

**MANUAL DE REQUISITOS Y ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA  
CONSTRUCCION DE UNA PRESA**

**CARLOS ANDRES SARMIENTO CARRILO**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga**

**2009**

**MANUAL DE REQUISITOS Y ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA  
CONSTRUCCION DE UNA PRESA**

**CARLOS ANDRES SARMIENTO CARRILLO**

**Trabajo de grado para optar el titulo de  
Ingeniero Civil**

**Director:**

**Germán García Vera**

**Ing. Civil**

**Tutor:**

**Álvaro Prada Arciniegas**

**Ing. Civil**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2009**

A Dios, por darme Salud y sabiduría

A mi Madre, por su esfuerzo y apoyo

A mi Padre por su protección

A mis hermanos, por su compañía

A mis amigos, por su amistad y ayuda incondicional

**CARLOS ANDRES**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Germán García Vera por su confianza, colaboración y apoyo como director del proyecto.

Al Ing. Álvaro Prada Arciniegas, por su colaboración como tutor, y por su confianza como jefe al encomendarme labores importantes para el desarrollo del Proyecto de Regulación del río Tona – Embalse de Bucaramanga.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Civil, por permitirme ser parte activa y aportar durante mi vida universitaria a los procesos académicos y políticos de la Universidad.

Al consejo de Escuela de Ingeniería Civil, por su confianza y apoyo en las distintas labores desarrolladas como Representante de los estudiantes de la Escuela.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS .....	3
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	4
1.1 JUSTIFICACION.....	4
1.2 ALCANCE .....	5
1.3 ANTECEDENTES.....	5
1.4 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL PROYECTO DE REGULACION DEL RIO TONA-EMBALSE DE BUCARAMANGA .....	7
1.4.1 COMPONENTE I.....	7
1.4.2 COMPONENTE II.....	9
1.5 INFORMACION DE ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2 DEL PROYECTO.....	10
1.5.1 INFORMES DESARROLLO DE DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2 .....	11
1.5.2 MEMORANDOS TECNICOS.....	13
1.5.3 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2.....	14
1.5.4 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 3.....	14
1.5.5 INFORMES VARIOS.....	15
1.5.6 ESTUDIOS AMBIENTALES .....	16
1.5.7 INFORME DISEÑOS FASE 3 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LOS ANGELINOS, Y DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS DE LAS PLANTAS LOS ANGELINOS Y BOSCONIA. ....	17
1.6 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE PRACTICA.....	18
2 APORTE – MANUAL DE REQUISITOS Y ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PRESA .....	22
2.1. REGION DEL PROYECTO.....	23

2.1.1 AMBIENTE FISICO – BIOTICO .....	24
2.1.1.1 HOYA HIDROGRAFICA .....	24
2.1.1.2 GEOMORFOLOGIA.....	25
2.1.1.3 PROCEOS EROSIVOS.....	26
2.1.1.4 DINAMICA FLUVIAL.....	26
2.1.1.5 CLIMATOLOGIA .....	29
2.1.1.6 HIDROLOGÍA .....	30
2.1.1.7 GEOLOGIA .....	32
2.1.1.8 SISMOLOGIA .....	33
2.1.1.9 SUELOS .....	34
2.1.1.10 VEGETACION, FAUNA, ICTIOFAUNA Y CALIDAD DEL AGUA .....	35
2.1.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS .....	39
2.1.2.1 ÁREA DE INFLUENCIA SOCIAL .....	39
2. 2 ESTUDIOS BASICOS.....	40
CARTOGRAFIA, TOPOGRAFIA Y GEODESIA.....	40
2.2.2 HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS .....	44
2.2.3 GEOLOGÍA Y GEOTECNÍA .....	50
2.2.4 MATERIALES GEOLÓGICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS.....	69
2.2.5 NEOTECTÓNICA Y SISMICIDAD NATURAL E INDUCIDA.....	74
2.3 DEFINICION DEL PROYECTO.....	75
2.4 DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	76
2.4.1 ESQUEMA Y CONDICIONES GENERALES .....	76
2.4.2 EMBALSE .....	76
2.4.3 OBRAS DE DESVIACION .....	76
2.4.4 PRESA .....	83
2.4.5 VERTEDERO .....	91

2.4.6 OBRAS DE TOMA Y CONDUCCION .....	95
2.4.7 EQUIPOS.....	98
2.4.8 CONEXIÓN AL SISTEMA.....	102
2.4.9 INFRAESTRUCTURA PARA CONSTRUCCION.....	103
2.4.10 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS.....	104
2.5 COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	106
2.5.1 BENEFICIOS DEL PROYECTO .....	106
2.5.2 PROGRAMA DE EJECUCION.....	106
2.5.3 CANTIDADES DE OBRA .....	106
2.5.4 PRECIOS UNITARIOS.....	108
2.5.5 PRESUPUESTOS.....	109
2.5.6 INDICES ECONOMICOS.....	109
2.6 EVALUACION E IMPACTO AMBIENTAL.....	111
2.6.1 DOCUMENTOS DE REFERENCIA Y MARCO JURÍDICO.....	111
2.6.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	111
2.6.3 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES.....	113
2.6.4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN .....	114
2.6.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE OPERACIÓN....	122
2.6.6 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL Y PLAN DE GESTIÓN SOCIAL .....	125
2.6.7 SEGUIMIENTO Y MONITOREO .....	127
2.7 PLAN DE CONTINGENCIAS.....	131
2.7.1 GENERALIDADES.....	131
2.7.2 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE CONTINGENCIAS.....	131
2.7.3 MARCO TEÓRICO.....	132

2.7.4 IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS.....	133
2.7.5 IDENTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS .....	134
2.7.6 IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS.....	134
2.7.7 IDENTIFICACIÓN DE PLANES DE CONTINGENCIA.....	135
2.7.8 CALIFICACIÓN DE AMENAZAS Y VULNERABILIDAD POR ESCENARIOS.....	135
2.7.9 PLAN DE ACCIÓN.....	136
2.7.10 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL PARA EL PLAN DE CONTINGENCIAS .....	138
2.7.11 PLAN OPERATIVO.....	139
2.7.12 PLANES DE CONTINGENCIA .....	140
2.7.13 PROCEDIMIENTO DE REACCIÓN EN CASO DE EMERGENCIA .....	140
2.7.14 CONTROL DE LA EMERGENCIA: .....	141
2.8 PLAN DE ABANDONO Y RESTAURACIÓN FINAL .....	143
2.8.1 GENERALIDADES.....	143
2.8.2 INSTALACIONES DEL CONTRATISTA.....	144
2.8.3 FINALIZACION DE LAS OBRAS.....	144
2.8.4 MECANISMOS DE INFORMACIÓN A LA COMUNIDAD .....	145
3 CONCLUSIONES .....	146
BIBLIOGRAFIA .....	147

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 CUARTO DE DATOS ANTES DE SU ORGANIZACION .....	20
FIGURA 2 CUARTO DE DATOS ORGANIZADO .....	21
FIGURA 3 PRESA DE TIERRA .....	85
FIGURA 4 PRESA DE ENROCAMIENTO .....	86
FIGURA 5 PRESA DEL TIPO DE GRAVEDAD .....	86
FIGURA 6 PRESA DE CONCRETO TIPO ARCO .....	97
FIGURA 7 VERTEDERO .....	91

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL amb.....	6
TABLA 2 INFORMES DE DESARROLLO.....	12
TABLA 3 LISTA DE MEMORANDOS TÉCNICOS .....	13
TABLA 4 INFORME FINAL DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2 .....	14
TABLA 5 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 3 .....	15
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	24
TABLA 7 FASES Y ESTUDIOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS.....	51
TABLA 8 CRITERIOS GENERALES DE INVESTIGACIONES IN SITU .....	53
TABLA 9 IMPACTOS GEOAMBIENTALES EN LA CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE PRESAS.....	62
TABLA 10 PERIODOS DE RETORNO DE LOS SISMOS DE CÁLCULO PARA PRESAS.....	74

## RESUMEN

**TITULO:** Manual De Requisitos Y Estudios Necesarios Para La Construcción De Una Presa.

**AUTOR:** CARLOS ANDRES SARMIENTO CARRILLO

**PALABRAS CLAVES:** Embalse, Presa, Vertedero, Regulación de Caudal, Impacto Ambiental.

## CONTENIDO

Para almacenar el agua de los ríos que no garantizan en todo momento el caudal necesario se construyen embalses, básicamente un embalse es creado por una presa, que interrumpe el cauce natural de un río, poniendo a disposición del operador del embalse un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para múltiples fines. La elaboración de este manual tiene como fin ilustrar al estudiante o personas interesadas, para que tenga una visión más amplia sobre lo multidisciplinario que resultan los estudios y construcción de un embalse, así mismo conocer los requisitos y estudios necesarios para su concepción.

De una u otra manera la construcción de presas para embalsar agua requiere de una metodología básica en cuanto a estudios y diseños que se debe tener en cuenta cuando se quiera llevar a cabo un proyecto de esta magnitud. A nivel general existen ciertas propuestas de los pasos y estudios para la construcción de una presa. En este manual se propone una serie de pasos y estudios a desarrollar cuando se quiere construir una presa, estos pasos y esta serie de estudios propuestos, han sido utilizados en la construcción de varias presas en Colombia, y fueron los que se utilizaron para el proyecto de regulación del Río Tona – Embalse de Bucaramanga.

En ese orden de ideas, el presente documento, consta de un primer paso que es la identificación de la región del proyecto, luego se presentan una serie de estudios básicos por desarrollar, seguido de la definición y la descripción del mismo, luego la evaluación de costos y beneficios del proyecto, la evaluación del impacto ambiental, el plan de contingencias que se debe implementar y por último el plan de abandono y restauración final.

\*Proyecto de grado modalidad práctica empresarial

\*\*Facultad de ingenierías físico - mecánicas - escuela de ingeniería civil

**Director:** Germán García vera, ingeniero civil

**Tutor:** Álvaro Prada Arciniegas, ingeniero civil

## **ABSTRACT**

**TITLE:** Requirement Manual and Necessary Studies for the Construction of a Dam.

**AUTHOR:** CARLOS ANDRES SARMIENTO CARRILLO

**KEY WORDS:** Reservoir, Dam, landfill, Flow Regulation, Environmental Impact.

## **CONTENT**

In order to store the water of the rivers that do not guarantee the necessary volume at any moment, people construct reservoir, basically a reservoir is held by a dam that interrupts the natural course of the river's stream, allowing the operator of the dam, a volume of potential storage that can be used for multiple aims. The elaboration of this manual aims to illustrate the students or interested people, so that they can have a wider vision about how multidisciplinary may be the study and construction of a dam, likewise the necessary requirements and studies for its conception.

Of one or another way the construction of dam to store water requires of a basic methodology in regard of studies and designs that should be taken into account when is wanted to carry out a project of such a magnitude. At general level there are certain proposals of the steps and studies for the construction of a dam. In this manual, we propose a series of steps and studies to develop the construction. These steps and this series of proposed studies, have been used in the construction of several dams in Colombia, and were the ones used for the project of regulation of Rio Tona - Dam of Bucaramanga.

In that order of ideas, the following document, consists of a first step that is the identification of the region of the project, then this document presents a series of basic studies to develop the project, followed by the definition and the description of itself, later on the evaluation of costs and benefits of the project, the evaluation of the environmental impact, the plan of contingencies that must be implemented and finally abandonment plan and final restoration.

\*Graduation project internship mode

\*\* Faculty of physical-mechanical engineering - school of civil engineering

**Director:** German Garcia vera, civil engineer

**Tutor:** Álvaro Prada Arciniegas, civil engineer

## **INTRODUCCIÓN**

La historia del acueducto de Bucaramanga se remonta al año 1916 cuando se constituye formalmente la Compañía Anónima del Acueducto de Bucaramanga. Posteriormente, en el año de 1975, el acueducto se convirtió en la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga - CAMB, la cual funcionó hasta el año 2004, año en el cual la CAMB pasó a denominarse Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, amb, con una misión, una visión y un objetivo social más amplios, en cuanto a la prestación de los diferentes Servicios Públicos Domiciliarios y actividades conexas.

El sistema actual del acueducto del Área Metropolitana de Bucaramanga toma las aguas de los ríos Suratá, Tona Alto y Frío, con una capacidad de tratamiento de 2000, 1400 y 600 l/s respectivamente. La primera fuente suministra el agua al sistema por medio de bombeo y las dos últimas fuentes corresponden a sistemas por gravedad.

El Acueducto no solamente se ha preocupado por la conducción y mejoramiento de sus servicios, sino que ha tenido muy en cuenta la protección de todas las fuentes que lo surten de aguas, para ello desde 1968 inició la adquisición de tierras destinadas a la conservación y protección de los bosques ubicados alrededor de las cuencas hidrográficas y que hoy alcanzan a la no despreciable suma de 11.000 hectáreas.

El agua es parte integrante de casi todas las actividades de desarrollo, desde la sanidad y la higiene pública hasta la distribución de los asentamientos humanos, pero más allá del impacto del crecimiento mismo de la población, la demanda de agua dulce ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial, la dependencia creciente en la agricultura de riego, la urbanización masiva y los niveles de vida más altos.

De esta manera el almacenamiento de agua bruta se hace necesario cuando la fuente de agua no tiene un caudal suficiente durante todo el año para suplir la cantidad de agua necesaria.

Para almacenar el agua de los ríos o arroyos que no garantizan en todo momento el caudal necesario se construyen embalses, básicamente un embalse es creado por una presa, que interrumpe el cauce natural de un río, poniendo a disposición del operador del embalse un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para múltiples fines, algunos de ellos complementarios y otros conflictivos entre sí.

Y es así como nace el Proyecto de Regulación del Río Tona - Embalse de Bucaramanga, localizado en la parte baja de la subcuenca del río Tona, sitio en el cual se planea construir una presa con una altura total cercana a 110 m y la formación de un embalse con una capacidad total de 20 hm<sup>3</sup>, de los cuales 17 hm<sup>3</sup> corresponden al volumen útil, el cual es necesario para regular el caudal (1 m<sup>3</sup>/s) del río Tona con una confiabilidad del 99%. Dicho volumen permitirá almacenar el caudal excedente no captado en el invierno para ser utilizado en épocas de estiaje.

En consecuencia y dada la importancia que tiene este tipo de obra para el desarrollo de la región, en el presente documento se puede observar parte de la información de este mega proyecto, los estudios realizados para su ejecución y como se encuentra organizada ésta información, también se encuentra consignado en este documento un manual de estudios básicos necesarios para la construcción de una presa.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Apoyar las labores técnico – administrativas que se desarrollen alrededor del proyecto de regulación del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar el seguimiento de las actividades que se vienen desarrollando en cuanto a la entrega por parte de la firma consultora de los estudios y diseños fase 2 del proyecto.
- Actualizar y organizar la información relacionada con el proyecto de regulación del rio Tona – Embalse de Bucaramanga.
- Verificar que la información física y digital entregada por el consultor, sea la referenciada por la empresa contratada y la solicitada por el amb.
- Implementar un modelo para referenciar y diferenciar los diferentes tipos de informes y tener acceso fácil a la información que ellos contienen.

### **OBJETIVO DEL APORTE**

- Elaborar un manual que le permita al estudiante de ingeniería o personas interesadas, tener un conocimiento más a fondo sobre lo multidisciplinario que resulta un megaproyecto y conocer los requisitos y estudios necesarios para la construcción de una presa.

## **1. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

### **1.1 JUSTIFICACION**

Siendo el agua fundamental para todas las formas de vida conocida y ante la escases del recurso hídrico, regular el caudal de un río o arroyo, almacenando el agua de los períodos húmedos para utilizarla durante los períodos más secos para el riego, el abastecimiento de agua potable o la generación de energía eléctrica, mediante la construcción de una presa, debe despertar en el ingeniero civil, el mayor interés y la mayor curiosidad por conocer a fondo este tipo de proyectos, ya que está contribuyendo con su formación profesional, ética y moral a consolidar una sociedad sostenible para las actuales y futuras generaciones, liderando proyectos que permitan regular y evitar el desperdicio del preciado liquido.

El amb es una empresa que desde 1916 vela por la prestación del servicio de agua potable en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón y se ve la preocupación y el compromiso de ésta, por la ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable para el área metropolitana que le permita al amb lograr la sostenibilidad del servicio de acueducto en el largo plazo.

De aquí la necesidad de conocer más a fondo el proyecto de regulación del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga, el porqué de su concepción, estudios previos y necesarios que requiere la construcción de una presa de 110 metros de altura que traerá beneficios incalculables a la población de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón hasta el año 2032, de igual forma hacer ver a la Universidad la importancia de incursionar en este tipo de proyectos e inculcar en el estudiante la búsqueda de soluciones mediante obras civiles que no solamente traigan beneficio económico propio, si no que aporten a la conservación del medio ambiente.

Por esta razón como aporte se ofrecerá a la universidad y a las instituciones interesadas un manual en donde se recopila los estudios básicos para llevar a cabo la construcción de una presa.

## **1.2 ALCANCE**

Se pretende con este proyecto dar a conocer las diferentes actividades realizadas al desempeñar la labor de auxiliar del director del proyecto de regulación del río Tona - Embalse de Bucaramanga, para asistir en las labores técnico – administrativas a nivel organizacional que se desarrollan alrededor del proyecto, también adquirir conocimiento sobre la formulación, proyección, organización y planeación de una obra de ingeniería tan grande e importante como lo es la presa del río Tona, por esta razón, la necesidad de elaborar un manual que ilustre y deje ver al estudiante y/o personas interesadas, la magnitud y la gran cantidad de estudios que se tienen que hacer, para poder llevar a cabo la construcción de una presa.

## **1.3 ANTECEDENTES**

Bucaramanga, capital del Departamento de Santander, está localizada sobre una meseta en el noreste del país, sobre la Cordillera Oriental a 996 m.s.n.m. El área metropolitana de Bucaramanga incluye los municipios de Girón, Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga y cuenta con una población cercana a 1´060.000 habitantes de acuerdo a datos del último censo.

El sistema actual del acueducto del Área Metropolitana de Bucaramanga toma las aguas de los ríos Suratá, Tona y Frío con una capacidad de tratamiento de 2000, 1400 y 600 litros por segundo respectivamente. La primera fuente suministra el agua al sistema por medio de bombeo y las dos últimas fuentes corresponden a sistemas por gravedad.

La capacidad instalada de tratamiento de agua que actualmente tiene el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, “amb”, es de 4.0 m<sup>3</sup>/s, discriminados de la siguiente forma:

**TABLA 1 Capacidad de tratamiento de agua del amb**

<b>FUENTE</b>	<b>PLANTA DE TRATAMIENTO QUE ALIMENTA</b>	<b>CAUDAL (L/S)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1. Río Tona alto (quebradas arnania, carrizal y golondrinas)	LA FLORA	1000	Alimentación por gravedad a las plantas de la zona (1195msnm) y morrorrico (1081msnm)
	MORRORRICO	400	
2. Río Surata	BOSCONIA	2000	Alimentación por bombeo
3. Río Frío	FLORIDA BLANCA	600	Alimentación por gravedad
	TOTAL	4000	

El río Surata suministra el agua por medio de un sistema de bombeo y los ríos Tona y Frío corresponden a sistemas por gravedad. En un futuro la planta de Morrorrico saldrá de funcionamiento, y la planta de La Flora asumirá tal tratamiento, quedando esta última con una capacidad de tratamiento de 1.4 m<sup>3</sup>/s.

El embalse de Bucaramanga se ha previsto como un embalse para suplir las deficiencias de las captaciones actuales del sistema, incrementando su confiabilidad, principalmente para las épocas más fuertes de los veranos, cuando las tomas a filo de agua no son capaces de captar el agua requerida de diseño para las plantas de tratamiento respectivas.

La Empresa contrató en 1995 un estudio de prefactibilidad para la ampliación del sistema de abastecimiento, que presentó como alternativas el aprovechamiento de los ríos Manco, Oro y Hato, pertenecientes a la cuenca del río Magdalena, y las quebradas Piedras Blancas, Umpalá y Guayabales en el Altiplano de Berlín, pertenecientes a la cuenca del río Arauca. El aprovechamiento de estos ríos garantizaría el abastecimiento de agua potable hasta el año 2005.

Los estudios mencionados fueron complementados en el año 2004 con los Estudios de Geología y Geotecnia para la Factibilidad de Regulación del Río Tona en el Sector de Puente Tona, los cuales básicamente mostraron la conveniencia

de la construcción de una presa y un embalse sobre dicho río en cercanías a su desembocadura al río Suratá.

Como complemento a los estudios de factibilidad mencionados, el AMB, contrató en el año 2007, los Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga, en el río Tona, los cuales determinarán el tipo de presa adecuado, la planta de tratamiento, el sistema de aducción, conducción y distribución, con el fin de garantizar el abastecimiento de agua potable al Área Metropolitana de Bucaramanga hasta el año 2032.

#### **1.4 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO DE REGULACION DEL RIO TONA – EMBALSE DE BUCARAMANGA**

La localización general del proyecto se presenta en la Figura No 1, que hace parte del presente apéndice. Para efectos de su estudio, entendimiento, desarrollo y ejecución, el Proyecto *“Regulación Embalse de Bucaramanga”*, está dividido en dos componentes, a saber:

##### **1.4.1 COMPONENTE I**

El Componente I, incluye el cuerpo de la presa propiamente dicha y sus obras complementarias, tales como el sistema de desviación temporal del río durante la construcción de la presa; el sistema de la descarga de fondo; el sistema de la captación del aprovechamiento; el sistema del vertedero de excedencias (rebosadero); vías de acceso, parte de las cuales sustituirán los tramos de la vía veredal existente que será inundada por el embalse; la tubería de aducción con su correspondiente estructura de regulación y control de caudales en la llegada a la Planta los Angelinos; instrumentación geotécnica de las obras; e instrumentación para el control y operación de los equipos de la presa y de la tubería de aducción, líneas de transmisión y subestación para suministro de energía requerida durante construcción y operación; y las obras para mitigación de impacto ambiental.

### **Características aproximadas de la presa proyectada:**

- Altura del relleno desde la cimentación 110 m
- Cota del relleno en la cresta 888 msnm
- Ancho de la cresta 10 m
- Longitud de la cresta 250 m
- Volumen de excavación 37.000 m<sup>3</sup>
- Volumen de relleno de la presa 1.409.000 m<sup>3</sup>
- Volumen de concreto dental 500 m<sup>3</sup>
- Volumen de de concreto 9.800 m<sup>3</sup>
- Volumen de la losa perimetral (plinto) 1.750 m<sup>3</sup>
- Espesores de la cara de concreto Entre 0.30 m y 0.60 m
- Volumen del parapeto 2.130 m<sup>3</sup>
- Pendientes de los taludes 1.5H:1.0V aguas arriba
- 1.4H:1.0V aguas abajo

**Localización:** El sitio seleccionado para la presa, está localizado en el municipio de Bucaramanga en la vereda Retiro Grande, sobre la cuenca baja del río Tona, a unos 580 m aguas arriba de la confluencia del río Tona con el río Suratá en el sitio conocido como Puente-Tona, sobre la carretera Bucaramanga - Matanza.

Mediante el emplazamiento de esta presa, cuya fundación se localiza aproximadamente en la cota 785 msnm, y con una altura de unos 103 m, se planea generar un embalse de unos 17,6 millones de m<sup>3</sup> de capacidad, que permitirá almacenar los caudales excedentes de invierno del Río Tona para ser utilizados en épocas de estiaje.

Con el propósito de complementar las obras de este componente y para cumplir con los objetivos del Proyecto, se construirá a partir del nuevo embalse una tubería de Aducción de agua cruda de unos 4000 m de longitud y 1150 mm (45") de diámetro equivalente, que alimentará con agua cruda la Planta de Tratamiento Los Angelinos para su respectiva potabilización. Adicionalmente esta tubería tendrá una entrega en ruta para la Planta de Bosconia (Existente), controlada

mediante una estructura de regulación y control de caudal, diseñada esta Última para entregar un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s.

La localización general de la presa y de sus obras complementarias, que conforman el Componente I, se presentan en la Figura No. 2, del presente apéndice.

#### **1.4.2 COMPONENTE II**

El Componente II incluye la Planta de Tratamiento de Agua Potable Los Angelinos, con capacidad de 1,2 m<sup>3</sup> por segundo y sus obras complementarias, tales como: el edificio de operación con todos sus equipos e instrumentos, tanque de contacto y tanques de Almacenamiento Módulos 1 y 2, Estación de cloración, bodegas exteriores de insumos y Estación de control eléctrico, las vías de acceso y obras exteriores, la Planta de Lodos compartida con la PTAP Bosconia, y la tubería de Conducción de agua tratada que va desde la futura planta de tratamiento Los Angelinos hasta el Tanque Girón Mayor, este último localizado en el municipio de Girón, con longitud de 15.755 m, que garantizará el suministro por gravedad del tanque Ferrovías que surte los barrios del norte de Bucaramanga, los desarrollos nuevos y existentes en el anillo vial Café Madrid – El Palenque y todos los distritos del Municipio de Girón.

**Localización:** Esta Planta se localizará en la vereda Los Angelinos, en la llamada “Cuchilla Pajitas”, una terraza natural ubicada a unos 600 m al Noroeste de la Planta Bosconia, con elevaciones que van desde la cota 820 m.s.n.m hasta 850 m.s.n.m, las cuales no generan pendientes mayores de 30°. El nivel del agua en la cámara de llegada a la planta se proyecta en la elevación 837 m.s.n.m. y la elevación del fondo del tanque de almacenamiento se proyecta en la 828, 20 m.s.n.m.

Las elevaciones del nivel del embalse útil, el cual estará aproximadamente entre las cotas 840 y 886 msnm, permiten proyectar la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Los Angelinos”, que suministrará agua por gravedad a las zonas norte y

occidental del Área Metropolitana de Bucaramanga incluyendo el Municipio de Girón, logrando de esta manera una disminución importante en los costos de operación del bombeo de Bosconia.

El agua tratada deberá ser conducida desde la planta Los Angelinos hasta el tanque Girón Mayor en la elevación 774 msnm por medio de una conducción principal con longitud de 14.627.10 metros con diámetro de 33" a 18", y entregas en ruta al tanque Ferrovías con 350 mm (14") de diámetro y 214.34 m de longitud y al tanque la Esmeralda con 250 mm (10") de diámetro y 913.31 m de longitud, para un total de 15755 metros.

La localización de las obras del sistema del Componente II, se presentan en la Figura No. 3, del presente apéndice y la Tubería de Conducción en la Figura No.4.

