

## **Capítulo 1**

### **GENERALIDADES**

# Capítulo 1 GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

Este Informe Final se ha preparado y entregado al Centro de Rehabilitación de Manabí (CRM), institución ésta del Gobierno de la República del Ecuador (GOE), en concordancia con el contrato para el Estudio de Diseño Detallado sobre los Esquemas de Trasvases de Agua a las Cuencas de los Ríos Chone-Portoviejo en la provincia de Manabí (el Estudio), convenido entre la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), y Nippon Koei Co., Ltd.

El Estudio consiste de dos fases: la Fase 1 para la preparación del Diseño Básico, incluyendo investigaciones de campo detalladas, y la Fase 2 para el Estudio Detallado de Ingeniería que incluye la preparación de los documentos de licitación necesarios para la implementación del Proyecto de Trasvases de Agua a las Cuencas de los ríos Chone-Portoviejo en la provincia de Manabí (el Proyecto). El periodo del Estudio se planificó para una duración de 18 meses a partir de Octubre de 1993 hasta Marzo de 1995.

El objetivo específico del Estudio es la preparación del diseño detallado de ingeniería del Proyecto, basado en el informe del estudio de factibilidad del mismo, preparado en Diciembre de 1992.

Asimismo, otro de los objetivos importantes es el de realizar transferencia de tecnología a la contraparte Ecuatoriana durante el Estudio por parte del Grupo de Estudios de JICA.

El Informe Final presenta los resultados y la evaluación de las investigaciones detalladas de campo y los diseños detallados, preparados durante el periodo del Estudio desde el 16 de Octubre de 1993 hasta el 31 de Marzo de 1995. El Estudio comprende: (i) Revisión de Estudios Previos, incluyendo las demandas de agua y el plan de trasvases de agua, (ii) Estudios e Investigaciones, incluyendo hidrología, estudios de la sedimentación y calidad de agua, topografía, investigaciones geológicas y de materiales, estudio ambiental y estudio institucional, (iii) Diseño Detallado de los tres esquemas de trasvases de agua propuestos, incluidos los caminos de acceso, y iv) Plan de Construcción y Estimación de Costos incluyendo el cronograma de construcción y cronograma de desembolso financiero.

## **1.2 Antecedentes del Estudio**

La Provincia de Manabí ha venido soportando por muchas ocasiones periodos deficitarios del recurso hídrico. En 1986, el CRM inició un estudio de plan maestro sobre el desarrollo integral de los recursos hídricos en la provincia de Manabí (PHIMA) en cooperación con instituciones gubernamentales (CONADE e INERHI). La Organización de Estados Americanos y JICA se unieron al estudio del PHIMA durante la etapa del Plan Maestro. El Informe Final del PHIMA, preparado por JICA en Enero de 1990, recomendó llevar a cabo un estudio de factibilidad para el desarrollo de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Chone-Portoviejo en la parte central de la Provincia de Manabí.

JICA, a solicitud del GOE llevó a cabo el estudio de factibilidad del Proyecto desde Marzo de 1991 a Diciembre de 1992, el cual determinó que el proyecto es técnica y ambientalmente sustentable, económicamente factible y financieramente viable. El GOE solicitó al Gobierno del Japón (GOJ) la realización del estudio de diseño detallado del Proyecto, y el alcance de trabajo para el estudio de diseño detallado fue acordado entre JICA y CRM en Julio de 1993.

El estudio empezó en Octubre de 1993 de acuerdo al alcance de trabajo convenido.

## **1.3 Proyectos Relacionados con el Estudio**

### **(1) Generalidades**

En el área de estudio, una parte del area central de la Provincia de Manabí comprendida por las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo, varios proyectos de desarrollo de los recursos hídricos se han llevado a cabo en calidad de estudio; habiéndose construido unos, otros están en construcción y los demás esperan por estudios adicionales para ser implementados.

Los siguientes Proyectos están estrechamente relacionados con el Estudio:

- (i) Proyecto de Propósito Múltiple Poza Honda en la cuenca del río Portoviejo**
- (ii) Proyecto de la Presa Daule-Peripa en el río Daule, localizado hacia el Este del área de estudio**
- (iii) Proyecto de la Presa La Esperanza en el río Carrizal, un tributario mayor del río Chone**

(iv) Proyecto de Traslase de Aguas desde el embalse Daule-Peripa hacia los embalses Poza Honda y La Esperanza.

(v) Proyecto de Propósito Múltiple Carrizal-Chone en la cuenca del río Chone

(2) Proyecto de la Presa Daule-Peripa

El primer gran estudio sobre el desarrollo de los recursos hídricos de la cuenca del río Guayas fue hecho por la OEA en 1964 a un nivel de Plan Maestro, en el cual se propuso la construcción de la presa Daule-Peripa, como un gran embalse para el desarrollo de la cuenca. El Programa de Desarrollo de las NN.UU (UNDP) realizó un estudio preliminar sobre el Proyecto de la Presa Daule-Peripa en 1972. En 1978 se efectuó un estudio de factibilidad para el Proyecto Daule-Peripa. La Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas (CEDEGE) empezó la construcción de la Presa Daule-Peripa en Septiembre de 1982 terminándola en Diciembre de 1987 con financiamiento del BID.

Las funciones principales de la Presa Daule-Peripa son:

- (1) Control de inundaciones
- (2) Abastecimiento de agua potable
- (3) Abastecimiento de agua para riego
- (4) Generación Hidroeléctrica

La Presa Daule-Peripa se halla localizada sobre el río Daule a 15 km aguas arriba del pueblo de Pichincha. De la capacidad efectiva del embalse de 4.000 MMC, una cantidad de 500 MMC/año se reservan para el uso en la provincia de Manabí a través del trasvase de agua con un caudal máximo de 18 m<sup>3</sup>/s.

Las características generales de la presa Daule-Peripa se muestran en la Tabla 1.3.1.

(3) Proyecto de la Presa La Esperanza

En 1970 se dio inicio al estudio de factibilidad para el Proyecto de la Presa La Esperanza y se concluyó el mismo en 1975. Un diseño definitivo fue preparado en 1976 y su construcción se inició en 1978 por la empresa Daewoo, contratista de origen Coreano.

El CRM se constituyó en el organismo ejecutor de la obra y el costo fue financiado por el GOE.

Durante la etapa inicial de construcción, sin embargo, se obligó a suspender los trabajos debido a una falla geotécnica hallada a nivel de la fundación de la presa, rescindiéndose el contrato con la Daewoo en 1980. Una revisión completa del diseño se efectuó, incluyendo investigaciones geotécnicas adicionales, empezando en Septiembre de 1982 y concluyendo en Junio de 1984. A pesar de ello, la construcción de la presa tuvo que ser suspendida hasta 1991 debido a problemas de orden financiero.

El problema financiero se solucionó en 1991. De los 80 millones de dólares del costo total de construcción se acordó un financiamiento de 30 millones de dólares por parte del gobierno español, 30 millones por parte de la banca española y los restantes 20 millones de dólares a ser financiados por el GOE.

El CRM otorgó el contrato para la construcción de la presa a la compañía española Dragados y Construcciones, la cual dio inicio a los trabajos de construcción a principios de 1992, habiéndose hasta el momento concluido el relleno y compactación de la presa-atagüa. Al momento la presa principal se encuentra en construcción. La reubicación de las viviendas y varias estructuras en el área propuesta del embalse se ha concluido al final de Diciembre de 1993. La terminación de la construcción de la presa se ha programado para el año 1996.

Los objetivos de la presa La Esperanza son: control de inundaciones en el río Carrizal, riego para aproximadamente 15.000 ha del sistema de riego Carrizal-Chone y abastecimiento de agua potable en la cuenca del río Chone.

Las características generales de la Presa La Esperanza se muestran en la Tabla 1.3.2.

#### (4) Proyecto de la Presa Poza Honda

El Programa de Desarrollo de Las NNUU (UNDP) llevó a cabo un estudio de factibilidad para el proyecto de desarrollo de los recursos hídricos de la cuenca del río Portoviejo en 1963 y el GOE preparó un diseño definitivo de la presa Poza Honda en Octubre de 1965.

Mediante un acuerdo de cooperación técnica y financiera entre el GOE y el Gobierno de la República Federal de Alemania, el CRM efectuó una revisión del diseño

definitivo empleando un consorcio de consultores alemanes en Enero de 1967. Una revisión del diseño definitivo de la presa fue preparado por el consorcio en Agosto de 1968.

El Proyecto de Propósito Múltiple Poza Honda, en la cuenca del río Portoviejo, se ha desarrollado en las siguientes etapas:

Etapa 1: Construcción de la presa Poza Honda en el tramo superior del río Portoviejo en 1971. Esta es capaz de garantizar un volumen de agua de 107 MMC/año. Las características generales de la presa se muestran en la Tabla 1.3.3.

