

1958-6

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(T I M B A)

ABRIL 30, 1958

OLAP - G & H - TAMS

OLARTE, OSPINA, ARIAS
& PAYAN, LTDA.

GIBBS & HILL. INC. -

TIPPETTS-ABBETT-
McCARTHY-STRATTON

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL
DEL CAUCA

PROYECTO CIRO MOLINA GARCES

T I M B A

 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

ABRIL 30, 1958

OLAP - G & H - TAMS

OLARTE, OSPINA, ARIAS
& PAYAN, LTDA.

GIBBS & HILL, INC. -

TIPPETTS-ABBETT-
McCARTHY-STRATTON

PROYECTO DE TIMBA

INDICE

CARTA REMISORIA	Página
AGRADECIMIENTOS	
ABREVIATURAS Y EQUIVALENTES	
RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS TECNICAS	11
CAPITULO 1 - INTRODUCCION.	
1. Autoridad y alcance	17
2. Objetivos del proyecto	19
3. Investigaciones e informes previos	19
CAPITULO 2 - OBJETIVOS DEL PROYECTO.	
1. Control de avenidas y drenaje	21
Grado de protección contra avenidas	22
Balance económico entre las mejoras del cauce y el embalse de Timba	22
2. Energía	23
Generación	23
Demanda	25
Operación del embalse de Timba para generación de energía	26
3. Irrigación	27
4. Desviación Cauca - Pacífico	28
5. Objetivos varios	29
Suministro de agua para consumo industrial y doméstico	29
Contaminación del agua	30
Recreación y navegación	30
CAPITULO 3 - HIDROLOGIA.	
1. Precipitación anual y mensual	31
2. Lluvias torrenciales	35
Frecuencia	35
3. Caudales anuales y mensuales	36
Variaciones del caudal	36
4. Avenidas	37
Registros	37
Avenidas vs. Lluvias torrenciales	37
Riada de diseño del vertedero	40
5. Sedimentación en el embalse	40
6. Evaporación	41
7. Vientos	41
8. Futuro programa hidrológico	42

CAPITULO 4 - EL EMBALSE.	
1. Niveles y volúmenes del embalse	43
Selección del nivel máximo	43
Almacenamiento muerto	47
2. Operación del embalse	47
3. Uso actual de las tierras del embalse	47
4. Relocalización de carreteras y ferrocarriles	48
5. Efectos del embalse de Timba en la explotación de carbón	49
6. Explotación de oro	50
CAPITULO 5 - SITIO DE LA PRESA.	
1. Localización	51
2. Topografía	51
Levantamiento	51
3. Geología	52
4. Condiciones de cimentación	52
Presa principal	53
Estribos	53
Casa de máquinas y bocatoma	53
Rebosadero	53
CAPITULO 6 - ESTRUCTURAS DEL PROYECTO	
1. La presa	55
Presa principal	55
Estribos	56
Dique de la depresión de La Ferreira	57
2. Desviación del río y desecación	57
3. Conductos a través de la presa	59
Estanque amortiguador del conducto de descarga para control de avenidas	60
4. Rebosadero	60
Riada de diseño del rebosadero	60
Borde Libre	62
Disposición del rebosadero	62
5. Instalaciones para generación de energía	62
6. Líneas de transmisión y patio de conexiones	64
7. Estructuras para irrigación	65
CAPITULO 7 - COSTOS Y BENEFICIOS.	
1. Programa de construcción	67
2. Presupuesto de costos	68
Tierras y servidumbres	68
Costos directos de construcción	70
Imprevistos	70
Intereses durante la construcción	70
3. Programa de inversiones	70
4. Distribución de costos	72
5. Costos anuales	74
Costo anual de generación y costo unitario de la energía	74
Costo anual de control de inundaciones	74
Costo anual de irrigación	75
6. Beneficios	77
Energía	77
Control de inundaciones	80
Irrigación	83
Beneficios indirectos por control de inundaciones e irrigación	85
Beneficios varios	85
Resumen de beneficios derivados del Proyecto de Timba	85

CAPITULO 8 - PLANTA TERMICA DE TIMBA.	
1. Generalidades	86
2. Escogencia del sitio	86
3. Abastecimiento de carbón	86
4. Características de la planta	87
Funcionamiento	89
5. Presupuesto de Costos	90
CAPITULO 9 - RESUMEN Y RECOMENDACIONES.	
1. Finalidad múltiple	93
Control de avenidas y drenaje	93
Energía	94
Irrigación	94
Desviación Cauca - Pacífico	94
2. Investigaciones	95
Levantamientos topográficos	95
Exploraciones del sub-suelo	95
Selección del nivel máximo del embalse	95
Diseño preliminar	95
3. El embalse	96
4. Programa de construcción	96
5. Costos	97
Distribución de los costos	98
Costo anual	98
6. Beneficios	99
7. Planta térmica de Timba	99
Abastecimiento de carbón	99
Costos	100
RECOMENDACIONES.	
1. Informe del proyecto de mejoras del Río Cauca	100
2. Programa de hidrología	101
3. Diseño del sistema de transmisión	101
4. Planos de licitación y diseño definitivo	101
APENDICE A GEOLOGIA	
1. Generalidades	105
2. Estratigrafía	105
3. Estructura	106
4. Economía	106
5. Sitio de la presa de Timba	106
6. El dique de La Ferreira	107
7. Sismografía	107
8. Materiales de construcción	107
APENDICE B - EXPLORACION DEL SUB-SUELO Y ENSAYOS DE SUELOS FUNDACIONES DE LA PRESA DE TIMBA, CASA DE MAQUINAS Y REBOSADERO	
1. Exploraciones en el terrono	109
2. Ensayos en el terreno	109
3. Ensayos de laboratorio	110
Ensayos de clasificación	110
Ensayos de compresión inconfiada	111
Ensayos de compresión triaxial	112
Ensayos de consolidación	112
Ensayos de permeabilidad	112
4. Conclusiones	112
MATERIAL DE RELLENO PARA LA PRESA PRINCIPAL	
5. Ensayos realizados	113

Ensayos de clasificación	113
Permeabilidad	113
Compactación- materiales aluviales	113
Compactación- sobrecapa	113
6. Conclusiones	114
Material aluvial	114
a. Descripción	114
b. Características de compactación	114
c. Permeabilidad	114
Suelos residuales	114
a. Descripción	114
b. Permeabilidad	114
c. Características de compactación	114
DIQUE DE LA FERREIRA	
7. Exploraciones para la cimentación	114
8. Ensayos de campo	114
9. Ensayos de laboratorio	115
Ensayos de clasificación	115
Ensayos de compresión inconfiada	115
10. Conclusiones	115
11. Materiales de relleno	115
RECOMENDACIONES Y RESTRICCIONES	
12. Limitaciones	115
13. Recomendaciones	116
Relleno en tierra	116
Bocatoma	116
Presa principal	116
APENDICE C - ABASTECIMIENTO DE CARBON PARA LA FUTURA PLANTA TERMICA.	
Resumen	117
1. Usos actuales	119
2. Clasificación, composición y poder calorífico	119
3. Geología	121
4. Métodos de explotación	121
5. Desarrollo de la industria minera	121
6. Fuentes de abastecimiento en la zona de Timba	122
Mina de Timba	122
Mina de S. Francisco	123
Nota general	123
7. Planta de lavado	124
8. Datos económicos del carbón en la zona de Timba	124
9. Cálculo del carbón necesario en 1960	125
10. Aspectos económicos de la utilización del carbón en el Valle del Cauca	123
Referencias	126
APENDICE D - DESVIACION CAUCA - PACIFICO	129
Crítica	135
Resumen	136

C U A D R O S

2-1	Efecto del embalse de Timba sobre el control de avenidas	23
2	Capacidad de generación actual y futura en los tableros de las plantas	24
3	Demanda de irrigación en Julio	28
4	Desviación permitida del Cauca al Pacífico	29
3-1	Precipitación en la hoya del Río Cauca	31
2	Precipitación media mensual	32
3	Precipitación mensual y anual en Popayán	
	Parte A - Universidad de Popayán	33
	Parte B - Aeropuerto de Popayán	34
4	Comparación de precipitaciones máximas	35
5	Caudal medio mensual del Río Cauca en La Balsa	36
6	Río Cauca en La Balsa - Escurrimiento anual	37
7	Volúmenes y picos de avenidas Río Cauca en La Balsa	39
4-1	Comparación de alternativas de niveles de embalse	44
2	Presupuesto para el embalse con nivel máximo de operación a El. 1035	46
6-1	Programa para desviación del Río	58
2	Volúmenes de riadas por encima de la descarga del embalse	61
3	Niveles de embalse y descargas - Riada de diseño del vertedero	61
7-1	Presupuesto de costos	69
2	Programa de inversiones	71
3	Cómputo de distribución de costos	73
4	Costo anual de generación y costo unitario de energía	76
5	Costo anual de control de inundaciones	77
6	Costo anual de irrigación	79
7	Renta agrícola neta por hectárea	81
8	Beneficio directo por control de inundaciones	82
9	Beneficio directo por irrigación	84
8-1	Planta térmica de Timba - Presupuesto preliminar de costos	91
2	Planta térmica de Timba - Costo anual y costo unitario de la energía	92
C-1	Análisis del carbón - Laboratorio de la planta de lavado	120
2	Cálculo del carbón necesario en 1.960	125
D-1	Cálculo del caudal disponible para Desviación al Pacífico	130
2	Caudales afluentes aguas abajo de Vijos	134
3	Resumen de caudales disponibles para desviación al Pacífico	135

FIGURAS

- 2-1 Mapa General
General Map
- 2-2 Interconexión de Timba con el sistema de transmisión de la CVC.
Interconnection of Timba with CVC' transmission Network
- 3-1 Creciente de 1.950; Precipitación diaria
1.950 Flood; Daily Rainfall
- 3-2 Hoyas del Cauca y Panamá; Curvas de precipitación - Frecuencia
Cauca and Panamá Basins; Precipitation - Frequency Curves
- 3-3 Caudal en La Balsa vs. Juanchito
Flow at La Balsa vs. Juanchito
- 3-4 Caudal Diario vs. Precipitación de 5 días
Daily Discharge vs. 5-day Precipitation
- 3-5 Vientos más fuertes registrados en Cali
Maximum observed Winds at Cali
- 4-1 Areas y Volúmenes del Embalse
Reservoir Area and Capacity
- 4-2 Operación del Embalse para Control de Avenidas
Reservoir Rule Curve
- 4-3 Efecto del Embalse en la Creciente de 1.949-50
Effect of Reservoir on 1.949-50 Flood
- 4-4 Relocalización del Ferrocarril y la Carretera
Railroad and Highway Relocation
- 6-1 Disposición General
General plan
- 6-2 Presa Principal y Dique de La Ferreira
Timba Dam and La Ferreira Dike
- 6-3 Rebosadero, estructura de Captación y Casa de Máquinas
Spillway, Intake Structure and Powerhouse
- 6-4 Riada Máxima
Spillway design Flood
- 7-1 Programa de construcción
Construcción Schedule
- 8-1 Planta Térmica de Timba
Timba Steam Plant
- A-1 Mapa Geológico Generalizado de la Zona de Embalse
Areal Geology of Reservoir

- B-1 Exploraciones del Subsuelo - Localización y Perfiles
Subsurface Explorations - Location and Profiles
- B-2 Ensayos de Bombeo
Pumping Tests
- B-3 Resumen de los Ensayos de Laboratorio
Summary of Laboratory Tests
- B-4 Gráfico de Plasticidades
Plasticity Chart
- B-5 Curvas Granulométricas
Grain-size Curves
- B-6 Ensayos de Compresión
Compression Tests
- B-7 Ensayos Triaxiales
Triaxial Tests
- B-8 Ensayos de Compactación
Compaction Test
- B-9 Ensayos de Consolidación
Consolidation Tests
- B-10 Ensayos de Consolidación
Consolidation Tests
- B-11 Exploraciones del Sub-suelo - Dique La Ferreira
Subsurface Explorations - La Ferreira Dike
- B-12 Ensayos de Compactación
Compaction Tests.
- B-13 Ensayos de Permeabilidad
Permeability Tests.

OLAP-G & H-TAMS

INGENIEROS

CARRERA 3a. No. 11-32

Apartado Aéreo 2366

CALI

OLARTE, OSPINA ARIAS & PAYAN, LTDA.

Apartado Aéreo 5099

Bogotá

GIBBS & HILL, INC.

Pennsylvania Station

New York 1, N. Y.

TIPPETTS - ABBETT - McCARTHY STRATTON

62 West 47th Street

New York 36, N. Y.

Dr. BERNARDO GARCÉS CORDOBA
Director Ejecutivo de la
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL
DEL CAUCA
Cali, Colombia.

Abril 30 de 1.958.

REF: Proyecto de Timba.

Estimado Dr. Garcés:

De conformidad con la Orden de Trabajo N° 2, sometemos a su consideración el informe adjunto sobre los aspectos técnicos y económicos del Proyecto de Timba. El informe incluye también un análisis sobre la economía y las características de una planta térmica que sería construída cerca al embalse de Timba cuando el aumento futuro de la demanda de energía lo hiciere necesario.

El proyecto de Timba será el primer proyecto de finalidad múltiple desarrollado por la CVC y tendrá como estructura principal una presa de tierra de 46 m. de altura y 1.200 m. de longitud. Incluída una presa Secundaria que cierra la depresión de La Ferreira, el total de relleno de tierra necesario será de 7.100.000 m³.

El embalse formado por la presa tendrá un área total de 3.380 hectáreas y una capacidad de embalse útil de 430 millones de metros cúbicos de los cuales 305 millones de me-

tros cúbicos se usarán para control de inundaciones.

Se construirá una casa de máquinas con dos generadores de 30.000 kw. El canal de fuga, a través del cual descargarán las turbinas, estará controlado por compuertas para desviar agua hacia las bocatomas de dos canales principales de irrigación, una a cada lado del río. (El costo de las bocatomas está incluído en el presupuesto del proyecto).

Los objetivos principales del proyecto son: control de avenidas y drenaje, generación de energía, irrigación y regulación del caudal del Río Cauca que permita desviación de aguas hacia el Pacífico, para un desarrollo hidroeléctrico de grandes proporciones.

Además el proyecto de Timba aumentará la calidad y cantidad del agua del Río Cauca para distribución industrial y pública, disminuyendo su contaminación, lo mismo que para recreación.

Control de Avenidas y drenaje

Una riada promedio inunda un área de 56.900 hectáreas en la zona plana del Valle del Cauca, entre Cartago y La Balsa. Riadas tan grandes como la ocurrida en febrero de 1.950, (se presentan con una frecuencia de una vez en 10 años), inundan 84.000 hectáreas o sea el 22% de la zona plana. Además de los daños directos por inundaciones, resultan daños secundarios debido a que el nivel del agua en el río es muy alto durante una gran parte del año, no permitiendo el drenaje de las tierras adyacentes, las cuales, generalmente, están a un nivel más bajo que las riberas del río.

El proyecto de control de avenidas aquí propuesto, dará protección contra crecientes como la de febrero de 1.950; esta protección es adecuada para tierras dedicadas a la agricultura. En esta zona, actualmente no hay prácticamente ningún desarrollo urbano.

Esta protección resultará de la combinación del embalse en Timba con el mejoramiento del cauce del Río Cauca. En el futuro, cuando el proyecto de Salvajina sea construido, habrá protección contra inundaciones más severas, de una frecuencia de 1 vez en 50 años.

Energía

Los estudios realizados en 1.955 para el Informe sobre Desarrollo Coordinado, indican que la producción de energía de Timba podría comenzar a ser necesaria en 1.961.

Desde 1.955, sin embargo, el crecimiento de la demanda se ha visto entorpecido por varios factores, tales como la insuficiente capacidad de generación; la imposibilidad de construir el proyecto hidroeléctrico de Calima, el sistema de transmisión y las condiciones económicas desfavorables.

Como resultado de lo anterior, las pre-

diciones actuales indican que la energía de Timba no será necesaria sino 2½ años más tarde de lo previsto, o sea a fines de 1.963. Además si se tiene en cuenta la abundancia de los caudales, durante los primeros seis meses del año, que permite una mayor generación en otras plantas, la terminación del proyecto puede aplazarse hasta julio de 1.964.

Timba tendrá una capacidad de pico de 60.000 kw. bajo cualquier condición de caudal en el río y una vez que entre en funcionamiento aumentará la generación primaria anual del sistema en 367 millones de kwh.

Irrigación.

Timba suministrará directamente agua para irrigar 113.000 hectáreas netas de tierra, comprendidas entre La Balsa y Guacarí en la ribera derecha y entre La Balsa y Cali en la ribera izquierda. El flujo de retorno de estas 113.000 hectáreas quedará disponible

para irrigación aguas abajo, de tal modo que, el área total beneficiada por Timba alcanzará a 152.000 hectáreas netas o sea 53% de la zona plana comprendida entre La Balsa y Cartago.

Desviación a la vertiente del Pacífico.

El proyecto de Timba hará posible la desviación continua de por lo menos 100 m³/s., de las aguas del Río Cauca hacia la vertiente del Pacífico, que servirán para un vasto desarrollo hidroeléctrico, utilizando la caída de 950 m. entre los niveles del Cauca y del Océano Pacífico. Este proyecto será posible sin interferir con los programas de irrigación. Por otra parte, la cantidad de agua

desviada podrá aumentarse con la utilización de aguas de los tributarios y aguas subterráneas y con el almacenamiento que ofrecerá el embalse de Salvajina cuando sea construido.

La determinación de la energía aprovechable y un programa de las investigaciones requeridas para realizar el desarrollo Cauca-

Pacífico fueron presentados en un informe aparte con fecha noviembre 1.957; una parte clave de estas investigaciones es la relacio-

nada con la colocación en el mercado de la vasta cantidad de energía producida por dicho desarrollo.

Costos y Beneficios.

El costo total del proyecto, incluyendo el interés durante la construcción, será de \$ 65'900.000 más US\$ 18'800.000.

La energía producida por Timba costará, por Kwh entregado en los centros de consumo, \$ 0.0099 más Us \$ 0.00435, equivalentes a un total de \$ 0.036 (con un cambio de seis pesos por dólar). Este costo es bajo comparado con el de la alternativa más económica que sería una planta térmica.

Se calcula que el valor del aumento de la producción agrícola en el área librada de inundaciones, deducidos los costos de producción será de \$ 32'000.000 anuales. El costo anual de sostenimiento del sistema de control contra inundaciones será de \$ 11.140.000 (incluyendo el costo de Timba y las mejoras del cauce del río) o sea ligeramente superior a tercio del beneficio anual.

El valor del aumento futuro en producción agrícola de las 152.000 hectáreas irrigadas por Timba, deducidos los costos de producción se calcula en \$ 31'700.000 anuales. Esto equivale a casi cuatro veces el costo anual de irrigación, el cual incluye el costo de la parte del proyecto de Timba asignada a

canales de irrigación y el de las estaciones de bombeo.

Paralelamente al incremento de la producción agrícola que resultará del riego y control de inundaciones, Timba producirá beneficios indirectos tales como el valor adicional resultante de la transformación de materia prima agrícola, la reducción en pérdidas de vidas humanas y animales causadas por las inundaciones, las economías en los costos de construcción y conservación de carreteras y aeropuertos y la eliminación de perjuicios causados por interrupciones del tráfico y la producción industrial.

Múltiples beneficios, además de la desviación Cauca-Pacífico previamente descrita, resultarían del aumento de los caudales en épocas de estiaje, lo cual disminuiría en el río el grado de contaminación del agua y sería benéfico para su suministro en los sistemas de acueductos e industrias. El proyecto de Timba es además necesario para poder mejorar el cauce del Río Cauca, lo que será de beneficio para la navegación y el turismo. Finalmente, el embalse de Timba constituirá un importante incentivo turístico para esta región.

Planta Térmica de Timba.

El crecimiento normal de la demanda de energía requerirá, para el año de 1.970, una capacidad mayor que la suministrada por los proyectos hidroeléctricos iniciales, (Anchicayá, Calima, Timba, Salvajina). Si para esa época no se han hallado nuevas fuentes económicas de energía hidroeléctrica de base, será necesario instalar plantas térmicas con carbón como combustible.

También sería posible la utilización, en el momento oportuno, de energía generada en una planta termo-nuclear. En este campo se está avanzando rápidamente, pero su aplicación económica, solo puede obtenerse por ahora, en países altamente industrializados, en los cuales puede preverse el agotamiento de otras reservas de energía en el futuro.

Los datos anotados en este informe con respecto a una planta térmica de carbón serán útiles para avaluar las posibilidades futuras.

La capacidad adicional requerida en 1.970 y suficiente para un período de tres años aproximadamente, es de 200.000 kilovatios. En consecuencia se ha contemplado la instalación de una planta térmica de esta capacidad en un sitio cercano a la planta hidroeléctrica de Timba. Este sitio ha sido escogido como el más favorable teniendo en cuenta el transporte de combustible, el aprovisionamiento de agua y otros factores.

Aunque existen reservas de carbón en el Valle del Cauca para suplir la demanda ac-

tual por muchas décadas, la creciente demanda de los ferrocarriles, industrias y plantas térmicas requerirá la explotación intensiva de los yacimientos existentes. Aún en el caso de que el programa actual de expansión minera sea ejecutado en su totalidad, sólo una parte del abastecimiento de carbón para la planta térmica de Timba podrá ser suministrada por las minas existentes en el área San Francisco-Timba. El resto tendrá que ser suministrado por otras fuentes.