La información relacionada con la Planta de Tratamiento y la conducción se presenta en el cuarto de datos en los siguientes documentos:

- 243-IN-C06 – RF Informe Final Volumen 2 Aducción. Conducción y Planta de Tratamiento Mayo de 2008

## **1.5 INFORMACION DE ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2 DEL PROYECTO**

Como complemento a los estudios de factibilidad mencionados, el amb contrató en el 2007, los Estudios y Diseños Fase 2 para el Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga, los cuales determinaron el tipo de presa adecuado, la configuración general de las obras del aprovechamiento; la tubería de aducción de agua cruda; la planta potabilizadora y el sistema de conducción de agua tratada, con el fin de garantizar el abastecimiento de agua potable a la parte norte y occidental de la meseta de Bucaramanga y al Municipio de Girón, hasta el año 2032.

## **CUARTO DE DATOS**

En el cuarto de datos del proyecto se encuentra a disposición de los proponentes la documentación elaborada como parte de los Estudios Y Diseños Fase 2 para la presa y sus obras anexas. Durante la Fase 2 de los Estudios el consultor recomendó una presa de enrocado y cara de concreto, y en consecuencia los planos de la presa y sus obras anexas corresponden a esta solución.

En el cuarto de datos se incluyen siete (7) tipos de documentos a saber:

- Informes de Desarrollo de los Estudios y Diseños Fase 2: Son Cinco
- Memorandos técnicos Fase 2: son once
- Informe Final Estudios y Diseños Fase 2
- Informe Final Estudios y Diseños Fase 3 - conducción
- Informes Varios
- Actualización de Estudios Ambientales
- Informe Diseños Fase 3 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Los Angelinos y del Sistema de Tratamiento de Lodos de las plantas Los Angelinos y Bosconia.

A continuación se presenta la lista detallada de cada uno de los documentos mencionados:

### **1.5.1 INFORMES DE DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2**

Durante la Ejecución de los Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto De Regulación Embalse de Bucaramanga se presentaron cinco informes numerados del 1 al 5, identificados como se indica en la tabla 2. El orden de presentación de estos informes mostraba el grado de avance de las diferentes actividades del proyecto a medida que éste se desarrollaba.

**TABLA 2 Informes de desarrollo**

<b>INFORME N°</b>	<b>CODIGO DEL DOCUMENTO</b>	<b>FECHA</b>	<b>TITULO</b>
1	243-IN-ICO1-R0	MARZO 2007	Trabajos de Exploración Geológica, Geotécnica Y De Cartografía Y Topografía
2	243-IN-ICO2-R0	ABRIL 2007	Resultados de la Evaluación y Análisis de los Estudios de Hidrología, Clima y Sedimentos, Sísmica, Riesgos y Ambiental del Sistema de Regulación y para la Planta de Tratamiento y Sistema de Distribución.
3	243-IN-ICO3-R0	MAYO 2007	Evaluación Técnico- Económica de las Alternativas de los Sistemas de Regulación, Tipos de Presas y Obras Anexas, de las Alternativas de Localización y Tipos de Planta de Tratamiento y de Redes o Sistemas de Conducción y Distribución.
4	243-IN-ICO4-R0 VOLUMEN 1 DE 5	JUNIO 2007	Informe de Diseño (Fase 2)
	VOLUMEN 2 DE 5	JUNIO 2007	Informe de Diseño - Anexos
	VOLUMEN 3 DE 5	JUNIO 2007	Cantidades de Obra y Presupuesto
	VOLUMEN 4 DE 5	JUNIO2007	Especificaciones Técnicas
	VOLUMEN 5 DE 5	NOVIEMBRE 2007	Planos
5	243-IN-ICO5-R1 VOLUMEN 1 DE 2	SEPTIEMBRE 2007	Informe de Diseño Sistemas de Conducción y Distribución y Planta de Tratamiento.
	VOLUMEN 2 DE 2		Planos

## 1.5.2 MEMORANDOS TÉCNICOS

Los Memorandos técnicos se refieren a la presa y sus obras complementarias y se produjeron durante la fase 2 de los Estudios y Diseños en la medida en que la información se iba consolidando.

En la tabla 3 se presenta la lista de Memorandos Técnicos con sus títulos correspondientes.

**TABLA 3 LISTA DE MEMORANDOS TÉCNICOS**

<b>MEMORANDO TÉCNICO Nº</b>	<b>CODIGO DEL DOCUMENTO</b>	<b>FECHA</b>	<b>TITULO</b>
1	243-IN-MT 01-RO	Mayo 2008	Geodesia, Cartografía y Topografía
2	243-IN-MT 02-RF	Mayo 2008	Geología, Geotecnia, Sísmica y Fuentes de Materiales
3	243-IN-MT 03-RF	Mayo 2008	Informe de Hidrología y Sedimentos del Embalse
4	243-IN-MT 04 RF	Mayo 2008	Estimación de Infiltraciones
5	243-IN-MT 05 RF	Mayo 2008	Aspectos Hidráulicos
6	243-IN-MT 06 RF	Mayo 2008	Diseño de la Presa
7	243-IN-MT 07 RF	Mayo 2008	Sistema de Desviación
8	243-IN-MT 08 RF	Mayo 2008	Obras Anexas
9	243-IN-MT 09 RF	Mayo 2008	Vías de la Presa
10	243-IN-MT 10 RF	Mayo 2008	Ingeniería y Riesgos
11	243-IN-MT 11	Mayo 2008	Guía de Estudios y Diseños Fase 3 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga

### 1.5.3 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2

Este informe consta de cuatro volúmenes, en los cuales se describen las actividades desarrolladas durante los Estudios y Diseños Fase 2, con sus resultados, conclusiones y recomendaciones para la ejecución de los Estudios y Diseños Fase 3.

El contenido general de estos volúmenes se presenta en la tabla 4

**TABLA 4 INFORME FINAL DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2**

<b>INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 2</b>	<b>DOCUMENTO N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>TITULO</b>
VOLUMEN I	243-IN-IC06-RF	MAYO 2008	Presa y Obras Complementarias
VOLUMEN I	243-IN-IC06-R0	SEPTIEMBRE 2007	Anexos Presa y Obras Complementarias
VOLUMEN II	243-IN-IC06-RF	MAYO 2008	Aducción, Conducción y Planta de Tratamiento
VOLUMEN II	243-IN-IC06-R0	SEPTIEMBRE 2007	Anexos Aducción, Conducción y Planta de Tratamiento
VOLMEN III	243-IN-IC06-RF	MAYO 2008	Cantidades de Obra y Presupuesto
VOLUMEN IV	243-IN-IC06-RF	MAYO 2008	Planos

### 1.5.4 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 3

El Informe Final de los Estudios y Diseños Fase 3 se presenta en los volúmenes, en los cuales se incluyen los resultados, conclusiones y recomendaciones de las

actividades ejecutadas durante la Fase 3 de los Estudios y Diseños relacionados con la Planta de Tratamiento de Lodos y la Tubería de Conducción entre la Planta Los Angelinos y el Tanque Girón Mayor.

En la tabla 5 se presenta el contenido general de este informe.

**TABLA 5 INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 3**

<b>INFORME FINAL ESTUDIOS Y DISEÑOS FASE 3</b>	<b>DOCUMENTO N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>TITULO</b>
VOLUMEN I SON 10 TOMOS	243-IN-IC07	DICIEMBRE 2008	Planta de Tratamiento Los Angelinos
VOLUMEN II	243-IN-IC07	DICIEMBRE 2008	Planta de Tratamiento de lodos
VOLUMEN III	243-IN-IC07	DICIEMBRE 2008	Tubería de Conducción
VOLUMEN IV	243-IN-IC07	DICIEMBRE 2008	Planos de la Conducción

### **1.5.5 INFORMES VARIOS**

En este tipo de informes se incluyen aquellos informes sobre aspectos específicos que ameritan un tratamiento por separado.

A continuación se presenta la lista de informes varios que se encuentran en el cuarto de datos.

- Informe del Panel de expertos en presas: Jesús María Sierra M y Fabio Villegas G, sobre la selección del tipo de presa. Visita de abril 14 y 15 de 2008.

- Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga Informe de galerías de exploración Estribos de la Presa. Documento 243-IN-IG01-R0. Abril de 2008
- Estudios y Diseños Fase 2 y 3 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Informe general de las actividades de Perforación Ejecutadas en el proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Documento 243-IN-EP01-R0. Octubre de 2008.
- Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Informe de Diseño Conceptual de la Planta de Tratamiento de lodos, para las Plantas Los Angelinos y Bosconia. Documento 243-IN-IG01-R0. Mayo de 2008.
- Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Alternativas de vía de acceso a la Planta de Tratamiento Los Angelinos. Diciembre de 2008. Diciembre de 2007.
- Estudios y Diseños Fase 3 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Informe Final geología de la Conducción. Documento 243-IN-IC06-R0. Mayo de 2008.

### 1.5.6 ESTUDIOS AMBIENTALES

Los Estudios Ambientales se pueden consultar en el cuarto de datos e incluyen los siguientes documentos:

- Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto de Regulación Embalse de Bucaramanga. Actualización Estudio de Impacto Ambiental. Documento 243-IN-AEIA-R1. Mayo 2008.
- ✓ **TOMO I:** Contiene del capítulo 1 al capítulo 8
- ✓ **TOMO II:** Contiene del Capítulo 9 al capítulo 11, la bibliografía y los Anexos

✓ **TOMO II:** Planos

### **1.5.7 INFORME DISEÑOS FASE 3 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LOS ANGELINOS Y DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS DE LAS PLANTAS LOS ANGELINOS Y BOSCONIA**

El informe relacionado con los diseños detallados de la planta Los Angelinos y la planta de Tratamiento de Lodos de las Plantas Los Angelinos y Bosconia se presenta en 10 volúmenes, cuyo contenido general es el siguiente:

- **Volumen I:** Informe final de cálculo y diseño estructural de la planta de tratamiento de agua potable Los Angelinos.
- **Volumen II:** Especificaciones técnicas del sistema eléctrico y sistema de control, supervisión e instrumentación de la planta de tratamiento de lodos Angelinos-Bosconia.
- **Volumen III:** Especificaciones técnicas del sistema eléctrico y sistema de control, supervisión e instrumentación de la planta de tratamiento de agua potable Angelinos.
- **Volumen IV:** Planos generales de la planta de tratamiento de agua potable Angelinos.
- **Volumen V:** Planos arquitectónicos de la Planta de tratamiento de agua potable Los Angelinos.
- **Volumen VI:** Planos estructurales de la Planta de tratamiento de agua potable Los Angelinos
- **Volumen VII:** Planos hidráulicos
- **Volumen VIII:** Planos eléctricos de la Planta de tratamiento de agua potable Los Angelinos.
- **Volumen IX:** Tanque de contacto - Cantidades de obra (acero - concreto)
- **Volumen X:** Diseño sistema de tratamiento de lodos de las PTAP de Angelinos y Bosconia (Pendiente).

## **1.6 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE PRÁCTICA**

### **CONTEXTUALIZACION DEL ENTORNO LABORAL**

Al iniciar la práctica, me entreviste con el Ing. Álvaro Prada quien sería mi jefe en el amb, en conjunto definimos lo que sería mi labor como practicante y las tareas que debía desarrollar. También por parte de él, recibí una ilustración de lo que es el proyecto de regulación del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga, sus inicios, el avance del proyecto, los estudios que se han realizado y el cronograma de actividades por desarrollar.

Recibí información sobre el funcionamiento del amb como empresa, como está organizada jerárquicamente, los horarios a cumplir y se definieron los permisos necesarios para cumplir con mis obligaciones como estudiante en la Universidad Industrial de Santander.

### **ASIGNACION DE TAREAS PARA DESARROLLAR DURANTE EL PERIODO DE PRÁCTICA**

Al iniciar la práctica, el proyecto se encontraba en una etapa crucial, por un lado, la consecución de recursos para su ejecución, de esta manera, el departamento de Santander solidariamente se vinculo con tan importante causa y apporto 10.000 mil millones de pesos, debido a esto se inicio el proceso de presentar el proyecto en la gobernación para que fuera evaluado y se le diera la viabilidad para el posterior desembolso del dinero.

Por otro lado la empresa consultora contratada para desarrollar los diseños y estudios fase 2 del proyecto, próxima a terminar su contrato se encontraba entregando los últimos informes al amb sobre el embalse y sus obras anexas.

Al ser estas dos actividades trascendentales para el embalse, el ingeniero Álvaro Prada, me encargo acompañar las labores que se adelantaban con la gobernación de Santander, en cuanto a la presentación del proyecto en dicha institución.

Por otro lado una necesidad que tenía el embalse era organizar el cuarto de datos, el cuarto de datos contiene toda la documentación de los estudios y diseños fase 2 del proyecto, este cuarto de datos es de vital importancia ya que es un requisito para los proponentes interesados en licitar; la adquisición del éste por un valor de \$40 millones de pesos. En ese orden de ideas, me fue asignada la labor de organizar el cuarto de datos, esta tarea consistía en elaborar una copia digital y una copia física impresa de toda la información de los estudios y diseños fase 2 del proyecto, revisando que toda la información estuviera completa y debidamente organizada, que todos los archivos estuvieran en buen estado, para así ser entregada a los proponentes que lo adquieran.

## **DESARROLLO DE LAS TAREAS**

### **Presentación del proyecto en la Gobernación De Santander**

Se presento el proyecto en la Gobernación de Santander, fue evaluado por dicha institución atendiendo las correcciones y sugerencias hechas, se le dio viabilidad y posteriormente se firmo el convenio entre el Departamento y el amb, en donde se hizo efectivo el aporte de 10 mil millones de pesos por la Gobernación de Santander.

### **Organización del cuarto de Datos**

Debido a la gran cantidad de información relacionada con los diseños y estudios fase 2 del proyecto, y teniendo en cuenta que el consultor relacionó 7 paquetes de documentos con información diferente, se procedió a revisar cada uno de los informes entregados por la firma contratada.

La revisión consistió en corroborar el buen estado de la información digital, que la información estuviera completa, que los planos y anexos estuvieran adjuntos a su respectivo informe, de igual manera se reviso y se creó una copia impresa de planos, anexos y documentos escritos para uso privado del amb. La información se clasifico en 7 tipos de documentos relacionados de la siguiente manera:

- Informes de Desarrollo de los Estudios y Diseños Fase 2 (Cinco volúmenes)
- Memorandos técnicos Fase 2 (once volúmenes)
- Informe Final Estudios y Diseños Fase 2 (cuatro volúmenes)
- Informe Final Estudios y Diseños Fase 3 – conducción (cuatro volúmenes)
- Informes Varios (seis volúmenes)
- Actualización de Estudios Ambientales (tres volúmenes)
- Informe Diseños Fase 3 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Los Angelinos y del Sistema de Tratamiento de Lodos de las plantas Los Angelinos y Bosconia. (diez volúmenes)

Teniendo en cuenta la gran cantidad de información repartida en siete tipos de informes, se decidió, asignarle un número a cada volumen, y un color a cada tipo de informe, logrando una organización clara de la información para su respectiva consulta.

En la siguiente figura se puede observar el cuarto de datos antes de su organización.

**Figura 1.**





Se puede ver claramente que los documentos se encuentran archivados en folders y que estos folders llevan en su caratula información que corresponde al tipo de informe, el numero del respectivo volumen, el titulo, y un código asignado por la firma que los elaboro, también allí aparece consignado el estado de revisión en que se encuentra el documento. La dificultad que se presentaba con el cuarto de datos, como se puede ver en las fotografías es que era difícil identificar la información debido a la gran cantidad de volúmenes y a que se utilizo un mismo formato para todos los tipos de informes.

En las siguientes figuras se puede observar el cuarto de datos organizado por colores que identifican los diferentes informes y enumerados todos los volúmenes

**Figura 2.**





Paralelamente se creó una cartilla que sirve de apoyo en el momento de consultar la información, dicha cartilla contiene la información que lleva cada uno de los volúmenes.

## **2. APOORTE – MANUAL DE REQUISITOS Y ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PRESA**

### **INTRODUCCION**

Las presas constituyen una de las obras de ingeniería de mayor importancia para el desarrollo de un país, en sus distintas finalidades: para regadío, abastecimiento, control de avenidas y producción de energía eléctrica (19% del suministro mundial), entre otros múltiples usos, como el almacenamiento de residuos mineros. El crecimiento económico está directamente relacionado con la construcción de presas, existiendo más de 45.000 grandes presas en todo el mundo (aquellas cuya altura es superior a 15 m o cuya capacidad de embalse supera los 3 millones de metros cúbicos). La escasez de recursos hídricos es una de las mayores necesidades a nivel mundial; más de mil millones de personas no disponen del agua mínima necesaria (50 l/persona/día), mientras que en los países industrializados se consume entre 4 y 14 veces la cantidad citada.

Los problemas medioambientales son uno de los temas más debatidos para descartar la construcción de nuevas presas. Algunos de los problemas a considerar en este ámbito son la colmatación de sedimentos y la salinización de suelos.

Otros factores medioambientales, como la erosión y pérdida de suelo, deslizamientos, sismicidad inducida, eutrofización, efectos climáticos, modificación de la dinámica fluvial, junto a los impactos sociales (40 millones de personas desplazadas en todo el mundo por causa de los embalses) y económicos, son objeto de la actual controversia entre las necesidades de recursos hídricos, el desarrollo sostenible y las consecuencias medioambientales.

De una u otra manera la construcción de presas para embalsar agua requiere de una metodología básica en cuanto a estudios y diseños que se debe tener en cuenta cuando se quiera llevar a cabo un proyecto de esta magnitud. A nivel general existen ciertas propuestas de los pasos y estudios para la construcción de una presa. En este manual se propone una serie de pasos y estudios a desarrollar cuando se quiere construir una presa, estos pasos y esta serie de estudios propuestos, han sido utilizados en la construcción de varias presas en Colombia, y fueron los que se utilizaron para el proyecto de regulación del Río Tona – Embalse de Bucaramanga.

Este manual consta de un primer paso que es la identificación de la región del proyecto, luego se presentan una serie de estudios básicos por desarrollar, seguido de la definición y la descripción del mismo, luego la evaluación de costos y beneficios del proyecto, la evaluación del impacto ambiental, el plan de contingencias que se debe implementar y por último el plan de abandono y restauración final.

## **2.1 REGION DEL PROYECTO**

Debe contener una descripción completa de las zonas de influencia del proyecto, con las variables de interés tanto para la caracterización del medio, como para la ingeniería del proyecto.

## 2.1.1 AMBIENTE FISICO – BIOTICO

### 2.1.1.1 HOYA HIDROGRAFICA

Se deben reunir todo lo datos disponibles respecto a las características de la cuenca.

Entre los más importantes se encuentran:

- Ubicación de la cuenca
- Longitud del río
- Ubicación de su nacimiento y Ubicación de su desembocadura
- Dirección de drenaje principal del río
- Área principal de drenaje y afluentes principales
- Pendiente de la cuenca

Importante obtener la información que se presenta a continuación

**Tabla 6. Características de la cuenca**

Parámetros relativos a la red hidrográfica	Orden
	Densidad de drenaje
	Pendiente media del cauce
	Localización y orientación
Parámetros de relieve	Elevación
	Elevación media
	Elevación mediana
	método de cuadrículas
	método de area-elevacion
	Pendiente media
Parámetros generales y de forma	Coeficiente de masividad
	Área
	Perímetro
	Longitud axial
	Ancho promedio
	Forma de la cuenca
Coeficiente de compacidad	

Se debe preparar un mapa del área que queda arriba del emplazamiento de la presa mostrando el sistema de drenaje, líneas de nivel si se han levantado, divisorias de drenaje, y las ubicaciones de todas las estaciones pluviométricas y de aforos. Los datos disponibles sobre los tipos de suelos, de lo que cubre el suelo, y el uso del terreno proporcionan valiosos datos para poder juzgar.

El ingeniero que haga el estudio de las crecientes debe hacer un recorrido de inspección sobre la cuenca para verificar las divisorias del área de drenaje y los datos sobre lo que cubre el suelo, y para determinar si se han concluido áreas que no son tributarias dentro de las divisorias de drenaje. El recorrido debe también incluir visitas a las cuencas vecinas si es que se prevé el uso de los registros de las cuencas vecinas en el estudio.

### **2.1.1.2 GEOMORFOLOGIA**

La información relacionada con las condiciones y procesos geomorfológicos de interés para la aplicación geotécnica incluye:

- Topografía.
- Elementos del relieve: valles, terrazas, laderas, escarpes, etc.
- Historia reciente y desarrollo del paisaje y del relieve y su relación con la geología.
- Origen, evolución y edad de los elementos geomorfológicos.
- Relación con la hidrogeología.
- Relación con los procesos geodinámicos internos y externos.
- Predicciones de procesos de erosión, hundimientos, movimientos de laderas, etc.

A todas las escalas deben ser representadas curvas de nivel.

Los aspectos geomorfológicos y la interpretación de la topografía son de gran importancia en lo referente a la caracterización física del territorio, y aportan información sobre procesos de inestabilidad y zonas inestables; los

emplazamientos y trazados de muchas de las obras de ingeniería están condicionados por estos factores.

### **2.1.1.3 PROCESOS EROSIVOS**

Cuando se van a llevar a cabo este tipo de proyectos es importante conocer si en la zona de influencia se presentan procesos erosivos.

Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glacial, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los seres vivos.

El material erosionado puede ser:

- Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.
- Suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.

Si se presenta este proceso en la zona de influencia se deben estudiar las causas que la producen y qué tipo de erosión es, identificar si es erosión progresiva, acelerada, por agua o erosión fluvial, erosión marina, erosión glacial, erosión eólica, erosión kárstica, o erosión biótica, e implementar acciones para reducirla.

### **2.1.1.4 DINAMICA FLUVIAL**

Para este tipo de proyectos se debe analizar desde el punto de vista de la dinámica fluvial, cómo influye el modelado que el agua genera sobre la superficie

de la tierra, es importante destacar la actividad de los ríos en todo el trayecto que destina en su recorrido.

La geomorfología fluvial es el resultado del modelado que sobre la superficie terrestre ejercen los cursos de agua: ríos y quebradas, y la principal fuente de agua y sedimentos de estos cursos es el agua de escorrentía.

Cuando se analizan los eventos que influyen en el modelado, se debe tener en cuenta la influencia de la dinámica fluvial, cuando se tiene una alta velocidad, se tiene una alta competencia (capacidad de transporte).

La dinámica fluvial está relacionada con los eventos de erosión, transporte y depositación. Los factores inherentes a los tamaños de partículas, a su gravedad, relacionados con la velocidad del caudal son los que determinan que ocurra o no un arrastre de partículas.

Para que un flujo de agua se dé, son necesarios dos factores importantes:

- Que exista un evento de aporte de agua.
- Que la naturaleza o la dinámica proporcione un espacio por donde correr.

Según esto se pueden distinguir tres elementos en la formación de un cauce:

- 1. Cuenca de recepción:** Es la zona que aporta las aguas que finalmente conforman un cauce importante. Se caracteriza por ser una zona de pendiente fuerte, de alto aporte de sedimentos.
- 2. Canal de desagüe:** Es por donde transita normalmente el agua. Se forma por la dinámica normal debido a que el cauce en su movimiento labra su propio lecho, excepto en los casos en los cuales el terreno le imprime un control estructural. En esta zona cuando se establece un equilibrio entre la erosión y la sedimentación se establece lo que se denomina perfil de equilibrio. Según la

erosión y la interacción del cauce con su canal, se pueden establecer varios tipos de valles:

- Valles estrechos
- Valles rectos o alineados
- Valles de orillas muy amplias
- Valles amplios

**3. Cono de deyección:** Se presenta cuando un caudal encuentra una ampliación súbita en el área del canal, lo que obliga a disminuir su velocidad, disminuir su competencia (capacidad de transporte) y aumentar la sedimentación.

Según toda la dinámica que se genera podemos tener las siguientes geoformas fluviales:

- Abanicos aluviales
- Ríos anastomosados o trenzados
- Ríos meandricos - Meandros
- Ríos encañonados
- Islas Barreras: Móviles o fijas
- Terrazas aluviales
- Llanuras de Inundación
- Marmitas de Gigante
- Cerros Testigos
- Lagos Ox-bow
- Saltos

Algunos de los conceptos que se deben manejar para comprender la dinámica fluvial de la zona, son los siguientes:

- **Profundidad de flujo:** Distancia vertical del punto más bajo de la sección a la superficie libre del flujo.
- **Ancho superior:** Ancho de la sección del canal en la superficie libre.
- **Área mojada:** Área de la sección transversal.
- **Perímetro mojado:** Longitud lineal del contacto del flujo con el canal.
- **Radio hidráulico:** Relación entre el área mojada con el perímetro mojado.
- **Profundidad hidráulica:** Relación entre el área mojada y el ancho superior.
- **Lecho:** espacio que puede ser ocupado por el agua.
- **Lecho mayor o llanura de inundación:** Zona que queda completamente cubierta de agua en un evento de inundación.
- **Lecho ordinario o lecho aparente:** Zona bien determinada entre las orillas.
- **Lecho menor o canal de estiaje:** Zona por donde siempre circula el agua.
- **Meandro:** Trazado que se aparta sin motivo de su dirección de circulación, para luego volver a ella después de describir una pronunciada curva.
- **Delta:** Transición de un río con el mar. En esta zona se genera una fuerte acumulación de material debido a la diferencia de densidades que genera una disminución en la velocidad.
- **Terraza:** Superficie plana, testigo del lecho de inundación, que acaba en un borde abrupto.

#### 2.1.1.5 CLIMATOLOGIA

Es claro que la validez de los estudios de climatología parte de la información existente. Si no existen estaciones climatológicas dentro de la cuenca hidrográfica o en el área del embalse no es posible hacer un estudio más profundo y exacto en relación con la climatología en esta última zona, y ésta es una limitante de los datos.

Si existen se deben identificar las que se encuentren cerca al embalse y las que representen los parámetros climatológicos del área del embalse, y de ellas en lo posible obtener los siguientes datos:

- Precipitación mensual
- Precipitación máxima media mensual y anual en 24 horas
- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Evaporación de tanque clase a
- Evapotranspiración potencial
- Precipitación máxima anual en 24 horas

#### **2.1.1.6 HIDROLOGÍA**

Las investigaciones hidrológicas que pueden ser necesarias para el estudio de estos proyectos incluyen la determinación de lo siguiente: Aportación de la corriente, aportación del vaso, agua necesaria para el proyecto, sedimento que se depositará en el vaso, avenidas y condiciones del agua subterránea.

