

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
REPUBLICA DEL ECUADOR

ESTUDIO DE DISEÑO DETALLADO
SOBRE LOS ESQUEMAS DE TRANSVASE DE AGUA
A LAS CUENCAS DE LOS RIOS CHONE Y PORTOVIEJO

INFORME FINAL
VOLUMEN IV
INFORME PRINCIPAL
(ANEXO 2)

4.GEOLOGIA Y MATERIALS DE CONSTRUCCION



MARZO 1995²⁷⁵³⁰

NIPPON KOEI CO., LTD.
Tokio, Japon

国際協力事業団

27530

INFORME FINAL

LISTA DE INFORME

Volumen	Título
I.	INFORME PRINCIPAL (RESUMEN)
II.	INFORME PRINCIPAL
III.	INFORME PRINCIPAL (ANEXO 1) 1. CRITERIOS DE DISEÑO 2. ESTUDIO HIDROLOGICO 3. PLAN DE TRASVASES
IV.	INFORME PRINCIPAL (ANEXO 2) 4. GEOLOGIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCION
V.	INFORME PRINCIPAL (ANEXO 3) 5. ESTUDIO AMBIENTAL
VI.	INFORME DEL CALCULO DE LOS DISEÑOS
VII.	INFORME DEL CALCULO DE CANTIDADES DE OBRAS
VIII.	PLAN DE CONSTRUCCION Y CRONOGRAMA
IX.	ESTIMACION DE COSTOS
X.	PROGRAMA DE IMPLEMENTACION
XI.	PLANOS DE DISEÑO

INFORME FINAL

INFORME PRINCIPAL - CONTENIDO

Volumen I. INFORME PRINCIPAL RESUMEN

Volumen II. INFORME PRINCIPAL

PREFACIO

OFICIO DE RESENTACION

RESUMEN

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE PLANOS

ABREVIATURAS

Capitulo 1 GENERALIDADES

Capitulo 2 REVISION DE ESTUDIOS ANTERIORES

Capitulo 3 ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

Capitulo 4 DISEÑO

Capitulo 5 PLAN DE CONSTRUCCION Y CRONOGRAMA

TABLAS

FIGURAS

PLANOS

Volumen III. INFORME PRINCIPAL ANEXO 1

1. CRITERIOS DE DISEÑO

2. ESTUDIO HIDROLOGICO

3. PLAN DE TRASVASES

Volumen IV. INFORME PRINCIPAL ANEXO 2

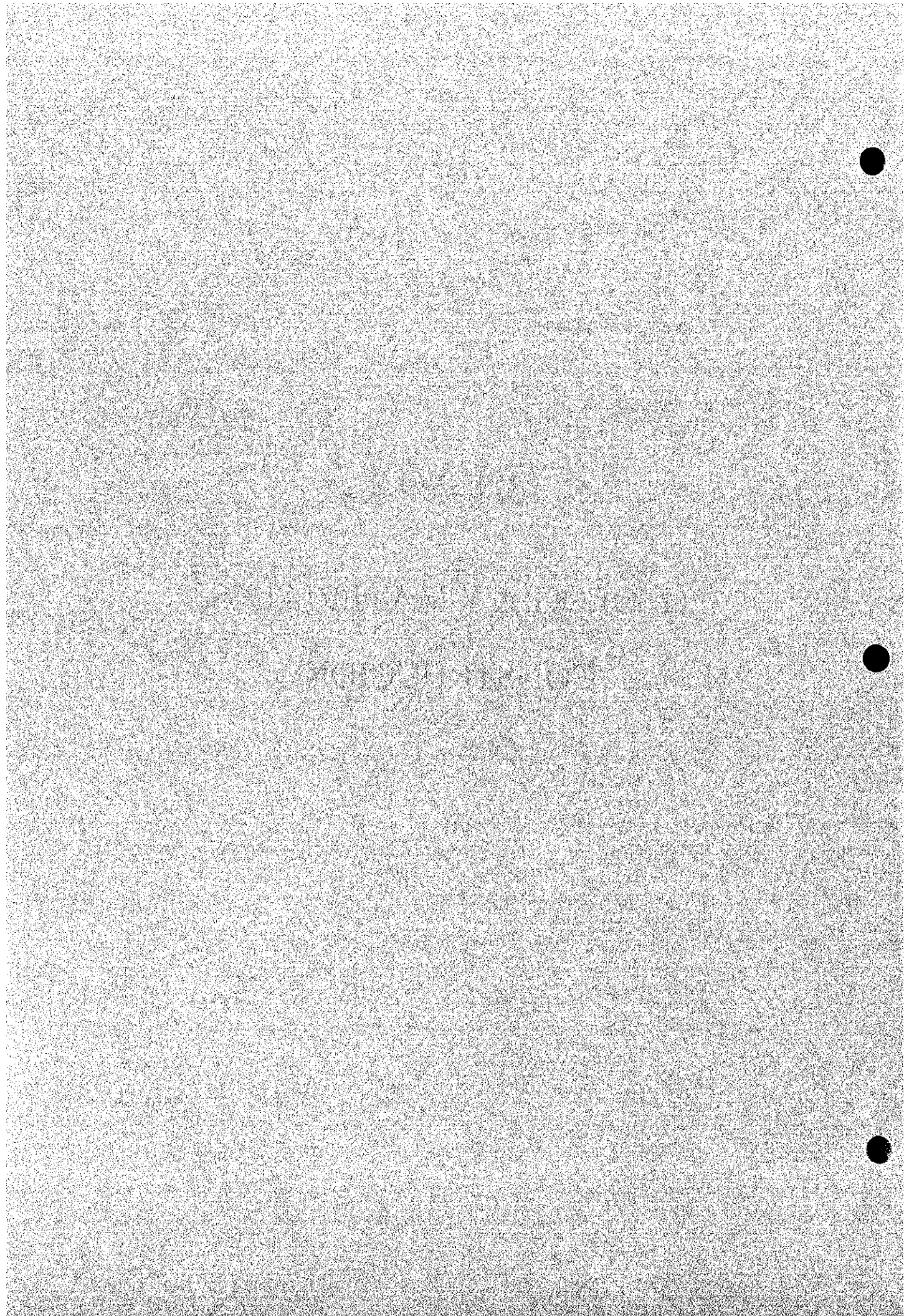
4. GEOLOGIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

Volumen V. INFORME PRINCIPAL ANEXO 3

5. ESTUDIO AMBIENTAL

ANEXO 2

**GEOLOGIA Y MATERIALES
DE
CONSTRUCCION**



**ESTUDIO DE DISEÑO DETALLADO
SOBRE LOS ESQUEMAS DE TRASVASES DE AGUA
PARA LAS CUENCAS DE LOS RIOS CHONE-PORTOVIEJO**

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
Capítulo 1 GEOLOGIA	1-1
1.1 Introducción	1-1
1.2 Geología Regional	1-1
1.3 Investigaciones Geológicas	1-3
1.4 Geología de los Sitios	1-4
1.5 Ingeniería Geológica	1-7
1.5.1 Túneles	1-7
1.5.2 Estación de Bombeo Severino y Tanque de Carga	1-13
1.5.3 Canal Abierto Severino	1-15
1.5.4 Línea de Transmisión	1-16
1.6 Sismicidad	1-17
1.7 Conclusión	1-18
Capítulo 2 INVESTIGACIÓN SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	2-1
2.1 Objetivo de la Investigación de los Materiales de Construcción.....	2-1
2.2 Periodo de la Investigación	2-1
2.3 Investigación de los Agregados de Hormigón.....	2-2
2.4 Ensayos de Mezclas para el Hormigón	2-12
2.5 Ensayos de Suelos.....	2-17
2.6 Conclusiones y Recomendaciones	2-21

LISTA DE TABLAS

	<u>Página</u>
1.3.1 Resumen de las Perforaciones con Ensayos.....	T-1
1.3.2 Resumen de los Sondeos.....	T-2
1.3.3 Resumen de las Calicatas.....	T-5
1.5.1 Sistema de Clasificación de Rocas (según Bieniawski, 1979).....	T-6
1.5.2 Resumen de las Pruebas en Rocas (Diseño Detallado 1994 y Estudio de Factibilidad 1991).....	T-7
1.5.3 Criterios Geotécnicos de Diseño.....	T-8
1.5.4 Normas Japonesas de Clasificación de Rocas para Ingeniería Geológica.....	T-9
1.5.5 Resumen del Ensayo de Permeabilidad In-situ.....	T-10
1.5.6 Resumen de las Pruebas en Rocas (Túnel de Derivación Daule-Peripa-La Esperanza, en el año 1986).....	T-11
1.5.7 Registros de la Prueba de Presión de Agua.....	T-12
1.5.8 Análisis de Difracción por Rayos X.....	T-17
2.4.1 Resumen de los Ensayos de Mecánica de Suelos.....	T-19
2.4.2 Contenido de Humedad Natural y Gravedad Específica.....	T-20
2.4.3 Peso Unitario.....	T-21
2.4.4 Límites de Atterberg.....	T-22
2.4.5 Resistencia a la Compresión Uniaxial y Triaxial.....	T-23
2.4.6 Consolidación.....	T-24
2.4.7 Compactación Proctor.....	T-25
2.4.8 Hinchamiento.....	T-26
2.4.9 Encogimiento.....	T-27
2.4.10 Ensayo Pin-hole.....	T-28

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
1.1.1 Mapa Referencial del area del Proyecto	F-1
1.2.1 Mapa de Geología Regional.....	F-2
1.3.1 Mapa de Localización de las Perforaciones	F-4
1.3.2 Mapa de Localización de las Perforaciones	F-5
1.3.3 Mapa de Localización de las Perforaciones	F-6
1.3.4 Mapa de Localización de las Calicatas y Sondeos del Canal Abierto Severino	F-7
1.3.5 Mapa de Localización de los Sondeos en Poza Honda.....	F-8
1.3.6 Mapa de Localización de las Calicatas y Sondeos para la Fundacion de las Torres de la Línea de Transmisión.....	F-9
1.4.1 Mapa Geológico del Area del Proyecto (Túnel de Derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza)	F-10
1.4.2 Mapa Geológico del Area del Proyecto (Estación de Bombeo y Canal Abierto Severino).....	F-11
1.4.3 Mapa Geológico del Area del Proyecto (Túnel de Derivación La Esperanza ~ Poza Honda)	F-12
1.4.4 Mapa Geológico del Area del Proyecto (Túnel de Derivación Poza Honda ~ Mancha Grande).....	F-13
1.5.1 Perfil Geológico del Túnel de Derivación (Daule-Peripa ~ La Esperanza)	F-14
1.5.2 Perfil Geológico del Túnel de Derivación (La Esperanza ~ Poza Honda).....	F-16
1.5.3 Gráfico Pérdidas de Carga por Fricción vs. Tasa de Flujo de Agua.....	F-18
1.5.4 Perfil Geológico del Túnel de Derivación (Poza Honda ~ Mancha Grande).....	F-19
1.5.5 Perfil Geológico del Canal Abierto Severino	F-20
1.5.6 Resumen de las Perforaciones Anteriores Hechas para el Túnel de Derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza (1986).....	F-21
1.5.7 Resumen de las Perforaciones Anteriores Hechas Durante el Estudio de Factibilidad (1991).....	F-22
2.3.1 Distancia de Transporte para los Agregados de Hormigón	F-23
2.3.2 Mapa de Localización de las Canteras Alrededor del Area de Picoazá	F-24
2.3.3 Análisis Granulométrico de los Agregados Finos.....	F-25
2.3.4 Resultados de las Pruebas de Reacción Alkali	F-26

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

	<u>Página</u>
2.3.5	Análisis Granulométrico de los Agregados Gruesos F-27
2.4.1	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo A1 F-28
2.4.2	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo A2 F-29
2.4.3	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo B1 F-30
2.4.4	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo B2 F-31
2.4.5	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo B3 F-32
2.4.6	Resistencia del Hormigón vs. Edad en Días para el Hormi gón Tipo B4 F-33
2.4.7	Mapa de Localización de las Calicatas alrededor de la Estación de Bombeo y a lo Largo del Canal Abierto Severino F-34
2.4.8	Mapa de Localización de las Calicatas a lo Largo dela Línea de Transmisión F-35

ABREVIATURAS

Instituciones Ecuatorianas

CEDEGE	:	Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas
CETUR	:	Corporación Ecuatoriana de Turismo
CLIRSEN	:	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos
CONADE	:	Consejo Nacional de Desarrollo
CPC	:	Cámara de Productores del Camarón
CRM	:	Centro de Rehabilitación de Manabí
DIGMER	:	Dirección General de la Marina Mercante
DINAC	:	Dirección Nacional de Avalúos y Catastros
DINAF	:	Dirección Nacional Forestal
DITURIS	:	Dirección de Turismo
EMAPAM	:	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Manta
ESPOL	:	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GOE	:	Gobierno de la República del Ecuador
IEOS	:	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
IERAC	:	Instituto Ecuatoriano de Reforma Agraria y Colonización
IGM	:	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INECEL	:	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
INEFAN	:	Instituto Ecuatoriano Forestal y de Areas Naturales y Vida Silvestre
INERHI	:	Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos
INIAP	:	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INOCAR	:	Instituto Oceanográfico de la Armada
JRH	:	Junta de Recursos Hidráulicos de Jipijapa y Paján
MAG	:	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MICIP	:	Ministerio de Industria, Comercio, Integración y Pesca
MOP	:	Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
PFI	:	Programa de Fortalecimiento Institucional de CRM