La inversión de capital para una estación térmica en Timba con capacidad de 198.000 kw. (3 unidades de 66.000 kw.) se ha calculado en \$ 21.300.000 más US\$ 30.600.000 incluyendo ingeniería de diseño y construcción, administración e intereses durante la construcción, pero excluyendo el costo de las líneas de transmisión y el patio de transformadores de la sub-estación.

Con un factor de capacidad de 60% en la planta y suponiendo un precio de 25 pesos

Conclusiones y Recomendaciones.

Como se sintetiza anteriormente, este informe demuestra la factibilidad del proyecto de Timba y prueba su utilidad para el bienestar común y para la economía de Colombia.

Timba es la estructura clave para el desarrollo agrícola intensivo del Valle del Cauca y al mismo tiempo producirá energía hidroeléctrica a bajo costo. Timba es también la clave para la futura utilización del vasto potencial hidroeléctrico inherente al hecho de que el Río Cauca corre a una elevación de 950 metros y a una distancia relativamente corta del Océano Pacífico.

Suponiendo que las condiciones económicas retornen a la normalidad y que la CVC proceda sin demora a la construcción del proyecto hidroeléctrico del Calima y del sistema de transmisión, el crecimiento de la demanda de energía volverá a tomar la forma descrita en el Informe sobre Desarrollo Coordinado. Si es éste el caso, habrá que terminar Timba a mediados de 1.964.

Para terminar el proyecto dentro del plazo establecido, la construcción debe iniciarse a principios de 1.962, y la preparación de planos de licitación (diseños de ingenie-

por tonelada de carbón, el proyecto térmico de Timba producirá energía a un costo relativamente bajo; 1.48 ctvos. más US\$ 0.00365 por kwh, equivalente a un total de 3.67 ctvos. (suponiendo el cambio a 6.00 pesos por dólar).

Sin embargo, se debe tener en cuenta en primer lugar que estos costos pueden cambiar considerablemente en el futuro. Es muy difícil hacer una predicción del costo futuro del carbón, el cual está influenciado por la creciente demanda y la calidad de la mina que lo explote. Otro factor de incertidumbre es el mercado del dólar. Como aproximadamente el 90% del costo de construcción de la planta es en dólares, cualquier fluctuación en la tasa de cambio afectará considerablemente el costo del Kwh.

En comparación, la parte del proyecto múltiple de Timba dedicada a la producción de energía, no demanda gastos de combustible y la producción del costo en moneda extranjera es considerablemente menor.

ría en suficiente detalle para solicitar licitaciones) hacia octubre de 1.960.

En caso de que los fondos para diseño puedan obtenerse con mayor anticipación, debería procederse con el diseño definitivo, (omitiendo los planos de licitación), a partir de junio de 1.960. Tal procedimiento ahorraría costos de ingeniería y, lo que es más importante, permitiría solicitar cotizaciones sobre la base de diseños definitivos.

Con el fin de obtener el máximo de economía y beneficio, el proyecto de Timba debe complementarse con mejoras en el cauce del Río Cauca, las cuales requieren un período de construcción de 4 años. El programa de construcción de las mejoras del Cauca, debe iniciarse dos años antes de terminar la construcción de Timba. Se requerirán tres años para investigaciones, preparación del informe del proyecto, negociaciones con los dueños de tierras y entidades oficiales y para diseños finales; de tal manera que esta fase debe empezarse hacia octubre de 1.959.

Aunque la información actual es suficiente para el diseño preliminar, se necesita aún mayor información hidrológica para el

diseño definitivo y para conseguir el máximo de efectividad con respecto a control de inundaciones y generación de energía. En este informe se presentan recomendaciones específicas al respecto.

Los estudios del sistema de transmisión

regional de la CVC, para el transporte de la energía de Anchicayá, Yumbo y Calima, deben reanudarse oportunamente. Los estudios para las líneas de transmisión Cali-Timba-Popayán, ahora suspendidos, deben continuarse y las líneas deberán construirse antes de terminar el proyecto de Timba.

Atentamente,

OLARTE, OSPINA ARIAS & PAYAN LTDA

GIBBS & HILL, INC.

Carlos S. Ospina

BORIS LOCHAK

TIPPETTS-ABBETT.

McCARTHY-STRATTON

Gerald T. McCarthy

AGRADECIMIENTOS

Este informe fue preparado por miembros de las firmas OLARTE, OSPINA, ARIAS & PAYAN LTDA., de Bogotá, Colombia, TIPPETTS ABBETT -- McCARTHY STRATTON de New York, U.S.A. y GIBBS & HILL, INC., también de New York U.S.A. con la cooperación de numerosos ingenieros colombianos al servicio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca. Al terminar el presente informe, el personal de la CVC que cooperaba en su elaboración ascendía a 50 entre ingenieros, topógrafos y dibujantes.

La Junta Directiva de la CVC a la cual se mantuvo permanentemente informada del adelanto de los trabajos, prestó una ayuda muy valiosa. Se agradece especialmente la continua y productiva cooperación del Dr. Bernardo Garcés Córdoba, Director Ejecutivo de la CVC.

Igualmente se agradece la ayuda recibida de las numerosas organizaciones colombianas tanto oficiales como particulares, que suministraron informaciones y datos básicos de gran valor para el presente estudio.

 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

ABREVIATURAS Y EQUIVALENTES

Btu	— British thermal units.
cm.	— Centímetros
°C	— Grados centígrados
El.	— Elevación en metros
°F	— Grados Fahrenheit
ft.	— pies
ha.	— Hectárea - 2.47 acres
in	— Pulgadas
kg.	— Kilogramos
km.	— Kilómetros
Km ²	— Kilómetros cuadrados
kv.	— Kilovoltio
kva.	— Kilovatio amperios
kw.	— Kilovatio
Kwh	— Kilovatios-hora
lbs.	— Libras
lt/s.	— Litros por segundo
m.	— metros
m ²	— Metros cuadrados
m ³	— Metros cúbicos
Mm ³	— Millones de metros cúbicos
Mph.	— Millas por hora
m ³ /s.	— Metros cúbicos por segundo
Mw.	— Megavatios
Plaza	— 0.64 ha. - 1.58 acres
Psi	— Libra por pulgada cuadrada
T.	— Tonelada métrica - 1.000 kg.
\$	— Pesos colombianos
US\$	— Dólares
US\$.Mills.	— US\$ 0.001
HP.	— Caballo de fuerza inglés

PROYECTO DE TIMBA

RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS TECNICAS

- 1) *Localización:* Sobre el Río Cauca cerca a La Balsa, en el límite entre los Deptos. del Valle del Cauca y Cauca. A una distancia de 48 km. al sur de Cali.
- 2) *Area de drenaje:* 5.480 km²
- 3) *Caudales del río:* Promedio (217) m³/s (con once años de registros Oct./45 a Oct./56.)
Mínimo 35 m³/s
Máximo 1.225 M³/s
- 4) *Niveles y volúmenes del embalse:*

LUGAR	El.	Volúmen en Mm ³	
		Diferencia	Total
Lecho del río	983		0
		245.0	
Nivel mínimo de embalse (para generación de energía)	1010.0	125.0	245.0
Nivel mínimo para control de avenidas	1015.0	305.0	370.0
Parte superior de las compuertas del vertedero y máximo nivel controlado	1025.0		675.0
Parte superior de la presa	1029.0		

Almacenamiento útil para generación de energía (el. 1010.0 a El. 1025.0): 430 Mm³.

Capacidad destinada para control de avenidas (El. 1015.0 a El. 1025.0): 305 Mm³.

- 5) *Area de embalse:* 3.380 ha. a la cota 1025.0

- 6) *Presa:*

Material y tipo : Núcleo de tierra compactada,
protegido por taludes de gravas.
Longitud : 1.200 m.
Altura máxima : 46 m.
Ancho máximo de la base : 200 m.

- 7) *Dique de la Ferreira:*

Longitud : 840 m.
Altura máxima : 15 m.
Ancho máximo de la base : 60 m.

8) *Instalaciones para la generación de energía.*

A) Bocatoma:

Una torre de toma en concreto de 62 m. de longitud por 48 m. de altura, provista de entradas rectangulares de 10m. de altura por 6 de ancho para cada uno de los tres conductos. Todas las entradas están provistas de rejillas y compuertas; habrá una compuerta de reserva, completando así un total de siete; un juego permanente de tableros de cierre para mantener cerradas dos salidas (es decir en un conducto).

B) Conductos:

Dos conductores de acero, de 7 m de diámetro, empotrados en concreto de 7.6m de diámetro para descarga de control de avenidas (el cual podría adoptarse en el futuro para alimentar una tercera unidad). Cada conducto o tubería de carga tiene 210 m de largo.

C) Almenara:

Una almenara de acero de orificio restringido para cada unidad, con diámetro de 20 m.

D) Casa de máquinas:

Para capacidad inicial de 60.000 kw.

Tipo de construcción: Concreto reforzado.

Dimensiones interiores: 18 m. x 62 m.

E) Canal de Fuga:

Canal de 300 m de largo y 60 m de ancho con un vertedero para

desviar las aguas de irrigación. Cresta del vertedero: El. 984.6 m. Tres compuertas de báscula de 2.40 m. de alto por 20 m. de ancho operadas automáticamente por malacates hidráulicos. Elevación de la parte superior de las compuertas: El. 987.0

F) Turbinas Hidráulicas:

Cantidad	2
Tipo	Kaplan
Capacidad	22.0 m.
Salto mínimo	42.000 H.P. cada una
Salto medio	29.0 m.
Salto máximo	38.3 m.

G) Generadores:

Cantidad	2
Capacidad	30.000 kw cada uno

9) *Instalaciones de descarga.*

A) Desagüe:

Descripción: Conducto de concreto de 7.6 m. de diámetro 210 m. de longitud (ver ítem 8B) - Transición de 15 m. de longitud al estanque amortiguador. Estanque amortiguador de concreto 16 m. de ancho por 45 m. de largo. Capacidad: 838 m³/s para El. 1015.

B) Resobadero:

Localización: en el extremo izquierdo de la presa.

Descripción: Vertedero de concreto con tres compuertas radiales de 13 m. de ancho por 11.50 m. de alto con dos pilares intermedios. Canal de concreto de 140 m. de largo y de 43 a 68 m. de ancho. Estanque amortiguador de 50 m. de largo por 68 m. de ancho.

C) Descargas y niveles de riadas.

	Máxima Riada Registrada Feb. 1. 1950	Riada de diseño en vertedero.	
		Caso 1	Caso 2
Número de turbinas funcionando	2	0	0
Salida disponibles	Sí	Sí	Parcialmente(b)
Nivel inicial E1.	1015.0	1025.0	1025.0
Máximo caudal entrante m ³ /s	1225	6000	6000
Nivel máximo de embalse E1.	1025.0	1026.5	1026.7
Máximo caudal saliente m ³ /s:			
Turbinas	270	0	0
Salida	520	1000	690
Vertedero	0	3380	3440
	790	4380	4130
TOTAL			
Caudal en Juanchito m ³ /s:			
No controlado	1000 (a)
Controlado	870

(a) Mejorando el cauce del río, (eliminando estancamientos en el Valle) el caudal no controlado en Juanchito aumentaría a 1500 m³/s.

(b) Suponiendo una de las compuertas atascada en posición cerrada.

10) *Energía disponible.*

a) Capacidad Firme (Mw)

Plantas ya existentes		190
Agregado en Timba	60	
Aumento, debido a Timba, de la capacidad en Firme de las plantas ya existentes	10	
	70	
Aumento total de la capacidad Firme debido a Timba		70
		260
Capacidad del sistema incluyendo a Timba		260

B) Generación Firme (millones de kwh anuales)

Plantas ya existentes		1000
Timba	338	
Aumento de la generación Firme de las plantas existentes, debido a Timba	29	
	367	
Aumento total de generación Firme debido a Timba		367
		1367
Generación Firme del sistema, incluyendo a Timba		1367

I N F O R M E

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1 AUTORIDAD Y ALCANCE

En Enero 17 de 1.955 la Corporación Autónoma Regional del Cauca (también conocida como la "CVC") contrató los servicios de las firmas: OLARTE, OSPINA, ARIAS & PAYAN LTDA. (OLAP) de Bogotá; GIBBS & HILL, INC. (G. & H.) de New York y KNAPPEN-TIPPETTS-ABBETT-Mc CARTHY - (KTAM), también de New York. El nombre de la última firma cambió posteriormente a TIPPETTS-ABBETT-Mc CARTY-STRATTON (TAMS).

El contrato de Enero 17 de 1.955 comprende servicios de ingeniería y al mismo tiempo entrenamiento del personal técnico colombiano empleado por la CVC. La Junta Directiva de la CVC, por medio de la Orden de Trabajo N° 1, de esa misma fecha, dio instrucciones a las firmas antes mencionadas para que prepararan un informe sobre "Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hidráulicos del Valle del Cauca". Este informe fué presentado en Enero de 1.956.

En Mayo 18 de 1.955, la Junta Directiva de la CVC expidió la Orden de Trabajo N° 2, cuyo texto es el siguiente:

"El fin de esta Orden de Trabajo es la preparación de un informe para el proyecto de Timba sobre el Río Cauca, inmediatamente abajo de su confluencia con el Río Timba. Se desea que este informe sirva de base para comparación con otros proyectos y en caso de ser favorecido el proyecto de Timba por la Junta de la CVC, sería usado para una solicitud de financiación. Finalmente el informe debe determinar las caracterís-

ticas principales del proyecto de modo que se pueda proceder, sin demora, al diseño definitivo del mismo.

El informe incluirá datos específicos sobre los siguientes puntos:

- 1º Topografía
- 2º Geología
- 3º Hidrología
- 4º Investigaciones sobre cimentaciones
- 5º Curva del embalse para operación del proyecto
- 6º Uso del proyecto para control de avenidas y el alcance de tal control.
- 7º Uso para fines de irrigación
- 8º Uso para generación de energía en un sistema que consiste de 64.000 kw. en Anchicayá, 25.000 kw. en Yumbo (x) y algunas plantas pequeñas de reserva.
- 9º Planos del proyecto
- 10º Características del proyecto:
 - a) Tipo, tamaño y velocidad de las turbinas hidráulicas.
 - b) Tipo de generadores.
 - c) Tipo, tamaño y número de compuertas para el vertedero.
 - d) Tipo y tamaño de la casa de máquinas.
 - e) Tipo de la presa.
 - f) Instalaciones relacionadas con la salida de agua para irrigación.

- (x) Posteriormente a la terminación del Informe sobre Desarrollo Coordinado, se ha sabido que la capacidad instalada de la Planta Térmica de Yumbo ha sido modificada a 25.000 kva., lo cual, con un factor de potencia de 0.8, equivale a 20.000 kw. (unidades I y II).



- g) Relocalización de ferrocarriles y carreteras.
- h) Procedimiento para la desviación del río durante la construcción.
- i) Características del patio de transformadores y líneas de transmisión.
- j) Disposición de instalaciones para la construcción.
- k) Programa de construcción.
- l) Presupuesto.
- m) Costos correspondientes a las varias finalidades.

El informe abarcará la evaluación de las necesidades de energía termoeléctrica en el sistema, localización y programa de construcción de las plantas térmicas.

En el caso de que el sitio de Timba resulte favorable para una planta térmica, el informe incluirá información definitiva sobre:

- a) Localización con respecto a la presa.
- b) Determinación de la instalación económica inicial.
- c) Planos de la planta.
- d) Tipo, tamaño, presión de las calderas y temperaturas.
- e) Consumo de carbón.
- f) Presupuesto.

Si resultaren algunas mejoras para la navegación debida a la regulación del río por la presa de Timba, el informe incluirá alguna discusión con referencia especial al transporte de combustible.

Se le entregarán a la Corporación 50 copias del informe, en inglés; además todos los dibujos que se incluyan en el informe, tendrán sus leyendas en español y en inglés".

Como algunos estudios comprendidos en la Orden de Trabajo N° 2 coincidían con los de la Orden de Trabajo N° 1, fué posible incluir datos del informe de Timba en el de "Desarrollo Coordinado de Energía y de Re-

ursos Hidráulicos en el Valle del Cauca", principalmente en lo que se refiere a planeamientos hidráulicos. El informe de Enero de 1.956 contiene una descripción detallada de los siguientes puntos:

- a) Grado deseado de control de avenidas en la zona inundable del Río Cauca.
- b) Comparación económica entre las mejoras del cauce del Cauca y el volumen de embalse en la presa de Timba.
- c) Demanda de Energía.
- d) Energía suministrada por la hidroeléctrica de Timba.
- e) Energía suministrada por la térmica de Timba.

El presente informe sintetiza las conclusiones del de Enero de 1.956 con respecto a los puntos arriba mencionados. Se presenta con mayor amplitud el punto b) relacionado con la selección de la altura de la presa y se da información adicional sobre el punto c) relativa a la demanda de energía durante 1.956 y 1.957.

Los siguientes puntos han sido sometidos a revisión:

- f) Operación del embalse de Timba para control de avenidas y generación de energía.
- g) Efecto producido por el embalse de Timba sobre el agua disponible para irrigación y para desviación hacia el Pacífico.

En la época que se terminó el informe de 1.956, las exploraciones para cimentaciones no habían avanzado suficientemente para la preparación de diseños estructurales y presupuestos, de modo que en ese informe se recalca el carácter preliminar de los cálculos de costos del proyecto de Timba. A continuación se compara el presupuesto presentado en el presente informe con el presupuesto anterior:

	<u>Costos de Const.</u>		<u>Inversión de Capital</u>	
	(millones)		(millones)	
	\$	US\$	\$	US\$
Presupuesto de Enero de 1.956	75.0	15.5	87.2	16.8
Presupuesto de Abril de 1.958	60.2	17.6	65.6	18.8

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto de Timba será el primer proyecto de fines múltiples desarrollado por la CVC. Cuando Timba se haya construido, el

sistema de la CVC contará también con las siguientes plantas:

Anchicayá con	64.000 kw.	instalados
Yumbo con	20.000 kw.	"
Calima con	120.000 kw.	"

Timba proveerá suficiente energía para suplir la demanda adicional en el sistema de la CVC por un período de 2 años.

En combinación con el mejoramiento del Cauca, Timba dará protección contra avenidas de una frecuencia de 1 vez en 10 años, permitiendo el cultivo intensivo (por medio del drenaje y la irrigación) de 56.900 ha. de tierras, que actualmente se inundan casi todos los años. Además, permitirá el drenaje de una extensión aproximadamente igual de tierras adyacentes a la zona inundable del Río Cauca y demasiado bajas para tener drenaje natural, y hará posible su utilización agrícola.

El volumen del embalse de Timba también permitirá la irrigación de 152.000 ha. netas o sea el 53% de la zona plana entre La Balsa y Cartago.

La regulación del Río Cauca por el embalse de Timba, aumentará el caudal mínimo en Juanchito de 58m³/s. a más de 100 m³/s. Este aumento en el caudal permitirá la desviación de agua del Río Cauca para una serie de proyectos hidroeléctricos de gran capacidad en el cañón del Río Dagua.

Otros beneficios derivados del aumento del caudal mínimo y de la reducción de material sedimentable transportado, son: 1) suministro estable de agua para la industria, especialmente en el área Cali-Yumbo. 2) Reducción del costo de operación de la planta de purificación del agua, recientemente terminada en Cali. 3) Reducción del costo de construcción y operación de futuras plantas de tratamiento de aguas negras que descargarán en el río. 4) Aumento del nivel del río en aguas mínimas y mejor apariencia estética, lo cual será benéfico para la navegación y recreación.

3 INVESTIGACIONES E INFORMES PREVIOS

El sitio de Timba, por su localización estratégica en las cabeceras del Valle, fué seleccionado desde hace algún tiempo para la construcción de estructuras hidráulicas.

En su informe "Report on the Studies for Hydraulic Development of the Cauca Valley" de Julio de 1.947, Parsons, Brinckerhoff, Hogan and McDonald, sugirió al Departamento la construcción de una presa de desviación para irrigación en La Balsa.

En su informe "Plan General de Electrificación", presentado en 1.950, Olap propuso por primera vez, al Departamento del Valle, la localización en este sitio de una presa que tuviera varios propósitos. Esta sugerencia también fué presentada en el informe "Plan General para Irrigación" presentado al Departamento del Valle en 1.950. El principal objetivo de este proyecto preliminar fué la regulación del caudal del Cauca para control de avenidas e irrigación. El ni-

vel máximo de las aguas estaría a El. 1025 m. y la instalación tendría una capacidad generadora de 100.000 Kw. En la distribución de costos, el 28% de los costos de construcción (excluyendo la planta generadora) se cargaron a la producción de energía.

En los informes escritos después de la excepcional avenida de 1.949-50 (los informes de OLAP: Proyecto de Aguablanca, 1.951; Plan para el Fomento Económico de la Zona del Valle) se indicó que para proveer protección adecuada contra avenidas de esa magnitud sería necesario que, además del embalse de Timba y la protección local en la zona plana del Valle, se construyera en Salvajina una presa mucho más alta que la inicialmente propuesta (150 m. en vez de 114 m.)

