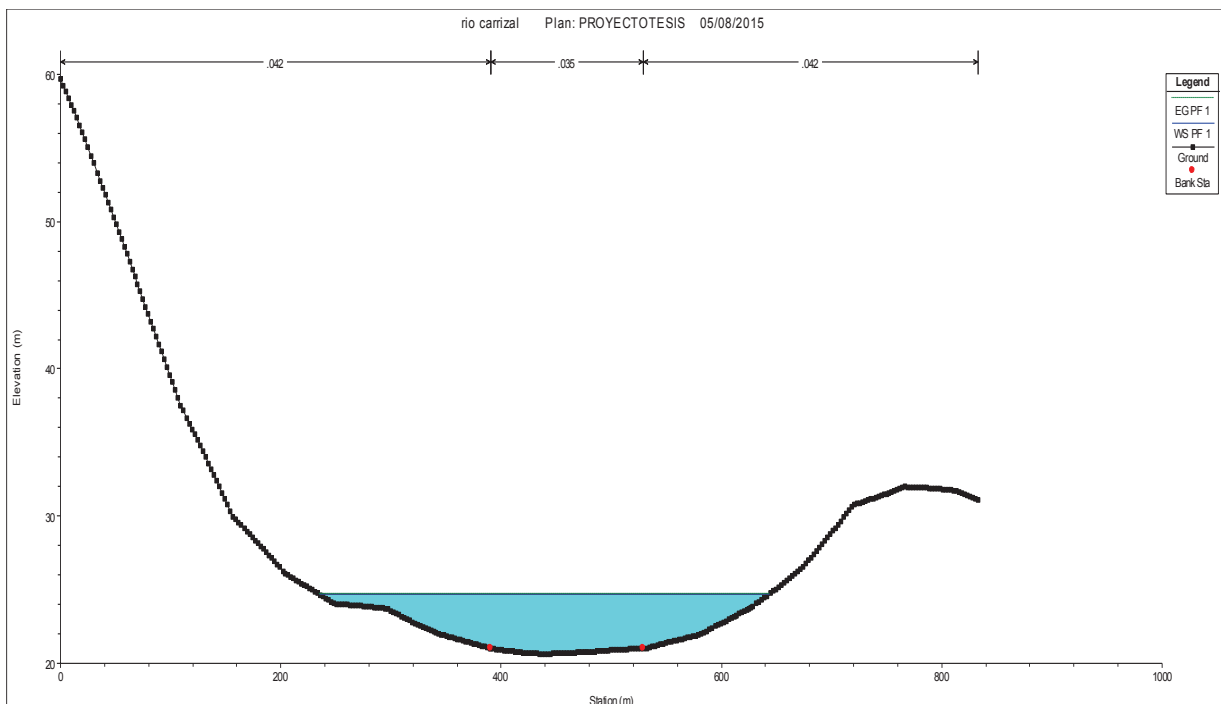
Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: TESIS River: carizal Reach: cauce Profile: PF 1												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
cauce	35	PF 1	60.00	60.48	60.93	60.93	61.09	0.018275	1.74	34.41	113.45	1.01
cauce	34	PF 1	60.00	36.04	36.62	37.30	42.88	0.754197	11.09	5.41	18.05	6.47
cauce	33	PF 1	60.00	33.01	37.66	34.09	37.66	0.000009	0.22	372.00	153.60	0.03
cauce	32	PF 1	60.00	35.65	37.65		37.65	0.000047	0.28	267.41	256.99	0.07
cauce	31	PF 1	60.00	36.52	37.32	37.32	37.55	0.012182	2.16	30.72	75.31	0.92
cauce	30	PF 1	60.00	34.57	36.99	35.39	37.00	0.000051	0.35	254.71	197.04	0.07
cauce	29	PF 1	60.00	35.02	36.97		36.98	0.000037	0.24	282.12	264.07	0.06
cauce	28	PF 1	60.00	36.00	36.92		36.94	0.001107	0.46	112.40	261.38	0.25
cauce	27	PF 1	60.00	35.03	35.67	35.67	35.84	0.021592	1.99	33.79	104.87	1.11
cauce	26	PF 1	60.00	34.27	35.23	34.54	35.24	0.000440	0.44	136.37	189.68	0.18
cauce	25	PF 1	60.00	33.88	34.55	34.55	34.69	0.018313	1.68	35.72	124.75	1.00
cauce	24	PF 1	60.00	30.60	31.30	31.02	31.32	0.001357	0.71	100.36	245.40	0.30
cauce	23	PF 1	60.00	28.18	29.15	29.15	29.42	0.014484	2.31	26.31	53.56	0.99
cauce	22	PF 1	60.00	4.10	29.30	5.20	29.30	0.000000	0.01	9847.39	750.23	0.00
cauce	21	PF 1	60.00	18.12	29.30		29.30	0.000000	0.02	4698.02	668.75	0.00
cauce	20	PF 1	60.00	15.00	29.30		29.30	0.000000	0.01	8476.34	918.21	0.00
