

82-37 v.1



Corporación Autónoma Regional del Cauca

---

# Proyecto Hidroeléctrico de Calima III

---

Financiado Parcialmente por el Fondo  
Nacional de Proyectos de Desarrollo

**INFORME DE FACTIBILIDAD**

MARZO, 1982

**VOLUMEN 1**

**SINOPSIS**



INGENIEROS  
CONSULTORES

**INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY, INC.**  
A MORRISON-KNUDSEN COMPANY

Copia No Controlada CVC

621.31  
C822 p

+



Corporación Autónoma Regional del Cauca

---

# Proyecto Hidroeléctrico de Calima III

---

Financiado Parcialmente por el Fondo  
Nacional de Proyectos de Desarrollo

## INFORME DE FACTIBILIDAD

MARZO, 1982

VOLUMEN 1  
SINOPSIS

08314



INGENIEROS  
CONSULTORES

INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY, INC.  
A MORRISON-KNUDSEN COMPANY

SECCION 1 - INTRODUCCION

TABLA DE CONTENIDOS

- 1.1 Términos de Referencia
- 1.2 Historia del Aprovechamiento del Río Calima
- 1.3 Formato del Informe
- 1.4 Proyecto Recomendado
  - 1.4.1 Descripción General
  - 1.4.2 Potencia y Energía Potencial
  - 1.4.3 Costos
  - 1.4.4 Programa de Construcción

 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

## SECCION 1

### INTRODUCCION

#### 1.1 TERMINOS DE REFERENCIA

El contrato suscrito entre IECO y CVC, el 26 de Agosto de 1980, bajo el N° 2116, implementó un renovado interés de CVC en continuar desarrollando el potencial hidroeléctrico del río Calima. El alcance del estudio contemplado en este contrato estaba dirigido a un proyecto que se denominaría Calima II (que era en realidad la complementación de un diseño ya terminado por CVC).

Durante la fase inicial de estudios en, la cual se hizo la evaluación del potencial del río Calima, se determinó que el proyecto Calima II, tal como estaba contemplado en el contrato, por razón de su costo, en comparación con otros proyectos alternos, debería posponerse hasta un futuro a largo plazo; pero que, un aprovechamiento hidroeléctrico situado inmediatamente aguas abajo del Calima II propuesto, sí parecía ser relativamente competitivo con otros proyectos alternos.

En el texto del contrato para estos estudios se previó la posibilidad de encontrar en el río Calima un proyecto más atractivo que Calima II y quedó establecido que en tal caso los estudios de factibilidad se harían sobre este nuevo proyecto. En virtud de dichas disposiciones se adoptó el proyecto Calima III que es el proyecto materia del presente informe.

Durante el mismo programa de estudios, la oficina que coordina el sistema Interconectado Colombiano - ISA - examinó la información entonces disponible sobre Calima III e incluyó dicho proyecto en el programa de desarrollo energético del país, con la condición de que estuviera en operación para mediados de 1987. Esta resolución se tomó para ayudar a subsanar un posible racionamiento que, según las proyecciones actuales, afectará la operación combinada del sistema entre finales de 1987 y principios de 1988.

## 1.2 HISTORIA DEL APROVECHAMIENTO DEL RIO CALIMA

La idea del aprovechamiento hidroeléctrico del río Calima se remonta a los años 50, época en que se concibió el Proyecto Calima I existente. Proyectado originalmente como un sólo proyecto de caída alta - un embalse para almacenamiento con un túnel de carga largo - se redujo a la instalación del tipo de pie de presa actualmente existente. El tramo del túnel del concepto inicial de Calima I vino a constituir Calima II. Este proyecto, en tandem aguas abajo, se estudió y se diseñó durante la construcción de Calima I.

Concurrentemente con el diseño de Calima II, a principios de 1960, la CVC investigó el Proyecto Salvajina. La importancia regional de este proyecto para el Valle del Cauca vino a posponer la implementación de Calima II. Debe también tenerse en cuenta que durante esta misma época se estaba formulando el concepto del sistema nacional interconectado. La interconexión del sistema CVC-CHIDRAL a la red nacional permitiría desarrollar proyectos más económicos situados en otras secciones del país.

Mientras tanto, la atención se volcó sobre el Proyecto del Alto Anchicayá y no fue sino hasta finales de 1970 que la CVC volvió a interesarse en el río Calima. Situado cerca de un centro de carga importante - Cali - , el río Calima es singular por estar ubicado dentro de una de las regiones más lluviosas del mundo. En sus tramos de aguas abajo la precipitación alcanza promedios de 7500 mm por año. Esta misma circunstancia ha traído como resultado que la mayor parte de su cuenca continúe siendo una selva impenetrable sin mapeamiento topográfico.

El diseño de Calima II mostró la posibilidad de un desarrollo adicional aguas abajo. En realidad la altura de terminación de Calima II estructuró un posible proyecto Calima III. Sin embargo, durante los últimos años del 70 la CVC, directamente, comenzó a estudiar nuevamente el Calima III en un esfuerzo por mejorar su estructura económica. Como resultado de estas investigaciones independientes, la CVC decidió acometer el presente contrato.

Simultáneamente con las investigaciones independientes llevadas a cabo por la

CVC, ISA estaba adelantando un inventario del potencial hidroeléctrico nacional (1). La conclusión general de ISA corroboró la evaluación inicial de potencia y energía ejecutada durante este estudio en el sentido de que el proyecto Calima II debería posponerse hasta cuando su costo de energía llegare a ser económicamente atractivo para el sistema, y que, en cambio, debería investigarse un Proyecto Calima III.

### 1.3 FORMATO DEL INFORME

Este informe se ha dividido en cuatro volúmenes: El primer volumen presenta los resultados del estudio en relación con el proyecto seleccionado. El segundo volumen presenta los datos básicos utilizados para la formulación del Proyecto y para determinar sus posibilidades de potencia y energía. El tercer volumen reúne en un sólo documento, todos los estudios de alternativas - excepto para escoger, no solamente el Proyecto recomendado, sino también sus diferentes componentes. El cuarto volumen contiene planos.

Cada sección del informe tiene Tablas y Figuras adicionales que han sido convenientemente compiladas al final de cada sección. Al final del Volumen 1 aparece la bibliografía.

### 1.4 PROYECTO RECOMENDADO

#### 1.4.1 Descripción General

El área de ubicación de Calima III ofrece muchas alternativas para posibles desarrollos. Después de una investigación extensa de un gran número de configuraciones, impuestas por sus condiciones de topografía, geología y morfología del río, se adoptó el proyecto que aparece en el Plano 103.

El Calima III es un proyecto de caída alta que desarrolla una caída bruta de 550 m. Es poco común en cuanto recoge un buen número de cuencas tributarias que aunque pequeñas son muy productivas debido a la muy alta precipitación en la cuenca del Calima. La construcción de Calima III incluye un total de 23.5

km de túneles y la primera presa de concreto de gran altura en el país.

#### 1.4.2 Potencia y Energía

El proyecto ha sido diseñado para una capacidad nominal de 240 MW y una capacidad de pico de 276 MW. Su desarrollo total incluyendo todos los tributarios, producirá 1145 GWh adicionales de energía promedio anual, disponible durante un 95% del tiempo. La energía mínima anual se estima en 970 GWh (medida en la

El costo total estimado de construcción, incluyendo una subestación de baja en Vijes y una línea de transmisión diseñada para 440 MW de capacidad, para acomodar posteriormente un futuro Proyecto Calima IV aguas abajo, es de unos US \$ 242.5 millones, sin incluir los intereses durante la construcción. Esto es equivalente a cerca de 26.5 mills por kWh para energía y a US \$ 879 por kW (pico) para capacidad.

La inclusión de la subestación Vijes y de la línea de transmisión con sobre-capacidad requieren nueva consideración durante el diseño final del proyecto. Un estimativo aproximado del costo de los requisitos adicionales, que aparecen incluidos en el costo anterior, es de US \$ 11 millones. Los costos índices de desarrollo correspondientes, si se incluye dichos elementos, serían de 25.5 mills/kWh y US \$ 862 kW, respectivamente.

#### 1.4.4 Programa de Construcción

Se ha dado atención especial al programa de construcción que requeriría el proyecto y se ha hecho un análisis detallado de tiempo para la casa de máquinas y los túneles principales. Se ha concluido que la construcción de las obras civiles y la instalación de los elementos electromecánicos podrían quedar terminados dentro de los plazos requeridos, y que se podrá lograr la puesta en línea comercial del proyecto para mediados de 1987. Sin embargo, lo más crítico en este programa de construcción, es el acceso a la áreas de casa de máquinas y de La Cristalina. La construcción de vías de acceso deberá acelerarse y llevarse adelante del programa principal de construcción.

Se recomienda además que durante el diseño final se explore la posibilidad de escalonar la contratación proyectada, para llevar adelantadamente la excavación del túnel de acceso a casa de máquinas, la caverna de casa de máquinas y los túneles de la presa de río Bravo. Se cree que de esta manera se podrá obtener un programa de diseño más flexible. Esto permitirá licitar todas las estructuras principales de concreto bajo un sólo contrato.

SECCION 2 - SECTOR ELECTRICO EXISTENTE

TABLA DE CONTENIDOS

2.1	Composición Institucional
2.2	Composición Física
2.2.1	Equipo de Generación
2.2.2	Equipo de Transmisión
2.3	Crecimiento Histórico de la Demanda
2.3.1	Sistema Interconectado
2.3.2	Sistema CVC-CHIDRAL
2.4	Proyecciones de Carga
2.4.1	Procedimiento de Proyección
2.4.2	Sistema Interconectado
2.4.3	Sistema CVC-CHIDRAL
2.5	Programas de Implementación de los Proyectos del Sistema
2.5.1	Sistema Interconectado
2.5.2	Sistema CVC-CHIDRAL
2.6	Indices de Costo del Desarrollo
	Tablas
	Figuras

## SECCION 2

### SECTOR ELECTRICO EXISTENTE

#### 2.1 COMPOSICION INSTITUCIONAL

La Figura 2.1 es una representación generalizada de la estructura institucional que forma el Sector Eléctrico de la República de Colombia. La red continental comprende actualmente el Sistema de la Costa Atlántica, que es operado por CORELCA y sus afiliados, y el Sistema Central, que es operado por cinco entidades grandes, ISA, EEEB, CVC, EPM e ICEL y sus afiliados.

En 1967, varios de los productores principales del Sistema Central participaron en la formación de un organismo especial, ISA, para implementar la interconexión de lo que entonces era esencialmente unas redes aisladas. ISA fue encomendada también de la coordinación para la expansión continuada de las centrales de generación de dichos productores y la planeación, implementación y operación de aquellos proyectos que, por su magnitud relativa, estaban por encima de las posibilidades particulares o de las necesidades individuales de estas entidades. La participación actual en ISA incluye a ICEL, CHEC, EEEB, EPM, CVC, CHIDRAL y CORELCA. Junto con ISA estos participantes generan el 99% de la energía eléctrica en el país y constituyen lo que se llama el Sistema Interconectado. La tabla siguiente muestra la capacidad instalada proyectada para 1963, expresada en MW, por propietario:

<u>Entidad Generadora</u>	<u>Hidroeléctrica</u>	<u>Termoeléctrica</u>	<u>Total</u>
EEEB	1150	137	1287
EPM	1010	-	1010
CVC-CHIDRAL*	714	50	764
ICEL-CHEC	357	543	900
CORELCA	-	909	909
ISA	<u>2428</u>	<u>66</u>	<u>2494</u>
Total	5659	1705	7364

\*Incluye el Proyecto Salvajina

La interconexión de los dos sistemas principales se volverá realidad durante 1982 época para cuando se espera la terminación de la línea de empalme. Operacionalmente los dos sistemas pueden subdividirse, aún más, en distritos regionales; pero como algunos de los principales productores tan sólo se dedican a vender al por mayor o a intercambiar grandes bloques de energía, no se ha considerado importante, para este estudio, disponer de un mapa de las áreas de servicio de las diferentes empresas y no se ha elaborado. Lo que sí es importante es la ubicación de las plantas de producción y de las redes principales de transmisión, con respecto a los centros de carga. La Figura 2.2 muestra la ubicación general de todas las plantas de generación con capacidad instalada superior a los 10 MW. La Figura 2.3 muestra la red principal de transmisión existente.

En la última mitad de los años 70, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en cooperación con otros organismos, elaboró un estudio muy extenso y un inventario del sector eléctrico (1). El estudio del DNP dividió el país en seis regiones geográficas. Estas subdivisiones, que han sido aceptadas en general por la industria, aparecen en la Figura 2.4. Como se muestra en esta figura el sistema CVC-CHIDRAL queda situado en el Sureste del país, dentro de la región de la vertiente del Pacífico.

## 2.2 COMPOSICION FISICA

### 2.2.1 Equipo de Generación

Los equipos de generación eléctrica en Colombia son de carácter principalmente hidroeléctrico, como lo evidencia el siguiente detalle de producción de energía y capacidad instalada durante 1979.

<u>Tipo de Planta</u>	<u>Capacidad, MW</u>	<u>Energía, GWh</u>
Hidroeléctrica	2.991.0	13.153.7
Térmica de Fuel-Oil	420.6	1.751.3
Turbogas	314.4	1.139.3
Térmica de Carbón	288.9	1.342.7
Diesel	186.9	205.2
Gas	38.2	403.2
Total	4.240.0	17.995.4

La expansión de las plantas de producción durante la década de 1980-1989 agregará 7000 MW de equipo hidroeléctrico y 805 MW de equipo termoeléctrico, lo cual representa un 70% de la capacidad instalada en 1979, así que el porcentaje de capacidad de generación hidroeléctrica crecerá por encima del 80% de la capacidad de generación del sistema. La Tabla 2.1 es un resumen de la capacidad hidroeléctrica desarrollada y potencial, extractada del inventario nacional (1), posteriormente actualizado por el ICEL (5). El considerable potencial hidroeléctrico por desarrollar, que ha sido inventariado, indica claramente que el sector eléctrico tenderá con el tiempo hacia este tipo de plantas de generación. Este potencial sin desarrollar, combinado con un sistema interconectado, constituye también una base importante para la selección económica de proyectos.

### 2.2.2 Equipo de Transmisión

La red de transmisión misma es fundamental para la interconexión. Para finales de 1979 se encontraba en servicio el siguiente sistema primario:

<u>kV</u>	<u>Número de Circuitos</u>	<u>Longitud, Km</u>
230	2	1049
230	1	939
115	4	14
115	3	73
115	2	752
115	1	3237

En la Figura 2.3 aparece la red de transmisión primaria junto con las subestaciones principales. Entre 1980 y 1989 esta red de transmisión deberá expandirse substancialmente. Los programas de construcción para este período, con respecto a adiciones de 230 kV y 500 kV, incluyen:

<u>Clasificación, kV</u>	<u>Nº de Circuitos</u>	<u>Longitud, Km</u>
230	2	1505
230	1	1495
500	1	1227

La Figura 2.5 presenta un diagrama esquemático de la red de transmisión interconectada a 500 kV/230 kV, con las adiciones programadas para la década de 1980-1990.

### 2.3 CRECIMIENTO HISTORICO DE LA CARGA (1970-1979)

#### 2.3.1 Sistema Interconectado

Entre 1970 y 1979 el crecimiento de la carga en el Sistema Interconectado fue de 9.4%. La Tabla 2.2. muestra el crecimiento anual de potencia (MW) y energía (GWh) para este período. Esta misma tabla incluye el crecimiento de la capacidad instalada. La Tabla 2.3 muestra la demanda máxima anual para cada uno de los principales distribuidores. Los productores como ISA y CHIDRAL aparecen incluidos en forma de participación dentro de los valores tabulados.

La Tabla 2.4 presenta la tasa de crecimiento de los productores principales, expresada como porcentaje, para el mismo período. Los valores erráticos en la Tabla, particularmente entre 1976-1977, indican claramente algunos de los problemas que confronta el sector eléctrico Colombiano, así:

- Demoras en la terminación de los proyectos, por ejemplo, Chivor I.
- Condiciones hidrológicas adversas a escala nacional, que debido a la preponderancia de plantas hidroeléctricas pueden ser muy severas.

El racionamiento es de ocurrencia frecuente en el sector y se ha convertido en una función corriente en los procedimientos de despacho de carga. El problema se hace aún más grave a medida que aumenta el tamaño de los proyectos que se retrasan.

#### 2.3.2 Sistema CVC-CHIDRAL

La Tabla 2.5 presenta el crecimiento de carga histórico anual en el sistema CVC-CHIDRAL, entre 1970-1979. Durante este mismo período este sistema tenía el equipo de generación siguiente:

<u>Planta</u>	<u>Capacidad Nominal, MW</u>	<u>Energía Promedio Anual, GWh *</u>	<u>Fecha de Entrada</u>
Bajo Anchicayá	64	358.5	1957
Termo Yumbo	50	270.5	1962
Calima I	120	207.6	1967
Alto Anhicayá	340	1395.7	1973
Plantas pequeñas	<u>10</u>	<u>13.0</u>	<u>-</u>
Total	584	2245.3	

\*Condiciones del año hidrológico promedio.

En adición a lo anterior, CVC-CHIDRAL participó en Chivor I (300 GWh de energía por año y 50 MW en capacidad). Este proyecto entró en línea en 1977.

Es interesante poner de relieve que el estudio de factibilidad del Alto Anchicayá (4) indicaba que si Chivor I se retrasaba y simultáneamente se presentaban circunstancias hidrológicas adversas durante 1976, el sistema se afectaría gravemente. La Tabla 2.4 muestra que esta predicción se materializó realmente.

## 2.4 PROYECCIONES DE CARGA

### 2.4.1 Procedimiento de Proyección

Las proyecciones del mercado, para las diferentes entidades que componen el Sistema Interconectado, son actualmente efectuadas por ISA.

El procedimiento de proyección se basa en el análisis del crecimiento de la carga histórica incluyendo tolerancias para pérdidas por transmisión. Para cada área de mercado se generan 100 proyecciones estadísticas con base en los datos de crecimiento propios de dicha área. De estos 100 casos mínimos, se formulan valores máximo, medio y mínimo de demanda, tanto para los mercados individuales como para toda la red. Estos pronósticos se ajustan para reflejar demandas industriales conocidas, las cuales son relativamente más significativas que las tomadas en cuenta estadísticamente.

#### 2.4.2 Sistema Interconectado

En la Tabla 2.6 se muestra una proyección a 15 años del Sistema Interconectado para el período 1980-1985. Las proyecciones, mínima, media y máxima, tanto para energía, como para demanda pico aparecen en dicha tabla.

La Tabla 2.7, muestra las fechas más recientemente previstas para la entrada en operación comercial de nuevas plantas, hasta 1981. La mayoría de las nuevas plantas están o en construcción o en diseño. Esta tabla suministra la capacidad instalada de cada planta y la principal entidad encargada de su implementación.

La Figura 2.6 es una representación gráfica de las proyecciones de demanda de capacidad, tomadas de la Tabla 2.6. Las plantas que aparecen en la Tabla 2.7 aparecen superpuestas, con base en su fecha más reciente de entrada al sistema. Donde se presenta el caso de unidades múltiples en una misma planta, la Figura 2.6 ha englobado la instalación total en la fecha dada, para mayor claridad. Hay sin embargo un retardo normal de entre 2 y 3 meses para la entrada en operación comercial de unidades múltiples.

Las condiciones de nivel bajo del embalse y de parada de unidades se traducen en la falta de disponibilidad continua de toda la capacidad instalada del sistema. Para reflejar esta no disponibilidad de capacidad, ISA ha adoptado un factor de 82%, sobre el total de la capacidad instalada, como valor representativo de lo que ella denomina capacidad disponible del sistema.

La Figura 2.7 es una representación esquemática de las proyecciones de demanda de energía mínima, media, máxima que se relacionan en la Tabla 2.6. Superpuestos, en esta Figura, aparecen los contenidos de energía promedio anual de los proyectos/plantas presentados en la Tabla 2.7. Como se hizo con las capacidades de la Figura 2.6, las disponibilidades de energía han sido agrupadas bajo la fecha de entrada en línea. Obviamente, algunos de los proyectos más grandes, como Guavío y Cañafisto, tendrían una contribución de energía inicial considerablemente reducida hasta cuando se cuente con suficiente capacidad instalada para turbinar el agua disponible; es decir, el diagrama de incremen-

tos de energía correspondiente al ingreso de cada unidad de una planta en particular, nivelaría los escalones verticales abruptos que aparecen en la Figura 2.7.

Calima III también aparece en la Figura 2.7. Como puede observarse, aunque el contenido de energía de Calima III es muy pequeño en relación con las demandas del Sistema Interconectado -- menos del 3% -- será un refuerzo definitivo de la capacidad del sistema durante el período. No debe olvidarse que la capacidad del sistema, tal como se muestra en la Figura 2.7, representa un promedio anual de contenido de energía. Un sistema en el cual casi un 75% de su producción proviene de fuentes hidroeléctricas, debe contar con reservas adecuadas en previsión de condiciones hidrológicas adversas. Esto es particularmente cierto, cuando un porcentaje substancial de las plantas está comúnmente sujeto a características climáticas regionales similares. Desafortunadamente, no se dispuso para este estudio, de datos sobre el mínimo contenido de energía de los proyectos relacionados en la Tabla 2.7.

#### 2.4.3 Sistema CVC-CHIDRAL

La Tabla 2.8 muestra las proyecciones de ISA para el área servida por CVC-CHIDRAL solamente. Puede observarse que las tasas de crecimiento anual de esta área de mercado se afectan altamente por su crecimiento histórico. Esta tendencia se mostró anteriormente, en la Tabla 2.4. En otras palabras, mientras la proyección de la tasa de crecimiento anual del Sistema Interconectado está cerca del 9.5% experimentado durante los años 70, la del área CVC-CHIDRAL se proyecta con una tasa anual del 8.5%. Aunque el alcance de estos trabajos no contemplaba estudios de mercado ni verificaciones de las proyecciones efectuadas por ISA, hubo que evaluar, como parte de los estudios de la desviación parcial del río Cauca al río Calima, aunque sólo cualitativamente, la utilización del agua dentro del área general servida por CVC. Este estudio reveló que las oportunidades de empleo y las mejores condiciones de clima en esta área, eran un aliciente para la inmigración de población (11), y que ésta inmigración era más pronunciada en el Norte del Valle que en las proximidades del área de Cali-Yumbo.

Los censos de población han sido como sigue (DANE):

<u>Año</u>	<u>Colombia</u>	<u>Valle</u>
1938	8,701.800	613.200
1951	11,548.170	1.106.930
1964	17,484.500	1,733.050
1973	22,500.000	2,129.350

Las proyecciones de población para el Valle, solamente, son como sigue (según DAPC - CVC - IGAC):

<u>Año</u>	<u>Total</u>	<u>Urbana</u>	<u>Rural</u>	<u>kWh/Cápita</u>
1980	3,049.000	2,464.300	584.700	905
1985	3,647.600	2,993.400	684.200	1138
1990	4,339.400	3,596.800	742.600	1695
1995	5,185.100	4,031.000	871,100	1813

La última columna de esta tabla muestra el consumo de energía promedio per cápita, según las proyecciones de ISA que se muestran en la Tabla 2.8. Es notable ver que según estas proyecciones el consumo per cápita va a duplicarse durante este período de 15 años considerado.

Las proyecciones de demanda de capacidad que se muestran en la Tabla 2.8 se presentan en forma gráfica en la Figura 2.7. Las proyecciones de energía, cuyos valores aparecen también en la Tabla 2.8 se muestran gráficamente en la Figura 2.8.

## 2.5 PROGRAMAS DE IMPLEMENTACION DE LOS PROYECTOS DEL SISTEMA

### 2.5.1 Sistema Interconectado

Para complementar las proyecciones de demanda de carga, ISA formula un programa concurrente de desarrollo de proyectos. Para satisfacer estos requerimientos, las entidades hacen aportes a un banco de datos sobre información

de proyectos en potencia. Los datos almacenados se limitan, en general al nivel de estudios de factibilidad o superiores.

Mediante un proceso de eliminación, utilizando técnicas de análisis con programas de computador, ISA selecciona, primero, y después establece el orden de prioridad de cada proyecto para satisfacer la demanda con el costo mínimo de operación. Algunos de estos programas fueron desarrollados y/o refinados durante los trabajos del Inventario Nacional mencionado anteriormente.

En pasos sucesivos, se comienza con una preselección para desarrollar aceptabilidad general del proyecto, y se sigue con una serie de programas más refinados para establecer objetivamente fechas reales de comienzo de la construcción. Estos análisis incluyen los cargos por escalación y por intereses durante la construcción.

Ya durante la construcción, el avance de los trabajos se vigila continuamente. Todo retardo probable se registra inmediatamente y la información se comunica a las diferentes entidades. La Tabla 2.7, que aparece en la Sección 2.4 presenta el informe de implementación más reciente (Febrero 1982) utilizado para este estudio.

Desde finales de 1980 hasta 1981, el sector eléctrico estuvo sujeto a un extenso racionamiento debido a malas condiciones hidrológicas y a una serie de retardos en la construcción. ISA se vió obligada a revisar y re-estructurar su programa de implementación de proyectos y a adoptar un nuevo programa de emergencia. Este nuevo programa es esencialmente el que aparece en la Tabla 2.7. Cabe poner de relieve que Calima III aparece incorporado en este programa nacional de emergencia y que debe entrar en operación comercial a mediados de 1987.

#### 2.5.2 Sistema CVC-CHIDRAL

Para satisfacer sus proyecciones de demanda, las entidades ejercen individualmente la alternativa de implementar la adición de plantas de generación, por su propia cuenta o a través de participación directa en proyectos dirigidos

por ISA. Esta última modalidad se formaliza por medio de contratos donde se estipulan las compras a largo plazo tanto de energía como de capacidad.

El ensanche físico de los equipos de generación de CVC-CHIDRAL, en los primeros años del 80, incluye la adición del Proyecto de Salvajina programado para Noviembre de 1984. Este proyecto agregará 270 MW de capacidad y aproximadamente 895 GWh/año de energía a la capacidad generadora del Sistema existente. Además de Salvajina, CVC participó en varios de los proyectos de ISA que aparecen en la Tabla 2.7.

La Tabla 2.9 muestra la magnitud y disponibilidad de las participaciones de potencia y energía ya contratadas por CVC-CHIDRAL hasta 1990. Estas participaciones en capacidad y energía, agregadas a la capacidad propia del sistema, y la disponibilidad total de recursos del sistema, aparecen descritos gráficamente en las Figuras 2.8 y 2.9, respectivamente.

Como puede verse, la Figura 2.8 incluye el Proyecto Calima III con una capacidad pico de 270 MW. Este valor fue escogido, de común acuerdo por CVC e ISA con base en la evaluación inicial del costo y capacidades del proyecto, a factor de planta variable. A esta capacidad pico corresponde una capacidad nominal de 240 MW; y, considerando que Calima I y Calima III operarán conjuntamente, su factor de planta combinado será de 0.43 (con base en una energía anual de 1358 GWh y una capacidad instalada total de 360 MW).

Los datos de la Tabla 2.8 indican que las proyecciones para el factor de carga del Sistema CVC-CHIDRAL son de alrededor de 0.58. Por otra parte, de la información suministrada por CHIDRAL para 1979, se deduce que el factor actual está en realidad más cerca de 0.61. La Figura 2.10 muestra una curva de duración de carga adimensional desarrollada con base en datos de operación de 1979, año escogido por CHIDRAL como más representativo, por no haber tenido supresiones por racionamiento. En todo caso, la operación combinada de Calima será para servicios de picos, pero a un menor nivel que la operación actual de Calima I cuyo factor de planta es de 0.2.

A diferencia de la Figura 2.8, la Figura 2.9 no incluye a Calima III. En

cambio muestra la cantidad de energía térmica con que cuenta el sistema durante condiciones hidrológicas promedio. La Tabla 2.9 muestra que a partir de 1984, CVC tiene contratado 303 GWh/año de energía térmica que asumados a Termo-Yumbo dan una disponibilidad total de 573 GWh/año. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que Termo-Yumbo va a llegar en 1987 a sus 25 años de servicio y que su factor de planta debe estar declinando. Como se indica en la información presentada en la Sección 2.3, el factor actual es de 0.62 aproximadamente. Con el ingreso de Calima III, programado para 1987, se podría pensar en asignar a esta Térmica de Carbón un mayor tiempo en reserva o una operación estacional.

La inclusión de Calima III como una fuente de energía se analiza en la Sección 9. La tabla que sigue resume los saldos de recursos de energía y capacidad pico del Sistema CVC-CHIDRAL, según las proyecciones para los años de 1987 a 1990. (Las cifras se basan en proyecciones medias para la demanda del sistema, el promedio anual de disponibilidad de energía y un 82% de capacidad disponible):

<u>Año</u>	<u>Energía, GWh</u>	<u>Capacidad Pico, MW</u>
1987	431	154
1988	499	123
1989	505	102
1990	59	5

Aunque no se dispuso de cifras sobre contenidos mínimos de energía para los proyectos relacionados en la Tabla 2.7, sí se obtuvo de CHIDRAL la disponibilidad para un año hidrológico malo. Definido con una recurrencia del 80%, o una condición hidrológica semi-seca, el equipo de generación existente\*, excluyendo Salvajina, tiene una disponibilidad anual de energía de 2166 GWh. El estimativo correspondiente para Salvajina es de 525 GWh, y en el año totalmente seco se estima en 2691 GWh. Comparando esta cifra con el valor anual promedio de 3159 GWh utilizado en la preparación del balance de recursos pre-

\*Incluyendo Termo-Yumbo, que tiene una disponibilidad correspondientemente reducida de 250 GWh.

sentado arriba, la sola pérdida experimentada sufrida por el componente CVC-CHIDRAL sería de 468 GWh, y los sobrantes de recursos de energía indicados arriba se reducirían en al menos la misma cantidad. Desde el punto de vista de planeación de sistemas, aún el Sistema CVC-CHIDRAL vendría a necesitar refuerzo durante el período indicado arriba, es decir, 1987 a 1990.

## 2.6 INDICES DE COSTO DEL DESARROLLO

Durante el presente estudio nunca se establecieron con exactitud valores índices de energía y capacidad para determinación de beneficios. En cambio, la economía del proyecto se analizó principalmente en base al costo específico del desarrollo, medido con relación a la construcción de proyectos alternos.

Los índices de costo para varios de los proyectos incluidos en un inventario actualizado de ISA (9), aparecen en la Tabla 2.10. Puede deducirse inmediatamente que un costo de energía por debajo de 25.5 mills/kWh (base de 1981) es indicativo de un proyecto hidroeléctrico económico. Al principio de este estudio se realizó un análisis complementario del inventario nacional básico, para derivar índices semejantes para un mayor número de los proyectos con mejor clasificación. De particular interés es una lista de 26 proyectos específicos que ISA analizó detalladamente y para los cuales preparó un programa de implementación para satisfacer la demanda del Sistema Interconectado proyectada para el resto del siglo. Este análisis indica que el índice de energía está realmente más relacionado al tiempo. Los Proyectos programados para después de 1990 tienen mayores índices de costo de energía que los programados para ingresar al sistema antes de 1990. La línea divisoria es también superior a 25 mills/kWh.

Los índices de la Tabla 2.10 son sin embargo, hasta cierto punto engañosos por cuanto no incluyen el costo de los intereses durante la construcción. Algunos de estos proyectos, como Cañafisto e Ituango, tienen programas de construcción bastante largos. Para estos dos proyectos, en particular, se prevee períodos de construcción de 10 años o más (6), (7). Los intereses durante este período forman una parte importante de sus estructuras de costos.

Debe observarse también, Tabla 2.10, que la evaluación del costo de los proyectos incluye los costos de transmisión hasta el punto de conexión en el centro de carga más cercano.

Aun cuando puede formularse una conclusión general sobre los valores de energía, no podrá decirse lo mismo sobre el costo de capacidad. Hay una gran dispersión en los valores de US \$/kW cuando se dibujan contra factores de planta o capacidad total, etc. Sin embargo, la envolvente del factor de costo establecería alrededor de \$ 750/kW. Nuevamente, el costo de los intereses durante la construcción no aparece incluido en los índices de US \$/kW dados en la Tabla 2.10.

SECCION 2 - LISTA DE TABLAS

- 2.1 Inventario de Capacidad Hidroeléctrica Nacional
- 2.2 Crecimiento Histórico del Sistema Interconectado 1970 - 1979.
- 2.3 Demanda Máxima durante la Década de 1970
- 2.4 Tasa Anual de Crecimiento Histórico de Potencia y Energía.
- 2.5 Operación del Sistema CVC-CHIDRAL 1970 - 1979
- 2.6 Proyección de la Demanda para el Sistema Interconectado.
- 2.7 Programa para Operación Comercial de Proyectos en Construcción y Diseño.
- 2.8 Proyección de la Demanda para el Sistema CVC-CHIDRAL.
- 2.9 Participación de CVC-CHIDRAL en Proyectos del ISA
- 2.10 Costo de Desarrollo de Proyectos Alternos

**INVENTARIO DE CAPACIDAD HIDROELECTRICA NACIONAL  
(CAPACIDAD EN MW)**

REGION	RECONOCIMIENTO				PREFACTIBILIDAD		FACTIBILIDAD		EN DISEÑO		EN CONSTRUCCION		EN OPERACION		TOTAL	
	ESEE *		OTROS		Número	Capacidad	Número	Capacidad	Número	Capacidad	Número	Capacidad	Número	Capacidad	Número	Capacidad
	Número	Capacidad	Número	Capacidad												
I MAGDALENA-CAUCA	71	13196	18	2478	9	5902	8	8260	3	1167	6	2657	17	1818	132	35478
II ORINOQUIA-CATATUMBO	76	24524	1	500					1	1300		500	1	500	79	27324
III SIERRA NEVADA-GUAJIRA	10	631													10	531
IV ATRATO-SINU	5	792	3	3714					2	1050					10	5556
V VERTIENTE PACIFICO	35	7587	1	246	1	200	3	3500					4	545	44	12978
IV AMAZONIA	33	12018													33	12018
<b>TOTAL</b>	<b>230</b>	<b>58748</b>	<b>23</b>	<b>6938</b>	<b>10</b>	<b>6102</b>	<b>11</b>	<b>11760</b>	<b>6</b>	<b>3517</b>	<b>6</b>	<b>3157</b>	<b>22</b>	<b>2863</b>	<b>308</b>	<b>93065</b>

\* Estudio del Sector de Energía Eléctrica

Fuente : ICEL (2)

TABLA 2.2

CRECIMIENTO HISTORICO DEL  
SISTEMA INTERCONECTADO 1970 - 1979

<u>Año</u>	<u>MW Instalados</u>	<u>MW Pico</u>	<u>Energía, GWh</u>
1970	2078	1509.5	7838
1971	2317	1676.7	8607
1972	2610	1829.4	9719
1973	2793	2046.9	10839
1974	3066	2193.0	11264
1975	3154	2409.5	12325
1976	3229	2631.0	13717
1977	3984	2783.2	14299
1978	4250	3137	16258
1979	4249	3385	17999

DEMANDA MAXIMA EN MW DURANTE LA DECADA DE 1970\*

ENTIDAD	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
EEEB	432	473.5	512.7	567.8	609	657	716.5	768	865	951
EEM	371	422	451	505	535	576.5	607	626	700	745
CVC	238	268	283	307	340	367	398	427	466	494
ICEL-CHEC	283	305	336	410	423	491	557	580	666	715
CORELCA	185.5	208.2	246.7	257.1	286	318	352.5	382.2	450	480
TOTAL	1509.5	1676.7	1829.4	2046.9	2193	2400.5	2631	2783.2	3137	3385

\* " La Electrificación en Colombia", Instituto Colombiano de Energía Eléctrica 1979 - 1980

TABLA 2.3

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO HISTORICO DE POTENCIA Y ENERGIA  
DURANTE LA DECADA DE 1970

ENTIDAD		1970-71	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78	1978-79	CRECIMIENTO PROMEDIO
EEEEB	E	11.75	10.03	10.93	11.41	10.90	10.47	7.43	10.93	11.66	10.61
	P	9.60	8.28	10.74	7.26	7.88	9.06	7.18	12.63	9.94	9.17
EPM	E	9.41	10.37	9.06	7.11	6.31	10.01	1.42	13.86	9.21	8.21
	P	13.74	6.87	11.97	5.94	7.75	5.29	3.13	11.82	6.42	8.10
CVC	E	9.63	10.47	10.24	7.90	5.47	11.03	0.79	14.04	8.90	8.72
	P	12.6	5.59	8.48	10.75	7.94	8.44	7.28	6.79	8.33	8.46
ICEL-CHEC	E	10.25	10.61	13.70	9.66	12.53	11.04	9.56	18.92	10.43	11.85
	P	7.77	10.16	22.0	3.17	16.07	13.44	4.13	14.83	7.35	10.97
CORELCA	E			10.55	9.93	6.33	13.40	6.42	15.59	12.57	10.68
	P			4.21	11.24	11.18	10.81	8.42	17.73	6.66	10.03
ENERGIA TOTAL		11.07	9.01	11.89	7.14	9.87	9.19	5.78	12.71	7.90	9.40

NOTAS : Fuente : ICEL (2)

E = Energía  
P = Potencia



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

TABLA 2.4

Copia No Controlada CVC

TABLA 2.5

OPERACION DEL SISTEMA  
CVC-CHIDRAL 1970 - 1980

<u>Año</u>	<u>MW Instalados</u>	<u>MW Pico</u>	<u>Energía, GWh</u>
1970	279	-	-
1971	279	238	62
1972	279	268	68
1973	279	283	97
1974	611	307	118
1975	611	340	207
1976	611	367	1609
1977	616	398	1627
1978	616	427	1677
1979	616	456	1976
1980	616	494	2149

PROYECCION DE LA DEMANDA PARA EL SISTEMA INTERCONECTADO

PROYECCION DE LA  
ENERGIA ANUAL COMBINADA  
( GWh )

PROYECCION DE LA DEMANDA PICO  
COMBINADA, CON DIVERGENCIA DE 2.4  
( MW )

Año	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
1980	16245.	16573.	16869.	3043.	3125.	3210.
1981	18231.	18885.	19345.	3978.	4069.	4199.
1982	23721.	24591.	25278.	4475.	4608.	4752.
1983	26347.	27427.	28397.	4959.	5111.	5308.
1984	28993.	30115.	31213.	5414.	5629.	5814.
1985	31667.	33171.	34727.	5961.	6218.	6423.
1986	34707.	36472.	38053.	6564.	6851.	7103.
1987	37648.	39903.	42095.	7099.	7495.	7881.
1988	40618.	43509.	45417.	7719.	8182.	8617.
1989	44004.	47471.	49861.	8355.	8935.	9380.
1990	48095.	51722.	54628.	9119.	9739.	10301.
1991	52767.	56451.	59595.	10012.	10636.	11218.
1992	57645.	61655.	65603.	10943.	11624.	12313.
1993	62521.	67247.	71478.	11826.	12697.	13536.
1994	68505.	73445.	77660.	12909.	13849.	14766.
1995	74757.	80271.	86089.	14102.	15124.	16109.

TABLA 2.6

PROGRAMA PARA OPERACION COMERCIAL DE PROYECTOS  
EN CONSTRUCCION Y EN DISEÑO

1982 - 1991

Proyecto	Tipo	Capacidad	Fecha de operación	Entidad
Chivor II	H	500	Jan.82	ISA
Barranca	T	30	Jan.82	ICEL
Palenque	T	20	Jan.82	ICEL
Paipa III	T	66	Feb.82	ICEL
Chinú (1)	T	133	Feb.82	ISA
Ayura	H	19	Jun.82	EPM
San Carlos I	H	620	Oct.82	ISA
Cerrejón I	T	170	Mar.83	CORELCA
Paraiso-La Guaca	H	600	Mar.83	EEEEB
Zipaquirá V	T	66	Dec.83	ISA-EEEEB
Tasajero	T	150	Jan.84	ICEL
San Carlos II	H	620	Mar.84	ICEL
Jaguas	H	170	May.84	ISA
Salvajina (2)	H	270	Oct.84	CVC
Calderas	H	15	Oct.84	ISA
Guadalupe IV	H	216	Oct.84	EPM
Cerrejón II	T	170	Jun.85	CORELCA
Playas	H	200	Jan.86	EPM
Betania	H	500	Apr.86	ISA-ICEL
Calima III	H	240	Jun.87	CVC
Río Grande II	H	204	Sep.87	EPM
Miel I	H	384	Nov.87	CHEC
Guavio	H	1000	Jan.88	ISA-EEEEB
Urrá I y II	H	1050	May.89	ISA-CORELCA
Miel II	H	351	Jun.90	CHEC
Cañafisto	H	1500	Jan.91	ISA

(1) 66 MW en Febrero y 66 MW en Marzo

(2) Sin incluir la Energía de la desviación del río Ovejas al embalse de Salvajina.

PROGRAMA PARA OPERACION COMERCIAL  
DE PROYECTOS EN CONSTRUCCION Y EN DISEÑO

1982 - 1991

Proyecto	Fecha de operación	Entidad	Observaciones
Interconexión ISA-CORELCA (1)	Jan.82	ISA	Interconexión a 500 kv
Diversion of rios Pajarito, Nechí and Dolores	May.82	EPM	10.4 m <sup>3</sup> /s (promedio)
Diversion of rio Tunjita to Chivor.	Aug.82	ISA	12.5 m <sup>3</sup> /s (promedio)
Diversion of rios Rucio and Negro.	Aug.82	ISA	8.1 m <sup>3</sup> /s (promedio)
Chingaza, Phase I	Jan.83	EEEB (2)	13.5 m <sup>3</sup> /s (Promedio)
Diversion of rios Calde-ras to San Carlos.	May.84	ISA	6.0 m <sup>3</sup> /s (promedio)

(1) Transmisión inicial a 220 kv en Enero 1982 y a 500 kv en Enero 1983

(2) En conjunto con "Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá"

PROYECCION DE LA DEMANDA PARA EL SISTEMA CVC-CHIDRAL

Año	PROYECCION DE LA ENERGIA ANUAL (GWh)			PROYECCION DE LA DEMANDA PICO (MW)		
	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
1980	2662.	2758.	2855.	518.	541.	564.
1981	2815.	2993.	3163.	559.	589.	629.
1982	2965.	3247.	3434.	599.	641.	680.
1983	3268.	3523.	3775.	647.	696.	754.
1984	3493.	3822.	4127.	691.	757.	814.
1985	3767.	4150.	4534.	738.	821.	877.
1986	3996.	4495.	4943.	785.	889.	964.
1987	4349.	4891.	5409.	839.	964.	1050.
1988	4697.	5308.	5936.	936.	1048.	1129.
1989	4958.	5770.	6672.	1000.	1139.	1269.
1990	5410.	7357.	7231.	1085.	1236.	1400.
1991	5846.	6802.	7908.	1188.	1342.	1555.
1992	6234.	7365.	8574.	1277.	1458.	1731.
1993	6736.	7983.	9571.	1388.	1583.	1835.
1994	7311.	8663.	10430.	1492.	1718.	1996.
1995	8139.	9401.	11414.	1596.	1861.	2172.

TABLA 2.8

PARTICIPACION DE CVC - CHIDRAL EN PROYECTOS DE ISA

AÑO	1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990	
	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW
Proyecto																				
Chivor I	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0	300.0	50.0
Zipaquirá IV (Apr/81)	50.2	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5	67.0	8.5
Chivor II (Jan/82)			20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0	20.0	50.0
Chinú (Feb/82)			118.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2	142.0	16.2
Desviaciones Chivor(Aug/82)			60.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-	165.0	-
San Carlos I (Oct/82)			120.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0
Zipaquirá V (Dec/83)					7.8	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7	94.0	10.7
San Carlos II (Mar/84)							360.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0	480.0	100.0
Jaguas (May/84)							58.0	28.0	99.0	28.0	99.0	28.0	99.0	28.0	99.0	28.0	99.0	28.0	99.0	28.0
Betania (Apr/86)											200.0	65.0	306.0	65.0	306.0	65.0	306.0	65.0	306.0	65.0
Guavío (Jan/88)														495.0	65.0	540.0	65.0	540.0	65.0	
Urrá (Mar/89)																423.0	85.0	564.0	85.0	
TOTAL DE PARTICIPACIONES	350.2	58.5	685.0	224.7	1181.8	235.4	1686.0	363.4	1847.0	363.4	2047.0	428.4	2153.0	428.4	2648.0	493.4	3116.0	578.4	3257.0	578.4

COSTO DE DESARROLLO DE PROYECTOS ALTERNOS  
( Costo en miles de dólares (US\$) )

PROYECTO	CAPACIDAD INSTALADA		ENERGIA DEL EQUIPO		FACTOR DE PLANTA		COSTO DE EQUIPO	COSTO DE TRANSMISION	COSTO TOTAL	INDICE	CONTINGEN- CIAS E IN- GENIERIA	COSTO TOTAL	INDICE DE COSTO (Dic. 1979)	
	Inicial MW	Final MW	Media GWh/año	Mínima GWh/año	Medio	Mínimo	US\$	US\$	US\$	US\$/kW	%	US\$	US\$/kW	mills/kW
SAN JUAN	1500	1500	5850	5730	0.45	0.44	739260	98140	837400	558	34.81	1128930	753	28.13
SOGAMOSO	1200	1200	5820	4170	0.55	0.40	792860	34720	827580	690	35.19	1036020	863	28.36
MIEL II (con Guarino)	351	351	2030	1340	0.66	0.43	215580	12000	227560	648	25.07	284600	811	20.83
MIEL I (Sin Guarino)	324	324	1360	860	0.48	0.30	185660	13690	199350	615	24.74	248670	768	24.36
MIEL I (con Guarino Y MIEL II)	384	384	1680	1346	0.50	0.40	199390	13690	213080	555	24.58	265460	691	21.04
RIO GRANDE II	204	204	1390	1200	0.78	0.67	90080	10640	100720	494	29.82	130750	641	12.72
PATIA I	1110	1110	4623	3996	0.48	0.41	520300	90130	610430	550	24.54	760240	685	26.51
PATIA II	970	970	4203	3633	0.50	0.43	372410	91000	463410	478	24.08	575000	593	20.20
CANAFISTO	1500	1800	7370	4560	0.47	0.29	681620	77070	758690	436	14.59	945220	543	20.07
ITUANGO	4200	4200	18080	12000	0.49	0.33	1491640	196830	1688470	402	20.65	2205980	525	14.64
JULUMITO	53	53	320	260	0.69	0.55	99390	1170	100560	1897	24.71	125410	2366	50.23
NEME	512	512	2550	2110	0.57	0.47	355260	15960	341220	666	25.18	427150	834	29.26
TERMoeLECTRICOS (de Carbón)	300	300	-	-	-	-	183960	11150	195110	650	20.76	235630	785	39.34**

\* Factor de descuento del 12%

\*\* Incluye 15 mills/kWh de Costo de Combustible

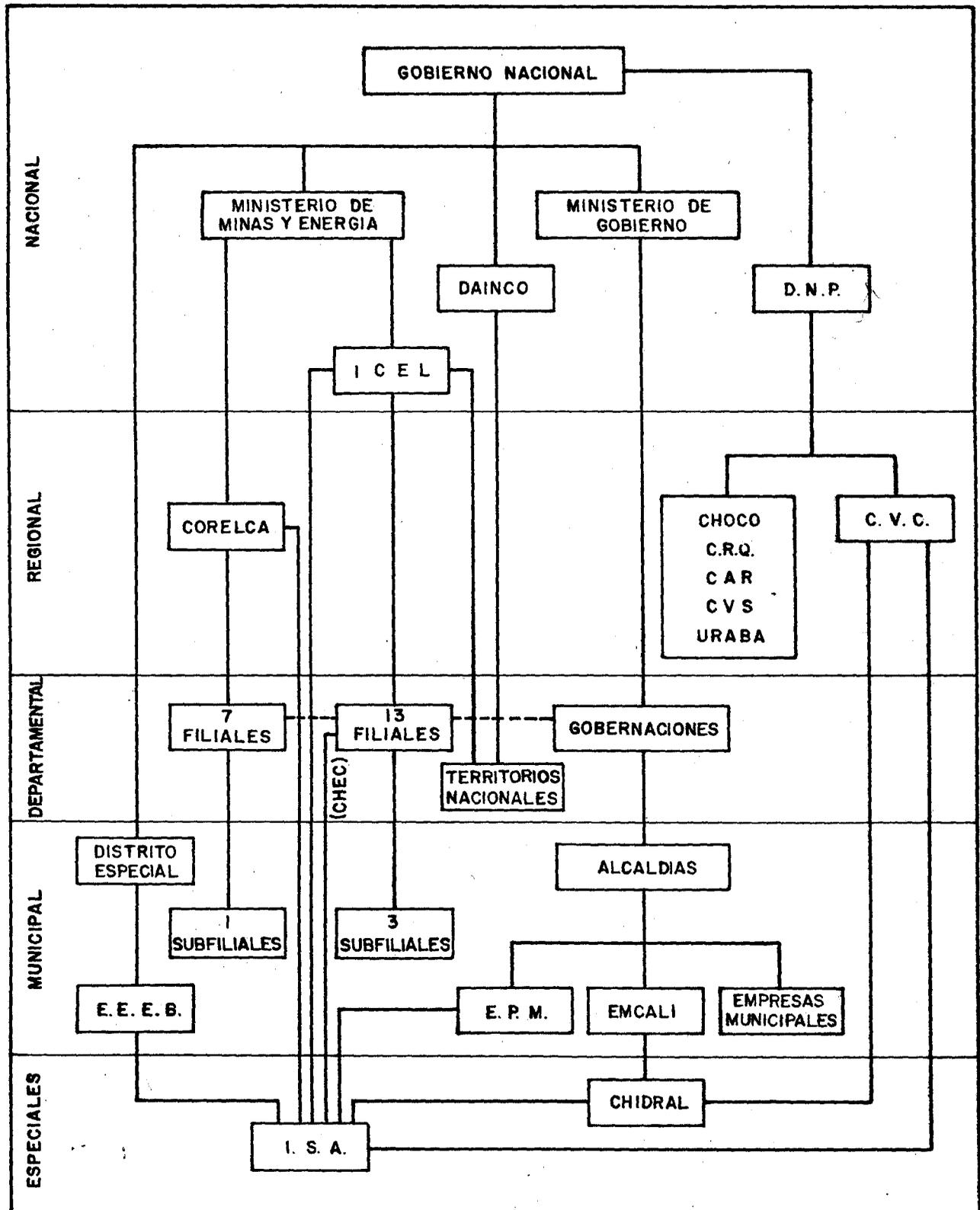
Fuente : Programa de Generación, ISA, Abril 1981, Datos con base 1979.

SECCION 2 - LISTA DE FIGURAS

- 2.1 Estructura Institucional del Sector Eléctrico
- 2.2 Sistema Eléctrico Colombiano
- 2.3 Sistema Eléctrico Colombiano - Interconexión Eléctrica - Líneas de Transmisión Existentes.
- 2.4 División Regional del Sector Eléctrico
- 2.5 Plan de Expansión del Sistema Interconectado 1980 - 1988.
- 2.6 Proyecciones de Demanda de Potencia Pico Agregada y de la Capacidad Instalada del Sistema Interconectado Colombiano.
- 2.7 Proyecciones de Demanda y Energía Disponible del Sistema Interconectado.
- 2.8 Proyecciones de Demanda de Potencia Pico y capacidad Instalada del Sistema CVC-CHIDRAL Incluyendo Participación en el Sistema Interconectado.
- 2.9 Proyecciones de Demanda y Energía Disponible del Sistema CVC-CHIDRAL Incluyendo Participación en el Sistema Interconectado.
- 2.10 Curva de Duración de Demanda Horaria-Sistema CVC-CHIDRAL.