En el informe "Plan Nacional de Electrificación" de Gibbs & Hill y Electricité de France, sometido al Gobierno Nacional de

1.954, se recomendó una planta hidroeléctrica en Timba con una capacidad instalada de 50.000 kw.

El informe de 1.955 del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento consideró dos alturas de presa para Timba: 40 m. y 50 m. En ambos casos la capacidad hidroeléctrica sería de 75.000 kw. La Misión del Banco recomendó el estudio de ambas soluciones en vista de que la presa de mayor altura podría representar beneficios suficientemente valiosos para justificar mayores inversiones. El informe de la Misión contiene datos que indican que: (a) La presa alta en Salvajina junto con la presa baja en Timba habrían protegido contra la inundación excepcionalmente prolongada de 1.949-50, sin

necesidad de obras para el mejoramiento del cauce del Río Cauca. (b) La presa baja en Timba junto con mejoras adecuadas del cauce del río, suficientes para aumentar su capacidad en Juanchito a cerca de 850 m³/s. daría protección suficiente contra las avenidas durante 9 de cada 10 años. Sin embargo, el informe recalzó, que las apreciaciones presentadas eran sólo tentativas, debido al carácter preliminar de los datos que le fueron suministrados a la Misión.

Todos los informes mencionados anteriormente fueron elaborados en condiciones muy desventajosas por la falta de datos básicos, tales como información relativa a la topografía y al subsuelo.

CAPITULO 2

OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. CONTROL DE AVENIDAS Y DRENAJE

El cauce del Río en La Balsa, aguas abajo de la futura presa de Timba, tiene una capacidad de unos 550 m³/s. solamente; en este sitio las aguas se salen de su cauce en promedio dos veces al año. En Juanchito, donde el cauce tiene una capacidad de unos 650 m³/s., las aguas se desbordan con la misma frecuencia. El área de drenaje en La Balsa es de 5.480 km². En Juanchito es de 9.060 km² o sea 65% mayor que en La Balsa, siendo la capacidad del cauce solamente 30%

mayor.

Esta anomalía aparente es explicable por el hecho de que las aguas, al salirse de su cauce en la zona plana entre La Balsa y Juanchito, producen embalses naturales que limitan los caudales agua abajo.

Los siguientes datos tomados de avenidas pasadas, muestran cómo el flujo en Juanchito es siempre menor que en La Balsa.

LA BALSA

JUANCHITO

Fecha	Caudal Max. m3/s.	Fecha	Caudal Max. m3/s.
Mayo 3/49	1225	Mayo 4/49	603
Feb. 10/50	1225	Feb. 11/50	1004
Nov. 22/49	1075	Nov. 27/49	816
Dic. 16/49	1000	Dic. 19/49	756
Feb. 21/47	977	Feb. 22/47	556
Dic. 11/54	931	Dic. 15/54	822
Nov. 27/53	885	Nov. 29/53	814

En la zona plana del Valle del Cauca, aguas abajo de La Balsa (véase Fig. 2-1), el área sometida a más frecuentes inundaciones por las aguas del Cauca (no incluyendo zo-

nas inundadas por los afluentes) es la parte situada agua arriba de Buga, como se puede observar en el siguiente cuadro:

Avenida	Area inundada aguas arriba de Buga	Area inundada aguas abajo de Buga	Area Total inundada
Promedio	41.000 ha.	15.700 ha.	56.900 ha.
1949-50	47.800 ha.	36.600 ha.	84.400 ha.

Las riberas del río Cauca son más altas que las tierras adyacentes. Como consecuencia, los daños por riadas se extienden más a-

llá de la zona de 84.400 ha., sometida a inundación directa, de dos maneras: Primero, las aguas estancadas detrás de las riberas pro-

ducen un ascenso del nivel de aguas subterráneas en zonas adyacentes a la parte inundada; el ancho de estas zonas es de 1.5 km. aguas arriba de Buga y de 0.5 km. aguas abajo, lo que corresponde a superficies de cerca de 30.000 y 10.000 ha. respectivamente; el control de avenidas del Río Cauca beneficia entonces cerca de 125.000 ha., o sea más del 30% de la zona plana del Valle. Segundo, debido a los remansos formados por el río, las inundaciones se extienden a las zonas adyacentes a las desembocaduras de muchos de los afluentes.

Grado de protección contra avenidas: En la actualidad prácticamente toda el área sometida a inundaciones es agrícola. En el caso de existir áreas urbanas se justificaría un alto grado de protección, con el fin de evitar pérdidas catastróficas producidas por las grandes avenidas que ocurren una vez cada 50 o 100 años. Para terrenos dedicados a la explotación agrícola es generalmente más económico permitir inundaciones ocasionales que hacer grandes gastos para protegerlos de tales avenidas.

En el caso del Valle del Cauca, el grado de protección que se debe dar a las tierras agrícolas no debe ser mayor que el necesario para protegerlas de avenidas con frecuencia de una vez en 10 años. El período promedio de cultivo en la zona plana es de 6 meses; en tal caso si el área es inundada una vez en 10 años, habría una pérdida de una cosecha en cada 20 o sea del 5%. Tal riesgo no disuadiría a los agricultores de seguir explotando sus tierras. Si se llevara a efecto un alto grado de protección, como para inundaciones que ocurren cada 50 años, las pérdidas serían de una en 100 cosechas (1%); sin embargo, el costo de protección sería mucho mayor y sólo se conseguiría una disminución del 4% en las pérdidas.

Balance económico entre las mejoras del cauce y el embalse de Timba:

El grado de protección deseado se obtiene por medio de un embalse y por mejoras del cauce del río. La combinación más económica de embalse y mejoras del río será la que produzca el menor costo combinado teniendo en cuenta el valor de la energía eléctrica producida, así como el costo total de las obras de control de avenidas.

Con respecto al embalse, sólo el de Timba será considerado. Aunque el de Salvajina

ayudará a proteger contra avenidas, su efecto se ha omitido por las siguientes razones: a) El proyecto de Timba será construido primero y producirá mayor protección contra avenidas (Controlará 38% más área de drenaje que Salvajina); b) Entre la construcción de Timba y la construcción de Salvajina podría transcurrir un tiempo considerable.

En el informe sobre Desarrollo Coordinado de enero de 1.956, se hizo un análisis detallado sobre la utilidad del embalse de Timba para control de avenidas y para generación de energía. Se concluyó que el máximo valor económico se obtendría bajo las siguientes condiciones:

1) Operación del embalse de Timba de acuerdo con la curva de operación de la figura 4-2 según la cual, (a) 305Mm³ (sin tener en cuenta el volumen total de embalse aprovechable de 430 Mm³) de capacidad del embalse, estarían disponibles para control de riadas, durante el período comprendido entre noviembre 15 y febrero 1^o de cada año.

(b) De junio 15 a agosto 31 no habría espacio de almacenamiento para control de riadas y (c) El resto del año habría cantidades intermedias de almacenamiento para ese uso. La disminución de los niveles en el embalse, en época de avenidas, resultaría en menor generación de energía durante los años de caudales medios.

Sin embargo, durante los años secos no habría pérdida en la generación de energía, es decir la operación del embalse de acuerdo con esa curva no produciría pérdidas en la capacidad firme.

2) Construcción de obras de mejoras del cauce del Cauca que consistirían en 38 km. de rectificación del cauce del río y 98 km de jarillones de unos 2 m. de altura.

El costo de estas obras sería de \$ 16 millones más US \$ 3.6 millones. (actualmente estimado en \$ 24 millones más US\$ 4 millones).

El efecto combinado del embalse de Timba con las mejoras del cauce, en el caso de la avenida más fuerte registrada y de la "avenida promedio", se compendia en el cuadro 2-1.

CUADRO 2-1

EFFECTO DEL EMBALSE DE TIMBA SOBRE CONTROL DE AVENIDAS

(Cantidades en metros cúbicos por segundo)

	Avenida de 1.949—50	Avenida Promedio
La Balsa (Capacidad actual del cauce 550 m ³ /s, futura capacidad del cauce 790 m ³ /s.)		
Sin Timba	1.225	860
Con Timba	790	660
Juanchito, sin mejoras del cauce (Capacidad actual del cauce 650 m ³ /s.)		
Sin Timba	1.000	870
Con Timba	870	870
Juanchito, con mejoras del cauce (Capacidad futura del cauce 870 m ³ /s.)		
Sin Timba	1.500	1.050
Con Timba	870	870

2. ENERGIA

Generación: En el informe sobre Desarrollo coordinado se programó el comienzo de la construcción de la Planta Hidroeléctrica de Timba para 1.957, a fin de iniciar su

operación en 1.961. Se esperaba que para 1.961 estarían disponibles las siguientes plantas en el sistema que se llamó "Sistema B".

		Kw instalados
Hidroeléctrica de Anchicayá	64.000	
Termoeléctrica de Yumbo	25.000	" "
Hidroeléctrica de Calima	120.000	" "

Se estimó, en dicho informe, que la capacidad disponible sería de 212.000 kw, incluyendo otras pequeñas plantas en el sistema de la C.V.C. sin embargo, en este estimativo se supuso, para principios de 1.959, una pérdida de almacenamiento en el embalse de Anchicayá, debida a la sedimentación, de sólo 300.000 m³ sobre los 2'300.000 m³ de capacidad total. Actualmente se sabe que la rata de sedimentación es mucho más alta. Los estimativos actuales muestran que la capacidad generadora de Anchicayá será de 54Mw en el sistema "B", o sea 10.0 Mw menor que la capacidad instalada.

Otras diferencias son: La capacidad instalada en Yumbo fue de 20.0 Mw en lugar de 25.0 Mw; 6.0 Mw. de generación diesel fueron instalados en Buga, por la Cía. Colombiana de Electricidad; se ha supuesto que la interconexión con Buenaventura será pospuesta; plantas hidroeléctricas pequeñas, de menos de 0.8 Mw. de capacidad no han sido tenidas en cuenta.

Como resultado, se calcula que la capacidad firme del sistema "B" (Cuadro 2-2) es 190 Mw.

CUADRO 2-2

**CAPACIDAD DE GENERACION ACTUAL Y FUTURA
EN LOS TABLEROS DE LAS PLANTAS**

(Megavatios)

A. INSTALACIONES EXISTENTES

Planta	Capacidad Instalada	Capacidad de picos, aguas mínimas
1. Hidroeléctricas pequeñas pequeñas (a)		
Hidroeléctricas en Cali	2.2	1.2
En el Departamento del Valle		
Nima	7.5	5.0
Guadalajara	1.3	0.9
Tuluá y Riofrío	2.8	1.9
En el Departamento del Cauca		
Asnazú II	1.5	1.0
Piendamó	1.6	0.8
La Florida	2.1	1.0
Sajandi	2.4	1.0
Total pequeñas hidroeléctricas	21.4	12.8
2. Térmicas pequeñas.		
Diesels en Cali	9.8	8.8
Diesels en Buga	6.0	6.0
Total, térmicas pequeñas	15.8	14.8
3. Yumbo, unidades 1 y 2	20.0	20.0
4. Hidroeléctrica de Anchicayá	64.0	37.4 (b)
CAPACIDAD TOTAL EXISTENTE	121.2	85.0

	Capacidad Instalada	Energía firme	Capacidad firme	Reservas
B. INSTALACIONES FUTURAS.				
Sistema existente (Sistema A.)	121	51 (c)	85	0
Calima I.	120		88	32
Aumento en Anchicayá			17 (d)	
Total, Sistema B.	241	114 (e)	190 (f)	32
Timba	60		60	
Aumento en Anchicayá			8 (d)	
Disminución de Reservas			2	2
Total, Sistema C	301	156 (e)	260 (f)	30

- (a) Se omitieron plantas hidroeléctricas con capacidad de pico menor de 0.8 Mw.
- (b) Después de la conexión de Yumbo; con caudal mínimo diario; Pondaje disponible, 1.6 Mm³.
- (c) 60% de la capacidad firme.
- (d) Con pondaje disponible de 0.5 Mm³; capacidad firme de Anchicayá para un Caudal mínimo semanal; 54 Mw en el Sistema B y 62 Mw. en el Sistema C.
- (e) Deducido del estudio de registros de caudales.
- (f) Limitada por la energía firme y un factor de carga de 60%.

Un nuevo cálculo para el sistema C (incluyendo Timba), basado en los registros de caudales entre 1946 y 1955 inclusive, da como resultado una capacidad firme de 260

Mw y reemplaza el estudio correspondiente que se hizo en el Informe sobre Desarrollo Coordinado (basado en registros entre 1.946 y 1.953.

El efecto de Timba se puede resumir como sigue:

	Sistema B. (Sin Timba)	Sistema C. (Con Timba)	Aumento de- bido a Timba
Capacidad (Mw)			
Firme, plantas del sistema B	190	200	10
Firme, en Timba		60	60
Reserva	(32)	(30)	(-2)
Firme total	190	260	70
Energía firme anual			
(Millones en kwh)			
Plantas del sistema B.	1.000	1.029	29
Timba		338	338
Total	1.000	1.367	367

Demanda: La demanda de energía calculada para mediados de 1.960 en el informe sobre Desarrollo Coordinado, (de 1.955), fué de 189 Mw. lo que indica que, aún omitiendo las reservas, habría escasez de energía hasta cuando Timba comenzara a funcionar.

Desde 1.955, sin embargo, dos factores importantes han interferido con el crecimiento libre de la demanda: La falta de capacidad generadora y la mala situación económica del país.

Con respecto a la capacidad de genera-

ción, la sequía durante los meses de julio, agosto y septiembre de 1.957, junto con el atarquinamiento progresivo del embalse, disminuyeron la capacidad de la planta de Anchicayá.

El sistema CHIDRAL, incluyendo los Diesel de Cali, que tuvieron que generar casi continuamente, pudo suministrar un pico de solamente 37.000 kw. La demanda potencial era mucho mayor que ésto, como lo indican los bajos voltajes predominantes en esa época y el hecho de que muchas de las plantas privadas tuvieron que empezar a funcionar.

Una vez terminada la sequía, a mediados de Septiembre, tanto la generación como la demanda aumentaron rápidamente; para Octubre 11 de 1.957 la demanda de Cali llegó a ser de 45.500 kw con una generación correspondiente de 48.500 kw. incluyendo pérdidas en transmisión. Se llegó a esta demanda a pesar de las restricciones impuestas y de los bajos voltajes debidos a distribución deficiente.

Lo sucedido durante la época de sequía de 1957, muestra claramente la influencia ejercida en la demanda por una insuficiencia en la capacidad generadora.

Con respecto a la planta térmica de Yumbo; se espera que la Unidad N° 1, de 10.00 kw, estará terminada en Junio de 1.958 y que la Unidad N° 2, de la misma capacidad, será terminada para fines del año.

Como la terminación de la planta de Yumbo está pendiente, ni ha sido posible suministrar energía libremente a los consumidores y se han tenido de imponer restricciones, exigiendo el pago de \$ 100.00 por la instalación de cada kva. para nuevos clientes industriales o domésticos.

Las dificultades financieras de Colombia que empezaron a mediados de 1.956, han causado un aumento progresivo en el costo del dólar. Como resultado se calcula que el costo de combustibles y lubricantes para las plantas Diesel ha aumentado de 4 a 8 centavos por kwh. Las tarifas en las localidades servidas por plantas Diesel, fuera de Cali, han subido, por lo tanto, a 15 y aún 22 centavos por Kwh.

Otro efecto de las dificultades financieras han sido el que se impongan restricciones en la importación de maquinaria industrial y aparatos eléctricos de uso doméstico. Con la reciente estabilización política se espera, sin embargo, que el país se recuperará y empezará pronto a progresar económicamente.

Además de aumentar los precios de combustible y restringir las importaciones, los problemas económicos han sido una de las causas del aplazamiento de la construcción de la planta hidroeléctrica de Calima y de la red de transmisión, planeadas por la C.V.C.

La discusión anterior, sobre la demanda de energía, se ha presentado con el fin de determinar cuándo va a ser necesaria la energía producido por Timba. (La demanda de energía se discutió en detalle en el Informe sobre Desarrollo Coordinado). Teniendo en cuenta los factores descritos, se calcula que ha habido un retraso de más de 3 años con respecto a la predicción de la demanda que se hizo en el Informe sobre Desarrollo Coordinado. De acuerdo con esto, la demanda pico de 190 Mw se alcanzará a fines de 1.963. Como Calima tiene alguna capacidad de reserva y como la época de sequía se presenta en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, la terminación de Timba puede posponerse hasta mediados de 1.964.

Operación del embalse de Timba para generación de energía.

La operación del embalse de Timba, para generación de energía, estará subordinada a las necesidades primarias de control de avenidas. La curva de operación (Fig. 4-2) muestra que, desde el comienzo de la estación de lluvias en Noviembre hasta el 1° de Febrero, deben estar disponibles 305 Mm³. Para almacenamiento, (El. 1015 a El. 1025). Desde el 1° de Febrero hasta el 15 de Junio, este volumen puede llenarse gradualmente hasta conseguir que el embalse esté completamente lleno para comienzos de la estación seca. La central hidroeléctrica será diseñada para un nivel mínimo a la El. 1010 en el embalse, contando así con un almacenamiento adicional de 125 Mm³. (El. 1010 a El. 1015) para generación durante años muy secos.

Operando el embalse de esta manera, será posible tener una capacidad de picos de 60.000kw. bajo cualquier condición de caudal.

Durante las épocas secas, parte del agua del embalse deberá salir continuamente, para suplir la demanda de la irrigación. Por tal motivo, durante la época seca, parte de la planta hidroeléctrica de Timba deberá operarse con base en el gráfico de carga.

Caudales en exceso de aquellos requeridos para irrigación continua, serán utilizados para satisfacer la demanda de los picos de la carga. La pérdida de energía firme será menor del 0.1% de la energía firme total disponible.

3. IRRIGACION

Por medio de canales que parten del canal de fuga de la Planta Hidroeléctrica de Timba, será posible irrigar por gravedad 79.000 ha. netas, de las cuales 56.000 ha. (área 1A) estarán en la margen derecha desde La Balsa hasta el Río Sonso cerca de Guacará (una distancia de 96 km.) y 23.000 ha. (área 1C) en la margen izquierda, entre La Balsa y Cali. Además, un área de 34.000 ha. (área 1B) localizada a un nivel más alto que el canal de la margen derecha puede ser irrigada por una serie de pequeñas estaciones de bombeo instaladas a lo largo del canal. El área total irrigada por los canales que parten de la planta hidroeléctrica será de 113.000 ha. netas.

La zona plana del Valle (excluyendo el Valle del Río Risaralda) es de 280.000 ha. Las 113.000 ha. irrigadas por Timba representan el 42% de esta zona.

De las 167.000 ha. restantes, 108.000 podrían ser irrigadas por los tributarios y por aguas subterráneas, mientras que 59.000, localizadas en su totalidad aguas abajo del Río Sonso, serán irrigadas por bombeo desde el Río Cauca. El agua necesaria para estas 59.000 ha. será tomada de las dos fuentes siguientes: (a) "Agua de retorno y (pérdidas en la irrigación agua arriba o en tierras más altas) de las 113.000 ha. irrigadas por Timba, y (b) agua de retorno de las 108.000 ha. irrigadas por agua de los afluentes o por agua subterránea (que no hayan sido utilizadas en las áreas 1A, 1B y 1C).

La fuente (a) suministrará aproximadamente dos tercios del agua necesaria para las 59.000 ha.; se puede decir entonces que Timba va a irrigar 113.000 más dos tercios de 59.000 o sea un total de 152.000 ha. que representan el 53% del área de la zona plana.

La época de demanda máxima es en Julio. Dicha demanda para las áreas abastecidas por Timba se resume en el cuadro 2-3.

Para determinar las cantidades allí indicadas se tuvo en cuenta un caudal mínimo suministrado por los afluentes y por los caudales de retorno de las tierras más altas; esto explica, por ejemplo, por qué es relativamente menor la demanda en el área IB que es el área IA.

Las demandas de agua se calcularon con base en un supuesto plan de cultivos y de acuerdo con los datos disponibles sobre la cantidad de agua requerida por dichos cultivos.

Es evidente que estas demandas tendrán que ser revisadas con base en la experiencia real obtenida en la irrigación intensiva del Valle del Cauca. Es prudente por el momento, diseñar las bocatomas de los canales de irrigación, en el canal de fuga, con una capacidad algo mayor, por ejemplo un 25% mayor que la calculada. De esta manera la bocatoma de la margen derecha será diseñada para una capacidad de 56 m³/s. y la de la izquierda para una capacidad de 16 m³/s.

La operación del embalse para la irrigación tendrá muy poco efecto sobre la energía firme generada, como se describió en la sección precedente.

El canal de la margen izquierda se extenderá hasta Cali, y podrá ser de utilidad a la ciudad, en el futuro, como fuente de abastecimiento para el acueducto, ya que las aguas del canal tendrán menor turbidez y menor demanda bioquímica de oxígeno que las del Río Cauca.