Etapa 2: Construcción de la planta de tratamiento Guarumo en 1974 con una capacidad de 43.000 m<sup>3</sup>/día

Etapa 3: Construcción del Sistema de Riego Santa Ana a lo largo de los tramos medios del río Portoviejo en 1984, completando un área neta de riego de 3.300 ha con un requerimiento anual de agua de 60 MMC en años promedios y 74 MMC en años secos

Etapa 4: Construcción de la planta de tratamiento Cuatro Esquinas en Portoviejo y la planta de tratamiento El Ceibal en Rocafuerte con una capacidad total de 180.000 m<sup>3</sup>/día, a terminarse en 1995.

(5) Proyecto de Trasvase de Agua desde Daule-Peripa hacia Manabí

El CRM inició un estudio sobre el proyecto de trasvase de agua desde el embalse Daule-Peripa hacia Manabí en 1984, cuando la presa Daule-Peripa estaba en construcción. Un diseño definitivo para el proyecto se preparó en 1987 el cual comprendía los siguientes esquemas de trasvases:

- Trasvase Daule-Peripa - La Esperanza con una capacidad de 12 m<sup>3</sup>/s a través de un túnel de derivación de 8,3 km de largo, por gravedad.
- Derivación de agua desde el río Daule, 30 km aguas abajo de la presa Daule-Peripa, hasta la presa Poza Honda con una capacidad final de 12 m<sup>3</sup>/s mediante bombeo.

Sin embargo, el Estudio del PHIMA en 1989 no recomendó dichos esquemas de trasvases debido al alto requerimiento de bombeo. El CRM, en base a la recomendación del

PHIMA, solicitó a CEDEGE la construcción de la obra de entrada del túnel de trasvase en el área del embalse Daule-Peripa con una capacidad de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  en vez de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , y CEDEGE construyó el portal de entrada en conformidad en 1990.

El CRM revisó, asimismo, el diseño del túnel desde Daule-Peripa a La Esperanza para una capacidad de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1989.

Las características generales del túnel de derivación son las siguientes:

- |                                  |   |                       |
|----------------------------------|---|-----------------------|
| (1) Tipo de túnel                | : | Sección semi-circular |
| (2) Diámetro                     | : | 4,6 m                 |
| (3) Cota de la solera de entrada | : | 64 m                  |
| (4) Cota de la salida            | : | 58,5 m                |
| (5) Recubrimiento                | : | Hormigón lanzado      |

(6) Proyecto de Propósito Múltiple Carrizal-Chone

Durante los años comprendidos entre 1986 a 1989, en forma paralela con el arreglo financiero para la construcción de la presa La Esperanza, el CRM llevó a cabo el estudio de factibilidad sobre el Proyecto de Propósito Múltiple Carrizal-Chone incluyendo el encauzamiento del río, riego y drenaje de un área neta de 16.720 ha en la planicie del Carrizal-Chone y en la planicie de Los Amarillos-Guarango. La planicie del Guarango se encuentra localizada en la cuenca baja del río Portoviejo y, por lo tanto, el sistema de riego propuesto involucra el trasvase de  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua desde la cuenca del Chone hasta la cuenca del Portoviejo a través de un túnel de derivación de 5,1 km de longitud y con un diámetro de 3,0 m a una cota de 72,0 m, incluyendo una altura de bombeo de 53 m. El costo total de construcción fué estimado en \$65,4 millones al nivel de precios de Septiembre de 1989.

Un canal de cabecera con una capacidad de  $23 \text{ m}^3/\text{s}$  empieza en la presa La Esperanza en la cota 32 m hasta una distancia de 10 km y en este punto el canal principal izquierdo se separa del canal de cabecera. Desde un punto ubicado a 18,1 km del inicio del canal izquierdo principal, se separa un segundo canal con capacidad de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  en la cota 21,4, el cual servirá para regar la planicie del Guarango. El nivel óptimo establecido para el túnel de derivación fué la cota 72 m, considerando la longitud del túnel ya la carga de bombeo, aunque el área de riego de Guarango-Amarillos se encuentra por debajo de la cota 60 m.

Esta idea de trasvasar agua desde la cuenca Chone a la cuenca Portoviejo fué adoptada por el estudio del PHIMA e incluida en varios esquemas de travase, debido a que es difícil justificar un túnel de derivación cuyo único fin será irrigar el área del Guarango de apenas 1.500 ha. El agua derivada pudiera servir probalemente para dotar de agua un contaminada a la planta de tratamiento El Ceibal en Rocafuerte.

El Proyecto de Riego Carrizal-Chone está directamente relacionado con el Proyecto de la Presa La Esperanza debido a que el abastecimiento de agua provendrá precisamente de ésta última. Debido a que la construcción de la presa La Esperanza se inició bajo la cooperación financiera del Gobierno Español, el CRM tiene mucho interés en proseguir con el proyecto. Se dice que la Corporación Andina de Fomento (CAF), aceptó dar un financiamiento a finales de 1994 de US\$4,0 millones para los diseños de tallados del proyecto.

## **Capítulo 2**

### **REVISION DE ESTUDION PREVIOS**

## Capítulo 2 REVISION DE ESTUDIOS PREVIOS

### 2.1 Generalidades

El presente estudio detallado de ingeniería es una continuación del estudio de factibilidad terminado en Diciembre de 1992. Los datos e información obtenidos durante el estudio del PHIMA, el cual se terminó en Enero de 1990, así como también aquéllos del estudio de factibilidad fueron incorporados íntegramente al presente estudio de JICA. El Equipo de Estudios de JICA revisó también datos e informes recientes relativos al proyecto, tales como: los informes de diseño y construcción de la presa La Esperanza, el plan de manejo y monitoreo ambiental del embalse Daule-Peripa, los diseños del proyecto de trasvase Daule-Peripa ~ La Esperanza, etc.

Se efectuó un reconocimiento de campo detallado a fin de confirmar la condición actual del sitio con respecto a la topografía, geología, medioambiente y sedimentación de los embalses.

Entre otros, fueron revisados el balance hidráulico y la operación integrada de los embalses para confirmar las capacidades de los trasvases de agua propuestos, así como también las cotas de entrada y salida de los tres túneles de trasvases propuestos. Para efectuar aquello, se simularon las escorrentías producidas por las lluvias en varios puntos importantes para la serie de 29 años, desde 1964 hasta 1992.

### 2.2 Demandas de Agua

A continuación se resumen las demandas anuales de agua, efectuándose más adelante un análisis de la variación mensual de la demanda para cada fin propuesto.

#### Resumen de las Demandas de Agua

(1) Cuenca del Carrizal-Chone	Objetivo	Demanda Anual	Observaciones de Agua (MMC)
Mantenimiento del río durante		16	Equivalente a 0,5 m <sup>3</sup> /s todo el año desde la presa La Esperanza
Agua potable		45	Sistema de abastecimiento de

Objetivo	Demanda Anual de Agua (MMC)	Observaciones
	agua La Estancilla	
Riego	272	Sistema de riego Carrizal-Chone (15.000 ha) y sistema Los Amarillos (1.000 ha) durante los años secos
Camaroneras	99	En el estuario del río Chone
Caudal de dilución	54	Equivalente al 20% del agua del riego
<b>(2) Cuenca del río Portoviejo</b>		
Mantenimiento del río	8	Equivalente a 0,25 m <sup>3</sup> /s durante todo el año desde la presa Poza Honda
Agua potable	89	Sistema de abastecimiento de agua Poza Honda
Riego	268	Sistema de riego Poza Honda durante los años secos
Camaroneras	3	En el estuario del río Portoviejo
Caudal de dilución	54	Equivalente al 20% del agua del riego
<b>(3) Cuenca del Río Chico</b>		
Mantenimiento del río	Variable	Para mantener un caudal mínimo de 0,12 m <sup>3</sup> /s
Agua potable	63	Sistema de abastecimiento de agua El Ceibal
Riego	31	Sistema de riego del río Chico (1.700 ha) durante los años de secos
Caudal de dilución	6	Equivalente al 20% del agua del riego

### 2.2.1 Caudal de mantenimiento del río

Como norma, una represa debe liberar un caudal constante de agua como caudal de mantenimiento del río. Dicha norma obliga a la descarga de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  desde La Esperanza, y  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  desde Poza Honda, ambos en calidad de caudal de mantenimiento del río.

De acuerdo a ello, se ha decidido mantener un caudal mínimo de  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Chico, justo aguas abajo de las presas derivadoras.

### 2.2.2 Abastecimiento de agua

En el área del proyecto funcionan los llamados sistemas regionales de abastecimiento de agua, tanto para uso doméstico como industrial. Las capacidades de tales sistemas serán ampliadas a futuro para poder cubrir la demanda creciente de agua.

Las demandas de agua cruda para agua potable estimadas al año 2020, son aquellas tomadas del proyecto. Es verdad que las demandas de agua potable aumentarían después del año 2020 como resultado de la urbanización creciente, producida por la conversión de zonas agrícolas a zonas urbanizadas. Por consiguiente, se espera un incremento de la demanda de agua potable para después del 2020, la cual sería cubierta por la reducción de la demanda del riego.