FIG 2.1

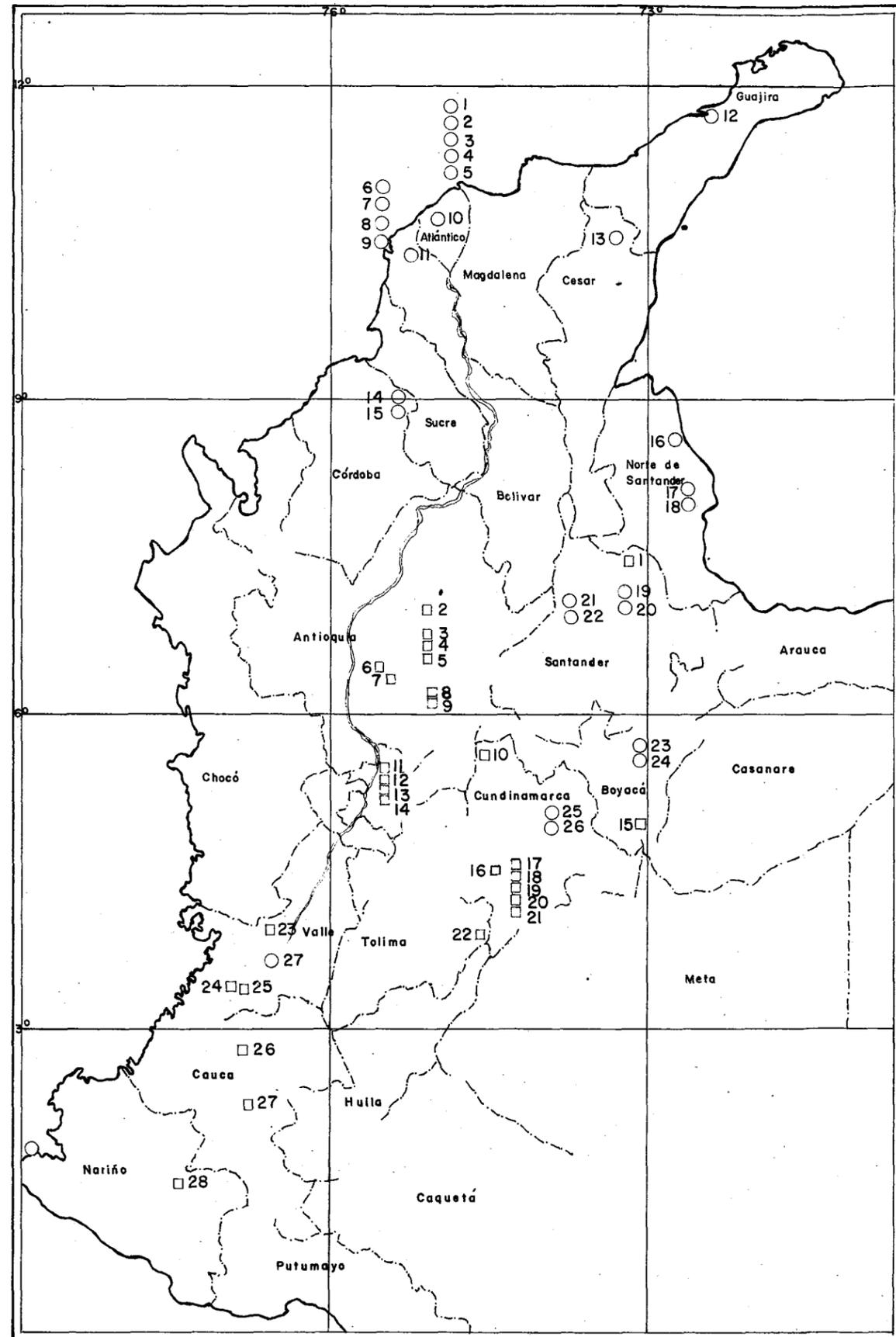
**ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DEL SECTOR ELECTRICO**  
*Institutional Structure of Electrical Sector*



Fuente: "La Electrificación en Colombia", ICEL 1981

# SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO FIG 2.2

Colombian Electric System



CENTRALES HIDROELECTRICAS <i>Hydroelectric Plant</i>			CENTRALES TERMoeLECTRICAS <i>Thermoelectric Plants</i>		
NUMERO	PLANTA	CAPACIDAD-MW	NUMERO	PLANTA	CAPACIDAD-MW

1	Palmas	18	1	El Rio	40
2	Troneras	36	2	Turbogas B/quilla	42
3	Guadalupe I	40	3	El Rio	62.8
4	Guadalupe II	10	4	La Union y Rio Mar	35.8
5	Guadalupe III	240	5	La Union	37.7
6	Rio Grande	204	6	Cospique	15
7	Piedrasblancas	11.5	7	Cospique	37.2
8	Guatape I	280	8	Cospique	12.5
9	Guatape II	280	9	Turbogas C/gena	19.5
10	Rio Negro	9.6	10	Termonorte	264
11	La Insula	12	11	Termo Cartagena	19.8
12	La Insula	15	12	Termo Ballenas	30
13	La Esmeralda	30.6	13	Codazzi	15.6
14	San Francisco	135	14	Chinú	14.1
15	Chivor I	500	15	Chinú	15
16	Canoas	50	16	Tibú	18
17	Salto I	54.5	17	Zulia I	15
18	Salto II	66	18	Zulia II	15
19	Laguneta	80	19	Turbogas B/manga	21
20	Colegio I	150	20	Palenque	15
21	Colegio II	150	21	B/bermeja	28
22	Prado	51	22	Barranca	66
23	Calima	120	23	Paipa I	33
24	Bajo Anchicaya	64	24	Paipa II	66
25	Alto Anchicaya	340	25	Termozipa	66
26	Hondo	440	26	Zipaquirá	70.5
27	Florida II	24	27	Yumbo	53
28	Mayo	21			

### CONVENCIONES

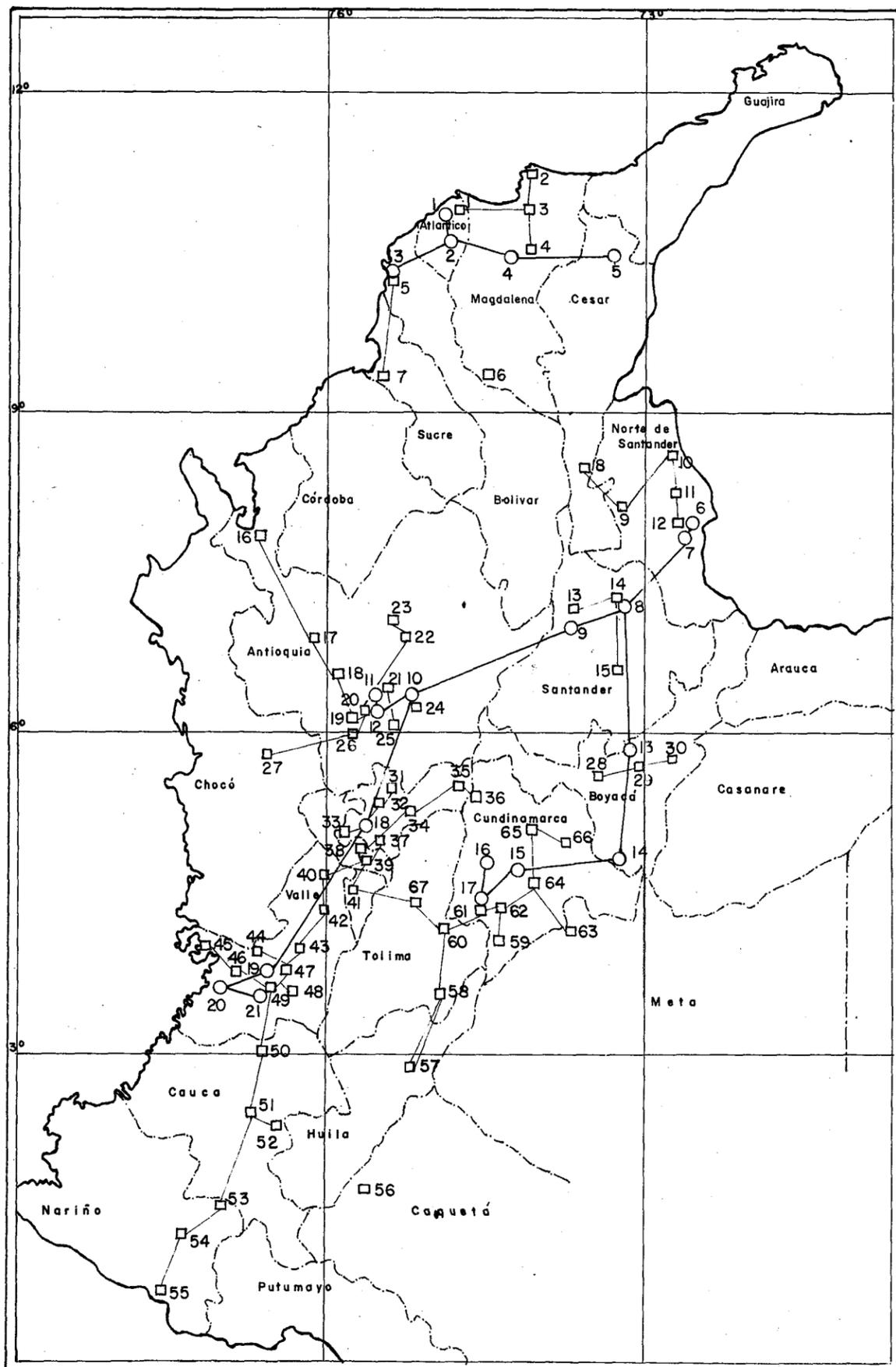
- CENTRALES HIDROELECTRICAS
- CENTRALES TERMoeLECTRICAS

NOTA: Tomado de "La Electrificación en Colombia 1979-1980" ICEL

**SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO - INTERCONEXION ELECTRICA**  
*Colombian Interconnected System* *Electric Interconnection*

**LINEAS DE TRANSMISION EXISTENTES**  
*Existing Transmission Lines*

FIG 2.3



**SUBESTACIONES LINEA DE 115 Kv**

NUMERO SUBESTACION

- 1 Barranquilla
- 2 Santa Marta
- 3 Ciénaga
- 4 Fundación
- 5 Cartagena
- 6 Mompos
- 7 Toluviéjo
- 8 Ayacucho
- 9 Ocaña
- 10 Tibú
- 11 Zulia
- 12 Belén (Norte de Santander)
- 13 Barrancabermeja
- 14 Bucaramanga
- 15 San Gil
- 16 Apartadó
- 17 Frontino
- 18 Antioquia
- 19 Belén (Antioquia)
- 20 Medellín
- 21 Miraflores
- 22 Guadalupe
- 23 Yarumal
- 24 Guatapé
- 25 Río Negro (Antioquia)
- 26 Bolomboló
- 27 Quibdó
- 28 Tunja
- 29 Paipa
- 30 Belencito
- 31 Salamina
- 32 Irira
- 33 Viterbo
- 34 Manzanaras
- 35 Dorada
- 36 Río Negro (Cundinamarca)
- 37 Manizales
- 38 Insula
- 39 Pereira
- 40 Cartago
- 41 Armenia
- 42 Zarzal
- 43 Buga
- 44 Calima
- 45 Buenaventura
- 46 Anchicayá
- 47 Yumbo
- 48 Palmira
- 49 Cali
- 50 Salvajina
- 51 Popayán
- 52 Florida II
- 53 Río Mayo II
- 54 Pasto
- 55 Ipiales
- 56 Florencia
- 57 Neiva
- 58 Prado
- 59 Fusagasugá
- 60 Flandes
- 61 El Colegio
- 62 Muña
- 63 Villavicencio

**SUBESTACIONES LINEA DE 115 Kv**

NUMERO SUBESTACION

- 64 Bogotá
- 65 Zipaquirá
- 66 Sesquilé
- 67 Ibagué

**SUBESTACIONES LINEA DE 220 Kv**

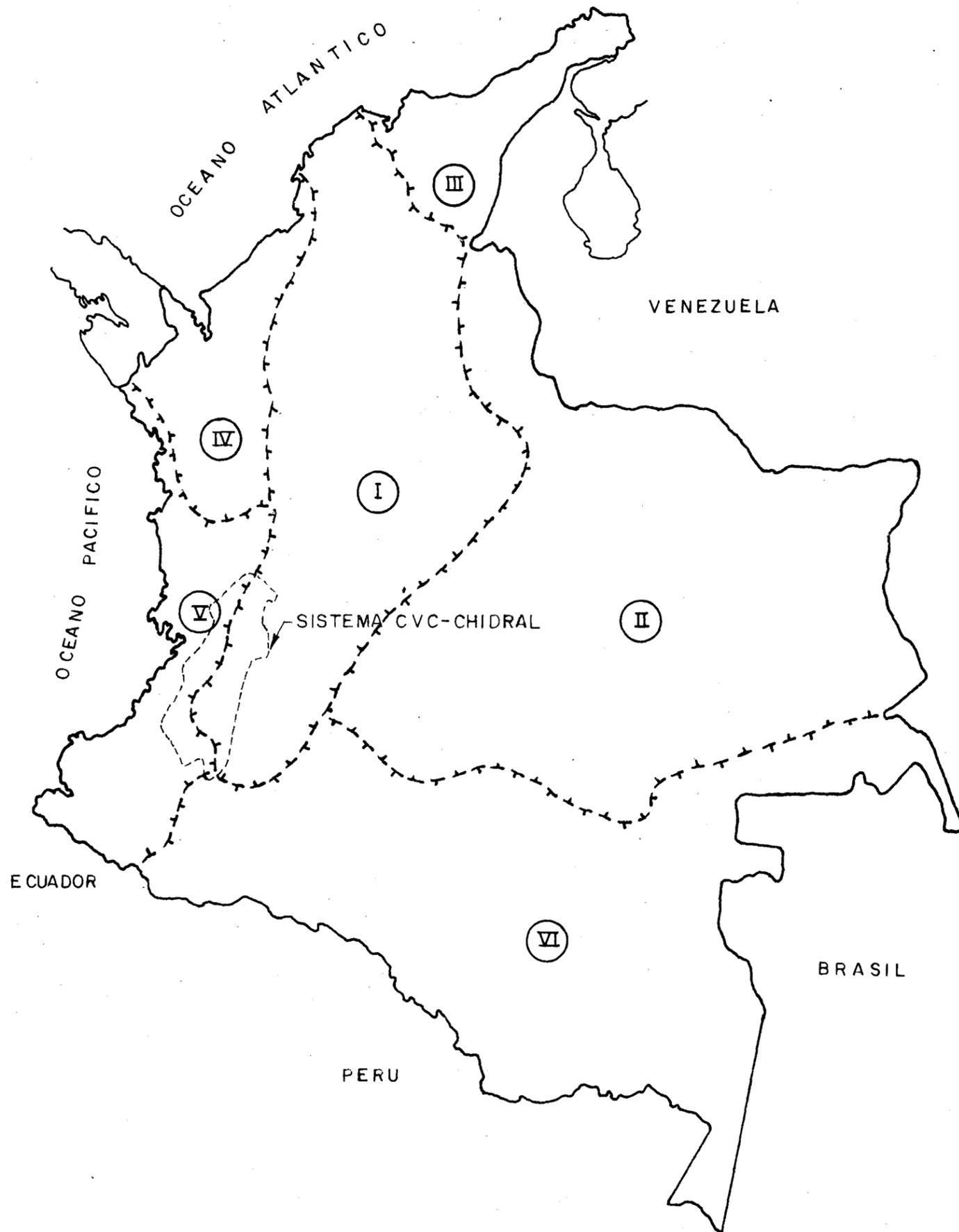
NUMERO SUBESTACION

- 1 Barranquilla
- 2 Sabanalarga
- 3 Cartagena
- 4 Fundación
- 5 Valledupar
- 6 Belén (Norte de Santander)
- 7 Cúcuta
- 8 Bucaramanga
- 9 Barrancabermeja
- 10 Guatapé
- 11 Miraflores
- 12 Medellín
- 13 Paipa
- 14 Chivor
- 15 Facatativá
- 16 Balsillas
- 17 La Mesa
- 18 Esmeralda
- 19 Yumbo
- 20 Anchicayá
- 21 Cali

**CONVENCIONES**

LINEAS DE TRANSMISION	SUBESTACIONES
————— 220 Kv	○ 220 Kv
————— 115 Kv	□ 115 Kv

NOTA: Tomado de "La Electrificación en Colombia 1979-1980" ICEL



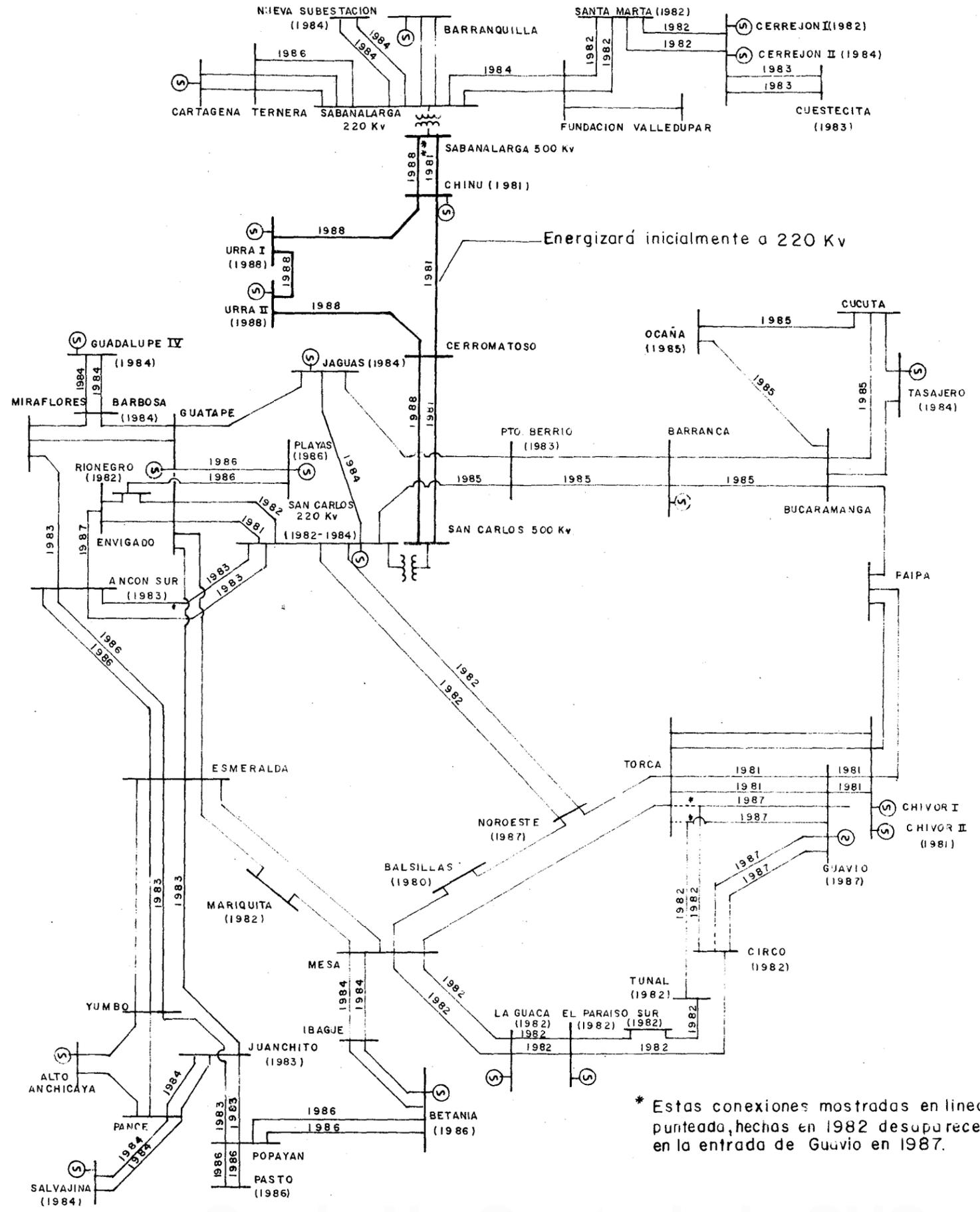
**DIVISION REGIONAL DEL SECTOR ELECTRIC**  
*Regional Division of the Electrical Sector.*

**REGIONES**

- I Magdalena - Cauca
- II Orinoco - Catatumbo
- III Sierra Nevada - Guajira
- IV Atrato - Sinú
- V Vertiente del Pacífico
- VI Amazonía

NOTA Tomado de "Estudio del Sector de Energía Eléctrica" Departamento Nacional de Planeación - 1979

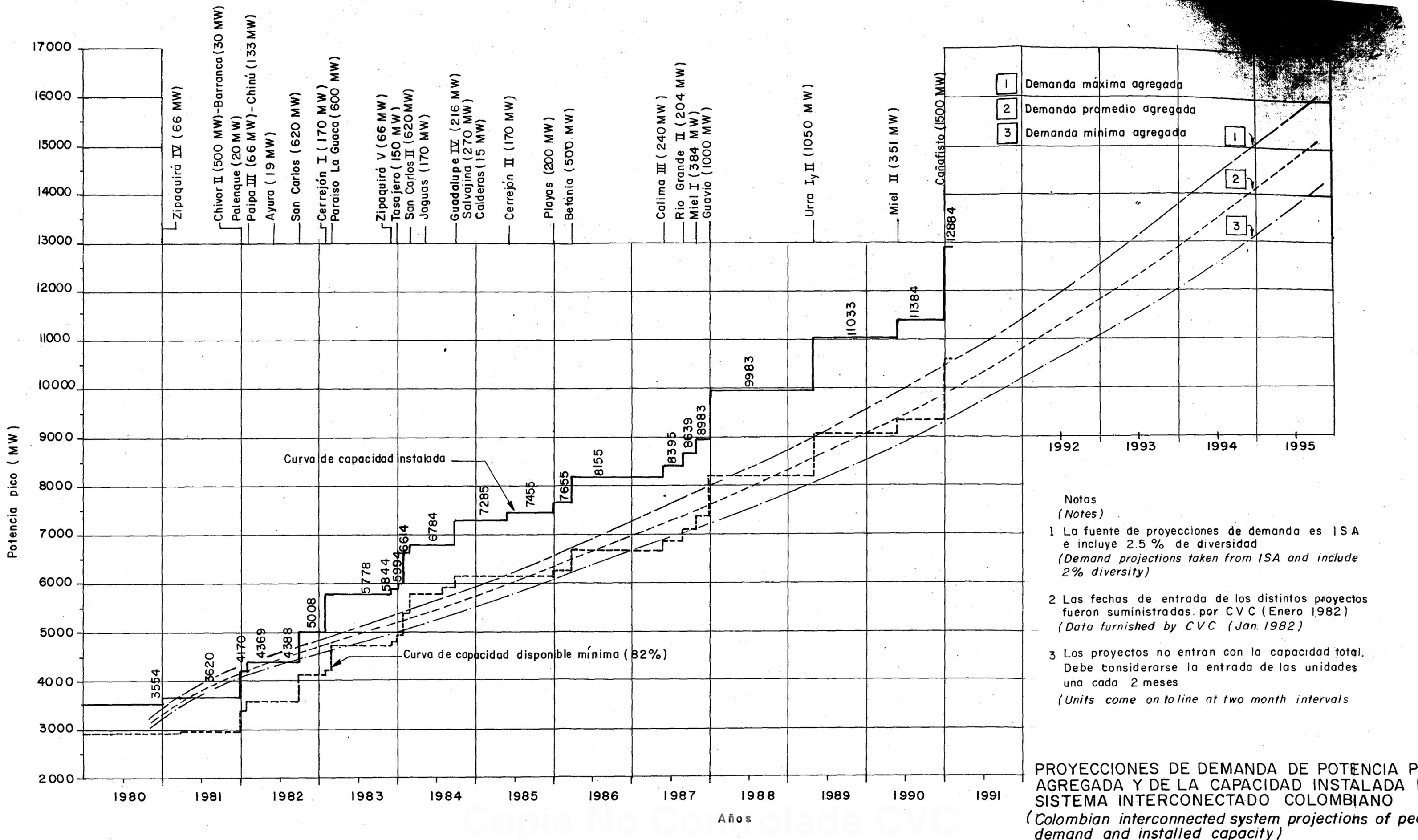
**CVC** CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
 DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

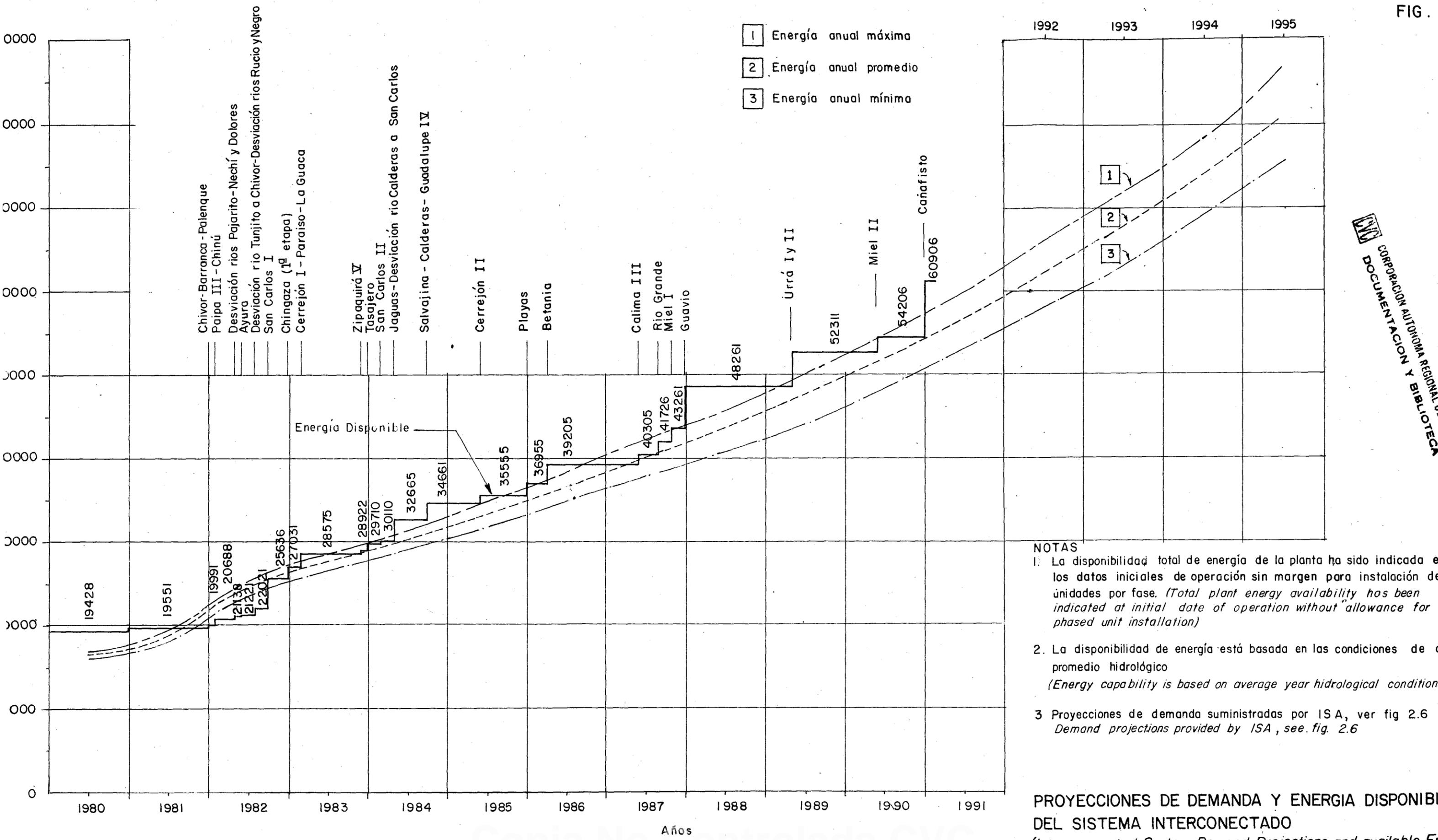


- CONVENCIONES**
- Linea a 220 Kv
  - Linea a 500 Kv
  - 1981 Fecha de entrada en operación de líneas de transmisión
  - (1981) Fecha de entrada en operación de central o subestación

FUENTE : "Programa de Generación" ISA Abril 1981

\* Estas conexiones mostradas en línea punteada, hechas en 1982 desuparecen en la entrada de Guavio en 1987.



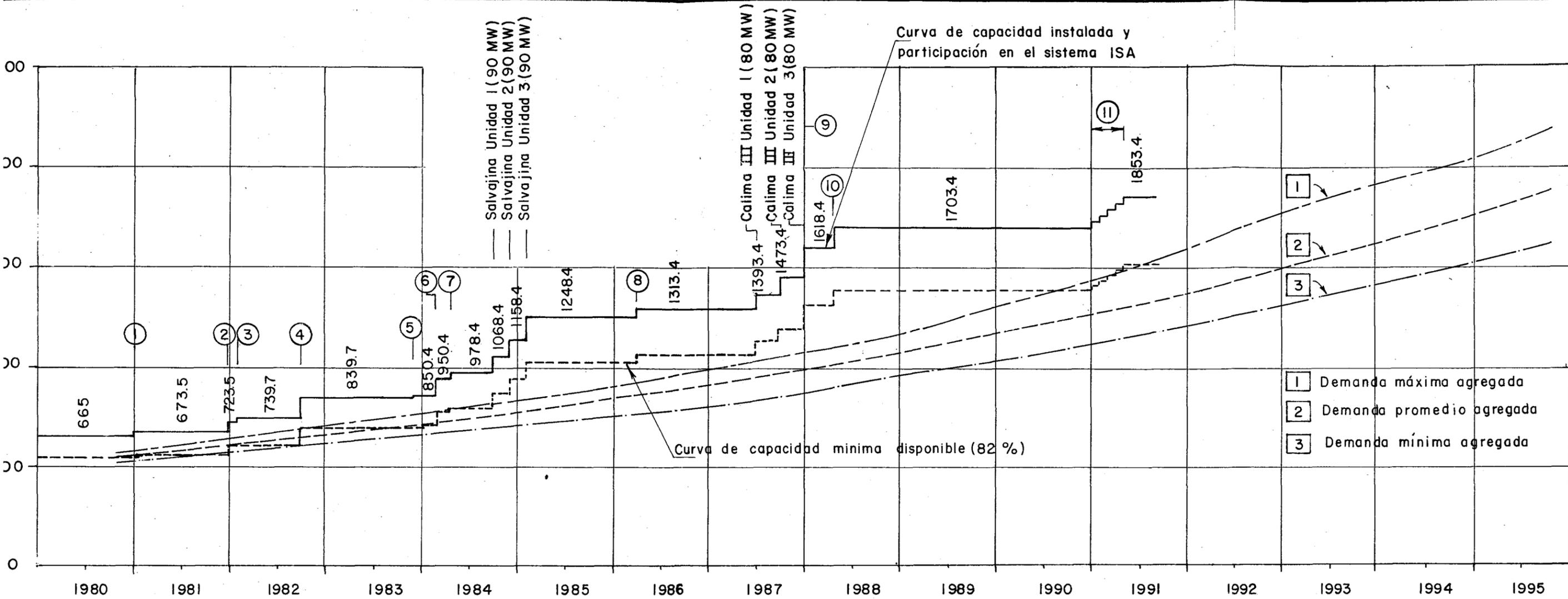


CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAQUETA  
 DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

**NOTAS**

- La disponibilidad total de energía de la planta ha sido indicada en los datos iniciales de operación sin margen para instalación de unidades por fase. *(Total plant energy availability has been indicated at initial date of operation without allowance for phased unit installation)*
- La disponibilidad de energía está basada en las condiciones de promedio hidrológico. *(Energy capability is based on average year hydrological conditions)*
- Proyecciones de demanda suministradas por ISA, ver fig 2.6. *(Demand projections provided by ISA, see fig. 2.6)*

**PROYECCIONES DE DEMANDA Y ENERGIA DISPONIBLE DEL SISTEMA INTERCONECTADO**  
*(Interconnected System Demand Projections and available Energy)*

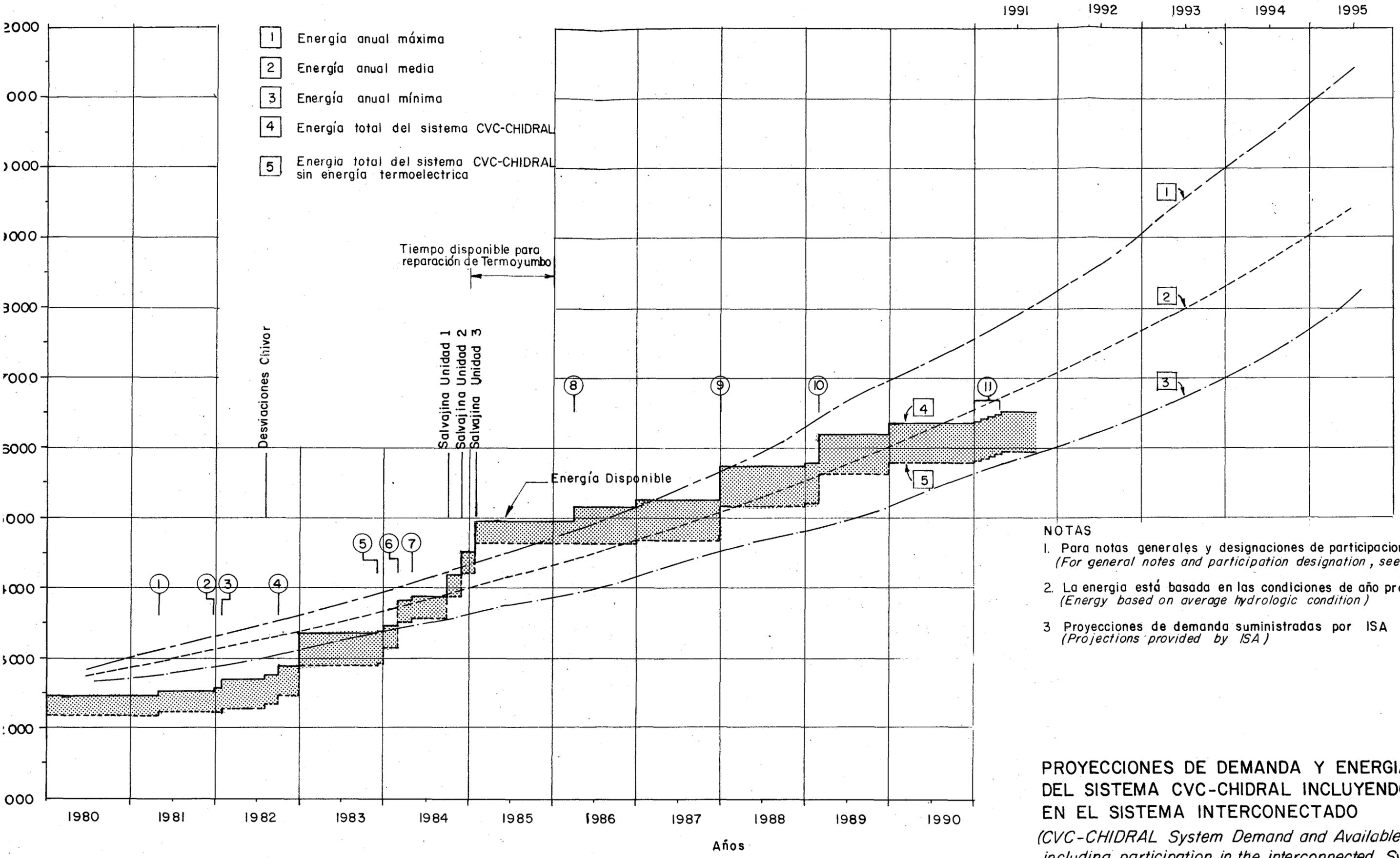


**DESIGNACION Y CANTIDAD DE PARTICIPACION**  
*Designation and Amount of Participation.*

NUMERO	PROYECTO	CANTIDAD MW
1	Zipaquirá	8.5
2	Chivor II	50.0
3	Chinú	16.2
4	San Carlos I	100.0
5	Zipaquirá V	10.7
6	San Carlos II	100.0
7	Jaguas	28.0
8	Betania	65.0
9	Guavío	65.0
10	Urrá	85.0
11	Cañafisto	150.0

- NOTAS: 1. La fuente de proyecciones de demanda es ISA e incluye 2.5% de diversidad. (Demand projections taken from ISA and include 2.5% diversity)
2. Las fechas de entrada de los proyectos Salvajina y Calima III y los valores de las diferentes participaciones en los proyectos fueron suministrados por CVC. (Enero 1982). (Start up dates of Salvajina and Calima III and amounts of participation, supplied by CVC. (Jan 1982).)
3. La participación en Chivor I de 50 MW es anterior a 1980 (The 50 MW participation in Chivor I began in 1977.)

PROYECCIONES DE DEMANDA DE POTENCIA PICO Y CAPACIDAD INSTALADA DEL SISTEMA CVC - CHIDRAL INCLUYENDO PARTICIPACION EN EL SISTEMA INTERCONECTADO (CVC - CHIDRAL System Demand Projections of peak demand and Installed Capacity Including participation in the Interconnected System)



**NOTAS**

- 1. Para notas generales y designaciones de participaciones, ver fig 2.8  
(For general notes and participation designation, see fig 2.8)
- 2. La energía está basada en las condiciones de año promedio hidrológico  
(Energy based on average hydrologic condition)
- 3. Proyecciones de demanda suministradas por ISA  
(Projections provided by ISA)

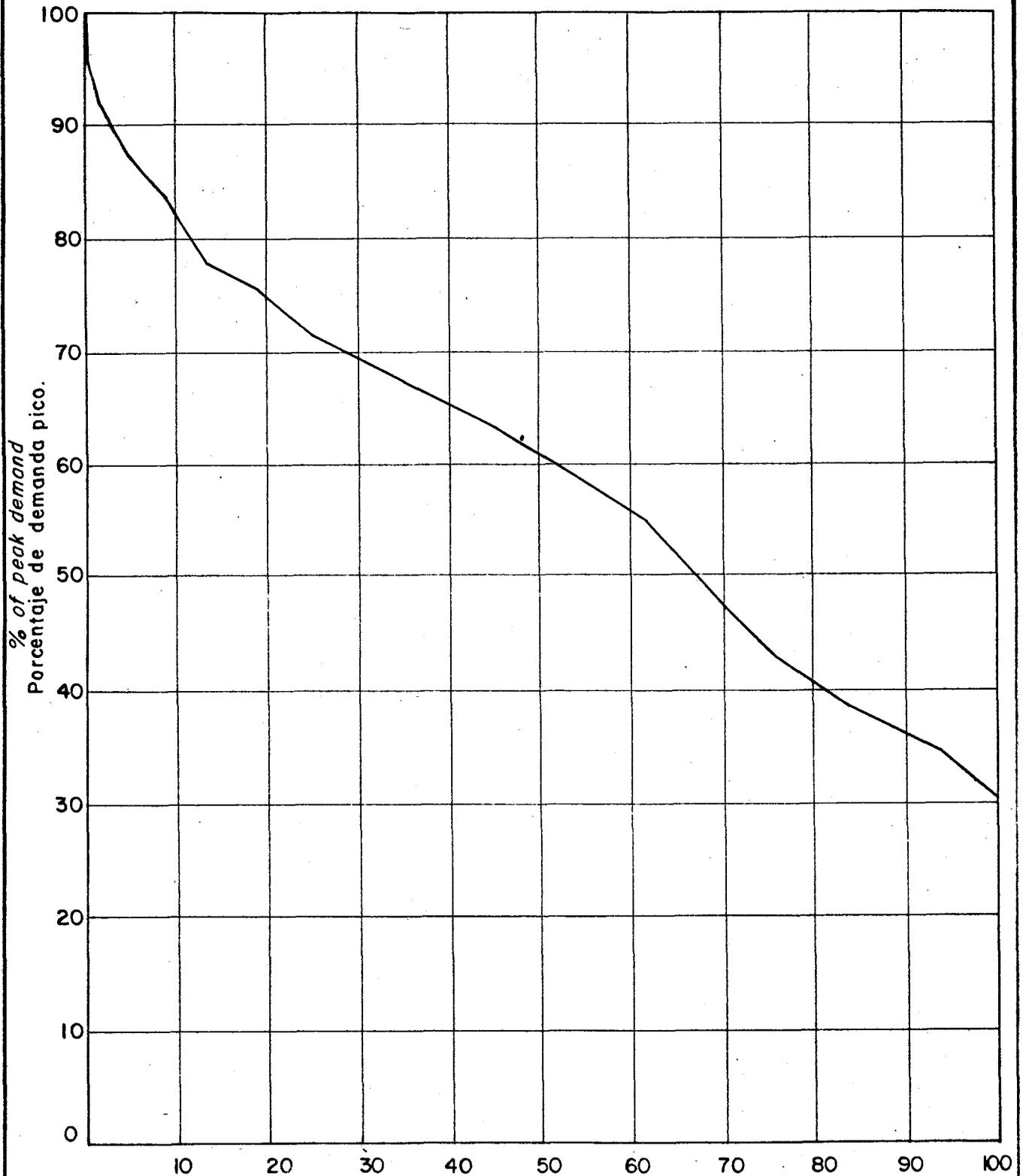
**PROYECCIONES DE DEMANDA Y ENERGIA DISPONIBLE DEL SISTEMA CVC-CHIDRAL INCLUYENDO PARTICIPACION EN EL SISTEMA INTERCONECTADO**  
(CVC-CHIDRAL System Demand and Available Energy Projection including participation in the interconnected System.)

FIG 2.10

CURVA DE DURACION DE DEMANDA HORARIA

SISTEMA CVC - CHIDRAL \*

Hourly Demand Duration Curve, CVC-CHIDRAL System.



Porcentaje de tiempo en el cual la demanda es igualada o excedida  
*% of time in which the demand is equalled or exceeded*

\* - Basado en la operación del sistema 1979, Suministrado por CHIDRAL

SECCION 3 - IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

TABLA DE CONTENIDOS

- 3.1 Ubicación y Acceso Existente
- 3.2 Cuenca del Río Calima
- 3.3 Calima I
  - 3.3.1 Descripción del Proyecto
  - 3.3.2 Características Operacionales
- 3.4 Calima II
- 3.5 Topografía
  - 3.5.1 Generalidades
  - 3.5.2 Levantamiento de Campo
  - 3.5.3 Programa de Estudio

Figuras

 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOTECA

## SECCION 3

### CONSIDERACIONES SOBRE DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1 UBICACION Y ACCESO EXISTENTE

Situado sobre el río Calima, Calima III dista aproximadamente 55 km de la ciudad de Cali. El Plano 100 muestra la ubicación general del proyecto. El área del proyecto tiene acceso por la carretera que circunvala el proyecto de Calima I existente. Esta carretera conecta el puerto de Buenaventura con Buga y empalma en Loboguerrero con la carretera a Cali. Hay además otras carreteras que conectan a Buga con Cali dentro del Valle mismo. El tramo de carretera entre Vijes y Yotoco por la margen izquierda del río Cauca está siendo rectificado. Esta nueva carretera permitirá reducir el tiempo de viaje entre Cali-Yumbo-Madroñal a menos de una hora y media.

Los Planos 101 y 102 muestran el área del Proyecto con mayor amplitud e indican la inter-relación entre Calima I y Calima III. Como puede observarse, Calima III comienza unos 7.5 km aguas abajo del túnel de fuga del Calima I existente. Hay acceso por una carretera sin pavimentar que va desde Calima I hasta cerca de la confluencia del río Bravo, y que sigue hacia arriba del Valle del río Bravo por varios kilómetros. Esta carretera fue construida por la municipalidad del Darién. Una buena parte de esta vía, aguas abajo del desvío del camino para servicio de la Casa de máquinas de Calima I, necesitará mejorarse notablemente y posiblemente rectificarse, para que pueda ser utilizable durante la construcción del proyecto.

#### 3.2 CUENCA DEL RIO CALIMA

El río Calima es el principal afluente del río San Juan antes de su desembocadura en el Océano Pacífico. El río nace en la Cordillera Occidental y fluye inicialmente en una dirección Norte-Sur. En Calima I el río cambia de rumbo y desciende la Cordillera en dirección Este-Oeste.

En la Sección 5 se presenta una descripción completa del río y de su hidrolo-

gía. Para efectos de este estudio la cuenca del Calima se ha dividido, arbitrariamente, en los tres sectores siguientes:

- Calima Alto - Que es la parte de la cuenca situada arriba de la Cota 1180 m, que fue ya desarrollada por el Proyecto Calima I.
- Calima Medio - Que es la parte de la cuenca que queda entre las Cotas 300 m y 1180 m y en la cual se encuentra el tramo más pendiente del río.
- Calima Bajo - Que es la parte de la cuenca que queda entre las cabeceras del Proyecto San Juan y la Cota 300 m; se caracteriza por un descenso más gradual del río y comprende una zona de muy alta precipitación regional.

Los tramos más bajos de Calima Bajo son navegables por pequeñas embarcaciones y esto se ha traducido en alguna intrusión de población en el área. Como se indicó arriba, esta parte de la cuenca podría eventualmente afectarse por el Proyecto San Juan (1), que en la forma actualmente programada iniciará su desarrollo a partir de la Cota 35 m (IGAC). Sin embargo, debido a una persistente nubosidad - climatología tropical húmeda - y a su densa vegetación, la mayor parte de la cuenca del Calima Bajo y Medio se encuentra deshabitada. Durante un reconocimiento muy extenso de esta zona practicado por helicóptero, desde la desembocadura del río Chanco y los tramos bajos del río sólo se encontró una familia establecida entre la confluencia del río Chanco y los tramos más bajos del río. Esta circunstancia, más el hecho de que el río Calima aguas abajo de Madroñal forma un cañón angosto cortado en V, con laderas muy pendientes, ha impedido realmente el acceso a la cuenca central, para cartografía y recolección de información.

A diferencia del Calima Medio/Bajo, la parte de la cuenca del Calima Alto tiene una exposición frontal al Valle del Cauca, y su clima es moderado lo cual ha permitido un desarrollo relativamente mayor.

El embalse de Madroñal, con un área superficial de cerca de 19 km<sup>2</sup>, es un medio importante de recreación.

### 3.3 CALIMA I

#### 3.3.1 Descripción del Proyecto

El Calima I entró en operación en 1967 y desarrolla una caída bruta de aproximadamente 228 m entre las Cotas 1180 m y 1408.5 m. Uno de sus principales elementos es el embalse de Madroñal constituido por una presa de enrocado de 125 m de altura. Este embalse tiene un volumen de almacenamiento de 523 millones de metros cúbicos y proporciona una regulación multianual del caudal.

La casa de máquinas de Calima I es una instalación subterránea diseñada para servicio de picos. Sus cuatro unidades de 30 MW trabajan con un factor de planta de 0.20. La descarga media es de 13.2 m<sup>3</sup>/s; la descarga nominal es de 65 m<sup>3</sup>/s.

Otros de sus elementos importantes (ver Plano 102) es un túnel de desviación de 7200 m de longitud que fue construido para llevar al embalse de Madroñal las aguas de la parte alta de la cuenca de un tributario que entra al Calima aguas abajo -- el río Bravo -- . En realidad cuando se formuló este proyecto se contempló también la desviación de los caudales de otros ríos situados más hacia el Norte del embalse. Desafortunadamente, durante la construcción de Calima I se determinó que estas obras no eran económicas y en consecuencia se prescindió de tomarlas en consideración. Debe hacerse hincapié aquí, en que el desarrollo completo del río Calima ciertamente justifica la re-evaluación de cualquier posible desviación de los ríos del Norte de la vertiente Occidental. Los primeros estudios se basaron en la utilización de una caída neta de sólo 215 m, mientras que el aprovechamiento total del río Calima puede desarrollar fácilmente una caída de cerca de 1300 m.

El Calima I tiene un túnel de fuga de 1600 m parcialmente revestido que fue materia de investigación especial durante el presente estudio. Los resultados de este estudio se presentan posteriormente ya que este túnel actualmente restringe las descargas de la planta de Calima I, las cuales tienen influencia directa en el dimensionamiento de las instalaciones de todos los proyectos por construirse aguas abajo.

Por último y de importancia para Calima III, la descarga de fondo de Calima I entrega en el túnel del vertedero. Esta salida tiene una capacidad de 45 m<sup>3</sup>/s con el embalse lleno y fue sujeta a pruebas con modelo. Los operadores de la planta han indicado que la salida de fondo es operacional y que está sujeta a inspecciones de rutina.

### 3.3.2 Características de Operación

Por contar con el único embalse de almacenamiento en el Sistema CVC-CHIDRAL, Calima I ha sido hasta ahora operado con sensatez. Durante períodos largos de racionamiento el proyecto ha estado usualmente reservado para servir a contratos individuales en el área de Yumbo. Sin embargo, se hace necesario operar el proyecto en conjunto con otras fuentes de energía. Los estudios de factibilidad del Alto Anchicayá (2) -- que es esencialmente un proyecto a filo de agua con un embalse útil de 30 Mm<sup>3</sup> -- demostraron que la operación combinada con Calima I se traduciría en un mejoramiento de la capacidad de energía total de ambos proyectos.

Con la construcción del proyecto Salvajina -- un proyecto de almacenamiento estacional -- y la terminación de otros proyectos de almacenamiento en el Sistema Interconectado, es de esperarse un cambio en la operación de Calima I.

Haciendo nuevamente referencia a la Figura 2.3, puede fácilmente verse que Calima I es una fuente valiosa de condensación sincrónica para la red de transmisión primaria. Una vez terminada Salvajina se ha proyectado transferirle esta función de Calima I. Esta práctica en la operación actual de Calima I, se considera responsable del severo daño por cavitación en los rodets de las turbinas de la planta (55).

### 3.3.3 Revisión Posterior a la Construcción

#### 3.3.3.1 Generalidades:

Durante este estudio fue necesario naturalmente re-evaluar las capacidades de Calima I ya que este proyecto tiene influencia en la implementación de los

proyectos aguas abajo. Entre los principales aspectos estudiados figuran los siguientes:

- Disposición de sedimentos en el embalse de Madroñal. Los levantamientos con sonda batimétrica que CVC adelanta, se comentan en la Sección 5.
- Restricciones de la salida en descargas para generación.
- Modificaciones de la planta para mejorar la capacidad de generación.

Además de lo anterior, se descubrió casualmente que la cuenca de drenaje del Alto Bravo era en realidad sólo una tercera parte de lo que CVC había considerado inicialmente. Esta área, sin topografía, fue mapeada posiblemente mediante un reconocimiento de campo durante la formulación de Calima I y se estimó un área de 105 km<sup>2</sup> aproximadamente. El análisis económico del proyecto fue elaborado con base en las mediciones de descarga; pero las correlaciones desarrolladas con base en el área de drenaje citada, no dieron resultados aceptables. Posteriormente haciendo la interpretación de las imágenes de Landsat pudo establecerse que el área de esta cuenca tiene solamente 34.7 km<sup>2</sup>. La introducción de esta área corregida en las ecuaciones de generación de caudales produjo excelentes valores de correlación.

#### 3.3.3.2 Restricción del Flujo en el Túnel de Fuga:

La restricción principal en la descarga de Calima I es el túnel de fuga existente. Las características físicas de este túnel aparecen en la Figura 3.1. Aunque el túnel mismo fue diseñado para condiciones de flujo libre por gravedad los criterios de diseño para este túnel estipulaban que el remanso máximo desarrollado en la cámara de compensación, adyacente a la caverna de generación, estaría limitado por el nivel del piso de generadores. Como el túnel de fuga no iba a estar revestido, la cámara de compensación fue dimensionada para minimizar los niveles instantáneos de transiente en caso de la caída de una roca, bien durante la operación de la planta o en cualquier momento antes de su entrada en línea para operación.

En la forma construida, el túnel de fuga está parcialmente revestido. La Figura

3.1 muestra la sección construida. CHIDRAL, que es el operador de la Central, ha expresado su interés en desarrollar la capacidad nominal indicada; es decir, la operación actual tiene una descarga máxima de planta limitada a 65 m<sup>3</sup>/s (La descarga se determina con los medidores de flujo de las unidades). La evaluación hidráulica de la planta, incluyendo consideraciones de ariete dentro de los conductos de carga aguas arriba, permitió concluir que este túnel de fuga era la única restricción física para la operación de la planta a un 115% de sobrecarga. Para eliminar la restricción hidráulica se estudiaron dos pequeñas medidas correctivas:

- Completar el revestimiento en concreto en los tramos faltantes de la soleira del túnel de fuga.
- Completar el revestimiento en concreto hasta el arranque del arco del túnel en los tramos no revestidos.

Cualquiera de estas medidas aumentará la capacidad hidráulica del túnel en la medida necesaria para bajar el remanso a niveles aceptables durante la operación con sobrecarga. Sin embargo, el revestimiento hasta el arranque del arco vendría a desarrollar un nivel general de remanso más bajo, aumentando marginalmente el contenido de energía del proyecto por encima del obtenido con el solo revestimiento. La Figura 2.3 muestra condiciones comparativas de descarga para las modificaciones indicadas.

#### 3.3.3.3 Mejoramiento de la Planta:

Al revisar las pruebas de entrega de las unidades, se observó que la selección de turbinas para Calima I permitiría una mayor producción de las unidades. Sin embargo, una vez eliminadas las restricciones de la descarga impuestas por el túnel de fuga, la restricción siguiente serían los generadores mismos. Se solicitó al fabricante revisar la situación (Volumen 2) y formular recomendaciones.

El fabricante del generador indicó que las unidades fueron fabricadas en 1964 y que el aislamiento, Clase B, está bastante deteriorado y requiere rebobinado en un plazo cercano. Se confirmó que las unidades existentes fueron dise-

ñadas para una sobrecarga de 115%; sin embargo, con algunas modificaciones adicionales del generador podrían llegarse a producir un 128% de su capacidad nominal actual. Con el mejoramiento de la planta se haría necesario terminar el revestimiento del túnel hasta el arranque del arco.

#### 3.3.3.4 Conclusiones:

Puede concluirse que Calima I puede mejorarse económicamente. Naturalmente CVC-CHIDRAL debe llevar a cabo una evaluación de costos más detallada (no se investigó con los fabricantes de la válvulas de cierre de las turbinas cuál sería la capacidad de cierre de estas válvulas bajo las nuevas condiciones de descarga asociadas con el mejoramiento de las unidades). Sin embargo, como la descarga máxima de la planta llegaría a cerca de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ , los requisitos de regulación de Calima III tendrían que dimensionarse de conformidad, para tomar en cuenta esta condición en caso de que llegue a materializarse.

Habría que recomendar también el levantamiento cartográfico y la medición hidrológica de los ríos al Norte del embalse de Madroñal. De particular interés son el río Munguidó y sus tributarios, los cuales deben considerarse para una futura desviación intervasal a la toma del Alto Bravo existente. El actual túnel de desviación de flujo libre por gravedad podría presurizarse para aumentar la capacidad hidráulica.

#### 3.4 CALIMA II

En su concepción inicial, Calima I iba a utilizar un túnel de carga largo, que terminaba en la confluencia del río Bravo. En algún momento de su formulación definitiva el proyecto se redujo a un desarrollo del tipo pie de presa y se estudió un Proyecto Calima II en tandem aguas abajo (2). El cañón angosto aguas abajo del túnel de fuga de Calima I no se presta para desarrollar un embalse económico con almacenamiento adecuado para regular en forma significativa las descargas de generación de Calima I. El Proyecto Calima II es por lo tanto una extensión física de Calima I y debe diseñarse para acomodar, tal como se originan, las descargas de Calima I. Al mismo tiempo con la construcción de Calima I se inició el contrato para diseño de Calima II (3). Sin

embargo, más o menos por la misma época se planeaba la creación de ISA (ver Sección 2) y, con la perspectiva de la interconexión, CVC se vió obligada a suspender su actividad en el desarrollo del Calima II.

La instalación de capacidad de picos en Calima I presenta un lastre económico para Calima II. La alta capacidad de descarga, mas el amplio rango de descargas permitido por las cuatro unidades de Calima I, exigiría una inversión excesiva en equipo para Calima II. El Sistema Interconectado y la existencia de desarrollos hidroeléctricos potenciales más económicos en otros sitios del país han diferido el desarrollo propuesto del Calima II con la configuración adoptada en el diseño anterior.

### 3.5 TOPOGRAFIA

#### 3.5.1 General

El estado primitivo de las áreas del Calima Medio/Bajo combinado con la nubosidad casi continua han impedido el levantamiento topográfico completo y han representado un obstáculo en estos estudios.

Afortunadamente para los estudios, como ya se mencionó anteriormente, se logró obtener imágenes fotográficas Landsat del área del proyecto. Estos planos fueron invaluable en la determinación del área de las cuencas de drenaje. No sólo se encontraron discrepancias en el área asignada a algunas de las cuencas de drenaje del río Calima sino también del río Anchicayá. Respecto al Alto Anchicayá, se había creído que el área de la cuenca era 520 km<sup>2</sup>. En realidad es de 318 km<sup>2</sup>. Esto afecta los dos proyectos hidroeléctricos del Anchicayá. La Tabla siguiente muestra los valores asumidos para estas áreas de drenaje comenzando con el estudio de factibilidad del Alto Anchicayá.

#### AREAS DE DRENAJE, Km<sup>2</sup>

<u>Ubicación</u>	<u>Factibilidad</u> (1966)	<u>Inventario ISA</u> (1979)	<u>Landsat</u> (1981)
Bajo Anchicayá	800	680	590
Alto Anchicayá	520	-	318

Los fundamentos de la economía de la cuenca se formularon con base en mediciones directas de caudales; pero la capacidad de diseño del vertedero se escogió con base en consideraciones sobre el área de la cuenca de drenaje.

Hay tres sistemas de coordenadas en el área del proyecto, designados así: IGAC, CVC y Calima. Las ecuaciones de inter-relación entre el Sistema IGAC y el Sistema Calima aparecen en el Plano 102. El Sistema CVC se utiliza particularmente dentro del Valle del Cauca y no se analiza en este estudio. El Calima III está ubicado en su totalidad dentro de los mapas topográficos elaborados con base en el sistema Calima, así como también Calima I. Todos los datos de campo - alturas y coordenadas - que aparecen en este informe están por lo tanto referidos a este sistema.

### 3.5.2 Levantamientos de Campo

Durante la ejecución de este estudio se hizo necesario obtener información topográfica para las investigaciones del proyecto. Inmediatamente antes de iniciar el estudio la CVC disponía de topografía del área que queda entre Calima I y un poco aguas abajo de la confluencia del Azul al Calima, obtenida por restitución de fotografías aéreas. La restitución fue hecha a la escala 1:5000 con curvas de nivel con intervalos de 10 m. Los planos disponibles a escalas mayores resultaron inexactos. Se dispuso además de fajas de fotografía aérea sobre tramos del río aguas abajo, pero sin control de tierra. Para suplementar la información cartográfica se llevaron a cabo los siguientes levantamientos de campo:

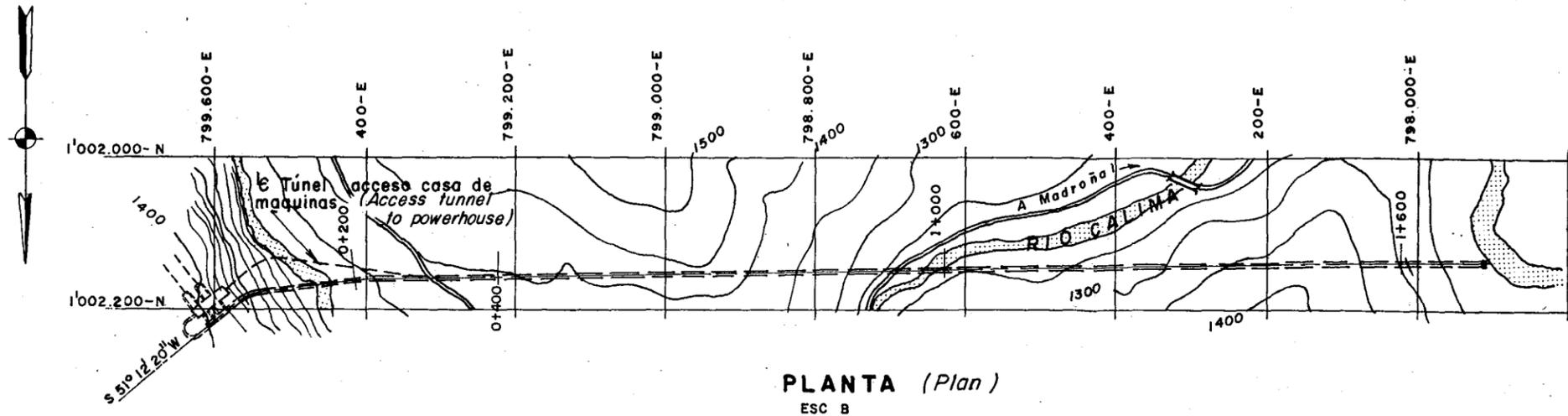
- Restitución Cartográfica - Del área que se muestra en el Plano 102 ubicada aguas abajo de la confluencia Azul-Calima, restituida a escala 1:10,000 con curvas de nivel a intervalos de 10 m.
- Cartografía Detallada del Sitio - Del sitio de Presa de Río Bravo, el sitio de Presa de Cristalina, el Cruce de Cristalina, la Casa de Máquinas del Chanco y el área de la Almenara, a escala 1:1000, con curvas de nivel de 2 m a 5 m.
- Poligonales - Para determinar distancias y ubicación de los sitios de desviación a tributarios y el alineamiento de las tuberías de carga.

### 3.5.3 Programa para Levantamientos Adicionales

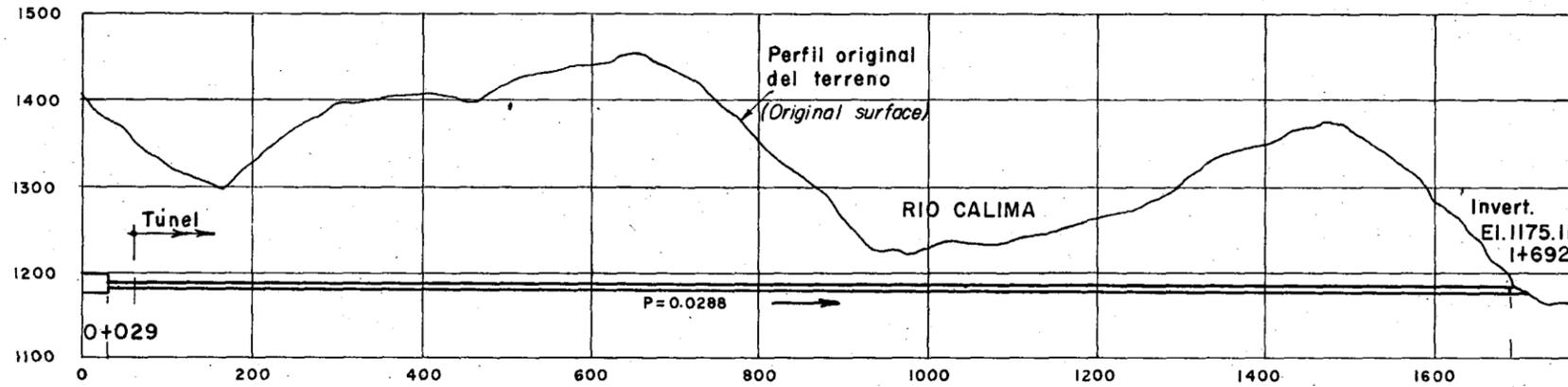
Durante el período del diseño definitivo será necesario continuar con la elaboración de mapas topográficos. Particularmente, se necesitará elaborar mapas detallados del sitio de todas las desviaciones de los tributarios y sus elementos componentes. La cartografía del Azul/Militar no quedó determinada durante este estudio. Se recomienda además suministrar más cartografía, del sitio de Presa de Río Bravo ya que esto vendrá a ayudar al contratista en la planificación de la disposición de la planta de construcción y de las vías de construcción.