- PHIMA : Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí (Plan Hidráulico de Manabí)
- PMRC : Programa de Manejo de los Recursos Costeros

Instituciones Internacionales o Extranjeras

- ACI : Instituto Americano del Hormigón
- ASCE : Sociedad Americana de Ingenieros Civiles
- ASTM : Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
- CAF : Corporación Andina de Fomento
- CEPIS : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
- CIDIAT : Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras
- FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
- IDB/BID : Banco Interamericano de Desarrollo
- IEC : Comisión Electrotécnica Internacional
- JEC : Normas del Comité Electrotécnico Japonés
- JICA : Agencia de Cooperación Internacional del Japón
- JIS : Normas Industriales del Japón
- OAS/OEA : Organización de los Estados Americanos
- OECE : Fondo de Cooperación Económica de Ultramar del Japón
- SCS : Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos
- UNDP : Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- USA : Estados Unidos de América
- USAID : Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
- USDA : Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
- WHO : Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas

Términos Técnicos

- ACSR : Cable de Aluminio Reforzado con Alma de Acero
- BOD/DBO : Demanda Bioquímica de Oxígeno

C.A.	:	Corriente Alterna
C.C.	:	Corriente Continua
COD/DQO	:	Demanda Química de Oxígeno
DO/OD	:	Oxígeno Disuelto
EC/CE	:	Conductividad Eléctrica
EIA	:	Evaluación del Impacto Ambiental
EMMP/PMMA	:	Plan de Manejo y Monitoreo Ambiental
FEM	:	Método de Elementos Finitos
F/S, E/F	:	Estudio de Factibilidad
FWL	:	Nivel de Crecidas
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global
H	:	Horizontal
HWL	:	Nivel Máximo Normal
IEE/EAI	:	Examen Ambiental Inicial
LACAT	:	Programa Computacional para Lagos Tropicales
LWL	:	Nivel Mínimo
M.F.	:	Módulo de Finura
MOL	:	Nivel Mínimo de Operación
NATM	:	New Austrian Tunneling Method
PLC	:	Onda Portadora
PMI	:	Programa de Manejo Integrado de Plagas
RWL	:	Nivel de Agua del Embalse
SMTE	:	Sistema de Manejo de Trasvases y Embalses
SPT	:	Ensayos de Penetración Estándard
T-N	:	Nitrógeno Total
T-P	:	Fósforo Total
TSS	:	Sólidos Totales Suspendidos
V	:	Vertical
ZEM	:	Zona Especial de Manejo

Términos Económicos y Otros

CIF	:	Costo, Seguro y Flete
FC	:	Moneda Extranjera
FOB	:	Libre a Bordo
IVA	:	Impuesto al Valor Agregado
LC	:	Moneda Local
NGO/ONG	:	Organización No Gubernamental
PIB	:	Producto Interno Bruto
PRB	:	Producto Regional Bruto
TIRE	:	Tasa Interna de Retorno Económico
TIRF	:	Tasa Interna de Retorno Financiero

ABREVIATURA DE UNIDADES Y MEDIDAS

Longitud

mm	=	milímetro
cm	=	centímetro
m	=	metro
km	=	kilómetro
msnm	=	metros sobre el nivel del mar

Area

ha	=	hectárea
m ²	=	metro cuadrado
km ²	=	kilómetro cuadrado

Volumen

l, lit	=	litro
Kl, Klit	=	kilolitro
l/s	=	litro por segundo
m ³	=	metro cúbico
m ³ /s, cms	=	metro cúbico por segundo
m ³ /min	=	metro cúbico por minuto
m ³ /hr	=	metro cúbico por hora
MCM, mcm	=	millón de metros cúbicos
m ³ /d, cmd	=	metros cúbicos por día

Peso

mg	=	miligramo
mg/l	=	miligramo por litro
meq/l	=	mili-equivalente por litro
g	=	gramo
kg	=	kilogramo
t, ton	=	tonelada
MT	=	tonelada métrica

Tiempo

s	=	segundo
min	=	minuto
hr, HR	=	hora
d	=	día
yr	=	año

Simbolos Monetarios

S/.	=	sucre ecuatoriano
¥	=	yen japonés
US\$	=	dólar americano

Energía

Kcal	=	kilocaloría
KW, Kw	=	kilovatio
MW, Mw	=	megavatio
KWh, Kwh	=	kilovatio-hora
GWh, Gwh	=	gigavatio-hora
V	=	voltio
KV	=	kilovoltio
KVA	=	kilovoltioamperio
MVA	=	megavoltioamperio
Hz	=	Hertz

Others

%	=	porcentaje
°	=	grado
'	=	minuto
"	=	segundo
°C	=	grados Celcius
HD, hd	=	Hombre-día
mill	=	millón
NO. Nos	=	Número (s)
pers.	=	personas
Umho	=	micromho
ppt	=	partes por mil
ppm	=	partes por millón
ppb	=	partes por billón
l/p/d	=	litros por persona por día
g/p/d	=	gramos por persona por día
MPN	=	números.más probables
LS	=	Monto total
O&M	=	Operación y Mantenimiento
p.a.	=	por año
rpm	=	revolución por minuto

MEMORANDUM FOR THE RECORD

On 10/10/54, the following information was received from the [redacted] regarding the [redacted] of the [redacted] in the [redacted] area.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

The [redacted] was [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours. The [redacted] was [redacted] and [redacted] by [redacted] on [redacted] at [redacted] hours.

Capítulo 1 GEOLOGIA

1.1 Introducción

La investigación geológica correspondiente al Estudio de Diseño Detallado sobre los Esquemas de Trasvases de Agua para las Cuencas de los Ríos Chone-Portoviejo se ha llevado a cabo en el período comprendido desde Noviembre de 1993 hasta Enero de 1994 para las siguientes rutas de trasvases:

- Túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza, para conducir agua desde el actual embalse Daule-Peripa hasta la presa La Esperanza en construcción.
- Canal abierto Severino, que llevará agua desde el embalse La Esperanza hasta el portal de entrada del túnel de derivación La Esperanza ~ Poza Honda.
- Túnel de derivación La Esperanza ~ Poza Honda, que trasvasará agua hacia el actual embalse Poza Honda.
- Túnel de derivación Poza Honda ~ Mancha Grande, que trasvasará agua desde el embalse Poza Honda hacia el río Mancha Grande, un tributario del río Portoviejo.
- Ruta de la Línea de Transmisión, nueva, que será construida para suministrar energía eléctrica a la estación de bombeo Severino.

El plan de investigación fue formulado basado en la revisión y evaluación de la información geológica y geotécnica obtenida en las investigaciones previas del estudio de factibilidad llevado a cabo por JICA (1992) y del estudio anterior llevado a cabo por el Consorcio Ecuatoriano-Brasileño (1987) sobre la ruta Daule-Peripa ~ La Esperanza. La localización de los sitios de estructuras se muestra en la Figura 1.1.1.

La investigación geológica correspondiente a esta etapa comprende: mapeo geológico, perforaciones, calicatas, sondeos y ensayos de laboratorio.

1.2 Geología Regional

El Ecuador se halla geomorfológicamente dividido en tres regiones que la atraviesan de norte a sur, éstas son de este a oeste: la región del Oriente, la región de la Sierra y la región de la Costa.

La región de la Sierra corresponde a la cordillera de los Andes, cuya máxima elevación es el monte Chimborazo a 6.310 m.s.n.m, compuesto de rocas metamórficas del Paleozoico, complejos volcánico-sedimentarios del Cretáceo y Terciario fuertemente plegados y productos volcánicos de origen reciente.

La región del Oriente cubre una parte de los tramos superiores de la vasta cuenca del río Amazonas que se extiende hacia las estribaciones orientales de la cordillera de Los Andes. La región de la Costa comprende desde las estribaciones de la cordillera Occidental de Los Andes hasta el Océano Pacífico.

El área del Proyecto se encuentra en la región de la Costa.

Una gran parte de la región de la Costa comprende colinas de altitudes de hasta 300 m.s.n.m, por otro lado, un sistema montañoso de altitud menor a los 900 m.s.n.m atraviesa la región de norte a sur dentro de una distancia de 60 km desde el Océano Pacífico. Las montañas de Moche, Chindul y Jama son parte de este sistema montañoso menor. Entre este último y las estribaciones de la cordillera de Los Andes se encuentra una región de colinas de entre 60 y 100 km de amplitud, la cual se divide en dos grandes cuencas, la del río Esmeraldas que fluye al norte y la del río Guayas que fluye al sur. Los ríos Daule y Peripa que abastecen de agua al Proyecto son tributarios del río Guayas.

Algunos ríos de menor caudal fluyen desde la parte occidental de la región de colinas hacia el Océano Pacífico. El río Chone y el río Portoviejo, parte del Proyecto, son los de mayor caudal de este sistema. Ellos se encuentran localizados al sur de la región de la Costa donde las montañas son bajas y fragmentadas.

La región de la Costa se halla ampliamente cubierta por rocas sedimentarias del Terciario, mientras que las rocas sedimentarias del Cretáceo, de origen parcialmente volcánico, se afloran en el sistema montañoso menor costanero. Los sedimentos del Terciario son conglomerados, areniscas y limolitas de la Formación Onzole del Mioceno y de la Formación Borbón que cubre la primera, las cuales se estratifican consistentemente en forma horizontal sobre una vasta área.

Se ha estimado que el sistema montañoso menor de la costa corresponde al arco externo de la región tectónica que se alinea paralelamente al arco interior de la cordillera de Los Andes, con la zona de subducción de la placa tectónica localizada mar afuera en el Océano Pacífico.

En este contexto, la región de colinas localizada entre el sistema montañoso menor de la costa y la cordillera de Los Andes se compone de sedimentos en la cuenca oceánica

poco profunda entre los arcos, los cuales probablemente se formaron en un periodo de inactividad tectónica. Los tramos superiores del río Chone y del río Portoviejo pertenecen a la misma cuenca sedimentaria, aún cuando los mismos se encuentran actualmente descargando hacia el oeste atravesando parte de la región de colinas de la costa. Por otro lado, la literatura no ha reportado hasta el momento mayores fallas en estos lechos del Terciario (referirse a la Figura 1.2.1).

1.3 Investigaciones Geológicas

Las investigaciones geológicas previas han revelado que la estructura geológica en el área del Proyecto es algo sencilla compuesta de rocas sedimentarias del Terciario, regularmente estratificadas en posición subhorizontal con raras perturbaciones por plegamientos y/o fallas.

Un par de situaciones se mantienen para ser investigadas minuciosamente para determinar métodos definidos de evaluación o criterios para el diseño detallado. Estos se refieren a:

- (1) Resistencia de la roca blanda en las rutas de los túneles y método apropiado de excavación del túnel.
- (2) Posibilidad de comportamiento peligroso de las rocas y del material de terraplén por deleznamiento e hinchamiento.

Más que esos problemas, se requiere confirmar las condiciones geológicas y geotécnicas en los sitios exactos de las estructuras a ser diseñadas, por ejemplo; resistencia del suelo encima de la roca y profundidad del lecho rocoso.

La investigación geológica de la presente etapa se ha planificado y llevado a cabo con estos requerimientos en mente. Las cantidades de trabajo se detallan en las Tablas 1.3.1 a 1.3.3, y se resumen a continuación:

- | | |
|---|--------------------|
| - Perforaciones en las rutas de los trasvases | : 370 m/ 11 sitios |
| - Pruebas de Presión de agua en las perforaciones | : 31 tramos |
| - Ensayos de Penetración Estándar en las perforaciones | : 54 pruebas |
| - Calicatas en las rutas del canal abierto y línea de transmisión | : 15 sitios |

- Sondeos mediante S.P.T. en las rutas del canal abierto, línea de transmisión y portales del túnel Poza Honda : 61 sitios
- Mapeo Geológico de la ruta de los trasvases de agua

Se han efectuado análisis de laboratorio para once (11) núcleos perforados y recuperados, en los siguientes ítems:

- Análisis de difracción por rayos-x para minerales arcillosos
- Gravedad específica y absorción de agua : ASTM C-127
- Densidad natural : ASTM C-29
- Compresión uniaxial : ASTM D-2938/D-4543
- Módulo de deformación estática : ASTM D-4341/D-4405
- Relación de Poisson : ASTM D-3148
- Resistencia a la Tensión (Ensayo Brasileño) : ASTM D-3967
- Hinchamiento : ASTM D-4546
- Durabilidad al deleznamiento : ASTM D-4644

La investigación geológica la ha efectuado un contratista, Hidrosuelos Cia. Ltda. Las pruebas de laboratorio las realizó la Escuela Politécnica Nacional.

La localización de los sitios de la investigación geológica se muestran en las Figuras 1.3.1 a 1.3.6.

1.4 Geología de los Sitios

(1) Túnel de Derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza (Referirse a la Figura 1.4.1)

El lecho de roca se compone de limolitas y areniscas subhorizontalmente estratificadas y alternativamente ubicadas.