CUADRO 2-3

DEMANDA DE IRRIGACION EN JULIO

Nombre	A R E A Localización	Area en ha. (Neta)	Demanda de agua en Julio en m ³ /s.	
			Total	Parte abastecida por Timba
Parte I - Abastecida directamente por Timba.				
1A	Margen derecha, La Balsa a Río Sonso (por gravedad)	56.000	45	36
1B	Margen derecha, La Balsa a Río Sonso (por bombeo del canal de la margen derecha).	34.000	24	9
1C	Margen izquierda La Balsa a Cali, (por gravedad)	23.000	16	13
TOTAL		113.000	85	58
Parte II - Abastecida indirectamente por Timba.				
2A	Margen derecha, Río Sonso a Río Bugalagrande, (por bombeo del Río Cauca).	33.000	22	15
2B y 2C	Ambas márgenes, aguas abajo de Roldanillo y Zarzal (por bombeo del Río Cauca).	26.000	14	9
TOTAL		59.000	36	24

Nota: Las áreas mencionadas pueden verse en el mapa de la Fig. 9-2 del informe sobre Desarrollo Coordinado.

4. DESVIACION CAUCA - PACIFICO

El proyecto de Timba hará posible una desviación substancial de las aguas del Río Cauca, hacia la vertiente del Pacífico, a través del Río Dagua, con el fin de utilizar la caída de 950 m. entre el nivel del Río Cauca en Vijes y el nivel del Océano Pacífico, para grandes aprovechamientos hidroeléctricos. En efecto, el caudal mínimo, sin regulación, registrado en Juanchito es de 58 m³/s.; esta

cantidad no es suficiente para irrigación y por lo tanto sin Timba, no quedaría agua disponible para una desviación continua al Pacífico.

Al construirse el embalse de Timba, el caudal mínimo aumentará considerablemente; la cantidad de agua disponible para desviación hacia el Pacífico, depende sin embar-

go, de la cantidad que haya que usar para irrigación. Un estudio al respecto, presentado en el Apéndice D, indica que durante 10 años por lo menos, después de terminado Timba, habrá 100 m³/s. disponibles para desviar hacia el Pacífico, suponiendo que para esa época sólo la mitad del área total irrigada se habrá desarrollado intensivamente.

Un mayor desarrollo traerá consigo una disminución gradual del flujo disponible para desviación hasta llegar a 70 m³/s., cuando se alcance el completo desarrollo de la región. Sin embargo, si entretanto se construye Salvajina, el mínimo caudal para des-

viación puede aumentarse hasta 110 m³/s., aún con un completo desarrollo agrícola.

Podrá contarse con caudales aún mayores, aunque no durante el 100% del tiempo. Estos caudales aparecen en el cuadro 2-4.

En Noviembre de 1.957, se publicó un informe referente al desarrollo hidroeléctrico Cauca-Pacífico, que describe la capacidad de generación disponible (de acuerdo con los caudales del cuadro 2-4 y las caídas aprovechables), e incluye reconocimientos de los diferentes sitios para casas de máquinas y un programa para las investigaciones necesarias en el futuro.

CUADRO 2-4
DESVIACION HACIA EL PACIFICO
(Metros cúbicos por segundo)

	Por ciento del tiempo disponible		
	100	90	80
I — Con Timba solamente y la mitad del Valle desarrollado.	100	110	120
II — Con Timba solamente y todo el Valle desarrollado	70	85	100
III— Con Timba y Salvajina y todo el Valle desarrollado	110	120	130

5. OBJETIVOS VARIOS

Suministro de agua para consumo industrial y doméstico:

El embalse de Timba aumentará el caudal mínimo de Juanchito de 58 m³/s. a más de 100 m³/s. y reducirá considerablemente el contenido de sedimentos y materia orgánica de las aguas del río. También la temperatura del agua, en época de caudal mínimo, será menor que la existente en las condiciones actuales. Estos factores serán ventajosos para el consumo industrial y doméstico.

Las fuentes de abastecimiento utilizadas hasta ahora para la ciudad de Cali, son el Río Cali y algunos pozos profundos. El primero suministra 70.000 m³/diarios y los últimos 8.000 m³ diarios.

La ampliación que actualmente se está

llevando a efecto en los servicios de acueducto, prevé la utilización de 3 m³/s. (260.000 m³ diarios) del río Cauca. El embalse de Timba, reducirá el costo del tratamiento de las aguas y permitirá el suministro de agua de mejor calidad.

Cuando el canal de irrigación de la margen izquierda llegue hasta Cali, la ciudad podrá contar con agua aún mejor que la del Río Cauca.

Una vez construidos Timba y las obras de mejoras del cauce del Río Cauca, el curso del río estabilizará al tiempo que se reducirán los peligros de inundación. El aumento en el caudal mínimo y el mejoramiento

to en la calidad del agua serán de gran utilidad para las industrias que requieren gran cantidad de este elemento en sus procesos. Con la reducción de los peligros de inundación, la localización a lo largo del río será ventajosa para las industrias, que obtendrán así el máximo beneficio de esa fuente de abastecimiento.

Contaminación del agua: El almacenamiento en el embalse de Timba clarificará y purificará el agua en alto grado. El aumento del caudal mínimo y el mejoramiento de la calidad del agua, simplificarán y reducirán el costo del tratamiento de aguas negras para la ciudad de Cali y demás poblaciones a lo largo del río.

Recreación y navegación: El gran lago creado por la Presa de Timba constituirá un centro de pesca, navegación y natación.

Así también, la clarificación de las aguas del Cauca y las mejoras del cauce, me-

jorarán las condiciones para natación, navegación y pesca a lo largo del río.

El embalse de Timba beneficiará la navegación en el río al reducir la frecuencia y severidad de las avenidas y aumentar el caudal en épocas de estiaje. El mejoramiento del cauce del Río, para control de avenidas, facilitará aún más la navegación: estos beneficios no serán posibles, al menos en la porción aguas arriba de Cali, sin el embalse de Timba.

Aunque existen vías de comunicación paralelas al río, el transporte de artículos muy voluminosos como carbón, ganado y granos se podrá efectuar con provecho económico, por vía fluvial.

Si se construye una presa de desviación en Vijes, en conexión con la desviación del Cauca al Pacífico, los beneficios de la navegación se limitarán al sector del río al sur de Vijes.

CAPITULO 3

HIDROLOGIA

1. PRECIPITACION ANUAL Y MENSUAL

El informe sobre Desarrollo Coordinado incluye una lista estaciones pluviométricas en la hoya hidrográfica del río Cauca y en el área adyacente y un mapa isopluvial con la precipitación anual promedio y sus varia-

ciones en la región.

La precipitación media anual en puntos importantes de la hoya del río Cauca, se presenta en el cuadro 3-1.

CUADRO 3-1

PRECIPITACION EN LA HOYA DEL RIO CAUCA

Hoya	Area de Drenaje	Precipitación media
	(km ²)	Anual (mm)
Río Cauca en Suárez	3.960	1.860
Río Cauca en La Balsa	5.480	1.885
Río Cauca en Juanchito	9.060	1.855
Río Cauca en La Virginia	21.090	1.710

(Sin incluir el área de drenaje de Risaralda)

La precipitación media mensual en dos puntos representativos de la parte superior de la hoya del río Cauca, arriba del sitio de

la presa de Timba, se incluye en el cuadro 3-2 (En una misma parte central de la hoya hidrográfica entre Timba y Cartago).

CUADRO 3-2
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
(milímetros)

Estación	Universidad de Popayán		Piendamó		La Manuelita	
	Período de Observación		Período de Observación		Período de Observación	
	1929 - 35 1944 - 56		1932 - 55		1900 - 54	
Mes	Total	%	Total	%	Total	%
Enero	179	9.7	216	10.2	72	6.4
Febrero	172	9.3	221	10.4	79	7.1
Marzo	146	7.9	178	8.4	111	9.9
Abril	145	7.8	194	9.1	145	12.9
Mayo	132	7.1	207	9.8	131	11.7
Junio	86	4.6	102	4.8	71	6.3
Julio	49	2.7	39	1.8	37	3.3
Agosto	34	1.8	34	1.6	43	3.9
Septiembre	98	5.3	103	4.9	70	6.3
Octubre	262	14.2	284	13.4	142	12.7
Noviembre	314	16.9	313	14.8	128	11.4
Diciembre	236	12.7	230	10.8	91	8.1
Anual	1.853	100.0	2.121	100.0	1.120	100.0

El cuadro 3-3 contiene los datos mensuales completos registrados en las 2 estaciones de Popayán.

CUADRO 3-3

PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL EN POPAYAN

(milímetros)

Parte A.— Universidad de Popayán

Año	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Agt.	Sept.	Annual
1929-30	142.3	126.6	233.4	198.9	123.1	104.1	164.0	42.3	95.9	25.7	26.3	37.4	1.320.0
30-31	309.6	237.2	250.1	120.9	284.3	96.5	141.8	156.7	50.1	103.8	8.8	117.8	1.877.6
31-32	193.7	522.0	195.3	255.3	157.8	92.1	73.1	108.1	48.0	15.0	33.9	92.7	1.757.0
32-33	228.5	239.6	223.2	231.2	83.6	97.3	160.6	121.2	158.6	99.9	99.7	122.5	1.865.9
33-34	196.6	621.0	391.2	110.2	283.3	101.3	52.6	131.7	97.4	24.6	58.2	160.4	2.228.5
34-35	381.4	423.0	184.3	180.6	220.9	119.4	214.2	150.5	177.0				
1943-44													
44-45	164.5	127.3	242.1	103.5	127.9	61.2	185.1	165.2	154.7	40.3	19.0	73.9	1.318.9
45-46	228.3	392.3	207.6	189.7	182.9	102.5	120.4	132.6	25.7	8.7	23.3	84.4	1.638.6
46-47	273.2	290.0	228.6	168.6	220.7	162.4	60.2	154.5	16.8	11.9	0.9	52.7	2.014.0
47-48	300.5	237.5	112.7	143.3	278.5	176.1	216.7	94.5	77.8	121.5	85.1	171.4	1.725.1
48-49	388.8	209.6	203.9	235.0	110.9	138.1	123.4	125.1	19.3	50.1	20.6	75.3	1.830.3
49-50	426.1	338.3	231.3	276.3	286.8	236.6	239.3	238.9	127.4	36.1	41.8	105.6	2.558.0
50-51	201.4	424.2	211.6	195.6	60.9	165.4	102.8	140.4	20.7	49.8	24.3	58.1	1.655.2
51-52	172.9	267.8	225.8	259.4	101.9	199.0	98.4	138.0	28.8	40.5	10.6	55.8	1.598.9
52-53	158.2	280.0	234.4	116.5	70.9	217.9	95.5	92.0	107.4	26.3	5.4	198.8	1.597.3
53-54	278.1	355.1	247.2	68.6	131.8	175.3	249.9	77.7	110.7	55.5	23.6	16.7	1.790.2
54-55	316.1	272.6	236.2	204.5	157.0	268.8	197.5	152.2	104.6	97.5	45.0	122.8	2.174.8
55-56	291.1	375.3		207.6	204.3	118.0	120.6	152.6	132.0	14.7	40.9		
56-57	332.5	217.6	390.0										
Promedio	262.3	313.5	236.1	179.4	172.0	146.2	145.3	131.9	85.6	48.7	34.4	97.7	1.653.1

(Continúa).

CUADRO 3-3 - CONTINUACION

Parte B.— Aeropuerto de Popayán

Año	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Agt.	Sept.	Anual
1941-42	95.0	236.0	224.0	133.0	199.9	114.6	171.2	232.2	50.6	8.2	14.2	222.0	1.700.9
42-43	414.4	519.7	421.4	260.9	69.9	288.8	194.6	147.1	140.7	0.0	0.0	43.3	2.500.8
43-44	375.4	430.8	130.4	206.3	42.4	288.7	308.6	233.8	69.8	1.1	0.0	0.0	2.087.3
44-45	23.1	23.1	273.5	104.7	105.8	122.2	277.4	132.8	56.4	49.5	14.1	86.3	1.268.9
45-46	244.1	320.7	127.3	164.9	159.9	117.0	74.6	152.8	10.8	11.7	0.8	48.0	1.432.6
46-47	168.0	261.0	160.4	169.0	93.8	111.3	47.1	165.9	89.0	118.1	68.4	141.6	1.593.6
47-48	290.1	208.2	156.5	212.9	208.4	139.3	209.4	120.6	32.3	38.8			
48-49								73.6	76.1	89.2	54.5	96.2	3.045.7
49-50	402.5	361.3	74.0	360.3	303.8	387.1	353.3	359.7	217.7	12.5	35.6	177.9	2.445.5
50-51	334.0	683.3	433.9	222.1	110.1	224.9	77.5	214.4	27.2	51.5	26.2	40.4	1.451.2
51-52	182.1	233.1	186.3	236.0	157.1	222.9	66.8	106.0	41.2	17.3	2.4	91.7	2.062.4
52-53	297.1	304.4	341.2	151.8	87.1	212.8	107.4	156.6	121.3	48.3	7.3	227.1	2.122.0
53-54	380.0	500.5	327.4	69.9	132.0	188.2	269.6	74.6	117.9	12.3	39.6	10.0	2.122.0
54-55	372.0	389.4	299.5	296.3	194.7	215.0	209.9	137.9	95.6	37.8	14.6	134.4	2.397.1
55-56	468.6	468.6	436.1	273.5		193.5	142.4		108.0	3.3	12.4	196.4	
56-57	456.8		438.8	125.0									
Promedio	293.8	352.9	268.7	199.1	143.4	201.9	179.3	164.8	83.6	33.3	20.7	108.2	2.049.7

2. LLUVIAS TORRENCIALES

Las lluvias torrenciales en la parte superior de la hoya del Cauca son locales e irregulares, y presentan grandes variaciones con respecto a tiempo y lugar, aún en períodos menores de un día. Este fenómeno puede ser observado en la fig. 3-1, la cual presenta la precipitación diaria desde Enero 20 hasta Febrero 15 de 1.950, que constituye el período de mayor precipitación, durante las riadas de 1.949-50. Los gráficos de precipitación en esta figura muestran que las fuertes lluvias registradas en una estación rara vez coinciden con las registradas en las otras estaciones.

Otra característica de las lluvias torrenciales en la parte superior de la hoya del Cauca, es una escasa precipitación, compara-

da con la precipitación anual. Según los datos registrados durante 18 años en Popayán, la máxima precipitación durante 24 horas nunca ha excedido el 6% de la precipitación anual. Este bajo porcentaje contrasta con los altos valores observados en otras partes del mundo fuera de la zona ecuatorial, en la cual está situada la hoya. (Véase cuadro 3-4).

La baja precipitación en un período de 24 horas es explicable, por la localización de la hoya superior del Cauca en la zona ecuatorial, donde los vientos son moderados y los huracanes desconocidos. Además los vientos fríos del Norte, causantes de grandes lluvias en la Zona del Canal de Panamá, nunca pasan al Sur de los 8° de Latitud Norte.

CUADRO 3-4
COMPARACION DE PRECIPITACIONES MAXIMAS

(milímetros)

Región	Estación	Promedio Anual	Máximo en 24 hr.	Relación del Max. en 24 hr. al promedio anual.
Río Cauca	Univers. de Popayán	1853	111	0.060
Zona del Canal de Panamá	Aeropuerto de "	2050	109	0.053
	Colón	3233	346 (a)	0.107
Estados Unidos	New Orleans	1448	356	0.246
	Key West	963	344	0.357
	St. Louis	1008	223	0.221
	Washington D. C.	1029	186	0.181

(a) 15 Millas al este de Colón.

Los huracanes tropicales se presentan en el hemisferio Norte entre Junio y Noviembre, o sea cuando los vientos fríos del Norte llegan cerca de los 10° de latitud N. (Ver Referencia 1, al final del Capítulo.

Frecuencia: En la figura 3-2 aparecen curvas de precipitación vs frecuencia para a) Popayán, b) Piendamó, c) Precipitación

en 24 horas en la hoya del Cauca arriba de La Balsa y d) Precipitación en 5 días en la misma hoya.

En la misma figura aparecen curvas para la estación del Alhajueta en la hoya del Canal de Panamá y precipitaciones de 24 horas y de 5 días en esa hoya, de 3.420 Km², tomados de la referencia 1.

De la Fig. 3-2 se deduce que, en el caso de la hoya del Cauca, el aumento de intensidad de precipitación con la frecuencia es relativamente bajo. Esta conclusión se confirma con los datos sobre grandes avenidas que se muestran adelante y que indican que desde 1.916 las grandes avenidas han sido del mismo orden de magnitud; no existen evidencias de avenidas mayores desde la época

en que comenzó a ser poblado el Valle del Cauca en el Siglo XVI.

El gran aumento en intensidad de precipitación con la frecuencia en la hoya del Canal de Panamá se explica por los vientos polares que ocasionalmente alcanzan a llegar a esa región. (Véase referencia 1).

3. CAUDALES ANUALES Y MENSUALES

El cuadro 3-5 muestra los caudales del Río Cauca en La Balsa. Este cuadro es igual al B-8 presentado en el Informe sobre Desa-

rrollo Coordinado excepto por la adición de los datos del año 1.955-56.

CUADRO 3-5

Caudal medio mensual del río Cauca en La Balsa

(Metros cúbicos por segundo)

Año	Oct.	Nov.	Dic.	Enr.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Promedio
1945-46	140	301	275	234	147	175	176	205	124	82	96	55	166
46-47	71	163	196	172	158	102	90	118	142	139	112	120	132
47-48	286	343	191	135	115	194	274	206	159	98	82	63	179
48-49	132	184	157	195	211	177	183	245	186	143	110	85	167
49-50	189	539	527	350	693	529	437	515	404	280	179	147	295
50-51	177	370	451	311	289	259	198	243	175	165	99	111	396
51-52	126	266	270	231	223	170	180	253	163	127	97	87	235
52-53	82	198	321	196	172	133	181	193	145	112	76	60	181
53-54	218	420	427	182	178	163	289	211	164	161	136	62	156
54-55	192	344	508	363	197	267	273	275	218	201	125	59	218
55-56	248	334	517	566	398	294	222	225	257	182	153	113	257
Promedio													
1945-56	169	315	349	267	253	224	228	244	194	154	115	87	217

Rereferencia 1: "La máxima precipitación sobre la hoya del canal de Panamá" Informe Hidrometeorológico N° 4; Estación Experimental Canales E. U. Vicksburg, Mississippi, 1.943.

Variaciones del Caudal: La extensión a un período más largo, de los datos registrados en 11 años, se llevó a efecto con base en la siguiente información: a) La correlación de los caudales medios anuales en La Balsa y en Juanchito (ver Fig. 3-3), de los cuales hay datos registrados desde Oct. 1935; b) correlación entre el escurrimiento en Juanchito y la precipitación en La Manuelita donde hay datos registrados desde 1.903. (Ver fig. 4-4 en el Informe sobre Desarrollo Coordina-

do). Valores calculados con base en estas correlaciones se presentan en el cuadro 3-6 del cual se deduce que: a) El escurrimiento anual promedio en el período 1.903-1.956 es prácticamente el mismo que en el período 1.945-56. (1.248 mm. para el período 1945-1956 y 1.238 mm. para el período 1903-56); h) El año 1.949-50 fué probablemente el más húmedo en el período 1.903-56 y c) El año 1.946-47, que es el de más bajo escurrimiento durante el período de registro (1.945-56), puede usarse como base para el planeamiento de obras hidráulicas ya que los escurrimientos calculados para otros años nunca han sido menores del 90% de los de 1.946-47 (una diferencia del 10% no es mayor que el error probable de los cálculos).

4. AVENIDAS

Registros: Existen registros de avenidas en La Balsa desde Octubre de 1.955; las descargas máximas aparecen en el cuadro IV-9 del Informe sobre Desarrollo Coordinado. En dicho informe se incluyeron también datos de "riadas históricas" anteriores al período de registro. Estas riadas ocurrieron en los años 1.916, 1.932, 1.934 y 1.938.

Después de terminado el Informe sobre Desarrollo Coordinado se presentó una nue-

va riada, en Enero de 1.956, cuyas características se describen en el Cuadro 3-7.

Avenidas vs. lluvias torrenciales. -De la figura 3-1 y de la discusión antes presentada sobre lluvias torrenciales, se desprende que, debido a que las lluvias son locales e irregulares, el caudal promedio anual en La Balsa se puede relacionar mejor con la precipitación total en 5 días consecutivos que con la precipitación de un día.

CUADRO 3-6

RIO CAUCA EN LA BALSA

ESCURRIMIENTO ANUAL

(milímetros)

Año Pluvial	Escurrencimiento	Año Pluvial	Escurrencimiento	Año Pluvial	Escurrencimiento
1902-03	1320	1920-21	1527	1938-39	1231
03-04	1297	21-22	1820	39-40	811
04-05	710	22-23	1211	40-41	725
05-06	1076	23-24	1097	41-42	691
06-07	1113	24-25	1389	42-43	1523
07-08	1382	25-26	683	43-44	1277
08-09	1933	26-27	1099	44-45	1081
09-10	1525	27-28	1608	45-46	955
1910-11	1322	28-29	1117	46-47	760
11-12	1002	29-30	800	47-48	1030
12-13	1215	30-31	750	48-49	951
13-14	860	31-32	1020	49-50	2280
14-15	1036	32-33	1266	50-51	1352
15-16	1554	33-34	1679	51-52	1042
16-17	1509	34-35	1790	52-53	898
17-18	1173	35-36	1110	53-54	1254
18-19	1009	36-37	1253	54-55	1479
19-20	1962	37-38	1610	55-56	1698
			Promedio para el período		1238

Nota: Los escurrencimientos de 1.908 a 1.945 son calculados (Ver el texto).

En el siguiente cuadro se presenta un ejemplo de los cálculos de precipitación en 5 días.