SECCION 3 - LISTA DE FIGURAS

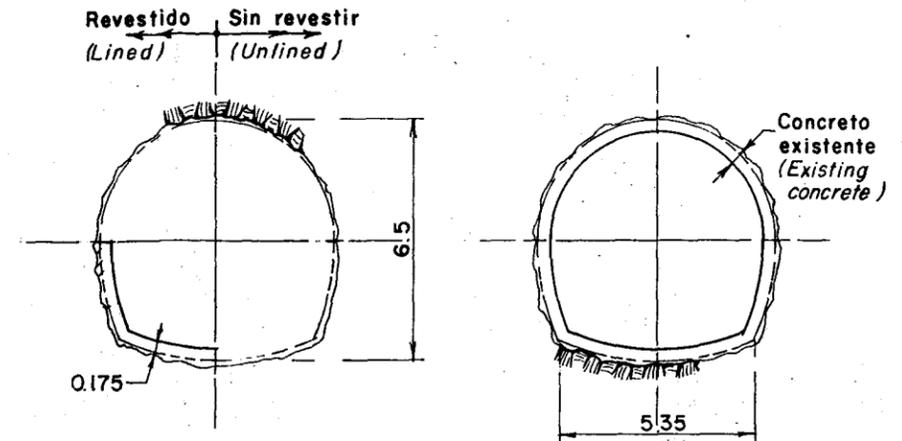
- 3.1 Modificación Propuesta para el Túnel de Fuga  
Calima I (Hoja 1 de 2)
- 3.2 Modificación Propuesta para el Túnel de Fuga  
Calima I (Hoja 2 de 2)



PLANTA (Plan)  
ESC B



PERFIL (Cross - Section)  
ESC B



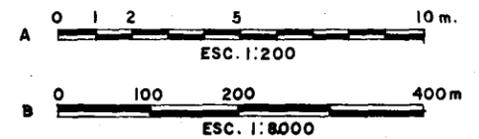
TUNEL SIN REVESTIR  
(Unlined Tunnel)  
ESCALA : A

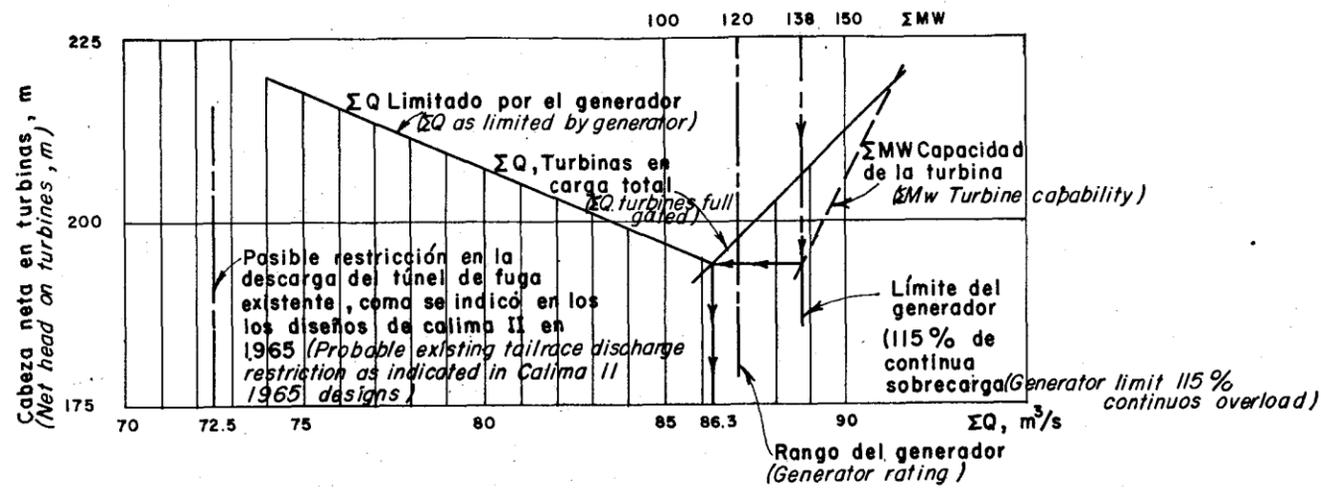
TUNEL PARCIALMENTE  
REVESTIDO  
Partially Lined Tunnel  
ESCALA : A

MODIFICACION PROPUESTA PARA EL  
TUNEL DE FUGA- CALIMA I  
HOJA 1 DE 2  
Calima I Tailrace Tunnel Proposed Modification  
Sheet 1 of 2

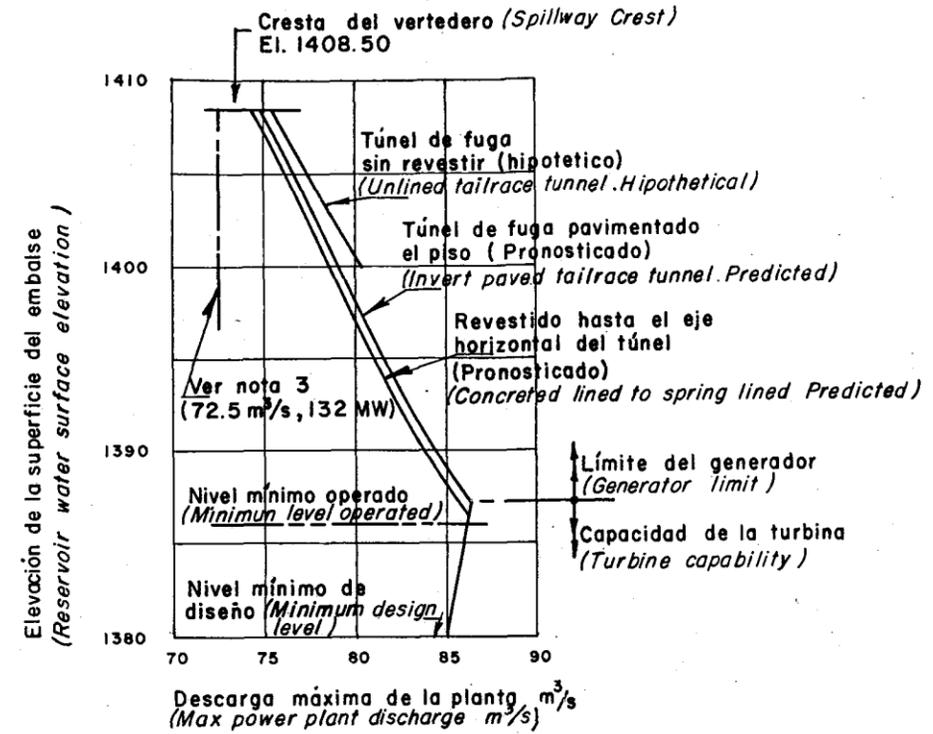
CARACTERISTICAS DE LO CONSTRUIDO

Estación inicial	Estación final	Condiciones existentes
0+029	0+063	Revestido completamente
0+063	0+683	Sin revestir
0+683	0+785	Parcialmente revestido
0+785	0+887	Concreto lanzado
0+887	0+940	Parcialmente revestido
0+940	1+008	Concreto lanzado
1+008	1+354	Parcialmente re
1+354	1+682	Sin revestir
1+682	1+692	Revestido completamente

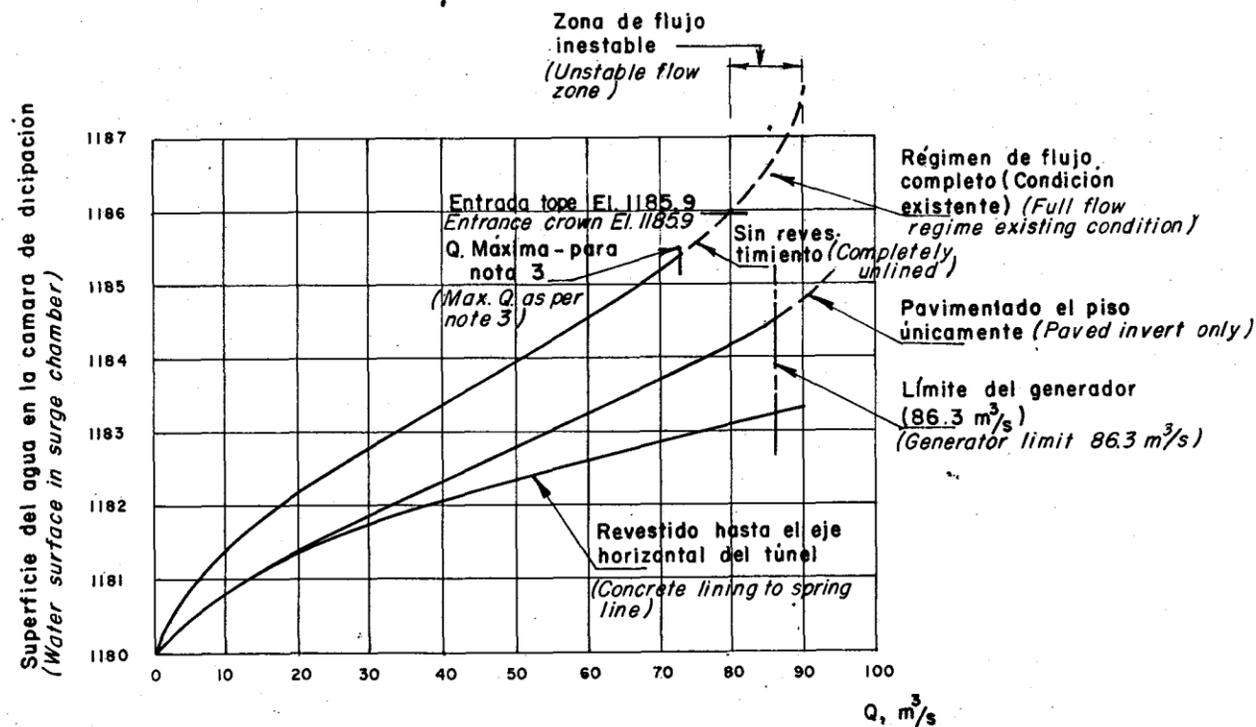




**RESTRICCIONES Y CAPACIDAD DE DESCARGA DE LA PLANTA DE CALIMA I**  
(Calima I Plant discharge capability and restrictions)



**DESCARGA CON ABERTURA TOTAL**  
(Max power release)



**CAPACIDAD DEL TUNEL DE FUGA DE CALIMA I**  
(Calima I Tailrace Tunnel Capacity.)

**NOTAS:**

- 1- La descarga máxima corresponde a un límite de sobrecarga continua del generador del 115% (Maximum discharge corresponds to 115% continuous generator overload limit, except as noted.)
- 2- La salida correspondiente es a 0.8 pf. 138 MW medidos en las líneas de bajo voltaje del transformador, excepto cuando se indique - para 0.9 pf. la salida es 155 MW (Corresponding output is at 0.8 pf. 138 MW measured at low voltage transformer taps except. as noted at 0.9 pf output is 155 Mw.)
- 3- Valor estipulado en los estudios de Calima II de 1965 y mencionado en la carta de Tams del 15. 10. 79 magnitud de descarga confiable aparente (72.5 m³/seg.) con flujo libre en todo el túnel de fuga tomado de los calculos del perfil de flujo. (Value stipulated in 1965 Calima II design studies and reviewed in Tams letter dated 15. 10. 79 Aparent safe discharge Magnitude (72.5 m³/seg) having free Water Surface throughout tailrace tunnel. From water surface profile Computations)

SECCION 4 - DESCRIPCION DEL PROYECTO

TABLA DE CONTENIDOS

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Embalse
  - 4.2.1 Desarrollo de la Capacidad de Volumen de Almacenamiento
  - 4.2.2 Nivel del Embalse Seleccionado
  - 4.2.3 Limpieza y Desmonte del Embalse
- 4.3 Presa
  - 4.3.1 Tipo
  - 4.3.2 Selección del Eje
  - 4.3.3 Características Dimensionales
  - 4.3.4 Tratamiento de la Fundación
  - 4.3.5 Sismicidad
- 4.4 Desviación Durante la Construcción de la Presa de Río Bravo
  - 4.4.1 Obras Proyectadas
  - 4.4.2 Cierre de la Desviación
- 4.5 Estipulaciones para Vertedero en Río Bravo
  - 4.5.1 Consideraciones para Diseño
  - 4.5.2 Vertedero de Servicio y Conducto de Descarga de Fondo
  - 4.5.3 Vertedero Auxiliar
  - 4.5.4 Contrapresa
- 4.6 Túnel de Carga
  - 4.6.1 Generalidades
  - 4.6.2 Cruce de la Cristalina
  - 4.6.3 Toma de Carga
  - 4.6.4 Almenara/Tubería de Carga
- 4.7 Central
  - 4.7.1 Generalidades
  - 4.7.2 Determinación de la Caída de Diseño
  - 4.7.3 Casa de Máquinas

 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

Continuación:

- 4.8 Túnel de Carga
- 4.9 Desviación de la Quebrada La Cristalina
  - 4.9.1 Generalidades
  - 4.9.2 Parámetros de Diseño
  - 4.9.3 Presa de Desviación
  - 4.9.4 Conducciones de la Desviación
- 4.10 Desviación Azul/Militar
  - 4.10.1 Generalidades
  - 4.10.2 Presas de Desviación
  - 4.10.3 Conducciones
- 4.11 Desviación Chanco-Minas
- 4.12 Líneas de Transmisión /
  - 4.12.1 Estipulaciones Generales
  - 4.12.2 Consideraciones de Diseño
  - 4.12.3 Selección de Ruta
  - 4.12.4 Optimización del Conductor
- 4.13 Subestación Vijos /
- 4.14 Vías de Acceso
- 4.15 Areas para Disposición de Materiales

Tablas

Figuras

## SECCION 4

### DESCRIPCION DEL PROYECTO

#### 4.1 GENERALIDADES

La configuración general de Calima III fue adoptada después de un análisis muy completo de varios esquemas alternativos en la cuenca del Calima Medio (ver Volumen 3). Este proyecto está diseñado para integrarse a una futura cascada de proyectos a lo largo del río. Se han hecho igualmente provisiones para incorporar en el túnel principal los caudales de algunos de los afluentes más importantes dentro del Calima Medio. Con excepción de sólo uno de estos tributarios -- la Quebrada Minas -- las demás desviaciones pueden llevarse a cabo en cualquier época durante la construcción del proyecto principal o después de ésta. Para postergar la construcción de las desviaciones Chanco/Minas será necesario hacer provisiones especiales de interconexión. El Plano 102 presenta la inter-relación general de Calima III con respecto a los otros proyectos, aguas arriba y aguas abajo, investigados durante este estudio. En el Plano 101 se presentó un mapa más generalizado de algunos de estos proyectos.

La conclusión general es que la totalidad de la cuenca del río Calima se presta para desarrollar un sistema integrado de proyectos hidroeléctricos y que, además, la desviación intervasal de cuencas adyacentes podría también encontrarse factible. El Plano 103 separa el Calima III y el Calima I existente, de otros proyectos considerados, y muestra el sistema inicial de conducción asociado con el aprovechamiento del Calima III. Enfocando solamente la disposición del túnel de carga/túnel de fuga. Se observa que estos conductos, toman los caudales para generación a partir de la confluencia del Bravo-Calima y los descargan de nuevo en el río Calima, abajo de la confluencia Chanco-Calima. Este sistema central de conducción tiene una longitud total de 12.500 m. Para el futuro, cuando se adicione Calima IV, los caudales del túnel de fuga de Calima III se llevarían al embalse de este nuevo proyecto. El túnel de fuga inicial, que se muestra en el Plano 103, que estará en servicio hasta la construcción de Calima IV, podría utilizarse como conducción para desviaciones adicionales del río Calima al embalse del Calima IV. Las dos etapas en el uso del túnel

eliminaría la necesidad de remover dos veces los sedimentos de los caudales de generación procedentes del túnel de carga de Calima III y reduciría, por lo tanto, los requerimientos de la toma futura asociados con otra estructura de desviación en el río Calima.

La descripción del proyecto aquí presentado se relaciona principalmente con Calima III. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la probable inclusión de Calima IV, aguas abajo, y la eventual construcción de Calima II, aguas arriba, ha tenido influencia en la formulación básica del proyecto. (Calima II contempla el desarrollo del tramo del río entre las Cotas 825 m y 1180 m.

## 4.2 EMBALSE

### 4.2.1 Desarrollo de la Capacidad de Volumen de Almacenamiento

El Calima III utilizará un pequeño embalse de re-regulación, aproximadamente 7.5 km aguas abajo del túnel de fuga de Calima I. El volumen total de este embalse sería de 10.4 Mm<sup>3</sup>. Los estimativos sobre sedimentación indican que al cabo de 50 años el almacenamiento útil en este embalse sería de un poco más de 7.0 Mm<sup>3</sup> y que se reduciría aún más, a 3.5 Mm<sup>3</sup>, al cabo de 100 años.

El embalse de Calima III proveerá el almacenamiento requerido por la operación diaria (pondaje) y alguna regulación adicional del caudal recibido en el túnel de carga proveniente de los tributarios aguas abajo. El embalse de Madroñal es el principal embalse de almacenamiento y Calima III trabajará en combinación con las descargas de generación de Calima I. Según varios memorandos que reposan en los archivos del proyecto, los consultores iniciales tanto de Calima I como de Calima II indican que se necesitaría 3.0 Mm<sup>3</sup> para re-regular adecuadamente las descargas de Calima I. Como ya se indicó en la Sección 3, con sólo pequeñas modificaciones en Calima I se puede lograr una mayor capacidad de descarga de ese proyecto, y esto demandará capacidad adicional de regulación en Calima III.

La estrechez del cañón y la pendiente del 6% del río tuvieron influencia en los diseños de Calima II y determinaron la selección final de un embalse muy

pequeño, de sólo 500.000 m<sup>3</sup> de almacenamiento total. La estructura de desviación tendría 45 m de altura. La concepción de Calima II incluyó, pues, una operación sincrónica - en tandem - con Calima I - para minimizar los vertimientos. A diferencia de Calima II, el sitio de presa de Calima III aprovecha una pequeña depresión topográfica en la confluencia Bravo-Calima. El embalse que se forma en este sitio se extiende aguas arriba tanto del río Calima como del río Bravo aumentando la disponibilidad general de almacenamiento.

Las curvas área-capacidad para el sitio de presa seleccionado aparecen incluidas en el Plano 103. De la curva de volumen puede verse que relativamente a lo establecido para Calima II, una estructura de 45 m podría proporcionar una disponibilidad de 3.0 Mm<sup>3</sup> de almacenamiento en la confluencia. Sin embargo, la mayor cuenca de drenaje en la confluencia multiplica los requerimientos de almacenamiento de sedimentos, que serían más de 15 veces los requerimientos de Calima II, y los 3.0 Mm<sup>3</sup> de almacenamiento total desarrollados aquí por una estructura de 45 m están por debajo del requerimiento de almacenamiento muerto para los 50 años que es de 3.2 Mm<sup>3</sup>. Para solamente proporcionar el almacenamiento muerto de 50 años, en la confluencia, la cota mínima del agua de la superficie del embalse debería ser 822 m y la altura mínima de la presa sobre el nivel del lecho del río tendría que ser de 52 m. Superponiendo los requerimientos de almacenamiento útil para re-regulación -- pondaje -- el menor nivel máximo normal de operación del embalse sería la Cota 825 m y por razón de la alta creciente máxima probable de diseño, que es de 1750 m<sup>3</sup>/s, la cresta más baja de la presa tendría que estar sobre la Cota 830 m.

Sin embargo, como se contempla incorporar al túnel de carga los caudales de tributarios aguas abajo sería ventajoso proveer todo el volumen de embalse que sea económicamente atractivo para regulación diaria u horaria. Debe visualizarse una escala de tiempo muy corta ya que cualquier período más largo de regulación del caudal necesita volúmenes de embalse considerables. Esto lo ilustra mejor el mismo Calima I que tiene un volumen útil de 411 Mm<sup>3</sup> para regular 13.2 m<sup>3</sup>/s, es decir, un factor de regulación de 31.1 Mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/s.

El estudio tuvo dificultades con esta investigación porque los análisis de potencia y energía estaban basados en una escala mensual de tiempo y no se disponía

de información hidrológica para incrementos de tiempo menores. Alternativamente, una mayor altura de desarrollo del embalse representa una ganancia nominal de energía y en el supuesto de una operación a filo de agua del embalse del Calima III, es posible justificar económicamente una presa de arco más alta en río Bravo. El embalse seleccionado tiene un nivel normal máximo de la superficie del agua en la Cota 850 m y la cresta de la presa en la Cota 855 m. La justificación se discute más adelante.

#### 4.2.2 Nivel del Embalse Seleccionado

Las condiciones topográficas/geológicas en el sitio de presa seleccionado restringen a un máximo de 100 m de altura el desarrollo de una estructura de almacenamiento en concreto. Por lo expuesto anteriormente y haciendo referencia a la curva de volumen de embalse del Plano 103, la altura mínima de presa con disponibilidad adecuada para almacenar sedimentos de 50 años, sería de 75 m. Comparando esta diferencia de 25 m con los 550 m de caída bruta para Calima III, puede fácilmente determinarse que el incremento en la relación de caídas es ligeramente menor que 5%.

En el Volumen 2 se muestran los valores de energía obtenidos mediante estudios de operación de embalse en los cuales el embalse de Río Bravo se mantiene constante a las Cotas 825 m y 847.5 m. Estos dos niveles reflejan condiciones de operación diaria media usando un pondaje de  $2.5 \text{ Mm}^3$ . La ganancia de energía con una operación integrada de Calima I y Calima III alcanza a 50 GWh/año, aproximadamente, para la presa más alta. Para el tipo de presa seleccionado, los requerimientos de concreto prácticamente se duplican con la estructura más alta. Sin embargo, el precio unitario para el menor volumen de concreto requerido en la presa más baja podría ser un 20% más alto y el incremento de costo capitalizado total sería del orden de US \$ 10 millones.

Con una tasa de descuento del 12%, el incremento de costo obtenido al adoptar una presa de arco con cresta en la Cota 855 m en vez de 830 m sería de 24 mills/kWh. La base para el cálculo anterior aparece en el Volumen 2. Este bajo costo del incremento de energía justifica económicamente la altura de presa seleccionada y el embalse de  $10.4 \text{ Mm}^3$  correspondiente. El sitio de presa limita

físicamente la presa de arco a la cima de cresta escogida, en la Cota 855 m. Sin embargo, si se investigara otro tipo de presa en este mismo sitio, el resultado de elevar la presa sobre los niveles mínimos requeridos podría diferir económicamente. Una presa de arco es una estructura físicamente compacta, particularmente cuando se toman en cuenta todos los elementos conexos. Una estructura alternativa de enrocado a un nivel comparable de 855 m tendría un volumen de material 10 veces mayor en sólo el cuerpo de la presa. Las variaciones de altura en presas del tipo de gravedad producen cambios de volumen que varían con el cuadrado; además de cambios significativos en sus elementos asociados, tales como túneles de desviación/vertedero, cortinas de inyección, etc.

Los sitios de presa alternativos aguas abajo son más anchos y por lo tanto más costosos para desarrollar. Si no se adopta una presa de arco, la altura de la cresta de la presa podría ser sólo hasta el nivel mínimo requerido. Este factor fue reconocido al principio del estudio y se pensó que la construcción por etapas podría ser apropiada si se usaba una presa del tipo de tierra o enrocado. La etapa inicial satisfará los requerimientos de los primeros 30 a 50 años de acumulación de sedimentos, después de lo cual la presa podría elevarse para conservar la capacidad de regulación. Esto naturalmente complica muchos aspectos de diseño, pero satisface el objetivo básico de minimizar el costo inicial. Aparecen sin embargo complicaciones de significación en el diseño de los siguientes componentes del proyecto:

- Estructuras del vertedero de la presa de Río Bravo
- Toma del túnel de carga
- Selección del equipo de generación

Como la presa de arco más alta se considera económica, el aspecto del posible escalonamiento no se exploró en detalle en las etapas siguientes del estudio. La reducción del Proyecto Calima II propuesto se discute en el Volumen 2.

#### 4.2.3 Limpieza y Desmonte del Embalse

Observando la curva del área de embalse, que se muestra en el Plano 103, puede

verse que el área superficial máxima es de solamente 0.34 km<sup>2</sup>. Desmontar el área del embalse es recomendable; pero, como los contratistas tendrán que - desmontar una buena parte de esta área durante la construcción, no se consideró necesario establecer un ítem separado de costo para este trabajo.

#### 4.3 PRESA

##### 4.3.1 Tipo

Se ha seleccionado una presa en arco de concreto de pared delgada, por su economía relativa y por su programación más rápida para la construcción. Se investigaron otros tipos de presa y se hizo un análisis de costo completo de una presa de enrocado con recubrimiento de concreto (Ver Volumen 3). El Plano 110 muestra disposición general de la presa de arco seleccionada, vertederos, toma de carga y las obras de desviación que se sugiere construir.

La presa de río Bravo sería la primera presa de concreto de grandes dimensiones que se construiría en el país. Esta obra producirá, sin lugar a dudas, un valioso estímulo para el mejoramiento del control de calidad en la industria del cemento, particularmente de la región al suroeste del país. En el Volumen 3 se indica también que actualmente se experimenta internacionalmente con innovaciones en las técnicas de colocación del concreto en la construcción de presas de gravedad. Se espera que estos métodos harán el costo de la construcción de concreto masivo competitivo con presas comparables de tierra y de enrocado. La presa de río Bravo vendrá a promover confianza a escala nacional para asumir este tipo de construcción.

Los estudios de factibilidad del Alto Anchicayá (4) e investigaciones independientes del Proyecto Salvajina (57) recomendaron presas de concreto. Durante la etapa de diseño se adoptó la presa de enrocado con recubrimiento de concreto para las dos estructuras. El cambio de tipo de presa pudo haberse debido a deficiencia de las condiciones geológicas de fundación que se hizo aparente como resultado de investigaciones adicionales. Para evitar esta concurrencia, en la presa de río Bravo, la exploración geológica y evaluaciones realizadas como parte de este estudio (ver Sección 6) han sido mucho más extensas

que las normalmente realizadas para investigaciones a nivel de factibilidad.

El Plano 110 muestra que se han adoptado dos vertederos principales. Uno, -- del tipo morning glory -- ubicado en el estribo derecho, que se ha denominado vertedero de servicio; y otro, -- del tipo de caída libre -- ubicado sobre la parte central de la presa, que ha sido denominado vertedero auxiliar. Ambos serán discutidos en detalle más adelante; sin embargo, parece oportuno poner de presente que durante el diseño final del proyecto, los vertederos deberán someterse a pruebas con modelo hidráulico. Estas pruebas podrían conducir a la eliminación de esta solución doble, con la consiguiente reducción de costos.

#### 4.3.2 Selección del Eje

Ya se ha investigado un arco simple de doble curvatura. Aún cuando el cañón del Calima Medio tiene en general forma de V, la posición seleccionada para el eje; a través de la confluencia Bravo-Calima, se traduce en una presa con una forma pronunciada en U, como puede apreciarse en los Planos 111 y 112.

Inicialmente se investigaron varios ejes para la presa utilizando esquemas de disposición sobre el tramo del río inmediatamente aguas abajo de la confluencia. Sin embargo, a medida que avanzaron las investigaciones geológicas se hizo más evidente que el eje de la presa tendría que trasladarse a la posición que se muestra en el Plano 111. Los resultados geológicos muestran básicamente una mayor socavación aguas abajo de la confluencia (5m o más, aproximadamente). Pudo también determinarse que la roca visible en el estribo izquierdo, que sobresale aguas abajo, se volteaba hacia adentro, alejándose del río, y que a alturas mayores estaba más meteorizada que lo que se había estimado originalmente (El sitio para la presa en arco proporciona una fundación totalmente sobre diabasa, como se discute en la Sección 6). Durante el principio del estudio se identificaron otros ejes alternativos, bastante más aguas abajo, para el caso de que el eje seleccionado no fuera aceptable. Pero en ninguno de estos sitios se hicieron investigaciones geológicas detalladas pues el sitio seleccionado se encontró aceptable para cualquier tipo de presa. Estos ejes alternativos eran substancialmente más anchos y por razón de la

pendiente del río los esquemas de disposición preliminares mostraron que se requeriría una mayor altura y una cantidad de materiales de construcción considerablemente mayor para lograr una capacidad de embalse equivalente.

#### 4.3.3 Características Dimensionales

Una vez terminadas las curvas del nivel probable de la superficie de la roca no meteorizada en el sitio de presa, se encontró que las condiciones de los estribos limitaban, en general, la altura máxima de la superficie del embalse a una Cota entre 850 m y 860 m. Por esta razón se seleccionó la Cota 855 m como superficie máxima de agua, bajo condiciones de sobrecarga por crecidas. Colocando la cresta del vertedero auxiliar en la Cota 850.5 m y la base de la presa en la Cota 760 m, la altura máxima de la estructura será de 90.5 m. La altura máxima sobre el ramal del río Calima podría ser de 95 m. Este valor alto fue el que se usó para los estimativos de costos. La altura sobre el lecho actual del río sería de sólo 77.5 m. Se ha asumido que la base de la presa estaría empotrada 2 m en roca no meteorizada.

El Plano 113 muestra las principales relaciones geométricas adoptadas para la presa. El Plano 114 presenta secciones transversales del arco a diferentes elevaciones. Con estos dos planos puede establecerse que la longitud, de cresta a la Cota 855 m es de 220 m aproximadamente. Así pues, la relación entre la longitud de cresta propuesta y la altura máxima de la estructura es inferior a 2.3. Esta relación que es en sí una medida física descriptiva de la forma longitudinal de la presa, se considera muy adecuada para este tipo particular de presa. En realidad, este valor excepcionalmente pequeño explica la razón por la cual se seleccionó una presa de arco.

La forma de U del eje de la presa se traduce en un volumen de concreto mayor que el que se obtendría con un eje colocado a través del cañón en U. El volumen de concreto, calculado sin incluir el vertedero de caída libre, es de 145.000 m<sup>3</sup>. Como se dijo anteriormente, el esquema de diseño de la estructura se basa en un arco simple. Esto se aprecia mejor en el Plano 113. Sin embargo, los estudios para el diseño final de la presa deben examinar el esquema de arco de tres centros para determinar si las variaciones de forma re-

presentan una economía grande en materiales. Como ya se indicó anteriormente, comparativamente con una estructura de enrocado, el volumen de concreto considerado, es como una décima parte del volumen de materiales para la presa de enrocado. Aun cuando los cambios en forma, del esquema de arco, pueden resultar en un menor volumen de concreto, el objetivo principal en el estudio es investigar la distribución de esfuerzos, dentro de la estructura y en los apoyos. No se espera que la reducción en costos resultante sea relativamente importante ya que la inversión del contratista en equipo básico de construcción tendría que distribuirse sobre un menor volumen de concreto y el precio unitario tendría que ser más alto para compensar sus costos. (Sin embargo, podría haber una ganancia nominal en tiempo de construcción). Como puede verse en los planos, el perfil del eje es casi asimétrico y en el plano de centros del arco la presa tiene un espesor máximo de 12.5 m. El espesor teórico de la cresta es de 3.5 m; sin embargo, la cima de la presa se ha ensanchado a 5 m para acomodar un carril sencillo de tráfico hasta el vertedero de servicio. Para cruzar el vertedero auxiliar se ha previsto un puente con cuatro luces de 16 m.

El Plano 113 muestra las formas de la cresta del vertedero auxiliar adoptado. Estas formas han sido desarrolladas utilizando las ecuaciones standard para perfil de vertederos desarrolladas por el U.S. Corps of Engineers.

#### 4.3.4 Tratamiento de la Fundación

La configuración Bravo-Calima está ubicada dentro un cuerpo de roca ígnea de menos de un kilómetro de espesor. Este tipo de roca de fundación es una ventaja en un sitio de presa. El tratamiento de la fundación contempla una cortina central de inyecciones con lechada de cemento y una cortina de drenaje aguas abajo, como se muestra en los Planos 115 y 116. El tratamiento se ha escogido de acuerdo con el estudio de los patrones de juntas predominantes en ambos estribos y que se describe en la Sección 6. El programa de exploración geológico detallado, llevado a cabo, necesitará suplementarse durante el diseño definitivo, con algunas perforaciones adicionales y pruebas de mecánica de rocas. Las perforaciones adicionales deberán efectuarse particularmente en el estribo izquierdo ya que el eje de la presa se trasladó hacia

aguas arriba durante el curso de las perforaciones en la ubicación del eje inicial. Estas perforaciones adicionales deberán comprobar un mejoramiento de la calidad de la roca según lo interpretado mediante los levantamientos de refracción sísmica efectuados.

#### 4.3.5 Sismicidad

En la Sección 7 se discute la sismicidad regional general y las características sísmicas del sitio de presa en particular. Puede esperarse una alta sismicidad y será necesario efectuar análisis dinámicos de la presa y de los apoyos, durante los estudios de diseño definitivo. Las dimensiones físicas seleccionadas actualmente para la presa han sido proporcionadas cuidadosamente, con base en la experiencia del diseño y análisis de varias presas de arco construidas en sitios de sismicidad semejantemente severa.

Para reducir las complicaciones de la distribución dinámica de esfuerzos no se ha permitido aberturas importantes tales como las que se establecerían por estructuras como los conductos de descarga de fondo, en el cuerpo de la presa. Las presas de concreto en general, con excepción de las presas de contrafuerte, han tenido comportamiento excelente en presencia de movimientos sísmicos. Las presas de arco en especial han demostrado una considerable resistencia residual en presencia de cargas del tipo dinámico. El Volumen 2 reproduce varios informes técnicos que han analizado el comportamiento de estructuras de concreto sujetas a esfuerzos sísmicos. Es interesante anotar que IECO estaba adelantando un análisis de seguridad de la presa de Pacoima en el momento de la ocurrencia de un sismo de magnitud 6.5 (Richter) por debajo de la estructura. Los registros sismográficos obtenidos por medio de un instrumento ubicado en la cresta de la presa indicaron que la estructura había estado sometida al equivalente de una carga pseudo-estática de 1.1 g. Aun cuando las juntas verticales de la estructura se abrieron momentáneamente, los daños ocurridos fueron sorprendentemente mínimos. La presa de Pacoima continúa todavía en servicio. En el Volumen 2 se han incluido varios artículos sobre el tema del factor de seguridad tomados de la literatura técnica. Estos artículos ilustran los objetivos del programa de diseño final y las capacidades del proyectista para examinar el comportamiento de la estructura bajo la ac-

ción sísmica, utilizando modelos físicos y matemáticos. La Tabla 4.1 se tomó de unos de los artículos que aparecen en el Volumen 2. Esta Tabla relaciona diecisiete eventos sísmicos importantes que han sacudido presas de concreto. De estos diecisiete, nueve corresponden a presas de arco. En el mayor número de casos, las presas de concreto estuvieron sujetas a aceleraciones en exceso de lo que un análisis posterior al diseño encontrará posible resistir. Todas estas presas continúan en servicio.

#### 4.4 DESVIACION DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA PRESA DE RIO BRAVO

##### 4.4.1 Obras Proyectadas

El Plano 117 muestra la disposición propuesta para las obras de desviación durante la construcción. Las condiciones de desviación en la confluencia se complican físicamente por la necesidad de desviar el río Calima al río Bravo y después devolverlo al río Calima. Estando aguas arriba de la confluencia, tanto Calima I como la estructura de desviación del Alto Bravo ayudan a reducir las condiciones hidráulicas de diseño durante la construcción de la presa de río Bravo. La creciente de 25 años para el caudal combinado es de  $280 \text{ m}^3/\text{s}$ , incluyendo  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  de las descargas de la planta de Calima I. Para llevar un caudal de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  desde el río Calima al río Bravo se utiliza un túnel en herradura modificada, de 5 m, revestido en concreto y con una longitud de 160 m, en combinación con una ataguía de desviación con cresta en la Cota 790 m. Se ha asumido que el Bravo y el Calima podrían presentar el pico simultáneamente y que el remanso del río Bravo podría llegar a la Cota 784 m.

Las velocidades máximas en el tramo de túnel Calima-Bravo, para las condiciones asumidas, serán menores que 7 m/s. Si no se dispone de un vertedero combinado, para servicio y descarga de fondo, incorporado en el túnel de desviación Bravo-Calima, un túnel de 5.0 m revestido en concreto sería adecuado para conducir el caudal combinado de regreso al Calima. Esto se describe en el Plano 117 y se analiza nuevamente en el Volumen 3, donde se desarrollan consideraciones alternativas para la desviación durante la construcción. Sin embargo, como se muestra en el Plano 118, para esta porción del esquema de desviación se seleccionaron diámetros compuestos ya que la mayor parte del -

túnel de desviación tendrá uso permanente después, durante la operación del proyecto.

No se ha contemplado la ubicación de túneles de desviación en el estribo izquierdo. Se ha determinado que la zona inmediatamente aguas abajo de la presa, sobre el lado izquierdo, tiene espesores de materiales de sobrecarga de hasta 20 m. Este promontorio aguas abajo es en realidad un extenso depósito coluvial que, aunque actualmente es estable, podría eventualmente desplazarse si se produce una socavación excesiva de su base. A esta zona se ha pensado darle el siguiente tratamiento específico:

- Darle mayor peso a la base del talud mediante una losa pesada de concreto que estaría asociada con la construcción de la contrapresa.
- Disminuir el peso de la parte alta con la excavación de la carretera que removerá materiales y estabilizará el área hasta la Cota 855 m.
- Estimular la construcción de instalaciones del contratista en esta área, mediante el control de las especificaciones de construcción.

#### 4.4.2 Cierre de la Desviación

Un problema especial para el cierre de la desviación es la posibilidad del llenado rápido del embalse tan pronto como se baje la compuerta. El incremento de flujo promedio en el sitio, sin Calima I, es de sólo 7.5 m<sup>3</sup>/s, pero hay sin embargo la posibilidad de que casi en cualquier momento durante el año se presente un alto caudal de escorrentía.

Debe programarse un llenado en diez horas o menos. Por esta razón el puente de operación de la compuerta de cierre de la desviación se ha colocado encima del conducto de descarga de fondo. Se ha adoptado una toma inclinada. La compuerta de cierre - bajaría a lo largo de la toma usando rieles colocados con este objeto. Después de el cierre, se construirá un tapón de concreto en el codo del vertedero. Las compuertas de mantenimiento están colocadas en la cresta del vertedero y las avenidas que se presenten durante la construcción del tapón serán desviadas por el vertedero auxiliar. Las descargas normales serán desviadas a la toma de carga.

## 4.5 ESTIPULACIONES PARA VERTEDERO EN RIO BRAVO

### 4.5.1 Consideraciones para Diseño

Se han investigado varios esquemas de alternativas para vertedero. La avenida máxima probable de diseño para la presa es de  $1750 \text{ m}^3/\text{s}$ ; sin embargo, la amplia regulación del río aguas arriba en Madroñal tiende a reducir la magnitud de los derrames en Calima III. Como se anotó anteriormente, la creciente de 25 años, incluyendo  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  de descarga de generación en Calima I, se ha estimado en sólo  $280 \text{ m}^3/\text{s}$ . (El cálculo correspondiente se presenta en la Sección 5).

Las consideraciones iniciales se concentraron en el uso de un sólo vertedero de caída libre con 5.0 m de sobrecarga. La longitud de cresta sería de casi 75 m. Esta longitud presenta algunos problemas en el sitio de presa, principalmente porque la presa no es normal a la dirección del flujo del río y el chorro de agua que cae libremente tendería a tener una trayectoria que hace impacto sobre el estribo. Cabe anotar aquí que la estricta optimización de longitud de cresta versus altura del vertedero quedaría desvirtuada por la necesidad de tomar en cuenta el problema de disipación de energía en la base de la presa. En un diseño de caída libre la mayor preocupación es evitar la erosión excesiva, por cuanto puede llegar a socavar la fundación de la presa. El control de la energía del agua que cae es por lo tanto el punto de partida en el proceso de diseño.

Desde el punto de vista de minimizar la erosión es deseable extender el chorro de agua sobre un área tan amplia como sea posible. Para el caso que estamos considerando -  $1750 \text{ m}^3/\text{s}$  y 5 m de sobrecarga - la descarga unitaria sobre la cresta es de casi  $25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . Como la caída libre hasta el remanso es de más de 75 m, un estimativo aproximado de profundidad del pozo de amortiguación podría ser de 26 m bajo el nivel del remanso.

En el sitio de presa, esto implicaría un nivel último de socavación en la Cota 752 m. La Tabla siguiente muestra tres longitudes alternativas de cresta, con sus alturas correspondientes:

<u>Sobrecarga por creciente, m</u>	<u>Longitud Cresta de vertedero, m</u>	<u>Pozo de Amortiguación cota de fondo, m</u>	<u>Cota Max. del embalse, m</u>
3	153	762	853
5	71	752	855
7.5	39	741	857.5

Estas cifras se presentan sólo como un indicativo de la capacidad de erosión asociada con variaciones en la sobrecarga. Debe hacerse hincapié en que la frecuencia y duración de la operación del vertedero y parámetros específicos, tales como las condiciones geológicas del lecho del río, definitivamente reducirían las posibilidades de que se erosionen cavidades hasta tales profundidades. Además, inmediatamente aguas abajo de la confluencia, donde golpea el centro de la trayectoria, el nivel localizado de roca sin meteorizar se ha estimado en la cota 755 m ( Se ha asumido que la base de la presa en su extremo aguas arriba está en la cota 760 m ).

La principal preocupación es en realidad el golpe del chorro contra el estribo. Se deduce por lo tanto que estas áreas podrían requerir una excavación extensa y protección en concreto si la totalidad del caudal de la creciente se deja pasar sobre la presa; la cresta de la presa no tiene suficiente longitud para incorporar un vertedero de caída libre satisfactorio para la totalidad de los 1750 m<sup>3</sup>/s. Otra consideración importante se relaciona con la totalidad de la colina mencionada en la Sección 4.4 (Ver Plano 205). Para solucionar este problema básico y para minimizar los efectos adversos del impacto del chorro sobre el estribo de la presa se resolvió incorporar un vertedero de servicio en las obras del túnel de desviación. Es fácil ver que este túnel podría desviar las avenidas más frecuentes y de menor magnitud y entregarlas fuera del área que nos preocupa. La operación previa del vertedero de servicio, con anticipación al vertedero auxiliar, durante las avenidas de mayor magnitud tiene además el efecto favorable de levantar el nivel del remanso para amortiguar las descargas de caída libre que llegan a la laguna.

Las perforaciones efectuadas en el sitio de presa han mostrado que la profundidad de la roca sana bajo el área del lecho del río es de al menos 15 m .

Esta profundidad considerable favorece la formación de un pozo artificial de amortiguamiento. Un pozo de este tipo es un medio corriente de disipar energía y es la solución más económica. Sin embargo, debe someterse a pruebas con modelo para verificación y refinamiento. La solución propuesta incluye la estabilización del talud de aguas abajo de la excavación para la laguna.

#### 4.5.2 Vertedero de Servicio y Conducto de Descarga de Fondo

El vertedero de servicio está colocado en el estribo derecho y es del tipo de morning glory. El Plano 118 muestra la planta y perfil de esta obra. La capacidad del vertedero, con la superficie de agua al nivel máximo de 855 m, es de 750 m<sup>3</sup>/s. El diámetro de la cresta es 22 m y el Ogee está en la Cota 850 m. La descarga se toma primero por un pozo vertical revestido en concreto, de 7.0 m de diámetro, y se lleva después por un túnel inclinado y luego por un túnel prácticamente horizontal. A la salida del túnel se ha colocado un deflector cuyo borde está en la Cota 767.5 m. El ángulo del deflector es de 15° y la trayectoria del agua que sale del túnel llega al río entre 60 y 70 m aguas abajo. La velocidad de la salida es de unos 35 m/s.

Los vertederos del tipo morning glory muestran cavitación en el codo (Calima I tiene un vertedero tipo morning glory similar pero más pequeño, diseñado para 411 m<sup>3</sup>/s, pero nunca ha entrado en servicio). Es por lo tanto ventajoso proporcionar medios para reparaciones si llega a hacerse necesario. En todo caso, será necesario desviar por el vertedero auxiliar las crecidas que se presentan durante la construcción. Por esta razón se ha previsto en la cresta de la estructura un sistema de pilas de concreto y compuertas de mantenimiento, como se muestra en el Plano 119. Estas pilas están coronadas con una plataforma de acero estructural diseñada para el transporte de un grúa móvil, que puede manejar las compuertas de mantenimiento a lo largo de ranuras provistas en las pilas para este fin.

Como Calima I está siempre operado a niveles máximos del embalse por debajo de la cresta del vertedero, y como los trabajos de mantenimiento pueden programarse fácilmente con niveles de Calima I aún más bajos, la altura de estas compuertas sólo necesita ser suficiente para desviar las crecidas al vertedero auxiliar.

Con una programación adecuada, estas compuertas pueden levantarse con suficiente anticipación para evitar cualquier peligro. Las crecidas en el Calima Medio son afortunadamente de corta duración.

Para luchar con la cavitación se inyectará aire en la garganta del vertedero mediante tubos embebidos en las pilas de concreto. Para aumentar la ventilación en el codo mismo, se decidió, además, incorporar el conducto de descarga de fondo, en el codo. Este conducto de descarga se detalla en el Plano 120. A la entrada se han colocado dos compuertas deslizantes de alta presión, de 2.25m de altura por 1.8 m de ancho, dispuestas en serie dentro de una cámara de concreto.

Las altas velocidades de la salida requieren revestimiento en acero. La salida se ha dimensionado para  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  a una superficie mínima del embalse en la Cota 822 m. En la entrada aparece una rejilla fuerte en acero para evitar el acceso de troncos flotantes que puedan obstruir las compuertas. La cámara de operación de compuertas tiene acceso desde una galería que viene de la presa. La aireación se haría en forma similar, mediante tubos que vienen de las pilas encima de cada compuerta. Cuando el conducto de carga no esté en operación, esta aireación de las compuertas quedaría disponible para ventilar cualquier operación del vertedero de servicio. Como se hizo en Calima I, todo este conjunto deberá someterse a pruebas con modelo hidráulico, durante el período de diseño definitivo.

#### 4.5.3 Vertedero Auxiliar

El vertedero auxiliar se compone de cuatro naves de 15 m de ancho, colocadas en los bloques centrales de la presa, tal como se muestra en los Planos 111 y 112. Las dos naves centrales tienen su cresta de vertedero en la Cota 850.5 m, que queda 0.50 m más alto que el vertedero de servicio. Las naves adyacentes tienen sus crestas en la Cota 851.5, es decir, 1.5 m por encima del vertedero de servicio. Así que estando en operación, la parte central del vertedero auxiliar tendrá un gasto mayor, lo cual permitirá aprovechar el efecto de amortiguamiento de la laguna en la base de la presa.

Las naves centrales estarán descargando unos 70 m<sup>3</sup>/s antes de que las naves adyacentes empiecen a funcionar. El flujo total del vertedero auxiliar se ha estimado en 210 m<sup>3</sup>/s, que es equivalente a la crecida de desviación durante la construcción.

Con el nivel de agua en la superficie máxima, cota 855 m, la capacidad de descarga combinada es de 1100 m<sup>3</sup>/s, con 650 m<sup>3</sup>/s a través de las dos naves centrales y 225 m<sup>3</sup>/s a través de las naves adyacentes. En combinación con el vertedero de servicio, el esquema seleccionado deberá proveer una disipación de energía satisfactoria sin efectos adversos en la presa o en sus estribos. Comparativamente con lo discutido sobre sobrecarga de la creciente, los niveles finales de erosión quedarían hipotéticamente en la cota 754 m y 759 m para las naves centrales y adyacentes, respectivamente. Estos valores son sólo para demostrar la ventaja de utilizar dos vertederos, para reducir la erosión potencial en la base de la presa, en vez de uno sólo, de caída libre.

La trayectoria mínima del chorro toca el fondo del río a unos 35 m aguas abajo de la presa. Como se muestra en el Plano 121, se ha colocado una losa de concreto masivo que va desde la presa hasta unos 20 m aguas abajo y que termina en un muro casi vertical. La base de este muro se ha ubicado por debajo de los valores indicados arriba.

#### 4.5.4 Contrapresa

Inicialmente se contempló construir otra estructura de concreto masivo aguas abajo del vertedero auxiliar para conservar el pozo de amortiguamiento. Sin embargo, hay que reconocer que la excavación en el lecho del río, aguas abajo, sería en una matriz de gravas y cantos rodados de más de 15 m de espesor. La decisión fue adoptar una técnica de diseño desarrollada en hidráulica para cierre de ríos (52) que permite la estabilización del material y al mismo tiempo deformaciones para asumir asentamientos no uniformes de la fundación.

Se escogió una estructura articulada de bloques de concreto cuyos elementos de exposición crítica pesan 13 toneladas. Estos bloques podrían prefabricarse y colocarse en sitio. Para proporcionar seguridad adicional contra su desplaza-

miento se les dará formas que suministren una traba mecánica. La estructura de la contrapresa se muestra en el Plano 121. Esencialmente consiste en un canal trapezoidal armado con una base de 25 m de ancho construida aprovechando una restricción natural dentro de la configuración existente del río. Para estabilizar el montículo del estribo izquierdo, se ha proyectado construir un muro de gravedad en concreto a la entrada del canal y extender la estructura de bloques articulados aguas abajo sobre ésta orilla.

La hidráulica de cierre de ríos ha demostrado que, en general, para no sufrir desplazamiento bajo el empuje de agua en movimiento, un elemento deberá tener un diámetro equivalente igual o mayor que el expresado por la siguiente fórmula:

$$d_s = \left( \frac{V}{5.60 Y} \right)^2$$

donde:

$d_s$  = diámetro equivalente en metros

$V$  = velocidad del flujo

$Y$  = coeficiente empírico que varía entre 0.86 y 1.2

Para diseñar con la avenida máxima probable, un elemento cúbico de concreto de 1.75 m de lado, debería resistir una velocidad de transporte de cerca de 6.75 m/s. Esta es la magnitud de la velocidad que se espera tener sobre el canal de cresta ancha descrito por la contrapresa.

#### 4.6 TUNEL DE CARGA

##### 4.6.1 Generalidades

Los Planos 122 al 125 muestran las plantas y perfiles y las secciones transversales del túnel de carga. Como puede observarse, el túnel de carga se compone de varios elementos diferentes. La disposición ha sido determinada por los siguientes parámetros:

- Programa de construcción

miento se les dará formas que suministren una traba mecánica. La estructura de la contrapresa se muestra en el Plano 121. Esencialmente consiste en un canal trapezoidal armado con una base de 25 m de ancho construida aprovechando una restricción natural dentro de la configuración existente del río. Para estabilizar el montículo del estribo izquierdo, se ha proyectado construir un muro de gravedad en concreto a la entrada del canal y extender la estructura de bloques articulados aguas abajo sobre ésta orilla.

La hidráulica de cierre de ríos ha demostrado que, en general, para no sufrir desplazamiento bajo el empuje de agua en movimiento, un elemento deberá tener un diámetro equivalente igual o mayor que el expresado por la siguiente fórmula:

$$d_s = \left( \frac{V}{5.60Y} \right)^2$$

donde:

$d_s$  = diámetro equivalente en metros

$V$  = velocidad del flujo

$Y$  = coeficiente empírico que varía entre 0.86 y 1.2

Para diseñar con la avenida máxima probable, un elemento cúbico de concreto de 1.75 m de lado, debería resistir una velocidad de transporte de cerca de 6.75 m/s. Esta es la magnitud de la velocidad que se espera tener sobre el canal de cresta ancha descrito por la contrapresa.

#### 4.6 TUNEL DE CARGA

##### 4.6.1 Generalidades

Los Planos 122 al 125 muestran las plantas y perfiles y las secciones transversales del túnel de carga. Como puede observarse, el túnel de carga se compone de varios elementos diferentes. La disposición ha sido determinada por los siguientes parámetros:

- Programa de construcción



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

- Disposición de materiales excavados
- Seguridad de rapidez y flexibilidad de la construcción en áreas con problemas geológicos potenciales conocidos.

Se ha programado implementar la construcción del proyecto mediante varios contratos separados que se han llamado LOTES. La construcción del túnel de carga se ha designado como LOTE 3, y para efectos del estudio de factibilidad, se extiende desde justo aguas abajo de la toma de carga, en la presa de río Bravo, hasta el portal de salida aguas abajo de la almenara. La longitud total correspondiente es de 8625 metros.

El diseño básico del túnel de carga se desarrolló sobre el concepto del túnel sin revestir, es decir, el revestimiento en concreto se limita únicamente a las áreas que estructuralmente lo requieran. Sobre esta base la práctica corriente de diseño, normalmente limita las velocidades máximas, en los tramos sin revestir, a 2.2 m/s. Para una descarga máxima de diseño de 63.5 m<sup>3</sup>/s el diámetro nominal de excavación sería de 5.8 m. En los tramos que necesitan revestimiento el concreto se coloca por dentro de los límites excavados. Lo mismo se aplica a los tramos revestidos en concreto que requieren soportes de acero, como se muestra en el Plano 122. Como allí se indica, se seleccionó una sección en herradura de paredes rectas asumiendo construcción convencional.

En secciones geológicas difíciles podría ser necesario utilizar un túnel de sección circular, para obtener mejores características estructurales. Esto se indica también en el Plano 122. La perspectiva general, basada en mapas geológicos, exploraciones, en la información obtenida de los túneles ya construidos en las inmediaciones (túnel de desviación del Alto Bravo, de 7200 m - de longitud, el complejo de túneles de Calima I y el del Alto Anchicayá) y en las investigaciones ejecutadas para Calima II, es como sigue :

- Menos del 40% del túnel tendría revestimiento, y
- Aproximadamente 25% del túnel necesitaría soportes de acero en arco.

Los estimativos de costo han tomado esto en consideración y han hecho provisión para un 10% adicional de revestimiento con concreto lanzado, mas pernos

de anclaje en la corona de los tramos sin revestir. Se estima que un mole - (máquina excavadora de túneles) podría encontrarse más económico durante los estudios del diseño final. Esto se discute más en detalle en la Sección 8, donde se presentan también secciones alternativas de túnel y métodos de construcción (Ver Fig. 8.3). Para poder llegar a un diseño adecuado será necesario, efectuar durante el diseño final un mayor número de sondeos y de pruebas de laboratorio de los núcleos recobrados a lo largo del alineamiento del túnel. Las pruebas ya efectuadas y las consideraciones sobre beneficios secundarios asociados con una excavadora son particularmente alentadores. Este tema será discutido nuevamente en la Sección 8.

Alternativamente, se ha investigado un túnel de carga completamente revestido. Un túnel revestido, con una pérdida de carga aproximadamente equivalente, tendría un diámetro nominal interno de cerca de 4.5 m. De los estudios de potencia se puede concluir que en general este mismo diámetro, que es el mínimo aceptable desde el punto de vista de operación de la central, sería una selección óptima económica. Los diámetros de hasta 5.5 m, produjeron ganancias marginales de energía. (Vease la discusión sobre ganancia de energía para una altura diferencial de 25 m en la presa de río Bravo, Sección 4.3). Los costos alternativos aparecen en el Volumen 2.

#### 4.6.2 Cruce de la Cristalina

El reconocimiento del alineamiento del túnel indicó que la Quebrada La Cristalina presentaba una ubicación ventajosa para escalar un buen porcentaje de la excavación del túnel de carga. Esta quebrada está en la proximidad de una zona de contacto entre rocas ígneas y rocas metamórficas y su valle ofrece espacio suficiente para recibir el material de la excavación. Aún más, su proximidad a la presa de río Bravo permitiría perforar el túnel desde un portal en Cristalina, alejado de las condiciones de congestión por la construcción en el sitio de presa. Se evitaría también la colocación de escombros en el pequeño embalse de regulación en la confluencia Bravo-Calima.

El cruce de la Cristalina se describe con más detalle en los Planos 141 y 142. En el Plano 146 se muestran detalles estructurales específicos de algunas de las obras consideradas. Como podrá observarse, el cruce utiliza una tubería

de acero que va soportada por un puente de vigas de alma llena. La tubería entra en el túnel de carga hasta tener una altura de cubierta de 0.6 de la carga hidrostática y el túnel de carga estará revestido en concreto hasta una altura de cubierta mínima igual a la presión hidrostática dentro del túnel.

El puente tiene una luz de 25 m aproximadamente. Al Oeste del cruce, se ha colocado una sección de tubería removible para permitir el acceso al túnel de carga para inspección y mantenimiento. La ubicación del cruce fue seleccionada teniendo en cuenta las condiciones geológicas del área y asumiendo que un alineamiento superficial evitaría demoras innecesarias durante las construcción. La solera del tubo se ha mantenido en la Cota 780 m. Se escogió un diámetro de 4.5 m, para la tubería, con base en los criterios descritos en la Sección 4.6, con modificaciones para acomodar un vehículo.

Un pequeño afluente de la Cristalina necesitará desviarse durante la construcción. Esta desviación será de carácter permanente; pero sin embargo, como este afluente podría desbordarse en algún tiempo futuro, se ha proyectado una estructura de drenaje sobre la tubería de carga. El cruce de la Cristalina formará parte integral de la desviación de esta misma quebrada aguas arriba. Estas obras se discuten en la Sección 4.9. Además, como se indica en los Planos, la tubería de las obras de desviación de La Cristalina intersecta la tubería de carga principal en la margen izquierda de la quebrada. Se han provisto bloques de anclaje para fijar las tuberías.