La variación estacional de la demanda de agua cruda para agua potable no se toma en cuenta en vista del clima tropical predominante en el área del proyecto donde las variaciones estacionales de la temperatura son poco significativas. Es así que, se calcula simplemente una demanda mensual dividiendo por 12 la demanda anual.

### 2.2.3 Riego

Las demandas de agua para riego consideradas se calcularon durante el estudio de factibilidad para cada mes del año basado en los patrones de cultivos asumidos para cada sistema de riego, la eficiencia del riego y las precipitaciones efectivas esperadas. Por lo tanto la demanda de agua para ser usada en el riego, depende de la precipitación.

Se analizaron primero para cada sistema de riego los datos de precipitación diaria y se estimaron dos tipos de lluvias efectivas basándose en la precipitación media anual y en aquella correspondiente a un (1) año seco por cada periodo de cinco (5) años.

Las demandas de agua para riego se dan en la Tabla 2.2.1 para los años promedios, y en la Tabla 2.2.2 para los años secos con un período de retorno de 5 años.

#### 2.2.4 Camaroneras

En el estudio de factibilidad se estimaron las demandas de agua fresca de las camaroneras ubicadas en los estuarios de los ríos Chone y Portoviejo. Estas se resumen a continuación:

Requerimiento de agua fresca de las Camaroneras (MMC)

Mes	Estuario del Río Chone	Estuario del Río Portoviejo
Julio	3,9	0,4
Agosto	3,9	0,4
Septiembre	4,0	0,5
Octubre	29,3	0,5
Noviembre	29,4	0,5
Diciembre	29,0	0,5
<b>Total Anual</b>	<b>99,5</b>	<b>2,8</b>

#### 2.2.5 Caudal de dilución

Cuando existe en un proyecto un desarrollo del riego a gran escala, es aconsejable considerar una demanda para diluir el caudal que retorna del riego y mantener así la calidad del agua del río en un nivel aceptable.

En el estudio de factibilidad no se consideró la demanda de dilución debido a que tampoco se consideraron los caudales de intercuenas. Sin embargo, en el estudio detallado de ingeniería, se incluye el cálculo de la demanda del agua de dilución del riego así como también los caudales de intercuenas, los cuales son producidos por las cuencas localizadas aguas abajo de las presas La Esperanza y Poza Honda.

### **2.3 Plan de Traslases**

#### 2.3.1 Generalidades

En el estudio de factibilidad se propusieron tres esquemas de traslases de agua, tal como se indica en la Figura 2.3.1 y se resume a continuación:

Trasvase	Capacidad	Observaciones
Daule-Peripa a La Esperanza	18 m <sup>3</sup> /s	Flujo a gravedad
La Esperanza a Poza Honda	16 m <sup>3</sup> /s	Bombeo
Poza Honda a Mancha Grande	4 m <sup>3</sup> /s	Flujo a gravedad

El primer esquema de trasvase desde Daule-Peripa a La Esperanza es necesario para aumentar sustancialmente el recurso hídrico y cubrir las demandas de agua en el área del proyecto. El segundo esquema de trasvase desde La Esperanza hacia Poza Honda es indispensable para cubrir las demandas de agua principalmente de agua potable y riego en la cuenca del río Portoviejo, adicionalmente a las que cubre la presa de Poza Honda. El tercer esquema de trasvase desde Poza Honda hasta el río Mancha Grande es, asimismo, necesario para cubrir las demandas de agua en la cuenca del río Chico, para abastecer principalmente a la planta de tratamiento de El Ceibal y al sistema de riego del río Chico.

Debe entenderse que el objetivo del proyecto puede lograrse totalmente siempre y cuando se implementen estos tres esquemas de trasvases.

### 2.3.2 Trasvase Daule-Peripa ~ La Esperanza

Las siguientes condiciones y procedimientos se emplearon en el estudio de factibilidad para evaluar el volumen de agua trasvasable desde Daule-Peripa a La Esperanza:

- (1) La presa Daule-Peripa pertenece a la CEDEGE y se opera de acuerdo a la norma de operación de embalse establecida por dicha institución.
- (2) De acuerdo al convenio interinstitucional entre la CEDEGE y el CRM, este último organismo está autorizado a trasvasar agua en una cantidad de hasta 500 MMC/año en tanto en cuanto sea técnicamente factible y con un caudal máximo de derivación de 18 m<sup>3</sup>/s.
- (3) Los niveles de agua de los embalses Daule-Peripa y La Esperanza se asumen que fluctúan en un patrón similar bajo el mismo régimen hidrológico. Por consiguiente, el volumen de agua a ser trasvasado dependerá únicamente del nivel de agua del embalse Daule-Peripa el cual fluctúa entre la cota 60 m en el nivel mínimo y la cota 85 m en el nivel máximo.

- (4) Se construyó una estructura de entrada del túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza en el estero Conguillo en la cola del embalse Daule-Peripa. La cota del umbral del túnel es 66,6 m.s.n.m. El caudal trasvasable será de 0 m<sup>3</sup>/s al nivel normal de agua (N.N.A.) de 66,6 m.s.n.m., 6,70 m<sup>3</sup>/s al N.N.A. de 68,5 m.s.n.m., y 18,0 m<sup>3</sup>/s cuando el N.N.A. exceda los 76,6 m.s.n.m.
- (5) Basado en la generación sintética de caudales se efectuó el estudio de operación del embalse Daule-Peripa y en base a esta operación de embalses se calcularon los caudales técnicamente trasvasables en base mensual, determinándose un caudal trasvasable de 1.612 MMC para tres años consecutivos con una garantía del 80%, lo cual es equivalente a decir 537 MMC/año.
- (6) Debido a que el acuerdo CEDEGE/CRM limita el trasvase a solamente 500 MMC/año, es necesario reducir, intencionalmente, el volumen trasvasable de 537 MMC a los 500 MMC convenidos para beneficio del proyecto.
- (7) Se propone reducir el caudal de trasvase a La Esperanza en tres meses desde Enero a Marzo, cuando las precipitaciones son máximas y las demandas de agua mínimas. El patrón mensual de trasvase propuesto se determina finalmente de la siguiente manera.

**Patrón Mensual de Trasvase desde Daule-Peripa**

Mes	Volumen Técnicamente Derivable (MMC)	Volumen Ajustado (MMC)	Caudal Ajustado (m <sup>3</sup> /s)
Enero	41,9	29,4	11,0
Febrero	37,9	25,5	10,5
Marzo	39,2	26,7	10,0
Abril	38,9	38,9	15,0
Mayo	48,2	48,2	18,0
Junio	46,6	46,6	18,0
Agosto	48,2	48,2	18,0
Septiembre	46,6	46,6	18,0
Octubre	48,2	48,2	18,0
Noviembre	46,6	46,6	18,0
Diciembre	46,9	46,9	17,5
<b>Total</b>	<b>537,4</b>	<b>500,0</b>	

### 2.3.3 Operación integrada de los embalses La Esperanza y Poza Honda

#### 2.3.3.1 Conceptos generales de la operación integrada

La Esperanza recibe el caudal natural de su propia cuenca y del trasvase desde Daule-Peripa. La Esperanza conjuntamente con el flujo de la intercuenca del sistema del río Chone deberá cubrir las demandas de agua de las camaroneras en el estuario del Chone (99 MMC/año), mantenimiento del río (16 MMC/año) abastecimiento de agua al sistema de tratamiento Chone-La Estancilla (45 MMC/año), riego de 15.000 ha del área Carrizal-Chone (253 MMC/año), riego de 1.000 ha del área de Los Amarillos (19 MMC/año) y caudal de dilución equivalente al 20% del requerimiento del agua del riego.

De igual manera, La Esperanza deberá también trasvasar agua hacia Poza Honda. Poza Honda recibe el caudal natural de su propia cuenca y del trasvase desde La Esperanza. Poza Honda junto con el caudal disponible de la intercuenca del río Portoviejo deberá cubrir las demandas de agua del sistema de abastecimiento de agua de Poza Honda, exceptuando la planta El Ceibal (89 MMC/año), riego de 3.300 ha del sistema Santa Ana (74 MMC/año), riego de 850 ha del sistema Pechiche-Pasaje (20 MMC/año), riego de 1.250 ha del sistema Mejía (28 MMC/año), riego de 4.650 ha del sistema Ceibal-Guayaba (111 MMC/año) y riego de 1.500 ha del sistema Guarango (36 MMC/año), agua para camaroneras en el estuario del río Portoviejo (3 MMC/año), agua para mantenimiento del río (8 MMC/año) y agua de dilución equivalente al 20% del requerimiento de agua del riego.

Poza Honda deberá también trasvasar agua a Mancha Grande en la cuenca del río Chico. Los caudales trasvasados junto con el caudal natural del río Chico deberán cubrir la demanda de la planta de tratamiento El Ceibal (63 MMC/año), riego de 1.700 ha del sistema del río Chico (31 MMC/año) y agua de dilución equivalente al 20% del requerimiento del agua del riego.

#### 2.3.3.2 Condiciones básicas para el estudio de operación integrada de embalses

##### (1) Curvas de volumen de almacenamiento del embalse

Para realizar un estudio conservador, se utilizaron las curvas de volumen de almacenamiento del embalse después de 50 años de sedimentación.