Se debe hacer la estimación más precisa posible del volumen de agua que exceda de la aportación a los derechos hidráulicos adquiridos con anterioridad como base del almacenamiento justificable. El agua almacenada en el vaso completará el gasto natural de la corriente durante los periodos que es insuficiente. La aportación segura del vaso será la cantidad de agua que puede entregarse sobre una base firme en el periodo crítico de las aguas mínimas con una capacidad determinada del vaso. Las capacidades del vaso y las aportaciones de seguridad pueden obtenerse de las curvas masa de la portación de la corriente natural en relación con las demandas fijas de agua o de los estudios detallados sobre la operación del vaso, dependiendo del detalle que se justifique en el estudio. La evaporación del vaso y otras pérdidas incidentales deben tomarse en cuenta antes de calcular las aportaciones netas del vaso.

Se deben determinar las cantidades de agua necesarias para todos los objetos considerados en el proyecto. Para el riego, se deben considerar las condiciones climáticas, tipos de suelos, tipos de cultivos, distribución de cultivos, eficiencia de riego y pérdidas por conducción, utilización de las aguas de retorno, etc. En los abastecimientos de agua municipal e industrial, debe considerarse el aumento previsto de la demanda durante la vida de la obra. Para energía, los factores que deben considerarse son las cargas requeridas y el aumento previsto para las mismas.

Los estudios del proyecto deben incluir estimaciones de las avenidas, porque son esenciales para la determinación de la capacidad del vertedor de demasías. Deben tomarse en cuenta las descargas anual mínima, a la media y las magnitudes de las avenidas relativamente comunes de frecuencias con intervalos de recurrencia hasta de diez años, porque su conocimiento es esencial para los fines de construcción tales como la derivación de la corriente, estudiar las protecciones con ataguías necesarias y para hacer el programa de operaciones.

Si los estudios de viabilidad son relativamente completos, la determinación de las avenidas se han de calcular para utilizarse en el estudio de viabilidad sin utilizar todos los datos disponibles, estos estudios deben revisarse cuidadosamente y aumentarse sus detalles antes de emprender el proyecto actual de la estructura. Con frecuencia, nuevos datos sobre avenidas se pueden obtener entre el tiempo en que se están haciendo los estudios de viabilidad y cuando se comienza la construcción. Cuando los cambios son importantes, se deben revisar los estudios de las avenidas y ponerse al día.

Los estudios del proyecto deben incluir los del agua subterránea, que pueden limitarse en su mayor parte a determinar el efecto del agua subterránea en los métodos de construcción. Sin embargo, en algunos casos, la situación del agua subterránea puede tener una influencia importante en la elección del tipo de presa que debe construirse y en las estimaciones del costo de las cimentaciones. Algunas veces se pueden obtener datos importantes en las investigaciones sobre las condiciones de cimentación.

Tan pronto como un proyecto parece posible, se toman providencias de acuerdo con las leyes de aguas del estado, para obtener una concesión sobre el uso del agua.

#### **2.1.1.7 GEOLOGIA**

Las investigaciones in situ para presas dependen tanto de las condiciones geológicas como del tipo de presa, sus dimensiones y estructuras auxiliares, debiendo adaptar en cada caso los reconocimientos a las condiciones del proyecto. Los criterios generales de investigación con respecto a la planificación de dichas actividades se efectúan en fases sucesivas de intensidad creciente.

Esta práctica, necesaria en todo proyecto de importancia, es indispensable en las presas.

La seguridad de las presas está directamente relacionada con las condiciones geológicas, por lo que el estudio geológico en todos sus aspectos es fundamental.

La investigación geológica debe asegurar que los factores geológicos o geotécnicos que pueden incidir en la seguridad de la presa sean suficientemente investigados y conocidos.

Para conocer la geología de la zona de influencia de la presa, es necesario tener o llevar a cabo las siguientes investigaciones in situ:

##### **Estudios previos y de factibilidad**

Su objeto es establecer la viabilidad de la presa según los siguientes criterios geológicos:

- Ausencia de riesgos geológicos significativos para la seguridad de la presa y el embalse.
- Condiciones geomorfológicas de la cerrada adecuadas para la posible construcción de la presa.

**Para esto es necesario:**

- Informe geológico hecho por un geólogo competente.
- Discusión de las formaciones geológicas, especialmente cuando exista caliza cavernosa u otras formaciones solubles, lava descubierta, grava descubierta, y depósitos glaciales de naturaleza permeable que puedan ser causa de filtraciones importantes.
- Observaciones sobre el nivel freático.
- Presencia de materiales perjudiciales y depósitos de sal.
- Fotografías mostrando las características del vaso y de los terrenos.
- Secciones transversales geológicas donde sean necesarias.

#### **2.1.1.8 SISMOLOGIA**

Si una presa queda en un área que esté sujeta a las sacudidas de los sismos, el proyecto deberá tomar en cuenta el aumento de las cargas y de los esfuerzos. Los tipos de estructuras que mejor se adaptan a resistir las sacudidas de los terremotos sin perjudicarse son las presas de tierra y las de concreto del tipo de gravedad.

En las zonas sísmicas, no debe elegir el tipo de presa ni el proyecto alguien que no tenga experiencia en este tipo de trabajo.

Para este trabajo se debe programar la realización de líneas de refracción sísmica en el área de la fundación de la presa, túnel de desvío y zona de préstamo de material aluvial.

Con las investigaciones de refracción sísmica se pretende:

- Conocer el subsuelo en forma de capas con espesores y caracterización aproximada del material.
- Conocer la forma del contacto entre capas.
- Correlacionar las capas geofísicas con la geología local.

Las zonas en las cuales se recomienda realizar los trazados de las líneas sísmicas son:

- **Zona de fuente de material:** Se pretende conocer el espesor de las diferentes capas de material del subsuelo y la profundidad a la que se encuentra el nivel de roca.
- **Depósitos de ladera:** Se pretende conocer el espesor del depósito para analizar zonas potencialmente inestables.
- **Línea transversal al eje de presa sobre el estribo izquierdo y derecho:** Se pretende determinar la profundidad del nivel de roca y la caracterización para escarificabilidad según velocidades. Además localizar posibles zonas de discontinuidad.
- **Eje de presa:** Se pretende conocer la profundidad del nivel de roca y la caracterización para escarificabilidad según velocidades. Además localizar posibles zonas de discontinuidad.
- **Túnel de desvío:** Se pretende determinar la profundidad del nivel de roca y la caracterización preliminar de sus propiedades. Además localizar posibles zonas de discontinuidad.

#### **2.1.1.9 SUELOS**

Para el ingeniero encargado del proyecto y de la construcción de cimentaciones y terracerías para presas, las propiedades físicas de los suelos, como el peso unitario, permeabilidad, resistencia al corte, compresibilidad, comportamiento con el agua, son de principal importancia.

Es conveniente disponer de un método patrón para identificar los suelos y clasificarlos en categorías o grupos que tengan propiedades técnicas en los gabinetes de proyecto y a los encargados del trabajo de campo hablar el mismo idioma, facilitando así el intercambio de datos y experiencias. El conocimiento de la clasificación de los suelos, incluyendo las propiedades técnicas específicas de los suelos de los diferentes grupos, es especialmente valioso para el ingeniero encargado de la búsqueda de materiales terrosos o de la investigación de la cimentación para las estructuras.

Es importante además de una clasificación correcta, una adecuada descripción del suelo en los informes o registros de exploración.

Es importante en el proyecto definir:

### **Componentes de suelos**

- Tamaño
- Granulometría
- Forma

### **Identificar las propiedades de los suelos**

- Grava y arena
- Limo y arcilla
- Materia orgánica

### **Características técnicas de los suelos**

- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Resistencia al corte

### **2.1.1.10 VEGETACION, FAUNA, ICTIOFAUNA Y CALIDAD DEL AGUA**

La metodología para la realización de los estudios de vegetación, fauna terrestre e ictiofauna, y calidad del agua, se sugiere hacer en tres fases:

- **Fase I:** Dentro de esta etapa se lleva a cabo la recopilación y análisis de información secundaria existente para la zona del proyecto. Adicionalmente se efectúa un reconocimiento de bases cartográficas actualizadas, fotos aéreas e imágenes de satélite pertinentes para el área de estudio.
- **Fase II:** Corresponde a la actividad de levantamiento de información en campo, la cual tiene como objetivo corroborar y complementar la información reportada en un posible estudio Ambiental anterior.

- **Fase III:** Corresponde al análisis de los resultados obtenidos en campo.

## **VEGETACION**

Es primordial realizar el estudio del Componente Florístico del área de influencia de la Presa.

Para esto se debe:

- Realizar muestreos de actualización y evaluación de la dinámica de crecimiento de la población forestal.
- Identificar y describir los principales tipos de vegetación presentes dentro del área de estudio.
- Determinar el estatus poblacional para definir el grado de vulnerabilidad o amenaza de la flora (introducidas, raras o endémicas, focales, invasoras), teniendo en cuenta los criterios UICN, CITES y libros rojos, además de la condición local de las poblaciones.
- Establecer el Plan de Aprovechamiento Único.

## **FAUNA**

- Realizar muestreos de actualización de la fauna en el área de influencia del proyecto.
- Identificar y describir los principales grupos de vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) presentes dentro del área de estudio.
- Establecer la composición y riqueza de la fauna existente del área de estudio, su valor ecológico, económico y/o cultural.
- Determinar el estatus poblacional para definir el grado de vulnerabilidad o amenaza de la fauna (introducidas, raras o endémicas, focales, invasoras), teniendo en cuenta los criterios UICN, CITES y libros rojos, además de la condición local de las poblaciones.

## **ICTIOFAUNA**

Con la finalidad de evaluar el recurso ictiológico existente en el río de influencia, se recomienda realizar faenas de pesca en tres zonas representativas de la parte de la corriente que va a ser objeto del represamiento.

Las tres zonas antes mencionadas corresponden a:

- Tramo 1: Futuro cauce seco
- Tramo 2: Zona de inundación
- Tramo 3: Cola del Embalse

Para el análisis de la información, se deben elaborar tablas donde se muestre la composición y estructura de las comunidades de especies encontradas en las tres estaciones de evaluación del recurso, para inferir la distribución de las poblaciones aguas arriba y abajo de la presa.

## **CALIDAD DEL AGUA**

El objeto de esta caracterización es conocer el estado actual de la calidad del agua del o de los ríos en estudio.

Otro objetivo es presentar información que permitirá establecer las bases para efectuar comparaciones de manera periódica acerca de las posibles modificaciones que puedan presentarse en el embalse durante su vida útil.

La información para realizar esta caracterización está basada en los reportes o inventarios de los ríos que se puedan obtener de los diferentes organismos o entidades de la región.

Se recomienda que sean mínimo tres los puntos de control escogidos para establecer la toma de muestras periódicas de calidad de agua para el análisis de laboratorio.

Para realizar el análisis y presentación de la información, se deben establecer como mínimo cinco (5) grupos de indicadores de la calidad del agua seleccionados para mostrar las características físico-químicas agrupadas por parámetros, cuyos valores representen procesos ecológicos que necesariamente influirán en la calidad del agua del embalse o de las aguas abajo del sitio de represamiento del río.

La evaluación de la calidad del agua se realiza comparando los resultados recolectados a través del tiempo, con las Normas Estatales que regulan la calidad del agua en el país, integrado de los grupos de parámetros, tal como se muestra a continuación:

- Grupo que mide la calidad del agua en cuanto a la presencia de materia orgánica de origen antrópico.
- Grupo para medir la calidad óptica, fue conformado por la turbiedad, color y los sólidos totales, suspendidos y disueltos.
- Grupo para medir el aporte alóctono de sustancias químicas y sales presentes en el agua, está compuesto por la alcalinidad, la dureza total, los cloruros, los sulfatos, hierro y sílice.
- El grupo que mide la calidad trófica o sobre-nutrición del hidrosistema por excesos de fertilizantes o elementos empleados en los cultivos para abonar los terrenos y también derivados de aportes orgánicos de las aguas de desecho doméstico (detergentes).
- Grupo que mide los compuestos peligrosos para la salud como son los metales pesados (Aluminio, Zinc, Cobre, Cianuro, Cadmio, Plomo y Mercurio) y los compuestos derivados de los plaguicidas organoclorados y organofosforados.

## **2.1.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

Si la Gestión Social durante la etapa de estudio, construcción y operación de la obra se desarrolla adecuadamente, puede dejar en la comunidad una “buena imagen” del proyecto y la empresa ejecutora, y para los ingenieros dueños del proyecto y/o encargados de los estudios, un análisis claro y profundo de los aspectos socioeconómicos y culturales, que son necesarios para implementar planes con la comunidad para que ésta se vea beneficiada.

Con el estudio de la parte socio - económica y cultural de la zona, se obtendrán datos y estadísticas como por ejemplo la infraestructura existente, actividades propias de la región, que serán valiosas para implementa planes de manejo con la comunidad con el fin de prevenir y saber manejar aspectos que se puedan presentar durante los estudios, operación y construcción del proyecto.

Algunos de los posibles cambios que se pueden presentar son:

- Cambio en la dinámica socioeconómica y cultural
- Generación de empleo
- Riesgo de conflictos con la comunidad
- Cambios en valorización predial
- Mejora de la infraestructura regional
- Mejora en la movilidad
- Riesgos de accidentalidad en trabajadores y pobladores

Por esta razón es importante determinar el area de influencia social de la zona.

### **2.1.2.1 ÁREA DE INFLUENCIA SOCIAL**

Para el Área de Influencia Social, se tienen en cuenta las áreas de uso social, económico y cultural asociadas a las comunidades asentadas cerca de las obras, o que se verán beneficiadas o perjudicadas indirectamente por el proyecto.

## **ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA SOCIAL (AID)**

El AID social, está conformada por las comunidades localizadas en la zona de inundación.

## **ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA SOCIAL (AII)**

Son las zonas que se beneficiaran del proyecto, ya sea por ejemplo recibiendo agua del embalse.

## **2.2 ESTUDIOS BASICOS**

Debe incluir, en cada uno de los aspectos siguientes u otros que se trabajen específicamente para el proyecto en cuestión, la presentación de objetivos y alcances, y resúmenes de información existente, metodología empleada, investigaciones realizadas y resultados obtenidos. Los detalles deben estar en los anexos respectivos.

### **2.2.1 CARTOGRAFIA, TOPOGRAFIA Y GEODESIA**

#### **OBJETIVOS Y ALCANCES**

El objetivo de la topografía en el diseño es obtener con mayor precisión amarres topográficos de cada zona de trabajo del Proyecto que se esté ejecutando. Dentro de los alcances del área de Geodesia, Cartografía y Topografía, se tiene la necesidad de hacer levantamientos de cada zona de trabajo del proyecto, que se pueden agrupar en: Zona de presa, Zona de planta de tratamiento y la Zona de conducciones y sus obras anexas. También las actividades topográficas dan apoyo a otras disciplinas complementarias, como lo son los estudios de refracción sísmica, las perforaciones del subsuelo, estudios ambientales, etc., que deben localizarse por medio de puntos de referencia.

## **INFORMACIÓN EXISTENTE**

Para los trabajos de topografía, cartografía, geodesia, geología y geomorfología se recomienda adquirir y revisar las ayudas técnicas disponibles en el mercado como imágenes, fotos satelitales, restituciones fotogramétricas, así mismo utilizar herramientas de información gratuita en Internet para realizar conformaciones reales del área del proyecto.

Es importante también revisar los estudios hechos anteriormente en la zona del proyecto para mirar que información existe y pueda ser útil, como por ejemplo:

**CARTILLAS DE BM:** Estos puntos identifican sitios donde existen mojones, elementos físicos que mantienen, según levantamientos de diversa índole elaborados anteriormente, coordenadas y cotas, a las cuales, se deben amarrar cualquier proyecto.

**CARTILLAS DE NP:** Los NP, son placas de bronce, que se ubican en sitios estratégicos en un determinado sector. Estos puntos, identifican sitios, donde existen mojones.

También es útil como mínimo obtener los siguientes mapas de localización y de los alrededores:

- Localización del proyecto
- Localización de las obras existentes afectadas por la obra propuesta
- Localización de carreteras, ferrocarriles, y otros servicios públicos y relocalizaciones propuestas
- Estaciones de aforo y de muestreo, estaciones meteorológicas, etc.

## **INVESTIGACIONES REALIZADAS**

Por lo general los proyectos de construcción de presas para embalses o generación de energía, son proyectos que durante años se han venido estudiando por diferentes actores interesados en ellos y por lo general son entidades públicas

o gubernamentales que velan por la prestación de los diferentes servicios públicos. De esta manera es importante tener en cuenta los estudios realizados anteriormente y que casi siempre son apoyados por entes estatales encargados de producir el mapa oficial y la cartografía básica del país; elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble; realizar el inventario de las características de los suelos; adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial; capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la Infraestructura de Datos Espaciales.

## **CARTOGRAFÍA, TOPOGRAFÍA Y GEODESIA PARA EL PROYECTO**

Para cumplir con los objetivos en el área de cartografía, geodesia y topografía, se deben realizar las siguientes actividades:

- **Visitas de campo:** las cuales se realizan para reconocer el área de trabajo y vías de acceso.
- **Actividades de oficina:** Donde se obtienen resultados comparables y definitivos.

Una vez se definen los sitios para levantar topográficamente, se tienen en cuenta los siguientes pasos:

- Se referencian los sitios por medio de testigos, mojones u otro elemento de identificación, se complementa la información con una nivelación y contra-nivelación de precisión.
- Se realiza una radiación por medio de una estación total y un prisma, a cada elemento de interés.
- Se determinan los sitios para colocar deltas y armar equipos.
- Se realiza el amarre topográfico por medio de traslado de coordenadas y cotas desde un BM conocido.
- Se realiza la materialización de deltas topográficos por medio de estacas, mojones, etc.
- Se construyen las carteras de campo, de cada zona involucrada

- Se trazan poligonales cerradas, que permitan, mediante un cálculo adecuado, obtener cierres altimétricos y planimétricos.
- Se realiza el trazado de radiaciones de todo accidente físico, sitio de interés y de importancia para el proyecto.
- Se elaboran carteras de oficina.
- Se elaboran los planos de planta y perfiles, detalles, etc.
- Se elaboraron informes.

Para la realización de los trabajos se debe contar con comisiones topográficas, que las conforman como mínimo un topógrafo profesional, un cadenero N° 1, un cadenero N° 2 y un auxiliar de topografía.

La localización del proyecto debe hacerse figurar en un mapa general, los levantamientos deben extenderse más allá de los límites del vaso del vaso o presa, para que incluyan los derechos de vía, cambios de localización de los servicios, campamentos y zonas de servicio, las secciones en el río deben obtenerse del eje de la presa a 2000 pies o más, aguas abajo, según requiera para las curvas del agua de descarga, estudios de degradación, cambios de canal, etc. La topografía debe levantarse a las entradas de los vasos donde los deltas formados por los sedimentos o los niveles del remanso son importantes.

La principal diferencia entre los levantamientos y mapas necesarios en la etapa de investigación de la viabilidad y para las especificaciones del proyecto es que, para los últimos, algunos detalles deben ser más completos y precisos para que contengan todos los datos necesarios para el proyecto definitivo de las estructuras.

## **2.2.2 HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS**

### **RED HIDROMETRICA EXISTENTE**

El análisis y valoración correcta de una red de observación hidrométrica puede dar una visión clara del recurso hídrico en su territorio, de tal manera que les permita planear una mejor distribución y gestión del mismo.

Es bien sabido que la información hidroclimatológica es un parámetro básico y absolutamente indispensable para estudios de ingeniería, y en la medida que se cuenta con más registros y de mejor calidad, se podrá tener mejores y más precisas respuestas a los parámetros básicos que se deben definir en un proyecto bien sea a filo de agua o de embalse, como el que acá se trata.

De esta manera es importante tener conocimiento de la red hidrométrica existente en la zona, y para esto se debe conocer el número de:

- Estaciones Pluviométricas
- Estaciones Climatológicas
- Estaciones Limnimétricas

Se sugiere tener presente las siguientes acciones:

1. Tener medidas de precipitación diaria en las estaciones pluviométricas del sistema.
2. Tener como mínimo dos estaciones pluviográficas de registro continuo en la hoya del río; una en la parte alta y otra en la parte media de la hoya.
3. Tener una estación climatológica en el sitio de presa o en la cola del embalse, con fluviógrafo de registro continuo, con termómetro de máximas y de mínimas, psicrómetro, tanque clase A de evaporación del USWB, y heliógrafo.

4. Llevar a cabo un arreglo y mantenimiento detallado de las estaciones limnimétricas actuales, con reemplazo y colocación de miras para todos los niveles de agua. Para ello, es indispensable que se cuente con un sistema de tarabita en todas las estaciones, de tal manera que se puedan llevar a cabo aforos líquidos para periodos de creciente.
5. Tener instalados máxímetros en las estaciones limnimétricas.
6. Tener medidas sistemáticas de aforos líquidos en las estaciones limnimétricas.
7. Hacer medidas sistemáticas de lecturas de mira en las estaciones limnimétricas en tres (3) horas del día: 6 am, 12 m y 6 pm.
8. Tener una estación del tipo limnigráfica en la cola del embalse.
9. Tener un programa detallado de toma de muestras sedimentos en suspensión en las estaciones limnimétricas del sistema, con muestreador integrado en la profundidad, con aparato del tipo USD-49.
10. Acometer el procesamiento adecuado y sistemático de la información.
11. Llevar a cabo análisis periódicos de consistencia de datos de caudales por medio de la metodología de dobles masas.
12. Instalar el sistema de instrumentación y red de telemetría hidrometeorológica que se presenta en el Párrafo 2.5 a continuación.

## **CAUDALES MEDIOS**

El conocimiento de los caudales medios mensuales multianuales permitirá establecer, junto con el volumen del embalse escogido, el grado de regulación requerido para obtener un caudal aprovechable, con una confiabilidad dada, así mismo permitirá establecer los tiempos de llenado inicial del embalse considerando diferentes fechas para el cierre del túnel de desvío y diferentes escenarios probables de la hidrología.

## **CAUDALES DE CRECIENTES.**

Para el diseño de la presa y sus obras anexas tales como el sistema para manejo del río durante la construcción de la presa y del vertedero para permitir el paso de

las crecientes por encima de la presa en forma segura, es necesario conocer la magnitud de las crecientes para diferentes periodos de retorno. En principio se requieren las crecientes con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, y 10000 años y la Creciente máxima probable (CMP). Esta última se utilizará para el diseño del vertedero. Cada creciente debe quedar definida en términos de un hidrograma, caracterizado por: la forma del hidrograma, el caudal pico, la duración y el respectivo volumen.

El diseño del sistema de desviación está íntimamente ligado con el concepto de riesgo hidrológico y en el que intervienen la magnitud de la creciente asociada con un periodo de retorno, las dimensiones del túnel y la altura de la ataguía.

La determinación de la creciente máxima probable (CMP) reviste una gran importancia para el diseño del vertedero de la presa. Ante la presencia de tal evento extraordinario la presa debe ser capaz de manejar dicho caudal, una vez transitado por el embalse, en forma segura. De acuerdo con la comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), esta última condición es mandatoria cuando se trata de una presa alta, con una población urbana importante. En estas condiciones tan extremas se debe asegurar la estabilidad de la presa y durante el paso de la creciente, aceptándose algún grado de fallas menores como erosiones en el cauce pero que de ninguna manera comprometan la seguridad de la presa.

## **SEDIMENTOS**

En un proyecto cuyo objetivo es la construcción de una presa para crear un embalse para almacenamiento de agua, los estimativos del volumen de los sedimentos que cada año pudiesen llegar al embalse es muy importante, el volumen del embalse que será ocupado por los aportes totales de sedimentos depende de la densidad de los depósitos de sedimentos y de la eficiencia de retención del embalse.

Este estimativo de volumen será útil para establecer, entre otros, los siguientes aspectos:

- Volúmenes anuales de sedimentos, incluyendo sus características granulométricas y mineralógicas.
- Cálculo del volumen muerto del embalse.
- Patrón de depositación de los sedimentos dentro del embalse y su evolución en el tiempo.
- Capacidad de retención.
- Vida útil del embalse.
- Políticas para disminuir la erodabilidad de la cuenca.
- Sistemas para prevenir la llegada de sedimentos al embalse mediante la construcción de pequeñas presas de retención de sedimentos.

Un factor muy importante en la sedimentación de los depósitos es la derivación de la distribución de sedimentos o forma que toma la sedimentación dentro del vaso. Generalmente los mismos factores que afectan las eficiencias de sedimentación tienen también influencia en la forma de la distribución.

### **EFICIENCIA DE RETENCIÓN DEL EMBALSE**

La eficiencia de retención es el porcentaje de los sedimentos aportados que retiene el embalse. La eficiencia de retención depende primordialmente de las características de los sedimentos, de la relación entre la capacidad del embalse, y los aportes de caudal y de las condiciones de salida. La eficiencia de retención disminuye gradualmente a medida que disminuye la capacidad del embalse, por la acumulación de sedimentos. Para embalses de gran capacidad comparada con los aportes, la eficiencia de retención se considera como del 100 %.

### **PESO ESPECÍFICO DEL SEDIMENTO DEPOSITADO EN EL EMBALSE**

El peso específico de los depósitos de sedimentos en el embalse depende de las características del sedimento, del tiempo transcurrido desde su depositación, de la profundidad de sedimentos superpuestos y de la desecación de los sedimentos depositados durante los desembalses.

## **MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

El tiempo de colmatación del embalse puede aumentarse aún más construyendo zonas de retención de sedimentos en el río o tomando medidas para controlar la erosión en la hoya. Tales medidas prolongarían la operación adecuada del embalse. Por otra parte, una aceleración de la erosión reduciría los tiempos indicados.

Por eso es muy importante iniciar programas de control de producción y transporte de sedimentos sobre la hoya de las principales fuentes de sedimentos de la cuenca del río, mediante programas de reforestación, estabilización de taludes y presas de retención de sedimentos, estableciendo políticas de reducción de la erodabilidad de los materiales en la cuenca. Este programa deberá extenderse también a otras hoyas hidrográficas dentro de la cuenca que se observen deterioradas desde el punto de vista de producción de sedimentos. Es aconsejable que se haga un diagnóstico bien preciso de las hoyas hidrográficas y de las áreas específicas que exigen este tipo de tratamientos para control de producción sedimentos sobre la hoya.

## **OPERACIÓN DE LA DESCARGA DE FONDO PARA CONTROL DE SEDIMENTOS A PIE DE PRESA**

De ser necesario, se operará la descarga de fondo como control de sedimentos en vecindades de la presa, con el fin de crear un volumen libre de agua que siempre tenga posibilidad de llegar agua en vecindades de la toma de agua del proyecto, y que nunca se vaya a sedimentar.