cauce	19	PF 1	60.00	14.82	29.30		29.30	0.000000	0.01	6650.02	690.21	0.00
cauce	18	PF 1	60.00	18.68	29.30		29.30	0.000000	0.01	6803.20	950.56	0.00
cauce	17	PF 1	60.00	15.03	29.30		29.30	0.000000	0.03	3555.42	600.28	0.00
cauce	16	PF 1	60.00	9.93	29.30		29.30	0.000000	0.01	5748.43	667.68	0.00
cauce	15	PF 1	60.00	16.39	29.30		29.30	0.000000	0.03	2668.20	460.10	0.00
cauce	14	PF 1	60.00	28.35	29.05	29.05	29.28	0.018498	2.10	28.04	59.65	1.06
cauce	13	PF 1	60.00	25.23	27.74	26.44	27.77	0.000272	0.78	102.95	82.29	0.17
cauce	12	PF 1	60.00	25.50	27.68		27.69	0.000220	0.66	128.06	109.60	0.15
cauce	11	PF 1	60.00	25.17	27.68		27.68	0.000009	0.15	533.83	346.91	0.03
cauce	10	PF 1	60.00	27.01	27.50	27.50	27.66	0.018329	1.72	34.82	117.12	1.01
cauce	9	PF 1	60.00	22.55	24.69	23.20	24.69	0.000039	0.28	324.23	295.13	0.06
cauce	8	PF 1	60.00	18.47	24.69		24.69	0.000000	0.06	1671.87	459.71	0.01
cauce	7	PF 1	60.00	21.86	24.69		24.69	0.000000	0.03	1592.77	414.87	0.01
cauce	6	PF 1	60.00	20.63	24.69		24.69	0.000001	0.07	1075.41	408.31	0.01
cauce	5	PF 1	60.00	18.01	24.69		24.69	0.000000	0.03	2274.34	485.64	0.00
cauce	4	PF 1	60.00	19.00	24.69		24.69	0.000000	0.06	1263.14	342.87	0.01
cauce	3	PF 1	60.00	18.00	24.69		24.69	0.000000	0.05	1616.87	400.61	0.01
cauce	2	PF 1	60.00	19.43	24.69		24.69	0.000002	0.11	771.19	248.64	0.02
cauce	1	PF 1	60.00	23.96	24.48	24.48	24.66	0.016895	2.34	34.13	94.24	1.06