##### (2) Requerimiento de agua para riego

El requerimiento de agua para el riego está influenciado por la precipitación efectiva. En el estudio se ha utilizado el requerimiento de agua para el riego considerando un año seco, con un período de retorno de 5 años.

(3) Agua de dilución

Se aplica volumen de agua equivalente al 20% del requerimiento del riego, con el fin de diluir los caudales de retorno del riego.

(4) Utilización de los caudales de las intercuenas

Los caudales de las intercuenas, caudales naturales de la cuenca de captación aguas abajo de las presas, pueden ser utilizados para cubrir las demandas de agua especialmente durante la época de lluvias. El uso de hasta el 60% del caudal de la intercuenca se considera razonable.

(5) Nivel de demanda de agua

Las demandas del año horizonte 2020 son utilizadas en el estudio.

(6) Niveles objetivos de agua del embalse

El trasvase desde Daule-Peripa a La Esperanza, según lo planificado, será por gravedad. El trasvase de agua recomendado, en la medida de lo posible, será de flujo continuo. Sin embargo, las condiciones de diseño para mantener un flujo libre en el túnel de derivación estarán restringidas al nivel límite de agua en La Esperanza, es decir, no mayor a los 63,5 m.s.n.m. Por lo tanto, se ha planificado suspender la operación de trasvase cuando el nivel de agua de La Esperanza sea mayor que los 63,5 m.s.n.m. En otras palabras, el nivel de agua deseado de La Esperanza se ha fijado en 63,5 m.s.n.m.

El trasvase La Esperanza ~ Poza Honda se ha planificado mediante bombeo. Se desea que el nivel objetivo de agua en Poza Honda sea el más bajo posible, para ahorrar los costos de energía de bombeo y para la máxima utilización del caudal propio de la cuenca, reduciendo al mínimo el caudal de vertido de Poza Honda. Sin embargo, si el nivel es demasiado bajo, frecuentemente se produciría un déficit de agua durante la operación debido a que de la capacidad de almacenamiento del embalse no puede ser eficientemente utilizada. Un sinnúmero de cálculos de prueba

permitieron concebir que el nivel límite del agua en Poza Honda debería ser la cota 102,5 m.s.n.m., 4,0 m por debajo del nivel máximo normal de Poza Honda.

(7) Nivel de captación de la estación de bombeo Severino en La Esperanza

El nivel de captación de agua de la estación de bombeo Severino del trasvase La Esperanza ~ Poza Honda debería ser lo suficientemente bajo para una operación continua de bombeo en los períodos de bajo nivel de La Esperanza. Sin embargo, las siguientes dos condiciones de diseño determinan que el nivel de la toma de agua sea la cota 47 m, o sea 10 metros sobre el nivel mínimo del embalse La Esperanza.

- Un nivel anticipado de sedimentación, cota 45 m.s.n.m., en el sitio de la estación de bombeo Severino.
- Un descenso permisible del nivel de agua del embalse durante la construcción de la estación de bombeo Severino, que mantenga las funciones mínimas requeridas de La Esperanza.

(8) Nivel de captación del túnel de derivación Poza Honda ~ Mancha Grande

El trasvase Poza Honda~Mancha Grande de acuerdo a lo planificado será por gravedad. La condición topográfica en la salida del túnel limita el nivel de la entrada del túnel en Poza Honda a la cota 94 m.s.n.m.

(9) Caudal de trasvase desde Daule-Peripa a La Esperanza

El caudal de trasvase desde Daule-Peripa hasta La Esperanza se ha fijado en 18 m<sup>3</sup>/s por acuerdo interinstitucional entre CEDEGE y CRM como se analizó en el numeral 4 de este informe.

(10) Caudal de trasvase desde La Esperanza a Poza Honda

En el estudio de factibilidad se propuso un caudal de trasvase de 16 m<sup>3</sup>/s bajo las siguientes condiciones:

- Se utilizaron las curvas de volumen de almacenamiento antes de la sedimentación del embalse.
- No se consideró el requerimiento de dilución para el caudal de retorno del riego.

- No se tomaron en cuenta los caudales de la intercuenca.

El estudio de operación integrada de embalses se repite basado en las condiciones descritas desde (1) hasta (12) para los caudales de trasvase de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

(11) Caudal de trasvase de Poza Honda a Mancha Grande

Si se excluye el caudal natural del río Chico, las demandas de agua serían:  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$  para la planta de tratamiento de El Ceibal y  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$  para cubrir la demanda pico del riego en Septiembre para el sistema de riego del río Chico, de 1.700 ha incluyendo el 20% del caudal de dilución, sumando un total de  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . El caudal de trasvase se fija entonces en  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

(12) Series hidrológicas históricas

En el estudio de factibilidad, se utilizó el método del modelo Tanque para simular las series hidrológicas en los puntos importantes de las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo, para el período de 20 años, desde 1971 a 1990, mes por mes.

En el estudio de diseño detallado, se revisaron las series hidrológicas mediante la simulación utilizando para ello el modelo desarrollado en el CIDIAT, para un período de 29 años desde 1964 a 1992. Los resultados se dan en este Informe Final, Marzo de 1995. Las series hidrológicas históricas así revisadas se utilizan para el estudio de la operación integrada de embalses.

### 2.3.3.3 Estudio de la operación integrada de embalses

Sobre la base de las condiciones descritas en el numeral 2.3.3.2, se realizó un estudio integrado de operación de los embalses y del balance hídrico, para este propósito se desarrolló una aplicación computacional. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 2.3.2, 2.3.3 y 2.3.4 para una capacidad de trasvase de  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  de La Esperanza a Poza Honda ( $Q_{Ep} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en las Figuras 2.3.5, 2.3.6 y 2.3.7 para  $Q_{Ep} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$  y en las Figuras 2.3.8, 2.3.9 y 2.3.10 para  $Q_{Ep} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$  y que se resumen en la siguiente tabla:

## Resumen del Estudio de la Operación Integrada de Embalses

Descripción	Trasvase La Esperanza-Poza Honda, Capacidad (m <sup>3</sup> /s)		
	16	14	12
<b>Embalse La Esperanza</b>			
Nivel máximo (m.s.n.m.)	66,0	66,0	66,0
Nivel mínimo (m.s.n.m.)	39,8	40,4	40,0
Nivel medio (m.s.n.m.) (50%)	59,9	60,2	60,3
Nivel promedio (m.s.n.m.)	58,7	59,1	59,3
Volumen promedio por el aliviadero (MMC/año)	118	115	118
Evaporación promedio (MMC/año)	21	21	21
Trasvase máx. desde Daule-Peripa (MMC/año)	500	500	500
Trasvase promedio desde Daule-Peripa (MMC/año)	336	331	328
Trasvase máx. hasta Poza Honda (MMC/año)	380	369	348
Trasvase promedio hasta Poza Honda (MMC/año)	213	212	205
Garantía de abastecimiento de agua a la cuenca del río Carrizal (%)	100(100)	100(100)	100(100)
Garantía de trasvase a Poza Honda (%)	95	96	96
<b>Embalse Poza Honda</b>			
Nivel máximo (m.s.n.m.)	106,5	106,5	106,5
Nivel mínimo (m.s.n.m.)	88,3	88,3	88,3
Nivel medio (m.s.n.m.) (50%)	103,2	102,2	101,5
Nivel promedio (m.s.n.m.)	102,2	101,8	101,3
Volumen promedio por el aliviadero (MMC/año)	53	51	47
Evaporación promedio (MMC/año)	6	6	6
Trasvase máx. desde La Esperanza (MMC/año)	380	369	348
Trasvase promedio desde La Esperanza (MMC/año)	213	212	205
Trasvase máx. hasta Mancha Grande (MMC/año)	69	59	55
Trasvase promedio hasta Mancha Grande (MMC/año)	33	32	31
Garantía de abastecimiento de agua a la cuenca del río Portoviejo (%)	97(83)	98(83)	98 (86)
Garantía de trasvase a Río Chico (%)	96(80)	94(72)	93(69)

(Nota) La garantía del abastecimiento de agua es en base mensual. Las cifras en paréntesis son garantía en base anual la cual debería ser mayor que el 80% (déficit de agua de un año por cada 5 años). Se consideró la curva de duración del 50% para determinar el nivel medio del agua.

Los caudales de trasvases de  $Q_{Ep} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q_{Ep} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$  no son recomendables debido a que la garantía de abastecimiento de agua a la cuenca del río Chico, incluyendo el agua para la planta de tratamiento de El Ceibal, es inferior al 80%, en base anual.

El caudal del trasvase La Esperanza ~ Poza Honda se determinó en  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ , basado en el resultado del estudio de la operación integrada de embalses, y además tomando en cuenta los siguientes factores:

- Una operación continua prolongada de una estación de bombeo al máximo de su capacidad es difícil debido a fallas de origen eléctrico o mecánico. Si se opera con  $Q_{Ep} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ , se requerirá una operación continua de 16 meses, mientras que en el caso de  $Q_{Ep} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$  ésta será de cinco meses, lo cual se puede conseguir de una manera más fácil.
- Una mayor capacidad de trasvase garantizaría que todos los esquemas de trasvase afronten los aumentos de la demanda con mayor flexibilidad en el futuro.