Fecha	Precipitación 1 día (mm)	Precipitación 5 días (mm)	Fecha	Precipitación 1 día (mm)	Precipitación 5 días (mm)
3	0		12	3	32
4	0		13	6	33
5	0		14	10	35
6	0		15	11	34
7	0	0	16	0	30
8	5	5	17	0	27
9	8	13	18	0	21
10	12	25	19	0	11
11	4	29	20	0	0

Para determinar la precipitación en la Hoya, en la figura 3-1 se usó el método de distribución Thiessen. No pudo usarse un método más preciso, como el de mapas isopluviales, debido a la carencia de datos suficientes.

En la Fig. 3-4 se presenta el gráfico del máximo caudal diario en función de la pre-

cipitación en los cinco días precedentes; sólo se consideraron en este gráfico los caudales diarios mayores de 300 m³/s. La curva envolvente que se muestra, representa la descarga máxima diaria que es de esperarse en función de lluvias en 5 días. Esta curva envolvente se usó en la determinación de la riada de diseño del vertedero, según se describe en el párrafo siguiente.

CUADRO 3-7

VOLUMENES Y PICOS DE AVENIDAS

Río Cauca en La Balsa

Orden de Según Des- carga máx.	Orden de Magnitud		Año	Fecha de			Dura- ción en días	Des- carga máxima m ³ /s.	Volumen			
	Según Volú- men Total	Según Volumen en 24 horas		Comien- zo	Termi- no	Pico			Total		Max. en 24 horas	
									Mm ³	mm		Mm ³
1	2	1	1950	Ene 27	Feb 19	Feb 10	24	1225	1441.3	263	105.9	19.3
2	1	2	1956	Dic 25	Ene 20	Ene 1	26½	1225	1498.5	273.5	101.5	18.5
3	8	5	1949	May 3	May 4	May 3	1½	1225	95.7	17.5	78.2	14.3
4	4	3	1949	Nov 15	Nov 30	Nov 22	16	1075	858.4	156.6	88.1	16.1
5	5	4	1949	Dic 15	Dic 21	Dic 16	7	1000	395.4	72.2	78.4	14.3
6	9	9	1947	Feb 21	Feb 22	Feb 21	1½	977	77.0	14.0	61.1	11.2
7	7	8	1950	Nov 17	Nov. 19	Nov 19	2½	977	133.1	24.3	67.0	12.2
8	6	7	1955	Ene 3	Ene 6	Ene 5	4	950	260.5	47.6	71.5	13.1
9	3	6	1954	Nov 29	Dic 23	Dic 11	25	931	1207.5	220.3	72.5	13.2

Nota: En este cuadro están incluídas todas las avenidas registradas cuyos caudales excedieron 900 m³/s. o cuyos volúmenes máxi-
mos en 24 horas fueron mayores de 13 mm.

Riada de diseño del vertedero: Para su determinación se usó el siguiente método:

1) De la figura 3-2 se obtuvo la máxima precipitación probable en 5 días, correspondiente a una frecuencia de 1.000 años. Esta es más o menos la misma frecuencia usada para determinar la riada de diseño del vertedero en la hoya del Canal de Panamá (ver referencia 1).

2) El máximo caudal promedio diario,

Este hidrograma tiene las siguientes características:

Pico	6.000 m ³ /s.
Ancho de la base	3 días
Caudal base	400 m ³ /s. a 480 m ³ /s.
Volumen total (en 3 días)	685.000.000 m ³ o 125 mm.
Volumen sobre el caudal base (en 3 días)	571.000.000 m ³ o 104 mm.

La comparación de la riada de diseño con riadas registradas indica lo siguiente: la máxima riada registrada produjo un caudal pico del 1.225 m³/s. La riada de diseño pa-

para la riada de diseño del vertedero, se obtuvo de la curva envolvente en la Fig. 3-4.

3) Del estudio de hidrogramas para avenidas aisladas que ocurrieron en el pasado, se dedujo la forma del hidrograma correspondiente a la riada de diseño. Se hizo una esquema del hidrograma basado en parte en el caudal promedio máximo diario, determinado en el paso (2).

ra el vertedero tiene entonces un pico casi cinco veces mayor que la riada máxima registrada. Con respecto al volumen se puede hacer la siguiente comparación:

	Máxima riada registrada mm.	Riada de diseño mm.
Volúmen máximo en 1 día	19	65
Volúmen máximo en 2 días	36	109
Volúmen máximo en 3 días	53	125

La descarga máxima de 6.000 m³/s corresponde a un coeficiente K de Myers de 4.560 en la fórmula $Q = K \sqrt{A}$, donde Q es la descarga en pies cúbicos por segundo y A el área de drenaje en milla cuadradas.

En los Estados Unidos, el cálculo de la descarga pico para riadas del diseño de vertederos se basa en coeficientes de Myers del orden de 5.000 a 7.000. Por este motivo en

el Informe sobre Desarrollo Coordinado se adoptó un coeficiente de Myers de 6.000. Sin embargo, desde la preparación de dicho informe se han realizado estudios más extensos de los factores de precipitación. Con base en esos estudios y teniendo en cuenta que en la latitud ecuatorial es que se encuentra la hoya del Río Cauca los factores climáticos son menos severos, se ha adoptado un coeficiente de Myers de 4.580.

5. SEDIMENTACION EN EL EMBALSE

No existen mediciones directas de sedimentación, hechos con instrumentos especiales, para los ríos de la hoya del Cauca y á-

reas adyacentes. Sin embargo, las Empresas Municipales de Cali realizaron mediciones y análisis de muestra de agua del río Cauca,

en conexión con las investigaciones de la posibilidad de utilizar dicho río como fuente de abastecimiento para el Acueducto de esa ciudad.

Los resultados de estas medidas, resumidos en el Apéndice B del Informe sobre Desarrollo Coordinado, indican que el sedimento anual retenido en el embalse de Timba será de unos 3'000.000 m³. La capacidad del embalse de Timba es de 675 millones de metros cúbicos, (hasta el máximo nivel controlado El. 1025). Esta capacidad es equivalente a 230 años de acumulación de sedimentos. Sin embargo con la construcción del proyecto de Salvajina, la cantidad de sedimento precipitado en el embalse de Timba disminuirá a 1.700.00 m³ anuales, en cuyo

caso, la capacidad del embalse será equivalente a 400 años de acumulación.

Aunque la vida del embalse indica que la sedimentación no es un problema, se deben tomar medidas para obtener datos más completos sobre las características del sedimento del río y su hoya hidrográfica.

De acuerdo con la discusión del Capítulo XI del Informe sobre Desarrollo Coordinado, un programa de largo alcance para conservación y arborización de las tierras probablemente tendrá justificación económica con el aumento de la producción agrícola, fuera de que reducirá la rata de sedimentación y prolongará la vida del embalse.

6. EVAPORACION

Como no hay medidas directas de evaporación, para el Informe sobre Desarrollo Coordinado, se preparó un cálculo basado

en datos de temperatura, humedad y velocidad del viento. Los resultados fueron los siguientes:

Mes	Temperatura Promedio C°	Evaporación Calculada (mm)
Enero	24.5	127
Febrero	24.9	134
Marzo	24.7	133
Abril	24.5	112
Mayo	24.2	94
Junio	24.0	97
Julio	24.9	126
Agosto	24.9	153
Septiembre	24.8	147
Octubre	24.1	133
Noviembre	23.9	112
Diciembre	24.2	111
Anual	24.5	1.480

El programa para futuros estudios hidrológicos, descrito adelante, incluye reco-

mendaciones con respecto a las medidas de evaporación.

7. VIENTOS

La velocidad, duración y dirección de los vientos en las proximidades de Timba son de interés para el diseño de estructuras que resistan la acción de las olas. No existen medidas directas de las características de los vientos en las proximidades del sitio de la presa. Los datos horarios registrados en el Aeropuerto de Cali por un período de 20 años se hallan en los archivos de las oficinas de Avianca en Bogotá. Para este informe sólo se estudiaron detalladamente los

correspondientes al período comprendido entre Julio de 1.954 y Mayo de 1.957, los cuales se encuentran archivados en el Aeropuerto de Cali.

Los resultados de este estudio se condensan en la Fig. 3-5, e indican lo siguiente:

- a) La velocidad máxima observada en la torre de control fué de 40 nudos o sea 46 mph. ó 74 km. por hora. La



velocidad del viento al nivel del suelo debe ser un poco menor.

- b) Como los datos fueron tomados cada hora, se desconoce el tiempo en que el viento conservó su velocidad; sólo se sabe que la conservó por menos de una hora.
- c) La dirección del viento a máxima velocidad cambia rápidamente.

Comparados con los de otras localidades, los vientos del Valle del Cauca son mo-

derados y no alcanzan altas velocidades debido a la localización de la hoya superior del Río Cauca en una zona donde no ocurren huracanes.

La ausencia de vientos de alta velocidad es corroborada en cierta manera por la naturaleza de las construcciones en la zona plana del valle, incluyendo la zona del embalse de Timba. Estas construcciones son ligeras, generalmente con estructuras de guadua, lo cual indica que la velocidad de los vientos es relativamente baja.

8. FUTURO PROGRAMA HIDROLOGICO

Aunque existe suficiente información para el diseño del proyecto de Timba, se requiere una mayor cantidad de datos para planear la operación eficiente del proyecto con respecto al control de avenidas y a la generación de energía eléctrica. Además, se deben tomar medidas de sedimentos con el fin de evaluar este problema con mayor precisión y planear medidas de control de largo alcance.

El informe sobre Desarrollo Coordinado contiene recomendaciones con respecto a los programas de estudios hidrográficos y meteorológicos en toda el área de desarrollo de la C.V.C. Con respecto al proyecto de Timba, se debe llevar inmediatamente a efecto lo siguiente:

- a) Instalación de un limnógrafo en La Balsa para complementar la mira existente.
- b) Se debe aumentar el número de afo-

ros en La Balsa, para tener más datos, particularmente durante períodos de avenidas.

- c) Instalar las estaciones de aforos en la hoya hidrográfica arriba de Juan-chito (ver Cuadros B-13 y B-14, y la Fig. B-1 del Informe sobre Desarrollo Coordinado) lo más pronto posible para poder hacer estudios más precisos sobre lluvias y avenidas. Tales estudios serán de gran valor en la operación eficiente del embalse de Timba y de las obras de mejoramiento del cauce del Río Cauca.
- d) Una estación meteorológica de primera clase debe ser instalada en el sitio de la presa de Timba, equipada con instrumentos para leer y registrar todos los factores meteorológicos tales como presión atmosférica, temperatura, humedad, luz solar, lluvias viento y evaporación.

REFERENCIA 1:

"Maximum Possible Precipitation over the Papamá Canal Basin"; Hydrometeorological Report N° 4; U. S. Waterways Experiment Station; Vicksburg, Mississippi, 1.943.

CAPITULO 4

EL EMBALSE

1. NIVELES Y VOLUMENES DEL EMBALSE

Selección del nivel máximo: Además de la capacidad del embalse, los factores más importantes en la selección de su nivel máximo fueron: a) Las condiciones topográficas de las laderas que encierran el sitio de la presa; b) Las condiciones de cimentación en el sitio de la presa y c) Correlación entre el Proyecto de Timba y el de Salvajina. Los dos primeros factores afectan el costo directo del proyecto de Timba, mientras que el último, influye sobre la cantidad de energía generada en Salvajina la cual es afectada por el remanso producido por la presa de Timba.

Se escogió un nivel máximo a la El. 1025 después de efectuar estudios comparativos de los costos y ventajas con esta elevación y con la elevación 1035.

Para ambas alternativas se debe reservar un almacenamiento para el control de avenidas, de acuerdo con los siguientes principios: (ver descripción en el Capítulo 2 y explicación detallada en el Informe sobre Desarrollo Coordinado).

- a) El mínimo grado de protección aceptable se puede obtener con costo mínimo por medio de una combinación de almacenamiento en el embalse y de mejoramiento del cauce del río. Para la combinación más favorable, la capacidad del cauce del río Cauca debería aumentar a 790 m³/s en La Balsa y a 870 m³/s en Juanchito.

- b) Debe mantenerse una reserva de almacenamiento para el control de avenidas, de acuerdo con las demandas en cada época del año y evitando cualquier pérdida de la capacidad firme de generación.

En el proyecto con nivel máximo del embalse a la El. 1025, la capacidad de almacenamiento para control de avenidas es de 305 Mm³, la cual es suficiente, junto con el mejoramiento del cauce para proveer protección contra la peor avenida registrada, (Febrero de 1.950), cuya frecuencia se estima de una en diez años. En el proyecto alternativo, con un nivel máximo de embalse a la El. 1035, la capacidad reservada para control de avenidas es de 466 Mm³, (El. 1022 a El. 1035). Esta capacidad es suficiente para almacenar el exceso de caudal sobre la capacidad del cauce mejorado del río, en avenidas de frecuencia de una vez en 50 años. La protección contra esta clase de avenidas alcanzará por lo menos hasta Buga.

Las características de las dos alternativas junto con los costos comparativos y beneficios para cada una de ellas se compendian en el cuadro 4-1. De su comparación se deduce que la alternativa con nivel máximo del embalse a la El. 1025 es económicamente más ventajosa, puesto que tiene una mayor relación de beneficio-costos y una mejor inversión de capital. Por lo tanto, se adoptó esta alternativa.

CUADRO 4 - 1

COMPARACION DE ALTERNATIVAS DE NIVELES DE EMBALSE

(Costos en millones de pesos)

Nivel máximo controlado	El. 1025	El. 1035
<i>Características del proyecto</i>		
1. Capacidad de generación instalada, mw.	60.0	75.0
2. Número de unidades	2	2
3. Capacidad de cada unidad mw.	30.0	37.5
4. Generación promedio anual millones de kwh.	338	395 (a)
5. Factor de capacidad de la planta %	64	60 (a)
6. Capacidad reservada para control de avenidas, Mm ³	305	466
<i>Asignaciones de los costos totales del proyecto</i>		
7. Para generación de energía	118.6	151.8
8. " control de avenidas	47.5	63.0
9. " irrigación	12.9	15.2
10. Total	<u>179.0</u>	<u>230.0 (b)</u>
<i>Costo anual (c)</i>		
11. Energía	12.84	15.87
12. Control de avenidas	4.25	5.48
13. Irrigación	1.11	1.32
14. Total	<u>18.20</u>	<u>22.67</u>
<i>Beneficios anuales (h)</i>		
15. Energía (d)	13.83	16.31
16. Control de avenidas	25.11 (e)	25.99 (g)
17. Irrigación	24.60 (f)	24.60 (f)
18. Total	<u>63.54</u>	<u>66.90</u>
19. Relación de beneficio a costo = (18) / (14)	<u>3.49</u>	<u>2.95</u>

- (a) La generación anual de la planta sería de 420 millones de kwh. Sin embargo, el embalse de Timba elevará el nivel de descarga en Salvajina, causando en esta planta, una pérdida de 25 millones de kwh; la generación neta en Timba es entonces de 395 millones de kwh. anuales.
- (b) Ver Cuadro 4-2.
- (c) Cifras presentadas en el Capítulo 7 u obtenidas por medio de cálculos semejantes.
- (d) Costo anual de una planta térmica de las mismas características y capacidad indicadas en los renglones (1) a (5) inclusive.
- (e) Beneficio anual de \$ 32.000.000 (Cuadro 7-8) menos costo anual de las mejoras del cauce \$ 6.890.000 (Cuadro 7-5).
- (f) Beneficio anual de \$ 31.700.000 (Cuadro 7-9) menos costo anual de las instalaciones de irrigación y drenaje \$ 7.100.000 (Cuadro 7-6).
- (g) Según se explicó en el Capítulo 2 de la protección con el nivel máximo a elevación 1035, es solamente un 4% mayor que la protección con el nivel máximo a elevación 1025. Esta protección adicional abarcaría solamente la parte del río entre La Balsa y Buga. (Aguas abajos de Buga, el drenaje no controlado es ya demasiado grande). Según cuadro 7-8, los beneficios directos en el área entre La Balsa y Buga, son \$ 22 millones y su 4% son \$ 880.000.
- (h) Estos beneficios son solamente aquellos que pueden afectar la comparación entre los proyectos a El. 1025 y El. 1035. Véase la discusión completa de los beneficios en el Capítulo 7.

CUADRO 4 - 2

PRESUPUESTO PARA EL EMBALSE CON NIVEL MAXIMO DE OPERACION A EL. 1035

Planta hidroeléctrica de 75.000 kw. (2 unidades de 37.500).

	Costo en Miles	
	\$	US \$
Tierra y servidumbres	15.940	860
Casa de máquinas	4.260	550
Bocatoma	6.790	2.200
Represa principal (incluyendo desviación)	17.580	5.450
Dique de La Ferreira	4.930	510
Conductores (con almenaras)	4.250	1.680
Rebosadero	6.600	1.350
Estructuras de Desagüe	1.600	200
Canal de Descarga	510	70
Estructuras para irrigación	1.510	200
Turbinas y generadores	1.170	4.260
Equipo auxiliar de casa de máquinas	370	930
Carreteras, Ferrocarriles, puentes	990	100
Costo directo de tierra y construcción	66.500	18.360
Imprevistos 10%	6.650	1.840
Subtotal	73.150	20.200
Ingeniería de diseño	1.600	700
Ingeniería de construcción	3.500	670
Administración de C.V.C.	1.450	400
Costo total construcción	79.700	21.970
Intereses durante construcción	8.300	1.630
Capital requerido	88.000	23.600

Capital requerido en pesos, con cambio a \$ 6.00 = US\$ 1.00 es de $88.0 + 23.6 \times 6 = 230$ millones de pesos.

Almacenamiento muerto: Como puede verse en la Fig. 4-1 la capacidad total del embalse hasta la El. 1025 será 675 Mm³ y la superficie cubierta hasta esta elevación será 3.380 ha. Con el nivel mínimo a la El. 1010, la capacidad controlada del embalse (entre El. 1010 y El. 1025) será 430 Mm³ y la "Capacidad muerta" 245 Mm³.

De acuerdo con la información preliminar (ver Cap. 3) la sedimentación anual en La Balsa será de 3.000.000 m³. Sin embargo, una vez que el embalse de Salvajina sea

construido, la sedimentación se reducirá aproximadamente a la mitad. Debido al descenso del nivel del embalse, necesario para control de avenidas, se espera que la mayor parte del sedimento se depositará por debajo de la El. 1010 o sea, dentro de la parte correspondiente al almacenamiento muerto.

Suponiendo que una cuarta parte de la sedimentación, o sea 375.000 m³ anuales, ocurrirá en las partes altas del embalse entre El. 1010 y El. 1025, la pérdida anual de almacenamiento útil será menos de 0.1%.

2. OPERACION DEL EMBALSE

La operación del embalse en los diez metros superiores se llevará a efecto de acuerdo con las reglas de operación en la Fig. 4-2. En Noviembre 15 el embalse debe haber bajado a la El. 1015, para reservar 305 Mm³ para el control de avenidas.

Hasta donde sea posible, se debe conservar este nivel hasta Enero 31, operando las vías de salida de agua del embalse (vertedero con compuertas, turbinas hidráulicas y conductores de salida, ver capítulo VI), de acuerdo con la regla 1.

De Febrero 1° en adelante, el embalse se dejará llenar de acuerdo con la curva de operación hasta obtener el nivel máximo en Junio 15. De Junio 15 a Agosto 31 no será necesario guardar espacio de almacenamiento para control de avenidas. De Septiembre 1° en adelante, el nivel del embalse se deberá bajar según la curva de operación (y hasta donde lo permita la capacidad máxima del

río) hasta obtener, en Noviembre 15, el total del espacio asignado para el control de avenidas (305 Mm³).

Operando el embalse de acuerdo con esta curva, no se perderá capacidad firme de la planta hidroeléctrica mientras en La Balsa se reduce el caudal debido a la máxima avenida observada de 1.225 m³/s. a 790 m³/s.

En la Fig. 4-3 se presentan los datos de la avenida 1949-50 controlada por el embalse, que son: Caudal entrante al embalse, caudal saliente, caudal del área no controlada entre La Balsa y Juanchito, caudal en Juanchito y niveles del embalse.

La operación del embalse durante tiempos secos, para irrigación, ha sido descrita en el Capítulo 2 donde se mostró que la operación para irrigación tendrá un efecto insignificante en la energía firme de la planta hidroeléctrica.

3. USO ACTUAL DE LAS TIERRAS DEL EMBALSE

Un estudio preliminar hecho en Febrero de 1956 por Charles S. Simmons, Técnico en Suelos de la Misión de las Naciones Unidas

en Colombia, subdividió las 3.380 ha. del embalse, así:

Tierras sin ningún valor, despojadas de su fertilidad por las operaciones de dragado.	1.200 ha.
Tierras con pastos enrrastrojados	1.630 ha.
Tierras cultivadas	250 ha.
Potreros limpios	300 ha.
Total	3.380 ha.

En esta región residen unas 3.000 personas (agrupadas en 400 familias); 350 familias viven en las poblaciones de Timba (Valle) y Timba (Cauca). Estas familias, lo mismo que algunas de las que residen en San Francisco y Asnazú deberán ser trasladadas a tierras más altas. Otras 30 que viven en pequeñas parcelas diseminadas en el área del embalse, tendrán que ser trasladadas a otros lugares.