Total flow in cross section.

Curvas de los principales parámetros



Perfil transversal en Calceta.



ANEXO 3.

**RESULTADOS DE MODELACIÓN COMPUTACIONAL HEC – HMS DEL SISTEMA
CUENCA – EMBALSE – PRESA LA ESPERANZA. SEGUNDA CONSIDERACIÓN**

TR = 100 años

Summary Results for Reservoir "emb. la esperanza"

Project: la esperanza
Simulation Run: TR100 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: TR=100
Compute Time: 19may2015, 14:04:07 Control Specifications: POR CUENCAS

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

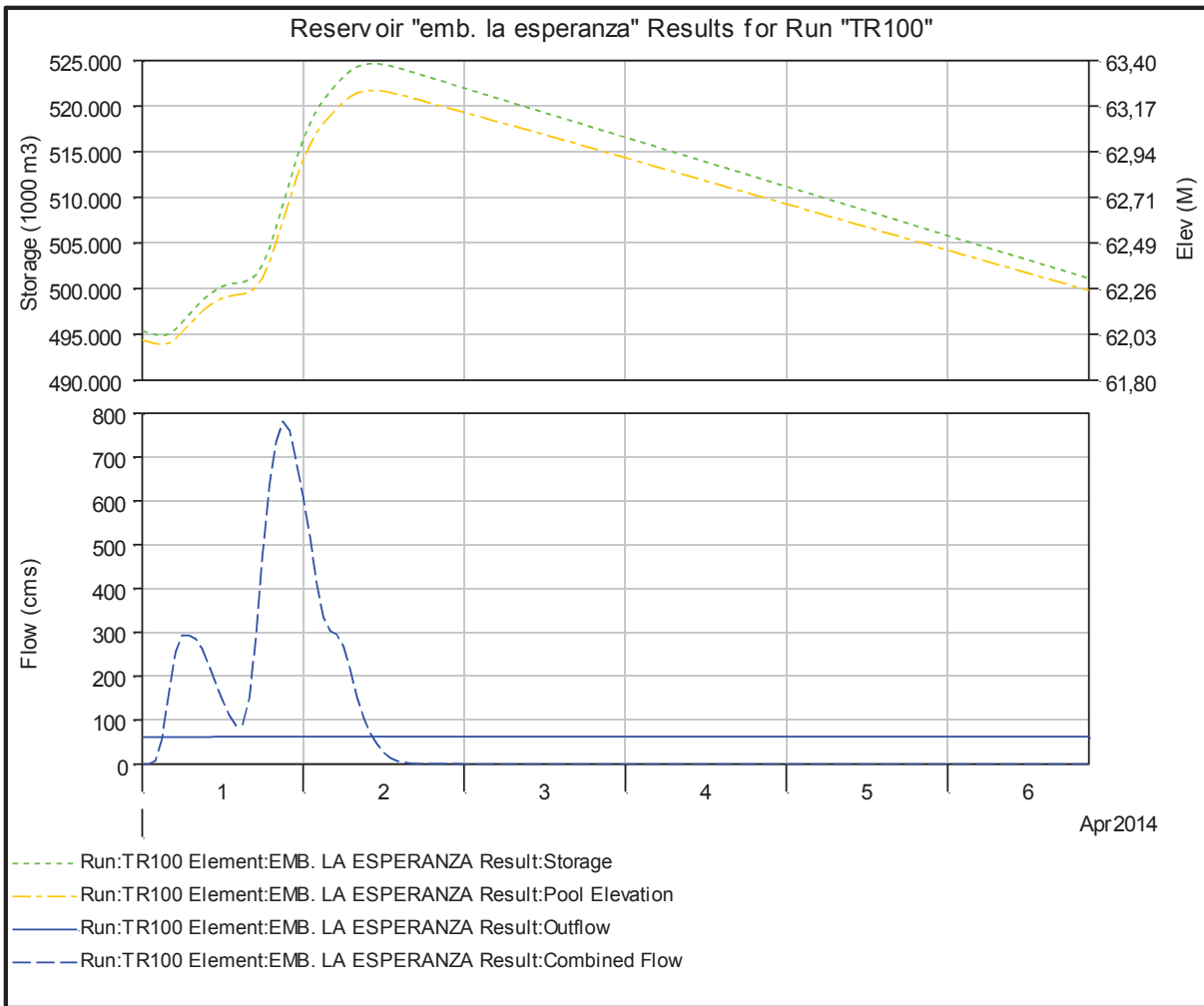
Peak Inflow : 780.2 (M3/S) Date/Time of Peak Inflow : 01abr2014, 21:00
Peak Outflow : 62.6 (M3/S) Date/Time of Peak Outflow : 02abr2014, 10:00
Total Inflow : 114.64 (MM) Peak Storage : 524623.1 (1000 M3)
Total Outflow : 96.96 (MM) Peak Elevation : 63.2 (M)