El esquema del balance hídrico se muestra en la Figura 2.3.11 para el proyecto de trasvase propuesto con  $Q_{Ep} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 2.3.4 Nivel de toma de agua de La Esperanza

La actual cota del lecho del río en el sitio propuesto de la estación de bombeo Severino es 37 m.s.n.m., la cual es igual al Nivel Mínimo de Agua (NMA) de La Esperanza. En el estudio de factibilidad se propuso un nivel de entrada del agua para el trasvase La Esperanza ~ Poza Honda en la cota 37 m.s.n.m.

En el presente estudio detallado se propone establecer el nivel de entrada de agua del trasvase en la cota 47 m.s.n.m., en razón de las consideraciones siguientes:

- (1) Tal como lo muestran los resultados de la operación integrada de embalses y el estudio del balance hídrico, los niveles de agua mínimo y promedio en el embalse La Esperanza son las cotas 39.8 m y 58.7 m respectivamente, para un nivel objetivo de agua en el mismo embalse a la cota 63.5 m.
- (2) El estudio de la sedimentación del embalse ha sugerido que el nivel esperado de sedimentación en el sitio de entrada, en la estación de bombeo Severino, estará en la cota 45 m.s.n.m.

- (2) El estudio de la sedimentación del embalse ha sugerido que el nivel esperado de sedimentación en el sitio de entrada, en la estación de bombeo Severino, estará en la cota 45 m.s.n.m.
- (3) Permitir bajar los niveles del embalse La Esperanza durante la construcción de la estación de bombeo Severino pero satisfaciendo los requerimientos mínimos para el funcionamiento de dicho embalse.
- (4) Asegurar una garantía del 95% del trasvase a Poza Honda.

### 2.3.5 Requerimiento de ataguía

Para la construcción de la estación de bombeo Severino es necesario mantener el nivel de agua de La Esperanza por debajo del Nivel Máximo (N Max.A). Los niveles de avenidas se calculan mediante el tránsito de los hidrogramas de avenidas con diferentes periodos de retorno a través del embalse, asumiendo varios niveles iniciales de agua del embalse. Los resultados se muestran a continuación.

Requerimiento de Ataguía para las Obras de Desvío  
durante la Construcción de la Estación de Bombeo Severino

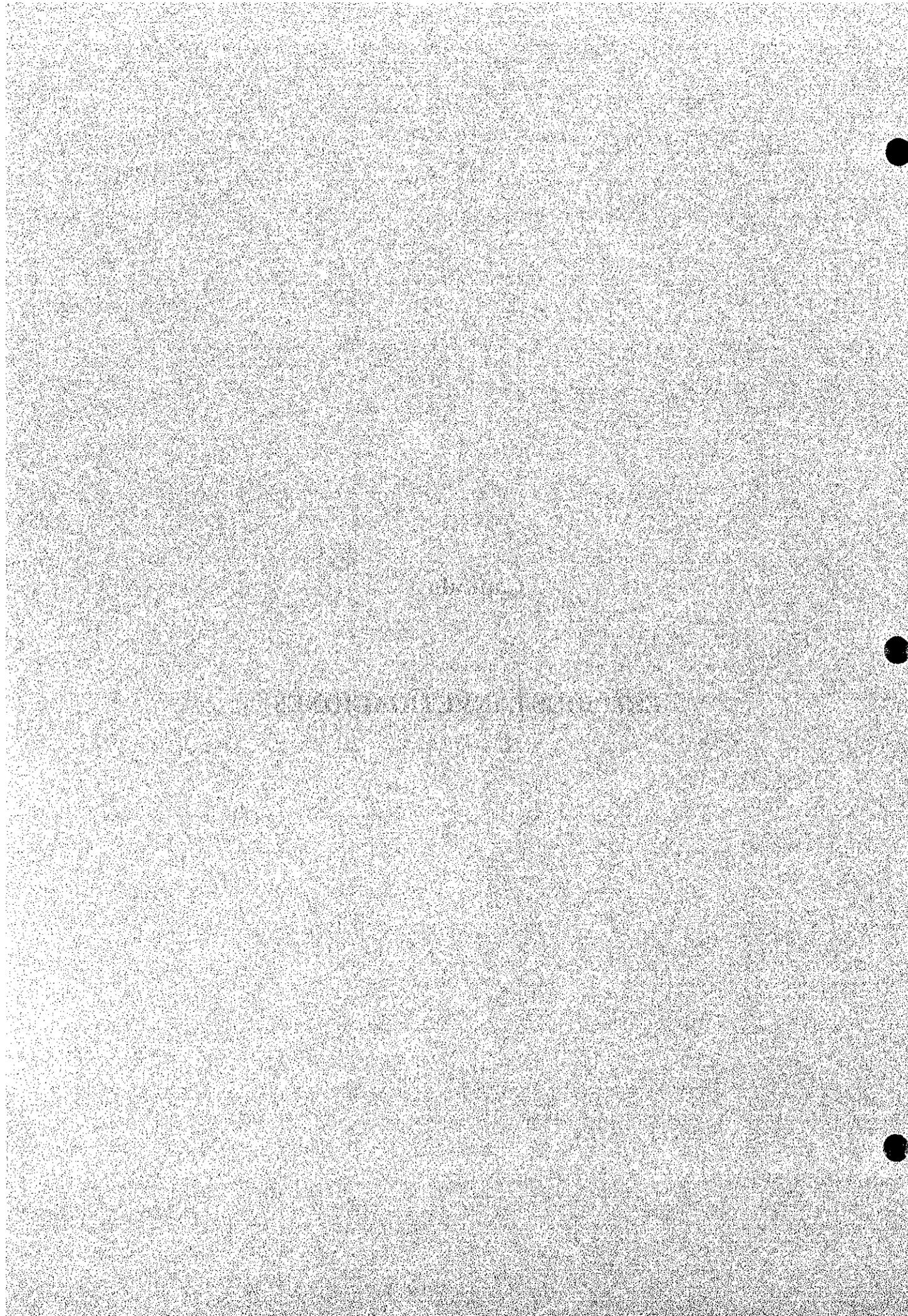
Periodo de Retorno de Avenidas (años)	Nivel Inicial del Embalse (m.s.n.m. )	Máximo Nivel de Agua (m.s.n.m.)
10	37	44,0
25	37	45,0
50	37	46,4
100	37	47,3
10	40	45,5
25	40	46,9
50	40	48,0
100	40	48,6
10	45	49,7
25	45	50,7
50	45	51,5
100	45	52,0
10	50	53,4
25	50	54,3
50	50	55,0
100	50	55,5

La terminación de la presa La Esperanza está programada para inicios de 1996 e iniciar su llenado desde la estación lluviosa de 1996, lo cual significa que la construcción de la estación de bombeo Severino alrededor de 1996/1997 deberá hacerse cuando el embalse esté creado. El sistema de riego Carrizal-Chone de 15.000 ha no entrará en funcionamiento hasta 1998 y la demanda de agua a cubrir por La Esperanza será limitada hasta esa fecha.

Si el CRM permite llevar el nivel de agua del embalse a la cota mínima (MNA) de 37 m.s.n.m., la estación de bombeo Severino, que tiene su cota de entrada de agua en los 45 m.s.n.m., no necesitará de obra de desvío. Pero, en este caso, La Esperanza no podrá abastecer aguas abajo durante la construcción de la estación de bombeo Severino. Se ha recomendado, por lo tanto, mantener el nivel del embalse en la cota 45 m.s.n.m. para cubrir una demanda limitada de agua en la estación seca de 1996/1997. Luego, la altura de la atagüa de desvío será de 6 m incluyendo 0,3 m de resguardo desde la fundación situada a la cota 45 m.s.n.m., preparándose para una avenida probable de 25 años de período de retorno.

**Capítulo 3**

**ESTUDIOS E INVETIGACIONES**



## **Capítulo 3 ESTUDIOS E INVESTIGACIONES**

### **3.1 Generalidades**

En esta fase de estudio detallado, se han revisado, actualizado y complementado los estudios e investigaciones llevados a cabo para el estudio de factibilidad.

En el estudio hidrológico se revisó y actualizó el estudio de simulación de caudales, se complemento el estudio de sedimentación de los embalses, y el estudio de calidad del agua fue revisado y actualizado con nuevos análisis de calidad de agua.

Levantamientos topograficos detallados se principron en los sitios de estructuras y un levantamiento topográfico adicional se llevó a cabo para las rutas de los caminos de acceso y de la línea de transmisión.

Las investigaciones geológicas, así como también, las investigaciones de los materiales de construcción se lleravon a cabo para complementar las investigaciones geotécnicas y de materiales anteriores y más aún para confirmar las condiciones geotécnicas y la disponibilidad de los materiales de construcción.