El nivel de vida de los habitantes en esta región es muy bajo, comparado con el de comunidades en la zona plana aguas abajo de Timba. La causa de su pobreza es, en gran parte, la escasez de tierras aptas para la agricultura en esa vecindad (Algunos son empleados en las minas de carbón y oro, y de los ferrocarriles nacionales). La construcción del proyecto de Timba, que tomará alrededor de 3 años, podrá emplear a estas gentes, mejorando así sus condiciones económicas.

Además, el presupuesto para el proyecto de Timba, incluye los costos de compra de las tierras y residencias ocupadas actualmente, por esas gentes y la construcción de residencias modernas en otra localidad. Siguiendo los procedimientos adoptados en otras partes en casos similares, los pagos por indemnización, a los residentes locales, podrían ser retenidos en su mayoría para usarlos en la construcción de las nuevas residencias. Parte de los jornales como obreros en la construcción del proyecto de Timba se podría retener, como arrendamiento, en caso de adoptarse un proyecto de relocalización, para el cual habría disponible una zona en el Departamento del Cauca, como se describe en la siguiente sección. Las oportunidades de trabajo, la construcción de residencias modernas y las posibilidades de relocalización en mejores tierras elevarán en alto grado el nivel de vida de los residentes afectados.

Departamento del Cauca.

Se han manifestado temores en relación con el posible perjuicio económico para el Departamento del Cauca, por la pérdida de tierras agrícolas en el área del embalse y el costo de relocalización de residencias para los habitantes actuales de la región. Sin embargo, ya se ha explicado en la sección an-

terior, que la relocalización de las familias constituirá una ganancia económica. Los perjuicios a la industria de explotación de carbón, en el presente y aún en el futuro, serán insignificantes, como se demuestra en detalle más adelante.

Con respecto a las tierras agrícolas, se ha explicado ya que el embalse inundará 3.380 ha. de las cuales 1.200 ha. no son utilizables y de las restantes 2.180 ha. solamente 250 están cultivadas.

Agua abajo del embalse de Timba y dentro del Departamento del Cauca, hay 12.000 ha. de tierras inundables y pantanosas cuyo único uso (durante las épocas más secas) es como tierras de pastaje de baja calidad.

Usando los mismos valores del Cuadro 7-7 para las entradas netas futuras de las tierras agrícolas, se calcula que estas tierras pasarán de la clase B a la clase G mediante el control de avenidas y los sistemas de drenaje e irrigación; el correspondiente aumento de entradas netas anuales de las tierras será por lo menos de \$ 960.00 en promedio, por hectárea, o sea \$ 11.5 millones por las 12.000 ha. consideradas. Si consideramos un interés anual del 10%, el valor capitalizado correspondiente sería de \$ 115 millones o sea 46 veces el valor de la tierra inundada por el embalse (\$ 2.5 millones).

Además, el proyecto de Timba en combinación con las mejoras del cauce del río Cauca, causará un descenso en el nivel del lecho del río; ésto y la reducción en la frecuencia de avenidas motivaran un descenso del nivel en las aguas del río y en las aguas subterráneas adyacentes, lo cual facilitará la construcción de canales y otras instalaciones de drenaje tales como estaciones de bombeo.

El drenaje inadecuado representa un serio problema en una zona de 25.000 ha. situada dentro del Departamento, en la margen derecha del río Cauca, entre La Balsa y el Río Desbaratado, y que incluye las tierras aledañas a Puerto Tejada, que en una época fueron valiosas por su producción de cacao. El proyecto de Timba facilitará la solución de los problemas de drenaje, produciendo así otro beneficio importante para el Departamento del Cauca.

4. RELOCALIZACION DE CARRETERAS Y FERROCARRILES

Los ferrocarriles Cali-Popayán y Cali-Santander entran actualmente el área del embalse por una vía común en el sitio del

Dique de La Ferreira (ver Fig. 4-4). En el punto de bifurcación, en Timba (Valle), el ferrocarril de Santander sigue en dirección

sur-este, atravesando la zona inundada por el embalse hasta salir por el sitio de la presa principal. El de Popayán continúa por el área del embalse en dirección sur-oeste hasta Suárez donde cruza el río Cauca para subir a la cordillera.

De acuerdo con la Fig. 4-4, la relocalización del Ferrocarril de Santander empezará en Guachinte, seguirá por el borde de la planicie del Valle hasta Robles, cruzando, por medio de puentes, los canales del vertedero y el canal de fuga, (estos puentes servirán también para la carretera de acceso a la planta hidroeléctrica); esta línea empalmará con la vía actual unos doscientos metros al norte del puente existente en La Balsa. Este puente podrá ser reemplazado por un terraplén pues allí el cauce del río será abandonado. La nueva vía Guachinte-La Balsa tendrá una longitud de 9.6 km.

Con respecto al Ferrocarril de Popayán, su tramo en el área del embalse, entre la Ferreira y un punto situado aproximadamente 1 Km. al norte de Suárez, tendrá que ser relocalizado en terreno más alto. Un reconocimiento en el campo indicó que la ruta preferible sería cruzando el río Timba en un punto 2.8 kms. al oeste de Timba (Valle), subiendo luego hasta alcanzar la El. 1150 en un punto 2 kms. al norte de San Francisco y siguiendo a este nivel hasta Asnazú. Desde Asnazú hasta el término de la relocalización, cerca a Suárez, la vía descendería a la El. 1030. La nueva vía Ferreira-Suárez tendrá

una longitud de 25.8 km. con lo cual la longitud total de las vías relocalizadas será de 35.4 km.

En Febrero de 1.957 se obtuvieron fotografías aéreas del embalse, como parte del programa cartográfico de todo el Valle del Cauca. Después de hacer la restitución, se tendrá un mapa topográfico preciso del área del embalse que facilitará el diseño de relocalización de los ferrocarriles.

Localizando la nueva vía de Popayán en la margen occidental del embalse, se mantendrá el servicio actual a las comunidades de San Francisco (Asnazú y Suárez y a las minas de carbón de Timba y San Francisco. Localizando la vía a un nivel suficiente alto se evitarán derrumbes de las laderas del embalse.

En la actualidad, la única zona en el área del embalse a la cual se puede llegar en vehículo automotor es la del Valle de Timba. Una carretera angosta y sin ningún afirmado va de Guachinte a Timba (Valle) y de allí sigue al oeste hacia el Valle del Timba, dando acceso a las minas de carbón y a algunas fincas diseminadas en el Valle. Para mantener este acceso será mejorada la carretera existente a lo largo de la margen izquierda del río Guachinte hasta la Ferreira, allí se construirá un puente sobre el río Guachinte para dar acceso a la Ferreira y desde este punto se construirá una carretera de 2 km. de longitud hasta la carretera existente en el valle del Timba.

5. EFECTOS DEL EMBALSE DE TIMBA EN LA EXPLOTACION DE CARBON

Como se describe más detalladamente en los apéndices A. y C., existen yacimientos de carbón en la formación Cauca, en las bajas estribaciones orientales de la cordillera occidental al oeste del río Cauca, a lo largo de una franja angosta que se extiende desde cerca a Cali hasta un poco al Sur de San Francisco. En la vecindad de Timba y San Francisco, se explota actualmente una serie de quizás cuarenta vetas delgadas con espesores que varían desde unos pocos centímetros hasta casi 4 metros. Se tienen informaciones de que en la vecindad de Suárez existen depósitos de carbón, pero su existencia no ha sido probada. La formación Cauca aflora al Este del embalse propuesto, desde San Francisco hasta Suárez, pero no presenta evidencia de vetas de carbón.

Actualmente la mina de San Francisco se halla en período de expansión. Se está perforando un túnel en dirección Este-Oeste, a la elevación 1150, para interceptar las vetas que se profundizan fuertemente hacia el oeste. Un segundo túnel está siendo perforado en dirección oeste y al mismo nivel, en el lado occidental del río Guabo. Todas las demás obras están por encima de la El. 1150. Por varias razones económicas no se prevé la explotación de carbón por debajo de esta cota.

También en la mina de Timba se están efectuando trabajos de expansión. Se están perforando túneles en dirección oeste en el costado de la montaña a las elevaciones 1200 y 1327.

El nivel máximo controlado del embalse de Timba está a la El. 1025; en pocas ocasiones el nivel llegará a la El. 1026.5 En el área que se extiende desde Timba hasta Suárez no hay perspectivas, ni explotaciones actuales de carbón a nivel inferior a la El. 1026.5.

No se sabe si se encuentren vetas carboníferas de la formación Cauca bajo el Valle del Río Cauca, el cual, en el sitio de la presa, tiene bajo su superficie por lo menos 55 metros de depósitos de arcilla consolidada, arena y cascajo (formación Popayán) y depósitos recientes del Río Cauca. Se necesitarían investigaciones extensas y costosas para probar la existencia de tales vetas de carbón. Además, no parece económicamente posible explotar depósitos bajo el Cauca debido a las condiciones de aguas subterráneas y la necesidad de usar elevadores para

6. EXPLOTACION DE ORO

Se ha probado la existencia de depósitos aluviales auríferos en la región inundada por el embalse y durante muchos años han existido lavaderos de oro en esta área. Cerca de 1.200 ha. o sea el 36% del área del embalse, han sido dragados en busca de oro. Los residuos, consistentes en cascajo y arena, están amontonados sobre el terreno y se pueden usar como materiales de construcción.

La explotación de oro se lleva a cabo bajo concesiones adjudicadas por el Gobierno Nacional. En el pasado han sido reconocidos algunos derechos a particulares, pero éstos no rigen derecho de una franja de 1 km. de ancho a cada lado de los ríos navegables y el río Cauca fué clasificado como tal en 1.937.

En el presente hay solamente una concesión vigente en el área del embalse, adjudicada en 1.933 a la compañía Asnazú Gold Dredging Co. Ltda., que se extiende por una longitud de 15 km. La compañía ha efectuado trabajos considerables de dragado, pero actualmente tramita la cancelación de la concesión. Todas las propiedades del concesionario incluyendo inmuebles, pasarán a po-

extraer el carbón. En esto están de acuerdo Kaiser Engineers en su informe (ver Apéndice C) y otros.

Seguramente hay carbón debajo del Río Timba, sin embargo el costo de la extracción ha impedido el desarrollo de estos yacimientos. La profundidad de los pozos necesaria para alcanzar el carbón, la extracción por elevación y las condiciones de aguas subterráneas, hacen que la explotación del Valle del Timba sea de poco interés desde el punto de vista económico.

El carbón de las minas de Timba y San Franciscillo es distribuido por medio del ferrocarril Cali-Popayán. Este ferrocarril se relocalizó en tierras más altas, como parte de las modificaciones debidas al embalse. La nueva localización será más conveniente para el transporte del carbón.

der del Estado.

En 1.947 se adjudicó una concesión a Ignacio Larrahondo pero no fué usada y por lo tanto ha sido cancelada. Una petición de concesión hecha por Mario Scarpeta ha tenido oposición en el Tribunal Superior de Popayán. No hay información de que existan derechos particulares en el área del embalse. Como la región inundada tiene un ancho de menos de 2 km. en casi toda la extensión del embalse, tales derechos solo existirían en una pequeña área cerca al río Timba.

En vista de la actitud tomada por la Asnazú Gold Dredging Company al abandonar su concesión, parece que la explotación de oro en el área del embalse, ya no es económica. Sin embargo, como los propietarios de terrenos alegarán la existencia de depósitos de oro cuando se vayan a comprar las tierras, sería deseable que fueran notificados, algunos años antes de comenzar la construcción, de que sus tierras están sujetas a confiscación y que la no explotación de depósitos en un tiempo razonable constituirá una indicación de la imposibilidad de explotarlos con beneficio económico.

SITIO DE LA PRESA

1. LOCALIZACION

La presa de Timba quedará localizada 1.4 km. aguas abajo de la confluencia de los ríos Timba y Cauca y 0.8 km. aguas arriba del puente del Ferrocarril en La Balsa. La parte izquierda (norte) de la presa estará en el Departamento del Valle y la derecha (sur) en el del Cauca. Una presa secundaria llamada "dique de la Ferreira", será construida para sellar una depresión existente a 4 km. al noroeste de la presa principal.

La topografía del Valle del río sufre un cambio brusco en el sitio de la presa de Timba. Aguas arriba, las tierras bajas no

tienen más de 2 km. de ancho, mientras que aguas abajo comienza la zona plana y amplia del valle, llegando a una anchura de casi 40 km.

Las montañas a lado y lado de la presa forman un boquerón de 900 m. de anchura, constituyendo el extremo inferior del cañón del Cauca; el sitio de la presa es también el lugar donde el río cambia de pendiente de 1.5 m. por km. (tramo Salvajina-Timba), a menos de 0.5 m. por km. (tramo abajo de La Balsa).

2. TOPOGRAFIA

La característica topográfica más sobresaliente, en el sitio de la presa, es la sierra que se extiende desde la cordillera Occidental en dirección Este y que separa el valle del río Timba de la planicie del Cauca. En su base, al pie de la montaña, la sierra es baja y forma una depresión cerca a la Ferreira, cuyo punto más alto está a la El. 1020. Como el nivel máximo del embalse está a la El. 1025 será necesario construir una presa de cierre de 800 m. de longitud.

Al Este de la depresión de la Ferreira la sierra se eleva bruscamente a una El. 1100 con un ancho en la base de cerca de 4 km. A medida que se acerca al río, la base se estrecha rápidamente y la elevación disminuye. En los últimos 900 m. la base tiene solamente 300 a 350 m. mientras que las elevaciones varían de 1035 a 1013 en la depresión mayor.

Al frente de la sierra de la orilla izquierda y separada de ella por 900 metros de tierra plana, hay otra sierra similar, pero más

corta, en la orilla derecha del río. A sólo 220 m. de su extremo, esta sierra alcanza una elevación de 1030.

Dos depresiones ligeramente más bajas que la El. 1030 se hallan al sur, las cuales es necesario cerrar aunque el nivel del embalse está a la El. 1025. La topografía del sitio sitúa naturalmente la presa principal entre los extremos de las dos sierras. Las sierras mismas tendrían que ser modificadas de manera de proveer la sustentación y estabilidad necesarias para formar parte de la presa.

Levantamientos: Cuando comenzaron los estudios para este informe los únicos mapas topográficos disponibles eran los del Instituto Geográfico a escala 1:10000 con curvas de nivel cada 25 m. Existían también los levantamientos de la zona de la depresión en la Ferreira y de la zona del empotramiento izquierdo hechos por OLAP.

Como parte de estos estudios, fué prepa-

rado un plano con escala 1:2000 que cubre una zona de 7 km² con curvas de nivel cada metro en la parte plana y cada 5 m. en la parte quebrada.

El punto de referencia para determinar niveles fué basado en el del sistema del Instituto Geográfico (Punto de Triangulación N° 244 a la El. 1.111, 9 m.)

En las áreas adyacentes al sitio de la

presa el Instituto Geográfico preparó un mapa que cubre una extensión de 22 km², a escala 1:5000, con curvas de nivel cada 5 metros, basado en fotografías aéreas existentes y en controles de niveles establecidos por la CVC.

Para determinar las elevaciones relativas de los sitios entre la presa de Timba y la de Salvajina, se niveló una línea a lo largo del Ferrocarril de Timba a Suárez.

3. GEOLOGIA

El Valle del río Cauca en los sitios de la presa y del embalse presenta depósitos recientes de arena y grava; aluviones de las eras Plioceno-Pleistoceno (fanglomerados) y depósitos del antiguo río, esquistos, roca limosa, arenisca y conglomerados Eoceno Oligoceno de la formación Cauca. Doce kilómetros al oeste del sitio de la presa hay un área formada por flujos de lava diabásicos cretáceos y sedimentos silíceos.

Aproximadamente 1.5 km. aguas abajo de la confluencia de los ríos Timba y Cauca, se aproximan al río colinas bajas de conglomerados (fanglomerados del Plioceno. Pleistoceno y depósitos del río) para formar las serranías que encierran el sitio de la presa propuesta. Véase Fig. A-1.

Los diferentes grados de meteorización sufrida por los conglomerados han producido diferentes tipos de materiales en los empotramientos de la presa. Estos materiales son, de arriba hacia abajo:

- a) Arcilla limosa arenosa. Conglomerados altamente meteorizados, en algunos casos con guijarros duros de cuarcita.
- b) *Transición*: Guijarros descompuestos o con un grado variable de meteorización en una matriz meteorizada, de arcilla limosa o arenosa. Sus límites no están bien definidos.
- c) *Conglomerados*: La parte baja de los empotramientos están formada por guijarros y cascajo de varios tama-

ños, en una matriz débilmente cementada que va de arcillosa a arenosa, cubiertos por las arenas y gravas del actual lecho del río.

Debajo de la arena y grava depositadas por el actual río Cauca, en el sitio de la presa y el embalse, hay un conglomerado impermeable. La parte baja de la presa descansará sobre este material. No será necesario por lo tanto, inyectar lechadas de cemento.

Los conglomerados con un alto o moderado grado de meteorización, son materiales adecuados para la construcción de la presa de tierra. Las grandes cantidades de arenas y gravas recientes del Valle del Cauca son adecuadas para la construcción del filtro de la presa y como agregados para el concreto. Para la protección de los taludes de la presa se puede usar roca del "grupo diabásico" de la cual existen yacimientos, aproximadamente a 12 km. del sitio de la presa.

No existe evidencia de fallas en el área del proyecto. En el Valle del Cauca han registrado movimientos sísmicos de intensidad apreciable que han afectado por lo menos la zona de Cali, hacia el sur. Se recomienda por lo tanto tener en cuenta un 0.05 g. en el diseño de las estructuras, para contrarrestar la aceleración horizontal de los movimientos sísmicos.

Desde el punto de vista geológico el sitio de Timba es adecuado para una presa de tierra como la propuesta.

La geología de este sitio se describe más detalladamente en el Apéndice A.

4. CONDICIONES DE CIMENTACION

Las exploraciones del subsuelo y los ensayos de laboratorio fueron hechos para in-

vestigiar las condiciones de cimentación, están descritos detalladamente en el apéndice

B titulado "Exploraciones del subsuelo y ensayos de suelos".

Presa Principal: Los materiales de cimentación en la base de la presa, que se extenderá a través del Valle inundable por una longitud de 900 m., son:

- a) Una capa de 0.8 a 4 m. de espesor de terreno estratificado formado de capas de limo orgánico de color negro, capa genetal y limo inorgánico de color carmelita. Esta capa debe ser removida, pues debido a sus características no puede usarse como material de cimentación.
- b) Una capa muy permeable con espesor de 1 a 4 metros, formada por gravas, cascajos y arena. Esta capa de arena y grava es permeable en su estado natural o modificada por las operaciones de dragado. Con el fin de interceptar las aguas de infiltración debe colocarse un material impermeable hasta encontrar los conglomerados; o sea que para controlar en forma efectiva las aguas de infiltración y las fuerzas de sub-presión en la base de la presa, el núcleo debe apoyarse directamente sobre el conglomerado.
- c) Conglomerados no meteorizados de cascajos, grava, arena y limo con alguna cementación. Su espesor no ha sido determinado, pero la perforación más profunda demostró que es mayor de 24 metros. La resistencia de estos conglomerados al esfuerzo cortante varía dentro de límites muy amplios; es alto en la zona cercana al empotramiento izquierdo y relativamente bajo cerca al empotramiento derecho. Ensayos preliminares de laboratorio indican que en promedio la resistencia a la compresión confinada es de 16.0 kg/cm² y 1.6 kg./cm² respectivamente; el ángulo de fricción interna es alto para ambos tipos de conglomerados. La resistencia al esfuerzo cortante deberá ser determinada por medio de ensayos en el terreno antes del diseño final de la casa de máquina y la bocatoma. El conglomerado tiene un bajo coeficiente de permeabilidad.

Cerca del 20% del área debajo de la presa ha sido dragada, dejando expuesta la superficie del conglomerado. La arena y grava han sido aplicadas en montones sobre el área dragada.

Las condiciones de cimentación se consideran adecuadas para sostener una presa de las dimensiones y taludes propuestos.

Estribos: Los materiales de cimentación en los estribos, son:

- a) Suelo residual muy meteorizado generalmente de color rojizo a carmelita el cual forma la parte superior de ambos estribos.
- b) Una masa de conglomerados no meteorizados, de color verde, formada por cascajos, grava, arena y limo con alguna cementación. Esta masa está debajo del suelo residual.

La transición de suelo residual a conglomerado no es brusca; la zona de transición está compuesta generalmente de una matriz de suelo residual muy meteorizado, que contiene cascajos, a veces meteorizados y rocas de color carmelita.

Casa de máquinas y bocatomas: Estarán localizadas cerca al estribo izquierdo y cimentadas en el conglomerado más resistente. Este material es adecuado para soportar las cargas impuestas. La carga permisible sobre el suelo es de unos 16 kg/cm², suponiendo un ángulo de fricción interna de cero grados, y un factor de seguridad de 3. (Este valor incluye un amplio margen de seguridad pero fué adoptado para este informe; como antes se explicó, deben realizarse ensayos en el terreno que pueden producir economías en los diseños finales).

Rebosadero: Estará localizado en el suelo residual altamente alterado y de color rojizo. Este suelo tiene baja resistencia al esfuerzo cortante cuando está saturado. El ángulo de fricción interna y la cohesión para este suelo saturado, consolidado y sin ningún drenaje han sido estimados en 22° y 0.3 kg/cm² respectivamente.