Time-Series Results for Reservoir "emb. la esperanza"

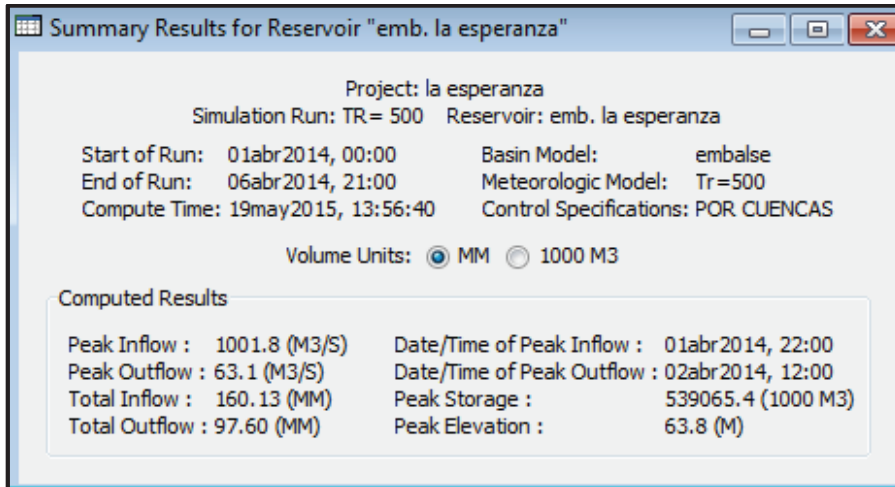
Project: la esperanza
Simulation Run: TR100 Reservoir: emb. la esperanza

Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: TR=100
Compute Time: 19may2015, 14:04:07 Control Specifications: POR CUENCAS

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01abr2014	00:00	0.0	4953...	62.0	61.6
01abr2014	01:00	0.0	4951...	62.0	61.6
01abr2014	02:00	8.0	4949...	62.0	61.6
01abr2014	03:00	57.2	4948...	62.0	61.6
01abr2014	04:00	161.0	4950...	62.0	61.6
01abr2014	05:00	256.2	4955...	62.0	61.6
01abr2014	06:00	292.5	4963...	62.0	61.7
01abr2014	07:00	293.2	4971...	62.1	61.7
01abr2014	08:00	284.8	4979...	62.1	61.7
01abr2014	09:00	262.0	4987...	62.1	61.7
01abr2014	10:00	222.5	4993...	62.2	61.8
01abr2014	11:00	182.2	4998...	62.2	61.8
01abr2014	12:00	145.6	5002...	62.2	61.8
01abr2014	13:00	111.1	5004...	62.2	61.8
01abr2014	14:00	86.9	5006...	62.2	61.8
01abr2014	15:00	90.4	5007...	62.2	61.8
01abr2014	16:00	150.4	5009...	62.2	61.8
01abr2014	17:00	291.9	5015...	62.3	61.8
01abr2014	18:00	483.3	5026...	62.3	61.9
01abr2014	19:00	638.7	5044...	62.4	61.9
01abr2014	20:00	733.2	5067...	62.5	62.0
01abr2014	21:00	780.2	5092...	62.6	62.1
01abr2014	22:00	759.8	5117...	62.7	62.2
01abr2014	23:00	688.7	5141...	62.8	62.3
02abr2014	00:00	610.0	5162...	62.9	62.3
02abr2014	01:00	519.0	5180...	63.0	62.4



TR = 500 años.