Los estudios ambientales se han revisado y llevado a efecto nuevos análisis de calidad de agua en el área de estudio y las mediciones de marea en el estuario del río Chone. También se ha revisado y actualizado el Estudio Institucional.

### **3.2 Hidrología**

#### **3.2.1 Generalidades**

Se ha revisado el estudio hidrológico del estudio de factibilidad de los años 1991/1992, y se han actualizado y complementados los mismos en esta etapa de diseño detallado, de la manera siguiente:

- (1) Actualización de datos meteo-hidrológicos, principalmente precipitaciones.
- (2) Revisión de la confiabilidad y consistencia de los datos meteo-hidrológicos.
- (3) Análisis regional de la precipitación para generar los hidrogramas de avenida.
- (4) Generación de las series de escorrentías mensuales a largo plazo.
- (5) Análisis de sedimentos en los embalses.

### 3.2.2 Información básica para los estudios de hidrología

#### (1) Precipitación

En este estudio se han empleado los datos de la precipitación diaria, de las siguientes ocho estaciones pluviométricas localizadas en el área de estudio, tal como se muestran en la Figura 3.2.1.

Estación Pluviométrica	Período de Registro
1. Dos Bocas	1964-1992
2. Chone	1964-1992
3. Portoviejo	1964-1992
4. Rocafuerte	1964-1992
5. Calceta	1964-1985
6. Chamotete	1970-1992
7. Santa Ana	1964-1985
8. Boyacá	1965-1992

La revisión de la confiabilidad y consistencia de los datos de precipitación fue realizada utilizando el método de la curva de doble masa, y los datos de parte del periodo de registro fueron corregidos aplicando la correlación con la estación pluviométrica más cercana establecida en el estudio de factibilidad.

Las series pluviométricas de cada estación de registro se han elaborado para un periodo de 29 años, desde 1964 a 1992, tal como se indica en las Tablas 3.2.1 a 3.2.8.

#### (2) Evaporación

Se han utilizado los datos de la estación meteorológica Portoviejo porque es la única estación que mantiene registros continuos de evaporación observados mediante el Tanque de Evaporación Clase A. El periodo de registro empleado va desde el año 1964 al año 1992, que están registrados en la Tabla 3.2.9.

#### (3) Caudales

En orden a ajustar el modelo hidrológico mensual, es necesario seleccionar algunos datos representativos decaudales medidos las estaciones del área de estudio que tengan

registros de caudales continuos y confiables. Finalmente, fueron seleccionadas las tres estaciones siguientes:

Estación fluviométrica	Periodo de registro
Río Carrizal en Calceta	1964-1980
Río Chico en Alajuela	1970-1982
Río Grande en A.J. Mosquito	1971-1982

### 3.2.3 Análisis regional de la precipitación

#### (1) Zonificación por el tipo de precipitación

Se dibujan, en primer lugar, las curvas de frecuencia de las 8 estaciones de precipitación seleccionadas basado en los datos de precipitación diarios para evaluar las características de la lluvia, aplicando la distribución extrema de Gumbel del Tipo I. Esta, primera evaluación indica que la estación de máxima precipitación es la estación Chamotete y la de mínima precipitación es la estación Rocafuerte, ubicándose la estación Calceta en medio de estos dos límites. Esto muestra a las claras la variación de la precipitación desde las montañas hacia el mar.

Del análisis anterior se tiene la siguiente zonificación de la precipitación, que se indica en la Figura 3.2.1.

Zona 1: representada por la estación Chamotete

Zona 2: representada por la estación Calceta

Zona 3: representada por la estación Rocafuerte

#### (2) Curvas de Intensidad-Duración- Frecuencia de lluvias

En el área de estudio existen solamente datos de precipitación diaria disponibles. Para obtener las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvias, es necesario asumir un patrón de precipitación horaria a partir de una registro diario de precipitación.

Existe en la cuenca del río Guayas, hacia el Este del área del proyecto, algunas estaciones que cuentan con pluviógrafos automatizados que registran la precipitación diaria y horaria. De ahí que, basado en los datos de precipitación de la cuenca del Guayas, se ha determinado una distribución horaria de la precipitación diaria.

La distribución horaria de la precipitación se aplica a las estaciones de Chamotete, Calceta y Rocafuerte, y las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias se dibujan para las Zonas 1, 2 y 3, tal como se muestra en las Figuras 3.2.2 a 3.2.4.

(3) Distribución por área de la precipitación

Una precipitación puntual debe ser transformada en una precipitación promedio de la cuenca mediante la aplicación de un coeficiente de área aplicado a la primera. El coeficiente ha sido definido a través del análisis de algunas lluvias registradas en la provincia de Manabí.

(4) Hietograma de una precipitación probable

Basado en los datos referidos anteriormente, se pueden desarrollar los hietogramas de precipitación probable utilizando el método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

(5) Modelo precipitación-escorrentía

Se ha empleado un modelo precipitación-escorrentía llamado Hidro para convertir las curvas de precipitación probable a hidrogramas de escorrentía probable. El modelo es básicamente el mismo que el de Evaluación de Hidrogramas del Paquete Modelo Hidrológico del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El modelo se explica en el Anexo 1.

#### 3.2.4 Generación de las series hidrológicas mensuales

Se ha empleado un modelo de simulación hidrológica desarrollado por el CIDIAT en 1986, para generar las series hidrológicas mensuales utilizando precipitación mensual y otros datos meteorológicos. El modelo es explicado en el Anexo 1.

El ajuste del modelo se realizó basado en los datos de caudales de las tres estaciones fluviométricas mencionadas anteriormente. En las Figuras 3.2.5 a 3.2.7 se presenta el ajuste del modelo en cada estación, lo cual garantiza que la calibración del modelo es satisfactoria.

Aplicando los parámetros establecidos durante el ajuste del modelo para las tres estaciones seleccionadas, se generaron caudales en 12 sitios para los años comprendidos entre 1964 y 1992 y los resultados se presentan en las Tablas 3.2.10 a 3.2.24 en  $m^3/s$  y en

las Tablas 3.2.25 a 3.2.39 en MMC. Las localizaciones de los sitios se indican en la Figura 2.3.1.

	Localización	Area de Drenaje (km <sup>2</sup> )	Tipo de Parámetros
<b>Para Ajuste del Modelo</b>			
B.	Río Grande en A.J. Mosquito	187,2	B
C.	Río Carrizal en Calceta	523,0	C
A.	Río Chico en Alajuela	183,0	A
<b>Para Simulación</b>			
1.	Sitio de presa La Esperanza	445,0	C
2.	Sitio de presa Poza Honda	170,0	A
3.	Sitio de presa derivadora Santa Ana	481,9	A
4.	Sitio de presa derivadora La Estancilla	769,6	C
5.	Río Chico en La Ciénaga	347,2	A
6.	Río Portoviejo en El Ceibal	1.794,4	A
7.	Río Portoviejo (confluencia con el río Chico)	1.190,0	A
8.	Río Chico (confluencia con el río Portoviejo)	585,0	A
9.	Estuario del río Portoviejo	2.060,0	A
10.	Río Carrizal (confluencia con el río Chone)	1.166,0	C
11.	Río Chone (confluencia con el río Carrizal)	755,0	B
12.	Estuario del río Chone	2.267,0	B

### 3.3 Sedimentación y Calidad del Agua

#### 3.3.1 Sedimentación

El embalse creado por una presa sobre el curso natural de un río está sujeto a la afluencia de sedimentos y su depósito en el embalse. En efecto, la mayoría de los embalses en el mundo sufren en la actualidad del problema de la sedimentación que podría obstaculizar una operación apropiada de la presa y el embalse.

En el proyecto, tres embalses serán interconectados mediante los esquemas de trasvases propuestos, los cuales deberán diseñarse con la debida consideración al problema de la sedimentación.

(1) Producción total de sedimentos

Los tres embalses están diseñados para almacenar la siguiente cantidad de sedimentos:

Embalse	Vida del Proyecto (Años)	Cuenca Aportante (km <sup>2</sup> )	Sedimentos	
			Producción (MMC)	Tasa (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /año)
Daule-Peripa	50	4.200	260	1.238
La Esperanza	100	445	64	1.500
Poza Honda	100	170	13	743

La presa Poza Honda fue construida en 1971. Un levantamiento batimétrico fue llevado a cabo en el embalse Poza Honda desde 1978 a 1985 para confirmar la tasa de sedimentación. La tasa de sedimentación medida fue tan alta como 1.750 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año, dando como resultado una carga final de sedimentos de 30 MMC después de un ciclo de vida útil de 100 años.

Se ha decidido estudiar la sedimentación de embalses para los siguientes nueve casos (tres por cada embalse) para evaluar la evolución de la sedimentación.

Casos de estudio

Embalse	Vida del Proyecto (años)			
	100	50	25	12,5
Daule-Peripa		260	130	65
La Esperanza	64	32	16	
Poza Honda	30	13*	7,5	

Cifras corresponden a la producción total de sedimentos en MMC.