En la abscisa 7+100 del túnel, se ha proyectado otra ventana de construcción. Tanto la Quebrada El Mico como la Quebrada Guaciruma proporcionan ubicaciones ideales para la disposición de los escombros procedentes de la excavación del túnel. Como en el caso del cruce de Cristalina, el portal propuesto está cerca de otro contacto geológico conocido. Los detalles de la ventana se muestran en el Plano 156. En forma semejante al cruce de Cristalina, se aprovechará para entregar en este sitio, a la tubería de carga, el caudal de desviación de la Quebrada del Mico.

La introducción de la desviación se hará por medio de un pozo desde la colina de encima y entrando a la ventana aguas abajo de un tapón estructural. El ta-

pón permitirá además acceso adicional al túnel de carga, para inspección y mantenimiento.

En el túnel de carga se ha colocado una trampa para rocas a poca distancia aguas abajo de la ventana, cerca de la almenara.

#### 4.6.3 Toma de Carga

El Plano 126 muestra la toma de carga seleccionada. Inicialmente se había proyectado usar un pozo combinado con una estructura separada para retención de basuras. Sin embargo, el tratamiento del estribo izquierdo arriba de la presa hubiera resultado difícil; la decisión fue excavar en esta área, para lograr la seguridad de la toma y adoptar como la solución más práctica, una torre vertical con su base monolítica en la roca del estribo. v k l

Por la experiencia del Alto Anchicayá, se ha incluido en el diseño un limpia-rejas. Para permitir la operación del proyecto a niveles mínimos del embalse, la solera de la compuerta de toma se ha fijado en la Cota 813.5 m\*. Se seleccionaron dos compuertas de toma de rueda fija, cada una de 5.3 m de altura por 2.4 m de ancho, que serán diseñadas para sello aguas arriba. Se han colocado también vigas de cierre aguas arriba para proveer sello y para mantenimiento general de las compuertas de toma. Las áreas de operación de la toma se han dispuesto verticalmente. El nivel central se utiliza para acceso general y para remoción de basuras. El nivel inferior es una cámara de mantenimiento. Para tener un área menos congestionada en el piso de acceso, los malacates de operación se han colocado sobre una repisa de concreto. 70 k

El marco de concreto que soporta esta repisa llevará también los rieles para la grúa utilizada para el manejo de las vigas de cierre, rejillas de basuras y limpia-rejas. Las vigas de cierre, y rejillas para basura se colocarían utilizando una viga de izar. Esta viga serviría también para operar los tubos de llenado sobre las vigas de cierre para facilitar su remoción. El peso de las compuertas de toma se estima en 15 toneladas cada una. Los malacates serán dimensionados para una capacidad de 20 toneladas.

\*Para evitar el ingreso de sedimentos en el futuro, podrá recurrirse a la instalación de panales sólidos en las guías de las rejillas para basura.

#### 4.6.4 Almenara/Tubería de Carga

##### 4.6.4.1 Consideraciones de Diseño para la Almenara:

Se adelantaron análisis de transientes hidráulicas para desarrollar una geometría básica de la almenara, para efectos de costos. Se adoptó una almenara del tipo de orificio restringido con elementos múltiples para los ciclos de demanda y rechazo. El Plano 127 muestra la disposición de estos elementos.

Durante el diseño final habrá necesidad de refinar la geometría adoptada, de acuerdo con parámetros de diseño definidos. Desafortunadamente la topografía detallada del sitio fue muy difícil de obtener y fue necesario localizar la almenara basándose en la información limitada suministrada por un perfil levantado en el campo\*. El análisis elaborado hasta ahora tampoco tuvo en cuenta la captación y entrega de la Quebrada Minas en el túnel de Carga. La proximidad de esta desviación potencial con relación a la ubicación escogida para la almenara podría tener influencia en el control de transientes, es decir, puede ser ventajoso una utilización dual de la conducción requerida para esta desviación en particular.

Los criterios de diseño usados para el estudio, exigieron que la almenara se situara tan cerca de la casa de máquinas como fuera físicamente posible. Esencialmente se especificó una onda de transiente máxima para rechazo de carga hasta el nivel de agua en la Cota 875 m.

Como se indica en el Plano 128 la distancia entre la almenara y la casa de máquinas es bastante grande pues alcanza un desarrollo total de 2475 m hasta la unidad generadora. Esto equivale a 4.75 veces la caída nominal neta. En general, se prefiere mantener esta relación por debajo de 5 para asegurar una buena operación de la central. Es así como las turbinas de impulso surgen con gran atractivo, puesto que las turbinas de reacción necesitan reguladores de presión para proporcionar una flexibilidad operacional comparable. Las turbinas de impulso tienen la ventaja particular de acomodar cambios rápidos de carga mediante el uso de deflectores de los chorros de agua que golpean

\*La cartografía del área de la Almenara se terminó al finalizar el estudio y se muestra en el Plano 123.

los alábes de las turbinas. Las agujas de estos chorros pueden especificarse para abrir o cerrar en tiempos menores y/o variables.

Los criterios para análisis de transientes han asumido por lo tanto períodos de cierre más largos, que van entre 30 y 60 segundos, y períodos de apertura más cortos. La Figura 4.1 muestra las características generales de cambios de flujos y niveles para un rechazo de carga completo de la planta, de 30 segundos. La misma figura muestra una característica de comportamiento semejante para la demanda de carga. La comparación de los niveles de la almenara, que se muestran en dicha figura con los elementos geométricos, ilustra su efectividad en alcanzar el control de transientes. Los cambios de carga parcial no se investigaron durante estos estudios.

#### 4.6.4.2 Diámetros de la Tubería de Carga:

Los diámetros de la tubería de carga -- particularmente donde la tubería es extensa -- fueron seleccionados con base en la siguiente fórmula (53):

$$De = 4.444 \text{ HP}^{0.43} / \text{HD}^{0.65}$$

donde:

De = diámetro, en pies

HP = caballos de potencia, disponibles en el flujo a la cota particular considerada.

HD = caída neta, en pies

Esta fórmula ha producido una excelente correlación con diámetros optimizados por medio de investigaciones más rigurosas. Su utilización para este nivel de estudio se considera adecuada. Los diámetros obtenidos por medio de esta fórmula sólo fueron modificados cuando la velocidad en la tubería de carga excedía de 9.15 m/s, en cuyo caso los diámetros se seleccionaron con base en la velocidad máxima.

## 4.7 CENTRAL

### 4.7.1 Generalidades

Los Planos 129 a 140 se relacionan principalmente con los elementos subterráneos de la casa de máquinas. Para estas obras se estudiaron numerosas alternativas. Algunos de los estudios más importantes se presentan en el Volumen 3.

La Central se compone de una cámara subterránea que alberga el equipo de generación y de una cámara adyacente donde se han colocado los transformadores de potencia principales. La Central tiene acceso, bien a través de un túnel de acceso de aproximadamente 475 m de longitud, o por escaleras ubicadas en un pozo situado dentro del edificio de control en el patio de maniobras. El patio de conexiones es exterior. Se investigaron ambos tipos de instalación, en SF<sub>6</sub> y el convencional. ↓ok

Se escogieron tres unidades de generación, de 80 MW de capacidad nominal, cada una, para proporcionar mayor flexibilidad operativa. Las turbinas son turbinas de impulsión, de 94000 kW de capacidad a 510.0 m de caída libre. La descarga nominal de la planta será de aproximadamente 62.0 m<sup>3</sup>/s. Los generadores fueron seleccionados para una capacidad de sobrecarga continua de 115%. La capacidad máxima disponible de la planta será de 276 MW, o sea de aproximadamente 325 kVA con un factor de potencia de 0.85. La Tabla 4.2 presenta una comparación de los parámetros de la Central en relación con los métodos de excavación del túnel. Estos aspectos se discuten nuevamente en la Sección 8. La velocidad normal de las unidades es de 360 rpm. ok

### 4.7.2 Determinación de la Caída de Diseño

La Tabla 4.2 presenta un resumen de los valores estimados de caída y descarga de planta para la operación de las unidades a carga máxima. Un túnel excavado con mole (máquina excavadora), por tener menor rugosidad perimétrica, deberá tener una pérdida de carga substancialmente menor. Se preveé que el nivel medio de operación de la presa de río Bravo se mantendrá en la Cota 847.5 m, para proporcionar pondaje para regulación diaria; por lo tanto la ok

caída nominal neta sería igual a las caídas medias dadas en la Tabla.

90k

Cuando los caudales de los tributarios de aguas abajo entregan en el túnel de carga, los niveles piezométricos son nominalmente más altos que cuando los caudales de carga ingresan únicamente en la toma de carga principal. No se hizo, para este estudio, un análisis detallado de las ventajas secundarias derivadas de este incremento en altura de generación.

#### 4.7.3 Casa de Máquinas

##### 4.7.3.1 Localización:

La caverna principal de la casa de máquinas recibió una orientación Este-Oeste para aprovechar al máximo el patrón de juntas de la roca actualmente identificado en este sitio. Como se indica en el Plano 137, la ampliación de la sala de servicio de la Central queda ahora debajo del río Chanco. Este aspecto necesita ser considerado durante el diseño final. La Figura 4.2 muestra la re-localización preferida, que deberá investigarse durante el diseño final (lo cual se discute en el Volumen 3, Sección 7) para determinar su eficacia y costo. La exploración geológica detallada en el sitio de la Central indicará si es necesario esta re-localización; estos programas de exploración deberán continuar dentro del período inicial de la construcción. Las especificaciones deberán hacer provisión para una galería piloto a lo largo de la corona de la cámara de la casa de máquinas para determinar el programa definitivo de tratamiento de la roca.

90k

90k

Los Planos 129, 130 y 131 muestran un arco de concreto para soportar la corona. Este tipo de solución fue utilizado en Calima I; pero no fue necesario en Alto Anchicayá. La ventaja de excavar la galería piloto discutida antes, sería la de ayudar a decidir si estas provisiones son necesarias. (Este arco de soporte está incluido actualmente en los estimativos de costos). También indicará la necesidad de trasladar o rotar el eje de la planta para obtener una mejor orientación geológica. La rotación podría efectuarse fácilmente usando el eje al Este de la planta como un punto de giro. La traslación sería como se indica en la Figura 4.2.

#### 4.7.3.2 Dimensiones Físicas:

La cámara tiene un área de 16 m de ancho por 73.5 m de largo en el nivel de la sala de servicio. El espaciamiento de las unidades es de 17.5 m entre centros. Un puente grúa de 100 T que va sobre los generadores determina que la altura de la cámara sea de 15.5 m. La sala de servicio tiene unos 22 m de longitud y espacio adecuado para el descargue de partes de las unidades durante la erección, asumiendo una secuencia de entre dos y tres meses para la entrada en línea de las diferentes unidades.

La sección de los bloques de servicio se reduce por debajo del nivel de la sala de servicio. El eje de los distribuidores de las unidades se ha colocado en la Cota 303 m. Se ha asumido un espacio libre de 2.5 m entre los rodetes de las turbinas y el nivel normal máximo de operación del remanso. El fondo de los pozos de descarga se estableció pues en la Cota 296.5, para acomodar la descarga de agua al túnel de fuga. La altura máxima de excavación en la cámara de la casa de máquinas, por el plano central de unidades, es de 35 m.

#### 4.7.3.3 Descripción:

En el Plano 129 se presenta una sección longitudinal por el centro de la casa de máquinas. La casa de máquinas comprende cinco niveles así:

- Cota 315 m ⊖ Este nivel, denominado piso de generadores, se detalla en el Plano 132, proveerá espacio para la erección de las unidades y albergará, además, los tableros de control individual de las unidades y del equipo de excitación.
- Cota 309.5 m - Este nivel, denominado piso de equipo eléctrico y que se detalla separadamente en el Plano 133, alojará todo el equipo eléctrico auxiliar y proveerá espacio para manejo de cables, etc.
- Cota 305 m - Este nivel, que aparece detallado separadamente en el Plano 134 con la designación de piso de equipo mecánico, alojará los componentes mecánicos principales, principalmente reguladores de velocidad y equipo asociado.

- Cota 300.5 m - Este nivel, que aparece detallado en el Plano 135 bajo el nombre de piso de turbinas, alberga los distribuidores de las turbinas y el equipo mecánico periférico, como compresores, etc.
- Cota 296.5 m - Este nivel, llamado nivel del pozo de descarga aparece separadamente en el Plano 136; ésta área contiene los conductos del flujo que salen de la casa de máquinas, y los sumidores de agua que alimentan el bombeo del agua de enfriamiento.

4ok

En la misma serie de planos se ha incluido secciones transversales y longitudinales de los niveles descritos arriba.

4ok

La Central es del tipo convencional y no presenta aspectos especiales. Cabe sin embargo anotar que los transformadores de potencia principales están situados en una galería adyacente orientada paralelamente a la casa de máquinas. Tres pequeños ductos llevan las barras colectoras desde la sala de equipo eléctrico hasta el piso de transformadores. Se ha aprovechado para combinar los pozos de compuertas del túnel de fuga con esta galería de transformadores aguas abajo.

4ok

Se ha dejado prevista la adición de un sistema de depresión del remanso para permitir la operación de la Central durante los períodos de crecidas del río o cuando se presente alguna obstrucción aguas abajo de la salida del túnel de fuga. Los tres túneles de descarga entre la casa de máquinas y las compuertas del túnel de fuga, recircularán aire durante la operación del sistema de depresión del remanso, para minimizar los costos del compresor.

Entre los otros factores considerados para colocar los transformadores principales en una galería separada, estuvo el programa de construcción. Como se discutirá en la Sección 8, es necesario que estas unidades entren en línea, para operación comercial, durante 1987. Para lograr este propósito es esencial colocar el concreto para la primera turbina a más tardar en Febrero de 1986. Una excavación de gran volumen en la casa de máquinas podría interrumpir el avance del programa si llegaren a presentarse condiciones geológicas complejas localizadas en esta área.

La remoción del rotor se efectuará en el nivel del piso de turbinas a través de puertas herméticas especiales colocadas debajo de cada unidad. Un carro para remoción del rotor recibirá los rotores sobre plataformas de acero situadas debajo de cada distribuidor dentro de los pozos de descarga. Con el rotor amarrado al carro el conjunto será izado hasta la Cota 315 m con el puente grúa. Otras partes de la turbina que necesiten mantenimiento serán manejadas en forma semejante.

#### 4.7.3.4 Cable:

En la Cota 315 m se han colocado centros de control individuales, para cada unidad; sin embargo, el control normal tendrá lugar desde el edificio de control, en el patio de maniobras. Este control remoto usará equipos tipo SCADA.

#### 4.7.3.5 Túnel de Acceso:

En el Plano 137 se muestra la planta y perfil del túnel de acceso. Este túnel, que tiene 6.5 m de ancho por 7.0 m de altura tiene una pendiente de 12.5% desde la Cota 370.0 hasta la Cota 320.50. En este lugar, a una distancia de aproximadamente 400 m del portal, el túnel se divide en dos ramales, uno que va a la galería de transformadores y otro que sigue hasta la sala de servicio. El túnel quedará en roca diabásica y sólo se usará soportes y revestimiento donde ello se requiera estructuralmente. El concreto lanzado posiblemente será suficiente. El Plano 138 muestra detalles específicos en la Ye. ↓ OK

El programa de construcción analizado durante este estudio consideró llevar un túnel de construcción desde esta Ye hasta el túnel de fuga y de allí hasta el nivel inferior de la casa de máquinas. Otro túnel construido concurrentemente penetrará a lo largo de la corona de la casa de máquinas. Después de una serie progresiva de ensanches de la corona de esta estructura, se bajarían tres pozos por los ejes de las unidades que servirían para la disposición de escombros. La cámara se terminaría de excavar descargando los escombros por los pozos y recogiendo los por debajo. La excavación de la cámara podría terminarse en 50 semanas y el concreto en la sala de servicio algunas semanas antes. El esquema de construcción se muestra en la Figura 4.2. En la Sección 8 ↑ OK

se discuten otros aspectos adicionales.

#### 4.7.3.6 Pozo de Cables:

Se ha proyectado un pozo para cables, de 6.5 m de diámetro, entre el transformador y el edificio de control. Este pozo terminaría en aproximadamente la Cota 410 m y tendría unos 90 m de altura. Las escaleras de inspección se colocarían en este pozo. Este pozo llevaría los cables de alto voltaje, con aceite, desde los transformadores de potencia principales, y los diferentes cables de potencia y control hasta el patio de conexiones colocado encima.

#### 4.8 TUNEL DE FUGA

El Plano 139 muestra la planta y perfil del túnel de fuga. La distribución detallada de la casa de máquinas aparece en una escala mayor en el Plano 140. Básicamente las descargas de las unidades se recogen por un distribuidor aguas abajo de los pozos de las compuertas del túnel de fuga y se llevan, por un túnel de 6.0 m revestido en concreto, de regreso al río Calima. El túnel principal tendría una longitud aproximada de 1390 m. El revestimiento en concreto se necesita para mejorar la capacidad hidráulica del túnel. El túnel se ha diseñado para trabajar por gravedad. Un túnel excavado con mole (máquina excavadora) con un diámetro igual al del túnel de carga, tendría una capacidad hidráulica insuficiente y necesitaría pendiente adicional. La Tabla 4.1 muestra el centro de los distribuidores de las unidades un metro más alto, es decir, en la Cota 304.0 m.

Como se indica en los planos del túnel de fuga, se ha dado consideración a la futura desviación de los caudales de descarga de Calima III hacia el embalse de Calima IV. Los extremos del túnel de construcción cerca del distribuidor se sellarán con mamparas provisionales. Estas mamparas se removerán después de la terminación del túnel de fuga. Las desviaciones complementarias del río Calima se ejecutarían a través del túnel de fuga actual y se reunirían con las descargas de Calima III aguas abajo del empalme. El nuevo túnel de fuga tendría una mayor sección, aproximadamente de 7.0 m de diámetro nominal.

## 4.9 DESVIACION DE LA QUEBRADA LA CRISTALINA

### 4.9.1 Generalidades

La desviación de la quebrada La Cristalina entregaría en la abscisa 2+000 del túnel de carga. Los Planos 141 al 146 presentan los diferentes elementos que comprenden la inclusión de este tributario, así:

- Una pequeña presa de desviación, construida sobre la quebrada La Cristalina en la Cota 854 m.
- Un túnel de concreto revestido, de 3.0 m de diámetro nominal, de aproximadamente 700 m de longitud.
- Una tubería de acero, que comienza en el portal de salida del túnel de desviación y que se interconecta con la tubería del túnel de carga en el cruce de la quebrada La Cristalina (ésta tubería tiene una longitud de 105 m y diámetro variable).

### 4.9.2 Parámetros de Diseño

El caudal promedio desviado se ha calculado en 1.9 m<sup>3</sup>/s. Las memorias de diseño de las obras de desviación del Alto Bravo indican que la capacidad de diseño del túnel de desviación utilizado es de 13 m<sup>3</sup>/s para un caudal promedio de 3.1 m<sup>3</sup>/s, o sea que se seleccionó un factor de diseño de 4.2 veces el caudal medio. El estudio de la curva de duración diaria para el Alto Bravo indica que para un 30% del tiempo el caudal diario es igual o menor que un 30% del caudal promedio. Generalmente un tiempo del 25% al 30% en que el caudal es igualado o excedido corresponde al caudal máximo económicamente desviable. Sin embargo las cuencas del Calima Medio son muy pequeñas y la climatología sugiere utilizar una escala de tiempo menor que los registros diarios. A falta de un registro histórico de caudales horarios suficientemente largo que permitiera o derivar un valor específico o sujetar un rango de caudales a una evaluación más detallada, se decidió seleccionar un factor, con base en el concepto de diseño del Alto Bravo, pero modificado hacia abajo con relación al tamaño creciente de la cuenca considerada.

Para Cristalina, el túnel de desviación de tamaño mínimo resulta en un caudal máximo de diseño de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual corresponde muy aproximadamente a las condiciones del Alto Bravo. Por lo tanto este valor fue utilizado para dimensionar los otros elementos del esquema de desviación, es decir, captación y tubería de acero.

#### 4.9.3 Presa de Desviación

El sitio de la presa de desviación está situado sobre una terraza semi-permeable de más de 20 m de espesor. La pendiente del lecho de la quebrada es del orden de 5.5%. En vez de tratar de construir una cortina impermeable, que sería costoso, se resolvió adoptar una estructura de desviación de muy poca altura; y mediante el empleo de una losa flexible y pantallas interceptoras aguas arriba, desarrollar un paso de filtración, por debajo de la estructura suficientemente capaz de desarrollar un potencial contra la tubificación. Se aprovechó la fuerte pendiente del lecho de la quebrada para minimizar la altura de las estructuras. El material de la terraza se compone de gravas y arenas limosas con cantos rodados y se ha contemplado una relación, entre paso de filtración y caída, de entre 3.5 y 4.

La presa y la captación aparecen en detalle en los Planos 143 y 145. La avenida máxima probable (PMF) estimada para el sitio de presa fue de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los detalles muestran una compuerta automática en el conducto de limpieza y una compuerta de aleta en el vertedero principal. Esta última podrá operar piezométricamente, abriendo cuando los niveles de la antecámara excedan los niveles pre-establecidos. La compuerta se cerraría por el personal de operación en turno.

Como una alternativa a la compuerta de aleta podría seleccionarse durante el diseño final una compuerta radial automática. Un diseño análogo, usando este último tipo de compuerta, se utilizó en la presa de desviación del río Azul, como se verá más adelante.

El canal principal del vertedero, para ambos tipos de compuerta sería en realidad una estructura del tipo de umbral sin ninguna obstrucción física al arras-

tre de sedimentos de fondo que tiendan a acomodarse detrás de la compuerta. La toma de la desviación estaría provista de enrejados, rejillas para basura y conductos de evacuación de sedimentos. Las compuertas automáticas de regulación mantendrían niveles aceptables de agua sobre las rejillas para basura. Estas rejillas se limpiarían manualmente. La protección adicional requerida aguas abajo de la presa, se obtendría utilizando una losa deformable de bloques de concreto del tipo comunmente usado en el Japón para condiciones semejantes de fundación.

#### 4.9.4 Conducciones de la Desviación

El túnel que tiene una sección excavada de 3.0 m de diámetro nominal, atravesará rocas metamórficas y necesitará probablemente un alto porcentaje de revestimiento de concreto. El revestimiento se colocará dentro de dicha sección excavada.

El túnel tendrá acceso solamente desde la toma en el sitio de presa. La tubería de acero tendrá un diámetro que varía entre 2.0 m en el portal del túnel y 1.6 m en la interconexión. El espesor de la tubería se basará en la altura de carga dentro del sistema. Es de esperar que en el nivel superior del túnel prevalezcan condiciones de flujo libre y que a otros niveles variables se tengan condiciones de flujo pleno, según lo determine las descargas instantáneas correspondientes. El túnel de carga principal tiene una trampa de rocas aguas abajo de la intercepción de la desviación. Esta trampa de rocas tiene acceso desde la sección móvil instalada en el cruce de La Cristalina.

#### 4.10 DESVIACION AZUL/MILITAR

##### 4.10.1 Generalidades

La desviación Azul/Militar tiene físicamente una longitud mayor, que las otras desviaciones de afluentes. La disposición básica se muestra en el Plano 147. Se estudió como alternativa una desviación directa al túnel de carga, que se muestra en el Volumen 3. Esta alternativa resultó más costosa pero podría tener alguna ventaja en incrementar la caída neta en la casa de máquinas

(Este último aspecto no fue evaluado durante este estudio).

El sistema de conducción fue diseñado para una desviación máxima de 20 m<sup>3</sup>/s. El caudal medio de la desviación combinada Azul/Militar es de 4.3 m<sup>3</sup>/s. La desviación del Azul a quebrada Militar tiene por sí sola una capacidad de diseño de 12 m<sup>3</sup>/s. El sitio para la presa de desviación sobre el río Azul resultó tener una fundación con carácter similar a la de La Cristalina. Este sitio se muestra en el Plano 148. Investigaciones geológicas posteriores indicaron que podrían encontrarse condiciones de cimentación más favorables cerca de un kilómetro aguas arriba. Durante el diseño final deberá examinarse la posible reubicación de estas obras para determinar si resultan ser económicas y efectivas. En términos generales, el costo de cada estructura asociada con todas las desviaciones de tributarios representa solamente un 2.5%, o menos, del total de la inversión del proyecto. Las conducciones respectivas son en realidad los componentes más costosos; por esta razón, durante esta fase del estudio se ha dado más atención a los sistemas de conducción. Una reubicación aguas arriba sobre el río Azul acortaría nominalmente el sistema combinado de conducción.

#### 4.10.2 Presas de Desviación

Con la posibilidad de encontrar condiciones de fundación en la presa del río Azul, similares a las de de la quebrada La Cristalina y tomando en cuenta que la descarga de diseño es esencialmente igual para ambos, se ha usado una presa de desviación semejante. La presa del Azul aparece en los Planos 149 al 151. Las obras de captación son esencialmente las mismas descritas para La Cristalina, con la excepción de estar en dirección opuesta. El canal del vertedero sí fue modificado ya que no se dispondrá de servicio eléctrico permanente en esta localidad y todas las compuertas se han cambiado a operación automática por sistemas de flotadores y contrapesos. (En vez de una compuerta central de aleta se seleccionó una compuerta radial).

La presa de la desviación de la quebrada Militar es realmente una estructura con entrada de fondo. En este sitio, el lecho del río tiene una pendiente del 10%, y a diferencia del sitio del río Azul, se espera que la fundación quedará sobre roca. Son varios los métodos empleados para evitar la entrada

de sedimentos a la toma de la desviación; 1.- Un extractor de solera, 2.- Un desague de limpia y 3.- Un múltiple para extracción de sedimentos. A excepción del desague de limpia todas las instalaciones serán operadas - manualmente.

#### 4.10.3 Conducciones

Las conducciones sirven la doble función de transportar el agua y de proporcionar acceso para mantenimiento. Una solución semejante se adoptó para la toma del alto Bravo asociada con Calima I (Ver Planos 102 y 103). Esta utilización doble de los túneles de desviación tiene la ventaja adicional de evitar la erosión excesiva que sigue a la construcción de las carreteras de servicio. Tanto el cañón del río Azul como el del Militar tienen terreno difícil para lograr la estabilización de taludes.

El túnel Azul-Militar tendría una longitud de 3.500 m y una sección en herradura modificada de 3.00 m, sin revestimiento. Cruzaría el Militar en un canal de concreto que recibiría también los caudales de la desviación del Militar.

El túnel Militar-Bravo tendría una longitud de 4700 m y requiere de una sección sin revestir de 3.8 m similar al tramo Azul-Militar. El portal de salida quedaría en el extremo del embalse de Calima III en río Bravo.

#### 4.11 DESVIACION CHANCO MINAS

La cartografía detallada completa del sitio de desviación no pudo obtenerse si no hasta finales del período de estudios. Las poligonales hasta el sitio de desviación del Chanco se terminaron primero y pudo realizarse el reconocimiento geológico a lo largo de gran parte del alineamiento del túnel. No se realizaron exploraciones geológicas subterráneas.

Las conducciones para este esquema de desviación tienen una longitud total de 3700 m y se describen en el Plano 154. El tramo del túnel entre Chanco y Minas tiene 2400 m de largo y una sección excavada de 3.0 m de diámetro nominal. En la desviación de Minas, este túnel se intercepta con un pozo de 2.0 m de diámetro. Las desviaciones Chanco-Minas combinadas continúan unos 1250 m más

hasta el túnel de carga. El pozo de minas tendría revestimiento de concreto.

Las dos estructuras de desviación serían del tipo de entrada de fondo similares a las propuestas para el Mico y Militar. Para la estructura de desviación del Chanco se ejecutó un diseño conceptual para la captación que aparece en el Plano 155. En vez de tener compuertas automáticas para extracción de sedimentos, en la estructura del río, sería preferible un diseño semejante al empleado en las obras de desviación del Alto Bravo. En principio, los caudales de desviación atraviesan una cámara de desarenación dentro del túnel. Los depósitos allí acumulados regresarían al río por medio de un túnel de limpieza. La cámara de desarenación tendría una sección ensanchada que por reducción de velocidad separaría el sedimento grueso. La deposición se aumentaría pasando los caudales desviados sobre un vertedero de limpieza. Tanto el túnel de evacuación como la estructura de captación tendrían compuertas de operación manual.

La proximidad de la captación de minas al área de la Central sugiere que la captación podría dejarse sin vigilante en forma continua. La captación del Chanco queda en un área remota y por eso se ha colocado un helipuerto cerca de la estructura. Durante la mayor parte de este estudio los únicos planos disponibles para efectos de planificación fueron los obtenidos mediante fotointerpretación de las imágenes de Landsat a escala 1:250.000. Desafortunadamente la fotografía a poca altura no cubrió esta área y por ser fundamentalmente en selva densa y húmeda no fue posible explorar el área completamente. Casi al terminar el estudio se encontró que la Falla del Indio pasa cerca de la ubicación de la captación del Chanco, como lo muestra el Plano 158. Es por eso que el alineamiento del tramo del túnel Chanco-Minas pasa cerca de esta característica geológica adversa. Durante el diseño final es deseable investigar y verificar que la bocatoma de la desviación quede aguas arriba de la falla. Las ubicaciones propuestas para ambas estructuras podrán relocalizarse fácilmente una vez se efectúe una evaluación más completa del área de falla.

#### 4.12 LINEAS DE TRANSMISION

##### 4.12.1 Estipulaciones Generales

Las obras de transmisión del proyecto incluyen una línea de 230 kV de doble -

circuito, de 41 km de longitud, entre el patio de maniobras en río Chanco - hasta una nueva subestación en Vijes. En Vijes habrá una reducción de transmisión a 115 kV y desde Vijes se llevarán líneas de transmisión, a 115 kV, a Cerrito y Buga.

La ruta propuesta para la línea de 230 kV se muestra en el Plano 158. Para las líneas de 115 kV se ha escogido la ruta definitiva. Sin embargo, estos tramos serán de aproximadamente 19 km de cada uno, es decir 38 km en total. Como se indica en el Plano 158 Calima I tiene ya un sistema de transmisión de 115 kV que termina en Buga. Figuran también cuatro circuitos de 230 kV (dos existentes y dos en proyecto para 1983) que entran al área general en una dirección casi Norte Sur. Estos cuatro circuitos conectan Cali con Esmeralda (Ver la Figura 2.5) y forman parte del Sistema Nacional Interconectado. La nueva subestación Vijes estará empalmada a estos circuitos. (Esto no se muestra en la Figura 2.5).

#### 4.12.2 Consideraciones de Diseño

El potencial de Calima IV ha tenido considerable influencia en los actuales diseños y presupuestos de la línea de transmisión de Calima III. La evaluación de Calima, (Ver Plano 102), indica que este proyecto tiene un contenido de energía promedio anual de 775 GWh/año. Los prospectos de desarrollo para Calima IV incluyen otro pequeño embalse de re-regulación, y una capacidad instalada probable de 150 MW. La capacidad combinada de sobrecarga de ambas plantas sería de 440 MW. La capacidad térmica de los circuitos de Calima III-Vijes ha sido diseñada, por lo tanto, para una capacidad de transmisión de 440 MW bajo el supuesto de que este proyecto se implementará enseguida de Calima III. Los criterios de diseño tuvieron como base las premisas siguientes :

- Los generadores operan al voltaje nominal.
- Las líneas operan al voltaje nominal del patio de transmisiones.
- La regulación de voltaje de la línea sería entre 3% y 5%.
- Bajo condiciones normales de operación, el factor de potencia estaría en

el rango de 0.85 a 0.92, pero más cerca de 0.9.

- Las pérdidas totales en línea estarían entre un 2% y un 3% de la energía/potencia transmitida.

Aun cuando el estimativo de costos actual incluye la transmisión de energía de Calima III y Calima IV, se ha elaborado un análisis de sensibilidad al costo que permitirá prorratear los cargos por transmisión a Calima IV. Al momento de este informe CVC ya había tomado las medidas iniciales para autorizar los estudios de factibilidad de Calima IV.

Debe anotarse también, que es posible llegar a tener en el futuro un centro de carga secundario en el Oeste: Buenaventura. Este puerto del Pacífico está -servido actualmente desde el Bajo Anchicayá por una línea de transmisión de 115 kV. Estudios adelantados por CVC indican que dentro de unos siete años la transmisión existente llegará hasta el límite de su capacidad y se necesitará una fuente adicional. Esto no ha sido tomado en cuenta en los diseños actuales. CVC ha comenzado a explorar las posibilidades de utilizar Calima III/IV para este fin.

#### 4.12.3 Selección de Ruta

El centro de carga principal del proyecto es Cali. De una evaluación preliminar de las facilidades de transmisión existentes y en proyecto (Ver la Figura 2.5) pudo concluirse que era físicamente posible establecer un empalme con el Sistema Interconectado. Esta perspectiva, junto con la distancia total del -proyecto determinó un nivel de transmisión a 230 kV.

La ruta seleccionada desde el proyecto bordea el embalse de Madroñal y termina en la vertiente oriental de la cordillera en el Valle del Cauca. Para asegurar el nivel de seguridad deseado, fue necesario adoptar los requerimientos generales de CVC de ubicar la subestación cerca de algún centro de población. Con este fin se escogió a Vijes y se seleccionó la ruta que se muestra en el Plano 158. En el mismo Plano se indican dos subestaciones alternativas, designadas A y B. La ubicación A, aunque más cerca a Vijes es preferida por la CVC .

Topográficamente, la ruta pasa por dos tipos de terreno. Uno, bastante abrupto, desde el río Chanco hasta el Este de Madroñal y otro suavemente ondulado, desde Madroñal, hasta justamente antes del rápido descenso de la vertiente - oriental de la cordillera. En este último trayecto la línea pasa sobre el Valle de Restrepo. La ruta total tiene una longitud aproximada de 41 a 42 km, de los cuales cerca de un 25% corresponde a las condiciones topográficas más suaves de esta meseta. La topografía de las zonas más altas al Oeste de Madroñal no estuvo disponible para este estudio. La ruta seleccionada fue escogida por quedar dentro de las condiciones topográficas conocidas; sin embargo, durante el diseño final podrán investigarse otras rutas, a una mayor altura con base en levantamientos de campo.

#### 4.12 OPTIMIZACION DEL CONDUCTOR

En el Volumen 2 se ha incluido un estudio detallado de optimización del conductor basado en los parámetros generales de diseño suministrados por la CVC. Este es uno de los varios estudios alternativos con computador hechos para la línea. Se dan todos los parámetros junto con los resultados del análisis de valor presente. (La optimización usa un perfil de escalamiento de costos que difiere de los factores de escalación de costos suministrados más adelante en la Sección 8). De estos estudios de optimización vino a determinarse que el costo de un conductor ASCR de 1780 KCM ("CHUKAR"), con luces entre torres de 320 m, tenía un valor presente mínimo, usando un 12% de factor de descuento. (Para un factor de descuento del 10% se tendría un conductor ASCR de 2000 KCM con la misma luz). Esto equivale a un costo instalado de US\$ 175.000 por Kilómetro. Los estimativos de costo cubren únicamente el tramo de línea de transmisión de 115 kV entre Vijes y Cerrito. La CVC suministró los datos sobre costos para esta línea. La línea de 115 kV entre Vijes y Buga no se incluyó en los estimativos de costos.

#### 4.13 SUBESTACION VIJES

Para la subestación de Vijes se ha proyectado tanto un intertie con las líneas de 230 kV del Sistema Interconectado que van del Norte al Sur, como una reducción a 115 kV. La parte a 115 kV de la estación va a tener básicamente el di-

seño standard de la CVC. El diseño de la parte de 230 kV está todavía en estudio por la CVC-ISA.

El Plano 158 muestra localizaciones alternativas para la subestación. Como ya se indicó antes, la CVC parece preferir el sitio "A". El costo de la tierra en el Valle del Cauca es alto y es necesario efectuar, durante el período de diseño final, una revisión detallada y un análisis de costos, para definir la ubicación definitiva.

La CVC está actualmente haciendo evaluaciones de: 1.- confiabilidad cuantitativa; 2.- criterios de operación; y, 3.- consideraciones económicas, para el diseño de las subestaciones a 230 kV. Los Planos 159 y 160 muestran algunos de los varios diagramas alternativos unifilares que se están investigando, y que son:

- Alternativa 1.- Dos barras principales de operación y una barra de transferencia separada.
- Alternativa 2.- Esquema de barra doble con interruptor sencillo.
- Alternativa 3.- Esquema de interruptor y medio.

Por lo tanto, para este estudio se decidió adoptar tentativamente el estimativo de costo para la alternativa 3, que es el esquema más costoso; aclarando - que sólo se han incluido las líneas de doble circuito, a 115 kV, a Cerrito, es decir, un transformador de reducción, etc.

#### 4.14 VIAS DE ACCESO

Durante el desarrollo de este estudio, CVC transfirió los aspectos del diseño de vías de acceso dentro del área del proyecto a un consultor especial, puesto que era necesario acelerar su implementación. Aunque los planos que se incluyen en el Volumen 4 no muestran las vías de acceso aguas abajo de la confluencia Bravo-Calima, los trabajos de campo correspondientes se encuentran en ejecución. La CVC se propone licitar la construcción de estas vías en tramos de aproximadamente cinco kilómetros, para tenerlas terminadas hasta el área



ser la mejor fuente de agregado en el sitio y tendría preferencia sobre las otras fuentes ubicadas aguas arriba del eje de presa. En la Sección 6 se tratan otros aspectos de las fuentes de agregados y se hace nuevamente referencia al Plano 161. Las áreas para botadero se discutieron ya anteriormente.

SECCION 4 - LISTA DE TABLAS

- 4.1 Presas de Concreto Sujetas a Vibraciones Sísmicas Importantes.
- 4.2 Características de la Central versus Método de Excavación de Túnel.

PRESAS DE CONCRETO SUJETAS A VIBRACIONES SISMICAS IMPORTANTES

Nombre, tipo, año terminación	País	Altura pies	Longitud pies	Fecha del sismo	Dist. a la Falla (400m)	Magnitud sismo	Aceleración horizontal medida	Notas
Lower Crystal Springs, curved gravity-1890	USA	154 (47m)	600 (183m)	April 18, 1906 (San Francisco)	0.25 miles (400m)	8.3	-	not the slightest crack
Hoover, curved gravity-1936	USA	726 (22m)	1244 (379m)	Many* Starting in 1936	5 miles (8 km)	5.0 max.		no damage
Honen-ike, multiple arch-1930	Japan	(30m)	97 (145m)	476 (Nankai)	Dec. 21, 1946		VII-VIII intensity	crack in arch near buttress-repaired by grouting
Blackbrook, gravity-1900	England	100 (30.5m)	482 (147m)	Feb. 11, 1957	4 miles (6.4 km)	Grade 8 on English Scale of 10		cracks in downstream masonry face
Hsinfengkang, buttress-1959	China	344 (105m)	1444 (440m)	March 19, 1962*	3 miles to focus (5 km)	6.1	0.54 in after-shock	cracks in top part of dam
Monteynard arch-1962	France	509 (155m)	705 (215m)	April 23, 1963*	many shocks under dam	4.9 max.		no damage
Kariba, arch-1959	Rhodesia	420 (128m)	2025 (617m)	Sept 23, 1963* and others		6.1 max.		no damage
Kurobe, arch-1960	Japan	612 (186m)	1558 (475m)	Many* 1963-1970	6 miles (10 km)	5.0 max.		no damage
Koyna, straight gravity-1963	India	338 (103m)	2800 (835m)	Dec 11, 1967* (Koyna)	(3 km)	6.5	0.63g along axis 0.49g transverse to axis	cracks in both faces
Grandval, multiple arch-1959	France	289 (88m)	1312 (400m)	Many starting* in 1969			V intensity	no damage
Pacoima, arch-1929	USA	372 (113m)	589 (180m)	Febr 9, 1971 (San Fernando)	3 miles to break (5 km)	6.6	1.25g	no cracks in arch-opening up of joint between arch
Santa Anita, arch-1927	USA	251 (76m)	670 (204m)	Feb 9, 1971 (San Fernando)	17 miles (27 km)	6.6	0.17g	no damage
Big Tujunga arch-1931	USA	251 (76m)	400 (122m)	Feb 9, 1971 (San Fernando)	20 miles (32 km)	6.6		no damage
Ambicsta, arch-1956	Italy	194 (59m)	475 (145m)	May 6, 1976 (Gemona-Friuli)	14 miles (22 km)	6.5	0.33g	no damage
Maina di Sauris, arch-1952	Italy	446 (136m)	453 (138m)	May 6, 1976 (Gemona-Friuli)	27 miles (43 km)	6.5		no damage
Barcis, arch-1952	Italy	164 (136m)	276 (138m)	May 6, 1976 (Gemona-Friuli)	30 miles (43 km)	6.5		no damage
Barcis, arch-1955	Italy	164 (50m)	276 (84m)	May 6, 1976 (Gemona-Friuli)	30 miles (48 km)	6.5		no damage
Pofana Usului, buttress-1969	Romania	262 (80m)	1730 (527m)	March 4, 1977 (Gemona-)	37 miles (60 km)	7.2		no damage

\*Earthquake believed to be reservoir induced



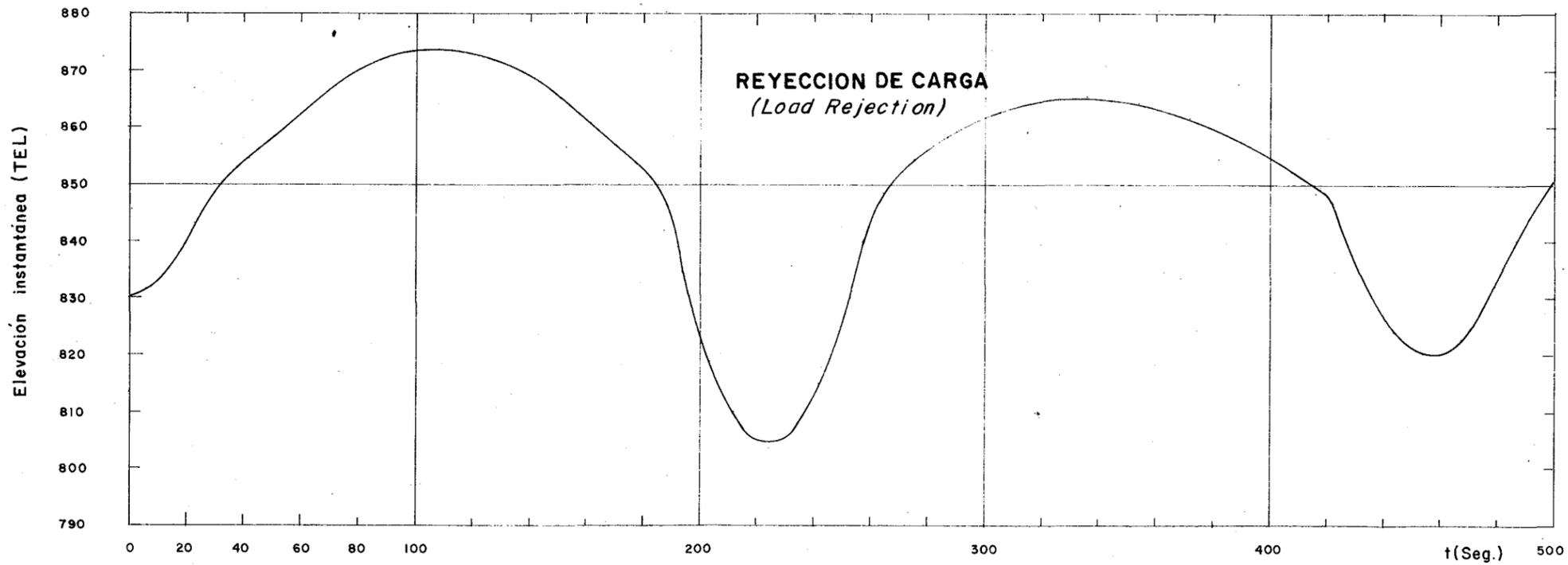
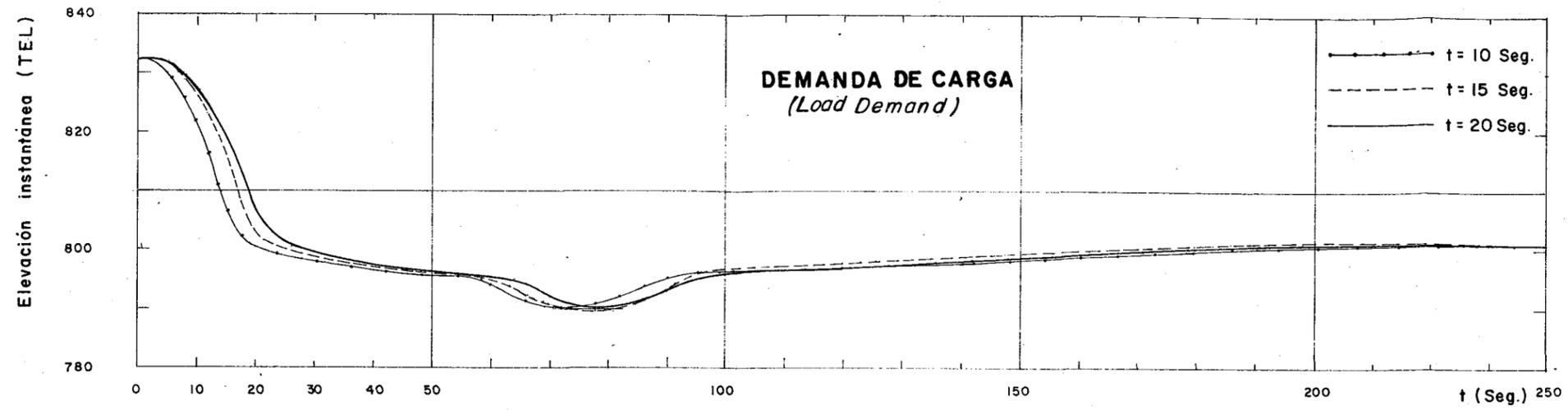
CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL  
VERSUS  
METODO DE EXCAVACION DEL TUNEL

<u>Item</u>	<u>Excavación Convencional</u>	<u>Excavación con Máquina Excavadora</u>
Capacidad nominal de la planta, MW	240	240
Cota del embalse		
Máxima normal	850	850
Media	847.5	847.5
Mínima	822.0	822.0
Cota del Distribuidor	303	304
Caída Total, m		
Máxima	547	546
Media	544.5	543.5
Mínima	519	518
Caída Neta, m		
Máxima	499.4	512.3
Media	489.5	510.0
Mínima	475.0	486.1
Descarga Total de la Planta, m <sup>3</sup> /s		
Máxima	63.6	62.2
Media	63.5	62.0
Mínima	62.0	60.5
Capacidad Pico de la Planta, MW		
Máxima	277	277
Media	276	276
Mínima	257	257

SECCION 4 - LISTA DE FIGURAS

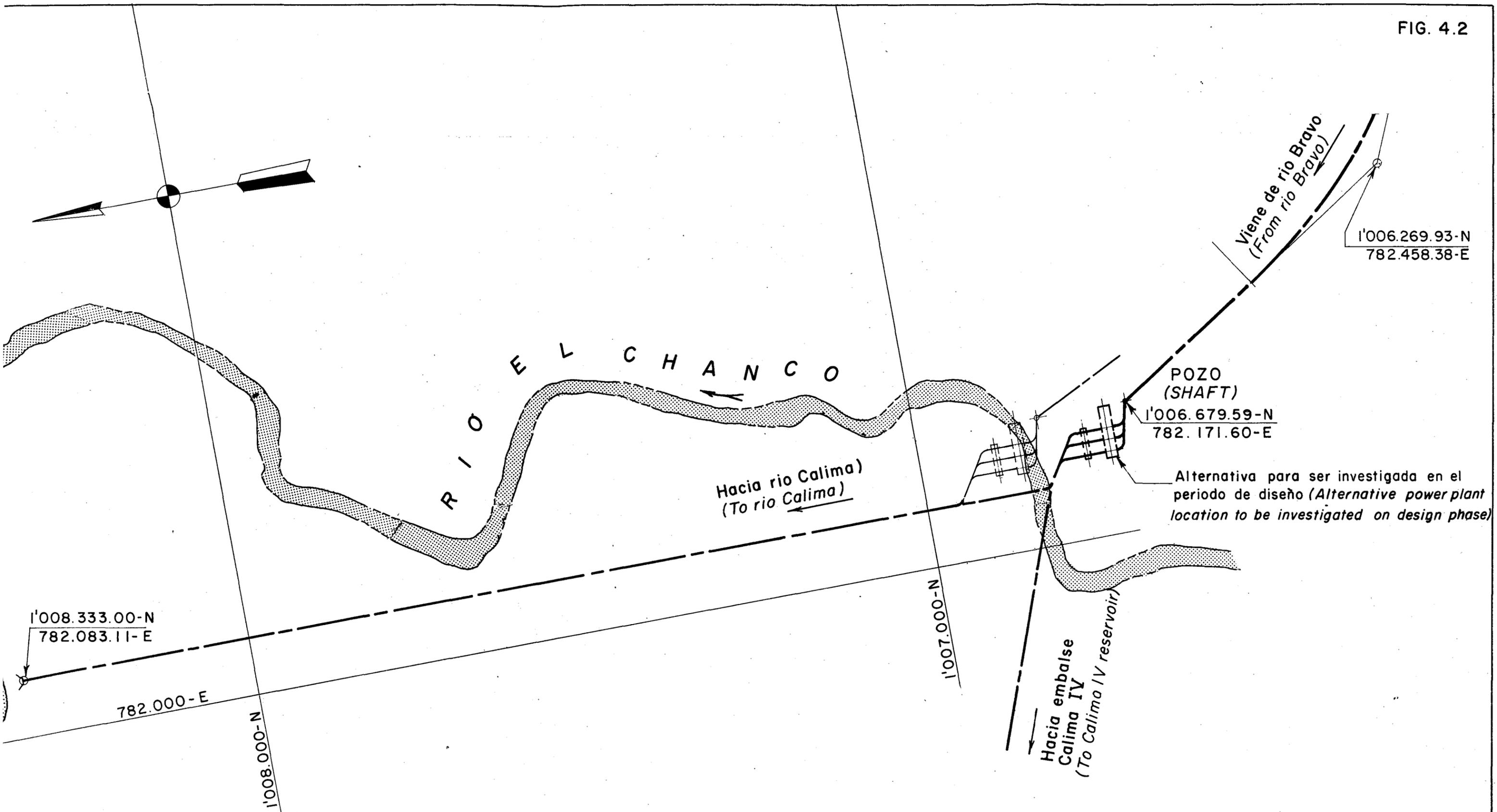
- 4.1 Transiente Hidráulica en la Almenara
- 4.2 Relocalización de la Casa de Máquinas
- 4.3 Programa de Excavación - Casa de Máquinas

NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL AGUA EN LA ALMENARA  
(Water Surface Elevation at Surge Chamber)



**CVA** CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOTECA

TRANSIENTE HIDRAULICA  
EN LA ALMENARA  
*Hydraulic Transient in Surge Chamber*



RELOCALIZACION DE LA CASA DE MAQUINAS  
(POWER PLANT RELOCATION)

SECCION 5 - HIDROLOGIA DEL PROYECTO

TABLA DE CONTENIDOS

5.1	Alcance del Estudio
5.2	Climatología
5.2.1	Características Generales
5.2.2	Red Hidrológica de Mediciones
5.2.3	Precipitación
5.2.4	Evaporación
5.3	Régimen de Caudales
5.4	Estudio de Crecientes
5.4.1	Alcance de los Estudios
5.4.2	Creciente de Diseño para Vertedero
5.4.3	Creciente para Desviación
5.5	Sedimentos
	Tablas
	Figuras

## SECCION 5

### HIDROLOGIA DEL PROYECTO

#### 5.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

En esta sección se describen las características hidrológicas y evaluaciones de la cuenca del río Calima Medio -- EL 300 a EL 1180 -- la cual incluye el proyecto hidroeléctrico propuesto de Calima III (Figura 5.1). Este proyecto desarrolla el tramo del río entre las Cotas 300 m y 850 m.

Se han estudiado los siguientes aspectos hidrológicos:

- Información de las estaciones de medición existentes en la cuenca del Calima Medio y en las cuencas de los ríos Anchicayá y San Juan.
- Condiciones climáticas e hidrológicas con base en los registros disponibles de temperatura, precipitación, humedad y vientos
- Régimen de caudales del río Calima y principales tributarios, con base en los registros disponibles.
- Series de caudales promedios mensuales generados con base en correlaciones y utilizados en los análisis de potencia y energía.
- Caudales máximos a lo largo del cauce principal del río Calima y crecientes de diseño de los proyectos existentes Calima I y Alto Anchicayá, para determinar la creciete de diseño de vertedero y la creciete durante la desviación (El modelo de Hershfield se utilizó para determinar la precipitación máxima probable y la hidrógrafa correspondiente).
- Sedimentos depositados en los embalses de Calima I y Anchicayá, para estimar la capacidad muerta del embalse propuesto de Calima III.

#### 5.2 CLIMATOLOGIA

##### 5.2.1 Características Generales



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

La cuenca del río Calima está localizada en la vertiente del Pacífico Colombiano,

la cual es una de las áreas más lluviosas del mundo. El área de drenaje de la cuenca del río Calima, hasta su confluencia con el río San Juan, es aproximadamente 1490 km<sup>2</sup>. Para el propósito de este estudio, la cuenca del río Calima ha sido dividida en tres sectores los cuales se describen en la Sección 3. Las áreas de drenaje correspondientes, expresadas en kilómetros cuadrados, se presentan como sigue:

<u>Sector</u>	<u>Altitud</u>	<u>Incremento de Area km<sup>2</sup></u>	<u>Area Acumulada km<sup>2</sup></u>
Calima Alto	Mayor que 1180	281	287
Calima Medio	1180 - a - 300	301	582
Calima Bajo	Menor que 300	808	1490

Las características fisiográficas de la cuenca Calima Medio están definidas por cerros con pendientes altas, cauces encañonados en forma de V y una selva tropical densa y muy húmeda.

Los vientos saturados de humedad provenientes del Pacífico tienen influencia en el clima regional y se puede decir que no son frecuentes los períodos secos prolongados. El tiempo y las características climáticas dependen del desplazamiento anual de la faja intertropical de convergencia alrededor del Ecuador y de la orografía de la cuenca.

La temperatura está directamente relacionada con la altitud. El descenso aproximado de la temperatura es de 1°C por cada 184 m de aumento sobre el nivel del mar. Los registros disponibles de temperatura corresponden a las estaciones de Palermo y Bajo Calima. La temperatura media en el Bajo Calima es de 25.3°C y de 19°C en la estación Palermo.

#### 5.2.2 Red Hidrológica de Mediciones

En la planeación del proyecto, fue necesario compilar y analizar los datos de precipitación y caudales obtenidos de la red de mediciones hidrológicas existente. Durante la ejecución de este estudio se instalaron algunas esta-

ciones de mediciones adicionales dentro del área; y posteriormente se recomendó la instalación inmediata de medidores adicionales, particularmente en los sitios propuestos para la desviación de tributarios. Estos medidores serán necesarios más tarde para corroborar las evaluaciones del estudio y deberán continuar en operación para su uso durante el desarrollo del diseño final.

La red de mediciones existente utilizada en este estudio comprende las estaciones instaladas y operadas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC) y el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). La investigación utilizó las estaciones de las cuencas río Calima, Anchicayá y río Cauca. Las estaciones localizadas dentro del Calima y Anchicayá se presentan en la Tabla 5.1.

La información adicional fue obtenida de las redes que fueron establecidas durante la identificación de otros proyectos hidráulicos/hidroeléctricos tales como: Calima I, Calima II, Proyecto Hidroeléctrico del río San Juan, Proyecto de Regulación del río Cauca, Proyecto del Alto Anchicayá y Estudio del Sector de Energía Eléctrica (1) mencionados en la Sección 2.

Muchos de los medidores utilizados en los estudios de identificación de los proyectos mencionados fueron posteriormente descontinuados.

### 5.2.3 Precipitación

La cantidad de precipitación media anual se incrementa de 1150 mm en el embalse de Madroñal, hasta 2300 mm en Campoalegre y a 8500 mm en La Trojita. La lluvia mínima anual sobre el embalse de Madroñal y la divisoria de aguas entre la vertiente del Pacífico y el Valle del Cauca, oscila entre 1100 mm, y 800 mm, respectivamente.

Además de presentarse formas locales de la precipitación, se pueden distinguir dos características regulares predominantes: La variación mensual y la variación diaria; la variación mensual es pequeña de un año a otro y en la mayoría de los casos menor que el 12%. La variación diaria por lo general

alcanza un máximo en las primeras horas de la tarde pero algunas veces, por efectos de circulación local, este máximo se desplaza hacia horas más tarde e inclusive a horas de la noche acusando variaciones en magnitud y cambios en la distribución de los valores porcentuales horarios.

La distribución de la lluvia anual presenta dos máximos y dos mínimos. Los valores máximos ocurren entre Mayo y Junio y entre Octubre y Noviembre; los mínimos entre Diciembre y Marzo y entre Julio y Septiembre. Estas tendencias son también observables en los registros de caudales. La tendencia general de la lluvia es de disminución con respecto a la altitud, en la cuencas del Calima y del Anchicayá. Esta tendencia se refleja en los valores anuales de precipitación, mencionados anteriormente, y que se discuten en detalle en el Volumen 2.

#### 5.2.4 Evaporación

Los datos disponibles de evaporación efectiva fueron obtenidos con un evaporímetro de tanque clase A localizado en la estación de Palermo, cerca al embalse de Madroñal (1566 mm/año), y de los estudios del río San Juan los cuales reportan una evaporación media de 1000 mm/año como resultado de las características de la cuenca. La evaporación en la cuenca del Calima Medio ha sido estimada por medio de métodos empíricos y varía entre 800 mm y 1600 mm por año.