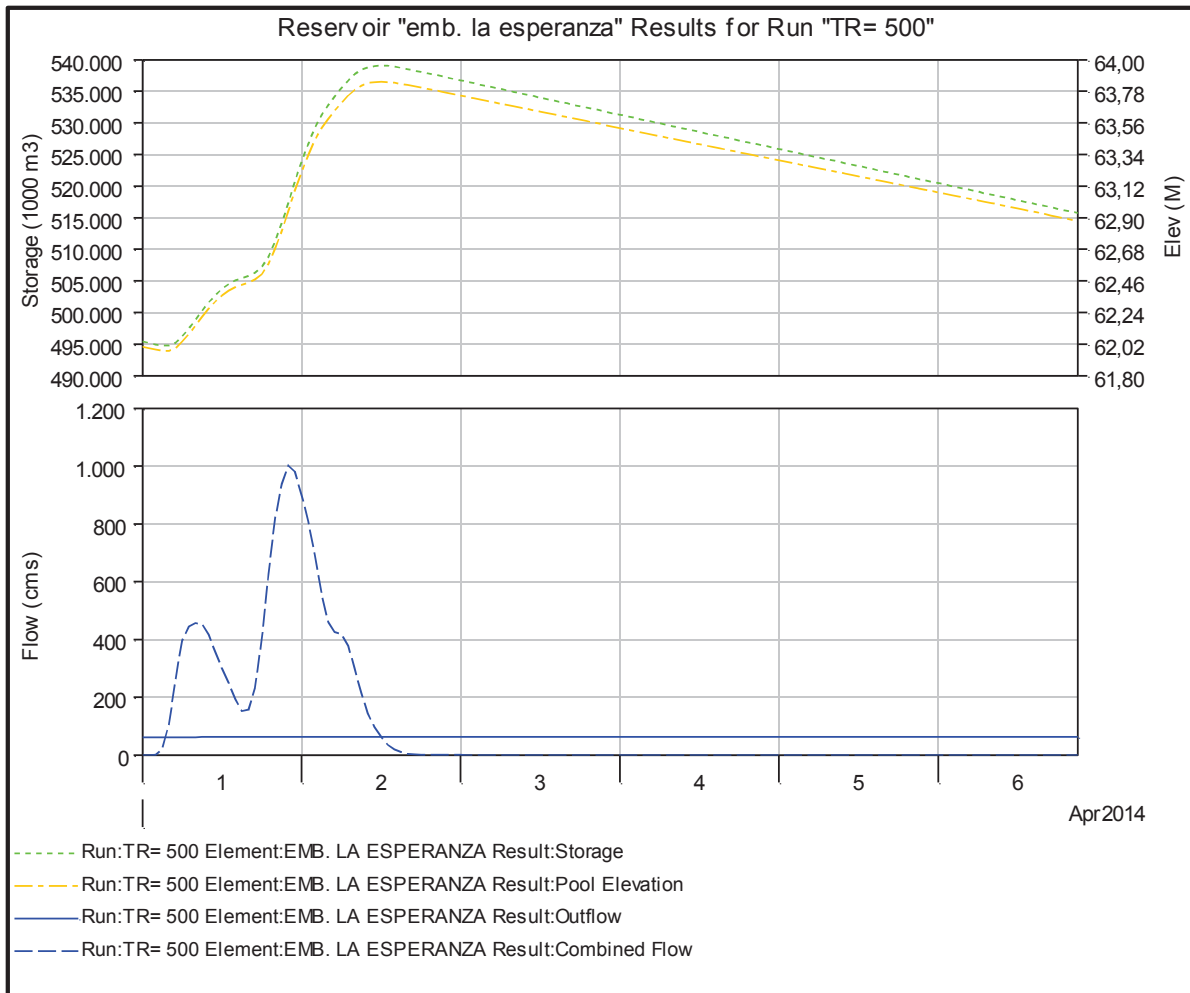


Time-Series Results for Reservoir "emb. la esperanza"