\* Valores de diseño original de Poza Honda

(2) Acumulación de sedimentos en el embalse

El desarrollo de la acumulación de sedimentos en un embalse es algo complejo debido a la variación de los factores que influyen tales como: la fluctuación hidrológica en el agua y la afluencia de sedimentos, textura y tamaño de las partículas de sedimentos que se depositan, fluctuación en los niveles del embalse durante su operación, tamaño y forma del embalse, etc.

Un método propuesto por la Oficina de Reclamaciones de los EE.UU. ha sido aplicado en el presente estudio de sedimentación debido a que éste cubre las características esenciales de sedimentación a considerarse en el diseño de presas y embalses y tiene que ver con los procesos de sedimentación en el embalse. El método es práctico, técnicamente sólido y lo suficientemente veraz para cubrir la complejidad del problema basado en la distribución de sedimentos observada en muchos embalses de los Estados Unidos.

Las curvas área-volumen de cada embalse se modificaron en consideración a la acumulación de sedimentos en los mismos, y se muestran en las Figuras 3.3.1 a 3.3.3, correspondientes a la carga de sedimento de diseño en cada embalse.

Es generalmente conocido que los denominados Depósitos Delta se desarrollan alrededor del nivel medio del embalse, al reducirse la velocidad del flujo de agua, tomando lugar la sedimentación. La formación de los depósitos delta es tomada en cuenta y los niveles de sedimentación en los sitios de estructura en los embalses se estiman a continuación:

Sitios de estructura	Embalse	Nivel original del lecho del río	Nivel de sedimentación después de la vida útil
Entrada Conguillo	Daule-Peripa	69 m.s.n.m.	77 m.s.n.m.
Estación de Bombeo Severino	La Esperanza	36 m.s.n.m.	45 m.s.n.m.
Salida Membrillo	La Esperanza	62 m.s.n.m.	64 m.s.n.m.
Salida Los Cuyuyes	Poza Honda	97 m.s.n.m.	104 m.s.n.m.
Entrada Poza Honda	Poza Honda	77 m.s.n.m.	82 m.s.n.m.

### 3.3.2 Calidad de agua

El muestreo del agua se efectuó en 17 estaciones pre-establecidas a lo largo de toda el área del proyecto, tal como se muestra en la Figura 3.3.4. Se tomaron muestras de agua durante la estación seca (Noviembre 18 a Diciembre 3 de 1993), (Mayo 30 a Junio 13, 1994) y (Agosto 15 al 29, 1994) y durante la estación lluviosa (Enero 10 a Enero 28, 1994).

Se evaluaron veintiséis (26) parámetros físico-químicos en cada estación, y los resultados en términos de DBO, DQO, T-N y T-P, en adición a los datos de calidad de agua de estudios previos, fueron utilizados para el análisis de la carga contaminante.

No se detectó, en el área del proyecto, ninguna industria que pudiera ser fuente de contaminación puntual. Los detalles sobre la calidad del agua y los valores de predicción del cambio de calidad del agua debido a la implementación del proyecto son discutidos en la Sección 3.6.

### 3.4 Levantamiento Topográfico

#### 3.4.1 Puntos de control

##### (1) Levantamiento de puntos de control

El levantamiento de los puntos de control se realizó mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con nivelación para integrar las variables topográficas (coordenadas x, y, z) de las estructuras propuestas. El levantamiento topográfico lo realizó el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La localización de los veinticuatro (24) puntos de control, desde CP.23 a CP.46, se muestran en la Figura 3.4.1, y las coordenadas X, Y de estos puntos se indican en la Tabla 3.4.1. Los puntos de control fueron referidos a los puntos de control establecidos en el Estudio de Factibilidad realizado por JICA.

La nivelación se la ha efectuado basado en los actuales puntos de nivelación confirmados por el IGM o por el Grupo de Estudios de JICA.

El levantamiento de puntos de control se ha basado en los cuatro (4) puntos existentes, que se muestran en la Figura 3.4.1

Puntos de Control	N (Norte)	E (Este)	H (altitud)
EL TABLON	9907248,180	599319,800	358,214
MINAYA	9893895,440	580495,760	551,024
ALAJUELA	9896428,143	639158,432	116,980
TANQUE	9909430,232	587841,529	33,872

El posicionamiento de cada punto de control se realizó mediante el uso de tres receptores GPS con la ayuda de mas de cuatro (4) satélites con mediciones continuas de hasta dos horas. Las horas de posicionamiento por el GPS se determinaron basado en la información del satélite.

La conversión al sistema de coordenadas geográficas ecuatoriano desde las coordenadas GPS se efectuó basado en los siguientes datum geográficos:

- (a) Horizontal PSAD-56 (La Canoa-Venezuela)
- (b) Vertical de La Libertad, Provincia del Guayas  
(nivel medio del mar)
- (c) Elipsoide Hayford-Internacional  
( $a = 6.378.388$  m,  $1/f = 297,00$ )
- (d) Proyección: Universal Transversal Mercator  
(UTM, Zona 17)
- (e) Factor de escala: 0,9996 para los 81 grados de longitud occidental

La Tabla 3.4.1 muestra la conversión de longitud y latitud (GPS) a coordenadas Norte y Este (Sistema Geográfico Ecuatoriano). La cota de cada punto de control se muestra en la misma tabla.

La precisión de los puntos de control se muestran en la Tabla 3.4.2.

Los siguientes equipos fueron utilizados para el levantamiento de puntos de control mediante GPS.

- (a) Receptor GPS : ASHTECH XII
- (b) Computador : ALR 386 BGA
- (c) Programa : GPPS

## (2) Nivelación

La nivelación se llevó a cabo conectándose a los puntos de nivelación de primer orden existentes en el Ecuador. La longitud total de nivelación fue de aproximadamente 137 km.

La precisión de la nivelación se muestra en la Tabla 3.4.3. Todos los resultados de la nivelación tuvieron una precisión especificada dentro de  $10 \text{ mm } \sqrt{S}$

El siguiente equipo fue utilizado en la nivelación:

- (a) Nivel : WILD NAK-2

(b) Mira : mira Invar

Los BM existentes para referenciar la nivelación se muestran en la Figura 3.4.2 y se muestran a continuación:

Hito	Cota	Observación
(1) VIII-B-7-D	45,3271	primer orden
(2) VIII-B-8-A	26,8217	idem
(3) MQ-48	87,7191	idem
(4) MQ-49	152,4665	idem
(5) MQ-59-A-J	435,0095	idem
(6) XIII-B-17	112,1026	idem
MQ-64-A	432,6201	idem
(7) MQ-91	79,5066	idem
(8) MQ-92	78,4689	idem
(9) P.E15639Y	136,335	cuarto orden
(10) MQ-96	64,8902	primer orden
(11) MQ-97	62,5622	idem

### 3.4.2 Caminos de acceso y línea de transmisión

El levantamiento topográfico, compuesto de la planimetría, perfiles y secciones transversales de los caminos de acceso y buea de transmisión los realizó un contratista local.

La localización de los sitios del levantamiento topográfico se muestra en la Figura 3.4.3 y se enumera a continuación:

- (1) Camino de Acceso Conguillo
- (2) Camino de Acceso El Guasmo
- (3) Camino de Acceso Salida Membrillo
- (4) Camino de Acceso Severino
- (5) Camino de Acceso Entrada Caña Dulce
- (6) Camino de Acceso Los Cuyuyes
- (7) Camino de Acceso La Seca
- (8) Camino de Acceso Entrada Poza Honda
- (9) Línea de Transmisión Daule-Peripa-Severino

Los tipos y cantidades de trabajo son los siguientes:

Rubro	Cantidad	Escala
(1) Camino de Acceso Conquillo		
(a) Planimetría	2,8 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	22,6Km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	990 secciones	H:1/200 V:1/200
(2) Camino de Acceso El Guasmo		
(a) Planimetría	0,2 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	1,6 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	73 secciones	H:1/200 V:1/200
(3) Camino de Acceso Salida Membrillo		
(a) Planimetría	0,05 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	0,35 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	15 secciones	H:1/200 V:1/200
(4) Camino de Acceso Severino		
(a) Planimetría	11,0 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	9,3 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	374 secciones	H:1/200 V:1/200
(5) Camino de Acceso Entrada Caña Dulce		
(a) Planimetría	3,0 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	2,7 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	116 secciones	H:1/200 V:1/200
(6) Camino de Acceso Los Cuyayes		
(a) Planimetría	15,0 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	12,6 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	555 secciones	H:1/200 V:1/200
(7) Camino de Acceso La Seca		
(a) Planimetría	4,5 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	3,8 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	158 secciones	H:1/200 V:1/200

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Escala</b>
<b>(8) Camino de Acceso Entrada Poza Honda</b>		
(a) Planimetría	1,0 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	0,67 km	H:1/2.000 V:1/500
(c) Sección transversal (Cada 50 m)	35 secciones	H:1/200 V:1/200
<b>(9) Línea del Transmisión Daule-Peripa-Severino</b>		
(a) Planimetría	33 km <sup>2</sup>	1/2.000
(b) Perfil	32,6 km	H:1/2.000 V:1/500

### 3.4.3 Sitio de estructuras

El levantamiento topográfico para los sitios de estructuras fue ejecutado por un contratista local. Este levantamiento comprende planimetrías, perfiles y secciones transversales.