## **CALIDAD DEL AGUA**

El objeto de esta caracterización es conocer el estado actual de la calidad del agua del o de los ríos en estudio.

Otro objetivo es presentar información que permitirá establecer las bases para efectuar comparaciones de manera periódica acerca de las posibles modificaciones que se puedan presentarse en el embalse durante su vida útil.

## **METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA**

La información para realizar esta caracterización está basada en los reportes o inventarios de los ríos que se puedan obtener de los diferentes organismos o entidades de la región.

Se recomienda que sean mínimo tres los puntos de control escogidos para establecer la toma de muestras periódicas de calidad de agua para el análisis de laboratorio.

Para realizar el análisis y presentación de la información, se deben establecer como mínimo cinco (5) grupos de indicadores de la calidad del agua seleccionados para mostrar las características físico-químicas agrupadas por parámetros, cuyos valores representen procesos ecológicos que necesariamente influirán en la calidad del agua del embalse o de las aguas abajo del sitio de represamiento del río.

La evaluación de la calidad del agua se realiza comparando los resultados recolectados a través del tiempo, con las Normas Estatales que regulan la calidad del agua en el país, integrado de los grupos de parámetros, tal como se muestra a continuación:

- Grupo que mide la calidad del agua en cuanto a la presencia de materia orgánica de origen antrópico.
- Grupo para medir la calidad óptica, fue conformado por la turbiedad, color y los sólidos totales, suspendidos y disueltos.
- Grupo para medir el aporte alóctono de sustancias químicas y sales presentes en el agua, está compuesto por la alcalinidad, la dureza total, los cloruros, los sulfatos, hierro y sílice.

- El grupo que mide la calidad trófica o sobre-nutrición del hidrosistema por excesos de fertilizantes o elementos empleados en los cultivos para abonar los terrenos y también derivados de aportes orgánicos de las aguas de desecho doméstico (detergentes).
- Grupo que mide los compuestos peligrosos para la salud como son los metales pesados (Aluminio, Zinc, Cobre, Cianuro, Cadmio, Plomo y Mercurio) y los compuestos derivados de los plaguicidas organoclorados y organofosforados

### **2.2.3. GEOLOGÍA Y GEOTECNÍA**

#### **METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS**

Los estudios geológicos y geotécnicos de presas se desarrollan en consonancia con las distintas fases del proyecto y construcción de una presa.

En la tabla 7, se muestra las fases y estudios geológicos - geotécnicos

#### **ESTUDIOS PREVIOS Y DE FACTIBILIDAD**

Su objeto es establecer la viabilidad de la presa según los siguientes criterios geológicos:

- Ausencia de riesgos biológicos significativos para la seguridad de la presa y el embalse (grandes deslizamientos, intensa carstificación, fallas activas en la cerrada zona de alta sismicidad, etc.).
- Condiciones geomorfológicas de la cerrada para la adecuada posible construcción de la presa.

#### **ESTUDIOS DE SOLUCIONES Y DE ANTEPROYECTO**

Los objetivos son aportar criterios para la selección del tipo de presa y la cerrada más adecuada, bajo el punto de vista técnico, económico y medioambiental (la cerrada es el lugar de emplazamiento de la presa).

**Tabla 7. Fases y estudios Geológicos - Geotécnicos**

FASES	ESTUDIOS GEOLÓGICOS- GEOTÉCNICOS	
ESTUDIOS DE VIABILIDAD Y DE ANTEPROYECTO	ESTUDIOS GEOLÓGICOS REGIONALES	Investigación geológica
		Impermeabilidad el vaso
		Estabilidad de las laderas
		Aterramientos y subsidencias
		Préstamos
	ESTUDIOS PREVIOS DE LAS CERRADAS	Estructura geológica
		Reconocimiento Geofísico
Permeabilidad		
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA CERRADA	Macizos Rocosos
		Suelos
	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	Resistencias y deformabilidad
		Permeabilidad
		Obras Auxiliares
Otros problemas		
DESVÍO DEL RÍO EXACVACIONES Y CONSTRUCCIÓN	ESTUDIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	Cartografía detallada
		Controles geofísicos
		Ensayos de resistencia y deformabilidad
		Ensayos de inyectabilidad
		Otros reconocimientos
		Archivo técnico de la presa
EXPLOTACIÓN	ESTUDIOS DE EVALUACIÓN	Primer llenado
		Situaciones de emergencia
		Resolución y Análisis de la seguridad
		Presas con archivo técnico deficiente
		Abandono de Presas

- Disponibilidad de materiales de construcción.
- Resistencia estabilidad y permeabilidad de la cimentación.
- Estabilidad de las laderas del embalse.
- Hidrogeología del embalse.

- Condiciones sismotectónicas.

## **ESTUDIO PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN**

Sus objetivos son aportar los criterios geológicos-geotécnico para el diseño de la presa y sus estructuras auxiliares, tratamientos del terreno y soluciones constructivas.

Los aspectos a estudiar son:

- Caracterización geotécnica detallada de la cimentación de la presa.
- Estudio geotécnico para el emplazamiento de las estructuras auxiliares.
- Estudio sísmico y neotectónico
- Tratamiento de mejora e impermeabilización.
- Recomendaciones constructivas.

## **CONTROL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN**

Su objetivo es verificar las condiciones geológicas encontradas durante la construcción, adaptar las soluciones de proyecto y controlar los tratamientos de mejora del terreno, desarrollándose los siguientes trabajos:

- Verificación de las condiciones de proyecto y adaptación a la obra.
- Seguimiento y control de los trabajos de excavación, cimentación y tratamientos del terreno.

## **SEGUIMIENTO DURANTE LA EXPLOTACIÓN**

Su objetivo es la observación y vigilancia del comportamiento del terreno y la presa durante su explotación, en particular:

- Interpretación geotécnica de los resultados de las medidas de instrumentación y auscultación durante el llenado del embalse y puesta en servicio de la presa.
- Control de filtraciones, subpresiones, movimientos en laderas y sismicidad inducida, entre otros.

## RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGACIONES IN SITU

Las investigaciones in situ para presas dependen tanto de las condiciones geológicas como del tipo de presa, sus dimensiones y estructuras auxiliares, debiendo adaptar en cada caso los reconocimientos a las condiciones del proyecto. Los criterios generales de investigaciones in situ se efectúa en fases sucesivas de intensidad creciente.

Esta práctica, necesaria en todo proyecto de importancia, es indispensable en las presas.

**Tabla 8 Criterios generales de investigaciones in situ**

FASE DE ESTUDIO	TIPO DE INVESTIGACION IN SITU	PRESAS DE HORMIGON	PRESAS DE MATERIALES SUELTOS
Estudios previos y de factibilidad	mapas geológicos regionales	S	S
	fotointerpretaciones e imágenes de satélite	S	S
	reconocimiento geológicos de superficie y cartografía geologico-geotecnica preliminar	S	S
Anteproyecto	cartografía geologico-geotecnica de detalle (1:2000-1:1000)	S	S
	datos hidroclimaticos y ensayos de permeabilidad	S	S
	sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales	S	S
	sondeos geotécnicos	S	S
	ensayos en el interior de sondeos	S	O
	ensayos de materiales	S	S
Proyecto	cartografía geotécnica complementaria	R	O
	sondeos geotécnicos complementarios	R	O
	galerías de reconocimiento	S	N
	ensayos in situ gran escala de deformabilidad y resistencia	R	N
	ensayos de inyecciones	R	N
Construcción	cartografía geotécnica de las excavaciones y cimentaciones	S	S
	ensayos in situ de verificación de tratamientos	S	S
	ensayos de control de materiales	S	S
S: NECESARIOS; R: RECOMENDABLE; O: OPCIONAL; N: NO NECESARIO			

La seguridad de las presas está directamente relacionada con las condiciones geológicas, por lo que el estudio geológico en todos sus aspectos (geotécnicos, hidrogeológicos, geoambientales, etc.), es fundamental. La investigación geológica debe asegurar que los factores geológicos o geotécnicos que pueden incidir en la seguridad de la presa sean suficientemente investigados y conocidos.

El presupuesto destinado a estos estudios depende de la complejidad geológica, tipo de presa, dimensiones y estructuras auxiliares. En términos generales. Las presas de materiales sueltos exigen menos investigaciones que las presas de hormigón, pero las primeras precisan estudiar con mayor detalle las obras auxiliares (aliviaderos, tomas, etc.), así como las características de los materiales de construcción. Las presas de gravedad exigen estudios muy detallados de las cimentaciones. Los presupuestos mínimos dedicados a los estudios geológicos e investigaciones in situ oscilan entre 0,5% del coste total de la obra en presas de materiales sueltos, hasta el 2% en presas de hormigón, porcentajes que en ocasiones se duplican si las condiciones geológicas son complejas.

En la fase de estudios previos las primeras actividades consisten en reconocimiento geológico de la posible cerrada, vaso y zonas de préstamo para materiales. Se incluye el análisis de toda información existente y el estudio de fotos aéreas e imágenes de satélite. En zonas con escasos afloramientos hay que proceder a realizar calicatas, rozas, etc, que permitan la observación de la litología, estado de alteración y estructura del macizo rocoso.

También hay que verificar las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas de la zona del embalse. En particular la presencia de rocas solubles (yesos, calizas y sales) o muy porosas (tobas, aglomerados volcánicos, areniscas, etc.), y los indicios de inestabilidad en las laderas.

Los estudios correspondientes a la fase anteproyecto tienen como objetivo establecer una zonificación del terreno de cimentación en base a los parámetros geomecánicos más significativos para cada tipo de presa. En esta fase las técnicas más frecuentes son la prospección geofísica (sísmica de refracción y

eléctrica) y los sondeos, que además son utilizados para ensayos en su interior, en especial ensayos de permeabilidad.

### **CRITERIOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PRESAS**

- Los estudios y los trabajos de reconocimiento geotécnico deben ser realizados en fases, utilizándose métodos más sofisticados y de mayor coste progresivamente, de acuerdo con el desarrollo del proyecto.
- Como resultado de estos trabajos de prospección se obtiene una cantidad de datos correspondientes a cada una de las propiedades investigadas. Estos datos deben ser representativos del macizo y permitir su análisis estadístico, con la definición de los valores medios de los parámetros más relevantes.
- Las investigaciones in situ deben ser programadas con fines múltiples con los que se disminuyen los costes y plazos para su ejecución.
- La interpretación conjunta de los parámetros geológicos, hidrológicos, y geotécnicos debe conducir a la zonificación geotécnica del macizo de cimentación, que servirá para la definición de las condiciones de cimentación de la presa y de las estructuras auxiliares.
- Las zonas singulares del macizo (fallas, zonas de cizalla, diques, zonas alteradas, etc.) se consideran como casos particulares y se estudian como zonas geotécnicas individualizadas, independientes de la zonificación general.
- La ejecución de ensayos in situ a gran escala se circunscribe a la fase de proyecto y solo en presas de hormigón. Su número es reducido y la ubicación responde a los puntos más críticos del macizo, con la finalidad de definir con detalle los parámetros de cálculo de estabilidad del conjunto presa-cimentación.

El número y la profundidad de las investigaciones, así como el tipo de ensayos, varía con la naturaleza de la presa y sus dimensiones. En los casos de presas de materiales sueltos, los estudios de selección realizados en la fase de anteproyecto suelen ser suficientes para definir a nivel de proyecto las

condiciones de cimentación, o bien se completan con algunos sondeos adicionales en puntos singulares o en los emplazamientos de las estructuras auxiliares. Por el contrario, cuando se trata de presas de hormigón, los trabajos de prospección geotécnica son muchos más completos y diversificados, con objeto de definir los parámetros de deformabilidad y resistencia del macizo.

Con respecto a las investigaciones más características, se destacan las siguientes:

- Sondeos
- Prospección geofísica
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos con trazadores
- Ensayos de inyectabilidad de mezclas
- Piezómetros
- Ensayos dilatométricos
- Galerías de reconocimiento
- Ensayos in situ a gran escala

## **CRITERIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE SELECCIÓN DE PRESAS.**

### **CRITERIOS GENERALES**

La selección del emplazamiento de una presa depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Capacidad del vaso (volumen embalse).
- Impermeabilidad del vaso.
- Cerrada adecuada, condiciones geomorfológicas, geológicas y geotécnicas favorables.
- Valor de los terrenos inundados (poblaciones, infraestructuras, etc.).
- Disponibilidad de materiales de construcción próximos a la presa.

- Condiciones favorables para ubicar el aliviadero, ataguías, y demás obras auxiliares.

Una vez determinada la ubicación más adecuada para el cierre del valle, se procede a seleccionar el tipo de presa, y se analizan detalladamente los posibles tipos de presas desde múltiples puntos de vista, destacando el geológico.

Los factores a tener en cuenta en este análisis, son los siguientes:

- Altura prevista de la presa
- Geomorfología de la cerrada
- Disponibilidad de materiales de construcción.
- Condiciones geológico-geotécnicas de la cimentación
- Ausencia de riesgos geológicos activos

Con respecto a la altura de la presa es significativo que más del 80% de las presas construidas de menos de 30 m de altura son de materiales sueltos y que, a partir de 150m de altura el 60% son de hormigón, de las cuales el 50% son de arco. Estos datos responden a varias razones, entre las que destacan las geomorfológicas. Los valles amplios solo admiten presas de poca altura, resultando las presas de materiales sueltos las mas económicas (siempre que se disponga de materiales adecuados), mientras que en los valles estrechos suelen construirse presas altas, lo que favorece a las soluciones de presas de gravedad (arco y bóveda).

La elección del tipo de presa no obedece a reglas fijas, pues cada emplazamiento tiene sus propias características, y nunca dos cerradas presentan el mismo problema geológico y, por tanto, constructivo, lo cual demanda la necesidad del criterio experto en ingeniería geológica (kanji, 1994).

De forma resumida se pueden señalar los siguientes problemas geológico-geotécnicos asociados a las presas, embalses y sus estructuras auxiliares:

- **Cerrada:** Deformabilidad, resistencia y permeabilidad de las cimentaciones y estribos.

- **Vaso:** Estabilidad de las laderas, estanqueidad, acumulación de sedimentos y sismicidad inducida.
- **Canteras y préstamos:** Calidad y volumen disponible de materiales para la construcción.
- **Aliviaderos:** Estabilidad de los taludes, permeabilidad y resistencia de los macizos de cimentación de las estructuras en hormigón y erosionabilidad del terreno.
- **Canales:** Estabilidad de los taludes, erosionabilidad y ripabilidad de los materiales y cimentación de los rellenos.
- **Central exterior:** Estabilidad de los taludes, deformabilidad y resistencia de las cimentaciones.
- **Central subterránea:** Deformabilidad, resistencia, permeabilidad y estado tensional del macizo.
- **Galerías de desvío, desagües de fondo y túneles:** Estabilidad de la excavación, deformabilidad, permeabilidad y estado tensional del macizo.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA CIMENTACIÓN**

La elección del tipo de presa depende en primer lugar de las condiciones de cimentación. Cualquier tipo de presa de hormigón exige que las deformaciones en el macizo rocoso sean compatibles con las del hormigón; es decir, que no se supera ciertos niveles de deformación no soportables por la estructura de la presa; así, no es posible cimentar este tipo de presas en suelos o rocas blandas. Tampoco una presa de hormigón sería una solución adecuada si la profundidad requiriera una excavación muy profunda (por presencia de materiales muy alterados o tectonizados en relación con la altura de la presa) en estas situaciones el volumen e excavación supondría un coste elevado.

Sin embargo, estas decisiones son complejas, ya que pueden presentarse varias alternativas.

En general, cuando los macizos de cimentación son muy deformables o de baja resistencia, la solución más adecuada es la construcción de una presa materiales sueltos.

### **DISPONIBILIDAD DE MATERIALES**

Otro de los condicionantes para la selección del tipo de presa es la disponibilidad de materiales de construcción en sus proximidades, necesarios tanto para las presas de hormigón (áridos) como para las de materiales sueltos, cuya tipología depende del material disponible.

El tipo de material influye en aspectos importantes como las condiciones de filtración a través del macizo y los tratamientos de este problema. Por ejemplo, dos presas de materiales de diferente tipología, en una misma cerrada, pueden generar condiciones de filtración muy diferentes en la cimentación.

### **RIESGO DE EROSIÓN INTERNA**

Otro condicionante de la estabilidad y seguridad de las presas en relación con las condiciones geológicas es la erosión interna que se genera al crearse gradientes hidráulicos elevados en materiales erosionables. En estos caso hay que actuar bien disminuyendo los gradientes o bien incorporando en la estructura de la presa filtros y drenes adecuados a las condiciones hidráulicas. Reduciendo los gradientes disminuyen las fuerzas de filtración, pudiéndose controlar el fenómeno. La construcción de filtros y drenes bien dimensionados impide la salida de los finos y los procesos de erosión interna.

### **EMPLAZAMIENTO DE ESTRUCTURAS AUXILIARES**

Las condiciones de cimentación y de emplazamiento de las estructuras auxiliares (aliviaderos, galerías de desvío, tomas de agua, desagüe de fondo, etc.) pueden influir decisivamente en la selección del tipo de presa; en general en las presas de hormigón estas estructuras son más cortas, más sencillas y de coste inferior a las presas de materiales sueltos. Debe considerarse el conjunto de estructuras que componen el aprovechamiento. Así, el emplazamiento del aliviadero

frecuentemente puede decidir el tipo de presa. En las presas de hormigón de cualquier tipo, el aliviadero se integra con la propia presa, vertiendo el agua por coronación o a través de las compuertas o tuberías que atraviesan el interior de la presa. Por el contrario en las presas de materiales sueltos el aliviadero se sitúa independiente al cuerpo de la presa, precisando una excavación más o menos ancha y profunda; en algunos casos, cuando se trata de caudales muy elevados estas excavaciones suponen obras de grandes dimensiones y costes.

Además de las ataguías, aliviaderos, tomas de agua y desagües de fondo, hay otras estructuras hidráulicas que forman parte de los aprovechamientos hidráulicos, como las centrales hidráulicas, túneles y galerías con distinta finalidad.

### **CONDICIONES PARA PRESAS DE MATERIALES SUELTOS**

El criterio más influyente en las presas de materiales sueltos es la disponibilidad de materiales. Los núcleos impermeables precisan suelos de baja permeabilidad (en general inferior a  $10^{-5}$  cm/s) y se descartan los suelos colapsables, orgánicos, solubles y de alta plasticidad.

El entorno geológico habitual donde se sitúan estas presas puede responder a formaciones sedimentarias, suelos aluviales arcillas sobreconsolidadas o rocas blandas. Se deben descartar los materiales erosionables, dispersivos y solubles, y los de alta permeabilidad. :

Con respecto a las características de la cimentación cabe distinguir entre las presas de tierras y las pedraplenes o escolleras. Las primeras presentan un comportamiento generalmente flexible y transmiten bajas cargas al terreno. Sin embargo, los suelos aluviales flojos, zonas muy alteradas, acarreos y en general, depósitos de baja resistencia, no son aceptables como terreno de cimentación. En cualquier caso es importante identificar la presencia de superficies de cizalla (slickensides), frecuentes en suelos duros o sobreconsolidados. Las presas formadas por pedraplenes o escolleras tienen un comportamiento más rígido y transmiten mayores tensiones a la cimentación.

## **CONDICIONES PARA PRESAS DE HORMIGÓN**

Las presas de gravedad precisan de un macizo rocoso buena calidad para su cimentación, de forma que proporcione a la presa la suficiente seguridad frente al deslizamiento, y cuya deformabilidad sea compatible con la rígida estructura de una presa de hormigón. Estos requisitos suponen apoyar la presa en macizos de elevada resistencia, cuyos planos de discontinuidad o debilidad más críticos a la estabilidad tengan ángulos de rozamiento interno altos. En la mayoría de los casos se precisan excavaciones para eliminar la zona alterada o menos resistente del macizo, cuya profundidad puede tener gran influencia en el estudio de soluciones.

Otra condición importante en las presas de hormigón es el control de filtraciones y subpresiones (presiones intersticiales ejercidas sobre la base de la cimentación de la presa).

Las presas de contrafuertes presentan los mismos problemas de cimentación que las presas de gravedad, pero concentran sus cargas en los apoyos de los contrafuertes, por lo que deben cimentarse sobre macizos muy resistentes y de muy baja deformabilidad, a fin evitar asentamientos diferenciales entre los distintos puntos de apoyo. Igualmente, las filtraciones en la cimentación deben ser muy bajas, lo que implica que el macizo sea poco permeable, o bien recurrir a tratamientos de inyecciones.

Las presas de arco y de bóveda requieren las condiciones más exigentes de cimentación en relación con cualquier otro tipo de presa. Por un lado, su esbelta estructura transmite una alta concentración de cargas a la cimentación y por otro, su geometría curva determina que gran parte de los empujes hidrostáticos se transfirieran hacia los estribos. Este tipo de presas requiere macizos rocosos con una estructura geológica favorable a la estabilidad, una elevada resistencia de los planos de discontinuidad y una baja deformabilidad en el macizo de cimentación.

## CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Los anteriores criterios atienden exclusivamente a factores geológicos; sin embargo es conveniente tener en cuenta las modificaciones geoambientales que se pueden producir como consecuencia de la construcción de una presa (Tabla 9). Estas modificaciones pueden tener importantes consecuencias en el medioambiente y, por tanto, deben ser consideradas en los estudios de impacto ambiental correspondiente, aspectos como la estabilidad de las laderas del embalse y la sismicidad inducida.

**Tabla 9. Impactos geoambientales en la construcción y explotación de presa**

IMPACTOS GEOAMBIENTALES EN LA CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE PRESAS		
FASE CONSTRUCTIVA	FASE DE EXPLOTACIÓN	EN CASO DE ROTURA
EXTRACCIÓN DE MATERIALES VERTEDORES DE ESTERÍLES Y ESCOMBRERAS  INESTABILIDAD DE TALUDES, RUIDO, VIBRACIONES Y POLVO	<b>AGUAS ARRIBA:</b> deslizamiento de laderas erosión y sedimentación aterrameintos cambios hodrológicos inundación y pérdida de recursos sismicidad inducida cambios en al calidad de las aguas salinización <b>AGUAS ABAJO:</b> erosión y sedimentación estabilidad del aderas cambios hidrológicos inundación del valle	Vaciado brusco del embalse  Inundación aguas abajo

## ESTANQUEIDAD DE EMBALSES

Una de las condiciones básicas que debe reunir un embalse es su estanqueidad. Sin embargo dependiendo del uso del mismo, las pérdidas de agua pueden ser más o menos tolerables. Así, un embalse de regulación de avenidas no requiere la misma estanqueidad que para abastecimiento o regadío. Por otro lado, las

condiciones de impermeabilidad también deben ser analizadas en función de las necesidades del aprovechamiento, ya que, en ocasiones, puede ser económicamente rentable proceder a tratamientos de impermeabilización en zonas concretas. La construcción de una presa supone un cambio importante en la hidrología e hidrogeología de la cuenca afectada por el embalse, con la inundación de una parte del valle, la elevación de los niveles freáticos y su oscilación periódica. Estas modificaciones afectan a la hidrodinámica de los acuíferos, pudiendo producirse un flujo de agua desde el embalse hacia el exterior del vaso, o bien una recarga del embalse desde los acuíferos que bordean al vaso. El análisis de estos factores corresponde al estudio hidrogeológico, que debe ser realizado en todos los casos, excepto cuando los materiales sean muy poco permeables y con la suficiente continuidad.

Los criterios generales para el análisis de la estanqueidad de un embalse se basan en factores hidrogeológicos, litológicos y estructurales; entre ellos se incluyen:

- Las rocas duras y poco fracturadas (rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias masivas, etc.) son en general favorables para la estanqueidad.
- Las rocas sedimentarias de alto contenido en arcilla (margas, lutitas, etc.) son muy favorables.
- Las rocas sedimentarias fracturadas, exceptuando las muy porosas, son igualmente favorables, ya que se supone que la transmisividad se efectúa a través de fracturas y éstas se cierran con la profundidad.
- Las estructuras geológicas, como los pliegues, pueden condicionar el flujo hacia el interior o exterior del embalse, por lo que deben analizarse detalladamente, así como su relación con las fallas y discontinuidades asociadas a dichos pliegues.

- Las fracturas importantes, diques, zonas de alteración, etc., pueden constituir vías de flujo preferente, siendo especialmente importantes en las rocas duras cristalinas y sedimentarias, donde es frecuente que las fallas pongan en contacto a rocas de muy distinta permeabilidad; el control hidrogeológico de estas fracturas y su relación estructural es determinante.
- Las formaciones menos favorables y donde son de esperar los mayores problemas de Filtraciones son las rocas calcáreas, calizas y dolomías, afectadas por procesos de karstificación.
- Igualmente, otras rocas porosas, como algunos tipos de areniscas, determinadas rocas volcánicas, depósitos cuaternarios y algunas estructuras sedimentarias como paleocauces, son en principio desfavorables a la estanqueidad.
- También pueden darse problemas de filtración en zonas de explotaciones mineras actuales o abandonadas, siendo las cuencas carboníferas particularmente conflictivas, al poder combinarse los problemas de filtración con los de subsidencia.

A partir de estas consideraciones se deduce que los principales problemas de estanqueidad pueden centrarse en las rocas solubles o muy porosas.

## **PERMEABILIDAD DE CERRADAS**

Es importante considerar las condiciones de permeabilidad de las cerradas, no solo como problema de estanqueidad sino como factor geotécnico de gran significado en la estabilidad y seguridad de la presa.

En general, las cerradas deben reunir condiciones de baja permeabilidad. Los efectos de las filtraciones, prácticamente presentes en la mayoría de los macizos, bien a través de fracturas o discontinuidades o a través de zonas alteradas, son

especialmente críticos para las cimentaciones al ocasionar los siguientes problemas:

- Subpresiones en la base de la presa.
- Inestabilidades en la zona de aguas abajo de la presa.
- Creación de gradientes elevados con altas velocidades de filtración y riesgo de erosiones internas.
- Inestabilidad de taludes en los estribos.
- Pérdidas significativas de caudales

## **SUBPRESIONES**

La red de flujo creada por una presa puede presentar distintas configuraciones, para evitar estas subpresiones se construyen pantallas impermeables, que modifican la red de flujo.

Los efectos de estas pantallas son los siguientes:

- Disminución de las subpresiones en la base de la presa.
- Disminución significativa de la velocidad de flujo.
- Reducción o eliminación de los posibles fenómenos de sifonamiento y erosiones internas

## **EROSIÓN INTERNA**

La erosión interna es de suma importancia en la seguridad de las presas de materiales sueltos, siendo la segunda causa de rotura en este tipo de presas (31 % por ciento, 15 % por erosión interna del cuerpo de presa y 12% por erosión interna del cimiento).