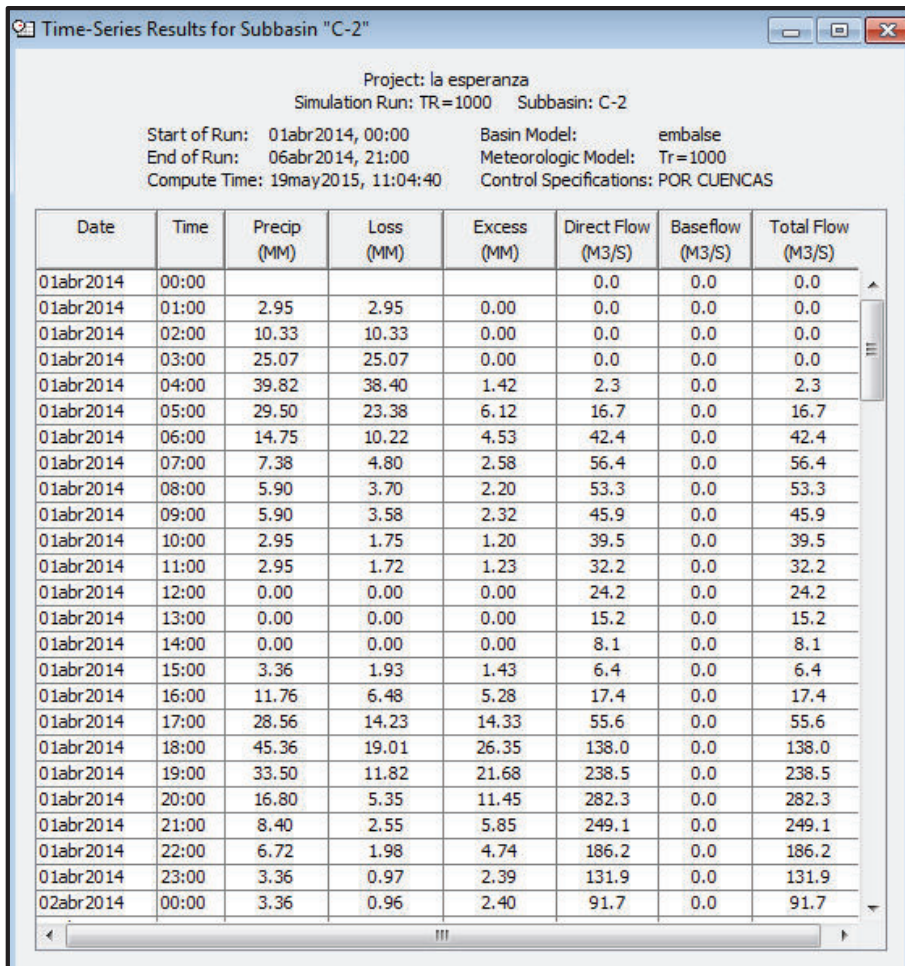
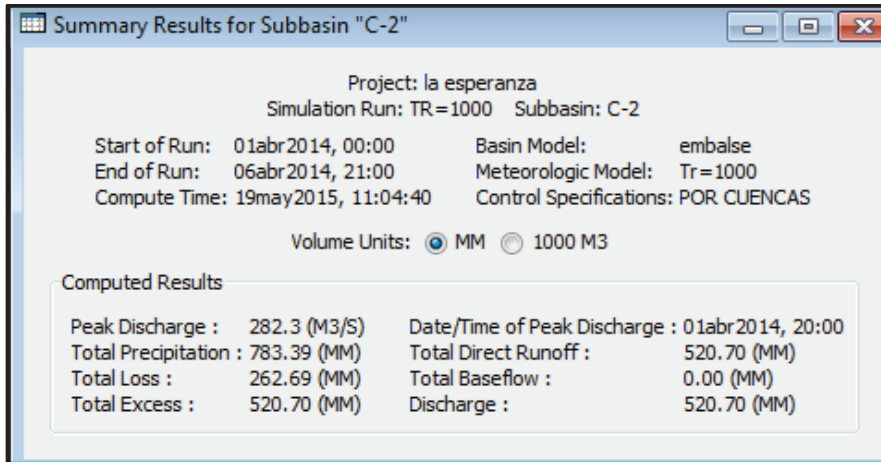
Project: la esperanza
Simulation Run: TR= 500 Reservoir: emb. la esperanza