A grosso modo se puede apreciar un ciclo sedimentario unitario de varios metros de espesor hasta los 15 m como una secuencia de estratos, los cuales van desde una arenisca relativamente gruesa o conglomerados finos en la base hasta el más fino material, como limolitas, en la parte superior.

Sin embargo, la estratificación no está bien correlacionada entre los tres sitios de perforaciones efectuadas, mientras que la roca en todos los sitios de perforaciones muestra características similares de interestratificación horizontal de areniscas moderada a débilmente cementadas y limolitas con intercalaciones menores de conglomerados finos. Tal parece que existe un cambio considerable en la distribución granulométrica de cada estrato dentro de un rango de un centenar de metros.

No se encuentra, aparentemente, ninguna diferencia substancial en las características litológicas entre el portal de entrada del túnel y el portal de salida del mismo, considerando que en el Mapa Geológico del Ecuador (escala 1/100.000), la placa Guayas indica que la zona del portal de entrada corresponde a la Formación Borbón y el sitio de salida del túnel a la Formación Onzole. Este hecho se debe probablemente a que la Formación Onzole se encuentra presente también al nivel de la rasante del túnel en el sitio del portal de entrada.

En todas las nuevas perforaciones DP93-1, DP93-2 y DP93-3 (Apéndice 1, Registro de las Perforaciones), se encontraron areniscas limosas finas similares, a nivel de la cota de la rasante del túnel desde los 60 m hasta los 65 m. Esto no siempre significa que todas aquellas areniscas son de un solo estrato continuo. No obstante, es altamente probable que la mayor parte del túnel pase a través de areniscas de variados grados de composición granulométrica, color y contenidos de material fino, tal como areniscas finas, medias y areniscas arcillosas o limosas, etc.

Las areniscas incluyendo los más finos componentes limo-arcillosos se encuentran generalmente más firmemente cementadas, probablemente debido a una buena aglomeración de las partículas. En contraste, las areniscas puras sin componentes finos son más porosas y frágiles.

(2) Ruta de Tránsito La Esperanza-Poza Honda (Referirse a las Figuras 1.4.2 y 1.4.3)

El lecho de la roca está similarmente compuesto de una estratificación alternada de areniscas y limolitas de la Formación Miocénica Onzole.

En el área de la estación de bombeo Severino/tanque de carga, el lecho rocoso consiste predominantemente de areniscas. Limolitas aparecen solamente en los sitios de cota mayores a los 100 m y una parte en los sitios de la cota 100, en las perforaciones SR93-2 en el sitio de la Subestación y SR93-5 en el sitio del Tanque de Carga. En la perforación SR93-1 de 55 m de profundidad en la estación de bombeo que se excavó a partir de la cota 96, la mayor parte de ella atravesó areniscas excepto en el último tramo de 10 m en el fondo. Algunos indicios de estratificación cruzada en la arenisca del pozo SR93-2 indican que estos lechos de areniscas se formaron por sedimentación junto al mar.

Fragmentos de conchas se han encontrado en varios niveles de las areniscas (Apéndice 1, Registro de las Perforaciones).

La extensa ruta del canal abierto Severino, de 6.300 m, tiene un lecho rocoso similar con un espesor de cubierta de suelo inferior a los 3 m en la mayor parte de esta ruta.

La ruta del túnel de derivación La Esperanza - Poza Honda presenta un estrato grueso compuesto por una limolita arenosa y probablemente continua que se extiende debajo de la cota 120 m, mientras que la cota al nivel de la rasante del túnel es la 107 m en el sitio del portal de entrada y 100 m en el portal de salida. La meteorización es intensiva y algo profunda alcanzando ambos extremos del túnel, con limolitas completamente meteorizadas y hasta suelos residuales con profundidades de 6 hasta 8 m. La meteorización puede ser más intensa y profunda en la parte alta de la corona sobre la ruta del túnel.

(3) Túnel de Derivación Poza Honda ~ Mancha Grande (Referirse a la Figura 1.4.4)

La ruta del túnel va desde el embalse Poza Honda sobre el río Portoviejo hasta el río Mancha Grande, su tributario de la margen derecha, atravesando cerros con una elevación máxima de 450 m. De igual manera que la otra ruta de trasvase, la parte alta del cerro, a una cota algo mayor a los 180 m, se encuentra ocupada por sedimentos del Mioceno de la Formación Borbón, mientras que la parte más baja al nivel de la rasante del túnel se compone de areniscas y limolitas con menores intercalaciones de conglomerados de grano pequeño de la Formación Onzole del Mioceno.

El lecho rocoso al nivel de la rasante del túnel contiene, predominantemente, componentes más finos; tales como limolitas y areniscas arcillosas finas, las cuales se encuentran moderadamente cementadas o generalmente compactadas.

La roca está altamente meteorizada hasta una profundidad considerable lo que no es común para las otras rutas. La meteorización completa de la roca a suelo residual se observó hasta una profundidad de 13,5 m en la perforación MG93-1 en el embalse Poza Honda y 18 m en el pozo MG93-2 en el talud de la margen izquierda del río Mancha Grande (Referirse a la Figura 1.4.4 y Apéndice 1).

La perforación MG93-3 en la margen del río Mancha Grande no encontró el lecho rocoso sino hasta una profundidad de 18,8 m, o la cota 76,20 m, esto es aproximadamente 15 m más bajo que la cota del lecho del río.

La parte superior de este depósito, de 5 m de espesor y de color marrón, es el depósito aluvial reciente que en la actualidad forma una especie de terraza del río. El subyacente

tramo de 14 m de espesor está ocupado por un limo de coloración gris, arena y sus mezclas que contienen fragmentos de roca de origen arenoso y limoso.

El depósito grueso entre la superficie de la roca y el lecho del río se estima está compuesto de un tipo de depósito coluvial antiguo originado por una avenida de lodo o deslizamiento. La actual topografía de una gran pendiente cóncava en la parte alta (más alta que el carretero), en la margen izquierda del río Mancha Grande puede ser un remanente de una antigua superficie de deslizamiento, aún cuando todos los taludes del río se encuentran en la actualidad completamente estabilizados, lo cual se puede comprobar por la presencia de árboles completamente derechos en dichos taludes.

(4) Cantera de Picoazá (Referirse a la Figura 1.2.1)

El basalto es la roca procesada por compañías privadas en los cerros que se encuentran entre el poblado de Picoazá y la ciudad de Montecristi. Los cerros son parte de la cordillera montañosa menor costanera formada por lutitas color café pertenecientes al miembro Dos Bocas del Oligoceno al Mioceno de la Formación Tosagua, la cual se encuentra estratigráficamente ubicada más abajo que la Formación Onzole en la ruta de los trasvases de agua y abarca lavas de la Formación Mesosoica Piñón. Se estima que el basalto de las canteras de Picoazá es un limitado afloramiento a la superficie del suelo de la Formación Piñón. Aún cuando regionalmente limitada, la reserva que puede ser procesada es suficiente para cubrir las necesidades de material de construcción para el proyecto.

1.5 Ingeniería Geológica

1.5.1 Túneles

El estudio de factibilidad recomendó la construcción de túneles mediante excavación mecánica, en vez de voladura, y aplicación de hormigón lanzado de un espesor de 10 a 15 cm con malla metálica y pernos de anclaje a intervalos de 1,5 m. Esta estrategia se ha estimado apropiada, básicamente, a la luz de los hallazgos de la investigación geológica en la presente etapa del estudio, aunque los valores y criterios podrían necesitar de revisión.

El ejemplo de los túneles-galerías de los estribos en la presa La Esperanza, actualmente en construcción, demuestra que el método de voladura y soportes de acero es también aplicable exitosamente en la Formación Onzole. Hormigón lanzado es también empleado conjuntamente con los soportes de acero. Sin embargo, el método de excavación mecánica y aplicación de hormigón lanzado sería más efectivo para los apreciablemente largos túneles de los trasvases de agua.

Tal como se mencionó en la Sección 1.3, parte de las areniscas con ligeros componentes de limo y arcilla son de consistencia porosa y friable debido a la falta de fuerza para unir las partículas componentes. Este tipo de arenisca tiende a perder estabilidad o colapsar por la saturación con agua subterránea en la periferia de la caverna del túnel. Aún cuando la ocurrencia de tal arenisca es limitada, se requerirá, bajo la peor de las condiciones, perforar drenes dentro de la roca que rodea al túnel, previo al avance de su construcción.

En general, la roca blanda de la ruta del túnel puede catalogársela como roca de calidad media, Clase II o III según la Clasificación de Rocas de Bieniawski (Rock Mass Rating -RMR), con valores que van desde el 53 al 68 (referirse a la Tabla 1.5.1). Esta evaluación es probablemente apropiada para toda la roca de las rutas de los túneles excepto para el tramo de roca blanda, Clase IV, en el túnel Poza Honda ~ Mancha Grande y en pequeños tramos de irregularidades locales o areniscas altamente friables como la mencionada anteriormente. La localización de aquellas secciones débiles del túnel no se han identificado hasta el momento. Se tendrá que realizar pequeños ajustes, para las condiciones de roca débil, para enfrentar las circunstancias propias al momento de la construcción del túnel.

Pero, aparentemente, el criterio de Bieniawski para la resistencia al corte de la roca Clase III, empíricamente hablando, es muy conservador para la roca de esta zona. Los criterios, aplicados con seguridad, son 5 kgf/cm^2 para la cohesión y 40 grados para el ángulo interno de fricción. Para la arenisca friable se escogerá la cohesión de 3 kgf/cm^2 .

La roca excavada deberá estabilizarse mediante la contención de la misma en la zona de la periferia del túnel por medio de la aplicación de hormigón lanzado con malla metálica y pernos de anclaje, inmediatamente después de la excavación. Se requerirán, además, perforaciones de drenaje.

No se descarta el soporte de acero. Los tramos dentro de los cien metros desde los portales y otros tramos de rocas de condición muy débil, pueden requerir de una gran estructura de soporte de acero a intervalos menores a los 0,75 m.

El estudio de factibilidad ha recomendado en forma apropiada el recubrimiento con hormigón de 30 cm de espesor con y sin varillas de refuerzo, dependiendo de la condición de la roca.

Es altamente conservador y apropiado aplicar el recubrimiento de hormigón, considerando que la roca es generalmente blanda y proclive a la erosión. Incluso, bajo la protección con hormigón lanzado, existe todavía la posibilidad de deterioro de la roca a largo plazo debido a la erosión interna o tubificación por filtración de agua a través de las grietas que ocasionarán el ensanchamiento de las aberturas al interior de la roca y originar la

pérdida de resistencia y estabilidad. También es posible que el hormigón lanzado no permanezca intacto a causa de las deformaciones no uniformes de la roca blanda. Más aún, algunas de las muestras de roca ensayadas en el laboratorio mostraron tendencias al hinchamiento con presiones algo bajas, menores a $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ bajo la condición de ningún cambio de volumen. Existieron dos casos excepcionales, de $6,5 \text{ kgf/cm}^2$ para la muestra de la perforación DP93-2 y $1,7 \text{ kgf/cm}^2$ para la SR93-3 (referirse a la Tabla 1.5.2). La primera de estas presiones corresponde a la muestra de limolita tomada al nivel de la cota de la rasante del túnel y pudiera ser influyente en toda la estructura del túnel. La última de ellas es todavía algo baja. El recubrimiento de hormigón será una solución adecuada y segura para tratar todos estos problemas.

Se ha estimado que el hinchamiento se produce debido a la presencia de minerales arcillosos del grupo montmorillonita (smectite) contenidos en la roca. La presión de hinchamiento de $1,5 \text{ kgf/cm}^2$, antes referida, es equivalente a 15 m de columna de agua, la cual es soportada muchas veces por el recubrimiento de hormigón de túneles a profundidades mayores al nivel freático. Materiales para soportar presiones de $6,5 \text{ kgf/cm}^2$ parecen ser no comunes y podría requerirse su reemplazo con hormigón cuando se causen daños visibles.

Los criterios geotécnicos de diseño de túneles propuestos se muestran en la Tabla 1.5.3.

Las características geotécnicas de cada túnel se dan a continuación:

(1) Túnel de Derivación Daule-Peripa ~La Esperanza (Referirse a la Figura 1.5.1)

Las perforaciones de núcleo en cinco sitios, incluyendo aquellos de las anteriores campañas, indicaron que la ruta del túnel en las cotas 65 y 60, en su mayor parte, estaría en la zona de areniscas finas limosas o arcillosas comunes en esta área. Ellas corresponden a rocas Clase CM de la norma japonesa o Clase II a III de la Clasificación de Bieniawski (referirse a las Tablas 1.5.4 y 1.5.5).

De las tres muestras de núcleos perforadas cerca a la cota de la rasante del túnel para ser analizadas en el laboratorio, la correspondiente a la perforación DP93-1 junto al portal de salida, es exactamente de la arenisca fina limosa que cubre la ruta del túnel. Una muestra de la perforación DP93-2 pertenece al lecho de limolitas al nivel de la rasante del túnel. La otra restante pertenece a la limolita a una distancia de 5 m del nivel de la rasante del túnel.