La erosión interna consiste en la apertura de conductos o canales a través del suelo producidos por gradientes hidráulicos elevados. Los materiales más susceptibles de sufrir erosiones internas son las arenas finas y limos, estimándose su susceptibilidad mediante el ensayo de tubificación. La erosión interna puede darse en los siguientes casos:

- En las zonas de contacto entre la cimentación y la presa a favor de fisuras en el núcleo de la presa y su contacto con el cemento; en excavaciones de la cimentación mal ejecutadas o deficientemente inyectadas; en superficies de discontinuidad del macizo de cimentación no tratadas sobre las que se apoya el núcleo; en zonas de contacto entre el núcleo y las obras de fábrica; por irregularidades en los taludes; etcétera.
- A través de la cimentación por socavación de zonas de aguas abajo de la presa afectada por filtraciones.
- En los materiales que forman el cuerpo de presa.

Una de las medidas para evitar la erosión interna es la instalación, de filtros y drenes. Los filtros impiden la migración de partículas hacia la cimentación o hacia los huecos de materiales más gruesos, evitando el arrastre de partículas finas; los drenes son elementos de alta permeabilidad cuya función es disminuir las presiones intersticiales.

## **PERMEABILIDAD Y CONTROL DE FILTRACIONES**

Las filtraciones que se pueden producir tanto en la cimentación como en las laderas del embalse se evalúan según los métodos de hidro-geología. Entre ellos, el más utilizado se basa en las redes de flujo. Sin embargo, y con independencia del método elegido, es necesario obtener el coeficiente de permeabilidad del terreno.

En los estudios de presas es prácticamente una «norma» utilizar el ensayo Lugeon para determinar la capacidad de admisión de agua en las condiciones definidas en este ensayo, considerando que el macizo es estanco cuando la absorción de agua es inferior o igual a 1 litro/minuto por metro lineal a una presión de  $10 \text{ kp/cm}^2$  (10 bares) durante 10 minutos, en un tramo de 5 m sondeo, es decir 1 unidad Lugeon (UL). Sin embargo, la utilización del ensayo Lugeon para calcular la permeabilidad no es adecuada, ya que es muy poco probable que se den las condiciones de la ley de Darcy durante la realización del ensayo en macizos fracturados, siendo probable que a la presión de 10 bares se llegue a la fracturación hidráulica, o que se produzcan erosiones internas en el macizo.

Una vez determinada la permeabilidad y la red de flujo a través del macizo de cimentación, se analiza si las condiciones de permeabilidad son aceptables y si las fuerzas de filtración, subpresiones y gradientes son igualmente aceptables. En caso contrario es necesario controlar dichas fuerzas de filtración, disminuyendo los gradientes y las subpresiones, distintos tratamientos de impermeabilización y/o drenaje, por ejemplo:

- Tratamiento de la superficie de contacto presa-cimentación, consistente en prolongar el apoyo de la presa, habitualmente su núcleo, hasta encontrar un macizo resistente y de baja permeabilidad.
- Construcción de un tapiz de impermeabilización, consistente en un material arcilloso compactado de baja permeabilidad desde el núcleo hasta aguas arriba de la presa.
- Construir pantallas de impermeabilización para interceptar las filtraciones por debajo de la presa; estas pantallas pueden ser continuas, o rellenas de hormigón, arcilla, bentonita-cementos, etc., o bien inyecciones de tipo jet-grouting, o convencionales con mezclas de cementos, resinas, geles, etc.

- Las inyecciones constituyen el procedimiento más empleado en el tratamiento de la cimentación de las presas, y consisten en introducir fluidos (que solidifican rápidamente) a través de fisuras, huecos o discontinuidades de los macizos rocosos, mediante la perforación de taladros e inyección del fluido a cierta presión.

## **ESTABILIDAD DE LADERAS EN EMBALSES**

El llenado de un embalse supone los siguientes efectos:

- Imposición de una carga en las laderas y fondo del valle equivalente a la altura de agua en cada punto del vaso.
- Elevación del nivel freático en las laderas del embalse.
- Cambios en las condiciones hidrogeológicas de los materiales afectados.
- Oscilación de los niveles freáticos en las laderas del embalse según las condiciones de explotación del aprovechamiento.

Como consecuencia de estos efectos se producen cambios tensionales, cuyas consecuencias pueden dar lugar a inestabilidades en las laderas del embalse.

Ante el riesgo de que se puedan producir estas situaciones de inestabilidad es necesario realizar los siguientes estudios:

1. Investigar antes de la construcción de la presa la existencia de deslizamientos o zonas inestables.
2. Evaluar la tipología y actividad de los deslizamientos su geometría, volumen y distancia a la presa.
3. Analizar su estabilidad considerando la hipótesis de vaciado brusco.
4. En el caso de ser posible el deslizamiento, debe valorarse su peligrosidad, pudiendo optar por tomar medidas estabilizadoras,

instrumentar la ladera durante la construcción y explotación, o bien reconsiderar el emplazamiento de la presa.

En el análisis de peligrosidad debe tenerse en cuenta el volumen potencial de material deslizado, el volumen del embalse, la distancia a la presa y la velocidad del movimiento.

Sin embargo, los deslizamientos más frecuentes en las laderas de los embalses son de escaso tamaño, y se producen en materiales de alteración y coluviales, no presentando riesgo en la gran mayoría de los casos, tanto por su volumen como por su lento movimiento. Los deslizamientos más importantes suelen estar asociados a estructuras geológicas favorables a los movimientos gravitacionales, bajo condiciones geo-morfológicas y climáticas asociadas a los grandes movimientos de masas inestables (zonas de montaña en áreas afectadas por procesos glaciares o periglaciares, épocas climáticas más húmedas, procesos morfotectónicos y erosivos muy activos), o bien la actividad sísmica o volcánica importante.

En cualquier caso los deslizamientos en un embalse, incluso los que no suponen riesgo para la seguridad de la presa, no deben ser desestimados, ya que producen aportes de materiales sólidos, obstrucciones a los órganos de desagüe de la presa, y pérdida de capacidad del vaso.

#### **2.2.4 MATERIALES GEOLÓGICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS**

La construcción de una presa precisa de un importante volumen de materiales. Las presas de materiales sueltos dependen fundamentalmente del tipo de material disponible. Los materiales deben reunir los siguientes requisitos:

- Volumen apropiado a la magnitud de la presa.
- Calidad adecuada a los distintos fines.
- Distancia operativa.

- Facilidad de extracción.
- Condiciones medioambientales aceptables para su explotación.

## **INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE PRÉSTAMOS**

El estudio de materiales se inicia en las primeras fases de investigación en los estudios previos y de factibilidad, y se prosigue a lo largo del proyecto y en la propia construcción.

La investigación geológica se basa en la cartografía geológica y la fotointerpretación. En una primera estimación se localizan posibles áreas de préstamo y de canteras. En una fase posterior se efectúan sondeos de reconocimiento, calicatas mecánicas y geofísica (sísmica de refracción y eléctrica), obteniendo muestras para la clasificación de suelos y propiedades básicas (ensayos de identificación y de compactación). En las zonas de posibles canteras la investigación incluye la medida de datos estructurales, grados de alteración y factores topográficos incidentes en la extracción.

Las propiedades geotécnicas y mecánicas de los materiales se evalúan a partir de ensayos de laboratorio en muestras estadísticamente representativas del área de préstamo o cantera.

Esto supone ensayar un elevado número de muestras, siendo lo habitual proceder por fases de acuerdo con los objetivos y etapas del proyecto.

Una vez analizados los posibles yacimientos se procede a la cubicación y proyecto de explotación

## **TIPOLOGÍA DE LOS MATERIALES**

En función de su utilización, los materiales se agrupan en los siguientes tipos:

- Núcleos impermeables.
- Espaldones y escolleras.
- Filtros y drenes.
- Áridos para hormigones.

En principio la mayoría de los materiales geológicos pueden ser utilizados, excepto los inestables química o físicamente, solubles, orgánicos, colapsables, dispersivos, reactivos, expansivos, de muy baja densidad o de alta plasticidad, entre otros.

Sin embargo, la selección de materiales para un fin determinado exige cumplir además los requisitos dados en las instrucciones y los pliegos de prescripciones técnicas para presas.

## **NÚCLEOS**

Los núcleos se construyen para impedir el paso de agua a través del cuerpo de presa, por lo que precisan materiales de baja o muy baja permeabilidad, del orden  $10^{-5}$  cm/s o inferior. Además no deben ser colapsables, ni contener materia orgánica o ser solubles.

Las propiedades a estudiar en los materiales para núcleos son las siguientes:

- Mineralogía y su relación con la expansividad, contenido en sales solubles, susceptibilidad y colapsabilidad .
- Granulometría y plasticidad; en general los suelos bien graduados se compactan mejor y pueden adquirir permeabilidad y deformabilidad más bajas.
- Dispersibilidad o susceptibilidad del suelo a sufrir erosión interna; la composición química de las arcillas y la presencia de Na pueden ser indicadores del grado de dispersibilidad. El ensayo más característico para estimar el potencial de dispersión de un suelo

es el de tubificación.

- Resistencia y deformabilidad, propiedades fundamentales para el cálculo de la estabilidad de la presa a partir de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno, en las condiciones exigidas en el proyecto.
- Compactabilidad, a partir de las relaciones entre la humedad natural y la densidad, obtenidas en el ensayo Proctor normal y Proctor modificado.

## **ESPALDONES**

Los espaldones tienen por objeto transmitir a la presa resistencia y estabilidad, así como protegerla frente a la erosión. Los materiales que forman los espaldones incluyen una gran variedad de rocas, de amplia granulometría, que puede ir desde escolleras y pedraplenes hasta materiales.

## **FILTROS Y DRENES**

Se utilizan para evitar el paso de las partículas finas de los materiales contiguos y permitir el drenaje. Los volúmenes requeridos suelen ser muy inferiores con respecto al resto de materiales, aunque sus especificaciones son mucho más exigentes, en cuanto a propiedades y granulometrías.

Los materiales para filtros y drenes deben ser granulares, con un criterio granulométrico muy estricto definido en normas, con ausencia de finos, alta resistencia y naturaleza inalterable. Pueden proceder de depósitos naturales o de machaqueo.

## **ÁRIDOS PARA HORMIGONES**

Las presas de hormigón precisan grandes cantidades de áridos que deben proceder de la explotación de canteras o zonas de préstamos en áreas próximas a las presas. Los aspectos a considerar en el estudio de los áridos son los siguientes:

- El material debe tener una densidad aparente mínima de 2,5 t/m<sup>3</sup>; la resistencia a compresión debe ser mayor de la especificada para el hormigón (del orden de 24 MPa o superior); la absorción debe ser inferior al 3 %, y se excluyen los materiales que tengan contenidos en sustancias reactivas o solubles (sulfuras, yesos, etc.).
- Su composición mineralógica no debe dar lugar a reacciones adversas con el hormigón (expansividad, alteración química, reacciones con los álcalis, etc.).

Los estudios geológicos de yacimientos y canteras para áridos se efectúan a lo largo de las distintas fases del proyecto de la presa, realizándose los siguientes trabajos de investigación:

- Reconocimiento geológico de superficie, fotointerpretación y cartografía geológica.
- Prospección geofísica (sísmica de refracción y eléctrica).
- Sondeos mecánicos y calicatas.

Los aspectos a considerar son los siguientes:

- Condiciones geológicas (litología, estructura, nivel freático, etc.).
- Coberteras, materiales alterados, muy fracturados, etc.
- Volumen, forma y homogeneidad del yacimiento
- Distancia a la obra y accesos.
- Impacto ambiental.

En una etapa más avanzada del proyecto se estudian sus propiedades geotécnicas, físicas y químicas en ensayos de laboratorio, y se complementan las anteriores investigaciones hasta alcanzar una detallada definición de la calidad y cantidad del árido extraíble. A partir de estos datos se efectúa el proyecto de explotación.

## 2.2.5 NEOTECTÓNICA Y SISMICIDAD NATURAL E INDUCIDA

En los proyectos de presas hay que considerar la acción sísmica que pueda afectar a la estructura en el caso de un terremoto de magnitud significativa. En muchas áreas la actividad sísmica es muy baja, pero en otras puede ser alta, como en las zonas próximas al contacto de placas tectónicas.

En España por ejemplo es obligatoria la norma NCSE-94 y el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses del Ministerio de Fomento. Según este reglamento los terremotos de diseño para el cálculo dinámico de estabilidad de la presa se determinan a partir de los periodos de retorno indicados en el cuadro 4.

Tabla 10. Periodos De Retorno De Los Sismos De Cálculo Para Presas

CLASIFICACION DE PRESAS	SISMICIDAD		
	BAJA	MEDIA	ELEVADA
C	NA	TP = 1000 años	
B		TP = 1000 años TE = 3000 a 5000 años	TP = 1000 años TE = 1000 a 10000 años
A			

(CNEGP. 1999)

NA: no es necesaria la consideración explícita de la acción sísmica

TP: Terremoto de proyecto

TE: Terremoto Extremo

Además de la acción sísmica, hay que considerar también la posibilidad de que el emplazamiento este afectado por fallas activas que puedan reactivarse originando situaciones de inestabilidad tanto en la presa como en su cimentación.

En presas o embalses de grandes dimensiones, sobre todo en zonas sísmicamente activas, debe considerarse el fenómeno de la sismicidad inducida. Este tipo de sismicidad tiene lugar cuando el nivel del embalse alcanza alturas del orden de 100m, o bien la capacidad del embalse es superior a 100 millones de metro cúbicos.

Este tipo de sismicidad se debe a fenómenos de fracturación hidráulica a favor de fallas sometidas a elevadas presiones intersticiales. En la mayor parte de presas analizadas, los terremotos han ocurrido en el primer llenado del embalse, disminuyendo la intensidad y la frecuencia de los terremotos en el transcurso de la explotación. Como consecuencia, es necesario efectuar un análisis de la sismicidad natural e inducida en zonas sísmicamente activas, cuando se trate de presas importantes. En estos casos es recomendable proceder al llenado del embalse de forma escalonada y controlada.

## **2.3 DEFINICION DEL PROYECTO**

En esta instancia es donde se hace el proceso de comparación de alternativas desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental, el descarte de alternativas y la descripción del proceso de optimización hasta la definición completa del esquema que se presenta a nivel de factibilidad, con el dimensionamiento de sus variables fundamentales.

### **DEFINICION DEL ESQUEMA BASICO DEL PROYECTO**

- Evaluación y selección de alternativas
- Planteamiento de alternativas de desarrollo (tipos de presa, conducción, equipos, etc.)
- Altura de presa y cota de captación
- Capacidad instalada
- Número de unidades
- Diámetro económico de la conducción

## **2.4 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

Descripción del proyecto, tal como se presenta a nivel de factibilidad y de la cual se espera que no sufra variaciones sustanciales en etapas posteriores de estudio en cuanto al tipo de aprovechamiento y sus dimensiones básicas; en general, para cada componente se presenta su descripción, dimensiones, áreas ocupadas, etc.

### **2.4.1 ESQUEMA Y CONDICIONES GENERALES**

- Sitio de presa
- Conducción y central
- Embalse y desviaciones
- Capacidad instalada, factor de planta y energías
- Costo, período de construcción e índices económicos

### **2.4.2 EMBALSE**

Se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

- Volúmenes
- Áreas ocupadas
- Período de llenado y de residencia del agua
- Vida útil

### **2.4.3 OBRAS DE DESVIACION**

#### **GENERALIDADES**

El proyecto de una presa que se va a construir a través del cauce de un corriente debe tomar en cuenta la desviación del gasto de la corriente a un lado o a través del emplazamiento de la presa durante el periodo de la construcción. La magnitud del problema de desviación variara con el tamaño y potencial de las crecientes de la corriente; en algunos emplazamientos de las presas puede ser costoso y retardado, y puede afectar el programa de las actividades de la construcción, mientras que en otros lugares no ofrece mayores dificultades. Sin

embargo, el problema existe en cierto grado en todos los emplazamientos excepto en los situados fuera del cauce, y la selección del método más adecuado para manejar el gasto de la corriente durante la construcción es importante para que el costo de la presa resulte económico. El método elegido ordinariamente representara un conflicto entre el costo de la construcción de la desviación y la magnitud del riesgo que se corre. La desviación adecuada reducirá al mínimo los daños serios producidos por las avenidas potenciales al trabajo en progreso en el mínimo de gasto. Para estudiar mejor el sistema de desviación deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Características de la corriente
- Tamaño y frecuencia de la avenida que se va a derivar
- Método de derivación
- Requisitos que se deben estipular en las especificaciones

### **CARACTERISTICAS DE LA CORRIENTE**

Los registros de los aforos de la corriente proporcionan la información más segura con respecto a las características, y deben consultarse siempre que se pueda disponer de ellos.

### **SELECCIÓN DE LA AVENIDA DESVIABLE**

Por lo general no es económicamente posible hacer un proyecto para desviar la mayor avenida que haya ocurrido o que se pueda suponer que ocurra en el emplazamiento y por lo tanto la decisión será usar una menor. Lo que trae el problema de estudiar cual es el riesgo que se produce con el sistema de desviación que se pretende utilizar.

Al elegir la avenida que se debe usar en los proyectos de desviación, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Cuanto tiempo durara la construcción de la obra.

- El costo de los posibles daños a la obra completa o todavía en construcción si se inunda.
- El costo de los retrasos para completar la obra, incluyendo el de obligar al equipo del contratista a permanecer ocioso mientras se reparan los daños producidos por la avenida.
- La seguridad de los trabajadores y posiblemente la seguridad de los habitantes agua abajo, en el caso de que la falla de la obra de desviación produzca inundaciones anormales.

Después de que se hayan analizado estos factores, se puede comparar el costo de aumentar las obras de protección para manejar avenidas progresivamente mayores, con el costo de los daños resultantes si estas avenidas ocurrieran sin aumentar las obras de protección. Luego se hará un estudio para determinar la magnitud del riesgo que se justifica.

## **METODOS DE DESVIACIÓN**

### **GENERALIDADES**

El método o sistema para desviar las avenidas durante la construcción depende de la magnitud de la avenida que se va a desviar; de las características físicas del emplazamiento; del tipo de presa que se va a construir; de la naturaleza de las obras auxiliares, como el vertedero de excesos, conductos forzados, u obras de toma; y de la probable secuencia de las operaciones de construcción. El objetivo consiste en elegir el método óptimo considerando su viabilidad, costo y los riesgos respectivos.

En los métodos comunes para desviar las corrientes durante la construcción se utiliza uno o una combinación de los siguientes medios: Túneles perforados en las laderas, conductos a través o debajo de la presa, canales provisionales a través de la presa, o desviaciones a diferentes niveles sobre los lechos superiores de los bloques de construcción de una presa de concreto.

## **TUNELES**

Generalmente no es posible hacer trabajos importantes en las cimentaciones en los cañones angostos hasta que se desvía la corriente. En esta situación, un túnel puede resultar el método más factible de desviación, ya sea para una presa de concreto o de tierra. La corriente se desvía de un lado del área de construcción por túneles en una o en ambas laderas. Si en el proyecto figuran vertederos u obras de toma de túnel, generalmente resulta económico utilizarlos en el plan de desviación. Si la porción de aguas arriba del túnel permanente queda arriba de la elevación del cauce, se puede hacer una entrada temporal para hacer una derivación al nivel de la corriente.

## **LOS CONDUCTOS**

La obra de toma para las presas de tierra exige con frecuencia la construcción de un conducto que puede utilizarse para la desviación durante la construcción de la presa. Este método para manejar la corriente desviada es económico, especialmente si el tamaño del conducto requerido para la obra de toma es el adecuado para dar paso a los gastos desviados.

## **CANAL PROVISIONAL DE DESVIACION. (PRESAS DE TIERRA)**

En los emplazamientos en los que no resulta económico construir un túnel o un conducto lo suficientemente grande para dar paso a la avenida de proyecto, se puede utilizar un canal provisional pasándolo por un tramo sin construir de la presa de tierra para pasar la corriente mientras se construye el resto del terraplén. Este método conviene en los emplazamientos anchos y evidentemente no se puede emplea en los cañones angostos.

## **CANAL PROVISIONAL DE DESVIACIÓN. (PRESAS DE CONCRETO)**

El método de desviación por etapas sobre los lechos superiores de los bloques alternados de la construcción o por conductos de desviación, en una presa de concreto, requiere el cambio de la ataguía de un lado a otro del río durante la construcción. Durante la primera etapa, el gasto se limita a una porción del cauce,

mientras que la presa se construye hasta una elevación segura en el resto del canal. En la segunda etapa se desvía la ataguía y la corriente se lleva sobre bloques bajos o a través de conductos de desviación en la sección construida de la presa, mientras que el trabajo prosigue en la porción de la presa sin construir.

## **ATAGUIAS**

Una ataguía es una presa o barrera provisional que se usa para desviar la corriente o para encerrar un área durante la construcción. El proyecto de una ataguía adecuada incluye el aspecto económico de su construcción. Cuando el programa de construcción es tal que los trabajos en la cimentación se pueden ejecutar durante el estiaje, el uso de ataguías puede ser mínimo. Cuando las características de la corriente son tales que no resulta práctico lo anterior, la ataguía debe proyectarse de manera que no solamente sea segura, sino además de la altura óptima.

Para determinar la altura a la que debe construirse una ataguía es necesario hacer un estudio económico de la altura de la ataguía en comparación con la capacidad de las obras de desviación, incluyendo el estudio de tirantes de la avenida de proyecto en la desviación, especialmente cuando la obra de toma que es necesario construir es pequeña. Si la obra de toma exige un conducto de salida relativamente grande o un túnel, se puede dar paso a los gastos que se va a desviar sin hacer una ataguía alta. Debe recordarse que el agua acumulada atrás de la ataguía debe evacuarse a tiempo para dar paso al agua de otra tormenta en el caso de que repita. La altura máxima a la que es posible construir la ataguía sin invadir el área que va a ocupar la presa se debe tomar en cuenta también. Además, en el proyecto de la ataguía se debe tomar en consideración el efecto que la excavación de la presa y su desagüe puede tener en su estabilidad, incluyendo su remoción, gastos recuperables y otros factores.

Generalmente las ataguías se construyen de materiales que se puedan conseguir en el lugar. Los dos tipos que normalmente se usan en la construcción de presas son las ataguías llenas de tierra y las llenas de roca.

**Pre-ataguía:** Este elemento del sistema de desviación estará conformado por cantos grandes y bloques de roca que se arrojen al cauce del río para desviar el agua hacia el túnel de desviación. Una vez desviado el río, se puede arrojar materiales de menor tamaño en el lado de aguas arriba con el fin de reducir las filtraciones, facilitando con ello la desecación del área de fundación de la ataguía. Esta desviación se realizará en un período de estiaje.

**Contra-ataguía:** La función de la contra-ataguía es impedir que se devuelva el agua a la salida del túnel de desviación e inunde parte del área de fundación del relleno de la presa. Las pendientes de los taludes de la contra-ataguía y las características del material de relleno de la misma, deberán ser definidas por el contratista.

## **DESCARGA DE FONDO**

La descarga de fondo planea cumplir con los siguientes propósitos:

- Controlar el primer llenado del embalse. La descarga de fondo puede también permitir que se mantenga estable el nivel del embalse, durante el primer llenado, o de bajar dicho nivel para tomar medidas correctivas, si las filtraciones exceden las admisibles.
- Evacuar mediante descargas controladas, parte de los sedimentos que se van acumulando en el embalse.
- Desocupar el embalse total o parcialmente en caso de algún deterioro de la presa causado por un sismo, o por la necesidad o conveniencia de hacer inspecciones de la cara de concreto y de las laderas del embalse.

La descarga de fondo deberá estar conformada por el túnel de descarga de fondo, incluye una estructura de entrada, un tramo del conducto que trabajará a presión, una cámara de compuertas donde se alojarán las compuertas para regular el caudal de descarga, un tramo del conducto que trabajará a flujo libre y una estructura de descarga.

Para el diseño final y construcción de la descarga de fondo se planea tener en cuenta lo siguiente:

- La mínima capacidad hidráulica, el nivel mínimo de operación del embalse.
- La zona de la cámara de compuertas se recomienda proteger con blindaje para prevenir daños por abrasión y cavitación y para garantizar un gradiente seguro a lo largo de esta estructura.
- En el tramo donde el conducto trabajará a flujo libre se podrá proveer un sistema de aireación adecuado para prevenir los efectos de la cavitación.
- La sección total del tramo a flujo libre se determinará teniendo en cuenta por una parte el perfil de la lámina de agua aumentado en el porcentaje de incorporación de aire, tanto superficial como por los aireadores, dejando una provisión mínima, del área total a manera de borde libre.
- El control del flujo se hará por medio de compuertas que interfieran lo menos posible con el flujo de sedimentos. La estructura contará con una compuerta de guarda y de una compuerta que servirá como elemento de control de las descargas. Esta última podrá proyectarse para operación con aperturas parciales. Las compuertas deberán ser operadas mediante mecanismos óleo-hidráulicos. Se recomienda proveer de aireación adecuada a la salida de la compuerta de operación.
- La estructura de entrada de la descarga de fondo deberá ser abocinada para disminuir las pérdidas de energía.
- A la cámara de compuertas se accederá por medio de una galería, la cual servirá adicionalmente para acceso del aire requerido para la aireación del sistema.

**SECCIÓN HIDRÁULICA:** Desde el punto de vista hidráulico, la sección debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El caudal de diseño
- La velocidad máxima del agua dentro del tramo del túnel
- La velocidad máxima del agua dentro del tramo del túnel que operará a

flujo libre

- Se recomienda asegurar la estabilidad del túnel.
- La sección que se escoja para la Descarga de Fondo debe tener dimensiones que facilite la construcción de la misma.
- El túnel puede estar íntegramente revestido de modo que garantice la estabilidad estructural de la obra.

**ESTRUCTURA DE DESCARGA:** Para facilitar la transición entre el flujo en el túnel y el flujo en el cauce natural del río, se recomienda proyectar una estructura de entrega, que asegure una distribución uniforme del flujo a todo lo ancho de la estructura.

En el extremo de aguas abajo del piso de esta estructura se podrá prever un dentellón para controlar el efecto erosivo del flujo en la zona de restitución del caudal al río y se dejará una compuerta para facilitar el acceso al túnel de un vehículo pequeño durante las labores de inspección y mantenimiento del túnel.