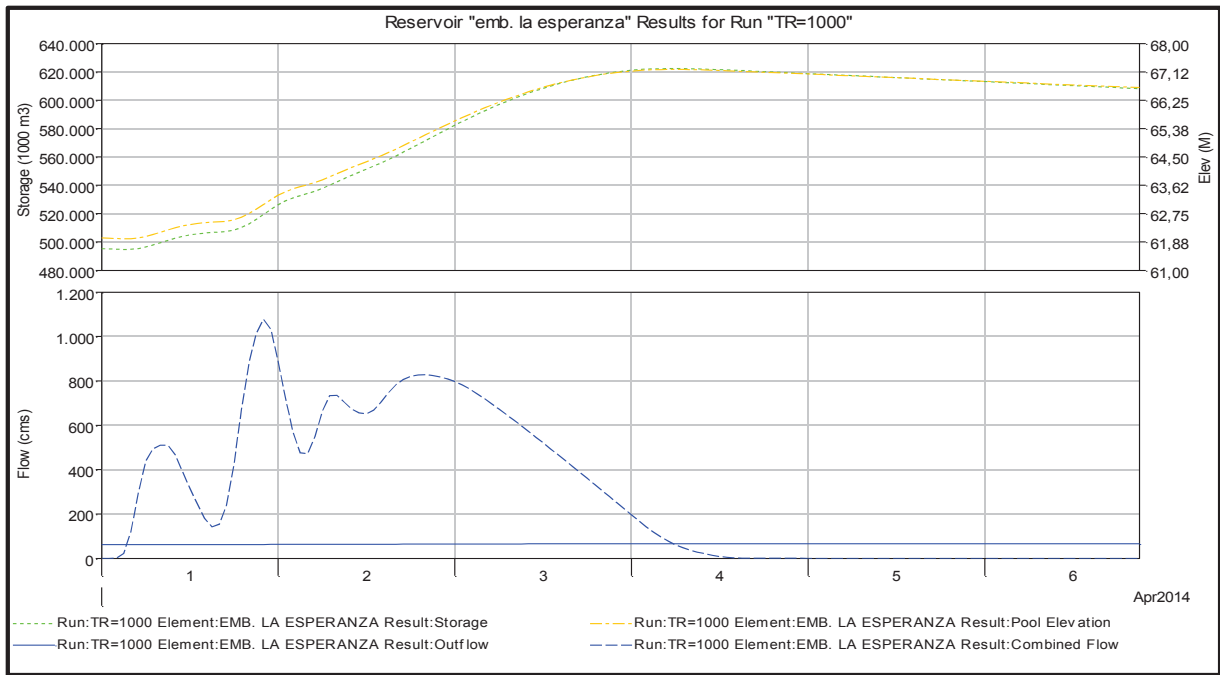
Start of Run: 01abr2014, 00:00 Basin Model: embalse
End of Run: 06abr2014, 21:00 Meteorologic Model: Tr=500
Compute Time: 19may2015, 13:56:40 Control Specifications: POR CUENCAS