Se tomaron, como criterios de diseño, un módulo de deformación de 10.000 kgf/cm² y un módulo elástico de 20.000 kgf/cm², y los ensayos de laboratorio, arrojaron valores de alrededor de 12.350 kgf/cm² para una muestra de arenisca y una muestra de limolita, y 21.000 kgf/cm² para la otra muestra de limolita (referirse a la Tabla 1.5.6).

La relación de Poisson para el diseño será de 0,20, frente a 0,11 obtenida de la arenisca y 0,20 a 0,25 de las limolitas en las pruebas de laboratorio.

La resistencia a la compresión uniaxial es 50 kgf/cm². Todas las muestras arrojaron valores cercanos al anterior (referirse a la Tabla 1.5.6).

El índice de presión de hinchamiento fue cero para la arenisca, mientras que para la limolita de la muestra DP93-3 fue de 1,2 kgf/cm². Este último es un valor substancial pero bajo. La limolita de la perforación DP93-2 arrojó un valor excepcionalmente alto de 6 kgf/cm².

El índice de durabilidad al deleznamiento también fue apreciablemente bajo, de 0,1 por ciento, en una de las muestras de la limolita, una de la muestra de la perforación DP93-2, mostró una gran tendencia al desmoronamiento. Las otras dos muestras de arenisca y limolita tuvieron alta durabilidad.

Es muy probable que el problema de deleznamiento e hinchamiento no ocurra en el lecho de roca de arenisca limosa que rodeará el túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza.

El sustrato de arenisca friable ha sido alcanzado mediante las perforaciones en dos sitios. En la perforación DP93-3 en el portal de entrada, ésta se encuentra en el tramo entre la cota 79,5 m y la cota 76,2 m, lo cual no implicará problema para el túnel ubicado en la cota 65 m. En la perforación DP93-1 cerca de la salida, el lecho de arenisca friable se localiza debajo de la cota 60 m, justo debajo de la cota 60,6 del túnel. Sin embargo, la arenisca blanda debajo de la solera del túnel, no ocasionará mayor problema.

Los ensayos de permeabilidad "in-situ", de las perforaciones alrededor de la cota de la rasante del túnel arrojaron diversos valores. La arenisca friable en el fondo de la perforación DP93-1 dio un valor de 26 Lugeón y un repentino incremento de la tasa de inyección de agua a la presión de 5 kgf/cm². Esto puede significar una fractura local o deformación de la arenisca friable. Valores altos de permeabilidad de 35 y 60 Lugeón se observaron en los lechos de areniscas a profundidades menores a los 20 m. Sin embargo, en las capas de arenisca limosa al nivel de la rasante del túnel, el valor más alto observado fue

de 15 Lugeón en un tramo de la perforación DP93-3. Los restantes valores fueron no mayores a 5 Lugeón.

El túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza atravesará por debajo de colinas ondulantes. El túnel tendrá su mayor cobertura de roca, de 275 m de espesor, medido desde la parte más alta de la colina y localizada a una distancia de 4.500 m desde el Portal de entrada. Por otro lado, el túnel atravesará las menores coberturas de roca, 18 m y 16 m, en el estero Cañales a una distancia de 2.100 m y en el estero Mulato a una distancia de 7.900 m del portal de entrada, respectivamente. La meteorización no alcanza mayores profundidades en esta área y las rocas son virtualmente impermeables, tal cual lo muestran los resultados de ensayos de permeabilidad que dieron valores inferiores a las 5 unidades Lugeón en la perforación DP93-1 y perforación DP93-2. Las condiciones de filtración en este lugar no serán serias. No obstante, se tendrá que diseñar grandes soportes de acero para el túnel para atravesar estas partes, ante la posibilidad de ablandamiento de la roca debido a la filtración lenta proveniente del fondo del valle.

(2) Túnel de Derivación La Esperanza ~ Poza Honda (referirse a la Figura 1.5.2)

La perforación SR93-3 a la entrada del túnel de derivación La Esperanza ~ Poza Honda en Caña Dulce reveló que el túnel, en la cota 103,7 m, estará localizado en un lecho macizo y grueso de limolita arenosa. Igual tipo de limolita arenosa fue hallada en la perforación SR93-4 en la salida Los Cuyuyes sobre el embalse Poza Honda (referirse al Apéndice 1).

Estas limolitas arenosas a ambos extremos del túnel se extienden, probablemente, en forma continua alrededor de la mayor parte del túnel. En la perforación SR93-4 en la salida, sin embargo, el nivel de la rasante del túnel a la cota 100,2 coincide con el fondo de la limolita arenosa, bajo la cual subyace otra capa maciza de arenisca fina limosa. La roca es maciza y moderadamente cementada y puede clasificarse como roca Clase C_M a C_L en la norma japonesa y Clase III en la norma RMR de Bieniawski. La roca en el sitio de salida es comparablemente más débil que en la entrada, posiblemente debido a la meteorización más profunda de la primera.

La permeabilidad de la roca, tal como se observó en los ensayos correspondientes, fue superior a las 40 unidades Lugeón, excepto para un tramo que está por debajo de la cota del túnel en la entrada (SR93-3), que arrojó valores Lugeón inferiores a 1 unidad. En los tramos de 25 m y 30 m de profundidad en la salida (SR93-4), la tasa de inyección de agua fue casi cero mientras se incrementó la presión desde 1 a 6 kgf/cm², pero ésta se incrementó súbitamente a 180 litros por minuto a la presión de 10 kgf/cm². El flujo de agua se mantuvo alto, incluso después de que se redujo la presión. Aparentemente, esto se debe

a las fracturas irreversiblemente ocasionadas en la roca por la presión del agua (referirse al Apéndice 2, Ensayo Lugeon, Curva Presión-Tasa de inyección, Tabla 1.5.7 y Figura 1.5.3).

El módulo de deformación y módulo de elasticidad de diseño se asumen en 10.000 kgf/cm^2 y 20.000 kgf/cm^2 , respectivamente, similares al caso del túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza. Para la roca meteorizada cerca de los portales del túnel, se asumirán la mitad de los valores arriba mencionados.

La relación de Poisson de diseño será de 0,20, mientras que los valores ensayados en el laboratorio arrojaron relaciones de 0,21 y 0,18.

La resistencia a la compresión uniaxial, obtenida mediante las pruebas, dieron un valor de 64 kgf/cm^2 para la muestra perforada en el portal de salida.

El hinchamiento y la tendencia al deleznamiento son despreciables.

El tipo de roca de esta ruta de túnel puede estimarse que cae en el mismo rango de características mecánicas que aquellas del túnel de derivación Daule-Peripa ~ La Esperanza. No se encontraron características geológicas desfavorables, tal como tramos de areniscas friables, cerca de la cota de la rasante del túnel.

La colina que cubre la ruta del túnel es normalmente alta. Existe un espesor de cobertura de 22 m en un sitio a 11.030 m de la entrada, o a 400 m de la salida. Considerando la meteorización a gran profundidad en la zona de la salida se tendrá que considerar el diseño de soportes de acero poco espaciados y orificios de drenaje profundos para la roca en el arco y paredes del túnel, para atravesar dichos sitios de menor cobertura de roca.

(3) Túnel de Derivación Poza Honda~Mancha Grande (referirse a la Figura 1.5.4)

La ruta de este túnel atraviesa un cerro macizo de 360 m de altura, sin partes de escasa cobertura de roca. La roca hallada al nivel de la rasante del túnel, cota 91,3 m, en la perforación MG93-1 de la entrada que está sobre el embalse Poza Honda, consiste en una arenisca arcillosa fina y maciza de un espesor de 3 m, con intercalación de estratos de limolitas moderadamente cementadas. El tipo de roca de la rasante del túnel a la salida es limolita. Posiblemente, la escasa capa de arenisca fina a la entrada es una pequeña porción que se acaba justo a corta distancia de esta entrada y la roca principal a lo largo de la ruta del túnel puede estar constituida por limolita.

El lecho rocoso es generalmente más débil que aquellos de las otras rutas de túneles, lo cual puede ser causado en parte por el alto grado de meteorización, más profundamente

desarrollado que en las otras rutas. Sin embargo, la roca a nivel de la rasante del túnel no está visiblemente meteorizada.

La permeabilidad, observada mediante el ensayo "in-situ" en la perforación MG93-1 en la salida, es alta con unidades Lugeón de 40 a 70. El patrón de incremento de la toma de agua (tasa de inyección de agua) frente al incremento de la presión indican que la roca ha sido fracturada o que algunas grietas se han abierto irreversiblemente debido a la presión de agua de 4 kgf/cm^2 a 6 kgf/cm^2 . En la perforación MG93-2 a la salida, la permeabilidad es menor pero todavía en el orden de las 18 unidades Lugeón. No se distinguen signos claros de deformación de la roca o fracturas a la salida debido a la presión de agua.

La perforación MG93-3 atravesó un depósito inclinado grueso y alcanzó la superficie de la roca a un nivel 10 m por debajo del nivel establecido para el túnel. La localización de esta perforación está fuera de la salida del túnel. Dicha perforación arroja información del límite de la roca para el diseño de la salida del túnel.

El módulo de deformación estática obtenido en los ensayos de laboratorio fueron de 7.730 kgf/cm^2 en la entrada y 6.100 kgf/cm^2 en la salida, excluyendo los 1.900 kgf/cm^2 de la muestra de la perforación MG93-3. Los valores de diseño para la limolita de este túnel serán 7.000 kgf/cm^2 para el módulo de deformación y 12.000 kgf/cm^2 para el módulo de elasticidad. Para la zona de roca meteorizada cerca de los portales, los valores serán reducidos a 5.000 kgf/cm^2 y 10.000 kgf/cm^2 , respectivamente.

La relación de Poisson para el diseño es 0,25.

La resistencia a la compresión uniaxial será no mayor a los 40 kgf/cm^2 .

No se ha registrado tendencia mayor al hinchamiento. Existe la posibilidad de algún resquebrajamiento, lo cual, sin embargo, podrá remediarse con hormigón lanzado y malla metálica construida inmediatamente después de la excavación del túnel.

1.5.2 Estación de Bombeo Severino y Tanque de Carga

La estación de bombeo Severino destinada a bombear el agua desde el embalse La Esperanza hasta el tanque de carga y desde aquí al canal abierto Severino, estará localizada en la cima de una fuerte pendiente en la margen derecha del río Severino, aproximadamente a 1,5 km aguas arriba del poblado Severino. El río Severino es un tributario del río Barro en el cual se está construyendo la presa La Esperanza.

La principal estructura de la estación de bombeo Severino es un pozo de bombeo enclavado en la roca en un sitio cercano a la ladera de alta pendiente. Una toma de agua será excavada a partir de la superficie de la ladera para conectarse con el pozo de bombeo.

La perforación SR93-1 indica que el pozo de bombeo estará mayormente ubicado en areniscas de variada granulometría y en limolita solamente bajo una profundidad de 45 m o cota 51 m.s.n.m. La roca es maciza o moderadamente cementada, excepto por la arenisca entre los 14 m y 22 m de profundidad la cual es porosa y friable. Si se considera que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 35 m (cota 61 m.s.n.m.), la arenisca friable, bajo condición seca, no será peligrosamente alterada o debilitada en el curso de la excavación de la obra. La sobrecarga de depósito coluvial es apenas de un espesor de 1,5 m (referirse al Apéndice 1).

El tanque de carga, de donde parte el canal abierto, estará ubicado alrededor de la cota 111 m, en la parte más alta de una ladera poco inclinada, más arriba de la estación de bombeo. De acuerdo a la perforación SR93-5, un depósito coluvial de 3,55 m de espesor, compuesto de suelo arcilloso marrón con restos de rocas, cubre la superficie del suelo. Por debajo de este depósito subyace una capa de limolita completamente meteorizada, la cual, aunque está integrada al suelo duro, tiene suficiente resistencia para soportar las estructuras del tanque de carga, con número de golpes que van desde 22 a 56 para una penetración estándar de 30 cm. Arenisca y limolita, ligeramente meteorizadas o frescas, subyacen debajo de la limolita totalmente meteorizada (referirse al Apéndice 1).

El ensayo de permeabilidad "in-situ" en la perforación SR93-5, en la arenisca fina arcillosa en el nivel inmediatamente debajo la base del tanque de carga y del canal abierto, tuvo un valor de $1,7 \times 10^{-7}$ cm/s o menos de 1 unidad Lugeón bajo una presión de $1,0 \text{ kgf/cm}^2$, en tanto que otro valor de $5,0 \times 10^{-4}$ cm/s o 40 unidades Lugeón resultó cuando la presión se incrementó hasta $4,0 \text{ kgf/cm}^2$. Se desarrollaron algunas grietas o parte de la roca se fracturó por el incremento de la presión. Para el tanque de carga la presión de agua actuante sobre el fondo no será mayor de $1,0 \text{ kgf/cm}^2$ y no ocasionará ningún grave problema de filtración. La permeabilidad de la arenisca/limolita en las zonas más profundas fue menor de acuerdo a las pruebas (referirse a la Tabla 1.5.7, Datos del Ensayo Lugeón y Apéndice 2).