La localización de los trabajos para once (11) sitios de estructuras se muestra en la Figura 3.4.3 y se listan a continuación:

- (1) Estructura de Entrada Conguillo
- (2) Estructura de Salida Membrillo
- (3) Estructura de Entrada Caña Dulce
- (4) Estructura de Salida Los Cuyuyes
- (5) Estructura de Entrada Poza Honda
- (6) Estructura de Salida Mancha Grande
- (7) Estación de Bombeo Severino
- (8) Conducción Forzada Severino
- (9) Tanque de Carga Severino
- (10) Subestación Severino
- (11) Canal Abierto Severino

Los rubros y cantidades se muestran a continuación.

Rubro	Cantidad	Escala
(1) Estructura de Entrada Conguillo		
(a) Planimetría	10.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(2) Estructura de Salida Membrillo		
(a) Planimetría	10.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(3) Estructura de Entrada Caña Dulce		
(a) Planimetría	16.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(4) Estructura de Salida Los Cuyuyes		
(a) Planimetría	14.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(5) Estructura de Entrada Poza Honda		
(a) Planimetría	133.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(6) Estructura de Salida Mancha Grande		
(a) Planimetría	58.000 m2	1/200
(b) Sección transversal	6 secciones	H:1/200 V:1/200
(7) Estación de Bombeo Severino		
Planimetría	74.000 m2	1/200
(8) Conducción Forzada Severino		
Planimetría	20.000 m2	1/200
(9) Tanqui de Carga Severino		
Planimetría	10.000 m2	1/200
(10) Subestación Severino		
Planimetría	20.000 m2	1/200
(11) Canal Abierto Severino		
(a) Planimetría	672.000 m2	1/200
(b) Perfil	6.400 m	H:1/200 V:1/100
(c) Sección transversal (cada 25 m)	340 secciones	H:1/200 V:1/200

### 3.5 Geología y Materiales de Construcción

#### 3.5.1 Geología

El área del Proyecto se localiza en la región de la Costa, según la clasificación geomorfológica del Ecuador, la cual cubre una región de colinas de altitud baja que se extienden desde la Cordillera de los Andes hasta el Océano Pacífico. Las colinas están compuestas de rocas sedimentarias blandas con una estratificación casi horizontal.

Las siguientes investigaciones geológicas se han desarrollado para el estudio de diseño detallado del Proyecto:

- Perforaciones de núcleos en las rutas de los trasvases	370 m/11 sitios
- Pruebas de presión de agua en las perforaciones (Prueba Lugeón y pruebas de extremo abierto)	31 secciones
- Ensayos de penetración estándar en las perforaciones	54 veces
- Calicatas en las rutas del canal abierto y línea de transmisión	15 sitios
- Sondeos mediante S.P.T. en el canal abierto, línea de transmisión y portales del túnel del embalse Poza Honda	61 sitios
- Mapeo geológico en las rutas de los trasvases	
- Ensayo de rocas en el laboratorio	11 muestras

Los túneles de derivación que interconectarán las cuencas de los ríos Daule, Barro, Portoviejo y Mancha Grande, yacerán en las cotas comprendidas entre los 60 m.s.n.m. y 110 m.s.n.m. A dichas altitudes, los túneles estarán localizados en los lechos horizontales de la Formación Onzole compuesta de conglomerados, areniscas y limolitas moderadamente cementadas.

Algunas capas de areniscas que tienen menor contenido de partículas están pobremente cementadas y porosas, mientras que las otras areniscas, los conglomerados y casi toda la limolita son moderadamente cementadas, compactas y macizas. Los lechos de roca a encontrarse en la ruta de los túneles son rocas moderadamente cementadas y compactas. La arenisca escasamente cementada no se encontrará en el nivel contemplado de la rasante del túnel. Las limolitas en el túnel de derivación Poza Honda-Mancha Grande, sin

embargo, podrían ser más débiles que las rocas de los otros túneles debido a la meteorización más profundamente desarrollada en esa área.

Las propiedades geotécnicas del estrato rocoso, basado en las pruebas de laboratorio y debido parcialmente a apreciaciones empíricas, se muestran en las Tablas 3.5.1 y 3.5.2. La resistencia a la compresión de las rocas intactas varían de 40 a 50  $\text{kgf/cm}^2$ ; el módulo de deformación va desde los 7.000 a 10.000  $\text{kgf/cm}^2$ ; la cohesión de 3 a 5  $\text{kgf/cm}^2$  y el ángulo interno de fricción es de 40 grados.

El potencial de infiltración varía desde cero a más de 60 unidades Lugeon según las pruebas de presión de agua en las perforaciones. También se mostraron signos de deformación del lecho rocoso bajo una presión de 4 a 6  $\text{kgf/cm}^2$ , al mostrarse un incremento brusco de la tasa de inyección de agua que se incrementó desde cero a 180 litros por minuto a una presión de 10  $\text{kgf/cm}^2$ . Estos fenómenos no siempre deberán atribuirse a una rotura o destrucción del lecho rocoso pero es al menos una evidencia de la apertura irreversible de fisuras de creadas por el paso de agua debido al incremento de la presión.

Las secciones de los túneles cercanas a los portales están inevitablemente localizadas en la zona de roca meteorizada de menor resistencia, y, posiblemente de alto potencial de infiltración. Se deberá anticipar una mala condición de la roca en las secciones donde el túnel atraviesa tramos de escasa cobertura de roca, por debajo de los esteros.

Existen dos sitios de escasa cobertura de roca, de 16 metros y 18 metros, en la ruta del túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza, y una cobertura de roca de 22 metros en el túnel de derivación La Esperanza ~ Poza Honda. Estas secciones requieren de aplicaciones técnicas que pongan atención al posible flujo de agua subterránea y al debilitamiento de la roca blanda debido a la infiltración de agua.

La aplicación de hormigón lanzado, de 10 a 15 centímetros de espesor y el empermaje, contemplado en el estudio de factibilidad, se estiman como los métodos apropiados para soporte del túnel. Para estas rocas blandas y compactas, el método más conveniente estimado de perforación del túnel es el de la máquina con broca desbrozadora en lugar del método de voladura.

También se requerirá de soporte de acero, especialmente en dichas secciones que atraviesan rocas meteorizadas y bajo escasas cobertura de roca. En dichas zonas de roca débil, se requerirá de estructuras de soporte de acero colocadas a corta distancia, es decir, a intervalos de 0,75 metros. A fin de controlar la tasa de infiltración de agua, se requerirá la

perforación de drenes a medida que se avance en la perforación del túnel, si las perforaciones exploratorias del frente del túnel indican esta necesidad.

Algunas de las rocas muestran la tendencia al deleznamiento y al hinchamiento, debido presumiblemente a la presencia de minerales arcillosos del grupo montmorillonita. El índice de presión de hinchamiento observado en las pruebas de laboratorio, sin embargo, es apreciablemente bajo con valores de alrededor de  $1,5 \text{ kgf/cm}^2$  o menor, excepto para una muestra. El deleznamiento puede prevenirse aplicando un tratamiento con hormigón lanzado sobre la superficie de la roca, para prevenir su contacto directo con la atmósfera.

Se ha estimado como esencial aplicar un recubrimiento de concreto a lo largo de toda la extensión del túnel a manera de una protección permanente de la roca blanda en la periferia del túnel que es vulnerable a la erosión debido al flujo de agua. Este también servirá para suprimir los efectos perjudiciales del hinchamiento de la roca, si es que ocurriera.

Las galerías que se construyen actualmente en la presa La Esperanza son un buen ejemplo de un túnel en la Formación Onzole del Mioceno. Con soportes de acero a intervalos cortos y hormigón lanzado, la perforación del túnel a través de la roca meteorizada se ha llevado a cabo exitosamente. Unos pocos indicios de infiltración de agua subterránea aparentemente no han causado problemas serios. Aún cuando el túnel en La Esperanza fue ejecutado adecuadamente con voladura, el método de perforación mecánica será eficiente y preferible para el tipo de túnel de gran longitud como el de los trasvases.

Para la estación de bombeo Severino destinada a bombear agua desde el embalse La Esperanza al canal abierto que se conecta con el túnel La Esperanza-Poza Honda, ésta se construirá sobre la arenisca, alguna de la cual está pobremente cementada y es porosa pero no presenta dificultad para la excavación y la construcción del foso debido a que estas areniscas permanecen usualmente secas debido al bajo nivel freático cerca de la ladera de fuerte pendiente.

En el sitio del tanque de carga Severino y a lo largo de la ruta del canal abierto Severino, una perforación de núcleo, diez calicatas y 54 sondeos indicaron que el espesor de la capa de cobertura de suelo coluvial es igual o inferior a los 3 metros en la mayoría de los casos. El tanque y canal estarán en su mayor parte en el lecho de roca de limolitas, el cual, incluso si se encuentra meteorizado, tiene suficiente resistencia para soportar las estructuras del canal.