### 5.3 REGIMEN DE CAUDALES

La cuenca del Calima está conformada por terreno montañoso y tributarios cortos con pendientes altas. Se extiende a lo largo de unos 80 kilómetros ocupando una faja que varía entre 12 y 28 km. La capacidad de retención de la cuenca, con una cobertura poco profunda de suelo y cañones en V, es insignificante, y no hay efecto regulador de los tributarios. Los registros disponibles de caudales en la cuenca exhiben una similitud definida con los registros de lluvia e indican que el régimen de estos ríos es eminentemente pluvial. El análisis de los caudales promedios mensuales muestra que hay dos máximos y dos mínimos durante el año. Los máximos ocurren en Mayo y durante el período de Octubre a Enero y los mínimos durante Febrero y Septiembre.

Las estaciones de Madroñal y la Trojita en el río Calima, y la Esperanza en el río Bravo, tienen registro de caudales diarios entre 10 a 15 años. El período más corto de registros se presenta en la estación Calima-río Azul. Esta estación empezó a ser operada en Noviembre de 1979. El área de drenaje total hasta dicha estación es de unos 517 km<sup>2</sup> (Figura 5.2). No hay datos de caudales en el río Bravo-sitio de presa, -- ni en los sitios propuestos para la desviación de tributarios. Fue por consiguiente necesario generar esta información usando los registros disponibles en otras estaciones.

Las estaciones seleccionadas como base para ejecutar el análisis de correlaciones y la generación de caudales fueron: Salvajina en el río Cauca y Danubio en el río Anchicayá. Estas estaciones correlacionaron bien con los registros de caudales en Madroñal y por medio de las relaciones determinadas y descritas en el Volumen 2, fue posible generar 35 años de caudales medios en Madroñal. Para generar caudales comparables en los puntos de desviación de tributarios, fue entonces necesario establecer una relación de correlación con la precipitación. Por medio de un análisis detallado se encontró, con mucha sorpresa, que prevalece una relación regional. Este hecho no fue reportado por los estudios previos ejecutados por CVC. Usando las isohietas medias anuales, la ecuación es de la forma:

$$Q_i = Q_m \left[ \frac{P_i A_i}{P_m A_m} \right]^{1.15382}$$

donde, Q = caudal medio mensual en m<sup>3</sup>/s  
P = precipitación media anual en m  
A = área de drenaje en km<sup>2</sup>  
i = subscripto para el punto de interés y  
m = subscripto para los registros de la estación base.

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación r=0.91. Se encontró más tarde que era posible derivar doce ecuaciones separadas con base en las isohietas medias mensuales; sin embargo, se decidió no implementar su uso en este

informe, pendiente de más refinamiento de la forma de las isohietas existentes sobre las cuencas individuales de los tributarios.

Usando la estación de Madroñal como base, fue entonces posible generar series de 35 años de caudales medios mensuales comparables en todos los puntos considerados para la desviación de tributarios. Aunque esto se discute en más detalle en el Volumen 2, presentamos ahora en el cuadro siguiente los caudales obtenidos mediante dicho análisis, para La Cristalina, Azul/Militar y Chanco/Minas.

<u>Tributario Incluido</u>	<u>Area de Dranaje, km<sup>2</sup></u>	<u>Caudal Medio, m<sup>3</sup>/s</u>	<u>Caudal Medio Desviado, m<sup>3</sup>/s</u>
Cristalina	23.7	2.6	1.9
Azul/Militar	45.0	6.0	4.3
Chanco	21.3	2.9	2.6

La suficiencia de la ecuación regional para reproducir correctamente la distribución de los caudales medios mensuales fue verificada mediante el análisis de los registros, de período más largo, para la desviación del Alto Bravo al Calima I.

La Figura 5.3 muestra las variaciones del caudal promedio a lo largo del cauce principal del río Calima versus el área de drenaje acumulada. La curva de descarga entre la confluencia del río Chanco y la estación de La Trojita refleja la alta precipitación en la cuenca del Calima Bajo.

En conclusión, los estudios ejecutados permitieron establecer, un caudal promedio de 21.0 m<sup>3</sup>/s en el sitio de presa de Calima III, (presa de río Bravo). El caudal está compuesto por 13.3 m<sup>3</sup>/s de la descarga media del proyecto existente de Calima I y 7.7 m<sup>3</sup>/s contribuidos por la cuenca intermedia entre la presa de Calima I y el sitio de presa de Calima III. Como el caudal promedio, de los tributarios que se desviarán en el futuro, es de 88 m<sup>3</sup>/s, el promedio total, finalmente aportado al proyecto será de 29.8 m<sup>3</sup>/s.

#### 5.4 ESTUDIO DE CRECIENTES

#### 5.4.1 Alcance de los Estudios

El propósito de los estudios de crecientes fue determinar las crecientes de diseño para el vertedero y para la desviación durante la construcción del proyecto. Estos estudios tuvieron en cuenta la interacción combinada del embalse existente de Madroñal, del embalse de Calima III, y los efectos de almacenamiento a lo largo del cauce principal. Los análisis se extendieron aguas abajo de la presa principal hasta el río Chanco. Una descripción más detallada de los procedimientos analíticos utilizados aparece en el Volumen 2. A continuación se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.

#### 5.4.2 Creciente de Diseño para Vertedero

El criterio usado para estimar la creciente de diseño es el recomendado por la División de Seguridad de Presas del Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de California, que consiste en determinar la creciente máxima probable (PMF) con base en la precipitación máxima probable (PMP). Esta PMP fue obtenida de acuerdo con el método estadístico propuesto por Hersfield, usando la lluvia de la cuenca y los datos meteorológicos disponibles.

En el estudio de la PMP fueron seleccionadas cinco estaciones, que están localizadas dentro de las cuencas del río Calima y Anchicayá. La lluvia promedio anual de las estaciones seleccionadas varía entre 1140 mm y 5430 mm/año con altitudes entre 1520 y 399 m respectivamente. Las lluvias máximas de uno y dos días en las estaciones seleccionadas fueron consideradas equivalentes al máximo de la estación para 24 y 48 horas. La PMP fue calculada de acuerdo con los procedimientos descritos en el Volumen 2.

Las precipitaciones máximas probables para la cuenca en 24 y 48 horas fueron 500 mm y 600 mm respectivamente. Las relaciones de altura de lluvia puntual-duración, para una duración de 24 horas, fueron obtenidas del estudio de factibilidad del Alto Anchicayá. Se encontró que los porcentajes de precipitación máxima diaria que podrían ocurrir en media hora, 6 y 12 horas eran de 47%, 76% y 87%, respectivamente.

Las precipitaciones máximas probables sobre esta área, para duraciones de 24 y 48 horas fueron 450 y 533 mm, respectivamente. Finalmente, la tormenta de 48 horas fue considerada suficientemente larga para producir el pico de flujo sobre el área de 582 km<sup>2</sup>. La hidrógrafa sintética unitaria fue calculada usando el método del U.S Soil Conservation Service, basándose en el carácter y tamaño de la cuenca de drenaje. El mismo método se aplicó para determinar la lluvia en exceso derivando así la hidrógrafa máxima probable (PMF), ver Figura 5.4.

La hidrógrafa PMF fue transitada a través del embalse utilizando el método modificado de Puls y a través de los canales, usando el método de Muskingum. El volumen total de entrada derivado de la PMF en el sitio del proyecto escogido para Calima III es de 171.1 Mm<sup>3</sup>, y corresponde al pico de entrada de 1746 m<sup>3</sup>/s (que incluye el pico de descarga del embalse de Madroñal correspondiente a 411 m<sup>3</sup>/s).

El área del embalse de Calima III es muy pequeña y tiene un efecto insignificante en la reducción del pico de salida. Por lo tanto el diseño del vertedero se basó en un flujo de salida de 1750 m<sup>3</sup>/s, para el cual la sobrecarga máxima en el embalse es ligeramente menor que 5.0m (ver Sección 4). En la práctica se acepta generalmente fijar la cresta del vertedero de una estructura de concreto en ó ligeramente por encima del nivel de agua máximo resultante para pasar una creciente de magnitud igual a la PMF. Normalmente los tipos de presas alternativos proveen un margen de seguridad mayor contra la posibilidad de sobrepasar la cresta.

#### 5.4.3 Creciente para Desviación

La creciente de 25 años fue utilizada como creciente para la desviación durante la construcción. Los métodos usados para obtener la precipitación correspondiente y calcular la hidrógrafa son los mismos que se usaron para la creciente máxima probable.

Las curvas de altura de lluvia máxima-frecuencia, con 24 horas de duración, para las estaciones consideradas se obtuvieron por procedimientos gráficos

de ajuste. Los valores de lluvia-frecuencia obtenidos en la estación de río Bravo fueron utilizados para calcular la creciente de desviación en el sitio de presa y los correspondientes a la estación La Floresta, en la cuenca del Anchicayá, fueron utilizados para los otros sitios de desviación de tributarios. En el sitio de presa se estimó una lluvia de 110 mm para una frecuencia de 1:25 años y 24 horas de duración. El caudal pico de diseño fue de 214 m<sup>3</sup>/s, con un volumen total de entrada de 5.0 Mm<sup>3</sup>. La Figura 5.5 muestra las hidrógrafas resultantes. Un caudal de diseño total de 280 m<sup>3</sup>/s se utilizó para incluir la descarga de 65 m<sup>3</sup>/s del proyecto Calima I.

### 5.5 SEDIMENTOS

El volumen probable de sedimentos, que se depositará durante la vida económica del embalse propuesto, fue estimado con base en comparaciones con el estudio de batimetría ejecutado recientemente por CVC en el embalse de Madroñal y con el volumen de deposición conocido para el embalse del proyecto Bajo Anchicayá. Los aspectos más importantes de la cuenca, que podrían contribuir a la sedimentación, tales como precipitación, cobertura vegetal, geología, tipo de suelo y erosión, fueron revisados en detalle y complementados con visitas de campo.

La mayor parte de la erosión se está generando por la escorrentia rápida y por desprendimientos locales en las paredes inclinadas de los cañones en V. La estrechez y profundidad de los cañones y riberas, la sobre-saturación de las laderas, debido a infiltración, y las crecientes rápidas, tienden a propiciar la socavación de las orillas y a inducir grandes desplazamientos de material en las partes altas.

Los sedimentos transportados por el río Calima y sus tributarios consisten de limos, arenas, gravas, materiales consolidados (arcillas) y bloques de diabasa. Los sedimentos muestran características de forma que reflejan la formación geológica de la cuenca, con cantidades predominantes de cantos aplanados provenientes de las capas de esquistos y pizarras. El volumen de sedimentos depositados en el embalse de Madroñal entre 1964 y 1981 fue de 21.5 Mm<sup>3</sup>, lo cual es equivalente a 1.4 Mm<sup>3</sup>/año. El volumen de sedimentos estimado para el

proyecto Alto Anchicayá fue de 20 Mm<sup>3</sup> con una tasa anual de 0.4 Mm<sup>3</sup>. La tasa anual de deposición en el embalse del Bajo Anchicayá, calculado con las secciones transversales, ha sido estimada en 0.7 Mm<sup>3</sup>/año. Las tasas de sedimentación comparativas se presentan en la Tabla 5.2. El volumen de sedimentos requerido para Calima III ha sido estimado en 3.2 Mm<sup>3</sup> para una vida económica de 50 años. Esto es equivalente a una sedimentación promedio de 0.064 Mm<sup>3</sup>/año.

SECCION 5 - LISTA DE TABLAS

- 5.1 Estaciones Pluviométricas e Hidrométricas  
Cuenca Río Calima- Río Anchicayá
- 5.2 Deposición de Sedimento en el Embalse Exis-  
tente.

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS E HIDROMETRICAS CUENCA RIO CALIMA-RIO ANCHICAYA  
(Pluviometric and Hydrometric Stations - Calima and Anchicaya Basins)

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS RIO CALIMA  
(Rio Calima - Pluviometric Stations)

No.	ESTACION (Station)	LONGITUD (Longitude)	LATITUD (Latitude)	ELEVACION (Altitude) (m)	PERIODO DE REGISTRO (Period of Record)	PROMEDIO MULTIANUAL (Multiannual Average)
1	Palermo	76° 33'	3° 53'	1450	VIII-65 VIII-80	1156.0
2	Campo Alegre	76° 38'	3° 54'	1040	XI-79 VII-81	(2732.0)
3	El Espanto	76° 41'	3° 54'	515	XI-79 VII-81	(6732.0)
4	El Cusumbo	76° 39'	3° 54'	720	XI-79 VII-81	(4308.0)
5	Bajo Calima	-	-	40	V-62 XII-79	7360.0
6	Río Bravo	76° 34'	3° 57'	1520	V-66 V-80	2897.0
7	Madroñal	76° 34'	3° 53'	1340	IV-49 I-63	1026.0
8	Mirador	76° 28'	4° 01'	-	X-73 VIII-76	2562.0
9	Cristalina**					
10	Campamento el Chanco**					

ESTACIONES HIDROMETRICAS - RIO CALIMA  
(Hydrometric Stations - Calima River)

No.	ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION	PERIODO DE REGISTRO	CAUDAL MEDIO MULTIANUAL (m <sup>3</sup> /s)	AREA DE DRENAJE (km <sup>2</sup> )
1	Río Bravo (La Esperanza)	76° 34'	3° 57'	1380	VIII-55 XII-65	4.2	34.0
2	Calima - Río Azul	76° 41'	3° 54'	515	XI-79 VII-81	31.3*	202.0
3	Madroñal	76° 34'	3° 53'	1340	I-46 III-65	10.6	281.0
4	Los Gaviones	76° 29'	3° 59'	1496	I-54 VII-80	5.2	98.0
5	La Trojita	77° 04'	4° 04'	10	II-67 XII-77	200.0	1493.0
6	Río Bravo (Quirama)						
7	Río Azul **				VIII-81 to present		
8	El Chanco ** Campamento				VIII-81 to present		
9	La Cristalina **				VIII-81 to present		
10	Túnel de Fuga ** Calima I				VIII-81 to present		

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS E HIDROMETRICAS CUENCA RIO CALIMA-RIO ANCHICAYA  
(Pluviometric and Hydrometric Stations - Calima and Anchicaya Basins)

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS - RIO ANCHICAYA  
(Pluviometric Stations - Anchicaya River)

No.	ESTACION (Station)	LONGITUD (Longitude)	LATITUD (Latitude)	ELEVACION (Altitude) (m)	PERIODO DE REGISTRO (Period of Record)		PROMEDIO MULTIANUAL (Multiannual Average)
1	Moravia	76° 44'	3° 31'	1800	VIII-80	IX-80	2678.
2	Queremal	76° 44'	3° 32'	1460	VI-66	VIII-80	1504.
3	Río Verde	76° 53'	3° 31'	1050	XI-69	XII-78	3361.
4	Diguita	76° 47'	3° 31'	850	IV-79	V-80	3146.
5	Los Londoños	76° 48'	3° 28'	1050	I-65	IX-80	3294.
6	Los Prados - Gualito	76° 52'	3° 34'	542	I-72	IX-80	4215.
7	La Floresta	76° 48'	3° 28'	1050	I-65	IX-80	3718.
8	Ladrillero	76° 52'	3° 39'	399	I-46	VII-80	5143.
9	La Cascada	76° 53'	3° 36'	307	III-66	IX-80	3342.
10	Yatacué	76° 54'	3° 35'	534	II-66	IX-80	3460.

ESTACIONES HIDROMETRICAS - RIO ANCHICAYA  
(Hydrometric Stations - Anchicaya River)

No.	ESTACION (Station)	LONGITUD (Longitude)	LATITUD (Latitude)	ELEVACION (Altitude) (m)	PERIODO DE REGISTRO (Period of Record)		CAUDAL MEDIO MULTIANUAL (m <sup>3</sup> /s) (Multiannual Ave- rage Flow (m <sup>3</sup> /s))	AREA DE DRENAJE (km <sup>2</sup> ) (Drainage Area) (km <sup>2</sup> )
12	El Higuierón	76° 52'	3° 24'	875	V-74	IX-80	39.2	167.0
13	Las Playas	76° 53'	3° 33'	511	III-67	VIII-71	50.1	400.0
14	Murrapal	76° 53'	3° 34'	394	I-66	XII-68	53.8	420.0
15	Represa Danubio	76° 54'	3° 37'	200	1946	- 1946	81.0	680.0

\* No incluye el caudal turbinado en central de Calima I (315.0km<sup>2</sup>)

\*\* Estación instalada recientemente por CVC

( ) Durante el período de registros disponible.

\* (No including the Calima I discharge)

\*\* (Station recently installed by CVC)

( ) (During the 21 months of record)

DEPOSICION DE SEDIMENTO EN EL EMBALSE EXISTENTE

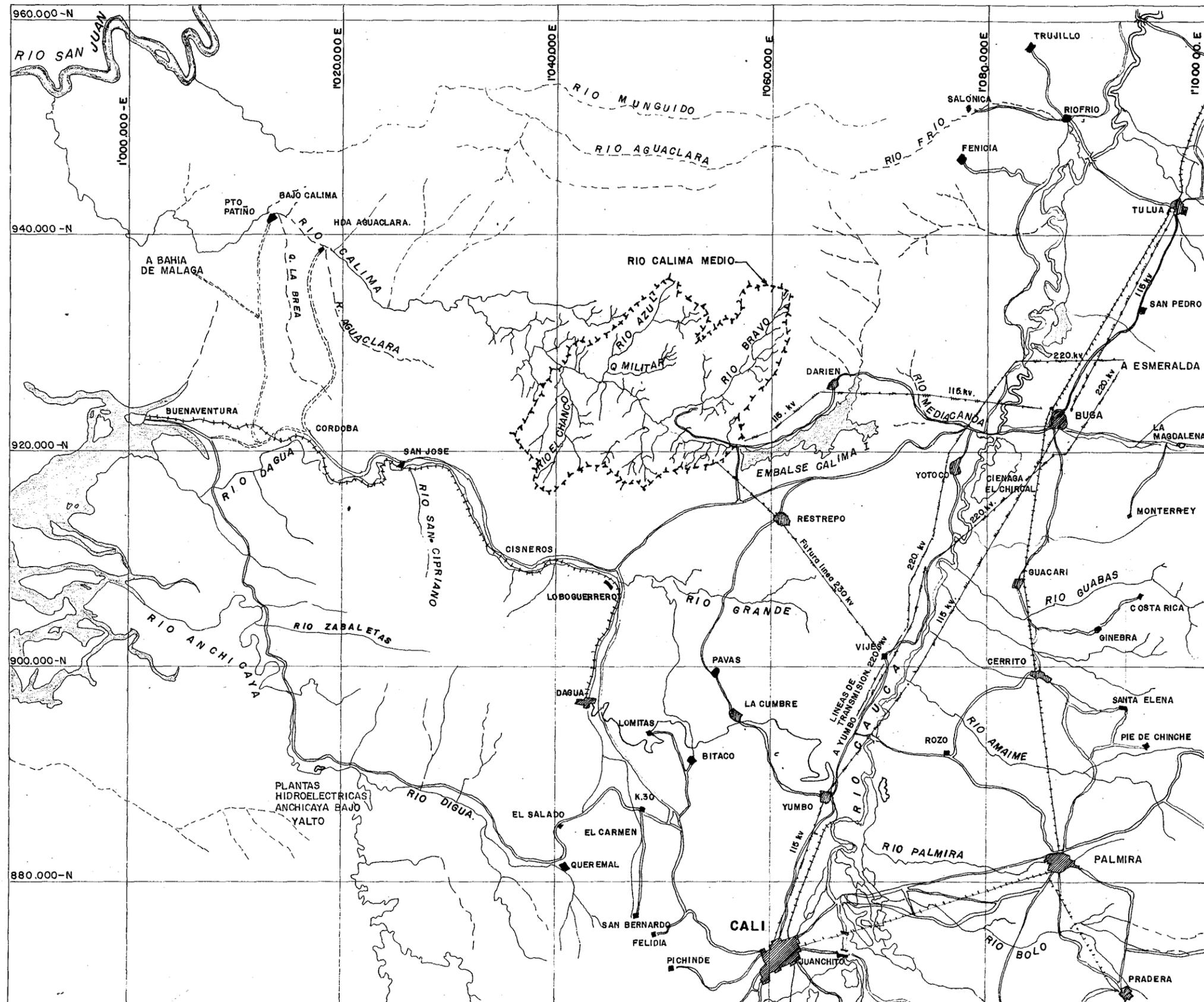
PROYECTO	Cuenca Hidrográfica	Area km <sup>2</sup>	Elevación Media de la Cuenca	Rendimiento Específico m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	Precipitación Media mm/año	Pendiente Promedia (%)	Almacenamiento Muerto Mm <sup>3</sup>
Bajo Anchicayá	Río Anchicayá	750	1380	0.119	4980	4.9	2.7
Alto Anchicayá	Río Anchicayá	520	1480	0.114	4770	-	20.0
Madroñal-Calima I	Río Calima	281	1320	0.037	2240	3.4	118.0
Río Bravo-Calima III	Río Calima	125	1300	0.052	2254	6.0	3.2*

\* Considerando 50-Años de Vida Económica

SECCION 5 - LISTA DE FIGURAS

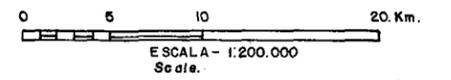
- 5.1 Localización
- 5.2 Estaciones Hidrométricas y Pluviométricas  
Existentes y Zonas Ecológicas.
- 5.3 Relación Area-Caudal Río Calima
- 5.4 Hidrógrafa Máxima Probable

FIG. 5-1



CONVENCIONES

- CARRETERAS Highway
- FERROCARRIL Railroad
- LIMITE DE LA CUENCA Boundary of Basin
- LINEA DE TRANSMISION. Transmission Line.



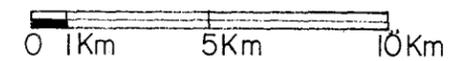
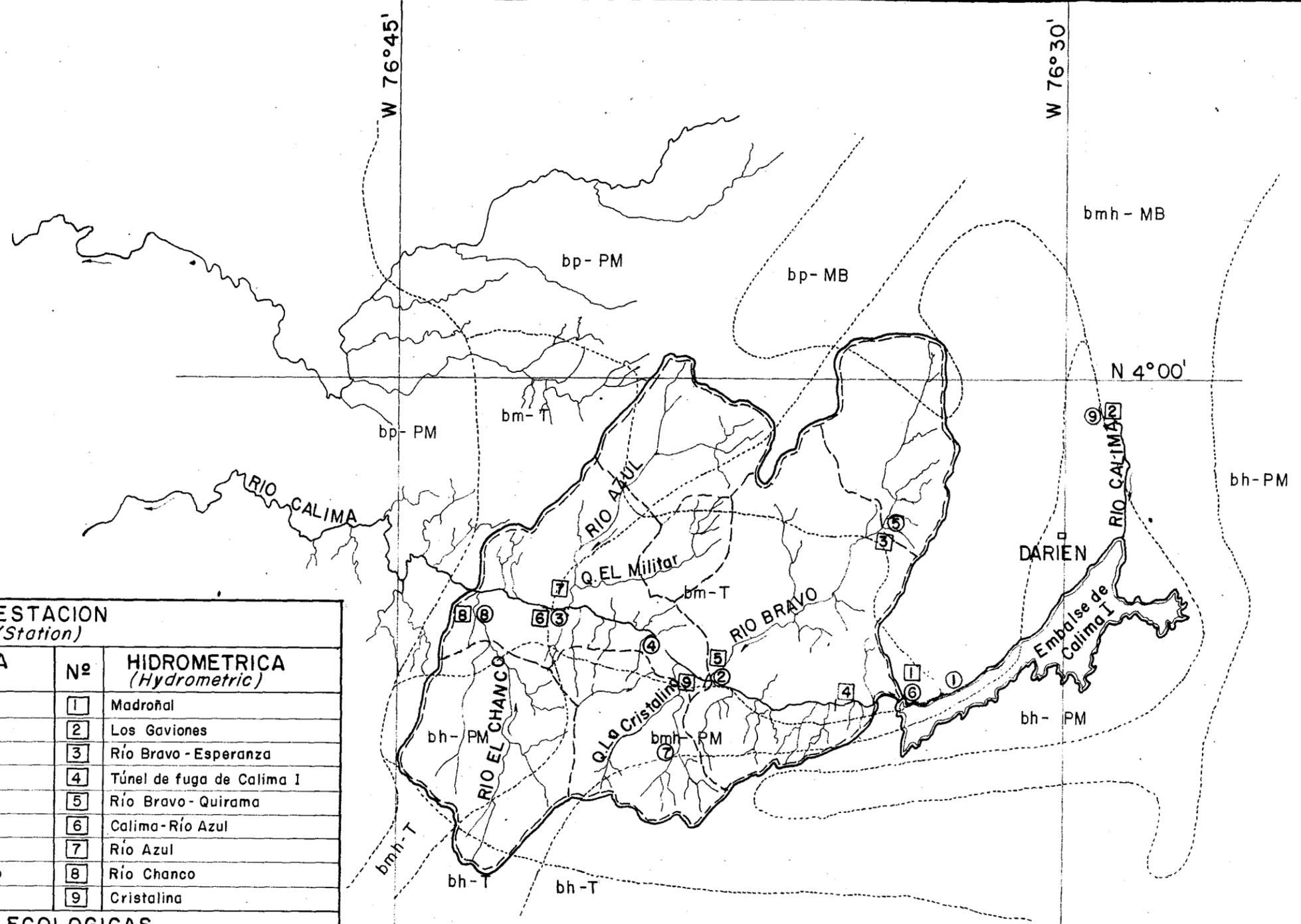
LOCALIZACION  
General Location

FIG. 5-2

ESTACION (Station)			
Nº	PLUVIOMETRICA (Pluviometric)	Nº	HIDROMETRICA (Hydrometric)
①	Palermo	①	Madroñal
②	Campoalegre	②	Los Gaviones
③	El Espanto	③	Río Bravo - Esperanza
④	El Cusumbo	④	Túnel de fuga de Calima I
⑤	Río Bravo	⑤	Río Bravo - Quirama
⑥	Madroñal	⑥	Calima-Río Azul
⑦	La Cristalina	⑦	Río Azul
⑧	Campamento El Chanco	⑧	Río Chanco
⑨	Mirador	⑨	Cristalina

ZONAS ECOLOGICAS (Ecological Areas)	
bh-T	Bosque húmedo tropical (Humid tropical forest)
bmh-T	Bosque muy húmedo tropical (Super-humid tropical forest)
bh-PM	Bosque húmedo premontano (Humid premontane forest)
bmh-PM	Bosque muy húmedo premontano (Super-humid premontane forest)
bp-PM	Bosque pluvial premontano (Pluvial premontane forest)



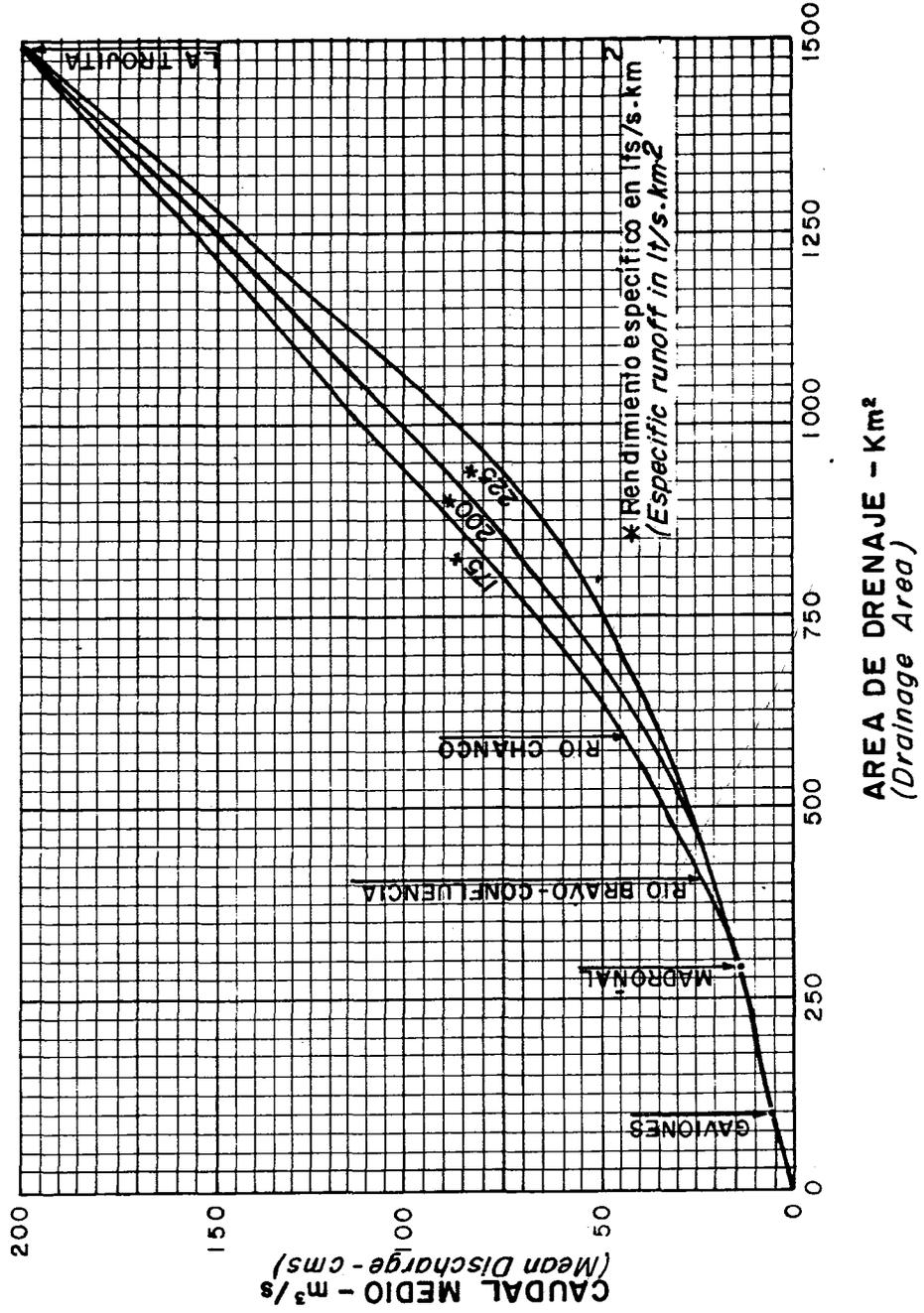
Esc: 1:200.000

N 3° 45'

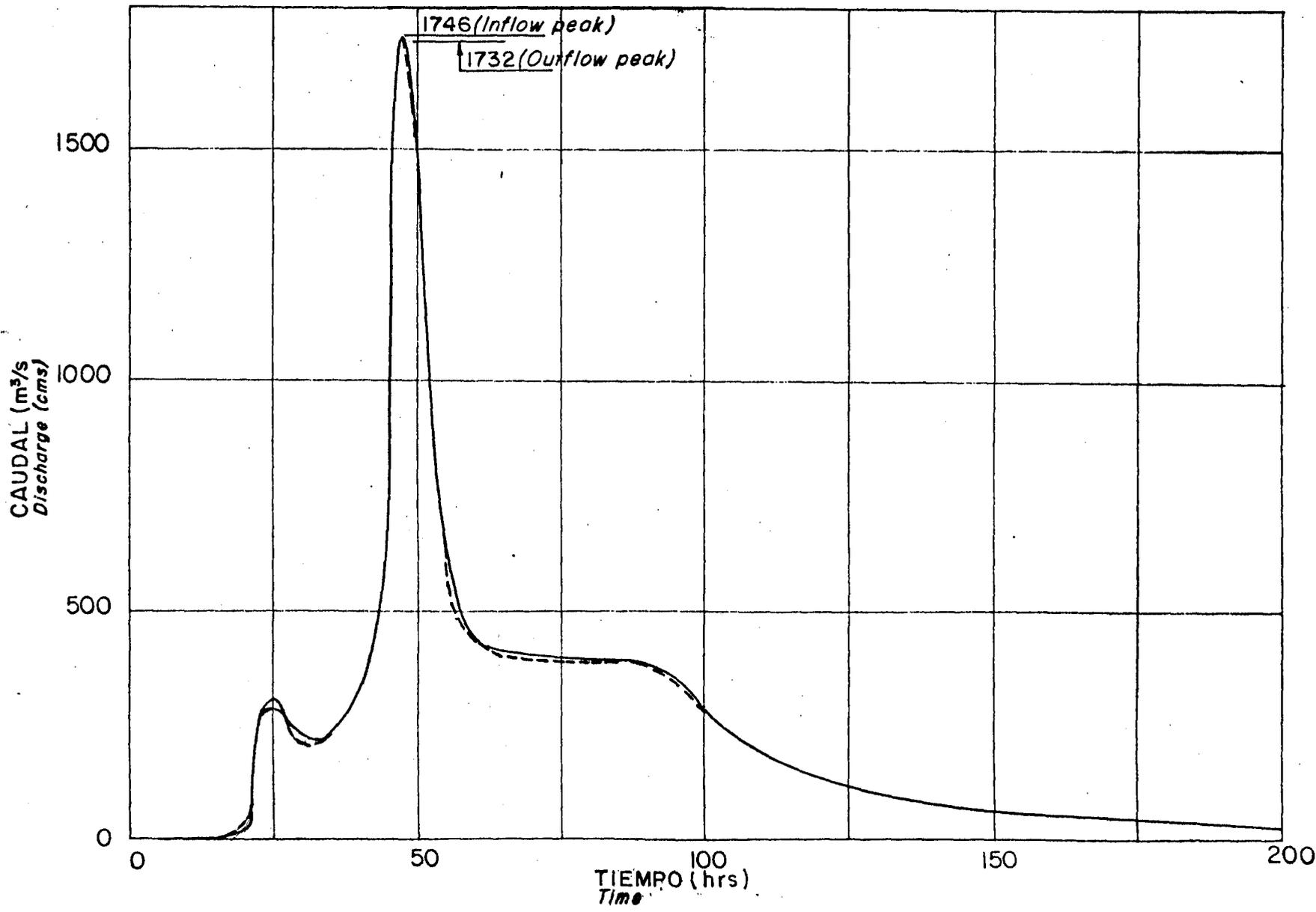
**ESTACIONES  
HIDROMETRICAS Y PLUVIOMETRICAS  
EXISTENTES Y ZONAS ECOLOGICAS**  
*Existing Hydrometric and Pluviometric Stations  
Plus Ecological Areas*

NOTA (NOTE)  
No se muestra la estación de La Trojita (4°04'N - 77°02'W)  
(La Trojita station is not shown)

FIG. 5.3



RELACION AREA-CAUDAL RIO CALIMA  
 (Rio Calima Relation Area-Discharge)



**HIDROGRAFA MAXIMA PROBABLE**  
*Maximum Flood Hydrograph*

SECCION 6 - INGENIERIA GEOLOGICA

TABLA DE CONTENIDOS

- 6.1 Investigaciones Geológicas
- 6.2 Geología General
  - 6.2.1 Rasgos Estructurales y Tectónicos
  - 6.2.2 Estratigrafía
- 6.3 Ingeniería Geológica
  - 6.3.1 Sitio de Presa Río Bravo
- 6.4 Túnel de Carga
- 6.5 Almenara y Tubería de Carga
- 6.6 Casa de Maquinas
- 6.7 Túnel de Fuga
- 6.8 Desviación La Cristalina
  - 6.8.1 Condiciones Geológicas del Sitio de Presa y Túnel
  - 6.8.2 Cruce de La Cristalina
- 6.9 Desviación Azul/Militar
- 6.10 Desviación Chanco/Minas
- 6.11 Materiales de Construcción

Figuras

SECCION 6  
INGENIERIA GEOLOGICA

6.1 INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

Las investigaciones geológicas ejecutadas en el proyecto Calima III fueron - las siguientes :

- Mapeamiento geológico de campo complementado con fotointerpretación.
- Líneas de Refracción Sísmica, con una longitud total de 3.554 metros, - para determinar el espesor del material de sobrecarga y la calidad de la roca subyacente, en el sitio de presa de río Bravo, de la casa de máquinas, de la almenara y de las obras de desviación de la Quebrada La - Cristalina.
- 21 perforaciones, con una longitud total de 940 metros, localizadas, 15 en el sitio de presa de río Bravo, 3 en el sitio de presa de La Cristalina, 2 en el área del puente para el conducto de carga sobre La Cristalina y una en el sitio de casa de máquinas (los registros de estas perforaciones se incluyen en este informe).
- 2 galerías de exploración excavadas en el sitio de presa de río Bravo.
- Pruebas de agua, realizadas en casi todas las perforaciones, para determinar la permeabilidad de la roca (los resultados de las pruebas de permeabilidad Lugeon se relacionan en los registros de perforación).
- Ensayos de compresión, módulo elástico y relación de Poisson, en varios núcleos de las perforaciones.
- Reconocimiento de áreas potenciales de préstamos para materiales de construcción, particularmente de agregados para concreto, arena y grava.
- Revisión de los registros geológicos de los túneles de Calima I complementada con reconocimiento de campo.
- Investigación de los lineamientos geológicos identificados superficialmente, para determinar su carácter, orientación y relación con las estructuras propuestas en el proyecto.

Los resultados obtenidos de estas investigaciones se utilizaron en los siguientes programas :

- Preparación de mapas de geología regionales y de detalle en los sitios de las principales obras del proyecto.
- Evaluación de las condiciones geológicas para la fundación de la presa de río Bravo.
- Evaluación preliminar de las condiciones y comportamiento de la roca, - tendiente a encontrar las condiciones que ofrezcan mayor facilidad para la construcción de los túneles proyectados.
- Evaluación de las condiciones y características de la roca para la construcción de una casa de máquinas subterránea.
- Selección de áreas de préstamos para materiales de construcción y áreas para depositar los desechos provenientes de las excavaciones.
- Evaluación de las condiciones geológicas para la presa de desviación.

A la información geológica regional se incorporó una evaluación general sobre riesgo sísmico sobre la cual se trata en la Sección 7.

## 6.2. GEOLOGIA GENERAL

### 6.2.1 Rasgos Estructurales y Tectónicos

El área del proyecto Calima, mostrada en los Planos 200 y 201, está localizada en la parte central de la Cordillera Occidental en el Suroeste de Colombia. La Cordillera Occidental está asociada al paleotrench del Valle del Cauca (localizado al Este de la Cordillera) que es un vestigio de la subducción de la placa Oceánica del Pacífico con la placa Suramericana, que ocurrió en el jurásico tardío-cretáceo temprano. Eventualmente la Cordillera Occidental se desarrolló y vino a formar parte de la placa Suramericana al migrar la zona de subducción de la placa de Nazca a su posición actual a lo largo del Trench Colombo-Ecuatoriano; como se muestra en la Figura 6.1. La placa Oceánica que actualmente subduce a la placa Suramericana en su borde noroccidental se ha roto en tres segmentos. En la Figura 6.2 se muestran

los contornos de los tres segmentos subducidos y el área del proyecto Calima localizada aproximadamente 100 km encima del segmento central.

La Cordillera Occidental está dominada por varios sistemas de fallas aproximadamente paralelos orientados en sentido NNE-SSW. Las fallas más prominentes de la región son: El sistema de fallas Romeral localizado a lo largo del borde Este del Valle del Cauca, el sistema de fallas Cauca-Cali localizado a lo largo del borde Este de la Cordillera Occidental y el sistema de fallas Calima-Cristales localizado en la parte alta de la misma Cordillera.

El sistema de fallas Romeral es una zona de fracturas de 20 a 35 km de ancho localizada 60 km al Este del área del proyecto, en el lado Oeste de la Cordillera Central. Las fallas de este sistema son tanto inversas como normales y son relictos de la antigua zona de subducción de la placa del Pacífico.

El sistema de fallas Cauca-Cali consiste de una zona de fallas paralelas al Valle del Cauca con orientación NNE-SSW. Se han identificado fallas de tipo inverso y normal, de las cuales la más cercana al área del proyecto está a 20 km de distancia (Ver Plano 200).

El sistema de fallas Calima-Cristales es una zona de fracturas de 20 a 40 km de ancho y es la más intensamente fracturada a lo largo de la sección central de la Cordillera Occidental. Las fallas de este sistema son de menor longitud (50-100 km) comparadas con las de Romeral que tienen una longitud conocida de 800 km o con las de Cauca-Cali que tienen aproximadamente 600 km. Algunas de las fallas de este sistema están localizadas muy cerca del área del proyecto, por ejemplo la de río Bravo a 2 km del sitio de presa y la de El Indio que está a 1.5 km del sitio de casa de máquinas.

La actividad sísmica de estos sistemas de fallas fué materia de estudio. El de Romeral se considera moderadamente activo y el de Cauca-Cali de actividad baja a muy baja (Woodward-Clyde, 1980, 1981. Informes de los proyectos de Ituango y Cañafisto). La actividad sísmica del sistema Calima-Cristales está

aún sin definir. La falla de Calima, sí se considera inactiva. Si embargo en el listado de eventos sísmicos del área se observa que hay eventos poco profundos a lo largo de algunas fallas de este último sistema y por tanto es necesario continuar investigando estas fallas durante la etapa de diseño. Una descripción más detallada sobre la actividad de estos sistemas de fallas y una discusión sobre su relación con las estructuras proyectadas, aparece en la Sección 7.

Las unidades litológicas, las fallas y los rasgos estructurales de la Cordillera Occidental tienen una orientación predominante NNE-SSW, conforme con la orientación general de la Cordillera. Esta orientación estructural así como el tectonismo asociado con ella, influenciará los conceptos sobre condiciones de excavación de la roca, criterios de riesgo sísmico, posibles fallamientos de la roca y esfuerzos "in situ" para cada una de las estructuras propuestas.

#### 6.2.2 Estratigrafía

Como se muestra en el Plano 201, tres unidades estratigráficas han sido identificadas en el área del proyecto. Ellas consisten de una secuencia de rocas ígneas denominadas Grupo Diabásico, una secuencia metamórfica denominada como Formación Cisneros y una sedimentaria denominada Formación Espinal. Las dos últimas formaciones se agrupan en la unidad metasedimentaria denominada como Grupo Dagua. En la región, las rocas ígneas y metamórficas se presentan de manera alternada. El Grupo Diabásico es la unidad más importante y consiste de varios tipos de diabasa, metadiabasa, lavas almohadilladas, basaltos, rocas metavolcánicas y algunas otras rocas ígneas indiferenciadas que se intercalan con las rocas metasedimentarias. Las rocas de esta unidad son normalmente diaclasadas, excepto en ciertas zonas que han sido afectadas por tectonismo en donde se presentan cizalladas y con alto grado de fracturamiento.

La siguiente unidad, de acuerdo a su distribución en el área es la formación Cisneros que consta de pizarras silíceas, carbonáceas y serícicas, filitas y metachert. Esta litología es competente, generalmente de estratificación -

fina, de dureza mediana y entre moderada y altamente fracturada y diaclasada.

El grupo de rocas menos importante en el área del proyecto Calima III es la Formación Espinal que no aflora en la cuenca del Calima Medio. Esta unidad consiste generalmente de limolitas laminadas y areniscas. Sus propiedades son similares a las de la unidad metamórfica excepto en que muestran un alto grado de fracturamiento. Las tres unidades descritas son de edad cretácica.

También se presentan depósitos recientes de aluvión o terrazas, a lo largo de los ríos y algunas quebradas, pero son de importancia menor dentro del proyecto. Los depósitos coluviales son comunes a lo largo de los taludes de los valles.

### 6.3 INGENIERIA GEOLOGICA

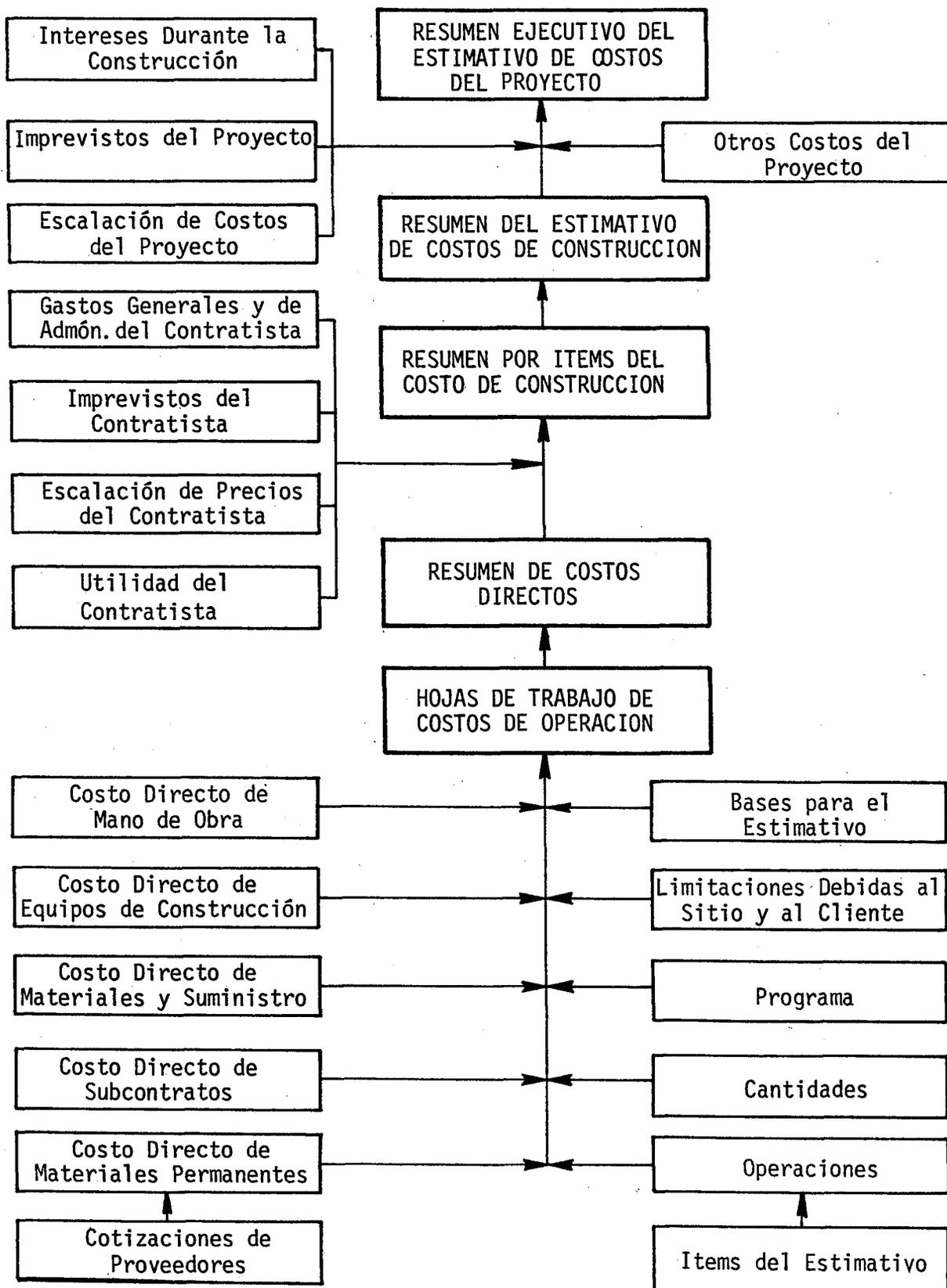
#### 6.3.1 Sitio de Presa Río Bravo

##### 6.3.1.1 Programa de Exploración:

2 galerías, 15 perforaciones que totalizan 715 metros y 24 líneas de refracción sísmica, con una longitud total de 1710 metros fueron ejecutadas en el área del sitio de presa. El propósito de estas investigaciones fué determinar la calidad de la roca para fundación, su permeabilidad, el espesor de la sobrecarga, el perfil de la roca sana y la conveniencia del sitio para diferentes alternativas de tipo de presa.

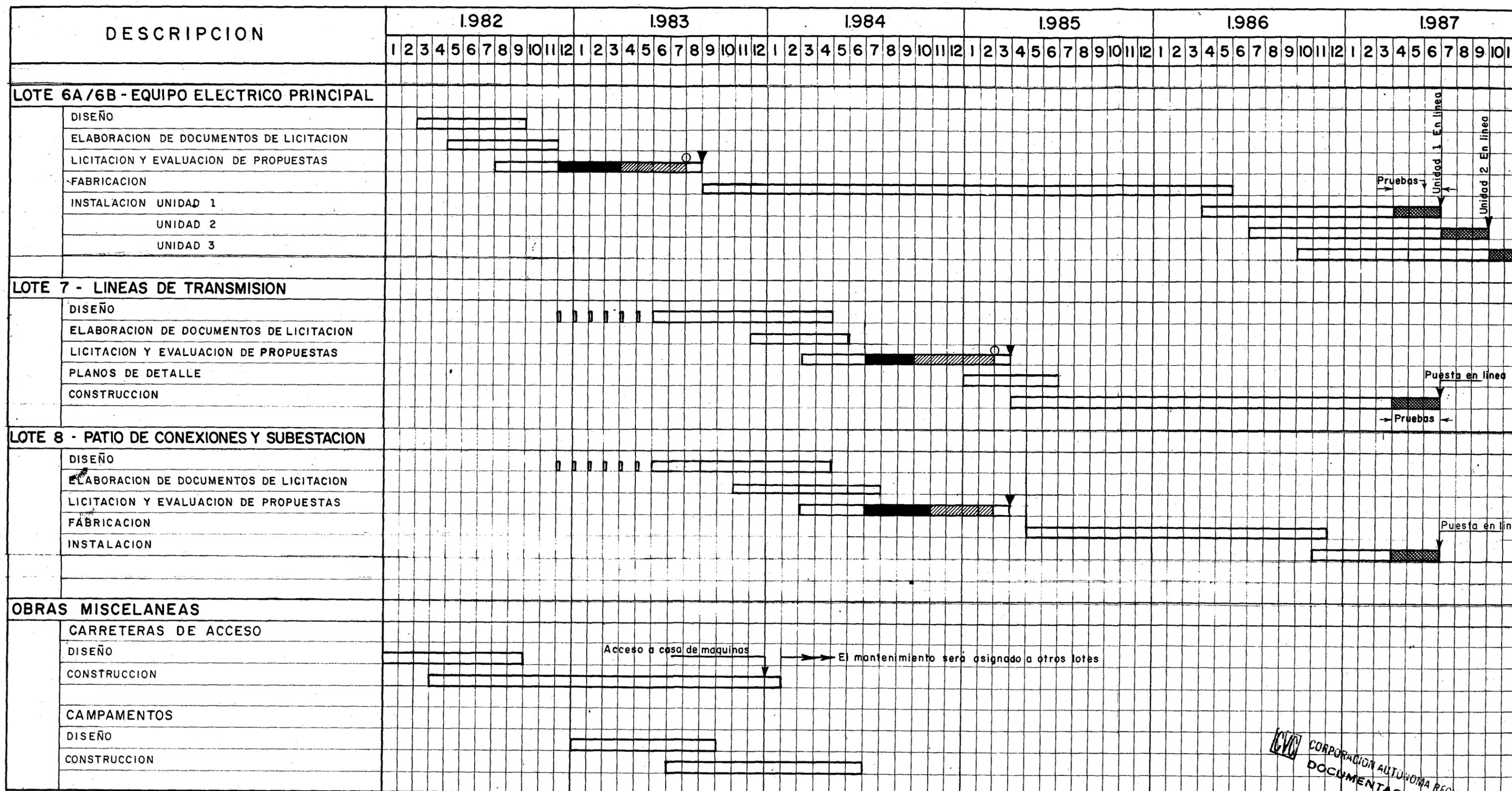
La roca (diabasa) aflora en ambos estribos cerca de la confluencia de los ríos Bravo y Calima y se extiende hacia aguas arriba y aguas abajo del eje de la presa de arco propuesta. La información de las perforaciones muestra que la profundidad de la sobrecarga en los estribos varía desde cero hasta un máximo de 18 metros, mostrando los mayores incrementos aguas abajo del eje de la presa. En algunas áreas cubiertas por coluvio, esa profundidad alcanza hasta 37 metros. El espesor de los depósitos aluviales en el canal del río varía entre 10 y 18 metros. El mapa geológico del sitio de presa se muestra en el Plano 202.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTIMATIVO DE COSTOS





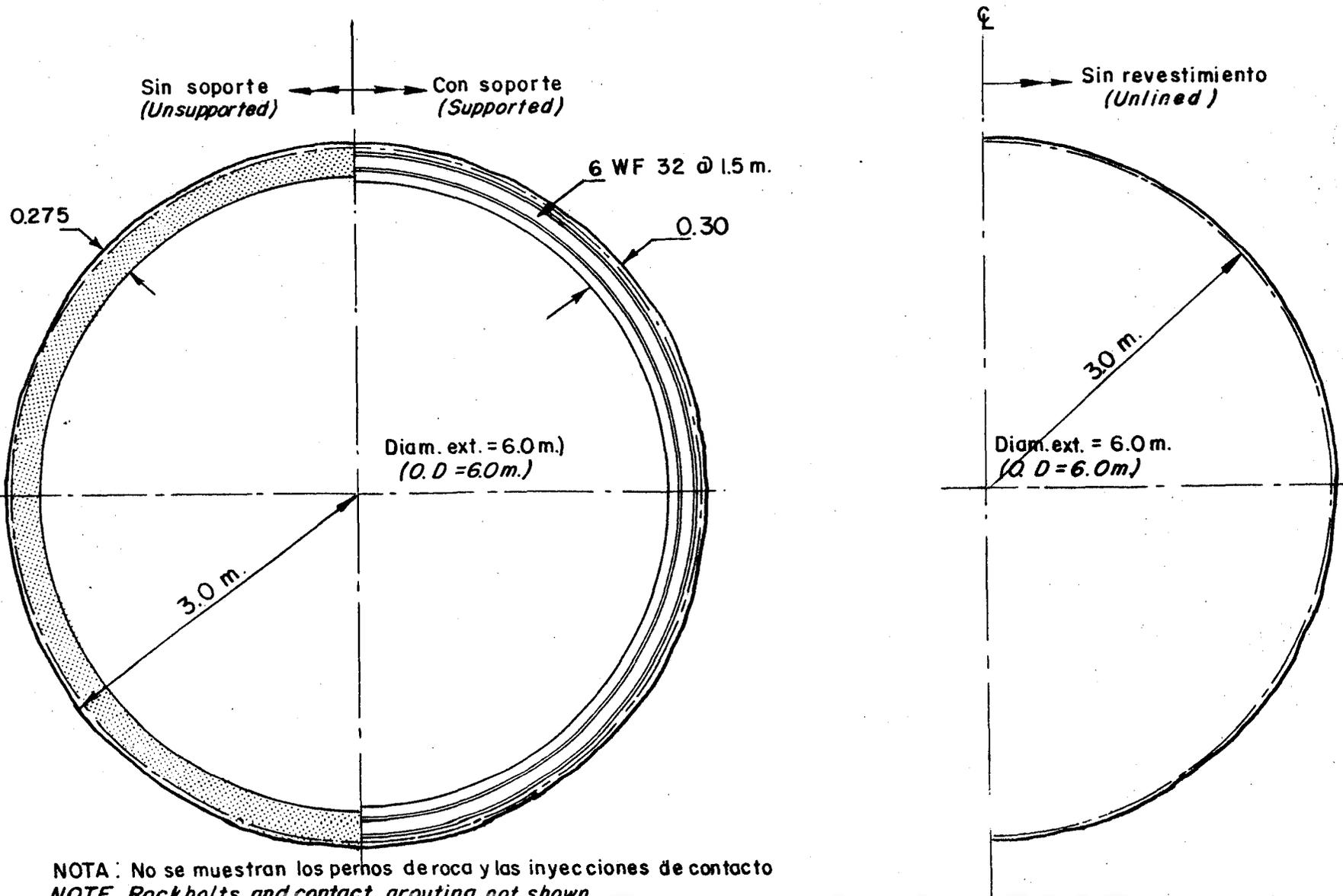
CENTRAL HIDROELECTRICA CALIMA III  
 PROGRAMA DE ACTIVIDADES - DISEÑO - LICITACION - CONSTRUCCION



CONVENCIONES = PREPARACION DE PROPUESTAS EVALUACION DE PROPUESTAS POR C.V.C REVISION POR LOS BANCOS ADJUDICACION DEL CONTRATO PRUEBAS

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAU  
 DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS PARA  
 PERFORACION DE TUNELES CON TOPO  
*Typical Cross Section for Tunnel Boring Machine*



NOTA: No se muestran los pernos de roca y las inyecciones de contacto  
 NOTE Rockbolts and contact grouting not shown

SECCION 7 - ESTUDIO DE SISMICIDAD DEL AREA DEL PROYECTO CALIMA III

TABLA DE CONTENIDOS

- 7.1 Sismotectónica
- 7.2 Sismicidad Histórica
- 7.3 Relaciones Longitud Superficial de la Falla-Magnitud del Sismo.
- 7.4 Desarrollo del Sismo de Diseño

Tablas

Figuras

## SECCION 7

### ESTUDIO DE SISMICIDAD DEL AREA DEL PROYECTO CALIMA III

#### 7.1 SISMOTECTONICA

Los sistemas de fallas regionales identificados fueron descritos en la sección 6 y se muestran en el Plano 200. En el Plano 200 se dibujaron los sismos históricos de magnitud importante. Revisando la literatura y la información técnica perteneciente a esta región se encontraron disparidades en la interpretación tectónica regional entre los diferentes autores. Por ejemplo el mapa tectónico regional elaborado por el Dr. J.E Ramirez del Instituto Geofísico, Universidad Javeriana (Fig 7.1) muestra que al Oeste del sistema de fallas Cauca-Cali existen otros dos sistemas de fallas casi paralelos, ambos orientados NNE-SSW. a lo largo de la costa colombiana, y que la trinchera Ecuador-Colombia está más retirada en el Océano Pacifico que lo que se muestra en la Figura 6.1. Esta disparidad de interpretación introduce cierta duda sobre la aplicación de la sismotectónica para diseño sísmico, particularmente cuando el área del proyecto queda cerca de la región de controversia.