La tubería que conecta la estación de bombeo al tanque de carga también podrá instalársela sobre la roca subyacente a la fina capa del suelo, la misma que posee suficiente resistencia de soporte, incluso si se encuentra intensamente meteorizada. En la calicata C-10 cercana, la capa del suelo fue de apenas 1,4 m de espesor.

1.5.3 Canal Abierto Severino (referirse a la Figura 1.5.5)

El canal abierto Severino es un canal con un ancho de aproximadamente 8 m en la parte superior y una profundidad de 3 m, trazado sobre la margen derecha del río Severino. Este conduce el agua bombeada desde el embalse La Esperanza hasta la entrada del túnel de derivación La Esperanza ~ Poza Honda en Caña Dulce. Su longitud será de aproximadamente 6.300 m con niveles que van desde la cota 111 hasta la cota 107. Conducciones cerradas mediante sifones se localizan en cinco sitios para permitir el cruce de quebradas.

La ruta del canal fue investigada con calicatas en diez sitios y sondeos mediante el ensayo de penetración estándar en 54 sitios (referirse a los Apéndices 4 y 5). Muestras de suelo/roca (alteradas) fueron tomadas de las calicatas para ensayarlas en el laboratorio para analizar el material de terraplén del canal. Los resultados se presentarán en el informe relativo a los materiales de construcción. Estas investigaciones cumplen con la intención de profundizar y confirmar las investigaciones previas del estudio de factibilidad donde se hicieron calicatas en nueve sitios y una perforación en el sitio del Sifón No. 3.

Las investigaciones revelaron que la cobertura del depósito coluvial, compuesto de partículas de varios tamaños comprendidos desde arcillas hasta detritos, no es superior a los 5 m. El lecho de rocas meteorizadas se encontró a una profundidad de 3 m en 53 de 64 sitios, donde se realizaron las calicatas o sondeos. La roca se encontró dentro de los 2 m de profundidad en el 61 por ciento de dichos sitios.

La cobertura de suelo es generalmente delgada en la ruta del canal abierto, excepto para los depósitos aluviales en el fondo de las quebradas que serán cruzadas por sifones. La perforación B2 del estudio de factibilidad encontró un depósito aluvial de 9,2 m de espesor en la quebrada del estero La Chontilla correspondiente al Sifón No. 3 (referirse a las Figuras 1.5.6 y 1.5.7).

La mayor parte del canal estará construido en la roca. No se prevé dificultad alguna en el aspecto mecánico de la fundación. Incluso se espera que el depósito coluvial tenga la suficiente resistencia para soportar la estructura del canal. La condición de la fundación con respecto a la fuga o filtración de agua puede ser diferente dependiendo del sitio ya que la roca cerca de la superficie del suelo no siempre será homogénea debido a la meteorización diferenciada y al resquebrajamiento. El fondo y paredes del canal deberán ser artificialmente cubiertos por una carpeta o por hormigón.

Existe un problema respecto al hinchamiento y características de deleznamiento de la roca y el suelo, tanto para la fundación como para los materiales de construcción.

El ensayo de laboratorio de las muestras de las calicatas mostró la tendencia al hinchamiento, clasificado como de media magnitud tal como lo muestra el índice de presión de hinchamiento superior a los $1,5 \text{ kgf/cm}^2$, correspondiente a ocho de las 27 muestras incluyendo aquellas del estudio de factibilidad. Las otras muestras indicaron una baja tendencia al hinchamiento. Incluso los valores de índice medio mostrados por seis de esas ocho muestras no sobrepasaron los $1,65 \text{ kgf/cm}^2$, criterio cercano a la tendencia de bajo hinchamiento.

El deleznamiento en la forma de deterioro rápido de la roca bajo los cambios repetidos de humedad y resecamiento solamente ocurren en la zona superficial, esto es, dentro de los 30 cm de profundidad, y no ocurre a profundidades mayores del suelo. Esta clase de resquebrajamiento puede evitarse cubriendo la superficie con tierra o hormigón para prevenir el contacto de la roca con la atmósfera.

La tendencia al deterioro por hinchamiento o deleznamiento es originada por minerales arcillosos del grupo montmorillonita (smectite) contenidos en ciertas porciones de la roca, tal como se indica en el análisis de difracción de rayos-X (referirse a la Tabla 1.5.8 y Apéndice 3).

Dichas características desfavorables de la roca y suelo requerirán de un estudio concienzudo. Mientras tanto, no es aconsejable desde el punto de vista económico aplicar medidas excesivamente conservadoras en este asunto, más allá de la necesidad de mantener la funcionalidad de este tipo de canales, especialmente cuando dichas tendencias desfavorables son de escasa magnitud o de limitada ocurrencia. En la práctica, pequeños hinchamientos o deleznamientos en la superficie de los cortes pequeños no ocasionarán serios daños al canal.

Para el material de terraplén, estas características del suelo generan similares preocupaciones, ya que cualquier material alternativo, libre de estas características, no se encuentra disponible dentro de una distancia razonable, o en la basta área de las Formaciones Onzole y Borbón. Se recomienda, por lo tanto en un principio, utilizar el material obtenido cerca de la ruta del canal para construir un terraplén de prueba, de proporciones reales, al inicio de la construcción para luego realizar los cambios necesarios en el diseño de acuerdo con las condiciones encontradas. La revisión del diseño, si la hubiere, será menor y mucho más económica y realista que proveer el material de otra fuente más distante.

1.5.4 Línea de Transmisión

La subestación Severino al final de la línea de transmisión fue investigada para la condición de la fundación, mediante la perforación SR93-2 (referirse al Apéndice 1). Se trata de un depósito coluvial o limo arcilloso con restos de roca, que cubre la superficie del

suelo, con un espesor de 2,5 m. El substrato de roca se compone de una limolita meteorizada sub-horizontalmente dispuesta de 4 m de espesor y una serie de areniscas subyacentes a la anterior. El nivel freático se encontró a una profundidad de 3,5 m.

La limolita meteorizada es compacta y tiene obviamente suficiente resistencia para soportar las estructuras y máquinas de la subestación eléctrica.

El depósito coluvial tampoco es suelo débil, aunque el valor de 23 golpes del ensayo de penetración estándar a una profundidad de un metro puede reflejar en parte efectos de los detritos. Puede tener una resistencia de soporte permisible de 4 a 6 toneladas por cada metro cuadrado, si se hace una estimación conservadora. Sin embargo, con una confiable superficie de roca a una profundidad de 2,5 m, será una buena práctica asentar la base de las estructuras importantes al nivel de la superficie de la roca meteorizada.

Las condiciones geológicas fueron investigadas para unas pocas importantes fundaciones de torre de la línea de transmisión, con calicatas en cinco sitios y sondeos en cuatro sitios. Los sitios de torres en esta región de colinas se localizan en lugares altos, al tope de las colinas o cerros. Los suelos de aquellos sitios son algo compactos y fuertes. La roca se encuentra dentro de una profundidad de 3 m, excepto en un sitio, C-24, sobre una colina baja entre el río Daule y el río Tachel (referirse a las Figuras 1.3.6, Apéndices 4 y 5).

Las condiciones geológicas son prácticamente las mismas que aquellas de la subestación Severino. La fundación de la torre se localizará sobre la roca, la cual meteorizada o no, es suficientemente fuerte; de otro modo se localizará sobre el suelo fuerte. No se encontrará ningún suelo blando tal que requiera pilotes de fundación. No se prevé ningún problema de fundación para los sitios de torre de la línea de transmisión.

1.6 Sismicidad

Con la placa de subducción avanzando desde el Océano Pacífico, la cual se encuentra localizada a 150 km de distancia de la costa, el área del Proyecto cae dentro de una parte de la zona de alta sismicidad del anillo del Pacífico. Sin embargo, se deberán considerar las siguientes condiciones para determinar un valor apropiado de diseño de sismicidad o factor sísmico de diseño:

- (1) No se han detectado fallas mayores en el área de las Formaciones Onzole/Borbón del Mioceno. Esto puede indicar que esta área de la región de la Costa se encuentra en una parte relativamente estable en el cinturón tectónico de los Andes. La falta de mayores fallas conducirán, al menos, a descartar posibilidad de fallas activas o terremotos con epicentros a poca profundidad.

(2) El proyecto no incorpora grandes estructuras, como presas, que pueden causar daños sobre la población al destruirse.

(3) El efecto sísmico es mucho menor sobre las estructuras subterráneas, como son los túneles, que sobre las estructuras localizadas sobre la superficie.

Para el diseño de las estructuras de superficie, tal como terraplén, será conveniente y altamente económico asumir como valor de la aceleración sísmica el valor mayor del rango normalmente utilizado en las zonas de alta sismicidad, es decir, 0,15 g.

1.7 Conclusión

Los túneles serán excavados a través de la roca blanda compuesta principalmente de areniscas y limolitas de la Formación Onzole del Mioceno, las mismas que se estratifican en forma subhorizontal y se hallan poco alteradas tectónicamente. Las medidas de protección efectivas recomendadas para estos túneles serían; hormigón lanzado con malla metálica aplicados inmediatamente después de la excavación y pernos de anclaje. Pero también serán necesarios los soportes de acero para proteger la obra en los sitios en donde el túnel atraviesa zonas de rocas altamente meteorizadas o deterioradas, cerca de los portales y en los cruces por debajo de la delgada cobertura de rocas de las quebradas profundas. El revestimiento de hormigón es estimado indispensable para este tipo de rocas blandas, que son vulnerables a la erosión, como un acabado final y permanente de la obra.

La construcción de túneles a través de rocas blandas no es sencillo y requiere de un tratamiento cuidadoso, por ejemplo; la perforación de drenes alrededor de la periferia o hacia el frente de avance del túnel. No obstante, si hubiere problemas, éstos pueden solucionarse tomando las contramedidas normales que se usan en las obras de túnel. No se ha previsto algún problema serio en la construcción de los túneles.

La tendencia al hinchamiento y deleznamiento del suelo y de algunos lechos rocosos se debe a la presencia de minerales arcillosos del grupo montmorillonita, que se hallan dentro de la roca. Por lo tanto, esta característica prevalece en todos los materiales geotécnicos en la vasta área que cubren las Formaciones Onzole y Borbón. Tal parece que no resulta práctico ni económico el reemplazo de estos materiales por otros de mejor calidad, a menos que sea absolutamente necesario por la seguridad de alguna infraestructura importante.

Afortunadamente, la tendencia al hinchamiento es generalmente baja, y se encuentra en pocas muestras de roca. El deleznamiento puede prevenirse evitando que la roca esté expuesta al contacto directo con la atmósfera. Estas tendencias pueden tratarse mediante la

aplicación de hormigón lanzado y la aplicación del hormigón como revestimiento del túnel. Ellas no incidirán peligrosamente en los pequeños cortes en el canal abierto Severino.

La estación de bombeo Severino estará en su mayor parte alojada en medio de una arenisca maciza y gruesa. Un substrato de arenisca friable se mantendrá igualmente compacto debido al bajo nivel freático en el sitio, cercano a la ladera de fuerte pendiente.

Para las fundaciones del tanque de carga, del canal abierto, de la subestación eléctrica Severino y de la línea de transmisión, el substrato de la roca, aún cuando meteorizado, será alcanzado a una profundidad de 3 m en la mayoría de los casos, y no presentará problemas de resistencia para la fundación. Para la base del canal abierto, que tiene una fundación irregular de roca meteorizada, se dispondrá de un revestimiento artificial para evitar filtraciones.

1. The first part of the document is a letter from the author to the editor of the journal. The letter discusses the author's motivation for writing the paper and the importance of the research.

2. The second part of the document is the abstract of the paper. It provides a concise summary of the research objectives, methods, results, and conclusions.

3. The third part of the document is the introduction. It sets the context for the research, reviews the relevant literature, and states the research questions and hypotheses.

4. The fourth part of the document is the methodology. It describes the research design, data collection methods, and the statistical analysis used to test the hypotheses.

5. The fifth part of the document is the results. It presents the findings of the study, including the statistical significance of the results and the interpretation of the data.

6. The sixth part of the document is the discussion. It discusses the implications of the findings, compares the results with the existing literature, and identifies the limitations of the study.

7. The seventh part of the document is the conclusion. It summarizes the main findings of the study and provides recommendations for future research.

8. The eighth part of the document is the references. It lists the sources of information used in the paper, including books, journal articles, and other relevant literature.

9. The ninth part of the document is the appendix. It contains supplementary material that supports the main text, such as additional data, tables, or figures.

10. The tenth part of the document is the acknowledgments. It expresses gratitude to the individuals and organizations that provided support and assistance during the research process.

11. The eleventh part of the document is the author's biography. It provides a brief overview of the author's academic and professional background.

12. The twelfth part of the document is the index. It lists the page numbers for each section of the paper, making it easier for readers to find specific information.

13. The thirteenth part of the document is the table of contents. It provides a detailed overview of the paper's structure and the page numbers for each section.

14. The fourteenth part of the document is the cover page. It includes the title of the paper, the author's name, and the journal's name and volume information.