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01abr2014	00:00	0.0	4953...	62.0	61.6
01abr2014	01:00	0.0	4951...	62.0	61.6
01abr2014	02:00	0.4	4949...	62.0	61.6
01abr2014	03:00	19.0	4947...	62.0	61.6
01abr2014	04:00	105.7	4947...	62.0	61.6
01abr2014	05:00	263.2	4951...	62.0	61.6
01abr2014	06:00	394.8	4961...	62.0	61.7
01abr2014	07:00	443.8	4974...	62.1	61.7
01abr2014	08:00	455.8	4988...	62.1	61.7
01abr2014	09:00	453.2	5002...	62.2	61.8
01abr2014	10:00	415.6	5015...	62.3	61.8
01abr2014	11:00	354.6	5027...	62.3	61.9
01abr2014	12:00	300.9	5037...	62.4	61.9
01abr2014	13:00	248.7	5044...	62.4	61.9
01abr2014	14:00	192.0	5050...	62.4	62.0
01abr2014	15:00	152.9	5054...	62.4	62.0
01abr2014	16:00	157.3	5057...	62.4	62.0
01abr2014	17:00	232.6	5062...	62.5	62.0
01abr2014	18:00	400.9	5071...	62.5	62.0
01abr2014	19:00	626.5	5088...	62.6	62.1
01abr2014	20:00	813.8	5111...	62.7	62.2
01abr2014	21:00	936.0	5141...	62.8	62.3
01abr2014	22:00	1001.8	5173...	62.9	62.4
01abr2014	23:00	981.1	5207...	63.1	62.5
02abr2014	00:00	899.1	5238...	63.2	62.6
02abr2014	01:00	807.6	5267...	63.3	62.7



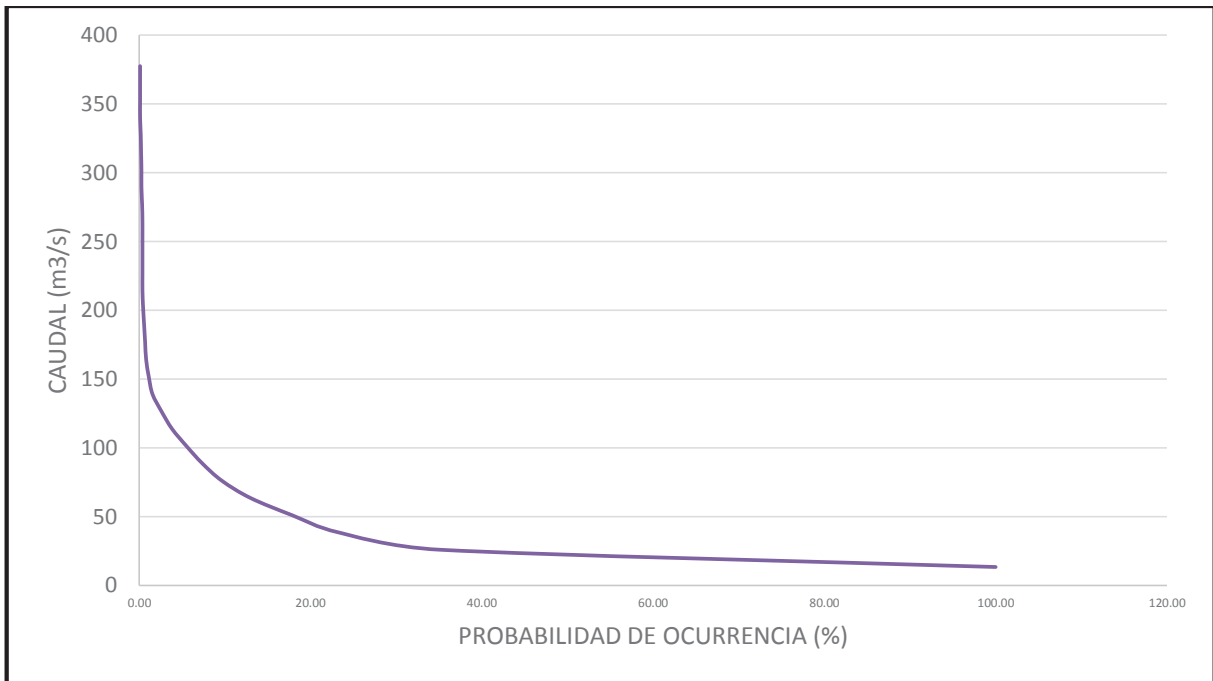
TR = 1000 años





ANEXO 4.**CURVAS DE DURACION GENERAL DEL RÍO CARRIZAL.**

CURVA DE DURACIÓN GENERAL ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.



CURVA DE DURACIÓN GENERAL DESPUES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.