La Figura 7.1 es un mapa tectónico de la Republica de Colombia. Se observa que el área del proyecto está bastante fracturada por los sistemas de fallas Cauca-Cristales, Cauca-Cali y Romeral. Las fallas superficiales son muy numerosas y la sismotectónica es compleja. Al Este del Valle del Cauca la falla de Romeral consiste de una zona de fracturas entre 20 y 35 km de ancho; la traza principal de la falla Cauca-Cali sigue a lo largo del rio Cauca. El sistema de fallas Calima-Cristales se compone de una franja de fallas superficiales, esencialmente paralelas, en la Cordillera Occidental. Esta zona de fractura tiene unos 30 km de ancho y sigue en líneas generales la misma dirección NNE-SSW de la traza principal de la falla Cauca-Cali. La mayor parte de las fallas superficiales del sistema de fracturas Cauca-Cali y Calima-Cristales estan interceptadas diagonalmente en su extremo norte por la falla de Garrapatas.

La comparación del Plano 200 con la Figura 7.1 dentro de la zona en consideración muestra inmediatamente la falta de consistencia encontrada en las inter-

pretaciones. El mapeamiento preciso de las fallas superficiales en una zona sísmicamente activa es un elemento crítico en el análisis de riesgo sísmico y en el diseño sísmico para proyectos de ingeniería.

Debido a la proximidad entre los sitios de presa propuestos, para el proyecto Calima III, y las fallas superficiales del área, la información detallada sobre la actividad reciente de las fallas superficiales es crucial para un diseño sísmico adecuado del proyecto. Las fallas Cauca-Cali (traza principal), Juntas (Romerol), Rio Bravo, Cristales y Garrapatas son sísmicamente activas, pues como se muestra en el Plano 200 hay sismicidad histórica a lo largo de estas fallas. Sin embargo, no se ha hecho una investigación de los movimientos o desplazamientos recientes en estas fallas y falta por lo tanto la evidencia geológica para dar soporte a la correlación entre las fallas superficiales y la sismicidad histórica. Según los informes de Woodward-Clyde sobre los estudios de riesgo sísmico para las presas de Ituango y Cañafisto, aguas abajo del río Cauca (1980-1981), la actividad del sistema de fallas de Romeral, en el Noroeste de Colombia, es moderada, con intervalo de recurrencia entre 500 y 10.000 años; mientras que para el sistema Cauca está entre baja y muy baja, con un intervalo de recurrencia entre 10,000 y 40,000 años. La actividad de estos dos sistemas de fallas en el área del proyecto Calima es probablemente comparable con la de zonas más al norte. Sin embargo, el sistema de fallas de Romeral, que se muestra en el Plano 200, está al menos a 60 km de distancia y la traza principal de la falla Cauca-Cali queda al menos 20 km de los sitios de presa propuestos para el proyecto Calima III. Por lo tanto estas dos fallas no presentan un riesgo sísmico tan grande como las de río Bravo, Cristales y Garrapatas.

Las fallas superficiales del sistema de fallas Cauca-Cali son, como se muestra en la Figura 7.1 y en el Plano 200, fallas normales e inversas, que no son tan activas sísmicamente como las fallas de desplazamiento horizontal a lo largo del borde de dos placas tectónicas, como en California, USA. La característica tectónica de la zona es consistente con la sismotectónica regional; el fallamiento normal e invertido revela el relieve de la antigua subducción de la placa oceánica a lo largo de la Cordillera Occidental, por debajo de la placa Sur-Americana. En el Plano 200 puede verse, además, que algunas de las fallas, principalmente la falla de Garrapatas, fueron des-

plazadas por fallamientos posteriores y que las formaciones de roca en la zona del sistema de fallas son del Cretáceo. Esto puede significar que estas fallas no fueron muy activas después del Cretáceo. La actividad del sistema de fallas Cauca-Cali, en esta área, podría muy bien ser igual a la del mismo sistema mas al Norte, con intervalos de recurrencia de entre 10,000 y 40.000 años, como ya se dijo anteriormente. Si esto es así, los riesgos sísmicos de estas fallas superficiales para los sitios de presa no seran tan altos como lo implica su ubicación. Por lo demas, como se indicó en el Plano 201, la cartografía geológica detallada en vecindad de Calima III - Presa de Rio Bravo--puso de presente que algunas de las fallas superficiales que aparecen en el Plano 200 son solamente zonas de contacto entre los diferentes tipos de roca. Este hallazgo reduce aun mas los riesgos sísmicos que pudieran presentarse en los sitios de presa propuestos por razón de aquellas fallas superficiales.

## 7.2 SISMICIDAD HISTORICA

Hay dos fuentes de sismicidad histórica disponibles para el proyecto Calima: El Instituto Geofísico de los Andes, en Colombia; y el Automatic Earthquake Data File del Servicio de Información y Datos Ambientales de NOAA. El Instituto Geofísico de los Andes tiene archivos de la sismicidad histórica de Colombia desde 1566 hasta Abril 1979, un periodo de 414 años. La Figura 7.2 muestra un gráfico de la sismicidad histórica de Colombia y zonas vecinas preparada por el Dr. J.E, Ramirez del Instituto Geofísico de los Andes. Para el área del proyecto Calima, los datos históricos del Instituto Geofísico de los Andes, dentro de un radio de 300 km a partir del sitio de presa de rio Bravo, aparecen dibujados en el Plano 200. La Figura 7.3 es un gráfico de la sismicidad histórica con magnitud de 3 o mayor para el área del proyecto Calima preparado con datos del Automatic Earthquake Data File de NOAA, en un radio de 300 km a partir del sitio propuesto para la presa de río Bravo.\*

Una comparación detallada de la información presentada en el Plano 200 y en la Figura 7.3. revela discrepancias en la sismicidad histórica compilada de estas dos fuentes.

---

\* El Volumen 2 incluye listados de los datos tanto del Instituto Geofísico de Los Andes como de NOAA.

El periodo de registro sísmico dado por el Instituto Geofísico de los Andes es entre 1766 a 1979, un total de 214 años; el de NOAA, en cambio es entre 1935 y 1979, o sea de 45 años solamente. Sin embargo, durante este mismo periodo, la primera fuente registra 20 eventos que no aparecen en el registro de NOAA de los cuales solo 6 son pre-instrumentales o probablemente instrumentales. El mayor evento omitido es el de Enero 12, 1963, con una magnitud de 5.8 y una profundidad focal de 84 km. Por lo demás, hay solo dos eventos, los de Mayo 24, 1957, de magnitud 6.75, y de Abril 2 de 1965, de magnitud 4.4, que estan registrados por NOAA pero que faltan en los datos del Instituto Geofísico. La omisión de un evento de 6.75 de magnitud, que es el segundo sismo en tamaño registrado en esta área, es muy significativa. La profundidad focal de este sismo es desconocida.

Afortunadamente, el terremoto mas grande en el área del proyecto Calima, el de Febrero 5. 1938, con magnitud 7.0 aparece registrado por ambas fuentes. Este evento tiene una profundidad focal de 160 km en la zona de subducción y tuvo lugar a unos 75 km al Noreste del sitio de presa de Calima III en rio Bravo. El evento siguiente en tamaño, reportado por ambas fuentes, es el sismo de Agosto 24, 1974, que tuvo una magnitud de 5.9 con una distancia focal de 84 km. Este evento tuvo lugar a unos 53 km del sitio propuesto para la presa. Otro sismo importante registrado por ambas partes, dentro de los 100 km del área del proyecto, fué el sismo del 27 de Octubre de 1935, con magnitud de 5.5 y profundidad focal de 150 km. Su ocurrencia fué tambien en la zona de subducción. Los datos del Instituto Geofísico también registran tanto el evento pre-instrumental de Julio 9 de 1766, de magnitud 6, que fué el primer sismo que muestran los registros de esta área, como el de Enero 12. 1963, de 5,8 de magnitud, ya mencionado.

Los datos utilizados en la Figura 7.3 indican la ocurrencia de un buen número de sismos de magnitud mayor que 6.0, dentro de los 200 km del sitio de presa propuesto en Rio Bravo. La mayoría de estos sismos grandes tienen profundidades focales de entre 70 km y 300 km (sismos de profundidad intermedia) o profundidad focal no conocida. La sismicidad de profundidad intermedia está de acuerdo con la sismotectónica del área, tal como puede verse más claramente en la Figura 7.4. La distribución de los sismos de profundi-

dad intermedia en esta área, siguen en general, como se muestra en la Figura 7.3, la dirección NNE de la Cordillera Occidental, concordando con la de la zona de subducción de la región que se muestra en la Figura 7.4. La Figura 7.4 muestra la sección transversal de la sismicidad en el área considerada, que confirma la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana en la región. Las Figuras 7.5, 7.6 y 7.7 son gráficos mas detallados de las secciones transversales de sismicidad en el área del proyecto Calima. La Figura 7.5 es una sección N-S por la longitud 76°30'W, y la Figura 7.6 una sección E-W por la latitud 4°30'N, al norte del proyecto pero cerca de la falla de Garrapatas. Como lo muestran las secciones de las figuras 7.4 a 7.7-- y tambien el plano 200 y la Figura 7.3-- la mayoría de los eventos en el área del proyecto Calima son sismos de profundidad intermedia con unos pocos eventos de foco poco profundo distribuidos entre los otros.

La Figura 7.8 presenta un mapa de riesgo sísmico de Colombia en términos de intensidad Mercalli modificada. Las curvas de intensidad fueron obtenidas mediante el análisis probabilístico de la sismicidad histórica de la región. El periodo de recurrencia del riesgo sísmico, en un contorno dado, es de 100 años. Para un tratamiento determinístico, la intensidad MM puede convertirse en magnitud sísmica por medio de la siguiente expresión empírica:

$$I = \frac{3}{2} (M-1) \quad (1)$$

Donde M es la magnitud del sismo e I es la intensidad MM. Según la ecuación (1) anterior, la intensidad 8.25 en el área del proyecto Calima corresponde a un sismo máximo creíble local de magnitud 6,5.

### 7.3 RELACIONES LONGITUD SUPERFICIAL DE LA FALLA - MAGNITUD DEL SISMO

El sismo máximo creíble de una falla de superficie puede ser estimado a partir de las relaciones longitud superficial de la falla - magnitud del sismo. Estas relaciones son empíricas por naturaleza y han sido elaboradas por diferentes autores. (Tocher 1958; Iida, 1965; Albee and Smith, 1967; Bonilla, 1967;

Bonilla and Buckanam, 1970; Mark and Bonilla, 1977). En este estudio se emplearon las relaciones más recientes de Mark and Bonilla, 1977. Mark and Bonilla derivaron cinco relaciones diferentes usando, respectivamente, datos mundiales, datos de fallas de desplazamiento simple, datos de fallas en Norte-América, de desplazamiento oblicuo y datos de fallas de desplazamiento horizontal. Para una longitud de falla dada, la magnitud del sismo obtenido es ligeramente diferente para las cinco relaciones. Como las fallas de superficie en esta área son, como ya se dijo, en su mayoría fallas normales o invertidas, se adoptaron las siguientes relaciones de Mark y Bonilla, (1977) que fueron deducidas de la información mundial y de la información sobre fallas con desplazamiento normal, respectivamente

$$M = 6.03 + 0.76 \log L \text{ (Mundial)} \quad (2)$$

$$M = 6.19 + 0.63 \log L \text{ (Fallas con desplazamiento normal)} \quad (3)$$

Donde M es la magnitud del sismo y L la longitud de la superficie de ruptura, en km.

Los gráficos de estas dos relaciones aparecen en las Figuras 7.9 y 7.10.

La Tabla 7.1 es un listado de las principales fallas de superficie del área del proyecto Calima, con sus respectivas longitudes, distancias mínimas del sitio de presa propuesto, posible actividad, y el sismo máximo creíble para cada falla, calculado a partir de las ecuaciones 2 y 3. Las longitudes de falla y las distancias entre los sitios de presa propuestos y las fallas, fueron tomados principalmente del Plano 200. Tuvo que asumirse un valor para el sismo máximo creíble para la traza principal de la falla Cauca-Cali, porque la longitud total de esta falla no es clara. Además de acuerdo con Barrero-Lozano (1979), la falla de Garrapatas se extiende desde la Costa del Pacífico hasta el área continental en el Valle del Cauca. Esto implica que esta falla sería mucho más larga que lo que puede deducirse de la Figura 7.3.

La Tabla 7.1 indica que los sismos máximos creíbles de las fallas de superficie principales en el área oscilan entre las magnitudes 7.3 y 7.6. Aunque las actividades recientes de las fallas de superficie en esta área no son claras debido a la falta de investigaciones detalladas de campo, hay actividades regis-

tradas al menos a lo largo de las fallas de Romeral y de Cauca-Cali, como se dijo antes. Con base en la sismotectónica general del área, se ha asignado al sismo regional máximo creíble del área del proyecto Calima una magnitud de 7.5. Debido a las circunstancias peculiares sismotectónicas y de sismicidad del área del proyecto Calima, para obtener las aceleraciones horizontales pico que pueden producirse por el sismo máximo creíble de la región, se tomó en cuenta un número de funciones de atenuación derivadas por varios investigadores. Este estudio de las funciones de atenuación aparece en el Volumen 2.

#### 7.4 DESARROLLO DEL SISMO DE DISEÑO

Con base en la sismotectónica y la sismicidad histórica del área del proyecto y asumiendo que la actividad de las fallas de superficie en la vecindad del sitio de presa propuesta es baja, se desarrollaron sismos de diseño local y regional para el proyecto Calima, usando el método de la zona de subducción-distancia hipocentral, pero con una moderación apropiada por razón de la falta de investigación geológica de campo sobre la actividad reciente de las fallas. Teniendo en cuenta la proximidad de los sitios propuestos para la presa, la casa de máquinas, los sismos de desviación y la similitud entre sus ambientes sismotectónicos, se considera que los sismos de diseño local y regional desarrollados son válidos para todos los sitios de presa propuestos y las estructuras auxiliares del proyecto. Al sismo de diseño regional se le asignó una magnitud de 7.5 que es el sismo máximo creíble de la región. Este valor es más conservativo que el mayor evento histórico registrado en la región, de magnitud 7.0 en 1938, pero es comparable con el sismo máximo creíble de las principales fallas de superficie en el área del proyecto. La distancia hipocentral del sismo de diseño regional se ha asumido como 100 km: La distancia entre los sitios de presa propuestos y la parte alta de la zona de subducción es de unos 100 km (Woodward-Clyde, 1980).

Al sismo de diseño local se le asignó una magnitud de 6,5 y una distancia hipocentral de 20 km. El sismo de diseño local es también moderado porque los eventos históricos en el área del proyecto, que tienen una magnitud mayor que 6, son sismos de profundidad intermedia o de profundidad focal desconocida y la menor profundidad focal de los eventos registrados dentro de los 160 km del

área del proyecto es de 25 km. El conservatismo del sismo de diseño local tiene por objeto dar protección contra la probabilidad de que se presenten efectos destructivos de foco poco profundos a lo largo de algunas de las fallas superficiales principales en la proximidad de los sitios de presa propuestos. Sin embargo, este conservatismo del diseño sísmico local es consistente con el riesgo sísmico de intensidad MM de 8.25 en el área del proyecto, que se muestra en la Figura 7.8, que da un sismo máximo creíble de magnitud 6.5, usando la ecuación 1. - El intervalo de recurrencia del sismo de diseño local deberá ser mayor que el del sismo de diseño regional.

La Tabla 7.2 muestra los parámetros de movimiento de los dos sismos de diseño para el proyecto Calima. Estos parámetros son válidos para todos los sitios de presa considerados en el Proyecto Calima III propuesto.

SECCION 7 - LISTA DE TABLAS

- 7.1 Sismos Máximos Creibles en el Area Proyecto Calima.
- 7.2 Parámetros de Movimiento Sísmico de los Sismos de Diseño.

SISMOS MAXIMOS CREIBLES EN EL AREA  
PROYECTO CALIMA

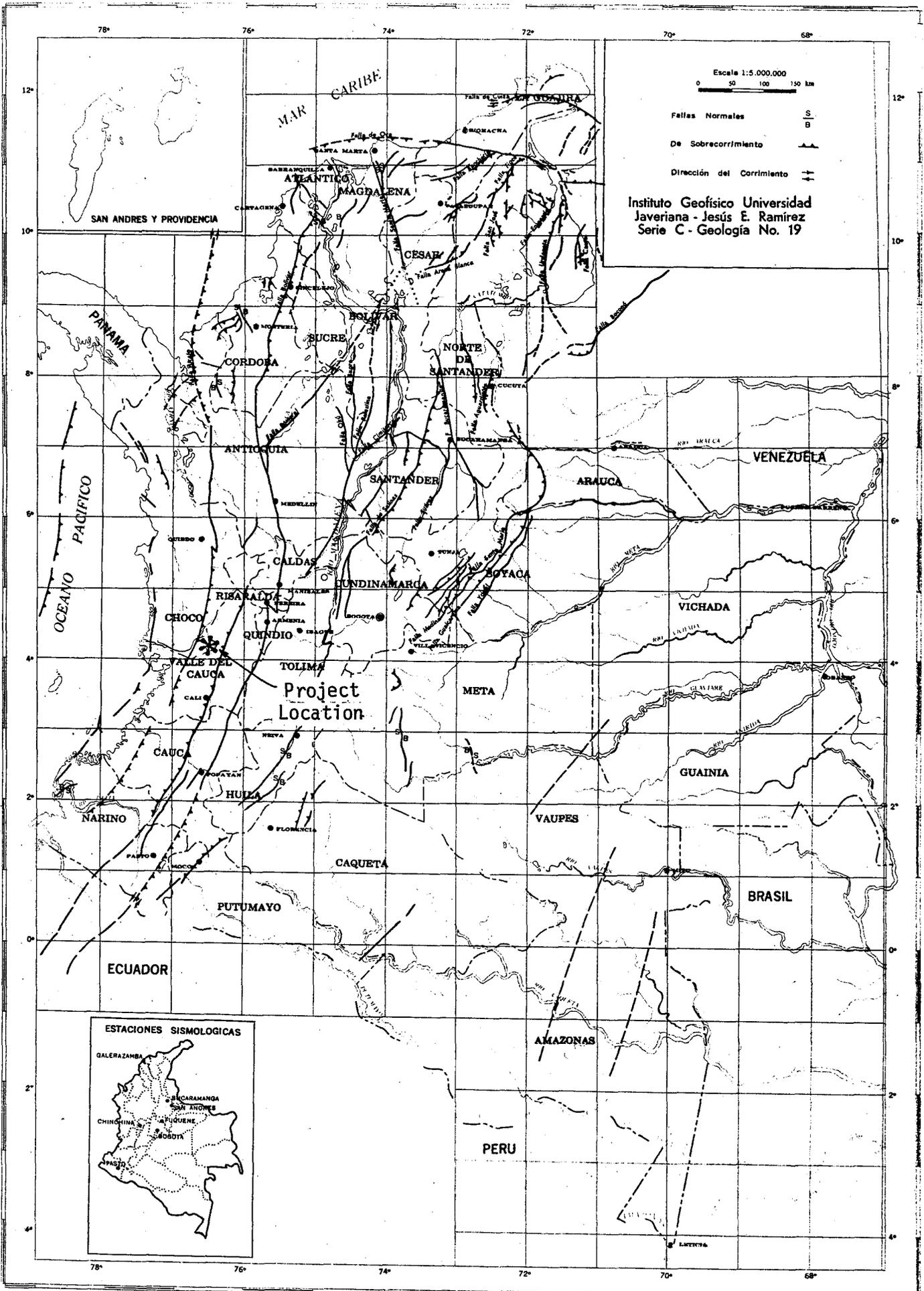
<u>Falla</u>	<u>Longitud (km)</u>	<u>Distancia del Sitio de Presa</u>	<u>Actividad</u>	<u>Sismos Máximos Creibles</u>
Juntas (Romeral)	135(?)	60 (Calima II) 65 (Río Bravo) 80 (Garrapatas)	Si	7.5 - 7.6
Cauca-Cali	?	20 (Calima II) 28 (Río Bravo) 40 (Garrapatas)	Si	7.5
Roldanillo	95	7 (Calima II) 13 (Río Bravo) 35 (Garrapatas)	No	7.4 - 7.5
Dagua-Calima	95	2 (Calima II) 7 (Río Bravo) 38 (Garrapatas)	No	7.4 - 7.5
Los Cristales	80	2 (Calima II) 5 (Río Bravo) 20 (Garrapatas)	Si	7.3 - 7.4
Río Bravo	80	5 (Calima II) 1 (Río Bravo) 17 (Garrapatas)	Si	7.3 - 7.4
Garrapatas	70	53 (Calima II) 50 (Río Bravo) 0 (Garrapatas)	Si (?)	7.3 - 7.4

PARAMETROS DE MOVIMIENTO SISMICO DE  
LOS SISMOS DE DISEÑO

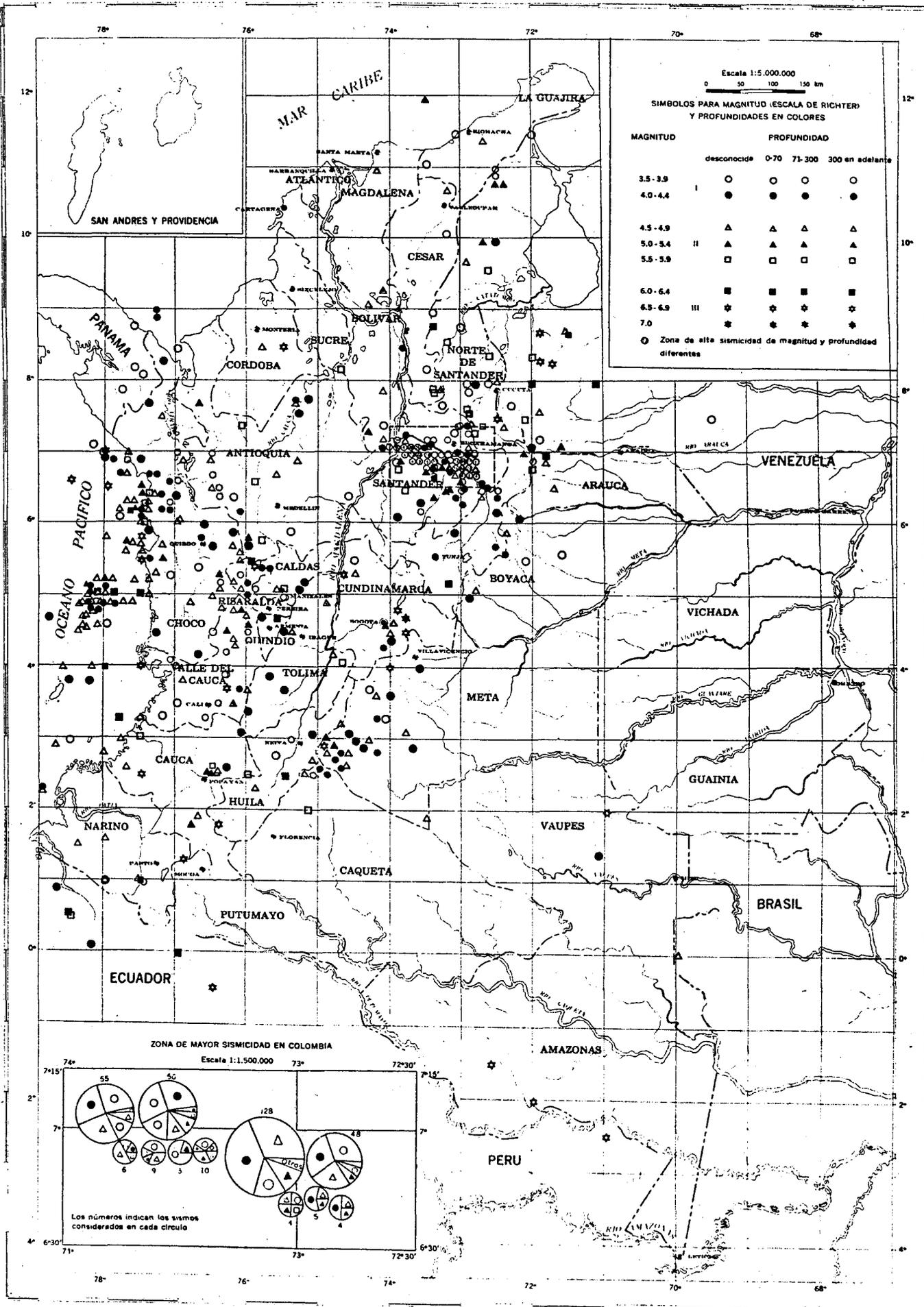
<u>Sismo de Diseño</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Distancia Hipocentral</u>	<u>Aceleración Hori- zontal Pico</u>	<u>Período Predominante</u>	<u>Duración del Sacudimiento</u>
Local	3.5	20 km	0.35 g	0.28 sec	17 sec
Regional	7.5	100 km	0.20 g	0.50 sec	40 sec

SECCION 7 - LISTA DE FIGURAS

- 7.1 Mapa Tectónico de Colombia
- 7.2 Mapa Sísmico
- 7.3 Sismicidad Histórica en el Area del Proyecto Calima dentro de 300 km Centrados en Sitio Propuesto de Río Bravo.
- 7.4 Sección Transversal de la Sismicidad de la Placa Cauca y la Litosfera Superior.
- 7.5 Secciones Transversales N-S de Sismicidad en el Area de Proyecto Calima III a lo Largo de la Longitud 76° 30'W (ITEC Ltda, 1979).
- 7.6 Secciones Transversales de Sismicidad en el Area de Proyecto Calima III a lo Largo de la Latitud 4°N (ITEC Ltda, 1979).
- 7.7 Secciones Transversales de Sismicidad E-W en el Area del Proyecto Calima III a lo Largo de la Latitud 4° 30'N.
- 7.8 Mapa de Riesgo Sísmico de la Región Andina (Ramirez y Estrada, 1977).
- 7.9 Relación Longitud de la Falla de Superficie-Magnitud de Sismo, Datos Mundiales.
- 7.10 Relaciones Longitud de la Falla-Magnitud de Sismo, Datos de Falla de Deslizamiento - Normal

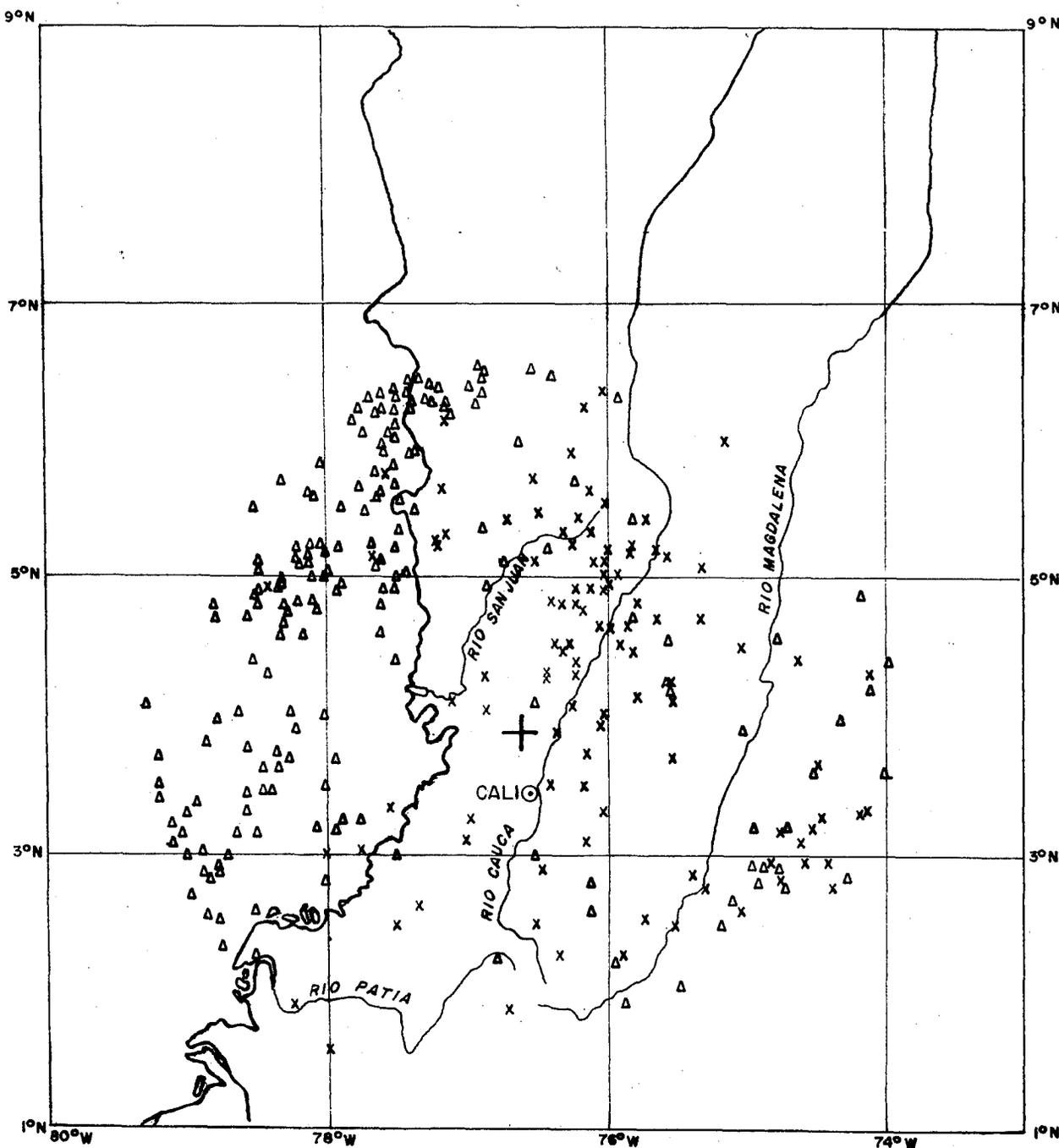


MAPA TECTONICO DE COLOMBIA  
(Tectonic map of Colombia)



MAPA SISMICO DE COLOMBIA  
(Seismic map of Colombia)

FIG. 7.3



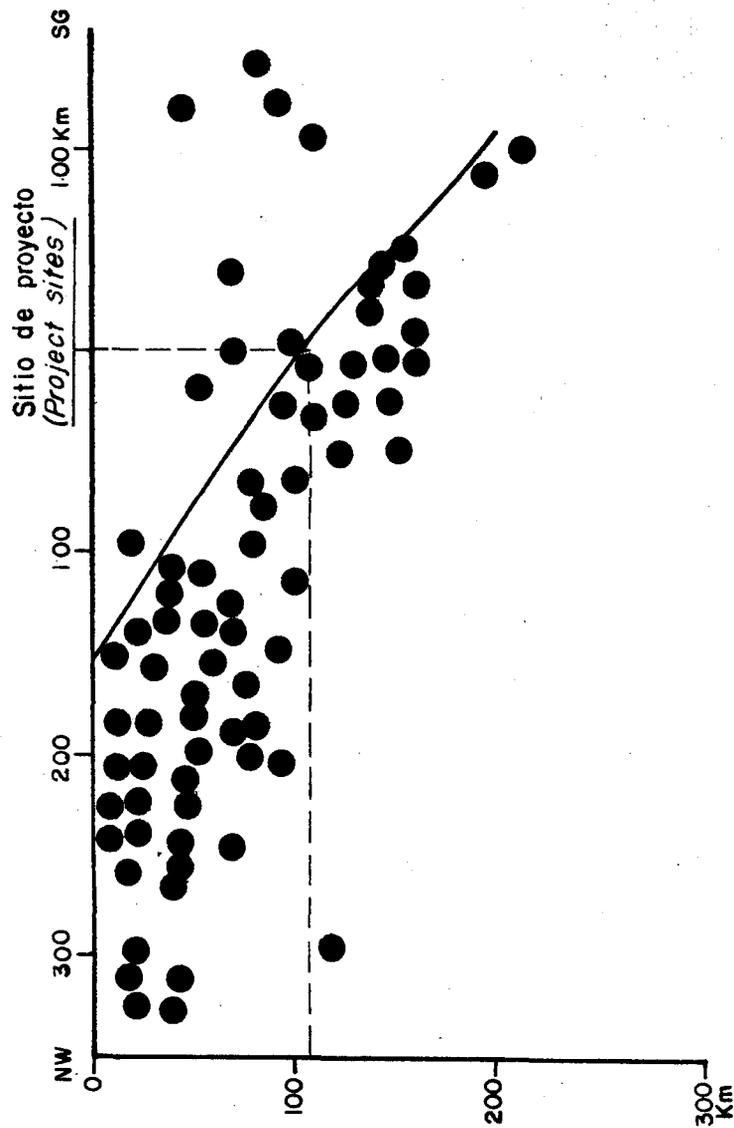
341 Earthquakes Plotted  
(Sismos graficados)

+ Proposed Río Bravo Damsite  
(Sitio propuesto de presa de Río Bravo)

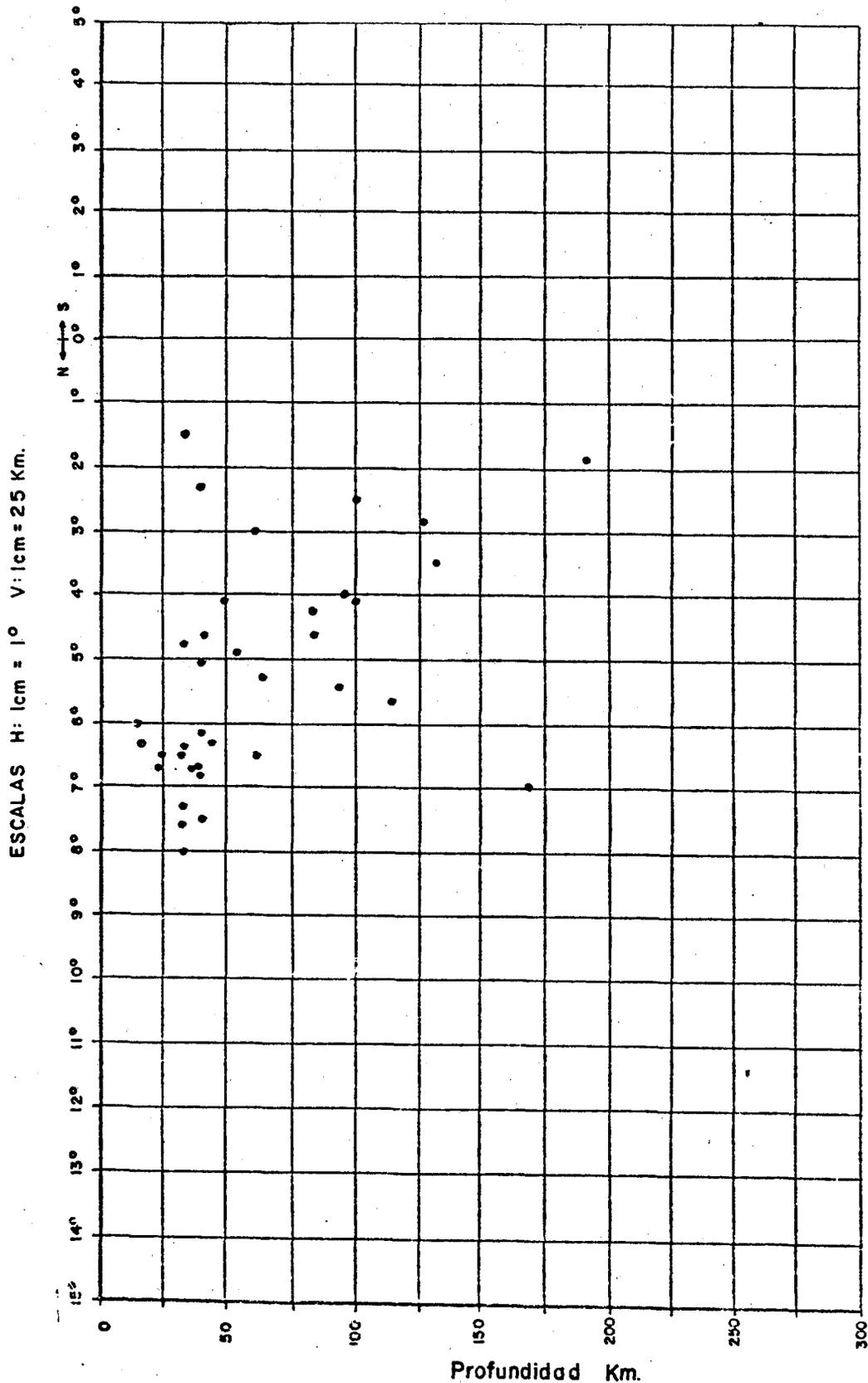
DEPTHS {  
(Profundidades) { o >300Km  
x 71-300Km  
Δ 0-70Km

SISMICIDAD HISTORICA EN EL AREA DE PROYECTO CALIMA  
DENTRO DE 300 Km CENTRADOS EN SITIO PROPUESTO DE  
RIO BRAVO (Historical seismicity in the Calima project area within  
300Km. centered at the proposed Río Bravo damsite.)



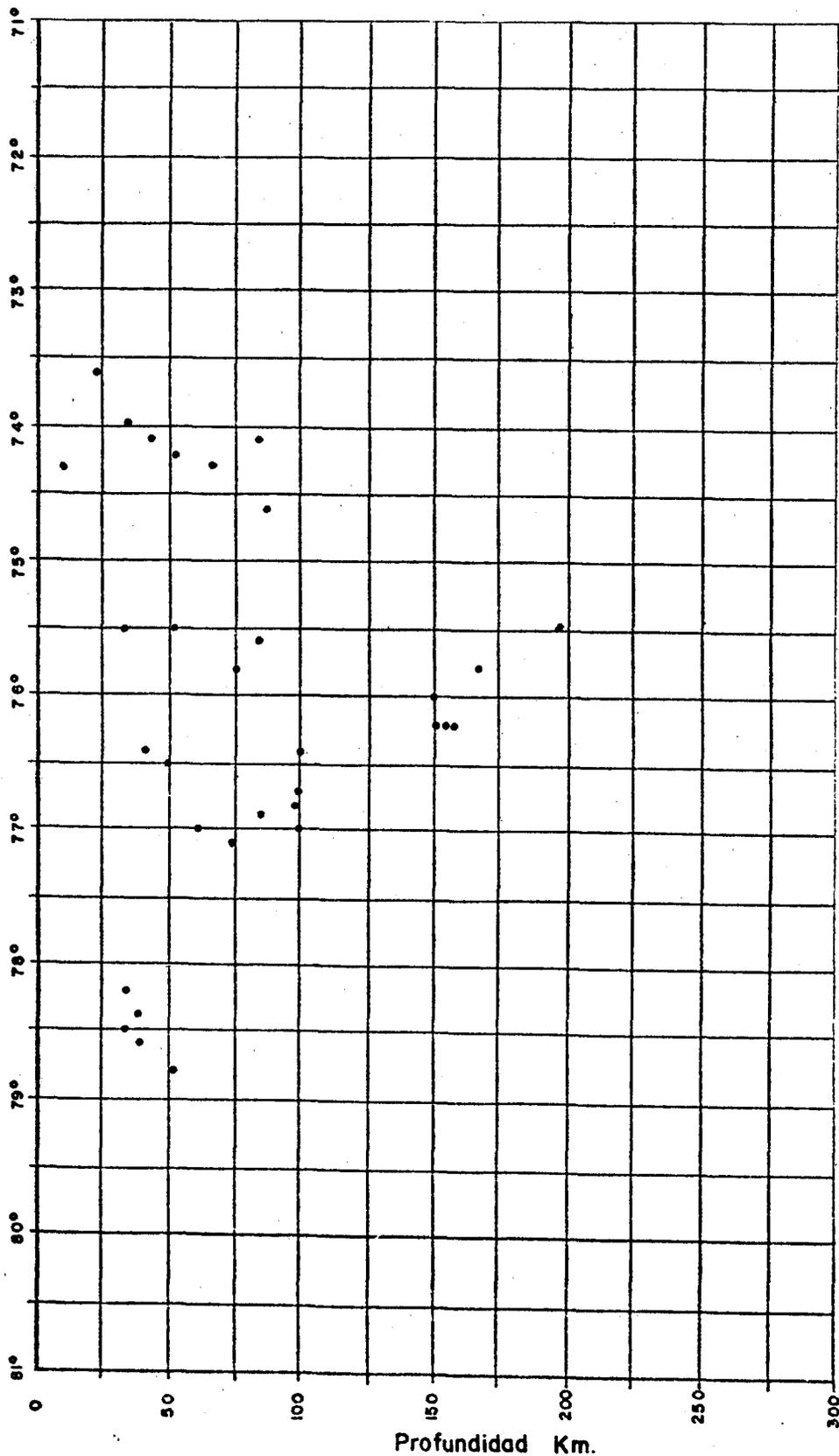


SECCION TRANSVERSAL DE LA SISMICIDAD DE LA PLACA CAUCA Y LA LITOSFERA SUPERIOR  
*(Cross-section of the seismicity of the Cauca slab and the overlying lithosphere)*



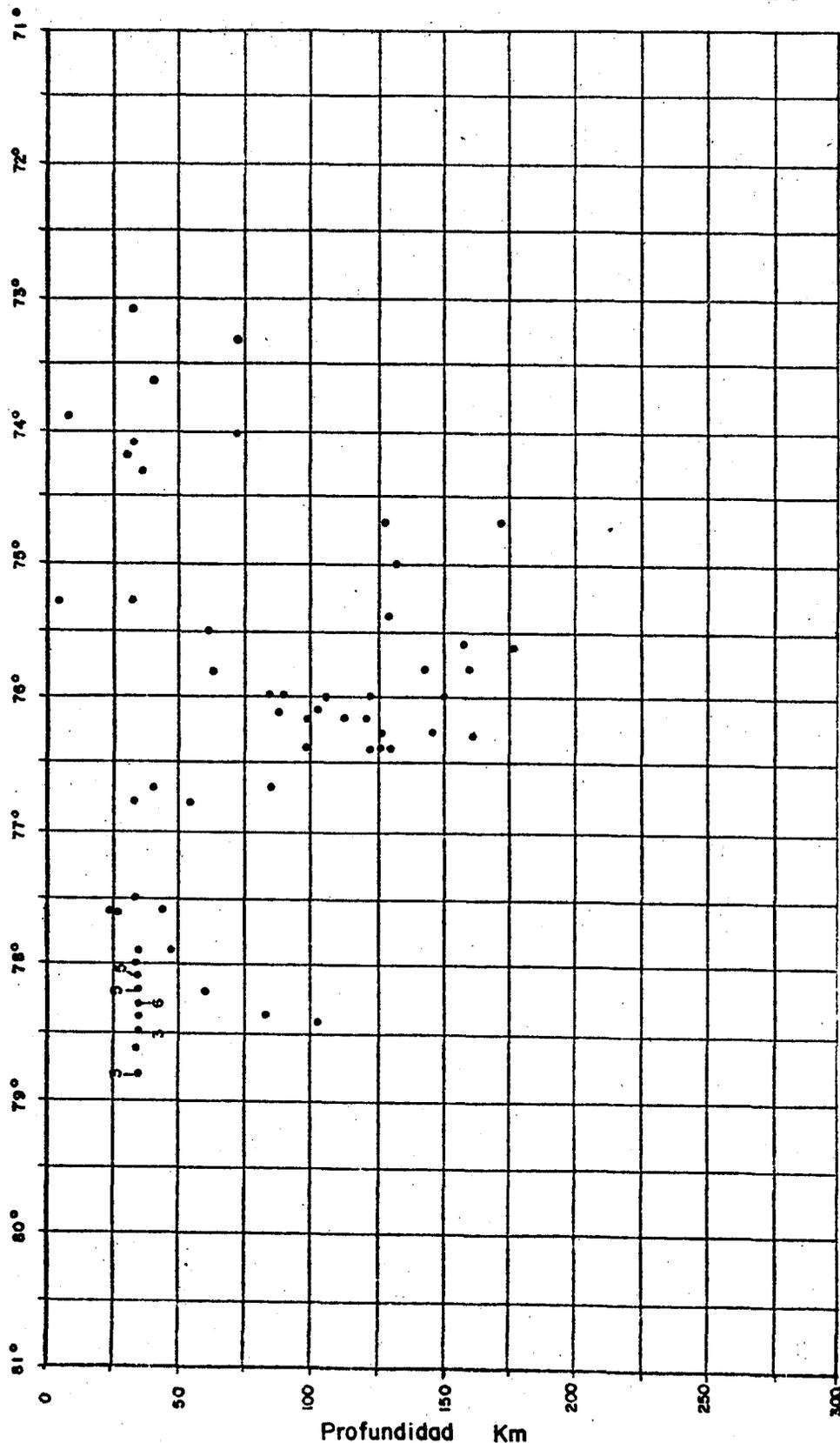
SECCIONES TRANSVERSALES N-S DE SISMICIDAD EN EL AREA DE PROYECTO DE CALIMA III A LO LARGO DE LA LONGITUD 76°-30 W  
 (N-S cross-section of seismicity in the Calima III project area along longitude 76°-30' W (ITEC Ltda, 1979)

ESCALAS H: 1cm = 0° 30' V: 1cm = 25 Km.

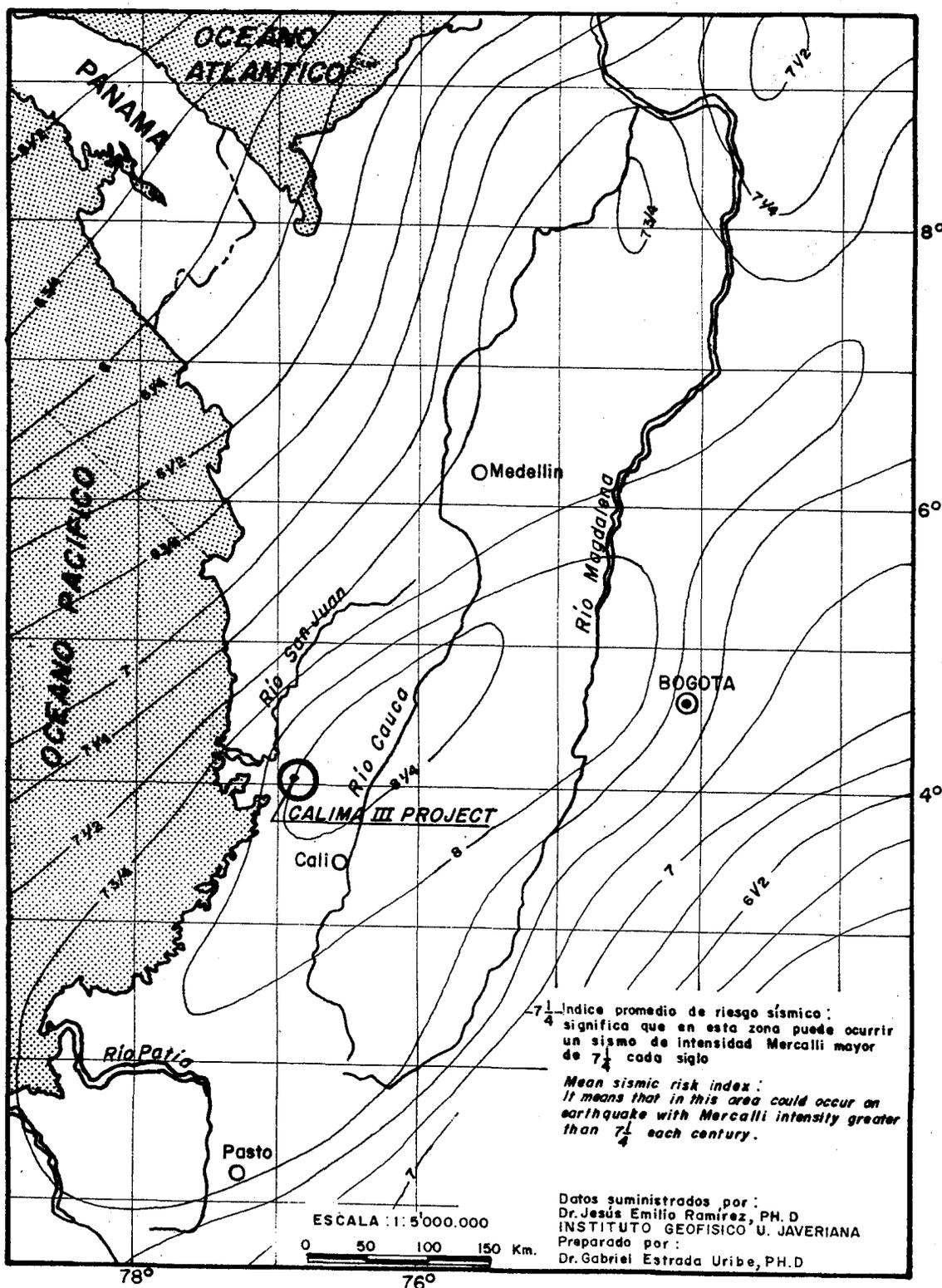


SECCIONES TRANSVERSALES E-W DE SISMICIDAD EN EL AREA DE PROYECTO DE CALIMA III A LO LARGO DE LA LATITUD 4°-N  
 (E-W cross section of seismicity in the Calima III project area along latitude 4°-N (ITEC Ltda, 1979))

ESCALAS H: 1cm = 0° 30' V: 1cm = 2.5 Km

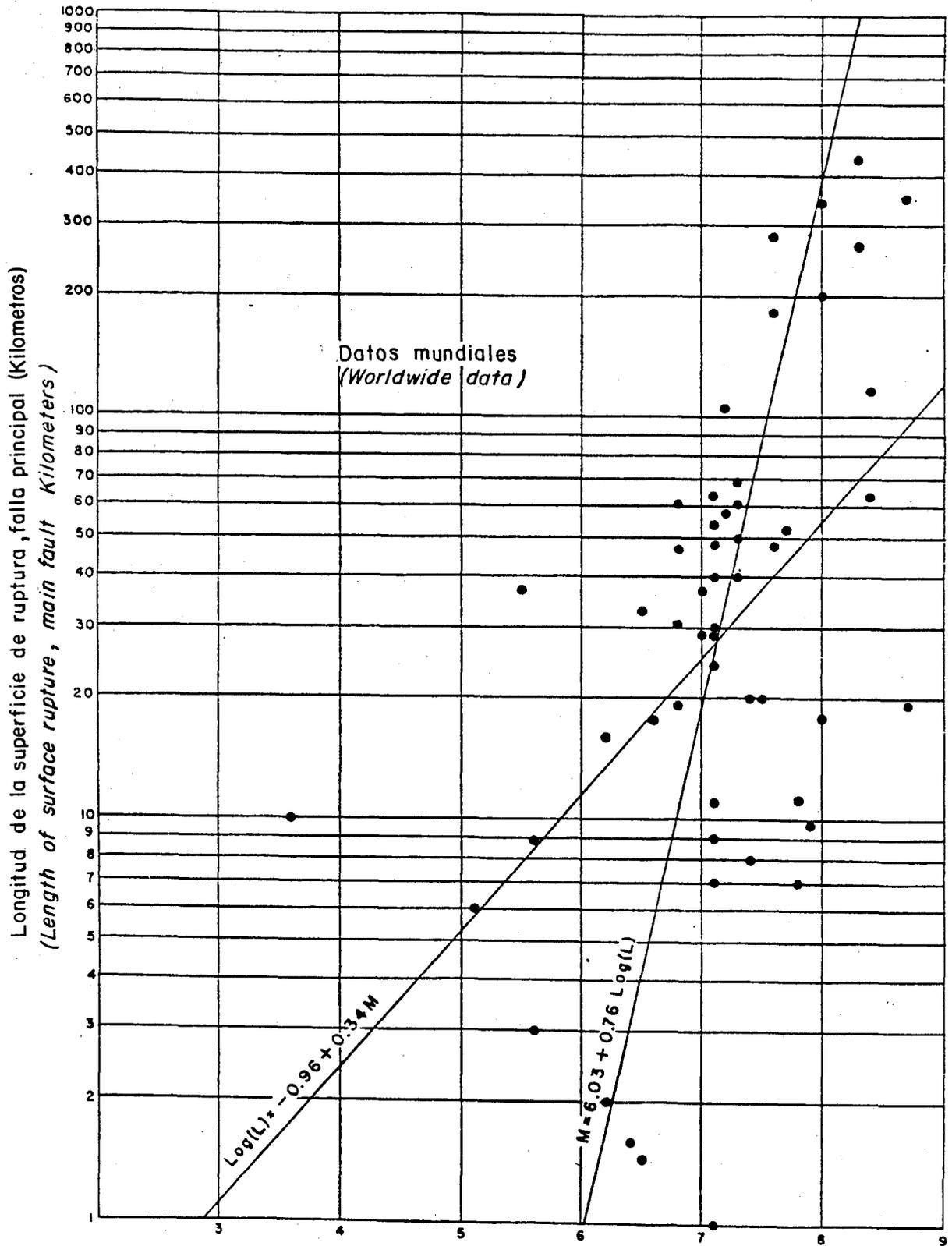


SECCIONES TRANSVERSALES E-W DE SISMICIDAD EN EL AREA DE PROYECTO DE CALIMA III A LO LARGO DE LA LATITUD 4°-30' N  
 (E-W cross section of seismicity in the Calima III project area along latitude 4°-30' N (ITEC Ltda, 1979))



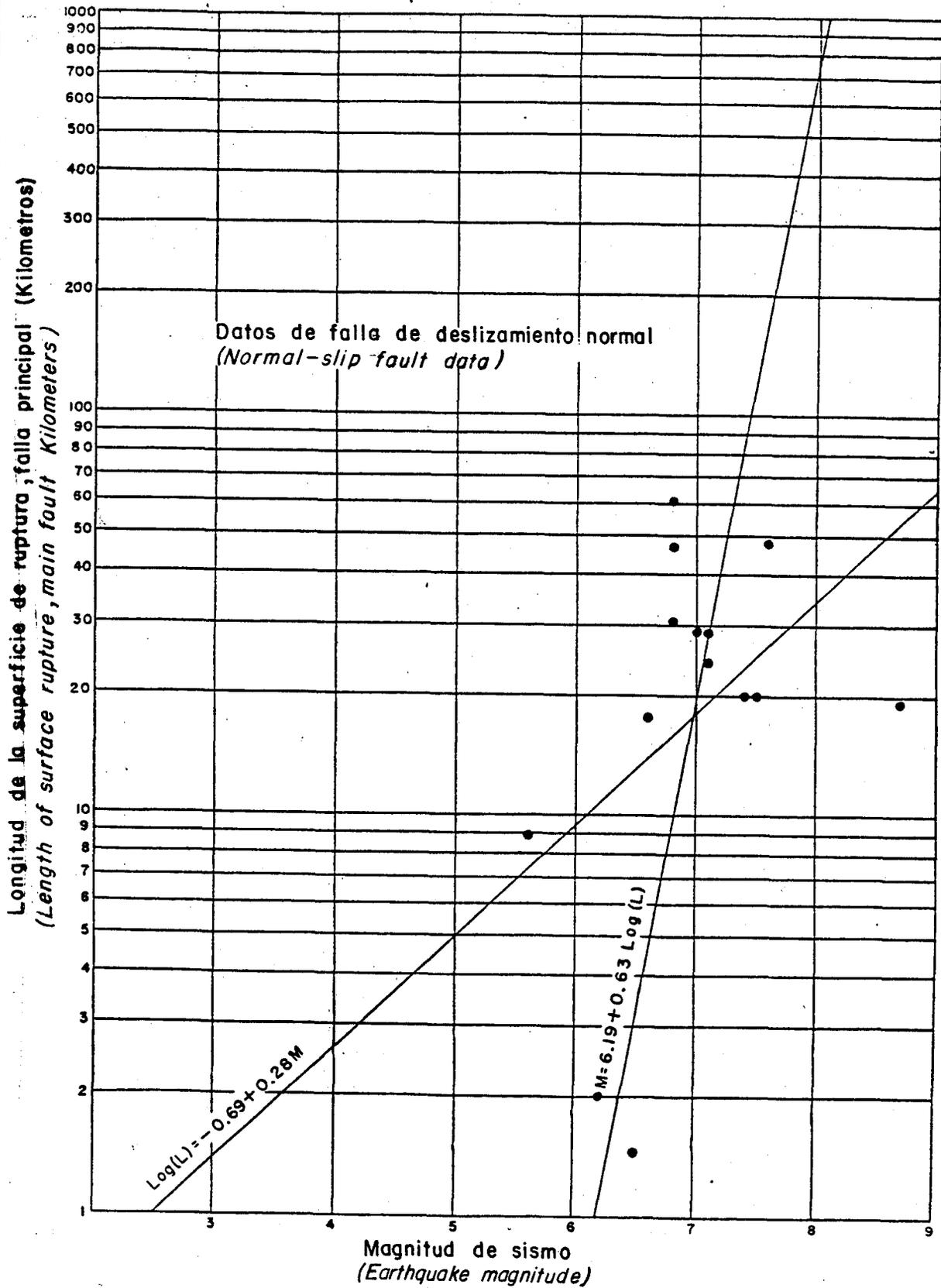
MAPA DE RIESGO SISMICO DE LA REGION ANDINA  
 (Ramirez Estrada 1977)

(Seismic risk map of andean region after Ramirez Estrada, 1977)



RELACION LONGITUD DE LA FALLA DE SUPERFICIE- MAGNITUD DE SISMO, DATOS MUNDIALES  
 (Surface fault, length - earthquake magnitude relationship, world data)

FIG 7.10



RELACIONES LONGITUD DE LA FALLA DE SUPERFICIE - MAGNITUD DE SISMO, DATOS DE FALLA DE DESLIZAMIENTO-NORMAL  
(Surface fault length-earthquake magnitude relationship, normal - slip fault data.)