Capítulo 2 INVESTIGACIÓN SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

2.1 Objetivo de la Investigación sobre Materiales de Construcción

La investigación sobre los materiales de construcción se llevó a cabo para evaluar la calidad, cantidad y disponibilidad de los materiales a ser usados en la construcción del Proyecto e incluye los siguientes parámetros:

(1) Investigación de agregados del hormigón

Considerando las condiciones del sitio y al no existir en los alrededores hormigón pre-mezclado, se tendrá que conseguir los materiales para la construcción del Proyecto. Fuentes probables de material de arena/grava para agregados del hormigón fueron investigadas y se enviaron muestras al laboratorio del Contratista en Quito para los respectivos ensayos.

(2) Ensayos de mezclas para el hormigón

Con el fin de encontrar y confirmar la calidad del hormigón al usar los materiales ante mencionados, se llevaron a cabo ensayos de mezclas para el hormigón en el laboratorio, en Quito.

(3) Ensayos de suelos

Tal como se recomendó en el documento final del Estudio de Factibilidad del Proyecto, preparado en Diciembre de 1992, pruebas adicionales de suelos tuvieron que realizarse. Las muestras fueron tomadas de las calicatas y enviadas al laboratorio para confirmar las características básicas del suelo a utilizarse como material de terraplén del canal abierto Severino.

2.2 Periodo de la Investigación

(1) Agregados del Hormigón : 16 de Noviembre de 1993 - 31 de Enero de 1994

(2) Ensayo de Mezclas para el hormigón : 3 de Enero de 1994 - 31 de Enero de 1994

(3) Ensayo de suelos : 16 de Noviembre de 1993 - 31 de Enero de 1994

2.3 Investigación de los Agregados de Hormigón

(1) Objeto de la investigación

La investigación sobre agregados del hormigón de arena y grava se llevó a cabo para evaluar los siguientes aspectos:

- (a) Fuentes potenciales de arena y grava para agregados del hormigón
- (b) Cantidad disponible del material en cada fuente
- (c) Calidad de la arena y grava obtenida en cada fuente del material
- (d) Distancia de transporte y condición de la carretera desde la cantera y zonas de préstamo hasta el sitio de trabajo.

(2) Localización de fuentes potenciales de material

La investigación se efectuó con el objeto de identificar las fuentes posibles de material de agregados fino y grueso a ser usados en las estructuras de hormigón, carreteras de acceso, etc.

Las fuentes probables de arena y grava se muestran en la Figura 2.3.1.

a) Canteras de arena/sitios de préstamo se localizan en:

- Río San Pablo, Quevedo : 170 km al Este de Portoviejo
- Cantera Basáltica Picoazá : 16 km al Oeste de Portoviejo
- San Jacinto : 54 km Nor-Oeste de Portoviejo

b) Depósitos aluviales/canteras de grava están localizados en:

- Río San Pablo, Quevedo : 170 km al Este de Portoviejo
- Canteras alrededor del Area de Picoazá :
 - Cantera Basáltica Picoazá : 16 km Oeste de Portoviejo.
 - San Carlos/Río de Oro : 14 km Oeste de Portoviejo.
 - Carlos Poggi : 15 km Oeste de Portoviejo.

(3) Cantidad requerida de agregado

De acuerdo al diseño, se ha estimado un volumen total de hormigón para las estructuras de hormigón y hormigón lanzado de aproximadamente 230.000 m³. Entonces, las cantidades estimadas de agregado del hormigón serían:

- Agregado fino: 230.000 m³ x 0,4 m³/m³ de hormigón = 92.000 m³
- Agregado grueso: 230.000 m³ x 0,75 m³/m³ de hormigón = 172.500 m³

(4) Tipos y cantidad de ensayos

Los tipos requeridos de muestras/ensayos de laboratorio para los agregados del hormigón se resumen a continuación:

Cantidad de muestras y ensayos de laboratorio
de agregados del hormigón - fino y grueso

Tipo de Agregado y localización de la Cantera Nombre de la prueba	Agregado Fino		San Jacinto	Agregado Grueso	
	Quevedo ** M.O.P.	Picoazá *** C.B.P		Picoazá S. Carlos	*Quevedo M.O.P.
I. Muestreo					
(1) Pruebas físicas	1	1	1	3	-
(2) Mezclas del hormigón	1	1	1	3	-
II. Pruebas físicas					
(1) Granulometría	1	1	1	3	-
(2) Gravedad específica y absorción de agua (fino)	1	1	1	-	-
(3) Gravedad específica y absorción de agua (grueso)	-	-	-	3	-
(4) Impureza orgánica (fino)	1	1	1	-	-
(5) Resistencia al desgaste con sulfato de sodio	-	-	-	3	-
(6) Abrasión Los Angeles	-	-	-	6	-
(7) Reactividad al alkali	1	1	1	1	-

NOTA: * no cumple las especificaciones de tamaño de agregado grueso

** M.O.P.: Ministerio de Obras Públicas

*** C.B.P.: Cantera Basáltica Picoazá

(5) Muestreo

Se recogieron muestras de arena en el río San Pablo en Quevedo (depósito fluvial), Cantera Basáltica Picoazá (arena procesada con molino de barras), y San Jacinto (arena de

playa). Por otro lado, la muestra de grava se la obtuvo de la cantera San Carlos, Picoazá. La grava de Quevedo no fue utilizada debido a que no cumplía con las especificaciones de tamaño. La ubicación de estas áreas de préstamo/canteras se indica en la Figura 2.3.1.

En el Estudio de Factibilidad se consideraron dos fuentes alternas de materiales de roca y arena como agregados para hormigón:

- (i) Utilizar la cantera existente en Picoazá. El tipo de roca es basáltico, la calidad es buena y la cantidad es suficiente y la distancia es de 14 km desde Portoviejo.
- (ii) Utilizar los depósitos aluviales de Quevedo. El tipo de material es arena y grava de origen andesítico, de buena calidad, cantidad suficiente y está a una distancia de 160 km de Portoviejo.

Se procedió a evaluar la calidad y cantidad del material de agregado, grava y arena, de dichas fuentes de préstamo/canteras. Como resultado de las investigaciones, se ha concluido que los materiales de Picoazá cumplen de mejor manera los requerimientos.

(6) Agregado fino

Basado en la descripción del Informe de Investigación de Materiales del Estudio de Factibilidad realizado en 1992, se efectuó una investigación de reconocimiento y de disponibilidad del material en el área del proyecto.

(A) Fuentes de materiales de agregado fino

Se consideraron los siguientes sitios como posibles fuentes de material de agregado fino (tamaño de grano inferior a los 5 mm):

(a) Quevedo, río San Pablo

Los materiales potencialmente aprovechables son depósitos de arena del río San Pablo, que se encuentran en las cercanías de la ciudad de Quevedo y cubren un área de más de 100 ha, lo cual cubre las necesidades requeridas de agregado fino para el Proyecto. La concesión de esta explotación le pertenece al MOP. La arena es de naturaleza andesítica. La localización del área de préstamo se muestra en la Figura 2.3.1. La distancia de acarreo del material es de 170 km desde Portoviejo, tal como se muestra en la Figura 2.3.1.

(b) Picoazá, Cantera Basáltica Picoazá

La arena se procesa en este sitio a través de un molino de barras con una capacidad de 30 ton/h. El proceso consiste en alimentar el molino con agregados de grano medio provenientes de un molino secundario, luego se los muele nuevamente, se tamizan y se lavan usando para el efecto un clasificador espiral del tipo húmedo que controla la calidad del grano o el módulo de "finura" de la arena. El tipo de arena es basáltico. En la actualidad, casi toda la arena producida en este lugar va hacia la presa La Esperanza para ser usada como agregado fino para las estructuras en hormigón. Ya que toda el área de esta cantera abarca más de 200 ha, la cantidad total de agregado fino requerido se puede producir en este sitio. La localización de esta cantera se muestra en las Figuras 2.3.1 y 2.3.2. La distancia de acarreo del material es de 16 km desde Portoviejo.

(c) Arena San Jacinto

Considerando la calidad del hormigón, el usar arena de mar es perjudicial para el hormigón debido al contenido de sal. Sin embargo, se consume, en el área de Portoviejo y sus alrededores, arena de las playas de San Jacinto, Crucita y San Clemente. Se colectaron muestras de estos sitios por considerárselos fuentes potenciales de material. Como se constató la existencia de arena sobre una extensión de más de 10 km a lo largo de la playa, se considera esto como suficiente cantidad de material de agregado fino disponible. El sitio de préstamo se indica en la Figura 2.3.1. La distancia para su transporte, desde Portoviejo, es de 54 km.

(B) Cantidad muestreada de agregado fino

- | | | |
|-------------------|---|--------|
| (i) Quevedo | : | 100 kg |
| (ii) Picoazá | : | 100 kg |
| (iii) San Jacinto | : | 100 kg |

(C) Resultados de las pruebas de laboratorio para la arena

En orden a llevar a cabo análisis físicos de la arena para encontrar una fuente posible de material, se tomaron muestras de los sitios ya mencionados para ser llevadas al laboratorio en Quito. Los resultados de las pruebas de laboratorio se mencionan a continuación y se muestran en la Figura 2.3.3.

(a) Granulometría de la arena mediante (ASTM C-136)

Tamaño del tamiz		Porcentaje retenido (individual)		
mm	No.	Quevedo	Picoazá	San Jacinto
10	3/8"	0,00	0,00	0,00
5	# 4	0,38	0,28	0,00
2,5	# 8	1,28	12,27	0,00
1,2	# 16	3,85	34,19	0,00
0,6	# 30	10,90	49,42	0,00
0,3	# 50	57,69	72,42	7,71
0,15	#100	91,67	96,07	92,78
F.M.*		1,66	2,65	1,00

*: Módulo de Finura

Los resultados del análisis indican que las muestras de Quevedo y de San Jacinto son muy finas para ser usadas como agregado fino tomando en cuenta la norma de gradación para el agregado fino que se indica a continuación:

Norma para la Gradación del Agregado Fino

Designación de Agregado Fino (mm)	No.	Porcentaje en Peso Pasa Tamiz (%)
10	3/8"	100
5	# 4	95 - 100
2,5	# 8	80 - 100
1,2	# 16	50 - 90
0,6	# 30	25 - 65
0,3	# 50	10 - 35
0,15	#100	2 - 10

(b) Gravedad específica y absorción de agua (ASTM C-128)

Fuentes de Material

Prueba	Quevedo	Picoazá	San Jacinto
- Gravedad específica	2,732	2,560	2,110
	2,752	2,552	2,206
- Absorción (%)	2,25	3,80	1,16
	2,19	3,59	1,26

La gravedad específica de las arenas de la tabla anterior, con la excepción de la arena San Jacinto, sobrepasa el valor de 2,5, lo cual cumple con las especificaciones.

En cuanto a la prueba de absorción de agua, se observa un rango de variación que va de 1,16% a 3,80%. La absorción de la arena Picoazá es ligeramente mayor que lo requerido (menor a 3,5) en la norma japonesa (JIS); sin embargo, el uso de ella no merma la calidad del hormigón.

(c) Impurezas orgánicas de la arena (ASTM C-40)

Fuentes de Material

Parámetro de la prueba	Quevedo	Picoazá	San Jacinto
Indicación de color	amarillo oscuro	transparente	transparente

Los criterios de coloración son los siguientes:

Color	Porcentaje de disminución de la resistencia del hormigón	Evaluación
Transparente	0	Buena
Amarillo oscuro	10 - 20	Utilizable
Amarillo rojizo	15 - 30	Limitada
Marrón ligeramente rojizo	25 - 50	No utilizable
Marrón fuertemente rojizo	50 -100	No utilizable

Fuente: Materiales de Construcción Civil, M. Kokubu, Universidad de Tokyo

Los resultados de la prueba muestran que la arena Quevedo contiene gran cantidad de impureza orgánica lo cual afectará la calidad del hormigón.

(d) Prueba de reactividad al Alkali (ASTM C-289)

Se probó la reactividad potencial de los agregados con el alkali del cemento portland del hormigón mediante el uso del método químico y los resultados se muestran en la tabla de abajo y en la Figura 2.3.4, mostrando un índice no perjudicial.

Sítio de Cantera	Cantidad Sc de reducción de alcalinidad (milimoles/litro)	Cantidad Rc de Sílice disuelto (milimoles/litro)
Quevedo	33,30	354,28
	34,63	338,65
	34,96	270,92

Sitio de Cantera	Cantidad Sc de reducción de alcalinidad (milimoles/litro)	Cantidad Rc de Sílice disuelto (milimoles/litro)
Basáltica	51,62	161,51
	67,93	119,83
	59,27	265,71
San Jacinto	17,98	505,37
	18,65	406,38
	22,64	343,86

(7) Agregado grueso

(A) Fuentes de agregado grueso

De acuerdo al Informe Final del Estudio de Factibilidad, los sitios posibles de agregados se hallan en:

- La actual cantera de Picoazá. El tipo de roca es basáltica, de buena calidad, de cantidad suficiente y se halla a una distancia de 14 km de Portoviejo.
- El uso del depósito del río en Quevedo. El tipo de roca es andesita, de buena calidad, cantidad suficiente y localizada a 160 km de Portoviejo.