La carga permisible sobre este material se ha estimado en 3.0 kg/cm², para un factor de seguridad de 3.

ESTRUCTURAS DEL PROYECTO

1. LA PRESA

1. *La Presa.*

La presa está formada por cuatro partes principales: a) la presa principal, de 1200 m. de longitud, que se extiende a través de los planos de inundación; a) las obras en el estribo derecho, con una longitud de 1.000 m., que consiste en capas de protección donde sea necesario, en los costados aguas arriba y abajo del estribo, enrocado para evitar la acción de las olas y dos presas bajas de tierra sobre depresiones en la sierra; c) obras semejantes a las anteriores, en el estribo izquierdo, con una longitud de 1.020 m; d) un dique en la depresión de La Ferreira, de 800 m. de longitud. Ver Fig. 6-1 y 6-2.

Presa Principal: La presa principal será una presa de tierra, consistente en un núcleo impermeable de tierra apisonada soportado por rellenos laterales, permeables de arena y grava compactadas. El terraplén tendrá 10 m. de ancho en su corona y una altura máxima de 46 m. en el sitio donde cruza el lecho del río. Los taludes aguas arriba y aguas abajo del núcleo serán de 1: 0.75.

El núcleo estará directamente apoyado sobre el conglomerado para obtener un cierre efectivo. La masa aluvial de piedra, grava y arena, cubierta por una capa de material orgánico, que está sobre el conglomerado será completamente removida en la parte donde va la base del núcleo; en la parte que queda bajo los rellenos permeables, solamente será removida la capa de material orgánico.

El material para el núcleo será obtenido de las colinas circundantes que constituyen grandes depósitos de materiales residuales altamente meteorizados; estos materiales, una vez compactados, tienen un bajo coeficiente de permeabilidad y buena resistencia

al esfuerzo cortante. La humedad de muestras tomadas fué entre 2% y 13% más alta que la humedad óptima Proctor para compactación. Por lo tanto, mientras no haya lluvias, no deben encontrarse dificultades en la compactación del material del núcleo.

Estudios de los registros de lluvias indican que: 1) El período, de 2 años, más húmedo fué el de 1932-33. 2) Durante estos dos años llovió menos del 8% del tiempo. 3) si se consideran dos horas de trabajo perdidas, después de cada aguacero, el tiempo total perdido por lluvias es de 12%. 4) Cerca del 30% de las lluvias ocurrieron entre las 2 y las 6 a.m. Como el trabajo se hará probablemente en dos turnos de 10 horas cada uno, el período de 2 a 6 a.m. se puede dejar por fuera, reduciendo así la cantidad efectiva de tiempo perdido.

La pendiente del talud para el relleno aguas arriba será de 1: 2½ con una berma de 3 m. de ancho a la El. 1.009; se dará protección contra la acción de las olas, por medio de una capa de enrocado de 60 cm. de espesor echada sobre una base de grava y arena seleccionadas.

La pendiente del talud para relleno permeable agua abajo, será de 1:2 desde la corona hasta una berma a la El. 1.005 y el 1: 2½ desde allí hasta la línea de base.

La grava y arena para los rellenos permeables se obtendrán de los materiales de dragado, que se encuentran en el sitio del embalse, o de depósitos naturales en los alrededores.

El material para los enrocados se obten-

drá de una cantera de roca ígnea (diabásica), situada sobre la carretera existente, cerca a la orilla izquierda del río Timba y a unos 12 km. del sitio de la presa.

La transición del material impermeable compactado del núcleo al material permeable de los rellenos consistirá en un filtro gradado de arena y grava; los materiales para el filtro se puede obtener ya sea tamizando los desechos del dragado o directamente de los depósitos naturales de arena y grava que hay en las cercanías.

Las pendientes propuestas se obtuvieron con base en los análisis tanto de estabilidad de los taludes por el método de los círculos de deslizamiento como de estabilidad de la presa al deslizamiento plano. El mínimo factor de seguridad (1.5) se obtuvo para un superficie de deslizamiento a lo largo del contacto entre el núcleo y el material de filtro que lo separa del relleno permeable; se supuso un descenso rápido del nivel del embalse desde El. 1025 hasta El. 1010. Se usó un ángulo de fricción interna de 22° para el material impermeable saturado y no se tuvo en cuenta la cohesión.

Al especificar una base ancha para el núcleo de material impermeable, se tuvieron en cuenta los siguientes puntos:

- a) Como el material bajo la base de la presa no será impermeabilizado con inyecciones de cemento, debe proveerse un área de contacto suficientemente grande, para asegurar un mínimo de infiltraciones y evitar sifoneamiento en la superficie de contacto.
- b) Un área grande de la superficie sobre la cual apoyará la presa, será descubierta y podrá ser inspeccionada antes de construir el terraplén.
- c) Existencia de suficiente material para el núcleo, dentro de una distancia de acarreo razonable.

Estribos: Las sierras que forman los estribos de la presa principal están formadas por materiales residuales, heterogéneos en composición, de bajo peso específico y cohesión y de plasticidad media. El coeficiente de permeabilidad es bajo excepto en acumulaciones esporádicas de arena y grava. Debido a su baja cohesión cuando están saturados, estos materiales tendrán una tendencia a deslizarse o hundirse, en los taludes

expuestos a lo largo del embalse propuesto, condición que sería empeorada en el caso de un descenso rápido del nivel del embalse.

Para proveer la estabilidad necesaria, se harán enrocados de protección contra las olas (con el correspondiente filtro de arena y grava) y rellenos de arena y grava donde sean necesarios. Un análisis preliminar mostró que se pueden ahorrar cantidades apreciables de material excavado el cual se puede usar en el núcleo de la presa.

La protección de las laderas, aguas arriba se basó en el siguiente criterio:

- (a) Trácese una línea con inclinación 1:6 desde la base de la ladera natural. Si esta línea atraviesa terreno firme a la El. 1029 (cresta de la presa) o más alto, no es necesario proteger la ladera.
- (b) Si la línea atraviesa terreno firme por debajo de El. 1029 será necesario proteger la ladera de acuerdo con (1) y (2) a continuación.

La protección de las laderas, cuando sea necesaria según el punto (b) consistirá en enrocado (contra la acción de las olas) o en un relleno de arena y grava, mas enrocado, como sigue:

- (1) Para laderas con inclinaciones menores que 1:4, se usará únicamente enrocado siempre que el análisis indique que la ladera tiene suficiente estabilidad. (Ver corte A-A Fig. 6-2)
- (2) Para inclinaciones mayores que 1:4 se hará excavación hasta obtener la inclinación apropiada. Se hará luego un relleno con arena y grava y se colocará el enrocado. (Ver corte B-B. Fig. 6-2). Como ya se dijo, el material excavado se puede usar en el núcleo.

El lado de aguas abajo, de las estribaciones que forman los estribos, necesita protección contra sifonamiento. Se ha impuesto que la extensión de esta protección, será la misma de la protección de aguas arriba. Un relleno de arena y grava con una zona intermedia de filtro se hará partiendo de una altura bastante alta para proteger la línea de mayor saturación de afloramiento en suelo residual sin protección. (Ver Corte B-B Fig. 6-2).

Dique de la depresión de La Ferreira:
Este dique que tiene una altura máxima de 11 m. sobre el terreno actual, estará formado por un terraplén de tierra apisonada y un relleno de arena y grava apisonada en el lado aguas arriba.

El terraplén estará apoyado sobre una capa de material residual impermeable, de por lo menos 5 m. de espesor que cubre estratos de arena y grava de espesor no determinado. La capa impermeable se extiende por lo menos 1.000 m. aguas arriba y for-

ma así un manto que dará protección efectiva contra filtración.

La corona del terraplén tendrá 10 m. de ancho. El ancho máximo en la base será 66 m. Los taludes aguas arriba y aguas abajo serán de 1:2½. Para protección contra la acción de las olas se pondrá un enrocado de 0.6 m. de espesor como mínimo; un filtro hará la transmisión entre el núcleo de tierra y el relleno de grava y arena. Para prevenir sifonamientos, se colocará roca y se hará un sistema de drenaje en la base, del lado aguas abajo (Ver Fig. 6-2).

2. DESVIACION DEL RIO Y DISECACION

La presa principal se construirá en dos etapas. Durante la primera etapa, que se extiende desde Marzo 1° del año II hasta Julio 1° del año III (Ver Fig. 7-1), el río fluirá por su cauce normal ya que la construcción en la zona de inundación está limitada a los 800 m. de la parte norte de la presa principal, (longitud total de la base, cerca de 900 mts.). Durante la segunda etapa, el río tendrá que ser desviado a través del conducto de descarga para control de avenidas y del conducto de la Unidad N° 2; para desecar el área de la base de la segunda parte de la presa, se construirán ataguías que irán desde el núcleo (construido en la primera etapa) hasta el estribo del lado derecho, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Durante la primera etapa, el nivel de las aguas subterráneas debe bajarse hasta la superficie del conglomerado para poder colocar el material apisonado del núcleo. Hay dos puntos principales que se deben tener en cuenta en el problema de desecación: a) La presencia de una capa permeable de material aluvial, de 5 a 8 m. de espesor, sobre toda la extensión de la llanura; y b) Las fluctuaciones del nivel de agua subterránea, entre 2.5 m. y 9.0 por encima del conglomerado, de acuerdo con el estado del río. Aunque este es problema que debe resolver el contratista, con el fin de elaborar el presupuesto se ha supuesto que se colocará una cortina de material impermeable, atravesando completamente la capa de material aluvial y rodeando el área de la base de la presa. Se ha supuesto además que tal cortina se

puede hacer excavando una zanja angosta que atraviesa la capa aluvial y llenándola con material impermeable. El material sería echado en la zanja llena de agua y luego cubierto con desechos aluviales. De esta manera el bombeo necesario para desecación, se reducirá al mínimo.

Durante la segunda etapa, se protegerá el área de construcción por medio de dos ataguías, una aguas arriba y otra aguas abajo; cada una tendrá una longitud de unos 100 m. y un volumen total de cerca de 70.000 m³. Se supone que estas ataguías serían construidas por el método de vaciado en el extremo (end-dum method).

El programa para desviación del río está resumido en el Cuadro 6-1. Se puede observar que la ataguía aguas arriba tendrá un borde libre de 0.5 m. durante la época, de Julio 1° a Septiembre 1° del año III. Se ha supuesto que después de esta última fecha podría ocurrir una avenida igual a la peor registrada o sea la de Febrero de 1950 que tuvo una afluencia máxima de 1.225 m³/s.; el correspondiente máximo caudal de salida sería 1.063 m³/s. a través del conducto para control de avenidas y 484 m³/s. a través del conducto de la Unidad N° 2. Para poder hacer la desviación a través de este último conducto, mientras se trabaja en la Unidad N° 1, habrá que construir un tabique de concreto entre las Unidades N° 1 y N° 2; la parte superior de esta pared deberá estar a El. 990.4 (que es la elevación del nivel del agua de descarga, para un caudal máximo de 1.063 m³/s.

CUADRO 6 - 1

Programa para Desviación del Río

Fecha	Río desviado hacia	Terraplén de cierre construído hasta EL.	Nivel máximo del embalse para la mayor riada registrada (a)
1 Feb./II	Cauce actual		
1 Jul./III		993.5 (e)	
	Conducto de descarga y conducto de Unidad N° 2		993.0 (d)
1 Sep./III		1.001.5	
	Conducto de descarga y conducto de Unidad N° 2		1.001.0 (b)
1 Dic./III		1.012.8	
	Conducto de descarga sóloamente		1.012.35 (c)
1 Abril/IV		1.029.0	
	Conducto de descarga sóloamente		1.012.35 (c)
1 Jun./IV		1.029.0	

(a) El de Febrero 1950 (excepto para el período entre 1 Julio/III y 1 Sepbre./III, ver nota d); máximo caudal entrante 1.225 m³/s.

b) Máximo caudal saliente 1.063 m³/s.

(c) Máximo caudal saliente 806 m³/s.

(d) Para la peor riada registrada entre el 1° de Julio y el 1° de Octubre; máximo caudal entrante 627 m³/s.

(e) Borde superior de la ataguía de la segunda etapa, aguas arriba más un borde libre de 1 m). La construcción de este tabique no presentará ningún problema ya que servirá en la construcción del esqueleto de la casa de máquinas, que permitirá el montaje de la grúa y luego formará parte de la subestructura.

3. CONDUCTOS A TRAVES DE LA PRESA

En el diseño preliminar presentado en el Informe sobre Desarrollo Coordinado se consideró una instalación inicial de 2 unidades de 30.000 kw. cada una, dejando las bases para la instalación futura de otras dos unidades semejantes. Los conductos para las cuatro unidades se construirán desde el principio. Estudios posteriores indican que solamente se necesitan tres conductos, dos para generación y uno para control de avenidas.

Los estudios pueden resumirse como sigue:

1. Dos unidades de 30.000 kw, operando en el sistema C. (Ver Capítulo VII, Informe sobre Desarrollo Coordinado) producirán 345 millones de Kwh anualmente, con un 64% de factor de capacidad. La energía secundaria es despreciable, o sea que prácticamente todo el flujo se utilizará para la producción de energía. Así, pues, no más de dos unidades pueden justificarse desde el punto de vista de energía firme.
2. La planta de Timba podría operarse en el sistema C. con un factor de capacidad más abajo, justificándose así la instalación de tres unidades en lugar de dos. Sin embargo, es más fácil obtener capacidad de picos en Calima, donde existe una cabeza mucho mayor que en Timba. Más tarde se podrá obtener capacidad de pico económico en Calima II, aguas abajo de Calima. Por lo tanto, no se justifican más de dos unidades, desde el punto de vista de capacidad firme.
3. Después de construir Salvajina, Timba (en el sistema D) podría producirse 403 millones de kwh anuales, utilizando tres unidades de 30.000 kw. a un factor de capacidad de 51%. La energía secundaria sería también despreciable en este caso. Sin embargo, el costo de un conducto y sus obras de toma sería de \$ 2'300.000 y US\$ 490.000 y la parte inferior de las instalaciones (por debajo de El. 981) en la casa de máquinas costaría unos US\$ 150.000 (costo equivalente); el total con

US\$ 1.00 = \$ 6.00 sería de US\$ 1'020.000. En vista del poco aumento de generación entre los sistemas C. y D, parece dudoso que se justifique esta inversión, aún más si se tiene en cuenta que la fecha de construcción de Salvajina es muy incierta. Además, en caso de necesidad podría usarse el conducto de control de avenidas para instalar una tercera unidad, como se explicó más adelante.

4. Antes de construir a Salvajina, Timba debe tener una capacidad de descarga para riadas, de 672 m³/s con el nivel del embalse a la El 1.015. Las unidades 1 y 2 descargarán 290 m³/s. y el vertedero podrá descargar 120 m³/s lo que hace un total de 410 m³/s; sin embargo puede darse el caso de que una turbina esté fuera de servicio lo que reduce la capacidad de descarga a 265 m³/s. Por lo tanto, es necesario construir un conducto de desagüe adicional para el control de avenidas. El diámetro de los conductores de concreto para las turbinas es de 7.6 m, (al revestimiento de acero tiene 7.0 de diámetro interior) y aunque un conducto de este diámetro tiene una capacidad mayor de la necesaria (874 m³/s.), se adoptó este mismo tamaño, 7.6 m, para el desagüe de control con el fin de obtener uniformidad. La capacidad adicional puede usarse cuando se quiera disminuir el caudal en el rebosadero.
5. Después de construir a Salvajina, la capacidad de descarga necesaria se reduce de 672 m³/s. a 450 m³/s. Si hubiera tres unidades instaladas (pero sólo dos en operación) la capacidad de descarga incluyendo el rebosadero, sería de 410 m³/s, la cual es casi suficiente. En este caso ya no es necesario tener un conducto de desagüe para control de avenidas. Si en ésta época se decidiera instalar una tercera unidad de 30.000 kw, se podría colocar de tal modo que se aproveche para ella el conducto de control de avenidas.

6. Como puede pasar algún tiempo antes de iniciar el diseño definitivo de Timba, para esa época se podrán examinar de nuevo las partes referentes a generación y al número de conductos, teniendo en cuenta las nuevas condiciones de suministro de energía.

Los refuerzos de acero de los conductos de concreto serán suficientes para resistir la presión interna y externa. Además, el revestimiento de acero podrá resistir por sí sólo la presión interna sin que el esfuerzo exceda de cinco octavos del límite elástico. En el diseño definitivo sería posible mejorar esta disposición.

Las bocatomas de los conductos se describen más adelante bajo "Instalaciones para generación de energía".

Estanque amortiguador del conducto de

descarga para control de avenidas: La salida del conducto de descarga estará conectada con el estanque amortiguador, 24.5 m. aguas abajo, por medio de una caída escalonada con muros laterales de concreto. El estanque de amortiguación tendrá 45 m. de largo y 16 m. de ancho y consistirá en una placa de concreto con muros de contención monolíticos verticales, a El. 976.9, tendrá dos filas de bloques amortiguadores y un deflector de 2.50 m. de altura. La elevación del piso del estanque amortiguador, de allí en adelante, será similar a la del canal de fuga en el trayecto en contrapendiente que viene desde el canal de descarga de la casa de máquinas a convergir en El. 984.0 del canal de fuga. En vista del correcto funcionamiento de estructuras existentes semejantes que se han usado como referencia, se espera que al hacer las pruebas hidráulicas en modelos, no habrá que introducir sino muy pequeños cambios en las estructuras que se muestran en la Fig. 6-3.

4. REBOSADERO

Riada de diseño del rebosadero: El cálculo de la riada de diseño del rebosadero se describió en el capítulo 3.

Los dos factores que afectan, durante una riada, el máximo nivel de embalse y la máxima descarga en el vertedero, son el nivel inicial del embalse y la capacidad de descarga de las turbinas y del conducto de control de avenidas.

Los 12 años de registro de caudales, a partir de 1.945, muestran (cuadro 6-2) que las riadas de un volumen considerable (más de 30.000.000 m³ o sea 10% de la capacidad de embalse para riadas han ocurrido entre mediados de Noviembre y principios de Marzo.

Si se sigue la curva de operación de la Fig. 4-2 parece que podría adoptarse como nivel inicial la El. 1017.5 (que corresponde al nivel para Marzo 1° según la curva de operación). Por otra parte puede ser difícil, en el futuro, mantener una descarga promedio de 650 m³/s, especialmente si las obras para mejorar el cauce del río se demoran

demasiado o no tienen mantenimiento adecuado. Además, en registro de caudales de 12 años no es suficientemente extenso como para ser concluyente con respecto al diseño del rebosadero. Por lo tanto, se ha decidido adoptar el nivel inicial a la El. 1025.0, es decir, igual al nivel máximo de operación del embalse (que será el mismo de la parte superior de las compuertas del rebosadero).

Con respecto a la capacidad de descarga de las turbinas y del conducto de control de avenidas, se han considerado dos casos: Uno en el cual toda la capacidad de descarga del conducto de control de avenidas está disponible, y otro en el cual una de las compuertas de entrada del conducto de control (ver "Instalaciones para generación de energía", más adelante) está atascada en la posición cerrada y por lo tanto, sólo parte de la capacidad de descarga queda disponible. En ambos casos se supuso que las turbinas no estarían funcionando.

Los niveles máximos y las máximas descargas resultantes aparecen en el Cuadro 6-3.

CUADRO 6 - 2

VOLUMENES DE RIADAS POR ENCIMA DE LA DESCARGA DEL EMBALSE

Río Cauca en La Balsa

(Area de Drenaje - 5.480 km²)

Registros de caudal, Octubre 1945 a Abril 1958

Fecha	Caudal máximo m ³ /s.	Duración días	Volumen sobre descarga de 650 m ³ /s- Mm ³ .
Mayo 3 1.949	1225	¾	20.1
Nov. 22 1949	1075	6½	49.0
Dic. 16 1949	1000	3	45.1
Feb. 10 1950	1225	12	243.7
Nov. 27 1953	885	4	32.0
Dic. 1 1954	931	5½	67.6
Ene. 5 1955	950	2½	36.0
Ene. 1 1956	1225	9½	132.5

- Notas:
1. Se han incluido sólo avenidas de más de 15 Mm³ por encima de la base de 650 m³/s.
 2. La descarga de 650 m³/s. sería el promedio mantenido durante el almacenamiento de la riada de Febrero de 1.950. Ver Fig. 4-3.

CUADRO 6 - 3

NIVELES DE EMBALSE Y DESCARGAS

RIADA DE DISEÑO DEL VERTEDERO

	Caso 1	Caso 2
Turbina en funcionamiento	Nº	Nº
Conducto de descarga disponible	Totalmente	Parcialmente (a)
Elevación inicial	1.025.0	1.025.0
Caudal máximo de entrada, m ³ /s.	6.000	6.000
Nivel máximo del embalse El.	1.026.5	1.026.7
Máximo caudal de salida:		
Turbinas	0	0
Conducto de descarga	1.000.	690
Rebosadero	3.380	3.440
TOTAL	4.380	4.130

(a) Una de las compuertas atascada en posición cerrada.