SECCION 8 - COSTOS Y PROGRAMACION

TABLA DE CONTENIDOS

8.1	Punto de Vista del Constructor
8.1.1	Procedimiento General
8.1.2	Costos Directos
8.1.3	Costos Indirectos
8.1.4	Contingencia y Utilidad
8.1.5	Escalación y Moneda
8.1.6	Limitaciones del Estimativo
8.2	Programa de Construcción
8.2.1	Nomenclatura de los Contratos
8.2.2	Programa de Implementación del Proyecto
8.3	Costos
8.3.1	Resumen de Costos
8.3.2	Desviación de Tributarios
8.3.3	Costo de Equipo de Transmisión/Subestación
8.3.4	Equipo Electro-Mecánico Principal
8.3.5	Construcción de Túneles
8.4	Flujo de Caja
	Tablas
	Figuras

SECCION 8  
COSTOS Y PROGRAMACION

8.1 PUNTO DE VISTA DEL CONSTRUCTOR

8.1.1 Procedimiento General

Como Calima III va a quedar incluido en el programa de emergencia para el Sector Eléctrico, estos estudios han dado particular atención a la elaboración de programas de construcción, para garantizar, a todos los interesados, que Calima III se ha programado en forma adecuada. Concurrentemente, fué también posible desarrollar precios unitarios para calcular el costo del proyecto, utilizando los mismos conceptos que utilizaría un contratista. Es decir, determinando los equipos, el personal necesario y el esfuerzo de construcción requerido para la ejecución de los elementos principales del proyecto.

Los componentes básicos del costo para mano de obra, equipos, suministros y materiales de construcción fueron calculados posteriormente, utilizando los tiempos de construcción correspondientes. La calidad y el detalle de los precios unitarios obtenidos están en función directa de la disponibilidad de información y/o de planos sobre los diferentes elementos del proyecto. Cuando un contratista no recibe esta información en la profundidad que él necesita, tiene que recurrir a los datos de su experiencia en proyectos similares. Es pues también fundamental en la preparación de estimativos, la experiencia de los calculistas de costos. Durante este estudio se ha hecho todo cuanto ha sido posible para tomar decisiones adecuadamente usando calculistas de costos altamente calificados y experimentados, vinculados a la construcción.

Los estimativos de costos de construcción que aparecen resumidos en esta sección tienen tres componentes básicos : Costos directos, costos indirectos incluyendo utilidad del contratista, y contingencias. La Figura 8.1 muestra un diagrama de flujo general de la secuencia del análisis seguido en la elaboración del estimativo de costos.

### 8.1.2 Costos Directos

Los costos directos incluyen el costo específico de mano de obra, materiales permanentes utilizados en las obras del proyecto, equipos utilizados en su construcción, y suministros identificados específicamente como necesarios en el proceso de construcción. Como se indica en la Figura 8.1, los costos directos obtenidos están soportados por cuadros y hojas de Cálculo.

### 8.1.3 Costos Indirectos

Una buena parte del precio que cotiza un contratista representa lo que se conoce con el término de costos indirectos. Estos son costos relacionados con la naturaleza temporal del trabajo e incluyen items tales como edificios temporales, campamentos, seguros, impuestos y los costos asociados con la supervisión que hace el contratista de sus propios trabajos. Corrientemente en las propuestas para construcción se incluyen los costos indirectos estimados usando un procedimiento análogo al empleado para los costos directos, refiriéndolos a los elementos del proyecto. Este refinamiento no se justificaba al nivel del presente estudio. En cambio se derivó un componente de costo indirecto global para todo el proyecto. Este costo indirecto global se distribuyó uniformemente sobre los costos directos individuales para llegar a unos costos de propuesta representativos. Sin embargo, en el estimativo de los Consultores, elaborado como parte del diseño final deberá investigarse esta distribución y separar los costos indirectos dondequiera que sea posible para evitar cualquier distorsión indebida.

### 8.1.4 Contingencia y Utilidad del Contratista

La contingencia es una provisión que el Contratista necesita agregar para cubrir ciertos costos no definibles. El valor de la contingencia que se incluye depende del tipo de obra por ejecutar y de las especificaciones, que por omisiones o inclusión de ciertas cláusulas, transmiten responsabilidad al Contratista en caso de la ocurrencia de ciertos eventos. Las estipulaciones de las especificaciones referentes a cambio de condiciones, multas, pagos parciales

y a responsabilidades del contratista en la desviación provisional del río, tienen influencia sobre el valor de la contingencia que el contratista incluirá en los precios de su propuesta. Teniendo en cuenta que el nivel de este estudio está por debajo de las bases de información descritas arriba, se ha adoptado como contingencia una provisión fija del 15% para las obras civiles y del 10% para los contratos de suministro electro-mecánicos. Estos porcentajes son mas bien bajos en relación con lo usado en Norte América, particularmente cuando se incluye una excavación subterránea considerable. (El estimativo del diseño final para Calima II, preparado por terceros en 1965, utilizó un 25%). No obstante, los porcentajes adoptados son los que se usan comunmente en Colombia y tomar una posición más conservadora vendría a colocar a Calima III, injustificadamente en posición de desventaja en comparación con la construcción de proyectos alternativos.

La utilidad del contratista deberá incluirse igualmente en los estimativos de costos. En este estudio se usó un 12.5% como margen de utilidad probable representativa. Este margen estará afectado por las condiciones económicas en la época de la licitación, por el número de proponentes y por su país de origen.

#### 8.1.5 Escalación y Moneda

En general, donde no se indique que los costos son en pesos, los costos se han expresado en dólares equivalentes (US\$). La Tabla 8.1 muestra la escalación anual y las tasas de cambio usadas en los estimativos de costos.

#### 8.1.6 Limitaciones del Estimativo

La oferta del Contratista obedece a un proceso competitivo de licitación y los estimativos de costos que la originan reflejan el punto de vista de un contratista. Otro contratista podría adoptar un sistema de ejecución enteramente diferente.

## 8.2 PROGRAMA DE CONSTRUCCION

### 8.2.1 Nomenclatura de los Contratos

Para facilitar la implementación del proyecto, la construcción de las obras civiles y el suministro de equipo permanente, han sido tentativamente subdivididos en varios contratos individuales. Estos contratos han sido llamados LOTES, y son como se indica a continuación:

- LOTE 1 - Presa de Río Bravo, que comprende todas las obras conexas en el sitio de presa, incluyendo la desviación durante la construcción, el vertedero de servicio, el vertedero auxiliar, la contrapresa y la toma de carga.
- LOTE 2 - Casa de Máquinas, que comprende la construcción de todas las obras civiles relacionadas con la casa de máquinas, el túnel de acceso, incluyendo el túnel de fuga y el distribuidor de la tubería de carga, la instalación del equipo principal de generación, del equipo auxiliar electromecánico, y la instalación de los otros componentes electromecánicos. La preparación del patio de conexiones y la colocación del concreto en las fundaciones para el equipo del patio de conexiones quedan también incluidas dentro de este LOTE.
- LOTE 3 - Túneles, que comprende toda la construcción de túneles entre los límites de los LOTES 1 y 2, y la instalación de todas las tuberías de acero y obras anexas. En este LOTE debería incluirse preferentemente la construcción de todas las presas de desviación pero esta determinación podría tomarse durante el diseño final.
- LOTE 4 - Obras Metálicas, que comprende el suministro de todos los componentes metálicos principales, principalmente las tuberías de acero de diámetros superiores a 1.0 m, compuertas y malacates, puentes, y las tapas y marcos embebidos. Los elementos metálicos misceláneos tales como barandas, pernos de anclaje, etc. Quedarán incluidos dentro de sus respectivos LOTES.

- LOTE 5. Equipo mecánico, que comprende todo el equipo mecánico, a excepción de los malacates de las compuertas, en todo el proyecto, distintas a las suministradas en el LOTE 2.
- LOTE 6. Equipo Eléctrico, que comprende todo el equipo eléctrico fuera de lo suministrado en el LOTE 2.
- LOTE 7. Línea de Transmisión, que comprende la construcción y erección de todas las líneas de transmisión entre los puntos de conexión en el patio de conexiones/subestaciones, exceptuando lo suministrado bajo el LOTE 6.
- LOTE 8. Patio de Conexiones/Subestaciones, que comprende la totalidad de patio de conexiones y subestaciones, a excepción de las obras civiles del patio de conexiones que se incluyeron en el LOTE 2.

Es entendido que el número de LOTES citado arriba y el alcance exacto de cada uno estarán sujetos a modificaciones durante el diseño final. Más adelante se presentan algunas consideraciones alternativas. La movilización de equipos del contratista de obras civiles depende grandemente en la cantidad de obra por ejecutar. Por eso, los LOTES 1,2 y 3 deben estructurarse cuidadosamente para estar seguros que los varios contratistas estén adecuadamente equipados para poder terminar la obra dentro del tiempo programado, sin tener que cotizar sobre-precios por la inversión en equipos de construcción distintos a los que podrían requerir con la sólo redistribución inicial del alcance de trabajos.

## 8.2.2 Programa de Implementación del Proyecto

### 8.2.2.1 Generalidades

La Figura 8.2, hojas 1 y 2 muestra un diagrama de barras del programa de implementación del proyecto. Como podrá observarse la puesta en línea inicial de Calima III esta programada para mediados de 1987. ISA requiere que este proyecto esté totalmente terminado para fines de 1987.

El análisis de ruta crítica de la construcción del proyecto va a indicar que las actividades de la casa de máquinas relacionadas con el LOTE 2, incluyendo también el suministro e instalación de turbina y generador, van a controlar todo el programa de construcción. La construcción de los caminos de acceso a esta misma área ejercerán también gran influencia en lograr la puesta en línea del proyecto en las fechas fijadas.

#### 8.2.2.2 LOTE 1 (Presa de Río Bravo):

La presa de río Bravo, bajo el LOTE 1, podría quedar terminada en 36 meses, o menos. La colocación misma del concreto en la presa, usando torres-grúa, podría terminarse en unos 15 meses. (El volumen total de concreto en la presa de arco se estima en unos 140.000 m<sup>3</sup>). Los trabajos de excavación, tratamiento de la fundación, y construcción de las obras de desviación, deberán estar ejecutadas entre 15 y 18 meses antes de la colocación del concreto. El cierre de la desviación en la presa de río Bravo se proyectó para finales de Febrero de 1987, y la presa de arco podría coronarse en esta época. El trabajo remanente sería básicamente la sola colocación del tapón de concreto en el túnel de desviación (Ver Plano 118) y la limpieza del sitio. La terminación tentativa de la presa está por lo tanto programada para finales de Abril de 1987.

En realidad la parte más difícil del programa de la presa de río Bravo es la fase inicial del diseño final que incluye también las pruebas con modelo estructural. Como se muestra en la Figura 8.2, la solicitud de propuestas para el LOTE 1 debería emitirse a finales de 1983. Para cumplir con este requisito, el diseño físico de la presa deberá estar casi terminado al final de este año (1982). Este requisito puede ser demasiado severo para llegar simultáneamente al diseño óptimo, especialmente cuando la presa misma puede construirse en menos de 18 meses. Para aliviar esta limitación rigurosa deberá examinarse la probabilidad de incluir los túneles de desviación temporal del río bajo el LOTE 3. Este enfoque del contrato de construcción en dos etapas podría aumentar casi en un año del tiempo disponible para el diseño final de la presa de arco.

Como comentario final, debe anotarse que el sitio de presa es mas bien pequeño y que el equipo de construcción del contratista tendría que acomodarse al espacio disponible. Se ha asumido que la arena y el cemento serán llevados desde el Valle del río Cauca y que el Contratista necesitará producir los agregados gruesos mediante trituración de material de cantera. De allí la urgencia de construir inmediatamente la carretera existente entre Calima I y el sitio de presa. La configuración geométrica del sitio de presa no es adecuada para utilizar cable para la construcción. El costo de un cable nuevo para la presa de río Bravo sería de unos US\$ 4 millones, y como la presa solo tiene una altura máxima de 95 m, en la preparación del estimativo de costos prefirió usarse torres gruas, que requieren una menor inversión.

#### 8.2.2.3 LOTE 2 (Casa de Máquinas):

La Figura 4.2 muestra un programa de excavación detallado, para la casa de máquinas. Como se indica, la excavación podría quedar totalmente terminada en menos de 50 semanas. La colocación de concreto en el área de la sala de servicio podría comenzar varias semanas antes, unas 35, y si llega a requerirse un arco de concreto en el techo, este trabajo podría llevarse a cabo durante la excavación de la parte alta de la bóveda.

La Figura 8.2 muestra que la fecha ideal para que el puente grúa esté disponible es al final de Abril 1985, y que el concreto de los embebidos de la turbina No. 1. debe iniciarse para fines de Junio 1985. Asumiendo que el contratista necesita dos meses para movilizar su equipo, puede verse que, según la secuencia de actividades, quedan entre 5 y 6 meses para la colocación del concreto en la sala de servicio y en el área de la Unidad N° 1, antes de la instalación del distribuidor de la primera turbina.

Quedará entonces tiempo suficiente para que el contratista del LOTE 2 termine la construcción de la casa de máquinas. Sin embargo, como ya se dijo, para disponer de algunos meses de tolerancia, la excavación subterránea asociada con el LOTE 2 podría trasladarse al LOTE 3. La ventaja de realizar todos los trabajos subterráneos bajo el LOTE 3 (las obras de desviación de río Bravo del LOTE 1 y los túneles de acceso a casa de máquinas y la caverna de casa de máquinas del LOTE 2) no solamente deja mas tiempo para el programa de construcción/diseño sino que facilita las obras, así :

- El Contratista de trabajos subterráneos va a tener una mayor cantidad de obra lo cual le permitirá programar mas adecuadamente su inversión en - equipo de construcción. De otra manera, su programa de trabajo acelerado para el LOTE 2 requerirá un equipo semejante, sus precios unitarios tendrían que ser más altos.
- El postergamiento del concreto principal tanto en la presa principal como en la casa de máquinas, permitirá integrar este trabajo en un contrato más grande, lo cual podría atraer un mayor número de proponentes. Esta decisión permitiría también la consolidación de la planta de producción de agregados (aunque esto podría lograrse también en la programación dentro de los lotes que aparecen en la Figura 8.2).

#### 8.2.2.4 LOTE 3 (Túneles):

La construcción de túneles bajo el LOTE 3 fue proyectado en su totalidad mediante métodos de excavación convencionales. Como se indicó en la Sección 4, el área principal de trabajos para este contratista sería en la quebrada Cristalina. Se establecería un frente de excavación en la quebrada Mico y otro en el extremo de aguas abajo del túnel de carga alto. El túnel de carga se excavaría utilizando equipos sobre rieles. Los demás túneles, a excepción del túnel de desviación Militar-río Bravo, podrían excavar-se usando equipo montado sobre llantas.

La excavación convencional deberá obtener un promedio de avance de 10 metros por día en cada frente de trabajo. Hasta antes de recibirse los resultados de los ensayos de compresión incofinada de la diabasa, se creyó que las condiciones de resistencia de la roca no eran propicias para el uso de máquinas de excavación de túneles (moles). Al recibir los primeros resultados se hizo obvio que se trataba de resistencias a la compresión substancialmente menores que  $2,100 \text{ kg/cm}^2$  y se revaluaron los métodos de excavación de túneles. El sistema de excavación utilizando maquina excavadora (mole) parece ser mucho más económico que los métodos convencionales. Un beneficio secundario de este sistema de excavación es que la roca no se disturba tanto como con las voladuras del método convencional; y por el mismo motivo hay una reducción considerable en los soportes de acero requeridos. El pa-

so por las zonas de cizallamiento geológico va a ser más fácil, ya que hay menor perturbación, aunque podría ser necesario perforar huecos pilotos, para vigilar los cambios en condiciones del terreno, en algunos sitios especiales.

La máquina de excavación de túneles que se proyecta utilizar en Calima III podría producir un avance promedio de 22.5 m por día. La excavación podría iniciarse en la Cristalina y avanzar hacia aguas abajo. El mole se devolvería para excavar el tramo de aguas arriba. Después se transportaría hasta el área del Chanco para terminar el túnel de fuga. El tiempo de entrega e instalación para una máquina nueva podría ser de 12 a 14 meses. Una máquina usada o reconstruida podría comenzar a trabajar más pronto. Hay muchos contratistas que tienen máquinas (moles) usadas que podrían vender al contratista que resulte favorecido con el LOTE 3. Una máquina nueva podría costar entre US\$ 4 millones y US\$ 5 millones. Debe tomarse en cuenta que mediante un postergamiento nominal en la desviación Azul/Militar, el túnel entre los ríos Militar y Bravo, cuya longitud es de 4700 m, podría excavar se utilizando el mismo mole. Aun cuando la capacidad hidráulica sería del doble, una vez que la máquina excavadora quede movilizada el precio unitario de excavación resultaría equivalente al de un túnel de 4 m excavado convencionalmente.

La Figura 8.3 muestra secciones transversales alternativas para el túnel de carga y el túnel de fuga excavados con mole. Las pérdidas por resistencia hidráulica para el túnel excavado con mole se reducirían considerablemente debido a la menor rugosidad de la superficie. Desafortunadamente, todavía no se dispone de resultados de pruebas de campo sobre pérdidas por rugosidad. Sin embargo, la pérdida hidráulica por cada metro de túnel sin revestir podría ser menos que la mitad, y puesto que más del 55% del túnel de carga sería sin revestir, se estima que las pérdidas se reducirían en cerca de 10 m. Así que un túnel excavado con mole tendría nominalmente mayor energía; y, para una clasificación de generador equivalente, la descarga de diseño máxima de la planta sería de 1.0 m<sup>3</sup>/s; es decir, 62 m<sup>3</sup>/s para una caída neta de 510 m, con capacidad máxima de planta a 270 MW, contra 63.5 m<sup>3</sup>/s para una caída neta de 490 m (Ver Tabla 4.1). Existen guías para calcular la rugosidad con respecto a sobre-excavación en túneles de excavados convencionalmente (54) y -

estas se usaron en las determinaciones anteriores.

#### 8.2.2.5 Otros LOTES

A excepción del LOTE 5, el trabajo en los otros LOTES ha sido calculado alrededor de los tres LOTES anteriores y no se prevén consideraciones especiales. Con todo, se ha dado especial atención a la parte del LOTE 5 relacionada con el suministro de turbinas, válvulas y reguladores --LOTE 5A--. Como se puede observar en la Figura 8.2, éste es en realidad el primero de los contratos grandes por licitarse. Como es deseable licitar los generadores y excitadores junto con las turbinas, el LOTE 6 aparece igualmente para licitación hacia finales de este año.

El LOTE 5A tiene limitaciones definidas en el tiempo de construcción debido a un recargo de trabajo en la industria. El programa del Calima III requiere que el primer distribuidor espiral se entregue en el sitio del proyecto en el término de 18 meses y que el eje del generador quede libre para el contratista de montaje el 1º de Abril de 1986. Todas las turbinas deberán quedar instaladas para fines de 1986; pero el montaje del generador seguiría durante los primeros meses de 1987.

Habrá que llenar y vaciar el tunel de carga antes de probar las unidades. Se han provisto tres meses para estas pruebas y se ha programado la fecha del 1º de Julio de 1987 como fecha de entrada en línea para operación de la primera unidad.

### 8.3 COSTOS

#### 8.3.1 Resumen de Costos

La Tabla 8.2 presenta un resumen del costo del proyecto por orden de LOTES. Este resumen muestra los estimativos de gastos en moneda extranjera y en pesos, expresados por su equivalente en dólares (US\$). Para mayor conveniencia, el costo combinado de la desviación de tributarios se ha designado como

LOTE 3B y el túnel de carga principal y sus obras conexas, como lote 3A. Como ya se mencionó anteriormente los LOTES 4, 5 y 6 corresponden a contratos de suministro de equipo permanente. Los costos asociados a supervisión de montaje/instalación, donde ello se requiere, han sido incluidos en los LOTES correspondientes; sin embargo, los costos de instalación de equipos han sido incluidos en los otros LOTES de construcción, es decir los LOTES 1,2,3, 7 y 8. En el Volumen 2 se presenta información mas detallada sobre costos.

La suma total para imprevistos es de US\$ 26,366.930, o sea 13.9% del costo directo estimado para CVC. Los imprevistos, y los costos de ingeniería y administración, resumidos, alcanzan a cerca del 27.5% del costo directo estimado.

La Tabla 8.3 muestra un resumen de los costos indirectos del contratista (5), expresados en su equivalente en dolares (US\$). Aparece también la utilidad del contratista. Estos costos ha sido deducidos asumiendo la infraestructura que un contratista requiere para establecer y sostener su actividad de trabajo. Incluida en esta infraestructura figuran un campamento central y bases en el sitio de presa de rio Bravo, en el cruce de Cristalina y en la Casa de Máquinas de Chanco, ademas de una oficina en Cali y soporte externo en el puerto de embarque. Debe anotarse que en la Tabla 8.3 aparece incluido el costo de los campamentos de construcción y de su operación.

La Tabla 8.4 es un resumen de los costos directos correspondientes del contratista (s). Los costos totales equivalentes que aparecen en la Tabla 8.2 fueron calculados distribuyendo uniformemente los costos indirectos dados en la Tabla 8.3 sobre los LOTES de construcción indicados en la Tabla 8.4. Los LOTES 4,5 y 6, los caminos de acceso, y la energia eléctrica requerida durante la construcción, no fueron incluidos en los estimativos del costo indirecto de construcción ni en su distribución, a excepción de lo referente a los costos asociados a la instalación y/o el montaje.

### 8.3.2 Desviación de Tributarios

Como es indispensable examinar los méritos económicos de las desviaciones de tributarios propuesta, es de interés aislar su respectiva estructura de costos, como aparece en la Tabla siguiente (Expresado en dólares (US\$) equivalentes, incluyendo los costos de elementos metálicos)

<u>Desviacion</u>	<u>Costo Directo de Construcción</u>	<u>Imprevistos, Ingeniería y Administración</u>	<u>Costo Total</u>
Cristalina	4,373.820	1.260.100	5.633.920
Azul/Militar	16.575.060	4.846.670	21.421.730
Chanco/Minas	9.781.700	2.853.410	12.635.110
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	30.870.580	8.960.180	39.830.760

Los costos relacionados arriba serán usados otra vez en la Tabla 9.2 para indicar sus índices económicos individuales. Sin embargo, como se verá posteriormente, la desviación de los tributarios resulta especialmente atractiva.

### 8.3.3 Costos de Excavación Convencional de Túneles

La excavación convencional del túnel de carga y del túnel de fuga se discutirá mas en detalle en los párrafos siguientes; sin embargo se estima que este tipo de operación resultará mas costosa que la excavación con máquinas excavadoras (moles). Este costo adicional se ha calculado como sigue:

<u>Túnel de Carga</u>	<u>Costo de Construcción en US\$ Equivalentes</u>
Metodo Convencional	35.669.000
Maquina Excavadora	(29.394.000)
<u>Túnel de Fuga</u>	
Método Convencional	9.034.000
Máquina Excavadora	(5.892.000)
	<hr/>
Costo Adicional	9.417.000

Costo de Construcción  
en US\$ Equivalentes

Viene (Costo Adicional)	9.417.000
Costo total del Proyecto sin los intereses durante la Construcción, con métodos convencionales	251.753.000
Indice del Costo de Energía (Ver la Tabla 9.1 para energía y para las notas Tabla 9.2)	28.1 Mills/kWh

Utilizando índices de energía, puede determinarse que la excavación convencional de túnel tiene un costo efectivo de energía que se estima en un 6% más alto que el correspondiente al uso de la máquina excavadora (mole).

#### 8.3.4 Costo de Equipo de Transmisión/ Subestación

Durante el estudio inicial, pudo determinarse que el costo mínimo del equipo de transmisión habría correspondido al simple empalme en las líneas de 230 kV del Sistema Interconectado. Los estudios de CVC requirieron posteriormente la adición de la subestación de Vijes.

No se elaboró un esquema definitivo para esta interconexión de costo mínimo. Ni tampoco el costo para solamente una capacidad de 270 MW en la línea primaria de Transmisión. Sin embargo, con base en los estudios hechos para una capacidad de 340 MW, es posible estimar los requerimientos de transmisión del proyecto en cerca de US\$ 140,000 por kilómetro (Ver la Sección 4 para el estudio sobre costo y capacidad del equipo de transmisión). En los estimativos de costos se ha asumido que la mitad de los costos directos básicos de los LOTES 7 y 8 corresponden a los contratos de suministro del LOTE 6 y el resto a los contratos de construcción. Sobre esta base, si se asume temporalmente que se elimina la subestación de Vijes y que se sustituye por una línea de 270 MW de capacidad, el costo total de construcción se reduciría en US\$ 13.0 millones. No obstante habría que incurrir en algunos costos

por razón del empalme; y podría estimarse que la diferencia de costos que representan estas obras adicionales de transmisión sería de aproximadamente unos US\$ 11.5 millones, sin incluir los intereses durante la construcción.

#### 8.3.5 Equipo Electro-Mecánico Principal

Los estimativos de costo para los principales componentes del equipo electro mecánico se prepararon utilizando cotizaciones presentadas por los fabricantes. En la mayoría de los casos, en el costo de los LOTES aparece incluido un recargo del 25% del costo de los equipos para cubrir los costos de instalación. En los otros casos, particularmente para los equipos menores, se ha hecho una provisión menor, basada en la experiencia. En los sistemas mecánicos menores, tales como drenaje, instalaciones sanitarias y ventilación, en la casa de máquinas, tanto el suministro como la instalación aparece incluidos en los LOTES de Construcción.

Los estimativos de costo para equipos-- y para la construcción del proyecto en general-- no incluyen partidas para impuesto a las ventas, etc. Según las últimas disposiciones, CVC esta relevada de estas obligaciones.

#### 8.3.6 Construcción de Túneles

Los estimativos de costos se elaboraron con base en hojas de cálculo semejantes a las que aparecen en la Figura 4.3.- Se han analizado individualmente el esquema de perforación y patrón de voladura en cada portal, los explosivos, materiales y suministros, etc.

Los sistemas de soporte y los requerimientos de revestimiento de concreto y concreto lanzado, en túneles parcialmente no revestidos, fueron establecidos tomando como guía las investigaciones geológicas descritas en la Sección 6. Las alternativas con túneles revestidos en concreto fueron examinadas en el Volumen 2.

#### 8.4 FLUJO DE CAJA

La Tabla 8.5 presenta un estimativo del flujo de caja del proyecto durante su construcción. Los componentes en moneda local y en moneda extranjera indicados, corresponden al programa de implementación que se muestra en la Figura 8.2. Los intereses durante la construcción no fueron tomados en cuenta en la elaboración de la Tabla 8.5

La contingencia de precios fué calculada con base en las tasas anuales de inflación y devaluación monetaria dadas en la Tabla 8.1

SECCION 8 - LISTA DE TABLAS

- 8.1 Factores Proyectados de Inflación (%) y Ratas de Cambio (Col \$/US \$).
- 8.2 Proyecto Hidroeléctrico Calima III - Resumen del Estimativo de Costos del Proyecto (Febrero 1982, US \$ = Col \$ 60.00).
- 8.3 Proyecto Hidroeléctrico Calima III - Estimativo de Costo de Construcción (Febrero 1982).
- 8.4 Proyecto Hidroeléctrico Calima III - Resumen del Costo Directo de Construcción para CVC. (Febrero 1982, 1 US \$ = Col \$ 60.00).
- 8.5 Proyecto Hidroeléctrico Calima III - Estimativo de Inversiones del Proyecto (en millones US dólares equivalentes - 1 US \$ = Col \$ 60.00).

FACTORES PROYECTADOS DE INFLACION (%)  
Y RATAS DE CAMBIO (Co1 \$/US\$)

<u>Años</u>	<u>Rata de Inflación (%)</u> <sup>1/</sup>		<u>Ratas de Cambio</u>	
	<u>Extranjera</u>	<u>Local</u>	<u>Promedio Anual</u> <u>Co1 \$/US \$</u>	<u>Devaluación</u> <sup>2/</sup> <u>(%)</u>
1981	-4.6	27.0	54.80	-
1982	8.0	25.0	63.90	16.5
1983	8.0	23.0	73.50	15.0
1984	7.5	22.0	84.10	14.5
1985	7.5	20.0	95.10	13.0
1986	6.0	18.0	106.50	12.0
1987	6.0	18.0	119.30	12.0
1988	6.0	18.0	133.60	12.0
1989	6.0	18.0	149.60	12.0
1990	6.0	18.0	167.60	12.0

1/ Ratas Año Calendario

2/ Rata de Variación Promedio Anual

PROYECTO HIDROELECTRICO CALIMA III  
RESUMEN DE ESTIMATIVOS DE COSTOS DEL PROYECTO

FEBRERO 1982, 1 US \$ = Col \$ 60.00

(Costos expresados en millones de US dólares equivalentes)

<u>Lote</u>	<u>Descripción</u>	<u>Total</u>	<u>Inversión Total</u>	
			<u>Componente Extranjera</u>	<u>Componente Local</u>
1	Presa y accesorios	33.39331	11.88816	21.50515
2	Casa de máquinas	17.15631	6.10772	11.04859
3A	Túnel de carga principal	45.00028	16.01029	28.97999
3B	Desviación tributarios	29.93157	10.65577	19.27580
4	Elementos metálicos (Suministro)	8.59800	7.73820	0.85980
5	Equipo casa de máquinas (Suministro)	9.47700	8.52930	0.94770
6	Equipo eléctrico (Suministro)	24.86320	22.37688	2.48632
7	Línea de transmisión (Instalación)	6.78211	2.41446	4.36765
8	Patio de conexiones y subestación	4.64048	1.65203	2.98845
-	Vías	9.50000	2.37500	7.12500
-	Energía para construcción	<u>0.75000</u>	<u>0.37500</u>	<u>0.37500</u>
	Costo Directo Sub-total	190.09226	90.13281	99.95945
	Ingeniería y administración	25.87660	10.15127	16.21566
	Contingencia física	<u>26.36693</u>	<u>7.76298</u>	<u>18.11362</u>
	Costo Base Total	242.33579	108.04796	134.28873

Para contingencias de precios y desembolso de flujo de caja durante la construcción ver Tabla 8.5.

Nota: No se incluyen intereses durante la construcción.

PROYECTO HIDROELECTRICO CALIMA III  
COSTOS ESTIMADOS EN EL PLANEAMIENTO DE LA CONSTRUCCION

COSTOS INDIRECTOS DE CONSTRUCCION AL CONTRATISTA

<u>Item</u>	<u>Descripción</u>	<u>Sub-Item Total (\$)</u>	<u>Item Total (\$)</u>
1.	FACILIDADES DE CONSTRUCCION TEMPORALES		
.1	Vías	700.000	
.2	Construcción edificio de oficinas, bodegas, almacenes.	474.000	
.3	Facilidades temporales de energía y luz	370.000	
.4	Líneas temporales de aire y agua	100.000	
.5	Mantenimiento	<u>336.000</u>	
	Total-Item 1		1,980.000
2.	EQUIPO DE CONSTRUCCION (Incluido en costo directo)	-	-
3.	PLANTA ESPECIFICA		3,758.000
4.	CAMPAMENTO Y COMISARIATO		
.1	Edificios	2,220.000	
.2	Operación de campamento incluyendo servicio de comida.	<u>2,593.000</u>	
	Total-Item 4		4,813.000
5.	SUPERINTENDENCIA		
.1	Supervisión, salarios indirectos y beneficios	10,808.000	
.2	Gastos generales misceláneos	<u>7,694.000</u>	
	Total Total-Item 5		18,502.000
6.	SEGUROS		
.1	Compensación de trabajadores (Incluido en costo directo). Fianza (Prima e intereses).	1,945.000	
.2	Otros Seguros	<u>1,250.000</u>	
	Total-Item 6		3,195.000
7.	MOVILIZACION SITIO DE TRABAJO (Incluido en gastos generales).	-	-
	Costos indirectos totales de construcción al contratista		<u>32,248.000</u>
8.	HONORARIOS CONTRATISTA Y CONTINGENCIA		<u>15,211.700</u>
	Costo indirecto total a CVC		47,459.700

**PROYECTO HIDROELECTRICO CALIMA III**  
**RESUMEN DE ESTIMATIVOS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION PARA CVC \***  
**FEBRERO 1982, 1 US \$ = Col. \$ 60.00**  
 (Todos los costos expresados en US dólares equivalentes)

LOTE	Descripción	Costos Contratista		Costo Directo a CVC
		Directo	Indirecto	
1	Presa Río Bravo	21,817.090	11,576.220	33,393.310
2	Casa de Máquinas	11,208.850	5,947.460	17,156.310
3A	Túnel de Carga	29,400.420	15,599.860	45,000.280
3B	Desviación Tributarios	19,555.450	10,376.120	29,931.570
4	Elementos Metálicos	(Contrato de Suministro)		8,598.000
5	Equipo Mecánico	(Contrato de Suministro)		9,477.000
6	Equipo Eléctrico	(Contrato de Suministro)		24,863.200
7	Línea de Transmisión	4,431.000	2,351.110	6,782.110
8	Patio de Conexiones y Subestación.	3,031.800	1,608.680	4,640.480
-	Vías de Acceso	(Contrato Especial)		9,500.000
-	Energía para Construcción	(Contrato Especial)		750.000
	Subtotales	89,444.610	47,459.450	190,092.260

\* Resumen de Estimativos por LOTE, usados en la preparación de la Tabla 8.2



SECCION 8 - LISTA DE FIGURAS

- 8.1 Diagrama de Flujo del Estimativo de Costos
- 8.2 Programa de Actividades - Diseño - Licitación -  
Construcción (Hojas 1 de 2 y 2 de 2)
- 8.3 Secciones Transversales Típicas para Perforación  
de Túneles con Topo.

SECCION 9 - EVALUACIONES DE POTENCIA Y ENERGIA

TABLA DE CONTENIDOS

- 9.1 Evaluación de Disponibilidades de Energía
  - 9.1.1 Procedimiento Analítico
  - 9.1.2 Código para Designar las Configuraciones
  - 9.1.3 Base de Referencia
  - 9.1.4 Evaluación de Energía
- 9.2 Indicadores Económicos
- 9.3 Contribución del Sistema
- 9.4 Aspectos Adicionales

Tablas

Figuras

## SECCION 9

### EVALUACIONES DE POTENCIA Y ENERGIA

#### 9.1 EVALUACION DE DISPONIBILIDADES DE ENERGIA

##### 9.1.1 Procedimiento Analítico

Los análisis de energía mencionados en este informe se limitan a la operación de una red aislada de plantas de generación hidroeléctrica, sin tomar en cuenta el potencial de ventas de la energía. Los estudios se dividieron en dos fases:

- Evaluaciones iniciales, que se concentraron en configuraciones alternativas de desarrollo dentro del Calima Medio.
- Evaluaciones finales, que se concentraron en el proyecto recomendado.

Durante la fase inicial, se llevaron a cabo estudios de operación del proyecto Calima III utilizando el programa de computador "Reservoir System Analysis for Conservation", del U.S. Corps of Engineers, comunmente llamado HEC-3. Posteriormente se encontró mejor desarrollar un programa más de acuerdo con la disponibilidad comercial de los equipos locales de computador \*. Cabe anotar que durante el curso del estudio este modelo se ensanchó para poder simular el sistema CVC- CHIDRAL, por si llegara a requerirse.

Los proyectos del Calima tomados en conjunto representan una cascada de estaciones de generación hidroeléctrica con un embalse de almacenamiento principal que es Madroñal. Considerando el esquema actual podría decirse que el Calima I regula casi totalmente los caudales del Alto Calima, y que la adición de los proyectos de aguas abajo modificaría el carácter de la energía generada aumentando la proporción de energía secundaria. Individualmente, los proyectos -

---

\* Los términos de referencia de este estudio no incluyeron el suministro de un modelo de Computador ya que se asumía que ISA-CVC lo tendrían disponible. Sin embargo, el modelo hidráulico de ISA-CVC para proyectos en cascada no alcanzó a entrar en operación durante el curso de estos estudios.

de aguas abajo son proyectos de filo de agua y derivan un gran porcentaje de su energía primaria de la operación de Calima I. En estos estudios se ha tomado como energía primaria aquella parte de la energía que se considera disponible 100% del tiempo. El total de la energía primaria más la energía secundaria generada por el proyecto (s) se ha definido como energía media anual.

Como los proyectos se configuraron aisladamente, hubo necesidad de definir los criterios de objetivo para medir su efectividad. Primeramente, los estudios de operación del embalse tuvieron como base los caudales medios mensuales de 35 años, desarrollados como se indicó en la Sección 5. Segundo, se permitió que los niveles del embalse de Madroñal bajaran hasta la cota 1380 m, su nivel mínimo de operación, una vez, pero no más de dos veces, durante el período de 35 años considerado. Los análisis se limitaron al promedio mensual, empleando métodos determinísticos. En esta forma, se identificaron tres valores de energía para medir la efectividad de una configuración:

- Energía media anual - Que comprende las dos componentes, primaria y secundaria, de energía.
- Energía mínima anual - La disponibilidad de energía primaria que podría contratarse en un 100% sobre una base anual.
- Energía mensual mínima - La energía primaria que estaría disponible un 100% del tiempo, todos los meses del año.

El programa de computador utilizado separa las pérdidas hidráulicas en dos categorías, una que corresponde a la operación media mensual, o factor de planta; y otra que corresponde a la capacidad de picos. Como el estudio se llevó a cabo sobre una base mensual, este último programa sólo permite conocer la capacidad de picos disponibles en el sistema a fin de mes. (En otras palabras, las pérdidas y la capacidad son en este caso valores instantáneos). En el volumen 2 se presentan los listados de computador para algunos análisis preseleccionados.

#### 9.1.2 Código para Designar las Configuraciones

Fueron muchas las configuraciones analizadas, incluyendo transvases desde el río Cauca. Sin embargo, este informe se limitará únicamente a la operación in-

tegrada de Calima I y Calima III. Calima I se analizó independientemente pero como Calima III tiene que operar en conjunto con Calima I, también serán presentadas las energías de la operación combinada. Para cada configuración se suministrarían los incrementos residuales para reflejar la contribución de Calima III.

Para evitar confusiones con la información incluida en el Volumen 3, referente a las alternativas de Calima Medio, se ha utilizado el prefijo C, en todos los casos a excepción del Calima I operado independientemente. A continuación se presenta la descripción de las configuraciones (Ver Plano 301) :

- Caso C1 - Un aprovechamiento del cauce principal sin inclusión de tributarios.
- Caso C2 - Un aprovechamiento del cauce principal, pero incluyendo la desviación de La Cristalina.
- Caso C3 - Un aprovechamiento del cauce principal, pero incluyendo las desviaciones de La Cristalina y Azul/Militar.
- Caso C4 - El aprovechamiento total incluyendo las desviaciones de La Cristalina, Azul/Militar y Chanco/Minas.

### 9.1.3 Base de Referencia

A continuación se presentan como base de referencia los valores básicos de energía para Calima I operando independientemente :

● Capacidad existente	<u>GWh</u>	<u>MW (Energia)</u>
Energía promedio anual	207.6	23.7
Energía anual mínima	191.0	21.8
Mínimo mensual	15.9	21.8
● Capacidad con la solera revestida		
Energía promedio anual	212.3	24.4
Mínimo anual y mínimo mensual, iguales al anterior		

Como el revestimiento con concreto de la solera del túnel de fuga resulta económicamente atractivo, esta condición se ha incluido en todas las evaluaciones de potencia y energía de este estudio. Su efecto es incrementar nominalmente el potencial combinado; sin embargo, el incremento de energía debido a la contribución de Calima III es el mismo en todos los casos.

Respecto a energía, Calima I esta siendo operado actualmente cerca de su capacidad nominal, es decir 120 MW. Cuando se ejecute el revestimiento de la solera, su capacidad aumentará a 141 MW. Este valor se tomó como valor de referencia para disponibilidad de capacidad de picos.

Es importante poner de presente que, hasta la fecha, Calima I ha sido operado hasta un nivel mínimo, en Madroñal, de 1386.1 m. El efecto de este nivel más alto, en contraposición a 1380, durante un periodo crítico, es el de un aumento en la contribución de energía promedio anual. Madroñal, siendo el único proyecto de almacenamiento en el sistema CVC- CHIDRAL, ha sido operado con sensatez. Operado en forma independiente como consideración hipotética una baja sustancial en el embalse tomaría varios años en reponerse. En combinación con el Alto Anchicayá la recuperación es acelerada. Dentro del Sistema Interconectado la operación del embalse vendría a ser bastante diferente.

#### 9.1.4 Evaluación de Energía

La Tabla 9.1 muestra el contenido de energía para cada uno de los casos indicados arriba. El Plano 301 muestra configuraciones semejantes, con la diferencia de que el agua de remanso y las pérdidas hidráulicas para las condiciones indicadas en el Plano 301 son distintas a las del proyecto recomendado (En el Volumen 2 aparecen los listados de computador para los casos C1 y C4). La tabla siguiente relaciona el incremento de energía media anual con que contribuye cada uno de los tributarios.

<u>Tributario</u>	<u>Energía Media Anual, GWh</u>
Cristalina	43.5
Azul/Militar	191.6
Chanco/Minas	97.1

La Figura 9.1 presenta la curva de duración de energía anual para el Caso C4. Estos gráficos muestran que el valor del incremento de energía sobre las condiciones del Calima I existente y correspondiente a una disponibilidad del 95% del tiempo, es de 970 GWh/año. Este valor es el que normalmente adopta ISA como energía mínima de un proyecto. Como lo indica la Tabla 9.1 existe una ganancia nominal de energía en la excavación de túneles utilizando máquinas excavadoras.

## 9.2 INDICADORES ECONOMICOS

Los costos dados en la Sección 8 muestran la inversión básica para construir el proyecto central y cada una de las desviaciones de los tributarios, con base en condiciones de construcción semejantes. La Tabla 9.2 presenta los índices de energía para esas mismas condiciones.

La Tabla 9.2 permite concluir que el proyecto es económicamente aceptable, cuando se evalúa comparativamente con el potencial de proyectos alternativos en otros sitios del país. La inclusión de tributarios se ha encontrado también excepcionalmente atractiva.

## 9.3 CONTRIBUCION DEL SISTEMA

La Sección 2 indica que durante los años 1987 y 1988, el sistema CVC-CHIDRAL tiene una reserva marginal de energía. Cuando entre en línea la primera unidad de Calima III en 1987 y cuando estén en operación todas sus unidades a finales del mismo año, Calima III habrá aumentado sus reservas de energía en cerca de 500 GWh en 1987, seguidos por el total de 1145 GWh durante 1988, asumiendo la condición hidrológica promedio. Lo anterior sería equivalente al crecimiento de energía de un año en el sistema CVC-CHIDRAL y proporciona seguridad adecuada contra la posible ocurrencia de un año hidrológico malo. Como lo muestra claramente la Figura 2.7, Calima III se requiere en el Sistema Interconectado durante 1987.

#### 9.4 ASPECTOS ADICIONALES

En la Tabla 9.1 puede verse fácilmente que la ganancia de energía mínima anual producida por el proyecto es bastante alta, y que varía entre el 85.2% de la media anual, sin los tributarios, y el 81.7% con ellos, A medida que la cuenca aguas abajo efectivamente regulada por Madroñal, crece, el componente de energía secundaria aumenta. Esto se ve aun más al comparar la energía mensual mínima de Calima I, que baja desde 15.9 GWh, sin Calima III, hasta 4.7 GWh con el proyecto central, y hasta 2.7 GWh con el esquema completo. En este momento, el sector eléctrico colombiano no ha establecido índices diferenciales para los componentes primario y secundario de energía.

Con respecto a factor de planta y factor de potencia, la capacidad nominal combinada de Calima es de 360 MW y la disponibilidad de picos combinada de Calima es de 416 MW. Así, el factor de planta combinado basado en capacidad nominal sería de 0.33 y 0.43 sin y con tributarios respectivamente. Sin embargo, con esta operación combinada, Calima III estaría operando a 0.39 y 0,55 respectivamente. Esto se resume en la Tabla siguiente:

<u>Caso</u>	<u>Segmento del Proyecto</u>	<u>Capacidad Instalada, MW</u>	<u>Energía Media Anual, GWh</u>	<u>Factor de Planta</u>
C1	Combinado	360	1.026.4	0.33
	Calima I	120	209.6	0.20
	Calima III	240	816.8	0.39
C4	Combinado	360	1.358.6	0.43
	Calima I	120	209.4	0.20
	Calima III	240	1.146.3	0.55

SECCION 9 - LISTA DE TABLAS

- 9.1 Capacidad de Energía del Proyecto
- 9.2 Indices de Costo de Energía del Proyecto  
Calima III (Febrero 1982).

DISPONIBILIDAD DE ENERGIA DEL PROYECTO

CASO	Segmento de Proyecto	Energía en GWh			CONTRIBUCION TRIBUTARIOS		
		Mínima Mensual	Mínima Anual	Media Anual	Cristalina	Azul/Militar	Chanco/Minas
C1	Combinado	66.4	884.4	1026.4	-	-	-
	Calima I	4.7	154.2	209.6			
	Calima III	54.4	728.3	816.8			
	Aumento	50.0	693.4	814.1			
C2	Combinado	67.9	933.3	1069.9	x	-	-
	Calima I	2.6	144.5	209.4			
	Calima III	60.3	776.5	887.4			
	Aumento	52.0	742.3	857.6			
C3	Combinado	76.8	1078.5	1261.5	x	x	-
	Calima I	2.7	137.7	209.6			
	Calima III	66.1	907.2	1052.0			
	Aumento	60.9	887.5	1049.2			
C4	Combinado	80.1	1127.3	1358.6	x	x	x
	Calima I	2.6	118.6	209.4			
	Calima III	72.3	997.7	1149.2			
	Aumento	66.2	936.3	1146.3			
C1	Combinado	65.3	870.5	1010.4	-	-	-
	Calima I	4.7	154.2	209.6			
	Calima III	53.3	714.4	800.7			
	Aumento	49.4	679.5	798.1			
C4	Combinado	78.1	1106.8	1334.9	x	x	x
	Calima I	2.6	118.6	209.4			
	Calima III	70.8	977.4	1125.5			
	Aumento	62.2	915.8	1122.6			

Excavación con TBM  
↓  
Excavación Convencional

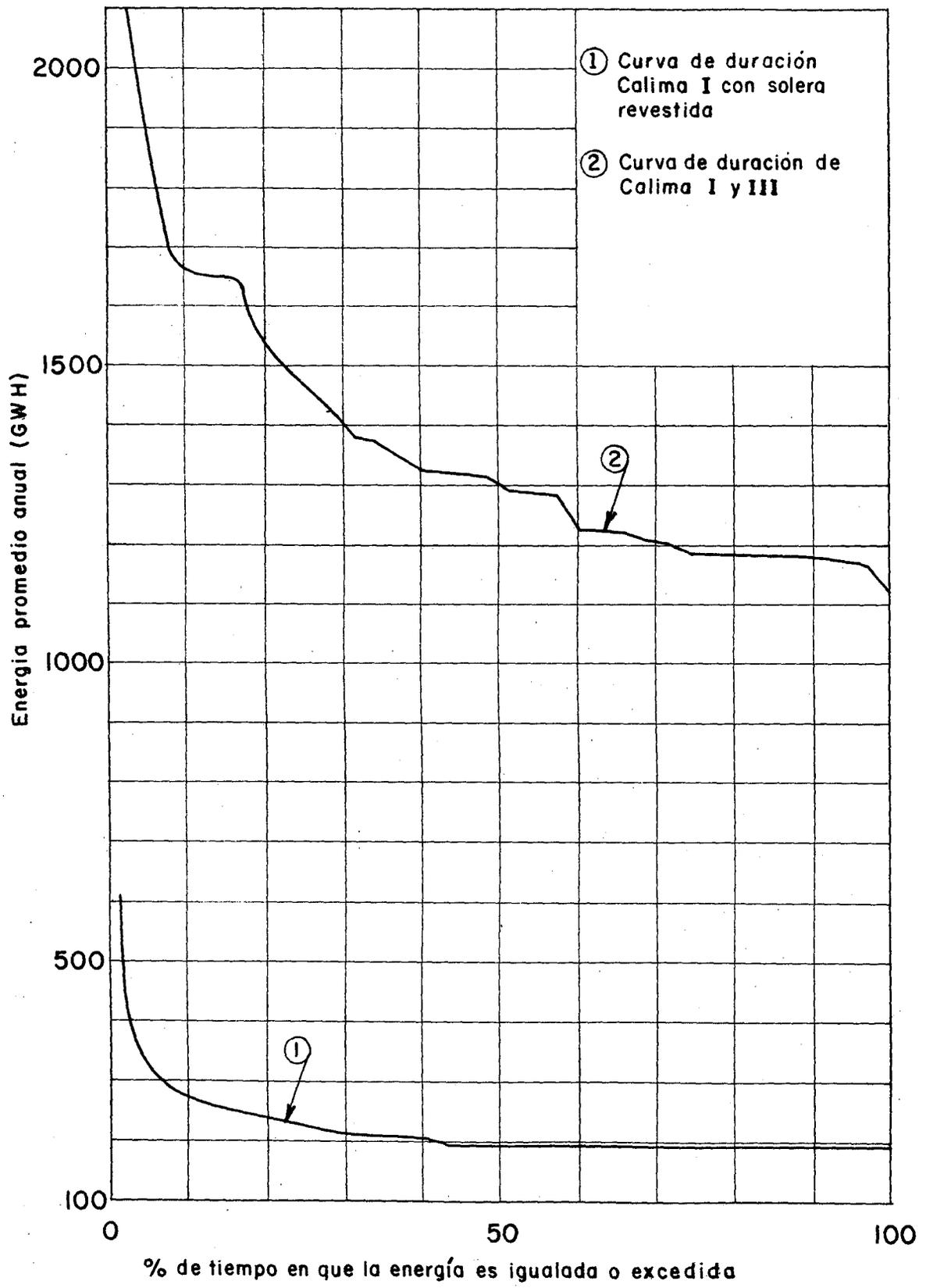
PROYECTO CALIMA III COSTOS DE INDICES DE ENERGIA  
(Febrero 1982)

Condición	Costo Estimado de Construcción (en US \$ equivalentes)	Energía Media GWh/año	Indice mills/kWh
Sin tributarios	203,612.000	814	31.3
Con tributarios	242,336.000	1145	26.5
Desviación Cristalina	5,633.920	43.5	16.2
Desviación Azul/Militar	21,421.730	191.8	14.0
Desviación Chanco/Minas	12,635.110	127.1	12.4

- NOTAS:
1. Los valores de índices están basados en un factor de descuento 12.5%
  2. Los costos no incluyen intereses durante la construcción y están basados en construcción con mole.
  3. Los costos incluyen la etapa inicial de la subestación Vijos, capacidad 440 MW, planta de transmisión 230 kV y doble circuito de transmisión 115 kV entre Vijos y Cerrito.

SECCION 9 - LISTA DE FIGURAS

9.1 Curvas de Duración de Energía Anual



**CURVAS DE DURACION DE ENERGIA ANUAL**  
*Annual Energy Duration Curves*

SECCION 10 - EVALUACION AMBIENTAL PRELIMINAR

TABLA DE CONTENIDOS

10.1	Introducción
10.2	Consideraciones Ambientales Complementarias
10.2.1	Generalidades
10.2.2	Area del Impacto Ambiental
10.2.3	Geología
10.2.4	Suelos
10.2.5	Flora
10.2.6	Fauna
10.3	Análisis Socio-Económico.
10.3.1	Población
10.3.2	Sanidad
10.3.3	Educación
10.3.4	Infraestructura
10.3.5	Economía Regional
10.3.6	Cultura
10.4	Contaminación Ambiental
10.5	Conclusiones y Recomendaciones

## SECCION 10

### EVALUACION AMBIENTAL PRELIMINAR

#### 10.1 INTRODUCCION

Tanto CVC como IECO estuvieron de acuerdo en incluir en el presente estudio de factibilidad una evaluación preliminar del posible impacto ambiental asociado con el Proyecto Calima III. El Gobierno de Colombia tiene disposiciones vigentes que requieren que en todos los proyectos de desarrollo se haga una formulación sobre impacto ambiental. Disposiciones similares son actualmente requisito de la mayoría de las entidades financieras internacionales.

La evaluación aquí incluida no ha dado la debida consideración a la existencia de un posible esquema de desviación intervasal para transportar agua del Rio Cauca al rio Calima; ni tampoco evalúa el futuro Proyecto del rio San-Juan. Sin embargo, ninguno de estos proyectos puede ser ignorado. La circunstancia de que ambos proyectos estén siendo considerados para una posible implementación futura justifica el establecimiento de un programa previo de estudio en relación con los cambios en la calidad y cantidad de agua y la evaluación de los impactos asociados.

Esta Sección del informe es un resumen del Informe Especial elaborado por el Dr. Guillermo Valencia-Montoya quien, actuando como consultor independiente, elaboró una evaluación ambiental preliminar durante los meses de Enero y Febrero de 1982. Este Informe Especial, que se presenta como un anexo del Volumen 2. se basó en estudios previos e información suministrada por CVC

#### 10.2 CONSIDERACIONES AMBIENTALES COMPLEMENTARIAS

##### 10.2.1 Generalidades

Los párrafos que siguen a continuación son esencialmente un resumen de alguna información pertinente no incluida en las secciones anteriores de este informe.

### 10.2.2 Area del Impacto Ambiental

Se ha considerado que las áreas combinadas del Calima Medio y del Calima Bajo constituyen el área de influencia principal del Proyecto Calima III. La cuenca del Alto Calima representa un área de influencia secundaria.

Las cuencas del Calima Medio y Calima Bajo están sin desarrollar y esencialmente deshabitadas. El terreno es altamente abrupto, los suelos poco favorables a la agricultura y el clima extremadamente húmedo. La cuenca del Calima Alto rodea el embalse del Calima I (Madroñal) y se está convirtiendo en un centro turístico. Esta área pertenece políticamente al municipio de Darien y sus pobladores tienen acceso a las escuelas, hospitales y demás servicios de dicho municipio.

### 10.2.3 Geología

La composición química de las principales unidades litológicas encontradas en esta área presentan un muy bajo contenido de nitrógeno y de óxido de fosforo y contenidos mas altos de aluminio, calcio, hierro, magnesio y óxidos silicos. La conductividad específica y la dureza del agua son mas bien bajas, comparadas con las normas internacionales, tanto en el rio Calima como en sus tributarios.

### 10.2.4 Suelos

Todos los suelos tanto del área de la presa como del área del embalse se clasifican como tipo VIII de acuerdo con las normas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que corresponden al sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Aunque estos suelos no tienen mucho valor para la agricultura sirven como tierras para bosques, para la preservación de la cuenca.

### 10.2.5 Flora

Las condiciones climáticas de la cuenca permiten clasificarla como super-hu-

meda, ya que la precipitación anual excede cuatro veces la precipitación necesaria para sostener su vegetación boscosa. Los bosques montañosos que se encuentran en la cuenca del río Calima tienen una característica fisiográfica especial derivada de las condiciones del clima y de su orografía.

Hay un pequeño estrato con árboles de 30 m de altura, después otro con árboles entre 20 y 25 m y finalmente otro estrato con árboles de entre 10 y 20 m de altura. A medida que la altitud se hace mayor la humedad aumenta y la temperatura disminuye. En tales condiciones, los suelos son aptos solamente para soportar bosques de pequeños diámetros cubiertos con musgos, helechos y epífitas. La madera de estos bosques no es adecuada para explotación comercial.

#### 10.2.6 Fauna

La fauna original de la región del Calima Medio está bien preservada ya que el hábitat se renueva por sí mismo. Respecto a la ictiofauna, debe mencionarse que en el tramo del río aguas abajo de Calima I y hasta el río Chanco no hay peces, debido probablemente a la gran pendiente del río y a las descargas de Calima I. Deberá hacerse un inventario de la población piscícola aguas abajo de Calima III, para evaluar el efecto de la nueva presa y sus descargas. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que las descargas de Calima III vendrán a re-regular las descargas picos extremas actualmente despachadas por Calima I.

### 10.3 ANALISIS SOCIO-ECONOMICO

#### 10.3.1 Población

De acuerdo al censo de población de los años 1951, 1964 y 1973 y a sus proyecciones para 1979 y 1980 la población de la municipalidad de Darién ha estado decreciendo continuamente, debido probablemente a la falta de oportunidades de empleo en esta área.

Hay solamente unas 25 familias, diseminadas en las partes Altas de los ce -

rros de Calima-Medio. Esta población consiste principalmente de indígenas que se dedican a actividades agrícolas.

#### 10.3.2 Sanidad

Los servicios asistenciales son proporcionados por el Centro Regional de Salud de Buga. Las estadísticas de morbo-mortalidad para esta área siguen un patrón similar a las del departamento del Valle que son probablemente las más bajas de Colombia. El principal problema sanitario está asociado a la deficiencia del acueducto y la falta de sistemas de tratamiento de las aguas negras.

#### 10.3.3 Educación

Hay 14 escuelas elementales en servicio, de las cuales 11 quedan situadas en las áreas rurales. Hay una escuela oficial de bachillerato, en Darién.

#### 10.3.4 Infraestructura

La periferia del Proyecto Calima III tiene acceso desde la carretera Cali-Buenaventura-Buga y desde la carretera Panorámica del margen oeste del río Cauca, todavía en construcción. La construcción del Proyecto y su operación van a necesitar de nuevas vías dentro del área del proyecto. El proyecto contempla además una línea de transmisión hasta el área de La Cristalina.

#### 10.3.5 Economía Regional

No hay actividades económicas de importancia asociadas con el área del proyecto propiamente dicho. Hay unos pocos asentamientos en el Alto Río Azul y en las áreas de río Bravo y La Cristalina, dedicados en su mayor parte a la agricultura y la ganadería. El área urbana de Darién es un centro mercantil importante de productos agrícolas y suministros varios. Las actividades turísticas asociadas con el Embalse de Madroñal y con las casas de recreo cercanas al lago representan una fuente importante de empleo para las áreas vecinas.