Al mismo tiempo de realizar el reconocimiento de campo y muestreo para el agregado fino, se realizó el reconocimiento y disponibilidad del agregado grueso. En el sitio San Pablo, en Quevedo, se hallan los depósitos rocosos de origen andesítico, y el MOP tiene una planta procesadora mediante molino/tamiz en operación, sin embargo, ya que sólo se procesa agregados de pequeño tamaño (máximo: 13 mm) destinado para el pavimento con asfalto, fue innecesario realizar el muestreo.

En Picoazá existen cuatro canteras pertenecientes a tres empresas que procesan agregados. La roca es del tipo basáltica. El volumen de producción (más de 150 ton/h) y el área de explotación (más de 100 ha) son considerados como suficientes para abastecer de agregados al Proyecto. Las distancias de acarreo del material hasta Portoviejo oscilan entre los 14 y 16 km.

Como resultado de la investigación en el sitio, se tomaron muestras de la cantera "San Carlos/Río de Oro" para llevarlas al laboratorio en Quito y efectuar los ensayos de agregados y mezclas para el hormigón igualmente.

Las cantidades tomadas de agregado grueso fueron:

- G1: 5 - 15 mm (1/2") :200 kg
- G2: 15 - 20 mm (3/4") :200 kg
- G3: 20 - 40 mm (1 1/2") :150 kg

(B) Ensayo de laboratorio para el agregado grueso

El material apropiado para el hormigón debe estar compuesto de partículas esencialmente limpias, libre de recubrimientos y de buena forma, de material fuerte y durable. Los respectivos ensayos de laboratorios se llevaron a cabo arrojando los resultados que se mencionan a continuación:

(a) Granulometría (ASTM C-136)

Se efectuaron pruebas de tamizado con los resultados que se dan a continuación y en la Figura 2.3.5:

<u>Tamaño de Tamiz</u>		<u>Porcentaje retenido (individual)</u>		
mm	No	G1(5 - 15 mm)	G2(25 - 15 mm)	G3(40 - 25 mm)
50	2"	0,00	0,00	0,00
40	1 1/2"	0,00	0,00	0,00
25	1"	0,00	1,41	59,98
20	3/4"	1,55	57,20	93,67
15	1/2"	42,79	96,79	96,88
10	3/8"	67,40	98,24	97,60
5	# 4	94,24	98,98	98,85
* F.M.		2,06	3,53	4,47

Nota: * Módulo de Finura

La norma para la gradación del agregado grueso es la siguiente:

<u>Tamaño de Tamiz</u>		<u>Porcentaje en peso pasa tamiz individual (%)</u>		
mm	No	G1(5-15 mm)	G2(25-15 mm)	G3(40-25 mm)
50	2"	100	-	-
40	1 1/2"	95-100	-	-
30	-	-	100	-
25	1"	-	95-100	100
20	3/4"	35-70	-	90-100

Tamaño de Tamiz		Porcentaje en peso pasa tamiz individual (%)		
mm	No	G1(5-15 mm)	G2(25-15 mm)	G3(40-25 mm)
15	1/2"	-	30-70	-
10	3/8"	10-30	-	20-55
5	# 4	0-5	0-10	0-10
2,5	# 8	-	0-5	0-5

(b) Gravedad específica y Absorción de agua (ASTM C-127)

Las pruebas para determinar la gravedad específica y la absorción de agua se realizaron en calidad de prueba de rutina, debido principalmente a su importancia en el diseño de las mezclas. Los agregados con valores más altos de gravedad específica son considerados más satisfactorios con relación a la solidez y a la resistencia.

Valores de absorción mayores al 3,5% indica baja calidad, pero esto no significa necesariamente el tener que rechazar los agregados.

Gravedad Específica

Muestra	G1	G2	G3
No. 1	2,81	2,79	2,71
No. 2	2,74	2,74	2,88

* Gravedad específica requerida: mayor a 2,5

Los resultados arrojan valores para todas las muestras de más de 2,5 lo cual es aceptable.

Fuente: * Concrete manual, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation

Absorción de Agua (%)

Muestra	G1	G2	G3
No. 1	4,71	3,52	2,77
No. 2	4,49	3,41	3,04

* Valor requerido de Absorción de Agua: menor a 3,5%

Los resultados de absorción de agua son ligeramente mayores que lo requerido. Sin embargo, se considera que esto no afecta mayormente la calidad del hormigón.

Fuente: * Concrete manual, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation

(c) Resistencia al desgaste con Sulfato de Sodio (ASTM C-88)

La prueba de resistencia al desgaste con sulfato de sodio provee un indicio de la debilidad estructural presente en un agregado. Se consideran aceptables aquellos agregados cuya pérdida de peso de grava sea menor al 10 por ciento después de los 5 años.

Desgaste (%)

G1	G2	G3
5,59	6,29	5,59

* Valor de diseño: menor al 10%

Los resultados dan valores satisfactorios

Fuente: * Concrete manual, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation

(d) Abrasión Los Angeles (ASTM C-131)

El ensayo de abrasión Los Angeles da información valiosa de la dureza y tenacidad de un agregado. La norma dice que un agregado grueso no debería perder más del 10% y 40% del peso, después de 100 y 500 revoluciones, respectivamente.

Abrasión Los Angeles (%)

Muestra	G1	G2	G3
No. 1	17,00	16,40	16,10
No. 2	17,80	17,00	16,70

* Valor de diseño: menor al 40%

Los resultados dan valores satisfactorios.

Fuente: * Concrete manual, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation

(e) Reactividad al Alkali (ASTM C-289)

La reactividad potencial de los agregados gruesos con los alkalis del cemento Portland de los hormigones, fue probada con el método químico.

Los resultados se indican a continuación:

Muestras	Cantidad Sc de reducción de alkalinidad (milimoles/litro)	Cantidad Rc de Sílice disuelto (milimoles/litro)
G1	65,31	138,41
	59,42	145,72
	60,21	156,21
G2	68,30	122,31
	67,41	131,24
	52,21	145,36
G3	51,72	139,58
	59,43	148,34
	63,24	157,25

Los resultados indican que todas las muestras son inocuas a una potencial reactividad al alkali, tal como se indica en la Figura 2.3.4.

2.4 Ensayos de Mezclas para el Hormigón

(1) Generalidades

Los ensayos de mezclas para el hormigón se llevaron a cabo para estimar la dosificación adecuada de agua, agregado y aditivo de acuerdo a las condiciones especificadas de diseño del tamaño máximo de agregado grueso, resistencia a la compresión y asentamiento, etc.

(2) Condiciones para el ensayo de mezclas

Las condiciones de diseño, tentativamente determinadas, son las siguientes:

Tipo de hormigón	Tamaño máximo del agregado (mm)	Resistencia a la compresión de diseño σ_{28} (kg/cm ²)	Asentamiento (cm)
A - 1	25	300	10 - 14
A - 2	25	210	10 - 14
B - 1	40	300	8 - 12
B - 2	40	240	8 - 12
B - 3	40	210	8 - 12
B - 4	40	170	8 - 12

(3) **Materiales de mezcla**

Los siguientes materiales se utilizaron para las pruebas:

- (a) Agua : Agua limpia
- (b) Cemento : Cemento Portland, tipo 1E (Cemento Rocafuerte)
- (c) Agregado fino :
 - Cantera Quevedo; arena de río
 - Cantera Picoazá; arena molida
 - San Jacinto; arena de mar
- (d) Agregado grueso : San Carlos; ripio de cantera
- (e) Reductor de agua y agentes AE : Airbeton, Resin Vinso 1
(Incorporador de aire)

(4) **Ensayo de mezclas del hormigón**

La dosificación de la mezcla para el hormigón se determinó, basado en la Tabla "Dosificación Básica para el Ensayo de las Mezclas del Hormigón" de las Especificaciones Técnicas, mediante el ajuste de la mezcla de acuerdo al procedimiento mencionado en la norma ACI 318-83.

(A) **Resistencia de la mezcla y relación agua - cemento**

La resistencia de la mezcla fue la misma que la resistencia a la compresión de diseño.

Básicamente, la resistencia a la compresión del hormigón depende de la relación agua-cemento, y la misma a los 28 días viene dada por la siguiente fórmula:

$$\sigma_{28} = -113 + 214 C/W \text{ (Instituto Técnico Japonés del Cemento)}$$

donde, σ_{28} : resistencia a la compresión del hormigón curado a los 28 días (kgf/cm^2)

C : Peso de cemento (kg)

W : Peso de agua (kg)

Resistencia de la Mezcla y Relación Agua-Cemento

Tipo de hormigón	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Resistencia de la mezcla σ_{28} (kg/cm ²)	Relación Agua-Cemento W/C (%)
A - 1	300	300	52
A - 2	210	210	66
B - 1	300	300	52
B - 2	240	240	61
B - 3	210	210	66
B - 4	170	170	76

(B) Dosificación para los ensayos de mezclas para hormigón

Basándose en valores aproximados de volúmenes de agregado para el hormigón, en la relación entre agregados gruesos y arenas y en la relación agua-cemento, se determinaron las dosificaciones para el hormigón, tal como sigue:

Dosificación Básica para los Ensayos de Mezclas del Hormigón

Tipo de hormigón	Tamaño máximo de agregado grueso (mm)	Asentamiento (cm)	Contenido de aire (%)	W/C (%)	S/A (%)
A - 1	25	10 - 14	5,0	52	37
A - 2	25	10 - 14	5,0	66	40
B - 1	40	8 - 12	4,5	52	33
B - 2	40	8 - 12	4,5	61	35
B - 3	40	8 - 12	4,5	66	36
B - 4	40	8 - 12	4,5	76	38

Peso (kg)

Agua	Cemento	Arena	Agregado		
			G1 5 - 15 mm	G2 15 - 25 mm	G3 25 - 40 mm
147	283	699	584	584	-
165	250	748	550	551	-
147	283	628	417	417	417
150	246	674	409	410	410
151	229	697	405	405	406
155	204	740	395	395	395

(C) Prueba de asentamiento

La prueba de asentamiento para las mezclas antes mencionadas se hicieron de acuerdo con las normas ASTM C-143.

Los ajustes de las proporciones de las mezclas se hicieron de acuerdo con la siguiente table (Fuente: Manual de Concrete, U.S. Bureau of Reclamation).

Rubro	Corrección de S/A %	Corrección de W (kg)
Por cada 0,1 de incremento o (disminución) en el MF	Aumento (disminución) de 0,5 por ciento	No Corrección
Por cada 1 cm de incremento o (disminución) en asentamiento	No corrección	Aumento (disminución) en 1,2 %
Por cada 1 por ciento de incremento o (disminución) en el contenido de aire	Disminución (incremento) de 0,5 - 1,0 por ciento	Disminución (Aumento) en 3%
Por cada 0,05 de aumento o (disminución) de la relación agua - cemento	Aumento (disminución) de 1,0 por ciento	No corrección
Por cada 1 por ciento de incremento o (disminución) de S/A	-	Aumento (disminución) de 1,5 kg.
Cuando se use arena triturada	Aumento de 3 a 5 por ciento	Aumento de 6 a 9 kg.

El valor de volumen unitario de agregado grueso se disminuirá o aumentará en 1 por ciento por cada 0,1 or aumento o disminución del Modulo de Finura (MF) de la arena.

(D) Preparación de las probetas para el ensayo de resistencia a la compresión

Se moldearon seis probetas, para tres pruebas diferentes, de cada tipo de hormigón (A-1, A-2, B-1, B-2, B-3, B-4). Consecuentemente, resultaron 108 probetas que se prepararon y fraguaron de acuerdo a la norma ASTM C-192. El cilindro de moldeo fue de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

(E) Ensayo de resistencia a la compresión

Después de curar los cilindros por 7 y 28 días, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, de acuerdo a la norma ASTM C-39 en el laboratorio del Contratista en Quito.

La máquina de ensayo es una máquina hidráulica de compresión (Controles - Milán, Italia) de una capacidad de 3.000 KN.

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cada tipo de hormigón se muestran en las Figuras 2.4.1 a 2.4.6.