#### **2.4.4 PRESAS**

Las presas se pueden clasificar en número de categorías diferentes, que depende del objeto de la clasificación. Para el objeto de este manual, es conveniente considerar tres amplias clasificaciones de acuerdo con: El uso, el proyecto hidráulico, o los materiales que forman la estructura.

#### **CLASIFICACION SEGÚN EL USO**

Las presas se pueden clasificar de acuerdo con la función mas general que van a desempeñar, como de almacenamiento, de derivación, o regulación. Se puede precisar más las clasificaciones cuando se consideran sus funciones específicas.

#### **PRESAS DE ALMACENAMIENTO**

Se construyen para embalsar agua en los periodos en que sobra, para utilizarla cuando escasea. Las presas de almacenamiento se pueden a su vez clasificar de acuerdo con el objeto del almacenamiento, como para abastecimiento de agua,

para recreo, para la cría de peces y animales salvajes, para la generación de energía hidroeléctrica, irrigación, etc.

### **PRESAS DE DESVIACION**

Las presas de desviación se construyen ordinariamente para proporcionar la caga necesaria para desviar el agua hacia zanjas, canales u otros sistemas de conducción al lugar en que se va a usar.

### **PRESAS REGULADORAS**

Las presas reguladoras se construyen para retardar el escurrimiento de las avenidas y disminuir el efecto de las ocasionales.

### **CLASIFICACION SEGÚN SU PROYECTO HIDRAULICO**

Las presas se pueden clasificar también como presas vertedoras o no vertedoras.

Las presas vertedoras se proyectan para descartar sobre sus coronas. Deben estar hechas con materiales que no se erosionen con tales descargas.

Las presas no vertedoras son las que se proyectan para que no rebase el agua por su corona. Este tipo de proyecto permite ampliar la elección de materiales incluyendo las presas de tierra y las de enrocamiento.

### **CLASIFICACION SEGÚN SUS MATERIALES**

La clasificación más común que se usa en la discusión de los procedimientos de construcción se basa en los materiales que forman la estructura. En esta clasificación también se menciona el tipo básico de proyecto como por ejemplo, presa de concreto de gravedad, o presa de concreto del tipo de arco.

### **PRESAS DE TIERRA**

Las presa de tierra constituyen el tipo de presas más común, principalmente porque en su construcción intervienen materiales en su estado natural que requieren el mínimo de tratamiento, los requisitos para sus cimentaciones son

menos exigentes. La principal desventaja de una presa de tierra es que, si no tiene suficiente capacidad, el vertedero de excesos puede dañarse y aun destruirse por el efecto erosivo del agua que llegue a rebasarla.

**Figura 3. Presa de tierra**



### **PRESAS DE ENROCAMIENTO**

En las presas de enrocamiento se utiliza roca de todos los tamaños para dar estabilidad a una membrana impermeable. La membrana puede ser una capa de material impermeable del lado del talud mojado, una losa de concreto, un recubrimiento de concreto asfáltico, placas de acero, o cualquier otro dispositivo semejante; o puede ser un núcleo interior de tierra impermeable.

**Figura 4. Presa de enrocamiento**



Las presas de enrocamiento requieren cimentaciones que no estén sujetas a asentamientos de magnitudes suficientes para romper la membrana impermeable.

### **PRESAS DE CONCRETO DEL TIPO DE GRAVEDAD**

Las presas de gravedad, de concreto se adaptan a los lugares en los que se dispone de una cimentación de roca razonablemente sana.

**Figura 5. Presa del tipo de gravedad**



## **PRESAS DE CONCRETO DEL TIPO DE ARCO**

Las presas de concreto del tipo de arco se adaptan a los lugares en los que la relación de la distancia entre los arranque del arco a la altura no es grande y donde la cimentación en estos mismos arranque es roca solida capaz de resistir el empuje del arco.

**Figura 6. Presa de concreto tipo arco**



## **FACTORES FISICOS QUE GOBIERNAN LA SELECCIÓN DEL TIPO**

Solamente en circunstancias excepcionales los ingenieros especializados pueden afirmar que solo un tipo de presa es el conveniente o el más económico para un lugar determinado. En algunos casos el costo excesivo de las protecciones contra las descargas del vertedero de excesos, las limitaciones en las obras de toma, y el problema de desviar la corriente durante la construcción tiene una importante influencia en la selección del tipo, la selección puede también depender de lo inaccesible del lugar.

La selección final del mejor tipo de presa para un lugar determinado requiere la consideración cuidadosa de las características de cada tipo, en relación con los accidentes físicos del lugar y la adaptación a los fines para los que se supone que va a servir la presa, así como lo que respecta a la economía, seguridad y otras limitaciones que pudieran existir. Usualmente, el factor más importante para determinar la elección final del tipo de presa será el costo de construcción.

A continuación se presentan importantes factores físicos para la selección del tipo de presa.

### **TOPOGRAFIA**

La topografía, en gran parte, dicta la primera elección del tipo de presa. La localización del vertedero es un factor importante que dependerá en gran parte de la topografía local y que, a su vez, tendrá una gran importancia en la selección final del tipo de presa.

### **CONDICIONES GEOLOGICAS Y LA CIMENTACION**

Las condiciones de la cimentación dependen de las características geológicas y del espesor de los estratos que van a soportar el peso de la presa; de su inclinación, permeabilidad, y relación con los estratos subyacentes, fallas y fisuras. La cimentación limitara la elección del tipo en cierta medida, aunque estas limitaciones se modifican con frecuencia al considerar la altura de la presa propuesta.

Cimentaciones comúnmente encontradas:

- Cimentaciones de roca solida
- Cimentaciones de grava
- Cimentaciones de limo o de arena fina
- Cimentaciones de arcilla
- Cimentaciones irregulares

## **MATERIALES DISPONIBLES**

Los materiales para las presas de varios tipos, que pueden encontrarse algunas veces cerca o en el lugar, son:

- Suelos para los terraplenes
- Rocas para terraplenes y para enrocamiento
- Agregados para concreto

La eliminación o reducción de los gastos de acarreo de los materiales de construcción, especialmente de los que se utilizan en grandes cantidades, reducirán considerablemente el costo total de la obra. El tipo más económico de presa será con frecuencia aquel para el que se encuentren materiales en suficiente cantidad y dentro de distancias razonables del lugar.

## **TAMAÑO Y SITUACION DEL VERTEDERO**

El vertedero es un elemento vital de una presa. Con frecuencia su tamaño y tipo y las restricciones naturales en su localización serán el factor decisivo en la elección del tipo de presa. La selección de los tipos de vertederos dependerá de las magnitudes de las avenidas que tengan que verterse.

El costo de la construcción de un gran vertedero con frecuencia constituye una porción considerable del costo total del sistema.

## **TEMBLORES**

Si una presa queda en un área que esté sujeta a las sacudidas de los temblores el proyecto deberá tomar en cuenta el aumento de las cargas y de los esfuerzos. Los tipos de estructuras que mejor se adaptan a resistir las sacudidas de los terremotos sin perjudicarse son las pesas de tierra y las de concreto de tipo de gravedad.

## **ASPECTOS LEGALES, ECONOMICOS Y ESTETICOS**

### **RESTRICCIONES LEGALES**

Existen restricciones legales respecto al control de las aguas de las corrientes navegables. Casi todos los estados tienen leyes y reglamentos que gobiernan el proyecto, construcción y operación de todas las presas y vasos.

### **OBJETO Y RELACION COSTO – BENEFICIO**

Considerando el objeto para el que va a servir una presa, con frecuencia se deduce el tipo más adecuado como, por ejemplo, cuando su función principal es proporcionar un almacenamiento continuo y seguro de agua para riego, energía eléctrica, o uso doméstico, para controlar las avenidas por detención, para regular el gasto de las corrientes o para que sirva de presa de derivación o levantadora sin almacenamiento.

Pocos lugares existen en los que es imposible construir una presa que sea segura y útil, pero en muchos casos las condiciones que prevalecen en el emplazamiento aumentan el costo hasta sobrepasar el gasto justificable. Los resultados de las búsquedas de emplazamientos favorables determinan con frecuencia si un proyecto se puede construir a un costo proporcional a los beneficios que se pueden obtener del mismo. Existen procedimientos aceptados para valorizar los beneficios obtenidos de la energía, de la irrigación, o del abastecimiento de agua; estos procedimientos están menos definidos en el control de avenidas, y no existe un procedimiento satisfactorio para medir el valor de los proyectos para recreo.

### **APARIENCIA**

En general, todos los tipos de estructuras deben tener una apariencia terminada, de trabajo hecho por el hombre, compatible con la función que va a desempeñar. El alineamiento y textura de las superficies acabadas debe ser fiel a los requisitos de proyecto y estar exento de irregularidades desagradables. Las consideraciones estéticas pueden tener una gran importancia en la selección del tipo de estructura, especialmente en aquellas que se van a usar para recreo.

## 2.4.5 VERTEDERO

### FUNCION

La función de los vertederos en las presas de almacenamiento y en las reguladoras es dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no cabe en el espacio destinado para almacenamiento, y en las presas desviadoras dejar pasar los excedentes que no se envían al sistema de desviación.

Muchas de las fallas de las presas se han debido a vertederos mal proyectados o de capacidad insuficiente.

Además de tener suficiente capacidad, el vertedero debe ser hidráulica y estructuralmente adecuado y debe estar localizado de manera que las descargas del vertedero no erosionen ni socaven el talón de aguas debajo de la presa. La frecuencia del uso del vertedor la determinan las características de escurrimiento de la cuenca y la naturaleza del aprovechamiento de la cuenca y la naturaleza de aprovechamiento.

**Figura 7. Vertedero**



## **SELECCIÓN DEL TAMAÑO Y TIPO DEL VERTEDERO**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

Al determinar la mejor combinación de capacidad de almacenamiento y capacidad del vertedero para afrontar la avenida de proyecto elegida, deben considerarse todos los factores pertinentes de hidrología, hidráulica, proyecto, costo y daños posibles.

Se deberán tomar en cuenta factores como:

- Características del hidrógrama de la avenida.
- Los daños que podrían resultar si ocurriera la avenida sin la presa.
- Los daños que resultarían si la presa estuviera en su lugar.
- Los daños que ocurrirían si se rompiera la presa o el vertedero.
- Efectos que se obtendrían con las diferentes combinaciones de presas y vertederos sobre el probable aumento o disminución de los daños arriba o debajo de la presa.
- Costos relativos de aumentar la capacidad del vertedero.
- Uso combinado de las obras de descara para servir a más de una función, como para el control de descargas y control o paso de las avenidas.

## **DESCRIPCION DE LOS VERTEDEROS DE SERVICIO**

### **SELECCIÓN DEL PROYECTO DEL VERTEDERO**

Se puede preparar un proyecto compuesto considerando debidamente los diferentes factores que influyen en el tamaño y tipo del vertedor, y correlacionando los elementos elegidos en las alternativas. Después de que se han determinado el tamaño hidráulico y las características de descarga de un vertedero mediante el

estudio de la variación de niveles producida por la avenida de proyecto, se pueden elegir las dimensiones generales del sistema de control. Entonces, se puede elaborar el proyecto específico tomando en cuenta la topografía y las condiciones de la cimentación y adaptando la estructura de control y los diferentes componentes a las condiciones que imperan.

Las condiciones del emplazamiento influyen en forma importante en la selección de la localización, tipo y componentes de un vertedero. La inclinación del terreno atravesado por el canal de control y de descarga del vertedero, la clase y volumen de la excavación, además de la disponibilidades que haya de utilizarla como material para el terraplén; las posibilidades de que se erosionen las superficies formadas por la excavación y la necesidad de revestirlas; la permeabilidad y la resistencia de la cimentación y la estabilidad de los taludes excavados; todos estos factores deben considerarse en la selección

La adopción de un tamaño especial o arreglo para los componentes del vertedero puede influir en la selección de los demás componentes.

Un vertedero puede ser parte integrante de una presa, como la sección vertedora de una presa de concreto o puede ser una estructura separada.

## **PARTES QUE CONSTITUYEN UN VERTEDERO**

**La estructura de control:** Regula y gobierna las descargas del vaso, las estructuras de control pueden tomar varias formas tanto en su posición como en su figura, en planta los vertederos pueden ser rectos, curvos, semicirculares, en forma de U o redondos.

**Canal de descarga:** los volúmenes descargados por la estructura de control generalmente se conducen el cauce, abajo de la presa, por un canal de descarga o cauce. Las dimensiones del canal dependen principalmente de los requisitos hidráulicos, pero la selección del perfil, de la forma de las secciones transversales, anchos, longitud, etc, dependen de las características geológicas, y topográficas del emplazamiento.

**Estructura terminal:** Cuando el agua que pasa por el vertedor de demasías cae del nivel del embalse del vaso al nivel del río aguas abajo, la carga estática se convierte en energía cinética. Esta energía se manifiesta en la forma de altas velocidades que si se trata de disminuirlas producen grandes presiones. Por lo tanto generalmente deben disponerse medios que permitan descargar el agua en el río sin erosiones o socavaciones peligrosas en el talón de la presa y que no produzcan daños en las estructuras adyacentes.

**Canales de llegada y de descarga:** los canales de llegada sirven para captar agua del vaso y conducirla a la estructura de control. Las velocidades de entrada deberán limitarse y las curvaturas y transiciones deberán hacerse graduales, con objeto de disminuir las pérdidas de carga en el canal y para uniformar el gasto sobre la cresta del vertedero.

Los canales de descarga conducen el agua que pasa por la estructura terminal al cauce del río debajo de la presa. Las dimensiones del canal de descarga y la necesidad de protegerlo con revestimiento o enrocamientos, depende de la posibilidad de erosionarse.

## **TIPOS DE VERTEDEROS**

Los vertederos generalmente se clasifican de acuerdo con sus características más importantes, ya sea con respecto al sistema de control, al canal de descarga, o a otro componente. Con frecuencia los vertederos se clasifican en controlados o sin control, según que tengan o no compuertas. Comúnmente se clasifican como:

- **Vertederos de descarga libre:** Aquellos que el agua cae libremente de la cresta.
- **Vertederos de cimacio:** Los vertederos de cimacio tienen una sección en forma de S.
- **Vertederos con canales laterales:** Son aquellos en los que el vertedor de control se coloca a lo largo del costado y aproximadamente, paralelo a la porción superior del canal de descarga del vertedero.

- **Vertedero con canal de descarga:** Vertederos cuya descarga se conduce del vaso al nivel del río aguas abajo, por un canal abierto, colocada a lo largo de la ladera del emplazamiento de la presa o por un puerto, se le puede llamar vertedero de canal de descarga, de canal abierto o de cubeta.
- **Vertederos de conducto y de túnel:** En los que se usa un canal cerrado para conducir la descarga alrededor o debajo de la presa.
- **Vertedero de pozo o embudo:** Es uno en el que el agua entra sobre un bordo en posición horizontal, cae en un tiro vertical o inclinado y luego corre al cauce del río de aguas abajo por un entubamiento horizontal.
- **Vertederos de alcantarilla:** Son adaptaciones especiales del vertedero de entubamiento o de túnel.
- **Vertederos de sifón:** Son sistemas de conductos cerrados con la forma de una U invertida, colocada en tal posición que el interior de la curva del pasaje superior tenga la altura del nivel normal de almacenamiento en el vaso.

## 2.4.6 OBRAS DE TOMA Y CONDUCCION

### FUNCIONES DE LAS OBRAS DE TOMA

Las obras de toma sirven para regular o dar salida al agua almacenada en una presa. Pueden dejar salir las aportaciones de forma gradual, como en el caso de una presa reguladora; desviar los volúmenes recibidos a canales o tuberías, como en el caso de una presa desviadora; o dar salida al agua con gastos que dependen de las necesidades aguas abajo de la presa; de las necesidades de evacuación; o de la combinación de necesidades múltiples.

Las estructuras de las obras de toma pueden clasificarse de acuerdo con su objeto; con su distribución física y estructural, o con su operación hidráulica. Las obras de toma que descargan directamente en el río se pueden llamar con salida al río; las que descargan en un canal se pueden clasificar como de salida a un canal; y las que descargan en una tubería cerrada pueden llamarse con salida a una tubería forzada.

Las obras de toma pueden también funcionar como reguladoras, para dar salida a aguas temporalmente almacenadas en el espacio destinado al control de las avenidas, o para dejar salir el agua con anticipación a la llegada de las avenidas. Además, las obras de toma pueden servir para vaciar el vaso para hacer inspecciones, para hacer reparaciones indispensables, o para mantener el paramento mojado de la presa u otras estructuras normalmente inundadas. Las obras de toma pueden también auxiliar para descargar el vaso cuando se desea controlar o envenenar peces inútiles u otros animales acuáticos en el vaso.

### **CONDICIONES QUE DETERMINAN LA FORMA DEL PROYECTO DE LA OBRA DE TOMA**

La forma que puede tener una obra determinada puede estar influida por varias condiciones que provienen de los requisitos hidráulicos, a la adaptabilidad del lugar y a la relación recíproca entre la obra de toma y los procedimientos de construcción, y a otras construcciones auxiliares del aprovechamiento. Así, una obra de toma que conduzca a un canal elevado o a una tubería cerrada puede diferir de una que descargue al río. De la misma manera, en un proyecto en el que la obra de toma se utilice para la derivación, la forma de ésta puede ser diferente de la empleada cuando la derivación se lleva a cabo por otros medios.

La topografía y la geología de un lugar pueden tener una gran influencia en la selección del sistema. Algunos lugares pueden resultar adecuados para construir un conducto enterrado para la obra de toma, mientras que en otros, se puede utilizar tanto una estructura de éstas como un túnel. Cuando la geología de la cimentación es desfavorable, como las capas gruesas de materiales sueltos o de roca de calidad inferior, puede impedir la selección de un sistema en el que se emplee un túnel. Por otra parte, los lugares ubicados en cañones angostos con laderas empinadas pueden imponer el túnel como única solución para la obra de toma.

### **COMPONENTES DE LAS OBRAS DE TOMA**

En las obras de toma con canal abierto o en las de tipo de conducto, cuando prevalece la circulación parcial, las compuertas de control o las válvulas son los factores determinantes que establecen la capacidad de la salida de la obra de toma. Cuando una obra de toma opera como tubo forzado, el tamaño del conducto y del dispositivo de control determinan la capacidad. El tamaño total de una obra de toma lo determinan su carga hidráulica y la capacidad de descarga necesaria.

Cuando se ha elegido el tipo de conducto y se ha establecido el método de control, se pueden elegir las estructuras auxiliares para completar el proyecto. El tipo de la estructura de entrada depende de su localización y de su función, de las diferentes estructuras auxiliares, como rejillas para basuras, compuertas de plumas, o de las plataformas de operación que deben construirse. Debe disponerse de un medio de disipar la energía del agua antes de volver la descarga al río. Este puede consistir en un borde deflector, un estanque amortiguador, o un dispositivo semejante. Pueden ser necesarias cámaras de compuertas, plataformas, o locales que proporcionen espacio necesario para el resguardo y operación de los mecanismos de control. Las obras de toma también pueden requerir un canal de entrada para conducir el agua que se va a derivar, o para llevar el agua a la estructura de entrada cuando el agua está a un nivel bajo en el vaso, y un canal de salida para regresar la descarga al río.

## **ALMENARAS**

Es un conducto o tanque de oscilación que permite disipar las ondas elásticas generadas por el flujo cuando hay un cierre rápido, puesta en marcha de turbinas o presencia de aire. Tienen como función, además de disminuir el golpe de ariete, almacenar o distribuir caudal hasta que llegue la desaceleración y acortar el período variable de las ondas.

Para tal efecto hay diferentes tipos de almenaras:

- **Simple:** Es un tubo que tiene una abertura sin restricciones, lo suficientemente largo para que el fluido no se derrame.
- **Con cámaras:** Se usa si hay épocas en las que varía mucho el caudal. Consta de cámara de expansión, cámara de alimentación que supe el caudal necesario y un pozo de conexión.
- **Estrangulamiento inferior (orificio):** Tiene una reducción en la entrada al tanque amortiguador, que permite una mayor caída de presión y por lo tanto reduce las oscilaciones.
- **Diferencial:** Es una combinación entre orificio y simple. Hay una parte central que esta comunicada por unos orificios a un tanque, y que en caso de abertura rápida la parte que esta en el tanque supe a la parte central. En caso de cerrado brusco es conveniente ya que el flujo entra por los orificios disipándose efectivamente.

En las presas se coloca una almenara aguas arriba de la casa de máquinas a modo de protección de las turbinas. En algunas presas también se utiliza aguas debajo de la casa de máquinas.

Otro método utilizado para disipar el golpe de ariete es el colchón de aire, en el que se aprovecha la energía cinética para comprimir aire. Pero es inefectivo, ya que después se devuelve, produciendo nuevas ondulaciones que se disipan con rozamiento.

## 2.4.7 EQUIPOS

### EQUIPOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS

Todos los equipos para el proyecto se planea que correspondan a un diseño normalizado, los cuales podrán ser suministrados por fabricantes de amplia experiencia en cada válvula y/o compuerta.

Todos los materiales a fabricar y suministrar se recomienda que cumpla con las Normas ANSI; ISO R468 1974; ASTM; AWS; SSPC; AWWA y Código ASME.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPUERTAS

Todas las compuertas deben cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Podrán ser el producto de un fabricante con más de cinco años de experiencia en la manufactura de equipos para similares condiciones de operación a las solicitadas en la presente licitación.
- En el diseño de los equipos se planeará usar amplios factores de seguridad y los esfuerzos de trabajo no podrán ser superiores al más bajo valor entre un tercio de la resistencia a la fluencia o un quinto de la resistencia última del material. Para cada equipo se pueden diseñar los accesorios de montaje tales como guías, soportes y asientos.
- Cada compuerta deslizante se recomienda ser diseñada y manufacturada para resultar en un cierre hermético.
- Los vástagos, asientos de sello, tornillos y tuercas podrán ser fabricados en acero inoxidable.
- Los marcos deberán ser en fundición de hierro, contruidos en una sola pieza de tipo bridado o plano, de forma circular o rectangular de acuerdo con lo mostrado en los planos. Todas las superficies de contacto deben ser maquinadas.
- Los tableros deberán ser fabricados en fundición de hierro de una sola pieza e integrando en la fundición las costillas verticales y horizontales de refuerzo. En el tablero se deberán maquinar acanaladuras de ensamblaje para permitir la instalación de asientos de bronce. Integrado a la fundición irá una estructura de soporte fuertemente reforzada para alojar el mecanismo de agarre y soporte del vástago de la compuerta. El espesor calculado del tablero podrá incrementarse en 1mm como previsión para la corrosión.
- Las guías deberán ser también en fundición de hierro de una sola pieza diseñadas para tomar el empuje debido a la presión del agua y a la acción de acuñaamiento de la compuerta.

- Las compuertas deberán tener sellos de caucho sólido del tipo adecuado para garantizar la hermeticidad, dispuestos de tal manera que la presión del agua ayude a un sellamiento perfecto.
- Todos los elementos metálicos embebidos en concreto de primera y segunda etapa y que conforman los asientos de sellos y cuadrantes de la compuerta y tales como platinas, perfiles estructurales, pernos, tuercas, arandelas, elementos de nivelación, etc., deben ser fabricados en fundición de hierro de una sola pieza, garantizar una instalación fácil y segura y permitir la nivelación durante el montaje.
- Los vástagos deberán ser dimensionados para soportar seguramente, sin pandeo ni deformaciones permanentes, los esfuerzos generados por las fuerzas de operación normal de la compuerta. El vástago contará con guías en hierro fundido con bujes en bronce y soporte de también de hierro fundido.
- Para el diseño de los equipos de accionamiento se debe considerar que antes de que se inicie el movimiento de la compuerta.

## **BOCATOMA**

La bocatoma consta de varios conductos: pozo, galerías y túnel de captación, para evitar la entrada de objetos extraños al sistema se deberán proyectar rejillas coladeras, con áreas útiles.

El sistema se deberá controlar desde una cámara de válvulas donde deberá estar instalada una válvula de guarda y una válvula de control.

Especificaciones mínimas que se deben tener en cuenta para la operación de las compuertas:

- Nivel de creciente máximo
- Nivel Mínimo de Operación
- Nivel inferior Toma 1
- Nivel inferior Toma 2
- Nivel inferior Toma 3

- Número de compuertas
- Tipo de Compuerta
- Dimensiones nominales de las compuertas
- Apertura y cierre
- Operación en posiciones intermedias
- Velocidad de operación
- Frecuencia de operación
- Mecanismo de operación

## **DESCARGA DE FONDO**

### **Compuerta de Guarda**

El control del flujo deberá hacerse por medio de compuertas que interfieran lo menos posible con el flujo de sedimentos. La estructura contará con una compuerta que servirá de órgano de guarda y otra que servirá como órgano de control de las descargas. Las compuertas deberán ser operadas mediante mecanismos oleo-hidráulicos.

Condiciones mínimas que deben tenerse en cuenta para diseño y operación

- Nivel de creciente máximo
- Nivel del asiento de la compuerta en sello inferior
- Altura del pivote
- Ancho libre del conducto
- Altura libre del conducto
- Cabeza de diseño
- Velocidad de apertura y cierre
- Número de unidades

## **Vertedero**

El vertedero de excesos en túnel, se ha proyectado para manejar con seguridad la creciente máxima probable (CMP).

Para la compuerta del vertedero se deben conocer las siguientes características mínimas:

- Nivel de creciente máximo
- Nivel del asiento de la compuerta en sello inferior
- Nivel superior del tablero
- Ancho de la compuerta
- Altura de la compuerta
- Número de Compuertas
- Altura del pivote
- Cabeza de diseño
- Velocidad de apertura y cierre

Sin embargo el contratista debe revisar los estimativos de la creciente máxima probable y diseñará el vertedero para el manejo seguro de la misma. El contratista establecerá el ancho y altura de las compuertas, manteniendo un borde libre adecuado con respecto al nivel máximo alcanzado por la creciente una vez transitada por el embalse.

### **2.4.8 CONEXIÓN AL SISTEMA**

Los requisitos mínimos que se recomiendan que cumplan los dispositivos eléctricos, de instrumentación y control son:

#### **SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA**

Teniendo como base el dimensionamiento final de los equipos electromecánicos a emplear en la Presa y sus obras complementarias, se debe desarrollar el diseño

del sistema eléctrico; para lo cual se recomienda tener en cuenta que, en general, las partes de cobre y plata se planea que sean estañadas.

## **RED DE MEDIA TENSIÓN**

Se requerirá construir una red de media tensión para alimentar la subestación de la Presa.