### 10.3.6 Cultura

La parte alta de la cuenca del río Calima, cerca de Restrepo, Bitaco y Yotoco estuvo antiguamente ocupada por la Tribu de los Calimas. Esta cultura es bien conocida por sus artesanías en oro y en cerámica. Hasta el momento no se conocen monumentos de importancia o desarrollos urbanos dejados por este grupo

### 10.4 CONTAMINACION AMBIENTAL

La mayor parte de los elementos del proyecto propuesto son subterráneos. Las fuentes de erosión están limitadas a los caminos de acceso. La presa propuesta será una estructura de concreto con condiciones estéticas definidas.

Hay solamente una cantidad limitada de tráfico vehicular en el Calima alto y no existen actividades industriales con equipos que puedan causar contaminación ambiental, aún la agricultura tiene una magnitud limitada. El municipio de Darién y la mayoría de las casas aisladas del área, descargan sus aguas negras en el río Calima y sus tributarios, sin tratamiento alguno. Solamente los desechos sólidos asociados con las actividades urbanas de Darién constituyen actualmente una fuente indebida de contaminación del agua. No se dispone de información sobre BOD<sub>5</sub> y COD en el embalse de Calima. Tampoco se conocen la concentración de nutrientes (Pand N)

Respecto a las fuentes de contaminación descritas previamente puede decirse que la población actual en el área es todavía muy pequeña y que tanto el embalse como los diferentes cursos de agua pueden asimilar sin problema la contaminación existente.

### 10.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una evaluación preliminar del impacto ambiental que pudiera derivarse de la construcción del proyecto de Calima III indica que no existen elementos actualmente identificables que puedan causar efectos perjudiciales de conside-

ración en el área de influencia. Al contrario, el proyecto propuesto tiende a mejorar las condiciones sociales y económicas regionales.

Los aspectos adversos de la construcción y sus efectos en el medio ambiente existente pueden controlarse y reducirse al mínimo. A continuación formulamos algunas recomendaciones con tal fin.

- El impacto visual debe mantenerse bajo, tal como se ha proyectado.
- Debe diseñarse e implementarse un programa para el recobramiento de las áreas de préstamo.
- El diseño de las vías debe incluir criterios adecuados para minimizar la contaminación del aire.
- La construcción de vías debe incluir un programa paralelo de control de erosión
- Debe implementarse un programa estricto de control de contaminación del agua.
- Deben tomarse medidas adecuadas para proteger cualquier hallazgo de culturas indígenas en el área del Calima- Medio/Bajo
- Deberán impartirse instrucciones especiales con relación al turismo en esta área, para lograr la preservación de la flora y fauna locales.

SECCION 11 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TABLA DE CONTENIDOS

- 11.1 Conclusiones
- 11.2 Recomendaciones

## SECCION 11

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 11.1 CONCLUSIONES

El proyecto Calima III recomendado se ha encontrado tanto técnica como económicamente factible. Las conclusiones pertinentes se resumen a continuación:

- Capacidad Del Proyecto

El proyecto tiene una capacidad nominal de 240 MW y una capacidad de picos de 276 MW. La energía media anual estimada es de 1145 GWh por año y la energía mínima anual probable es de 935 GWh por año (100% de disponibilidad de tiempo)

- Caracter Operacional

Calima III trabajará en combinación con Calima I y juntos tendrán un factor de planta de 0.43. Calima III en sí, será operado a un factor de planta de 0.55

- Desviación de Tributarios

En vía de analogía, Calima I desvía 3.2 m<sup>3</sup>/s de alto Bravo al embalse de Ma<sup>2</sup>droñal utilizando un túnel de desviación de 7.2 km. La caída útil de Calima I es de 215 m. Calima III desvía 8.8 m<sup>3</sup>/s al complejo de embalse/túnel, utilizando un sistema combinado de conducción de cerca de 12 km. La caída útil en Calima III es de 510 m. Por lo tanto se concluye que la desviación de tributarios es excepcionalmente económica (Ver Tabla 9.2).

- Costo del Aprovechamiento

El proyecto tiene un costo en US\$ 242.336.000 dólares equivalentes, estimado en Febrero de 1982, sin incluir escalación ni intereses durante la construcción. Estos costos incluyen la etapa inicial de la subestación de Vijos, la transmisión a 230 kV entre el patio de conexiones y Vijos (para 440 MW) y las líneas de transmisión adicionales de 115 kV, entre Vijos y Cerrito.

- Indices de Energía y de Capacidad

Con base en un factor de descuento del 12.5%, el proyecto tiene un índice de costo de energía de 26,5 mills/kWh. Este índice se compara favorablemente con otros proyectos alternativos. La Tabla 2.10 muestra la tendencia general para la construcción de proyectos alternativos basada en información de costos de 1979 y factor de descuento del 12%. Asumiendo una escalación anual de costos del 10%, tanto para el componente en divisas como para el componente local de estos proyectos, se deduce de dicha Tabla que 25.5 mills/kWh es una medida aceptable para efectuar una comparación económica.

El costo de capacidad se estima en cerca de US\$ 878 por kilowatio (pico). Esto es también bastante aceptable, considerando que el proyecto va a operar cerca del factor de carga del sistema.

- Necesidad del Proyecto

El proyecto ha quedado incorporado en el programa nacional de desarrollo y es requerido específicamente por el Sistema Nacional Interconectado para mediados de 1987- principios de 1988. Sin embargo, la producción de Calima III podría ser absorbida por el sistema CVC-CHIDRAL en caso de que las condiciones hidrológicas durante ese mismo periodo resultaran por debajo del promedio.

- Constructibilidad

La constructibilidad del proyecto fué examinada detenidamente y pudo concluirse que el proyecto podrá implementarse a un ritmo normal de construcción, a excepción de los caminos de acceso que necesitarán un esfuerzo especial.

## 11.2 RECOMENDACIONES

Para cumplir con la fecha de mediados de 1987 para la entrada en operación será necesario acelerar el diseño final del proyecto. Como se indicó en la Sección 8, el alcance de los trabajos de los contratos de construcción propues-

tos podrá re-estructurarse para lograr más flexibilidad en el programa de diseño, particularmente en la presa de río Bravo.

Las recomendaciones específicas siguientes se presentan por cuanto tienen relación con la subsiguiente implementación del proyecto .

● LOTE 1 (Presa de Rio Bravo)

Como el tiempo actualmente programado para la elaboración de los documentos de licitación es mas bien corto, será necesario coordinar cuidadosamente numerosas actividades durante el diseño final de este LOTE. Primeramente deberá ejecutarse una optimización de la división de flujo entre los vertederos auxiliar y de servicio; será pues necesario acometer las pruebas con modelo del vertedero de servicio bien al principio del periodo de diseño.

Igualmente será necesario adelantar, con prelación, investigaciones geológicas adicionales en el estribo izquierdo, ya que esta información es necesaria en el diseño final. Se considera conveniente también investigar variaciones en el diseño geométrico del arco-- esquemas con arco de tres centros-- para determinar posibles mejoras en la distribución de esfuerzos y reducción del volumen de concreto requerido.

LOTE 2 (Casa de Máquinas)

Debe llevarse a cabo un programa intensivo de exploración subterránea para tener una mejor comprensión de las condiciones de la roca en la Casa de Máquinas. Con respecto al LOTE 1, el diseño final de la Casa de Máquinas requiere un ritmo acelerado. Debera estudiarse la posibilidad de relocalizar la Casa de Máquinas totalmente en el margen derecha (Este) del río Chanco ya que esto reduciría los costos de la tubería de carga y proporcionaría una mayor cobertura en roca. Estas actividades y los beneficios resultantes estarían limitadas por el tiempo disponible para implementar un programa de exploración geológica apropiado antes de la apertura de la licitación.

La desviación de caudales residuales del río Chanco, arriba de la Casa de Máquinas, debería tomarse en cuenta, durante el período de diseño final como

posible fuente de energía para una planta auxiliar.

### LOTE 3 (Túneles)

El estudio mostró como conclusión que el empleo de máquinas excavadoras de túneles (moles) en la conducción principal, produciría economías en el costo del proyecto. El programa final de diseño deberá reunir suficiente información sobre las características de la roca para facilitar un diseño adecuado de la excavadora. Esta información deberá entregarse a todos los proponentes, junto con los pliegos de licitación.

### LOTE 5 (Equipo Mecánico)

Las turbinas, reguladores y válvulas de cierre comprendidas en este LOTE están en ruta crítica para implementación del proyecto. Por consiguiente la elaboración de los pliegos de condiciones para este LOTE debería recibir prelación. Es deseable sacar a licitación los generadores y excitatrices, y los puentes grúa al mismo tiempo, aunque en pliegos de licitación separados.

Es necesario terminar el diseño de las estructuras de toma para la desviación de varios tributarios. Sería muy conveniente instalar instrumentos para registro de precipitación y mediciones de caudal dentro de estas sub-cuencas. Aunque en el Plano 156 se incluye un diseño para la desviación del Mico, esta desviación no fue tomada en cuenta ni en los costos ni en su contribución de energía por no disponer de información específica. Análogamente, para la desviación de Minas, aunque su costo fué incluido en los estimativos del proyecto, su contribución específica de energía no se tuvo en cuenta; mejor dicho, la evaluación de energía para Chanco- Minas se llevó a cabo solamente con base en los estimativos de agua desviada del río Chanco.

Durante la etapa del diseño final será necesario resolver los interrogantes abiertos en relación con los requerimientos de la transmisión. Con respecto a los programas de diseño de Calima III, se dispone de tiempo suficiente para efectuar una completa evaluación de Calima IV y determinar los requeri -

mientos combinados de transmisión. Hay también tiempo adecuado disponible para seleccionar los requerimientos más adecuados para la subestación de Vijos.

BIBLIOGRAFIA

Hoja 1 de 4

Nº Ref

- 1 Estudio del Sector de Energía Eléctrica. Inventario de los Recursos Hidroeléctricos, Departamento Nacional de Planeación, 1979.
- 2 Report on the Calima II Project, CVC, Une 30, 1963.
- 3 Calima II Project, Basic Design Report, CVC Hydroelectric Department April 30, 1965.
- 4 Proyecto de Alto Anchicayá. Informe de Factibilidad. CVC-ACRES International Limited, 1968.
- 5 La Electrificación en Colombia Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, 1979-1980.
- 6 Proyecto Hidroeléctrico de Cañafisto, ISA-INTEGRAL, Noviembre 1979.
- 7 Proyecto Hidroeléctrico de Ituango, ISA-INTEGRAL, January 1982.
- 8 Proyecto de Salvajina, CVC-ACRES, February 1965.
- 9 Programa de Generación, ISA, April 1981.
- 10 Proyecto Hidroeléctrico del río San Juan. Estudio de Factibilidad Técnica. Apéndice C. Hidrología - INGETEC 1978.
- 11 Plan de Manejo del Recurso Agua en el Alto Cauca - CVC, June 1980.
- 12 Proyecto de Regulación del río Cauca. Informe Técnico INGETEC, INESCO Enero 1975.
- 13 Forest Environment in Tropical Life Zones a Pilot Study. Holdrige L.R. it al 1971, Pergamon Press.
- 14 World Meteorological Organization, Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Operational Hidrology Report Nº 1, WMO - Nº 332 1976.
- 15 CVC Corporación Autónoma Regional del Cauca, Proyecto del Alto Anchicayá, Informe Preliminar de Factibilidad, Cali - Colombia, October 1966.
- 16 Nunn, D.E. Probable Maximum Precipitation Estimates, rio San Juan Hydroelectric Project, Colombia - November 1977.
- 17 U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology 1972.



Nº Ref

- 18 U.S. Bureau of Reclamation, Design of Small, 1974.
- 19 Estudio Morfológico del río Cauca, Informe Técnico de Avance. CVC, Universidad del Valle, División de Ingeniería - Cali, Febrero 1980.
- 20 Albee, A. L. and J. L. Smith, 1967 - Geologic Criteria for Nuclear Power Plant Location, Soc. Mining Eng. Trans, V.239.
- 21 Barrero - Lozano, D. 1979, Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia, Publicaciones Geological Especiales de Ingeominas, Bogotá - Colombia.
- 22 Bonilla, M.G. 1967, Historic Surface Faulting in Continental United States and Adjacent Parts of Mexico, USGS Open-File Report; Also U.S. Automatic Energy Comm. Report TID-24124.
- 23 Bonilla, M.G. and J.M. Buchanan, 1970, Interim Report on World-Wide Historic Surface Faulting, USGS Open-File.
- 24 Campbell, K.W. 1981, Near Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration, TERA Corporation, Submitted to the Bull. Seismo. Soc. AM.
- 25 Cambefort, H., 1968, Inyecciones de Suelos, Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.
- 26 Case, J.E., S. Duran, L.G., Lopez. R. Alfonso, and W.R. Moore, 1971, Tectonic Investigations in Western Colombia and Eastern Panamá, Bull. Geol. Soc. Am, 82, 2685-2711.
- 27 Construcciones en Roca, 1965, Colegio de Ingenieros Civiles de Mexico.
- 28 Dewey, J.F., 1972, Plate Tectonics Scientific American, Vol 226, Nº5 PP 56-68.
- 29 Donovan, N.G. and A.E. Bornstein, 1978, Uncertainties in Seismic Risk Procedures, Jour, Geotech. Div, ASCE, V. 84, NºSM3.
- 30 Esteva, L.; and R. Villaverde, 1973, Seismic Risk, Design Spectra, and Structural Reliability, Proc. Fifth World Conf. Earthquake Eng, Rome.
- 31 Iida, K. 1965, Earthquake Magnitude, Earthquake Fault, and Source dimensions, Nagoya Univ., Jour. Earth Sci., V.13, Nº2, PP.115-132.
- 32 Ingeominas, 1976, Mapa Geológico de Colombia. Esc. 1:1.500.000.
- 33 Irving, E. 1971, Evolución Estructural de los Andes. Bol Geol Vol XIX Nº2, 90 p.



Nº Ref

- 34 ITEC 1979, Actualización de la Información Sísmica de Colombia. Private Publication ISA. 71 pp, 60 Fig. 7 Annex.
- 35 Joyner, W.B., D.M. Boore, and R.L. Procella, 1981, Peak Horizontal Acceleration and Velocity from String-Motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake, USGS Open-File Report 81-365.
- 36 Julivert. M, 1968 - de Porta. J., 1974, Lexique Stratigraphique Internationale, Amerique Latine, Vol.V. Fasciculos 4-a, 4-b Colombie. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- 37 Mark, R.K. and M.G. Bonilla, 1977, Regression Analysis of Earthquake Magnitude and Surface Fault Length Using the 1970 Data of Bonilla and Buchanan, USGS Open-File Report 77-614, p.8.
- 38 McGuire, R.K. 1978, Seismic Ground Motion Parameter Relations. Jour Geotech. Div., ASCE, Vol. 104, Nº G14, 481-490.
- 39 Mooney, H.M. 1977, Handbook of Engineering Geophysics, Bison Instruments, Inc., Minneapolis, Minnesota.
- 40 Nelson W.F., 1962, Contribución al Conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección Carretera Cali-Buenaventura. Bol. Gol. Vol X, Nº 1-3 pp. 81-108.
- 41 Nickell. F.A., 1954. Geological Report Calima Project. KTAM - OLAP Report.
- 42 Patwardhan, A., K.Sadigh, I.M. Idris, and R. Youngs, 1978, Attenuation of Strong Ground Motion - Effect of Site Conditions, Transmission Path Characteristics, and Focal Depths, Submitted to BSSA.
- 43 Pennington, W.D. 1979, the Subduction of the Eastern Panamá Basin and the Seismotectonics of Northwestern South America, Ph.D. thesis, University of Wisconsin-Madison.
- 44 Redapth., B.B., 1973, Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations. Technical Paper AD-768-710, N.T.I.S. Springfield. Virginia.
- 45 Rodriguez., G.I., 1981, Facies Prehnita - Pumpellita en Rocas de los Grupos Diabásico y Dagua en la parte central y sur de la Cordillera Occidental (Colombia). Geología Norandina Nº3, pp. 3-10, Bogotá.
- 46 Schwinn., N.L., 1969, Guidebook to the Geology of the Cali Area. Colombian Soc. Petroleum Geologics and Geophysics. Filed Trip Guide-book, Bogotá, pp. 29.

Nº Ref

- 47 Tocher, D. 1958, Earthquake Energy and Ground Breakage, Seismo. Soc. Am. Bull., V. 48.
- 48 Welch, R. 1973, Cartographic Quality of Earts-1 Images. Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite. Vol 1, Section B, pp. 879-886, New Corrolto, Maryland.
- 49 Woodward-Clyde Consultants, 1980, Preliminary Seismic Hazard Study for the Cañafisto Damsites, Cauca River Hydroelectric Project, Colombia.
- 50 Woodward-Clyde Consultants, 1981, Seismicity of the Ituango Region.
- 51 Zall L., Michael R., 1980. Space Remote Sensing Systems and their Application to Engineering Geology. Ass. Eng. Bull. Vol XVII, Nº 3, pp. 101-152.
- 52 "Hydraulics of River Channel Closure", Izbach and Khaldre, London Butterworths, 1970.
- 53 G.S. Sarkaria, 1979, "Economic Penstock Diameters. A 20-year Review" Water Power and Dam Construction, November, pg 70-72.
- 54 U.S. Corps of Engineers, "Hydraulic Design Criteria", Design Guides.
- 55 "Proyecto Ensanche Térmico", CVC-CHIDRAL, November 1981.
- NOT REFERENCE: HEC-2 "Water Surface Profiling", U.S. Corps of Engineer Computer Program. (Used in the determination of tailwater surface profiles at rio Bravo).

En resumen, con base en la evaluación de la información geológica de campo, puede escluirse que el sitio propuesto es adecuado para construir una presa de arco. Este sitio tiene las siguientes características :

- Un cañón estrecho en forma de U con una relación ancho-altura de 2.3:1 el cual proporciona una excelente proporción geométrica para un arco.
- Una fundación con suficiente capacidad de resistencia y propiedades geomecánicas satisfactorias para soportar una presa de arco.
- Un sitio compacto, que permite la utilización de túneles de desviación excepcionalmente cortos.

#### 6.3.1.2 Estribo Derecho:

Para definir la calidad de la roca y el contorno de roca meteorizada se efectuaron las perforaciones BH-4, BH-4A, BH-6 y BH-8 al estudio de este estribo se dió mayor énfasis, por ser relativamente estrecho.

La roca aflorante es diabasa. Las perforaciones BH-4 y BH-4A se iniciaron en roca fresca y a una profundidad de 5 a 7 metros se encontró roca meteorizada a lo largo de fracturas. De ahí en adelante la roca es dura, densa y competente con diaclasas de espaciamiento moderado y amplio. En la perforación BH-6 se encontró primero 3 metros de suelo residual arcilloso y luego 2 metros de roca meteorizada seguida por roca sana. En todas las perforaciones se encontraron superficies de fricción cerca de la superficie, lo cual sugiere que la roca estuvo sometida a movimientos o ajustes probablemente asociados con esfuerzos de descompresión. Cerca de los 25 metros - este fenómeno desaparece. Las pruebas de presión de agua realizadas en las perforaciones indicaron alta permeabilidad (10 unidades Lugeon) para la roca cerca de la superficie, pero abajo de los 15 metros las pérdidas de agua se reducen y la permeabilidad baja a un promedio de 3 unidades Lugeon.

De las perforaciones de este estribo se tomaron 4 muestras de roca para de - terminación de esfuerzos confinados, módulo de elasticidad (E) y relación de Poisson. Los resultados de estas pruebas de laboratorio indican que la roca

es muy buena, con valores de resistencia a la compresión inconfiada de entre 1120 y 1820 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad promedio de 267.000 k/cm<sup>2</sup>. Los ensayos de refracción sísmica practicados en esta zona mostraron velocidades sísmicas entre 4600 y 5600 m/seg.

Para correlacionar y facilitar la interpretación obtenida de las perforaciones, se excavó la galería de exploración G-4, ubicada en la cota 800 m. Este estribo derecho presenta características únicas: No se encontró una zona típica de meteorización y tiene una zona de roca descompresionada de aproximadamente 10 metros con fracturas abiertas con oxidación y relleno de arcilla a lo largo de sus planos.

En la galería apareció en el punto 13+00, una gran fractura abierta, con relleno de arcilla, rumbo N35°E buzando 10°NE. Esta fractura correlaciona muy bien con una de las fracturas importantes expresadas en superficie. Esta fracturación configura bloques de roca en forma de cuña controlados por un sistema regional de rumbo N70°W que buza 80°SW. Para evaluar la estabilidad de estas cuñas se analizó una de ellas, cerca de la superficie del estribo. La conclusión fué que ninguna de estas cuñas representa problemas de estabilidad. No obstante, todos los filos estrechos de roca, a lo largo de la fundación de la presa de arco deben ser tratados o removidos y reemplazados por concreto.

La roca de la fundación del estribo derecho es en general sana, y tiene adecuada capacidad portante para la estructura propuesta. (El área de la fundación requerirá de 3 a 5 metros de excavación para llegar hasta la roca sana). Las fracturas de la roca pueden ser efectivamente selladas con inyecciones de cemento. Como se mencionó anteriormente este estribo es relativamente estrecho y se ha anticipado un programa intensivo de inyecciones para reducir a un mínimo las filtraciones de agua y mejorar las condiciones de la roca. La cortina de inyección está diseñada para ligar la cortina de la presa con las inyecciones del túnel del vertedero (Ver Planos 115 y 116). Los estribos deberán someterse a un análisis de estabilidad de elementos finitos, durante el diseño final.

#### 6.3.1.3 Canal del Río:

Las perforaciones BH-1, BH-2, BH-3, BH-12 y BH-14 fueron realizadas en el canal del río para investigar la profundidad del aluvión y las condiciones de la roca subyacente. Las perforaciones BH-12 y BH-14 se localizaron a lo largo del eje de la presa de arco propuesta. La información obtenida de estas perforaciones muestra que el espesor del aluvión está entre 10 y 19 metros y que debajo de este aluvión se encuentra un manto de diabasa dura, moderadamente diaclasada y ligeramente meteorizada.

El perfil de la roca, bajo el aluvión, a lo largo del río indica que la superficie de la roca está más alta aguas arriba de la confluencia Calimá-Bravo y que se profundiza aguas abajo más adelante del eje de la presa. En la perforación BH-3, que está hacia aguas abajo, la roca aparece en la cota - 758 m; en el contacto con la zona de fundación la roca está en la cota 763 m. Las cotas de la roca en BH-12 y BH-14 son 767 y 765 m respectivamente; en BH-1 y BH-2 son 762 y 760 m.

Las perforaciones BH-1 y BH-2 mostraron dos fracturas, o diaclasas, abiertas y con meteorización a 32 y 40 metros de profundidad, respectivamente, cuyas proyecciones en superficie están localizadas en el centro del río. Estas fracturas fueron estudiadas en detalle para establecer su asociación con algún rasgo geológico que pudiera ocasionar problemas serios en la fundación. Aparentemente se trata de fracturas de poca importancia que se pueden interpretar como relacionadas con erosión y meteorización profunda en el centro del río a lo largo de planos de diaclasamiento.

#### 6.3.1.4 Estribo Izquierdo:

Un total de siete perforaciones se realizaron a lo largo de la margen izquierda del río: Tres, (BH-5, BH-5A y BH-15), localizadas exactamente en el estribo izquierdo y cuatro, (BH-7, BH-9, BH-11 y BH-13), ligeramente desplazadas hacia aguas abajo sobre el mismo estribo, para explorar otra alternativa de localización del eje de presa.

No se realizaron perforaciones a lo largo del eje actual de presa por haberse

efectuado un desplazamiento del eje anterior hacia aguas arriba, para evitar la necesidad de un bloque de empuje. Este bloque hubiera sido necesario por razón del espesor de la sobrecarga por encima de la Cota 840 m. Para la fase de diseño se han proyectado galerías de exploración y perforaciones adicionales a lo largo del eje de presa.

Las perforaciones BH-5 y BH-5A fueron localizadas en la cota 842 m, aproximadamente 30 metros aguas abajo y paralelamente a la línea de centro de la presa propuesta. Antes de llegar a una roca adecuada para fundación, se encontró una zona de roca meteorizada de 15 a 20 metros de espesor. Esta roca meteorizada consiste de diabasa foliada, sometida a meteorización profunda a lo largo de diaclasas y planos de foliación, con la subsiguiente descomposición y alteración, que ha producido materiales blandos y erodables. Las grietas abiertas y rellenas de arcilla son muy comunes en esta zona.

Las condiciones de la roca mejoran con la profundidad y se pasa por muchos estados de meteorización antes de encontrar roca adecuada para fundación. No obstante, para la fundación de una presa de arco habrá necesidad de remover toda la zona meteorizada, completamente, que en el área perforada alcanza un espesor de hasta 18 metros. La roca seleccionada para la fundación consiste de diabasa foliada, competente, densa y durable. La roca presenta estructuras planares o en capas que le dan características esquistosas. La fracturación es moderada a alta. Se han hecho pruebas de permeabilidad, de compresión y de capacidad portante. Las pruebas de presión de agua realizadas en las dos perforaciones dan una permeabilidad de más o menos 10 - unidades Lugeon, entre 18 y 26 metros de profundidad. La permeabilidad promedio en rocas inyectables es de 3.7 unidades Lugeon.

Varios de los núcleos tomados de las perforaciones BH-5, BH-5A y BH-15 fueron sometidos a pruebas de compresión. Los resultados indican que la roca tiene una resistencia entre 455 y 595 k/cm<sup>2</sup>, que se puede clasificar como moderada. El módulo elástico promedio es de 387.000 k/cm<sup>2</sup> y los registros de refracción sísmica indican velocidades entre 4.600 a 5.400 m/seg. Un análisis petrográfico de una muestra de esta roca revela que tiene un pequeño porcentaje de talco como mineral accesorio.

La galería de exploración G-1, localizada en la cota 790 m aproximadamente, se excavó 13 metros en dirección de aguas abajo y paralelamente al talud y luego en dirección normal al talud. La sección geológica entre los puntos 0+00 y 13+00 muestran que la roca a lo largo del talud está altamente descompresionada y presenta fracturas abiertas y zonas cizalladas. La roca es diabasa foliada. Los planos de fractura muestran oxidación y algo de arcilla. Del punto 13+00 al 18+00, la roca es de menor calidad y adecuada para fundación de la presa. Entre los puntos 18+00 y 26+00 m (fondo de la galería) la roca es también diabasa foliada, dura, competente y capaz de tomar los esfuerzos de la fundación. La profundidad estimada de la roca sana entre las cotas 770 y 800 metros es de 5 a 10 metros en dirección normal al talud.

Las perforaciones BH-7, BH-9, BH-11 y BH-13 se localizaron hacia aguas abajo sobre el estribo izquierdo. Esta área se investigó como una alternativa de presa aguas abajo, y se considera como un posible sitio para localizar las instalaciones de construcción (Ver Planos 203 y 205-2). El material de esta área, fué clasificado, con base en sus características físicas como un depósito coluvial. Sin embargo, geomorfológicamente parece ser un viejo deslizamiento que se ha estabilizado, asentado y meteorizado hasta alcanzar su estado actual. El área es estable y el reconocimiento de campo efectuado no acusó evidencias de movimientos activos. Sin embargo, en el futuro esta área deberá vigilarse contra posible filtraciones de agua del embalse a través del estribo izquierdo, que podrían inducir inestabilidad. Las instalaciones de construcción de esta área deben también planificarse con un drenaje adecuado para evitar problemas de erosión o estabilidad.

#### 6.3.1.5 Inyecciones:

Se ha considerado una cortina de inyecciones a lo largo del eje de la presa (Ver Planos 115 y 116). En la forma actualmente proyectada la cortina deberá ir al menos 50 metros más allá del contacto de la fundación a la elevación de la cresta sobre ambos estribos. Esta cortina de inyección tiene por objeto asegurar que la roca y el concreto de la presa actúen monolíticamente y reducir escapes a través de la fundación y alrededor de la presa, pozos y túneles (impermeabilización de la roca).

Las perforaciones de la cortina de inyección se han proyectado en una sola línea, con espaciamiento de 3 metros entre una perforación primaria y otra secundaria y a profundidades variables entre 20 y 50 metros. La profundidad del tratamiento de la fundación depende de las condiciones específicas de la roca local.

Las perforaciones para las inyecciones de contacto se han programado en dos filas de 5 metros de profundidad, espaciadas 3 metros. Los 5 metros superiores de las perforaciones primaria y secundaria de la cortina de inyección, pueden también ser usadas para las inyecciones de contacto.

Los estimativos preliminares, basados en los resultados de las pruebas de agua y en el recobramiento de núcleos de las perforaciones, indican que el programa de inyecciones propuesto incluye las cantidades siguientes:

- 340 huecos para inyecciones.
- 7475 metros lineales de perforación, con taladros de rotación o percusión.
- 16600 bultos de cemento.

La cantidad de cemento está calculada sobre la base de una posible absorción promedio de 2.2 bultos por metro lineal de perforación.

#### 6.3.1.6 Drenaje:

Se ha programado efectuar perforaciones de drenaje aguas abajo de la cortina de inyecciones. Estas perforaciones estarían ubicadas en una sola fila espaciadas a 12 m, y tienen por objeto vigilar las filtraciones o la elevación de presiones detrás de la cortina. Las perforaciones de drenaje serían de diámetro NX (75 mm) y de una longitud de unas dos terceras partes de la longitud de la cortina de inyecciones.

#### 6.3.1.7 Estructuras en el Sitio de Presa:

El túnel de toma de carga previsto en el diseño de factibilidad de la presa

de arco estará aproximadamente a 30 m aguas arriba del estribo izquierdo de la presa. La solera del túnel quedará en la cota 811.5 (Ver el Plano 126). El talud para acomodar esta estructura sale a la superficie entre las cotas 890 m y 900 m donde el estribo izquierdo se estrecha formando una nariz o lomo. Esto requiere taludes en corte de 80 a 90 m de altura para remover detritos y roca suelta altamente meteorizada. Los taludes de los cortes en esta área serán de 1:4 en roca y de 2:3 (horizontal a vertical) en material meteorizado. Debido a las características de las juntas de la roca es aconsejable proteger los taludes con malla de acero, pernos de anclaje y concreto lanzado.

No se prevén condiciones geológicas desfavorables que impidan la excavación del portal del túnel de carga ni de la estructura de la compuerta. Los dos túneles de desviación están ubicados en diabasa. El túnel de desviación del río Calima al río Bravo será el más difícil de excavar si se tiene en cuenta que las condiciones de la roca son inferiores por la proximidad al contacto diabasa-roca metamórfica. Se ha previsto que los dos túneles tengan revestimiento de concreto.

#### 6.4 TUNEL DE CARGA

El túnel de carga propuesto tendrá una longitud de 12.400 m incluyendo 1.400 m de túnel de fuga y 2.050 m de conducto de carga (Plano 208). En la forma actualmente proyectada, la tubería de carga incluye dos pozos verticales, uno de 327 m en la estación 8+900 y otro de 100 m en la estación 10+650. Tanto el conducto de carga como el túnel de fuga serán totalmente revestidos y estarán soportados con arcos de acero donde sea necesario. Varios tramos del conducto de carga tendrán blindaje de acero (Plano 128).

Al alineamiento del túnel se le hizo cartografía geológica. Algunos tramos, como el cruce de la Cristalina, la ubicación propuesta para la almenara y las áreas de los túneles de acceso, fueron examinados en mayor detalle. Los estudios de campo revelaron que la litología de la línea del túnel consiste de rocas diabásicas y metasedimentarias alternadas.

El mapeamiento geológico indica que 7920 metros del túnel serán excavados en diabasa y 4380 metros en metasedimentos. La diabasa incluye principalmente rocas meta-ígneas, rocas meta-volcánicas y flujos de lava. La diabasa se presenta masiva, muy fracturada en bloques con grietas y va a necesitar una cantidad moderada de soportes a lo largo de la longitud del túnel. Una buena parte de este requerimiento será satisfecho empleando pernos de anclaje y técnicas de concreto lanzado, particularmente en las secciones revestidas donde se necesita proveer soporte provisional antes de la colocación del concreto; por ejemplo, el conducto de carga, túnel de fuga, etc.

Los metasedimentos se componen de pizarras de estratificación fina, metalimolitas, metareniscas y filitas. Los metasedimentos tienen una dirección NE-SW y un buzamiento de entre 60° y casi vertical. Tanto la dirección como el buzamiento de los estratos son favorables a la actual dirección de la excavación del túnel. Un mayor porcentaje de longitud de túnel en esta litología requerirá tanto soportes permanentes como revestimiento de concreto. En los estimativos de costo se ha asumido que todos los tramos en metasedimentos serán revestidos en concreto y que tendrán arcos de acero en un 32% de la longitud. Para excavaciones con topo, este porcentaje se redujo al 25% (Ver Sección 8).

La información obtenida de la cartografía superficial, de la fotografía aérea, zonas de cizallamiento y fracturas a lo largo del túnel. Las condiciones geológicas utilizadas para evaluar algunas de las características geotécnicas y condiciones de la roca que va a encontrarse.

Se pudo identificar un total de 30 lineamientos asociados con fallas, zonas de cizallamiento y fracturas a lo largo del túnel. Las condiciones geológicas adversas que se podrían encontrar a lo largo de estas obras, especialmente aquellas asociadas con fallas importantes -- El Indio, río Azul y La Cristalina -- han sido minimizadas colocando el túnel de acceso o el portal de excavación cerca de estas fallas o bien simplemente evitándolas y usando cruces elevados alternativos. Cuatro de los alineamientos cartografiados parecen tener relación con zonas de contacto, y 22 con zonas de cizallamiento

y grupos de fracturas prominentes. La ubicación de estas fallas, fracturas y zonas de cizallamiento y su relación con los alineamientos del túnel se muestra en el Plano 208. Se ha asumido que todos los lineamientos se extienden hasta el nivel del túnel aunque algunas de estas fallas, fracturas y zonas de cizallamiento pueden estar selladas a este nivel y no presentar problemas durante la excavación.

Las investigaciones de campo indican que varias de las zonas de roca débil asociadas con lineamientos intersectan el alineamiento del túnel y requieren atención especial. La longitud de los tramos de túnel afectada por estas zonas de fracturación puede variar desde unos pocos metros hasta 100 metros (zonas de fallas principales). Los estimativos de excavación han asumido que la mayoría de estas zonas de fracturamiento tienen entre 10 y 20 metros de ancho, a excepción de las fallas principales donde se tomó un ancho de 100 metros.

El alineamiento del túnel fué corregido ligeramente para lograr que la excavación cruce en una dirección favorable la mayoría de las unidades litológicas, fallas y zonas importantes de cizallamiento. Los registros obtenidos durante la construcción del túnel Alto Bravo-Calima I indican condiciones geológicas y de roca similares a aquellas esperadas para Calima III; sin embargo, su alineamiento cruzó los lineamientos diagonalmente, a  $60^\circ$  más o menos, y los requerimientos de soportes y revestimiento en concreto fueron consecuentemente mayores.

No se esperan condiciones críticas por efecto de aguas subterráneas durante la excavación, lo cual es particularmente ventajoso en caso de que para el esquema de desviación Cauca-Calima se excave en el futuro un túnel paralelo. Una tasa de agua de infiltración de 1.5 lt/min es razonable para las diabasas. Las rocas metamórficas, serán probablemente secas ó ligeramente húmedas. Unas pocas zonas locales altamente fracturadas, probablemente producirán flujos altos inicialmente, durante un período de tiempo corto, hasta que sus niveles freáticos se estabilicen al nivel del túnel.

## 6.5 ALMENARA Y TUBERIA DE CARGA

Como no se contó oportunamente con la topografía del extremo de aguas abajo del túnel, fue difícil proceder rápidamente con la determinación de la localización exacta de la almenara. La perforación BHS-1 se encuentra localizada en las coordenadas seleccionadas; sin embargo, parece estar justamente en una zona de transición o de falla entre la diabasa y los metasedimentos. Los núcleos recuperados de la diabasa presente en este sitio han sido excelentes. Sin embargo, será necesario trasladar la almenara a una corta distancia aguas arriba de su localización actual para asegurar una construcción más económica del pozo. Se requerirá además, un túnel de acceso desde la superficie hasta la cámara vertical principal.

La parte correspondiente al conducto de carga del túnel será completamente revestida y las partes más alta y más baja tendrán blindaje de acero. Por lo tanto deberá ser posible emplear mecanismos de soporte temporal durante su construcción. El principal pozo vertical está localizado en metasedimentos, por lo cual sería ventajoso considerar la construcción de una galería de drenaje en el área de Minas para asegurar el alivio de cualquier presión hidrostática producida por filtración de los revestimientos del túnel/pozo. Esto, en combinación con agujeros de drenaje eliminaría la posibilidad de establecer inestabilidades localizadas en el filo de roca en donde está situado el pozo.

## 6.6 CASA DE MAQUINAS

El sitio de casa de máquinas subterráneas está localizado en la margen izquierda del río Chanco (Ver Plano 209). Geológicamente, ambas orillas del río son apropiadas para la construcción de una casa de máquinas subterránea. Sin embargo, el lado izquierdo fue escogido por su aparente menor desarrollo de meteorización y zonas de roca fracturada. Adicionalmente, la meteorización profunda de la margen derecha del río Chanco probablemente presentará algunas dificultades en la construcción de las estructuras auxiliares para la casa de máquinas. El mapeamiento geológico superficial sirvió para situar la casa de máquinas en las diabasas, en lugar de rocas metasedimentarias. El sitio seleccionado fue cartografiado detalladamente. Se ejecutaron tres ensayos de re-

fracción sísmica en dicho sitio, dos líneas paralelas a la pendiente y una perpendicular. Adicionalmente, otras tres líneas sísmicas fueron tomadas a lo largo de la margen derecha con el fin de investigar las áreas del conducto de carga y el distribuidor. La perforación BHS-1 localizada aproximadamente en el eje de la caverna propuesta para la casa de máquinas se llevó hasta 106 metros. Un nuevo hueco BHP-1A está siendo perforado en la actualidad a un ángulo de 60° en la misma ubicación del hueco BHP-1. Para la fase de diseño se han programado perforaciones adicionales y un pozo vertical, como continuación de las investigaciones de campo.

La casa de máquinas subterráneas estará situada en diabasa uniforme de alta calidad cuya textura varía de grano fino a medio. La roca presenta, en abundancia, venillas delgadas de cuarzo (1-5 mm) que no parecen afectar su calidad. Se observa también diaclasas, de espaciamiento variable entre 0.25 y 0.50 metros, exceptuando las zonas aisladas de fracturamiento o las zonas de cizallamiento en donde la roca está más densamente fracturada.

La mayoría de las diaclasas están ligeramente abiertas y oxidadas en superficie pero se vuelven más cerradas y limpias con la profundidad, presentándose comunmente material Cementante (cuarzo o epidota) sellando las puntas. Las diaclasas que aparecen en algunas zonas fracturadas o cizalladas, cerca y dentro del área de la casa de máquinas, muestran en superficie evidencias de esfuerzo de descompresión en la roca. Estas características han sido estudiadas, registradas y proyectadas a nivel del plano de la casa de máquinas. En el Plano 217 se presenta una interpretación tridimensional que muestra las características de la roca en profundidad.

Las exploraciones con refracción sísmica efectuadas en esta zona acusaron una sobrecarga variable de entre 1 y 3 metros, cerca del río Chanco, y de 15 metros, arriba, sobre la pendiente. La roca debajo de la sobrecarga registró velocidades sísmicas entre 4000 m/seg y 3400 m/seg.

El hueco BHD-1, que se perforó hasta una profundidad de 106 metros, mostró en toda su longitud un núcleo altamente a moderadamente fracturado.

La mayor parte de estas fracturas parecen deberse a acción mecánica asociada con defectos del equipo de perforación. Aunque siempre, existe la posibilidad de que el hueco hubiera sido perforado paralelamente y dentro de una zona altamente fracturada, muy cerca las zonas de fracturación observadas en superficie.

Aunque no se prevén mayores problemas de geología en la excavación de la caverna para casa de máquinas, la exploración durante el diseño final podría encontrar más ventajoso modificar su posición actual, mediante rotación y/o traslación, para obtener una localización más favorable con respecto a las condiciones de la roca. Se espera que los pernos de anclaje del techo, el concreto neumático y los drenes serán suficientes. Sin embargo, en los estimativos de costo se incluyó un arco de concreto como elemento de soporte.

#### 6.7 TUNEL DE FUGA

El túnel de fuga atraviesa diabasas y metasedimentos. Su alineamiento con relación a los lineamientos geológicos no es tan favorable como en el túnel de carga; consecuentemente, se espera un incremento en los soportes de roca. El empleo de mecanismos de soporte temporal durante la construcción, será probablemente suficiente. Este túnel estará totalmente revestido.

#### 6.8 DESVIACION LA CRISTALINA

##### 6.8.1 Condiciones Geológicas del Sitio de Presa y Túnel

Un mapa geológico del sitio se muestra en el Plano 210. Los afloramientos de metasedimentos a lo largo del estribo izquierdo, y un antiguo deslizamiento o terraza aluvial, han sido erosionados hasta la actual topografía plana que se extiende sobre el canal del río. Talus y otras coberturas de gran espesor cubren el estribo derecho.

La exploración sísmica preliminar a lo largo del eje propuesto para la presa mostró claramente un aluvión profundo o terraza, por debajo del canal del río. Tres perforaciones BHC-1, BHC-2 y BHC-4 confirmaron más adelante que estos depósitos del canal de La Cristalina tienen un rango de profundidad -

entre 8 y 19 m y que se extienden desde el estribo derecho hasta el izquierdo. La roca debajo de la sobrecarga del canal consiste de pizarras y limolitas ligeramente metamorfoseadas, moderadamente diaclasadas, duras y competentes. La estratificación o planos de foliación presentan buzamientos empinados (75° a 80°).

Con base en los datos suministrados por el mapeo de superficie, la exploración sísmica, las perforaciones y una trinchera, TC-1, excavada sobre el estribo izquierdo, el sitio se consideró de condiciones adversas para una estructura convencional de desviación. Por consiguiente, se recurrió a una estructura especial de desviación (Plano 142) para acomodarse a las condiciones de la cimentación.

El túnel de desviación, de aproximadamente 700 metros de longitud, para conducir las aguas de La Cristalina al túnel de carga principal se extenderá a lo largo de la margen izquierda de la misma quebrada. La roca base en ésta margen está constituido por metasedimentos altamente fracturados y profundamente meteorizados. La excavación para establecer el portal de entrada para el túnel de desviación será relativamente profunda. Un método de construcción que podría ayudar a disminuir los grandes cortes consiste en construir un portal de entrada en concreto y continuar con soportes de acero y revestimiento de concreto hasta encontrar la roca fresca. Para el estimativo preliminar de costos se asumió que el túnel sería completamente revestido en concreto y tendría soportes de acero en un porcentaje significativo de su longitud.

#### 6.8.2 Cruce de La Cristalina

En este sitio se ejecutaron dos perforaciones y tres líneas de refracción-sísmica para investigar las condiciones de fundación tanto del túnel de carga como de los apoyos del puente para la tubería de carga, y la calidad de la roca en los portales del túnel de carga.

La perforación BHC-5 señaló espesores de aluvión de 8.5 metros. Debajo de este aluvión hay pizarras moderadamente meteorizadas. En el sitio del puente

no se preveen problemas con la cimentación. El canal de la Cristalina será mejorado para dirigir el flujo de la quebrada por debajo del puente y se ha contemplado además obras de protección en las orillas y alrededor de los estribos del puente.

En el portal del túnel de carga propuesto aguas abajo, se espera encontrar mantos de sobrecarga de gran espesor. La perforación BHC-3 mostró 19 metros de roca meteorizada y material de derrumbe. Para minimizar los problemas de construcción podrá utilizarse un portal de concreto y métodos de excavación y cubierta. Probablemente se necesitará usar soportes con arcos de acero hasta llegar a la roca sana. En los estimativos de costos se ha asumido que esta sección será excavada a tajo abierto.

#### 6.9 DESVIACION AZUL/MILITAR

La desviación Azul/Militar a la presa de río Bravo comprende dos sitios para presa de desviación y un túnel, de aproximadamente 7.0 km de longitud. Se ha planeado desviar las aguas del río Azul a la quebrada Militar y de allí, conducir el caudal combinado al embalse de río Bravo.

Los sitios propuestos para la construcción de las estructuras de desviación en el río Azul y quebrada Militar fueron mapeados geológicamente. El sitio propuesto para la desviación del río Azul está localizado dentro de un valle estrecho en la Cota 865, con ambos estribos conformados por rocas metasedimentarias adecuadas. El cauce del río parece presentar un depósito de aluvión similar al de La Cristalina. Un sitio alternativo aproximadamente 100 metros aguas arriba del sitio inicialmente escogido, parece tener menos aluvión y deberá ser estudiado durante la fase de diseño.

El sitio de desviación propuesto en la quebrada Militar está localizado en diabasa de competencia en ambos estribos para la cimentación. Los depósitos de aluvión en el cauce de la quebrada Militar serán estudiados con mayor detalle durante la fase de diseño.

El diámetro del túnel de desviación será variable: 3.5 metros entre Azul y el Militar y 4.0 metros del Militar a río Bravo. Considerando la geología del área y el diámetro pequeño de los túneles no se prevén problemas geológicos que dificulten la construcción de estos túneles. La información de campo indica que el túnel será excavado a través de cuatro unidades alternadas de diabasa y metasedimentos. Las diabasas están conformadas principalmente por metadiabasas y rocas meta-volcánicas, pero tienden a ser masivas o en bloques. Los metasedimentos están compuestos por metaliditas, pizarras delgadas, metalimolitas y filitas. El rumbo de los metasedimentos es en dirección NE-SW y su buzamiento  $60^{\circ}$  -  $70^{\circ}$ , y hasta casi vertical. Una falla principal -La Cristalina- y 11 lineamientos asociados con la morfología de superficie fueron identificados a lo largo de los alineamientos propuestos para el túnel. Se asumió que todos los lineamientos se extienden hasta el nivel del túnel, aunque algunos podrían estar sellados a nivel del túnel y no presentar problemas especiales.

El contacto entre la diabasa del río Azul y los metasedimentos es casi paralelo al río Azul, como también lo es el tramo de túnel entre el río Azul y la quebrada Militar; es por lo tanto aconsejable estudiar un alineamiento del túnel con rumbo Noreste, en dirección al estribo y retirado del cañón del río. En dichos túneles no se espera encontrar condiciones críticas de infiltración. Para las diabasas se ha hecho un estimativo preliminar de 1.5 l/min/m que se considera razonable; los metasedimentos deberán encontrarse ligeramente húmedos o casi secos.

La excavación del túnel se hará partiendo del embalse de río Bravo hacia los sitios de desviación del Militar/Azul, con pendiente hacia arriba, para lograr condiciones favorables de drenaje del agua que se pueda presentar durante la excavación.

#### 6.10 DESVIACION CHANCO/MINAS

La desviación Chanco/Minas comprende dos estructuras de desviación en la cota 860 m y 3.6 kilómetros de túnel. La estructura de desviación del río Chanco está localizada en diabasa, moderadamente diaclasada, dura y competente. Para este sitio no se prevén mayores problemas geológicos.

La estructura de desviación de la quebrada Minas está localizada en metasedimentos. La roca base es de estratificación delgada.

El túnel de desviación Chanco/Minas está localizado paralelamente a estructuras geológicas tales como contactos litológicos y fallas (falla el Indio). Por consiguiente, deberá asumirse que una buena parte del túnel requerirá de soportes.

#### 6.11 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para identificar las fuentes de agregados para concreto se llevó a cabo un reconocimiento que cubrió un radio de 25 km desde la presa de río Bravo. (Ver Plano 164). Información adicional se obtuvo de las galerías de exploración en el sitio de presa de los depósitos aluviales, y del Informe Calima II. Los datos obtenidos se consideran suficientes para servir de guía preliminar respecto a la disponibilidad de materiales y sus características. Hasta ahora, sólo se ha ejecutado un número limitado de ensayos, pero se está adelantando un programa más amplio que seguirá en la etapa de diseño.

Las fuentes de agregados en el área son principalmente de dos tipos:

- Depósitos naturales de río.
- Agregados producidos de canteras.

Los depósitos naturales que se presentan dentro del cañón de Calima III y sus tributarios son bastante escasos. Se exploran algunas posibles áreas en La Cristalina y Río Bravo, pero su calidad no fué aceptable. Las únicas fuentes aceptables son las determinadas en el estudio de Calima II, que se encuentran principalmente en el área de Darién (Ver Plano 164). La fuente alterna de arenas y gravas más cercana está en el área de Buga-Mediacaño, y está siendo estudiada por CVC.

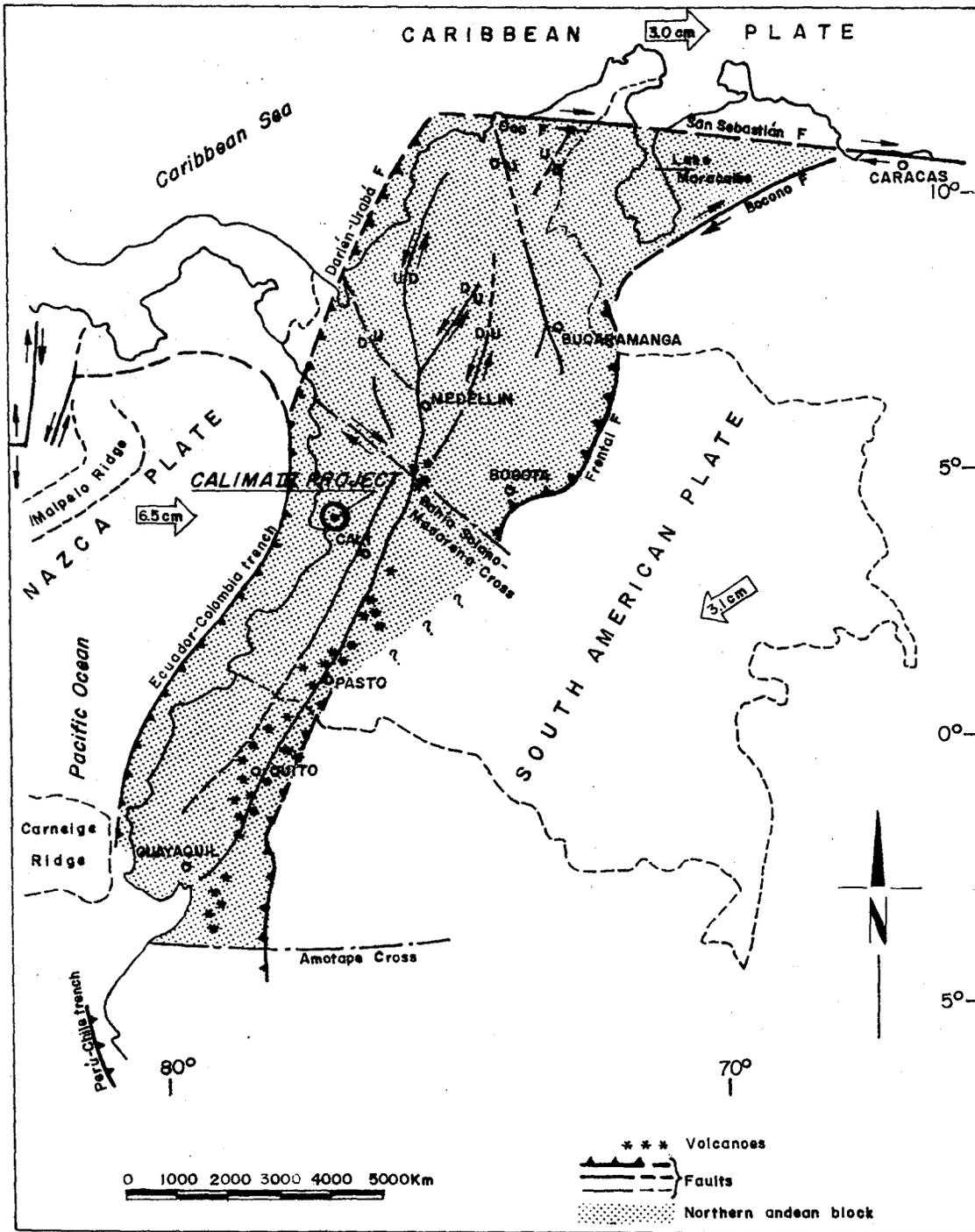
Las posibles canteras propuestas para producción de agregados fueron identificadas como sitios 6, 7, 8 y 9 y su localización se presenta en el Plano 164. Estas canteras fueron localizadas en diabasa, cuya calidad se considera

aceptable para agregados ya que es dura, durable, firme y densa. Hay, sin embargo, zonas dentro de las unidades de diabasa en las cuales la roca está foliada o laminada. Tales zonas producirán triturado de forma plana que es objetable como agregado para concreto.

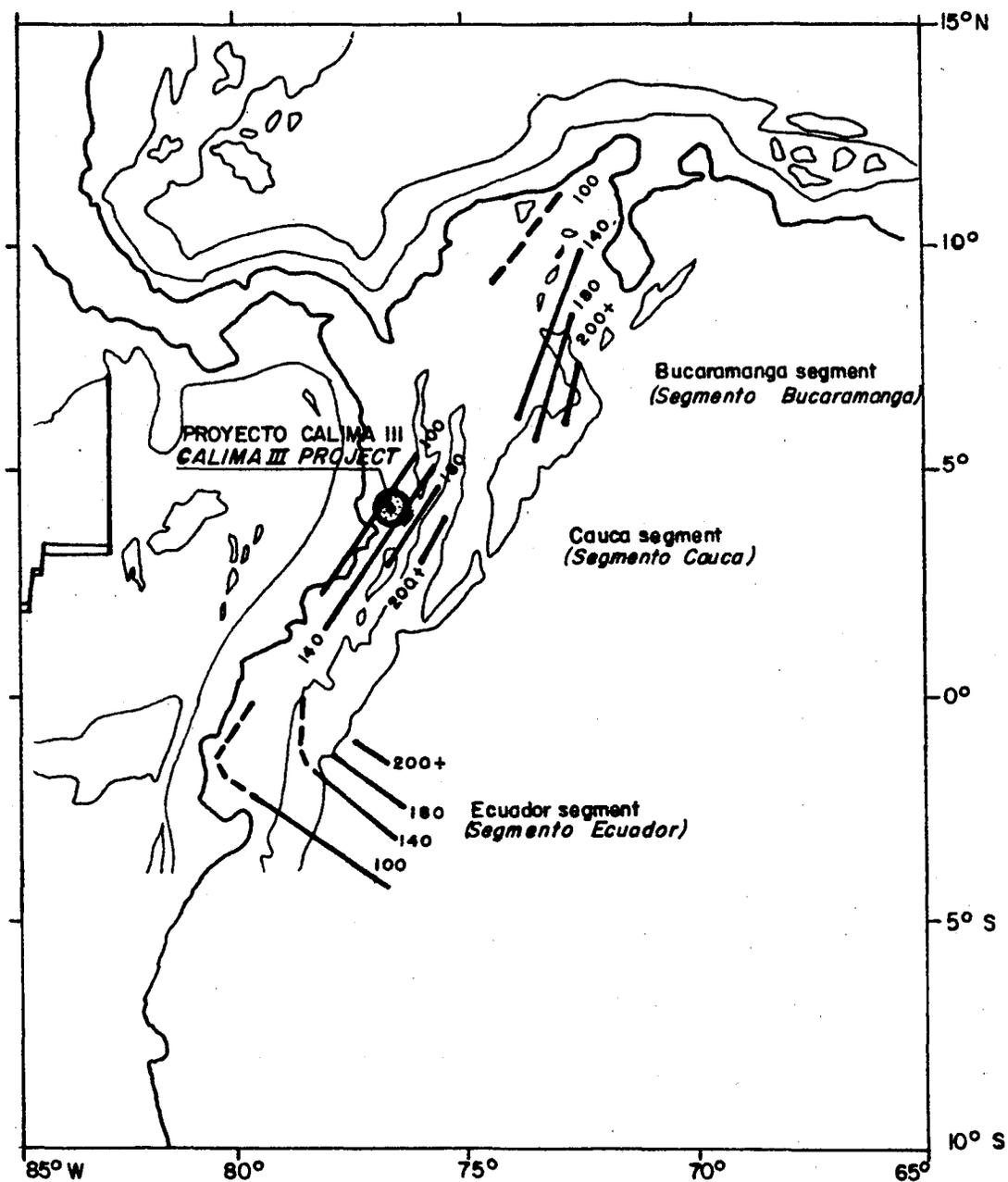
El sitio de cantera número 9 es el más cercano al sitio de presa (aproximadamente 1km) y allí fueron excavadas dos trincheras de exploración. En ambas trincheras se encontró diabasa foliada; actualmente se continúa excavando otras trincheras para localizar las diabasas masivas previstas en dicha área.

SECCION 6 - LISTA DE FIGURAS

- 6.1 Modelo Tectónico del Noroccidente de Colombia,  
(Woodward Clyde Consultants, 1980).
- 6.2 Contornos de las Zonas de Subducción debajo del  
Noroccidente de Sur-América (en km). Están Iden-  
tificados los tres Tramos de Placa Subducida  
(Pennington, 1979).



MODELO TECTONICO DEL NOROCCIDENTE DE COLOMBIA  
 (Woodward Clyde Consultants, 1980)  
 (Tectonic model of northwestern Colombia after  
 Woodward Clyde consultants, 1980)



CONTORNOS DE LAS ZONAS DE SUBDUCCION DEBAJO DEL NOROCCIDENTE DE SUR-AMERICA En Km. ESTAN IDENTIFICADOS LOS TRES TRAMOS DE PLACA SUBDUCIDA (Pennington, 1979)

(Contours to the subduction zones beneath northwestern south America labelled in Km.. The three segments of subducted plate identified. After pennington, 1979 )