Muestras ensayadas:

Prueba-1: 18 cilindros usando arena "Quevedo" para r7
18 cilindros usando arena "Quevedo" para r28

Prueba-2: 18 cilindros usando arena "Picoazá" para r7
18 cilindros usando arena "Picoazá" para r28

Prueba-3: 18 cilindros usando arena "San Jacinto" para r7
18 cilindros usando arena "San Jacinto" para r28

Los resultados del ensayo para las probetas curadas a los 28 días se muestran a continuación:

(a) Prueba-1: Resistencia a los 28 días utilizando la arena "Quevedo"

Prueba-1	No. 1	No. 2	No. 3	Resistencia promedio	Resistencia esperada de la mezcla
Tipo de Hormigón	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
A-1	245	168	163	192	300
A-2	110	104	109	108	210
B-1	201	204	148	184	300
B-2	145	145	144	145	240
B-3	136	126	134	132	210
B-4	76	83	87	82	170

Nota: * M.F. de la arena = 1,66

(b) Prueba-2: Resistencia a los 28 días utilizando la arena "Picoazá"

Prueba-1	No. 1	No. 2	No. 3	Resistencia promedio	Resistencia esperada de la mezcla
Tipo de Hormigón	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
A-1	168	154	167	163,0	300
A-2	134	138	145	139,0	210
B-1	226	196	214	212,0	300
B-2	143	143	144	143,3	240
B-3	124	123	128	125,0	210
B-4	86	78	85	83,0	170

Nota: * M.F. de la arena = 2,65

(c) Prueba-3: Resistencia a los 28 días utilizando la arena "San Jacinto"

Prueba-1	No. 1	No. 2	No. 3	Resistencia promedio	Resistencia esperada de la mezcla
Tipo de Hormigón	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
A-1	190	192	192	191	300
A-2	109	107	107	108	210
B-1	194	190	179	188	300
B-2	124	136	129	130	240
B-3	95	94	91	94	210
B-4	61	94	94	62	170

Nota: * M.F. de la arena = 1,00

2.5 Ensayos de Suelos

(1) Generalidades

Los resultados de los ensayos de suelos, hechos e incorporados en el Informe Final del Estudio de Factibilidad de Diciembre de 1992, muestran que los tipos de rocas en el área del canal abierto son rocas arcillo/limosas meteorizadas. Concluyéndose que estos limos y arcillas a lo largo del canal abierto muestran una condición de hinchamiento crítico lo cual afectaría el revestimiento del hormigón; y como material de terraplén, este tipo de suelo no es recomendable debido a que se ha anticipado un encogimiento peligroso del mismo. El informe recomendó la realización de mayores investigaciones detalladas de suelos en la etapa de diseño detallado del Proyecto.

Las investigaciones de suelos se desarrollaron consecuentemente basado en la recomendación mencionada, obteniéndose para ello muestras del suelo a ser utilizado en el terraplén del canal abierto Severino de calicatas. Las muestras se llevaron a Quito para ser analizadas en el laboratorio.

(2) Localización de las calicatas y muestreo

Se excavaron calicatas a lo largo de la ruta del canal abierto con miras a investigar los materiales a ser usados como terraplén. Así como también se excavaron calicatas a lo largo de la ruta de la línea de transmisión, para ser ensayadas y obtener parámetros para el diseño de la fundación de las torres.

La localización de las calicatas se muestran en la Figura 2.4.7 y Figura 2.4.8. Se hicieron 10 calicatas para el canal abierto Severino y 5 para la línea de transmisión.

A lo largo de la ruta del canal abierto Severino, se tomaron 20 muestras alteradas, 2 por cada calicata, la una a la profundidad de 0 a 2 m y la otra a la profundidad de 2 a 5 m.

(3) Ensayo de laboratorio

Se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio en las muestras tomadas de las calicatas para obtener las características del suelo.

- Contenido de humedad natural	:	20 pruebas ASTM D-2216
- Gravedad específica	:	20 pruebas ASTM D-854
- Peso unitario	:	10 pruebas ASTM C-29
- Limite Atterberg	:	20 pruebas ASTM D-423 y D-424
- Granulometría	:	20 pruebas ASTM D-422
- Compresión uniaxial	:	10 pruebas ASTM D-2166
- Compresión triaxial (uu)	:	10 pruebas ASTM D-2850
- Consolidación	:	10 pruebas ASTM D-2435
- Compactación Proctor	:	15 pruebas ASTM D-698
- Hinchamiento	:	20 pruebas ASTM D-4546
- Encogimiento	:	20 pruebas ASTM D-427
- Ensayo Pin-hole	:	20 pruebas ASTM D-4647

(4) Resultado de los ensayos

Los resultados se resumen en la Tabla 2.4.1

(A) Contenido de humedad natural

Se efectuaron de acuerdo a la norma ASTM D-2216. Los resultados se muestran en la Tabla 2.4.2.

(B) Gravedad específica

Los ensayos se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D-854.

Los resultados de los ensayos A y B se muestran en la Tabla 2.4.2

(C) Peso unitario

Se efectuó el ensayo atendiendo a la norma ASTM C-29, y los resultados se muestran en la Tabla 2.4.3.

(D) Granulometría

Para determinar una valoración cuantitativa de la distribución granulométrica de las partículas del suelo se llevó a efecto este ensayo de acuerdo a la norma ASTM D-422.

Los resultados del ensayo se indican en el Apéndice 10.

(E) Límites Atterberg

Los ensayos se efectuaron de acuerdo a la norma ASTM D-423 y ASTM D-424, para obtener los límites de consistencia del suelo, tales como: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Los resultados se muestran en la Tabla 2.4.4.

(F) Compresión uniaxial (ensayo de compresión no confinada)

Se efectuó el ensayo de acuerdo a la norma ASTM D-2166 para obtener la resistencia a la compresión no confinada. Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 2.4.5 y los datos del mismo, en el Apéndice 6.

(G) Compresión triaxial

El ensayo se desarrolló en correspondencia a la norma ASTM D-2850 adoptando la prueba no consolidada-no drenada (ensayo UU).

Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 2.4.5 y los datos del mismo en el Apéndice 7.

(H) Consolidación

Los ensayos de consolidación se efectuaron de acuerdo a la norma ASTM D-2435, "Consolidación Unidimensional de los Suelos", a fin de determinar la tasa y el grado de consolidación del suelo que ha sido restringido lateralmente y cargado y drenado axialmente.

Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 2.4.6 y los datos en el Apéndice 8.

(I) Compactación Proctor

Se hicieron los ensayos de compactación Proctor de acuerdo a la norma ASTM D-698, "Relaciones humedad-densidad de suelos y mezcla de suelo-agregados, utilizando un apisonador de 5,5 lb (2,49 kg) y caída de 12" (305 mm), con el fin de obtener la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos.

Los resultados de los ensayos se dan en la Tabla 2.4.7 y los datos en el Apéndice 9.

(J) Hinchamiento

Los ensayos de hinchamiento se efectuaron de acuerdo a la norma ASTM D-4546, "hinchamiento o asentamiento uni-dimensional de suelos cohesivos" para determinar la magnitud del hinchamiento de los suelos cohesivos compactados e incremento nulo de volumen.

Los resultados se dan en la Tabla 2.4.8.

Los criterios para determinar la presión de hinchamiento son los siguientes:

Presión de Hinchamiento	*Criterio
menor a 15 t/m ²	bajo
15 - 25	medio
25 - 100	alto
mavor a 100	muy alto

(K) Encogimiento

Los ensayos de encogimiento se hicieron en concordancia con la norma ASTM D-427 "Factores de encogimiento de los suelos", los cuales son: límite de encogimiento, encogimiento lineal, encogimiento volumétrico. Los resultados del ensayo se dan en la Tabla 2.4.9

Cambio de volumen (%)	* Criterio
menor a 5	bueno
5 - 10	medio
10 - 15	pobre
mavor a 15	muy pobre

Nota: *Fuente del criterio: Kogler y Scheidig Baugrund und Bauwerk

(L) Ensayo Pin-hole

* Fuente: Fu Hua Chen. "Foundation on Expansive Soils" Developments in Geotechnical Engineering

El ensayo Pin-hole se hizo en correspondencia a la norma ASTM D-4647, indicando una medición cualitativa de la dispersión de los suelos limo-arcillosos. Los resultados se dan en la Tabla 2.4.10.

La clasificación de la dispersión es la siguiente:

Clase	Grado	Descripción
D1	muy dispersivo	arcilla dispersiva que falla rápidamente bajo una carga de 50 mm.
D2	altamente	
ND4	moderado	arcilla ligera a moderadamente dispersiva que se erosiona bajo una carga de 50 a 180 mm.
ND3	ligeramente	
ND2	muy ligeramente	arcilla ligeramente no dispersiva que no se deforma bajo cargas de 50 mm a 1020 mm.
ND1	no dispersiva	

2.6 Conclusiones y Recomendaciones

(1) Investigación de los agregados para hormigón

Las investigaciones se desarrollaron con el propósito de determinar las fuentes posibles, cantidad disponible, calidad requerida y distancia para el transporte de los materiales de agregados del hormigón.

(A) Materiales de agregado fino

(a) Quevedo, Río San Pablo

Este depósito aluvial puede suministrar suficiente cantidad de agregado fino para el Proyecto, sin embargo, la calidad de los materiales es poco satisfactoria a juzgar por los resultados de las pruebas de laboratorio debido a que contiene impurezas orgánicas. Más aún, la distancia de acarreo del material hasta el sitio del Proyecto es grande, 170 km aproximadamente.

(b) Picoazá, Cantera Basáltica Picoazá

Considerando la calidad de la arena, cantidad disponible de la misma, capacidad de suministro y distancia de acarreo, esta cantera es una de las mejores fuentes de abastecimiento de agregado fino del Proyecto.

(c) Arena San Jacinto

La calidad está por debajo de las especificaciones debido al gran contenido de finos y al contenido de sal en la arena. Si se escoge este material para ajustar el módulo de finura mezclándolo con la arena Picoazá, mencionada anteriormente, será necesario lavar la arena con agua limpia.

(B) Material de Agregado Grueso

En la zona de Picoazá existen tres compañías que operan cuatro canteras. El material de cantera es el mismo. La calidad del agregado es aceptable para ser usado en el hormigón de acuerdo a las pruebas de laboratorio. Sin embargo, se recomienda realizar una investigación adicional para los materiales de tamaño inferior al tamiz de 0,075 mm (ASTM C-117).

Existe la cantidad suficiente y capacidad de suministro para satisfacer las demandas de hormigón del Proyecto.

(2) Ensayos de Mezclas para el Hormigón

En las pruebas, ninguna de las probetas logró la resistencia a la compresión esperada para los 28 días. Los valores más bajos de resistencia obtenidos en la Prueba-1 y Prueba-3 se deben posiblemente a la mala calidad de la arena utilizada. Sin embargo, a pesar de haber utilizado arena de mejor calidad en la Prueba-2, ésta tampoco alcanzó la resistencia de diseño esperada para el hormigón curado en 28 días.

El motivo de no haberse alcanzado, en las pruebas, la resistencia de diseño esperada, se debe probablemente a la calidad del cemento. Aunque no se ha incluido un estudio del cemento en la investigación de materiales del presente estudio, los datos proporcionados por la empresa elaboradora del cemento indicaron que la resistencia a la compresión de un mortero hidráulico de cemento fue del 30% inferior al valor requerido. Otro factor importante que afecta la resistencia del hormigón es la finura del cemento. De acuerdo al Manual del Hormigón, publicado por el Departamento del Interior de los EEUU, Oficina de Reclamaciones, la superficie específica promedio del cemento no deberá ser menor que 2.800 centímetros cuadrados por gramo. Basado en esto, se recomienda en gran medida efectuar ensayos profundos del cemento en una etapa posterior.

Durante la Fase 2 de Estudio en Ecuador se hicieron algunas investigaciones, principalmente para las mezclas de hormigón, los cuales no arrojaron resultados satisfactorios durante la Fase 1 del Estudio. Se recolectaron los resultados de los ensayos de mezclas de hormigón de los informes de la construcción de las obras de entrada en Conguillo ejecutadas en 1989-1990 y de la construcción actual de la presa La Esperanza. Estos datos existentes de mezclas de hormigón indican que se requiere más de 300 kg de cemento para producir 1,0 m³ de hormigón con una resistencia a la compresión de 250 kg/cm². En la construcción de la presa La Esperanza, el concreto estructural bombeable con tamaño máximo de agregados de 25 mm requiere 380 kg/m³ de cemento para obtener un hormigón con resistencia promedio a los 28 días de 290 kg/cm² con una resistencia garantizada de 253 kg/cm².

(3) Suelos

Los resultados de los ensayos de suelos mostraron que éstos se componen de partículas finas (inferiores a los 0,075 mm) de limolitas meteorizadas, clasificados como MH o CH, y parcialmente ML y CL. En general, se requiere una buena compactación de los suelos para ser usados como material de terraplén, además de un bajo encogimiento, y solamente una pequeña disminución en la resistencia al corte cuando se incrementa el contenido de agua.

La "Normas de Diseño y Construcción" de la Sociedad Japonesa de Carreteras y el "Manual de Suelos de la Oficina de Reclamaciones de los EEUU", recomienda que el material de terraplén tenga las siguientes características:

- Máximo tamaño de partícula: 100 mm
- Porcentaje en peso - pasa tamiz 4,76 mm: 25 - 50%
- Porcentaje en peso - pasa tamiz 0,075 mm: 0 - 25%
- Límite plástico: inferior a 10

Los resultados indican que casi ninguna de las muestras cumple con estos requerimientos, llegándose a las siguientes conclusiones:

- a) El suelo tiene características de alta compresión. El ensayo de compactación Proctor indicó que el porcentaje del contenido óptimo de humedad es muy alto (31 - 46%) y que γ_d máx es muy bajo (1,06 - 1,39 g/cm³).
- b) Los valores de la presión de hinchamiento son ligeramente altos (2 - 25 t/m²), lo cual puede afectar el revestimiento de hormigón.

- c) El cambio de volumen debido al encogimiento es muy alto (25 - 57%). Existirá por lo tanto la posibilidad de agrietamiento del suelo si éste es sometido a secado y humedecimiento repetidamente no sólo en el terraplén sino también en los taludes.

Con dichas consideraciones, estos suelos no son apropiados para terraplén, pero si se llevan a cabo las recomendaciones emitidas en este anexo, no será necesario rechazar totalmente estos materiales.