Existen alternativas de trazado de la nueva red de media tensión a saber:

- Alternativa No 1: Prolongar la red de Media Tensión existente
- Alternativa No 2. Prolongar una nueva Línea

Para definir el trazado definitivo, se requiere realizar el trámite de factibilidad ante la Electrificadora competente para así definir el punto definitivo de conexión a la red existente de media tensión y poder así diseñar la línea de media tensión definitiva.

## **Transformador de Potencia**

Para el dimensionamiento final del transformador de potencia de la Presa, se pueden tener en cuenta los consumos de cada uno de los equipos eléctricos que hacen parte de cada válvula y compuerta, y los requerimientos para iluminación y otros propósitos en el sitio de la obra.

Este equipo deberá ser fabricado de acuerdo con las normas ICONTEC 819 y de la American National Standard Institute (ANSI).

## **2.4.9 INFRAESTRUCTURA PARA CONSTRUCCION**

Se debe hacer un estudio de los siguientes ítems:

- Estudio de transporte (necesidades del proyecto)
- Vías a mejorar, relocalizar o construir
- Energía para construcción

- Comunicaciones para construcción
- Campamentos
- Infraestructura regional

#### **2.4.10 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS**

La construcción de una presa precisa de un importante volumen de materiales. Las presas de materiales sueltos dependen fundamentalmente del tipo de material disponible. Los materiales deben reunir los siguientes requisitos:

- Volumen apropiado a la magnitud de la presa.
- Calidad adecuada a los distintos fines.
- Distancia operativa.
- Facilidad de extracción.
- Condiciones medioambientales aceptables para su explotación.

#### **INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE PRÉSTAMOS**

El estudio de materiales se inicia en las primeras fases de investigación en los estudios previos y de factibilidad, y se prosigue a lo largo del proyecto y en la propia construcción.

La investigación geológica se basa en la cartografía geológica y la fotointerpretación. En una primera estimación se localizan posibles áreas de préstamo y de canteras. En una fase posterior se efectúan sondeos de reconocimiento, calicatas mecánicas y geofísica (sísmica de refracción y eléctrica), obteniendo muestras para la clasificación de suelos y propiedades básicas (ensayos de identificación y de compactación). En las zonas de posibles canteras

la investigación incluye la medida de datos estructurales, grados de alteración y factores topográficos incidentes en la extracción.

Las propiedades geotécnicas y mecánicas de los materiales se evalúan a partir de ensayos de laboratorio en muestras estadísticamente representativas del área de préstamo o cantera. Esto supone ensayar un elevado número de muestras, siendo lo habitual proceder por fases de acuerdo con los objetivos y etapas del proyecto.

Una vez analizados los posibles yacimientos se procede a la cubicación y proyecto de explotación

## **TIPOLOGÍA DE LOS MATERIALES**

En función de su utilización, los materiales se agrupan en los siguientes tipos:

- Núcleos impermeables.
- Espaldones y escolleras.
- Filtros y drenes.
- Áridos para hormigones.

En principio la mayoría de los materiales geológicos pueden ser utilizados, excepto los inestables química o físicamente, solubles, orgánicos, colapsables, dispersivos, reactivos, expansivos, de muy baja densidad o de alta plasticidad, entre otros.

Sin embargo, la selección de materiales para un fin determinado exige cumplir además los requisitos dados en las instrucciones y los pliegos de prescripciones técnicas para presas.

## **2.5 COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO**

Se debe tener en cuenta y es la Base técnica, económica y ambiental para declarar la factibilidad del proyecto, para permitir su comparación con otros y para la toma de decisiones y la posterior revisión de las decisiones contra cambios en el costo o las dimensiones de dichas variables fundamentales.

Es importante tener en cuenta lo siguiente:

### **2.5.1 BENEFICIOS DEL PROYECTO**

- Energía y potencia
- Vida útil
- Valoración de los productos (energía y potencia)

### **2.5.2 PROGRAMA DE EJECUCION**

- Plan maestro del proyecto
- Programa de construcción

### **2.5.3 CANTIDADES DE OBRA**

#### **DETERMINACIÓN DE CANTIDADES DE OBRA**

Después de que se han determinado los detalles del proyecto de la presa y estructuras auxiliares, se puede completar todo el proyecto y calcular las cantidades de obra.

Al preparar los presupuestos para excavaciones y para el terraplén, deberán tomarse en cuenta los materiales desperdiciados, materiales inadecuados, contracción de la excavación a los terraplenes compactados, aumento de la roca excavada, y a las excavaciones excedentes en túneles y canales.

El porcentaje de imprevistos que generalmente se añade al presupuesto se hace con el fin de disponer de fondos para dificultades imprevistas, cambios en los planos, y pequeños detalles de proyecto que puedan cambiarse o, posiblemente, haberse omitido debido a lo limitado de los fondos. Este porcentaje de imprevistos no es para cubrir el exceso de excavación o los desperdicios excesivos en la construcción.

Al preparar presupuestos, deben aplicarse factores de corrección o porcentajes a las cantidades netas calculadas para ciertas clases de trabajo. Los conceptos más importantes que pueden estar equivocados son los correspondientes a los terraplenes, excavaciones y cantidades de concreto. La tierra para los terraplenes de tierra compactados, si se miden en la excavación del préstamo, generalmente, se contraen del 10 al 30% cuando se compactan en general, aproximadamente 15%.

Generalmente, se considera el aumento del volumen de la roca del 20 al 40% y el 25%, de la excavación al terraplén o enrocamiento. Se debe considerar un margen adecuado para el exceso de excavación y para los revestimientos de concreto en los túneles. El exceso de excavación varía con el tamaño del túnel; con la naturaleza del material como con su composición, su figuración, o textura laminar; y con los métodos de construcción empleados. El exceso de excavación en los túneles puede llegar a ser hasta el 40% del volumen determinado por la sección teórica. Las cantidades de concreto que se emplean en los revestimientos en estos casos son considerablemente mayores, porque su volumen depende del área del anillo de concreto y no, de la sección completa del túnel.

También se tienen que tomar en cuenta los desperdicios de agregados en las cantidades de concreto.

El encargado de los presupuestos debe ser generoso al calcular cantidades, pero al mismo tiempo debe evitar hacer presupuestos irrazonablemente elevados. Los datos de laboratorio disponibles son de considerable importancia para el presupuestista para dar los márgenes necesarios a las cantidades estimadas. Esto es especialmente cierto de los materiales para los terraplenes y para las mezclas de concreto.

Un detalle importante para estimar cantidades es un conocimiento general de las definiciones de los diferentes conceptos con respecto a las especificaciones o unidades de pago. Al preparar la relación de cantidades es generalmente aconsejable hacer una lista de todos los conceptos en una forma impresa y de acuerdo con las especificaciones normales, de manera que se puedan revisar cuidadosamente las cantidades evitando las omisiones.

#### **2.5.4 PRECIOS UNITARIOS**

Debido a las condiciones tan variables con respecto a la economía como a la mano de obra en las diferentes localidades, no es posible dar precios unitarios para estimar cada clase de trabajo. Además, los costos fijos fluctúan ampliamente correspondiendo a las condiciones económicas y a otros factores. El presupuestista debe familiarizarse por sí mismo con las condiciones locales, fuentes probables de materiales y personal disponible, costo de trabajos semejantes en la localidad, y cambios probables en los costos de los materiales y del personal, que puedan ocurrir antes de empezar la construcción, debido a ajustes económicos.

Durante los periodos de fluctuaciones económicas, se de ben tomar en cuenta los índices de los costos de construcción y tendencias, con una inteligente aplicación a un proyecto en especial.

Los costos de operación, como los de excavación, terraplenes, y trabajos de concreto en grandes masas no han subido en proporción al aumento del costo de los salarios, debido al perfeccionamiento de los métodos y al mayor uso de maquinaria y de equipo mecánico.

## **2.5.5 PRESUPUESTOS**

### **FORMULACIÓN DE PRESUPUESTOS**

Durante la etapa de reconocimiento se hacen presupuestos aproximados detallados, con el objeto de estudiar otros emplazamientos que se pueden considerar como alternativas, y para determinar el tamaño y objeto de la obra. Son necesarios presupuestos más detallados con cantidades de obra y precios unitarios para incluirlos en los informes de viabilidad para apoyar una autorización o aprobación para su construcción, después de que en los estudios para la formulación de planos se ha establecido la escala óptima de la solvencia económica de la obra. Los presupuestos para presas y vasos deben incluir, además de los costos de construcción de la presa y estructuras auxiliares, el costo probable de los terrenos, derechos hidráulicos, derechos de vía, y el desmonte de la superficie del vaso; el costo del cambio de localización de las carreteras públicas, ferrocarriles, edificios, y de otras propiedades; y los costos administrativos y de ingeniería. También serán necesarios presupuestos para determinar los costos anuales para el financiamiento y para operación, mantenimiento y reemplazos.

El presupuesto para la viabilidad no necesita ser con todos los detalles, pero el total debe representar un límite, dentro del cual se pueda construir

el proyecto, salvo los aumentos importantes en los precios unitarios. El presupuesto final se basará en estudios detallados subsecuentes hechos en conexión con la preparación de especificaciones y deberá hacerse con el detalle suficiente para que sirva de guía para obtener proposiciones y para adjudicar un contrato de construcción.

### **2.5.6 INDICES ECONOMICOS**

Se debe realizar los siguientes estudios:

- Parámetros de costos
- Análisis económicos
- Índices de eficiencia económica

## **2.6 EVALUACION E IMPACTO AMBIENTAL**

### **2.6.1 DOCUMENTOS DE REFERENCIA Y MARCO JURÍDICO**

Las normas ambientales exigen un riguroso cumplimiento de la normatividad ambiental, donde se establecen medidas de prevención y protección de los recursos ambientales, estas normas se deben tener en cuenta y por lo general son las siguientes:

- Normas ambientales generales
- Normas relacionadas con el uso y aprovechamiento del agua
- Normas sobre la calidad del aire
- Normas sobre manejo y disposición de residuos
- Normas relacionadas a las obras y al uso de maquinaria
- Normas sobre relaciones con la comunidad
- Normas sobre protección del patrimonio arqueológico

### **2.6.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO**

#### **DEFINICIÓN DE ÁREAS DE INFLUENCIA**

Estas áreas son empleadas para la caracterización ambiental o conformación de la línea base del proyecto en los contextos local y regional.

Para la delimitación de las áreas de influencia, se han evaluado de manera separada los aspectos físico-bióticos, con los que se conforman las Áreas de Influencia Ambiental, y los aspectos socioeconómicos y culturales para la conformación de las Áreas de Influencia Social.

### **CRITERIOS DE DELIMITACIÓN ÁREAS DE INFLUENCIA DIRECTA (AID)**

El área de influencia directa del proyecto es aquella donde se manifiestan los impactos generados por las actividades de construcción y operación; está relacionada con el sitio del proyecto y su infraestructura asociada.

### **CRITERIOS DE DELIMITACIÓN ÁREAS INFLUENCIA INDIRECTA (AII)**

Área donde los impactos trascienden el espacio físico del proyecto y su infraestructura asociada, es decir, la zona externa al área de influencia directa la cual se extiende hasta donde se manifiestan tales impactos.

### **ÁREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL**

Se tienen en cuenta las áreas a intervenir por la presa, obras anexas y obras adicionales, incluyendo las diferentes unidades fisiográficas naturales y ecosistémicas, susceptibles de modificación por el desarrollo del proyecto.

### **Área De Influencia Directa Ambiental (Aid)**

El AID ambiental, se concibe esencialmente en función de las obras civiles ligadas a la construcción de la presa, obras anexas y obras adicionales como la PTAP, vías de acceso y las tuberías de aducción y conducción, las cuales obedecen a

una secuencia propia del ejercicio de la ingeniería. Dicha secuencia demanda para su aceptable implementación, el trabajar en un espacio físico controlado donde se efectuaran las intervenciones directas de mayor relevancia o incidencia ambiental.

## **ÁREA DE INFLUENCIA SOCIAL**

Para el Área de Influencia Social, se tienen en cuenta las áreas de uso social, económico y cultural asociadas a las comunidades asentadas cerca de las obras, o que se verán beneficiadas o perjudicadas indirectamente por el proyecto.

### **Área de influencia directa social (aid)**

El AID social, está conformada por las comunidades localizadas en la zona de inundación.

### **Área De Influencia Indirecta Social (Aii)**

Son las zonas que se beneficiaran del proyecto, ya sea por ejemplo recibiendo agua del embalse.

## **2.6.3 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES**

A continuación se presenta una relación de los recursos naturales que demandará el proyecto en sus fases de construcción y operación.

Los permisos requeridos serán los siguientes:

1. Permiso de vertimientos (aguas residuales domésticas).
2. Permiso de ocupación temporal de cauce (para las obras de desviación).
3. Permiso de ocupación permanente de cauce (para la operación de la presa).
4. Permiso de aprovechamiento forestal único.
5. Permiso para la explotación de materiales pétreos.

## **AGUAS SUPERFICIALES**

Durante la construcción se utilizará agua principalmente para la humectación de terraplenes, de las áreas donde se lleve a cabo el descapote y de los caminos en afirmado, para la preparación de concretos, en el lavado de tuberías durante su instalación, y en los baños a instalar en los frentes de obra.

Los campamentos de obra serán provisionales. A decisión del constructor pueden ser prefabricados u de otro sistema pero en cualquier caso deberá dar cumplimiento a la normatividad ambiental.

Durante la operación, se utilizará agua para los servicios sanitarios de las diferentes instalaciones, donde laborará un número reducido de personal.

## **VERTIMIENTOS**

Los sistemas sanitarios de los frentes de obra (durante la fase de construcción), así como los baños que utilizarán los operarios de la caseta de control de la presa, demandarán agua para uso doméstico, y por lo tanto, generarán vertimientos de aguas residuales del mismo tipo.

Los sistemas sanitarios en la fase de construcción recomendablemente deben estar compuestos por baños portátiles para los frentes de obra, cuyo proveedor debe recoger, tratar y disponer los residuos que se generen. Además debe contar

con el correspondiente Permiso Ambiental. Los sistemas sanitarios en la fase de operación (caseta de control de la presa), estarán compuestos por sistemas sépticos integrales, o el equivalente a pozo séptico.

El sistema de tratamiento (pozo séptico o sistema séptico integral) debe tener el funcionamiento tradicional, donde exista caja de inspección, sistema de flujo ascendente, trampa de grasas y sistema de tubería para que se filtre el agua tratada.

Las aguas residuales que se generen en el proyecto pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Aguas residuales domésticas durante la construcción.
- Aguas residuales industriales durante la construcción

## **OCUPACIÓN DE CAUCES**

Tener presente los siguientes permisos:

- Permiso temporal para desvío de cauce del río.
- Permiso permanente de ocupación de cauce en el río.

## **APROVECHAMIENTO FORESTAL**

### **APROVECHAMIENTO FORESTAL EN EL ÁREA DEL EMBALSE**

El inventario forestal debe realizarse en los siguientes sectores:

- Zona de inundación.
- Tubería de aducción.
- Tubería de conducción.

- Tubería de lodos.
- Vías de acceso al embalse

## **EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

Las emisiones atmosféricas están principalmente asociadas a la trituración de agregados pétreos y a la operación de maquinaria y equipos durante la fase de construcción.

Habrán liberación de material particulado en las inmediaciones de la trituradora y la cantera así como en las vías sin pavimentar por donde transiten los vehículos; emisiones de gases provenientes de los motores de combustión, y aumentos en los niveles de ruido.

Para las emisiones de gases e incremento en los niveles de ruido, generados por la operación de maquinaria y equipo durante la fase de construcción, se debe presentar un plan Manejo y control de emisiones atmosféricas y material particulado.

Los pétreos deben someterse a un proceso de beneficio agregados mediante trituración mecánica, esta actividad requiere de un permiso temporal de emisiones, cuyo trámite debe ser realizado por el contratista.

## **RESIDUOS SÓLIDOS**

Los residuos domésticos provenientes de baños y cafeterías serán recogidos por los camiones de aseo de la Zona y dispuestos en los rellenos sanitarios ya establecidos en la zona y autorizados por la autoridad ambiental.

Los residuos industriales provenientes de la operación de maquinaria (estopas, empaques, aceites usados, lubricantes, entre otros), deben entregados para su debida disposición a los operadores licenciados.

## **2.6.4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN**

A continuación se presentan los impactos que muy seguramente se presentaran en la etapa de construcción de la presa y obras adicionales, los cuales son causados por las actividades preliminares y propias de la obra a construir.

### **DIMENSIÓN FÍSICA**

#### **1 COMPONENTE SUELO**

- **Generación de procesos erosivos**

Los procesos erosivos pueden generarse especialmente en una franja bordeando el área de inundación, donde se producirán los cambios en el nivel del agua en época de invierno / verano, o día / noche por el efecto de las mareas.

Adicionalmente, si llega a ser necesario abrir las compuertas del rebosadero, debido a algún episodio de crecida máxima, es posible que el poder erosivo del agua (con caudales mucho mayores que los normales, antes de represar el río) se incremente significativamente aguas abajo de la presa, fenómeno que igualmente se presentará en los eventos de descarga de fondo.

Por último, durante el mantenimiento de las vías es posible que se genere erosión en el evento que se requiera intervención de taludes y transporte de materiales.

- **Contaminación de suelos**

La contaminación de los suelos en el área del embalse, se puede dar por varios factores:

- El primero, si se disponen inadecuadamente los lodos provenientes de la descarga de fondo los cuales tienen un alto contenido de materia orgánica parcialmente descompuesta
- El segundo, causado por los residuos sólidos o vertimientos provenientes de la caseta de control de la presa.
- Por último, generada por las actividades turísticas y el mantenimiento de las vías (aguas residuales domésticas de baños, basura, entre otras).

## **2 COMPONENTE AGUA**

Los impactos más importantes en la fase de operación, ocurren principalmente por el efecto de represamiento del río, debido a que la vida en los “lagos” depende enteramente de la luz. Los rayos del sol no pueden penetrar más allá de la “zona limnética fótica” por los sedimentos y por el mismo crecimiento del fitoplancton, razón por la cual, los procesos fotosintéticos se ven limitados a ocurrir únicamente en el “epilimnion” del embalse (franja más superficial, caliente y menos densa de agua que se forma en los lagos con considerable profundidad).

La temperatura también cambia con la profundidad del embalse, ya que por cada metro de profundidad, la temperatura desciende aproximadamente 1°C, en una zona de gradiente llamada termoclina. La disponibilidad de oxígeno puede ser limitada en todo el embalse, ya que únicamente una porción del agua está en contacto directo con el aire, y este a su vez es consumido por la descomposición en las capas profundas.

Dichas variaciones de oxígeno, temperatura y luz determinan la distribución y adaptaciones de los seres vivos en los lagos.

### **• Acumulación de sedimentos o basura en los cuerpos de agua**

El embalse actúa como un gran sedimentador de los materiales que arrastre el río desde la cuenca alta, de tal forma que estos materiales se acumulan en el fondo del embalse.

Los residuos sólidos se generan por las comunidades aledañas al embalse, y por las actividades turísticas (si no se lleva a cabo un control sobre los visitantes), el cuerpo de agua se verá afectado por el aporte de basura y sedimentos.

Dependiendo del objeto o sustancia que caiga en el río, este impacto puede ser más o menos grave.

- **Alteración de la Calidad del Agua del Embalse**

- **Área del Embalse**

Los cambios de la calidad del agua, al pasar de un ecosistema lótico a uno léntico, implica una serie de drásticas modificaciones, inducido por la reducción y estancamiento del agua del río, por las consecuencias de la inundación de materia orgánica vegetal (foliar y leñosa), por el actual aporte de nutrientes del río y por los pasivos ambientales de las actividades constructivas realizadas dentro del vaso.

Ante tales cambios se afectarán los niveles de oxígeno, aumentándose las demandas química y biológica, paulatinamente las aguas embalsadas se convertirán en una trampa de la materia orgánica y todo tipo de material bio y no biodegradable.

- **Alteración de la Calidad del Agua en el área de obras adicionales**

En el área de las obras adicionales, es posible que durante el mantenimiento y reparación de vías y de las tuberías de aducción y conducción, caigan sustancias o materiales que puedan afectar la calidad de las aguas de las corrientes hídricas,

así como la inadecuada disposición de vertimientos líquidos y residuos sólidos generados por el turismo en la zona del embalse

### **3 COMPONENTE ATMOSFÉRICO**

- **Emisión de gases y material particulado**

La emisión de gases como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y material particulado, es posible que se produzca de una manera moderada en el área del embalse y obras adicionales, en las nuevas vías construidas ya en operación, debido a la combustión de los motores de los vehículos que las transitan y al polvo que levantan sus llantas. Igual situación podrá presentarse durante el mantenimiento de las vías por la operación de maquinaria.

- **Cambio en el nivel y frecuencia de ruido**

Este impacto puede producirse, por el aumento del tránsito en las nuevas vías construidas. Por otra parte, la operación de la misma presa (apertura y cierre de las compuertas) aumentarán los niveles de ruido, en zonas donde antes este aspecto era irrelevante.

### **4 PAISAJE**

- **Alteración en la percepción del paisaje**

La presa, el embalse, las nuevas tuberías, vías y la reubicación de hogares, cambiarán evidentemente la configuración del paisaje antes existente. El hecho de que se construya el embalse, cambiará tanto la percepción del paisaje de la zona, que es posible que se convierta en un atractivo turístico el cual podrá ser visitado por las personas de varias partes del país (ecoturismo).

### **DIMENSIÓN BIÓTICA**

## **1 FLORA TERRESTRE**

### **• Transformación de coberturas vegetales**

La tendencia de disminución de las coberturas vegetales, será el resultado del incremento de las actividades antrópicas sobre la zona: una vez efectuada la obra, la valorización de la zona será un atractivo para los asentamientos humanos y la ubicación de familias en las áreas cercanas al embalse; por tanto, es muy posible que se aumente la frontera agrícola y se efectúen aprovechamientos domésticos y extracción de madera, que propicien a la desaparición parcial de los relictos de bosque natural.

## **2 FAUNA TERRESTRE**

### **• Formación de nuevos ecosistemas y comunidades**

El reemplazo de las condiciones originales, donde, se pierden los hábitats terrestres y se reemplazan por hábitats acuáticos, conforman nuevos recursos que favorecen de manera gradual, a determinados grupos de fauna terrestre; en primera instancia aparecen o se recuperan aquellas especies generalistas de hábitat y en segunda medida, en los nuevos ecosistemas, aparecen aquellas especies que se aprovechan los recursos que ofrece el nuevo hábitat. No obstante, algunas otras especies desaparecen completamente, reduciendo sus distribuciones a los remanentes de vegetación original periféricos a la zona del embalse.

## **3 BIOTA ACUÁTICA**

Algunas manifestaciones del gran impacto al ecosistema acuático son:

- Cambios drásticos del hábitat, pasando de río a lago; y por lo tanto de la química del agua que involucra procesos de adaptabilidad biótica.
- Cambios en la composición de especies planctónicas, bentónicas y nectónicas.
- Reducción de la productividad de especies de gran importancia para la pesca deportiva de la región.

## **DIMENSIÓN SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL**

Si la Gestión Social durante la etapa de construcción se desarrolla adecuadamente, puede dejar en la comunidad la “buena imagen” de que el proyecto no es solo beneficioso para la empresa ejecutora, sino que es un bien común por el cual la comunidad también se verá beneficiada.

A continuación se relaciona los aspectos que se pueden presentar durante la operación:

- Cambio en la dinámica socioeconómica y cultural
- Generación de empleo
- Riesgo de conflictos con la comunidad
- Mejora de la infraestructura regional
- Mejora en la movilidad
- Riesgos de accidentalidad en trabajadores y pobladores

### **2.6.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA FASE DE OPERACIÓN**

#### **DIMENSIÓN FÍSICA**

##### **1. COMPONENTE SUELO**

El componente suelo se verá afectado principalmente, por un cambio drástico en el uso del suelo de la zona a inundar, por el aporte de material orgánico y

sedimentos y el mantenimiento de vías. El impacto principal es la pérdida de suelo causado por el represamiento del río. Se deberá evitar a toda costa la contaminación del suelo en las áreas aledañas al embalse, para evitar que los contaminantes y nutrientes sean arrastrados por lixiviación al mismo.

## **2. COMPONENTE AGUA**

Los impactos más significativos para el componente agua en la etapa de operación están referidos a la alteración de la calidad y la acumulación de sedimentos y nutrientes, generados por el represamiento del río y a la reducción de su caudal natural a su caudal ecológico.

## **3. COMPONENTE AIRE**

La calidad del aire en operación estará en buenas condiciones, tanto en el área del embalse como en el área de las obras adicionales, debido a que la única actividad que generará emisiones, es el tránsito que circulará por las nuevas vías existentes. Durante las labores de mantenimiento de las vías se generaran material particulado y gases de la combustión de la maquinaria, sin embargo serán de baja magnitud y de corta duración.

El aumento en los niveles de ruido, será ocasionado por el funcionamiento de la presa, y el mantenimiento de las vías.

## **4. PAISAJE**

Una vez terminadas las obras, el área del embalse tendrá un paisaje completamente diferente al existente (sin proyecto), lo cual puede atraer en un

futuro las actividades turísticas en la zona y posiblemente algunas especies de avifauna acuática.

Los cambios en la percepción del paisaje en el área de las obras adicionales son de significancia alta, sin embargo con las medidas que se implementen este impacto se tornará positivo por cuanto puede representar un atractivo turístico de gran valor para la región.

## **DIMENSIÓN BIÓTICA**

### **1 FLORA TERRESTRE**

El impacto en la flora durante la etapa de operación no se considera importante, ya que este ha tenido lugar durante la ejecución de las obras. Se podría presentar alguna presión sobre la flora por el aumento del turismo que necesariamente generará el embalse, pues algunas personas podrían talar el bosque para la construcción de viviendas, situación que debe ser controlada por las autoridades locales.

### **2 FAUNA TERRESTRE**

Durante esta etapa, uno de los impactos con una mayor incidencia, dados los calificadores, consiste en la formación de nuevos ecosistemas y comunidades. Debido al reemplazo de las condiciones originales (se pierden los hábitats terrestres y se reemplazan por hábitats acuáticos), aparecen en la zona nuevos recursos que favorecen de manera gradual a determinados grupos de fauna terrestre. En primer lugar, aparecen las especies generalistas de hábitat y en segundo lugar, aquellas especies que se aprovechan de los recursos que ofrece el nuevo hábitat. No obstante, algunas especies desaparecen completamente, reduciendo sus distribuciones a los remanentes de vegetación original periféricos a la zona del embalse.

### **3 BIOTA ACUÁTICA**

Los impactos ocurridos durante la fase de operación del embalse al ecosistema acuático están dados por la alteración drástica del hábitat y de las poblaciones de organismos que viven en él, por el paso de un ecosistema de aguas corrientosas a aguas remansadas, es decir de río a lago en un tiempo relativamente corto.

#### **DIMENSIÓN SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL**

Durante la etapa de operación disminuirá notablemente el riesgo de accidentalidad en trabajadores y habitantes de la zona, sin embargo, es importante tener en cuenta que el nuevo embalse se convertirá en un hábitat idóneo para la proliferación de vectores de enfermedades que pueden afectar la salud humana, por esta razón, este impacto merece de un especial manejo durante la construcción de las obras y sobre todo, a lo largo de toda la operación del embalse basándose en la ayuda de la comunidad y de un monitoreo constante.

Otro factor que puede ocasionar conflictos con la comunidad será aquel que se presente con respecto a las migraciones al área de influencia. Debido a las nuevas oportunidades de trabajo, es posible que se registre un aumento en el número de habitantes de la zona. Este aspecto puede ocasionar conflictos si se contempla que estos nuevos habitantes pueden solicitar vinculación laboral o en su defecto, podrán asentarse en áreas no aptas creando cinturones de invasión.

La adaptación a largo plazo de los hogares reubicados es un aspecto de mucho cuidado, debido a que se pueden generar conflictos con los vecinos en las nuevas áreas. A los hogares reubicados se les debe hacer un seguimiento constante y se les deberá brindar ayuda hasta que consigan tener las mismas condiciones de vida que tenían antes del desplazamiento.

## **2.6.6 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL Y PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

El PMA y PGS, es el conjunto de programas, proyectos y actividades, necesarios para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos generados por el proyecto durante las diferentes etapas. Para los impactos que se prioricen tras la evaluación, se deben formular un programa y/o actividad como medida de manejo, debido a que son los impactos más significativos y que merecen atención inmediata durante la construcción u operación del proyecto.

El PMA se debe dividir en Gestión Ambiental (Dimensión Abiótica y Biótica) y Plan de Gestión Social (PGS) y debe contener las medidas de manejo aplicables a las etapas de construcción y posterior operación de la presa, y obras adicionales, vías de acceso, y tuberías de aducción, conducción y lodos.

### **PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

Se deben presentar medidas de manejo para:

- Manejo Ambiental Aspectos Abióticos
- Manejo de escombros y Residuos Sólidos
- Explotación de materiales de construcción
- Manejo de obras de concreto y materiales de construcción
- Manejo de Residuos Líquidos, combustibles, aceites y sustancias químicas
- Manejo de aguas superficiales
- Manejo de maquinaria y equipo
- Instalación y operación de campamentos
- Manejo y control de emisiones atmosféricas material particulado
- Manejo de Tránsito y Señalización
- Estabilidad de Taludes
- Manejo de Explosivos
- Fichas Manejo Ambiental Aspectos Bióticos
- Manejo de Aprovechamiento Forestal

- Manejo Silvicultural
- Manejo Rescate de Fauna
- Manejo de Descarga de Fondo
- Manejo de Corredores Biológicos
- Protección de la Calidad del Agua en el Embalse y control de la eutrofización
- Evaluación de Cambios en el Nuevo Ecosistema
- Producción de Alevinos
- Vigilancia y Control Macrófitas Acuáticas
- Detección y Control de Vectores Acuáticos

## **PLAN DE GESTIÓN SOCIAL**

- Información, comunicación y participación de comunidades
- Vinculación laboral al Proyecto
- Estrategia para la reubicación de la escuela
- Estrategia para adquisición de predios
- Estrategia de reubicación de viviendas
- Levantamiento de actas de vecindad y restitución de daños a terceros
- Oficina de Atención a la Comunidad (OAC)
- Potenciación de actividades productivas durante construcción y operación
- Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
- Educación ambiental para los trabajadores del Proyecto
- Manejo patrimonio arqueológico

### **2.6.7 SEGUIMIENTO Y MONITOREO**

El Programa de Seguimiento y Monitoreo permitirá evaluar el desempeño de las medidas de manejo ambiental y gestión social propuestas para las etapas de construcción y operación del proyecto, con el fin de establecer una red de

monitoreo que permita el seguimiento de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.

A continuación se presentan las medidas propuestas para el Programa de Seguimiento y Monitoreo:

### **MEDIDAS DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO**

- Protección de la Calidad del Agua en el Embalse y control de la eutrofización
- Evaluación de cambios en el nuevo ecosistema
- Producción de Alevinos
- Vigilancia y control macrófitas acuáticas
- Control de Vectores Acuáticos
- Monitoreo de fuentes hídricas superficiales
- Monitoreo Fauna
- Monitoreo y Seguimiento diversidad florística
- Monitoreo y seguimiento de las familias reasentadas

### **RED DE INSTRUMENTACIÓN PARA SEGUIMIENTO Y MONITOREO**

Para el seguimiento de las variables y efectos ambientales en las actividades constructivas más impactantes y potencializadoras de conflictos, se debe diseñar una red de instrumentación dentro del Plan de Manejo Ambiental, la cual especifica las variables a medir, equipos e indicadores.

### **MANUAL DE SEGUIMIENTO PARA LA INTERVENTORÍA AMBIENTAL**

Es elaborado para orientar la labor de la Interventoría durante la construcción del Embalse, mediante la aplicación de lineamientos de control socioambiental recomendados para el desarrollo de proyectos de infraestructura.

La función ambiental de la interventoría consiste en supervisar, controlar y aprobar la gestión técnica y administrativa desarrollada por el consultor para que durante el proceso de consultoría, se de cumplimiento a las labores ambientales.

A continuación, se establecen las funciones y responsabilidades que los profesionales que conformarán dicha interventoría deberán desempeñar:

## **FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS PROFESIONALES DE LA INTERVENTORÍA AMBIENTAL**

### **Funciones Del Director De La Interventoría Ambiental**

Es el principal responsable del control y prevención de la contaminación, y deterioro ambiental, así como la supervisión y control del cumplimiento de las normas y obligaciones de la obra de acuerdo con la normatividad exigida por el contratista. Dentro de su función planifica, organiza y controla el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) durante el desempeño de las actividades realizadas.

### **Funciones Del Interventor Ambiental**

Es el responsable de supervisar el aspecto ambiental de las diferentes funciones que conllevan las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto. Brinda asesoramiento y capacitación en aspectos ambientales al equipo de trabajo del Contratista. Verifica el cumplimiento del PMA y de los compromisos ambientales, prepara informes diarios, registrando las actividades realizadas.

## **Funciones Del Interventor En Seguridad Industrial Y Salud Ocupacional**

Es el responsable de supervisar todo lo referente a seguridad, salud e higiene de los trabajadores durante las diferentes funciones que conllevan las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto. Brinda asesoramiento y capacitación en aspectos de salud al equipo de trabajo del Contratista. Verifica el cumplimiento del PMA.

## **Funciones Del Interventor Social**

Dentro de sus funciones se encuentran las siguientes actividades:

- Promoción, restablecimiento, conservación o mejora del funcionamiento de individuos, familias, grupos sociales y las comunidades, ayudándoles a prevenir la aparición de situaciones de riesgo y utilización de recursos y todo lo referente al área del proyecto.
- Investigación, planificación y desarrollo e implementación de políticas, servicios y programas necesarios para satisfacer las necesidades básicas y apoyar el desarrollo de capacidades y habilidades, en relación a las obras que se adelantarán en la zona
- Brindar asistencia adecuada a cada demanda de ayuda y a cada problemática específica, como medio de promoción, prevención y rehabilitación o reintegración a la vida normal (en los aspectos familiares, laborales o educativos, vecinales, grupos, etc.), así como adaptación al nuevo entorno.
- Evaluación permanente del trabajo y respuesta de la comunidad frente a las labores realizadas en la zona.
- Investigar sobre los factores que influyen en el bienestar o malestar de los individuos, grupos y comunidades, así como brindar el tratamiento adecuado

- Promover la creación de servicios y recursos para el fomento del Bienestar Social (de salud, educación, empleo, protección y servicios. Estimulando la formación de grupos que faciliten el desarrollo de las capacidades de la comunidad en función de la zona y de las obras llevadas a cabo en ella.

## **2.7 PLAN DE CONTINGENCIAS**

### **2.7.1 GENERALIDADES**

Se debe hacer un planeamiento de operaciones en caso de situaciones de desastre entre las cuales se tiene en cuenta, principalmente, los siguientes aspectos.

- Tipos de emergencias.
- Autoridades responsables.
- Funciones de las entidades, organismos y personas.
- Identificación de la amenaza, es decir de las probabilidades de que ocurra un desastre en un momento y en un lugar determinado.
- Análisis de la vulnerabilidad de la población, los bienes y el medio ambiente amenazado, o sea la determinación de la magnitud en que son susceptibles de ser afectados por las amenazas.
- Evaluación de riesgos, mediante la relación que se establezca entre amenaza y condiciones de vulnerabilidad.

En este contexto, surgen los planes de contingencia como una herramienta para facilitar la prevención o para atender adecuada y oportunamente los desastres que se puedan presentar.

## **2.7.2 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE CONTINGENCIAS**

### **OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

Generar una herramienta de prevención, mitigación, control y respuesta a posibles contingencias generadas durante el proyecto.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar los riesgos potenciales que se podrían generar por acciones naturales o por intervenciones de carácter antrópico, con la finalidad de tomar acciones de prevención y control y en el caso de presentarse una contingencia, activar los mecanismos del Plan con los grupos de respuesta.
- Identificar todas las instituciones tanto privadas como estatales presentes en el área de influencia de la obra, que puedan ofrecer sus servicios de apoyo logístico, para ser vinculadas al Plan de Contingencias.
- Realizar un análisis de los diferentes riesgos, con el fin de establecer las medidas de prevención y estrategias de respuesta para cada uno.
- Incentivar la participación del personal que ejecutará el proyecto, así como de la comunidad en las actividades de prevención y atención de emergencias, como parte de un proceso educativo permanente.
- Definir el grupo de respuesta con su respectivo organigrama y los procedimientos operativos.
- Minimizar los impactos que se pueden generar hacia: o La comunidad y su área de influencia. o Costos y reclamos de responsabilidad civil por la emergencia. o Críticas de medios de comunicación y opinión pública, y consecuencias legales generadas por el conflicto.

### 2.7.3 MARCO TEÓRICO

#### AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

**Amenaza:** Peligro o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o antrópico que se puede presentar en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, bienes y/o en el medio ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo.

**Vulnerabilidad:** Definida como el grado de pérdida o daño de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresado en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total). En términos generales, la vulnerabilidad puede entenderse, entonces, como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas.

**Riesgo o daño:** Destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio, en un cierto período de tiempo.

#### 2.7.4 IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS

Los escenarios en donde pueden ocurrir emergencias son:

- Vía de acceso
- Campamentos

- Canteras
- Vertedero
- Presa
- Ataguía
- Contra ataguía
- Túnel de desviación
- Túnel de descarga de fondo
- Tuberías

### **2.7.5 IDENTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS**

Las emergencias reportadas a causa de un evento natural, antrópico o técnico por lo general suelen ser:

- Personas lesionadas
- Personas atrapadas
- Personas desaparecidas
- Equipo atrapado
- Pérdida de equipos
- Daño de equipos
- Pérdida de material
- Daños ambientales

### **2.7.6 IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS**

#### **EVENTOS DE TIPO NATURAL**

- Deslizamientos
- Inundaciones
- Sismos

#### **EVENTOS DE ORIGEN ANTRÓPICO**

- Disturbios, bloqueo de vías y movimientos sociales
- Actos terroristas/sabotaje
- Accidentes laborales

## **EVENTOS DE ORIGEN TÉCNICO**

- Incendios
- Daños a redes de servicios e infraestructura:
- Accidentes de tránsito:.
- Volcamiento en transporte de materiales de construcción
- Colapso de la estructura de la presa

### **2.7.7 IDENTIFICACIÓN DE PLANES DE CONTINGENCIA**

La materialización de cualquier amenaza de origen natural, antrópica o técnica pueden originan emergencias en cualquier fase del proyecto y en cualquier escenario. Para enfrentarlas, es necesario seguir procedimientos preestablecidos para atender estas situaciones, dichos procedimientos están consignados en los planes de contingencia. A continuación se identifican los planes de contingencia que se deben aplicar dependiendo del tipo de evento, del escenario y de la fase en que se encuentre el proyecto.

- Planes de Contingencia ante amenaza geotécnica
- Planes de Contingencia ante amenaza hidrológica
- Planes de Contingencia ante amenaza sísmica
- Planes de Contingencia ante amenaza antrópica
- Planes de Contingencia ante amenaza técnica (falla presa)

### **2.7.8 CALIFICACIÓN DE AMENAZAS Y VULNERABILIDAD POR ESCENARIOS**

Se deben asignar valores de amenaza y vulnerabilidad para cada uno de los eventos de probable ocurrencia.

- Calificación de amenaza y vulnerabilidad por eventos de origen natural.
- Calificación de amenaza y vulnerabilidad por eventos de origen antrópico.
- Calificación de amenaza y vulnerabilidad por eventos de origen técnico.

Al analizar la amenaza y vulnerabilidad de cada evento, es conveniente calificar los riesgos en:

- Riesgos inaceptables
- Riesgos tolerables
- Riesgos aceptables.

### **2.7.9 PLAN DE ACCIÓN**

Se presenta a continuación un modelo del plan preventivo para la construcción de embalses y obras anexas.

El concepto fundamental en el cual se basa el diseño del Plan Preventivo es el de concientizar y educar a los trabajadores que van a participar en la ejecución de las obras, con la finalidad de informarlos sobre los posibles riesgos que se pueden generar, y de ofrecerles algunas medidas preventivas que se deberán poner en práctica con seriedad, para disminuir los riesgos de ocurrencia.

Para atender óptimamente las emergencias que se puedan generar en la obra se deben conformar “Brigadas de Emergencia”, que cuenten con personal capacitado en primeros auxilios, búsqueda y rescate, unidades móviles de desplazamiento rápido, equipos de comunicaciones, equipos contra incendios, equipos de auxilios paramédicos, equipos de movimientos de tierra y remoción de escombros. Es importante que cada frente de trabajo conforme una brigada de emergencia, con su respectivo responsable.

- **Procedimientos de respuesta**

Para cada evento identificado se formula un procedimiento de respuesta, en el que se identifican los canales de notificación y se describe la secuencia de actividades de respuesta propias para cada evento, estos procedimientos deben ser divulgados y asimilados por todo el personal en la fase preventiva.

- **Sistemas de comunicación**

El contratista debe contar con equipos de comunicación, a su servicio. Unidades móviles con equipos de radiofrecuencia los cuales estarán enlazados con la Base de Comunicaciones ubicada en las oficinas principales y esta a su vez deberá estar en comunicación de doble vía con el Centro de Atención de la Emergencia, con la Central de Información, con Bomberos, con Paramédicos, con Brigada de Emergencia, entre otros.

También se deben disponer de equipos de telefonía celular y/o fija.

- **Personal**

El personal para atender emergencias estará indicado en el Organigrama adjunto presentado por el contratista.

- **Capacitación y entrenamiento**

A cargo del director de obra, del gestor social y de seguridad industrial del proyecto y de la ARP se dará instrucción a los trabajadores acerca de los tipos de accidente frecuentes de acuerdo con las características de los trabajos, sustancias y diversos elementos de manejo cuidadoso, frecuentemente utilizados en la ejecución de las obras.

- **Unidades móviles de desplazamiento rápido**

Se deberá asignar de entre las unidades disponibles uno o dos vehículos por frente de trabajo para que integren la brigada de emergencias. Estos fuera de cumplir con sus actividades normales, estarán en condiciones de acudir inmediatamente al llamado de auxilio.

- **Equipos contra incendios**

Estarán implementados en todas las unidades móviles y en las diferentes áreas del proyecto.

- **Equipos de movimientos de tierra y remoción de escombros**

Se deberá asignar en el momento de la emergencia los equipos de movimientos de tierra (buldózer) para que integren la brigada de emergencias. Estos fuera de cumplir con sus actividades normales, estarán en condiciones de acudir inmediatamente al llamado de auxilio.

- **Equipos de auxilios paramédicos y apoyo**

Se consideran todos los equipos de apoyo para brindar atención de primeros auxilios como: camillas, tanques de oxígeno, resucitador, medicinas, botiquines de primeros auxilios, Implementos de protección personal cascos, cinturones, guantes, protectores de oídos, calzado especial, entre otros.

## **2.7.10 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL PARA EL PLAN DE CONTINGENCIAS**

Estos son dos (2) elementos básicos que se deben proyectar en la fase estratégica del plan de contingencia, en los siguientes aspectos:

- Evaluación de escenarios potenciales de riesgo durante las actividades constructivas.
- Esquemas de inspección y comprobación de la efectividad y buen funcionamiento de los equipos de seguridad y control de riesgos.
- Mecanismos de supervisión y verificación de la aplicación de los sistemas de control de riesgos ocupacionales y la necesidad de suministrar elementos de protección personal.
- Marco de investigación y análisis de causas del accidente y la aplicación de medidas correctivas para su prevención.
- Programa de prevención de enfermedades de origen laboral, accidentes de trabajo y educación en salud y manejo ambiental.
- Capacitación del personal en primeros auxilios.
- Todos estos son parte integral del programa de salud ocupacional a implementar por el contratista bajo la asesoría de la ARP.

### 2.7.11 PLAN OPERATIVO

Es el plan de procedimiento de aviso, acción de control y evaluación en cada caso con el personal de planta, el cual ha recibido asignación de funciones de seguridad en las diferentes brigadas que se necesiten conformar.

Este Plan debe contemplar los siguientes ítems:

- **Alarma:** procedimiento y responsables de informar sobre los hechos y dar el aviso respectivo.
- **Escape:** permite definir los niveles de actuación según la emergencia, ya sea evacuación parcial o evacuación total.
- **Comunicaciones:** son los equipos de comunicación que se deben tener en la obra, para actuar en caso de una emergencia.
- **Acción de control y procedimientos de respuesta:** El contratista antes iniciar la obra revisará, aprobará las acciones básicas a seguir, el

responsable del plan y cada una de las acciones a ejecutar presentadas en este documento.

- Equipos para el control de emergencias: estos equipos permanecerán en los campamentos y en los frentes de obra consistentes en:
  - Botiquín.
  - Camilla.
  - Inmovilizador ortopédico.
  - Salvavidas.
  - Eslingas.

## **EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PLAN.**

Después de una emergencia, es necesario analizar el Plan de Contingencia, con el fin de evaluar detalladamente las acciones ejecutadas, así como los daños causados a terceros o al ecosistema, verificar su aplicabilidad y efectuar los correctivos y ajustes necesarios.

### **2.7.12 PLANES DE CONTINGENCIA**

Importante adoptar planes de contingencia para los siguientes casos:

- Plan de contingencia para derrumbes y deslizamientos
- Plan de contingencia para crecientes e inundaciones
- Plan de contingencia para sismos
- Plan de contingencia para incendios y explosiones
- Plan de contingencias por terrorismo y orden público
- Procedimientos de respuesta ante emergencia

### **2.7.13 PROCEDIMIENTO DE REACCIÓN EN CASO DE EMERGENCIA**

Se debe identificar de primera instancia si se trata de una emergencia que involucre personas y/o equipos o si se trata simplemente de un evento que no produce daño sobre personas o equipos.

**Evento con personal lesionado y/o atrapado y daños en equipos:**

- Verificar primero si hay personas involucradas o equipos en el escenario.
- Iniciar comunicaciones conforme a la Figura 8 2.
- Antes de iniciar las actividades de rescate, se debe evaluar antes las condiciones de riesgo para las personas que participarán en el operativo. Se debe pedir apoyo del área especializadas según sea la emergencia (por ejemplo si es deslizamiento el apoyo será del área geotécnica).
- Se deben tomar las medidas preventivas como restricción ó suspensión de operaciones en el área afectada, acordonamiento o control de acceso del sector afectado, entre otros.
- Definir las acciones remediales inmediatas para evitar daños mayores.

**Evento sin personal lesionado o atrapado y sin daños en equipos:**

- Verificar las condiciones de seguridad operativa del área y el estado del personal y de equipos.
- Evaluar las condiciones de riesgo para las personas que trabajan en el sector. Se debe pedir apoyo de las área especializadas según sea la emergencia (por ejemplo si es deslizamiento el apoyo será del área geotécnica).
- Se deben tomar las medidas preventivas como restricción ó suspensión de operaciones en el área afectada, acordonamiento o control de acceso del sector afectado, entre otros.
- Definir las acciones remediales inmediatas para evitar daños mayores.

**2.7.14 CONTROL DE LA EMERGENCIA:**

**A) Acciones inmediatas en caso de deslizamiento:**

- Confirmar las restricciones al personal y a los equipos de la operación.
- Realizar las mediciones topográficas y monitoreos a la zona inestable.
- Verificar el manejo de drenaje superficial y su funcionamiento, y si es necesario, controlar y adecuar dicho drenaje según sea el caso.
- Definir los trabajos de estabilización para ejecución inmediata.
- Definir áreas de trabajo de cargue y vías de acceso de material.

**B) Acciones de manejo para deslizamientos:**

- Evaluación detallada del deslizamiento y recomendaciones de acciones de estabilización del mismo.
- Monitoreo y análisis de desplazamiento de terreno inestable.
- Determinar causa del deslizamiento y estimar sus correspondientes parámetros.
- Estudiar alternativas y seleccionar el rediseño de la excavación.
- Análisis de costo-beneficio de las alternativas seleccionadas.

**C) Acciones inmediatas en caso de creciente:**

- Confirmar las restricciones al personal y a los equipos de la operación.
- Realizar monitoreos al río.
- Verificar la capacidad del cauce y su funcionamiento (no tenga obstáculos, como empalizadas y derrumbes en su cauce), y si es necesario, adecuar dicho cauce según sea el caso para permitir paso de la creciente.
- Definir los trabajos de readecuación del cauce para ejecución inmediata.
- Definir áreas de trabajo de cargue y vías de acceso de material.

**D) Acciones inmediatas en caso de incendio:**

- En lo posible apagar el fuego con extintores portátiles.
- Evacuar el sitio con calma
- Informar a las personas (por megáfono) que no se refugien en sitios que puedan quedar atrapados (baños, depósitos, etc).
- Al evacuar cerrar puertas y ventanas para evitar o disminuir la propagación del fuego.
- Desconectar la energía eléctrica.

**E) Acciones inmediatas en caso de ataques terroristas:**

- No toque ni remueva objetos o paquetes sospechosos.
- No se acerque a las áreas donde existen objetos sospechosos
- Evacuar el sitio con calma
- Comunicar de inmediato a Servicios Industriales

**2.8 PLAN DE ABANDONO Y RESTAURACIÓN FINAL**

Para las áreas e infraestructura intervenidas de manera directa por el proyecto, y que deban ser desmanteladas o readecuadas morfológicamente, el proponente del proyecto debe presentar la siguiente información:

- Manejo, tratamiento y disposición de los residuos generados durante el desmantelamiento.
- Propuesta de uso final del suelo en armonía con el medio circundante.
- Señalar las medidas de manejo y reconfiguración morfológica que garanticen la estabilidad y restablecimiento de la cobertura vegetal y la reconfiguración paisajística, según aplique y en concordancia con la propuesta del uso final del suelo.

- Presentar una estrategia de información a las comunidades y autoridades del área de influencia acerca de la finalización del proyecto y de la gestión social.

### **2.8.1 GENERALIDADES**

El plan de cierre y abandono de las áreas intervenidas en la etapa de construcción, presenta el conjunto de medidas que serán implementadas para la recuperación y restitución de todas las áreas intervenidas por el contratista de construcción, según se relaciona a continuación:

- Instalaciones temporales del contratista.
- Zonas de almacenamiento de materiales.
- Zonas de parqueo de maquinaria.
- Áreas de excavaciones

### **2.8.2 INSTALACIONES DEL CONTRATISTA**

- Se retirarán todos los equipos, maquinarias, instalaciones temporales y residuos generados en la operación diaria del contratista.
- Todos los insumos y materiales sobrantes utilizados en la ejecución de las obras serán retirados en su totalidad.
- Las condiciones del suelo serán restauradas mediante la nivelación en caso de ser necesaria y la empradización de las áreas utilizadas que lo requieran (ver Ficha GAFM-01 “Readecuación morfológica de taludes, empradización y desmantelamiento de campamentos de obra”).
- En el caso que se presenten aporte de material de excavación, basuras, u otro tipo de materiales a fuentes hídricas cercanas por acciones propias de la operación de las instalaciones del contratista, estas deben de retirarse del la fuente hídrica.

### **2.8.3 FINALIZACIÓN DE LAS OBRAS**

- El contratista deberá empujardizar todas las áreas que intervino, siempre y cuando hayan llegado a su configuración final.
- Se retirará la señalización temporal informativa y preventiva que fue instalada durante la construcción de las obras.
- Se retirarán todos los residuos generados en la construcción de la obra, y se dispondrán en los botaderos legalmente autorizados para ello.

### **2.8.4 MECANISMOS DE INFORMACIÓN A LA COMUNIDAD**

A través de la gestión social del proyecto se realizará un taller de finalización de la obra, en donde se explicará el estado final en que se le entregan todas las áreas que fueron utilizadas por el contratista.

Se deriva de lo anterior la importancia del desarrollo de talleres informativos y participativos dirigidos a la comunidad, los cuales serán llevados diferenciando cada uno de los medios (físico, biótico y socio económico) que influyen en el área.

### 3 CONCLUSIONES

- Con la gestión hecha en la gobernación de Santander se logro la viabilidad del proyecto de Regulacion Del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga, y el posterior desembolso del aporte hecho por el Departamento.
- Se organizo la documentación existente de los estudios y diseños fase 2 del proyecto.
- Se conformo un manual guía de requisitos y estudios necesarios para la construcción de presas
- El manual será de gran ayuda para los estudiantes que tomen la materia Diseño de estructuras hidráulicas que ofrece la escuela de ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- Se adquirió conocimiento y experiencia en las labores técnico administrativas que se desarrollan en la fase de estudios y diseños de un megaproyecto.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Gonzales de Vallejo, L., Ingeniería Geológica, Capitulo 11
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, Stewart L, Secretary, BUREAU OF RECLAMATION, Floyd E. Dominy, Commissioner., Diseño de Pequeñas Presas.
- Documentación de los Estudios y Diseños Fase 2 del Proyecto de Regulación del Rio Tona – Embalse de Bucaramanga.
- Manual de E.P.M. sobre Estudios de factibilidad de proyectos hidroeléctricos.