Borde libre: De acuerdo con el capítulo 3, los vientos máximos cerca de Cali tienen las siguientes características:

Dirección:	Del oeste
Velocidad:	50 mph (80 km. p.h.)
Duración:	Menos de una hora

Por su orientación, la presa está expuesta a vientos del oeste; sin embargo, el máximo recorrido de las olas ("fetch"), es solamente de unos 4 km. Usando la fórmula Zuyder Zee, la elevación del nivel por efecto del viento sería de 0.13 m, y según la fórmula Molitor - Stevenson la altura de las olas sería de 1.01 m. El total de 1.14 m, sería la altura producida por los vientos del oeste, de 50 mph, y con una duración mayor de dos horas. El escalamiento de las olas, que a veces llega a ser el 50% de su altura no se considera un factor muy importante en Timba ya que los vientos en la región cambian de dirección frecuentemente durante una tormenta y no tienen velocidad constante.

De acuerdo con lo anterior, los 2.5 m de borde libre del caso 1 y los 2.3 m del caso 2 parecen excesivos comparados con los 1.14 m necesarios. Sin embargo se cree conveniente dejar este borde libre como un factor de seguridad en caso de una posible falla en las compuertas del rebosadero.

Dirección del rebosadero: El rebosadero, que estará localizado en el estribo izquierdo, consistirá en un vertedero de concreto, con cresta a El. 1013.5, sobre el cual estarán montadas tres compuertas radiales de 11.5 m. de altura y 13.0 m. de ancho, separadas por pilares de 2.0 m. de ancho. Un puente sobre las tres compuertas proveerá el espacio para las grúas de las compuertas y para la carretera que va sobre la presa. El vertedero, que estará apoyado sobre suelo residual, ha sido diseñado de acuerdo con el método corriente para vertederos de concreto cimentados en tierra e incluye un revestimiento de concreto en el talón, una cortina profunda de concreto del lado de aguas

arriba y un vasto sistema de drenaje aguas abajo. Un ejemplo de rebosadero de este tipo es el de Garrison Dam del Corps of Engineers U. S. Army.

El agua que rebose por el vertedero será conducida al estanque amortiguador por una canaleta que se va ensanchando gradualmente de 43 m. al pie del vertedero hasta 68 m en la entrada del estanque amortiguador. La canaleta consistirá en una losa de concreto reforzado y paredes laterales y estará completamente cimentada en suelo residual. Debajo de la canaleta, en toda su extensión, habrá un sistema de drenaje.

El estanque amortiguador tendrá 50 m de longitud y consistirá en una losa de concreto reforzado con muros de contención y bloques amortiguadores integrales. Estará cimentado en conglomerado y después del resalto hidráulico tendrá un sistema de filtros y agujeros de drenaje. La parte inferior, a la El. 975.00 tendrá dos filas de bloques amortiguadores y en el extremo tendrá un deflector de 2.5 m de altura. Un canal de 260 m de longitud, conectará el estanque amortiguador con el canal de descarga, aguas abajo. Aunque habrá que hacer pruebas con modelos hidráulicos para determinar algunos detalles del estanque amortiguador, se espera que sólo será necesario hacer pequeños cambios en la disposición indicada en la Fig. 6-2.

Se estudiaron otras alternativas para el rebosadero, haciendo la cimentación sobre el conglomerado superior. Pero debido a que el conglomerado superior se encuentra a una elevación muy baja (El. 982) este tipo de rebosadero requerirá una estructura demasiado grande y costosa.

5. INSTALACIONES PARA GENERACION DE ENERGIA

Como el conglomerado gris-verdoso es el mejor material para cimentación en el área de la presa, las estructuras de toma y la casa de máquinas se localizarán en el extremo norte de la presa principal, donde se ha com-

probado la existencia de este material. La longitud del canal de descarga al río será de unos 700 m. que es la distancia más corta posible, dentro del área que presenta condiciones favorables de cimentación.

Hay dos disposiciones posibles para las instalaciones de generación con la superficie del material de cimentación cerca a la El. 982.

Estas son:

- a) Una toma del tipo usado en represas de contrafuerte hueco, con la casa de máquinas en el extremo aguas abajo de la presa.
- b) Una torre de captación, para cada unidad, con compuertas, una tubería de carga de acero empotrada en concreto y una almenara cerca al caracol de la turbina.

Un análisis de costos indican que esta última alternativa es la más ventajosa de las dos; además, la disposición general adoptada para la toma, tubería de carga y casa de máquinas es la que generalmente resulta más económica para presas de tierra.

Como se puede ver en la Fig. 6-3, la estructura de concreto para toma tendrá 62 m de longitud y 48 m de altura. La parte superior estará a la El. 1029.0. Al frente de cada uno de los tres conductos habrá dos entradas rectangulares. Se pondrán rejillas de tal manera que las entradas se pueden bloquear por medio de tablonces de cierre en caso de emergencia. Para cada una de las tuberías de carga y para el conducto de descarga de control de avenidas, habrá dos compuertas de 10 m por 6 m, o sea un total de siete compuertas, incluyendo una de repuesto. Se tendrá disponible un juego completo de tablonces de cierre de manera que se pueda cerrar, (solamente una por cada vez), cualquiera de los conductos. En la parte superior habrá una grúa de pórtico para mover las compuertas, rejillas y tablonces.

Las siete compuertas, normalmente abiertas, se operarán a control remoto desde la casa de máquinas. Las compuertas serán del tipo "tractor", con sellos de caucho. Su parte inferior tendrá una inclinación de 45° para permitir la operación bajo presión máxima y a cualquier abertura sin excesiva tensión vertical hacia abajo. Las piezas inferiores serán hechas en fundición de acero. Este diseño es semejante al usado en el proyecto Ft. Randall del U. S. Army Engineers. Cada compuerta estará suspendida por un cilindro hidráulico montado en un marco elevador bloqueable. Los controles en la casa de máquinas actuarán sobre el cilindro hidráulico para subir o bajar la compuerta. La grúa de pórtico se usará solamente para sacar el sistema en caso de tener que reparar

la compuerta. Este tipo de compuerta es más seguro sin ser más caro que el de malacates individuales.

Detrás de las ranuras de las compuertas se inicia la transición entre las dos entradas rectangulares y un conducto circular de 7 m. de diámetro y 210 m. de longitud consistente en una tubería de carga de acero completamente recubierta de concreto. Una almenara de estrangulación, formada por un tanque de acero de 20 m de diámetro sobre un marco de concreto reforzado apoyado en una base de concreto, estará colocada lo más cerca posible al caracol de la turbina. La instalación para generación consistirá en dos unidades de 30.000 kw cada una. Debido a la variación del salto bajo el cual debe operar la planta (21 m. a 39 m.), las turbinas deberán ser del tipo de paso variable. En este informe se ha supuesto que se usará una turbina de eje vertical con rotor Kaplan y de una velocidad de 138.5 rpm.

La elevación del distribuidor será escogida de manera de obtener una instalación libre de cavitación. El piso de la casa de máquinas estará a la El. 993.10 o sea 2.40 m. por encima del nivel del agua en el canal de descarga, para la avenida de diseño del rebosadero.

Los generadores tendrán una capacidad garantizada de 30.000 kw cada uno con un factor de potencia del sistema de 0.8. Cada una de las turbinas tendrá una capacidad de 42.000 HP bajo un salto de 23.2 m y plena abertura y tendrá la máxima eficiencia bajo un salto de 29.0 m. La carga nominal de los generadores será de 39.000 kva, a un factor de potencia de 0.9 y 60°C de elevación de temperatura, y estarán diseñados para generar hasta 40.000 kw por corto tiempo, con una mayor elevación de temperatura.

La casa de máquinas tendrá espacio suficiente para el montaje del equipo y contendrá un cuarto de control con aire acondicionado, y demás equipo auxiliar necesario en este tipo de plantas.

Los transformadores y el patio de conexiones quedarán situados sobre un terraplen aguas abajo de la presa contiguo a la casa de máquinas.

Un canal de 700 m de longitud, llevará el agua de descarga de la planta al cauce natural del río Cauca. Este canal tendrá un vertedero para controlar el caudal en los canales de irrigación, como se describe a continuación:

6. PATIO DE CONEXIONES Y LINEAS DE TRANSMISION

Esta sección describe el planeamiento preliminar del patio de conexiones y de las líneas Timba-Cali y Timba Popayán, en relación con el proyecto de Timba y con los proyectos subsiguientes (Salvajina y Térmica de Timba).

Para la instalación inicial se construirán las siguientes líneas de transmisión:

1. Una línea de doble circuito a 115 KV con conductores ACSR de 336 MCM que transmitirá a Cali (distante 40 km) la mayor parte de la energía generada en Timba. La línea estará diseñada de tal manera que la capacidad transportadora de los conductores se puede duplicar en el futuro mediante el uso de conductores múltiples (añadiendo nuevos cables suspendidos de los mismos aisladores).

2. Una línea del circuito sencillo a 115 KV con conductores ACSR de 336 MCM para abastecer los centros de consumo del sur: Santander (20 km), Piendamó (65 km) y Popayán (80 km).

Simultáneamente con la planta hidroeléctrica de Salvajina y la térmica de Timba se construirán las siguientes nuevas líneas:

3. Una línea de doble circuito a 115 KV con conductores múltiples ACSR de 336 MCM, entre la hidroeléctrica de Salvajina y Cali.

4. Una línea de doble circuito a 115 KV con conductores múltiples ACSR de 336 MCM, entre la termoeléctrica de Timba y Cali.

Las capacidades de generación de las plantas de Salvajina (hidroeléctrica) y Timba (térmica) son algo superiores a las capacidades transportadoras de las respectivas líneas (Nos. 3 y 4). Sin embargo al colocar conductores múltiples en la línea N° 1 (hidroeléctrica de Timba a Cali) mediante la adición de 6 conductores ACSR de 336 MCM, ésta línea podrá tomar parte de la carga. La capacidad transportadora resultante será suficiente si se tiene en cuenta que es muy improbable que las tres plantas tengan que generar simultáneamente a su capacidad máxima.

Con el fin de conseguir una conveniente distribución de cargas entre las líneas mencionadas, será necesario construir las siguientes líneas de interconexión:

5. Una línea de doble circuito a 115 KV con conductores múltiples ACSR de 336 MCM para interconectar las plantas hidroeléctricas de Salvajina y Timba (distancia 22 km).

6. Una línea de doble circuito a 115 KV con conductores ACSR de 336 MCM entre los patios de conexiones de la hidroeléctrica y de la térmica de Timba (distancia 3 km).

La interconexión de las tres plantas permitirá el uso simultáneo de las líneas Nos. 1, 3 y 4 normalmente y, en caso de falla en una de ellas, permitirá el empleo de la capacidad total de las dos restantes.

Según lo anterior, el patio de conexiones de la hidroeléctrica de Timba tendrá las siguientes funciones:

1. Subestación elevadora, 13.8 a 115 KV, para las dos unidades generadoras de 30 Mw.
2. Punto de partida de las tres líneas de transmisión, a 115 KV, dos (una de doble circuito) a Cali y una (de circuito sencillo) a Popayán.
3. Punto de interconexión a 115 KV de las plantas Timba hidroeléctrica, Timba térmica y Salvajina.

Estas funciones se pueden desempeñar en la forma más económica mediante un sistema de doble barraje, usando un disyuntador y dos interruptores de selección de barraje, para cada transformador o línea de transmisión, e interconectando los barrajes por medio de un disyuntador de enlace. Si la instalación del segundo barraje a 115 KV puede llevarse a cabo sin interrupción demasiado prolongada del servicio, su ejecución podría aplazarse hasta la época en que se termine Salvajina.

El patio estará diseñado para la conexión del siguiente equipo principal:

	Instalación Inicial	Final
Transformadores elevadores 13.8/115 KV.	2	3 (a)
Terminación de líneas de transmisión a 115KV.	3	7
Disyuntor de enlace de barrajes	-	1
Total de tramos	5	11 (a)

La instalación del tercer transformador dependerá de la adición de una 3ª unidad de 30 Mw la cual podría justificarse en base a estudios posteriores.

7. ESTRUCTURAS PARA IRRIGACION

Durante los meses de máxima demanda de irrigación (Julio, Agosto y Septiembre) será necesario mantener un flujo continuo y casi constante para suministrar agua a los dos futuros canales, uno en cada lado del Valle.

Para evitar complicaciones e interrupciones costosas en la casa de máquinas, las estructuras de irrigación localizadas en el canal de descarga se construirán al tiempo con la central hidroeléctrica. Las bocatomas de los canales de irrigación tendrán capacidades de 56 m³/s y 16³/s para las márgenes derecha e izquierda respectivamente, de acuerdo con la descripción del capítulo 4.

Habrà épocas, durante la estación de sequía, en que será necesario desviar todo el caudal del canal de descarga hacia los canales de irrigación, para lo cual se necesita una barrera en el extremo inferior del canal de descarga. Por otra parte, durante la época de lluvia, con el embalse al nivel mínimo, la descarga de la casa de máquinas con las dos turbinas en operación puede llegar a ser hasta de 275 m³/s; en este caso, para mantener el nivel del agua de descarga lo más bajo posible, será conveniente mantener el extremo del canal completamente abierto. Para efectuar estas dos operaciones se instalará un vertedero con compuertas, 200 m. aguas abajo de la casa de máquinas (ver

Fig. 6-3). Las compuertas serán del tipo báscula operadas automáticamente por malacates hidráulicos y controladas por flotadores en el canal de descarga. Con la cresta del vertedero a la El. 984.60 y compuertas de 2.40 m de altura se podrá tener un nivel controlado del agua a El. 987.0 el cual será suficiente para producir en los canales de irrigación, en un caudal igual a su capacidad. El vertedero estará dividido en tres secciones de 20 m cada una, por medio de dos tabiques. Los malacates y las compuertas se instalarán en el futuro cuando se inicie la irrigación.

La bocatoma de la margen izquierda, cuya capacidad es de 16 m³/s, consistirá en una estructura de captación en concreto, con tablonces de 3.50 m x 3.50 m (dimensiones interiores que terminará en una estructura de descarga, en concreto.

El conducto de concreto actuará como un sifón invertido en su paso por debajo del canal de transición del rebosadero.

La bocatoma del lado derecho, con una capacidad de 56 m³/s, tendrá tablonces de cierre y guías, seguidas por un conjunto triple de conductos rectangulares de 3.50 x 3.50 m bajo la carretera de acceso y terminará en una estructura de descarga, en concreto.

CAPITULO 7

COSTOS Y BENEFICIOS

1. PROGRAMA DE CONSTRUCCION

En la figura 7-1 se presenta el programa propuesto para la construcción de las obras, basado en la ejecución de trabajos de acuerdo con los plazos y fechas descritos a continuación:

<i>Contrato general</i>	<i>Fecha / Año</i>
Comienzo de la preparación de planos de Licitación	1 Nov. / 0
Anuncio de licitación	1 Junio / I
Adjudicación den contrato	1 Nov. / I
Iniciación de la construcción	1 Mar. / II
Terminación de la ataguía de la segunda etapa	1 Julio / III
Terminación de la construcción	1 Julio / IV
<i>Equipo principal de casa de máquinas</i>	
Comienzo de la preparación de planos de licitación	1 Oct. / 0
Anuncio de la licitación	1 Mayo / I
Adjudicación de contratos	1 Oct. / I
Iniciación del montaje	1 Agosto / III
Terminación del montaje - 1a. Unidad	1 Junio / IV
Terminación del montaje - 2a. Unidad	1 Julio / IV
Los planos correspondientes son:	
Preparación de planos de licitación (equipo)	7 meses
Anuncio de licitación y adjudicación de contratos	6 meses
Preparativos y movilización del contratista	4 meses
Construcción hasta terminar la 1ª Unidad	27 meses
Tiempo adicional para terminación 2ª Unidad	1 mes
TOTAL	<hr/> 45 meses

El procedimiento para desviación del río y desecación se describió en el Capítulo 6 y de acuerdo con él se preparó el programa de construcción de la figura 7-1. Se dió especial consideración a los siguientes factores: (1) Los costos de la ataguía para la segunda etapa se reducen considerablemente, si la sección de la presa principal que bloquea el cauce del río (hasta la cota 1001.5), se construye durante la época de sequía desde el 1° de Ju-

lio hasta el 1° de Septiembre. (2) Durante esta época es casi imposible la ocurrencia de avenidas que pongan en peligro la construcción. Si por alguna razón es necesario modificar el programa descrito, será necesario aumentar la elevación de la ataguía de la 2ª etapa. Aún así se corre cierto riesgo de inundación de las obras por desbordamiento de las aguas sobre la ataguía.

2. PRESUPUESTO DE COSTOS

El costo de construcción del proyecto, que se presenta en detalle en el cuadro 7-1 es de \$ 60'300.000 más US\$ 17'500.000. Estas cifras incluyen ingeniería de diseño y construcción y gastos generales de administración, pero no líneas de transmisión ni patio de conexiones. Los precios considerados son los correspondientes a la segunda mitad de 1.957.

El capital requerido (capital cost.) es de \$ 65'900.000 más US\$ 18'800.000, que, suponiendo el cambio a US\$ 1.00 = \$ 6.00, equi-

vale un total de \$ 179'000.000.

Tierras y servidumbres: El precio de compra de la tierra en las zonas que será necesario adquirir, se determinó teniendo en cuenta su calidad y su uso actual. Los gastos de adquisición se determinaron de acuerdo con las condiciones locales.

Los costos de relocalización de ferrocarriles, carreteras y otras obras se determinaron según reconocimientos y presupuestos detallados.

CUADRO 7 - 1

PRESUPUESTO DE COSTOS

	<i>Costos en miles</i>	
	Pesos \$	Dólares US\$
<i>Tierras y servidumbres</i>		
Precio de compra de las tierras incluyendo mejoras	5.759	0
Gastos de adquisición de tierras y privilegios	840	0
Relocalización de carreteras	90	4
Relocalización de Ferrocarriles	8.106	811
Relocalización de otras estructuras y mejoras	125	10
	14.920	825
 <i>Estructuras y mejoras</i>		
Explanación general	900	120
Casa de máquinas	3.363	438
Bocatoma	5.041	2.013
	9.304	2.571

CUADRO 7-1 - CONTINUACION

PRESUPUESTO DE COSTOS

Costos en miles

	Pesos \$	Dólares US\$
<i>Embalse, presa y conducto de agua</i>		
Limpieza de la zona del embalse	60	6
Zanja para cortina impermeable (ataguía 1ª etapa)	399	155
Ataguía - 2ª etapa	526	304
Terraplén principal	6.689	2.468
Estribos, protección de taludes, relleno de depresiones	2.988	933
Dique de La Ferreira	931	235
Conductos principales a las turbinas	1.611	767
Cámaras de carga (almenaras)	1.833	537
Estructuras para irrigación	1.513	202
Vertedero	4.866	1.004
Conductos para control de avenidas	1.524	161
Canal de fuga	512	69
	<hr/> 23.182	<hr/> 6.835
<i>Equipo de la casa de máquinas</i>		
Turbinas, reguladores y accesorios	450	1.750
Compuertas de desfogue	32	48
Generadores y auxiliares	450	1.600
Equipo eléctrico auxiliar	95	475
Grúa de la casa de máquinas	160	255
Equipos varios - Casa de máquinas	35	25
	<hr/> 1.222	<hr/> 4.153
<i>Carreteras, ferrocarriles y puentes.</i>		
Carreteras de acceso para uso permanente	924	92
Ferrocarriles de acceso para uso permanente	65	6
	<hr/> 989	<hr/> 98
Costos directos de construcción y tierras	49.617	14.482
Imprevistos (10%)	4.962	1.448
	<hr/> 54.579	<hr/> 15.930
SURTOTAL	54.579	15.930
Ingeniería de diseño	1.600	700
Ingeniería de construcción	3.000	600
Gastos de Administración de la CVC (2%)	1.092	319
	<hr/> 60.271	<hr/> 17.549
Costo total de construcción	60.271	17.549
Intereses durante la construcción (+)	5.585	1.300
	<hr/> 65.856	<hr/> 18.849
Costo total	65.856	18.849

+ Calculados a partir del programa de construcción con 6% y 4.75% de interés para inversiones en pesos y dólares respectivamente.

Costos directos de construcción: Para los ítems principales de movimiento de tierras, que comprenden: zanja para cortina impermeable (ataguía - 1ª etapa); ataguía de la 2ª etapa; presa principal; estribos, protección de taludes, diques de relleno en las depresiones y para el dique de la Ferreira, se hizo un análisis basado en el equipo necesario. Los costos directos en el Cuadro 7-1 se componen de cuatro partes, a saber: equipo, mano de obra, materiales y varios. Los costos del equipo se dedujeron de presupuestos de horas de funcionamiento, costos de alquiler, valor residual del equipo al fin de la obra de operación por hora incluyendo mantenimiento, combustibles y llantas.

La mano de obra se avaluó de acuerdo con los salarios usuales para personal colombiano y extranjero con suficiente margen para horas extras y prestaciones sociales. El renglón de "varios" se compone de: personal administrativo del contratista, cuadrillas de topografía, movilización del personal extranjero, vehículos para el personal administrativo del contratista, oficinas provisionales en el sitio de las obras y transporte de los trabajadores al sitio. (Esto último es nominal puesto que las obras quedarían a corta distancia de varias aldeas de regular tamaño y por lo tanto, no será necesario construir campamentos para obreros; al personal se movilizará en buses). Este renglón incluye también un 10% de utilidades para el contratista; 5% para imprevistos; 1% para garantías de cumplimiento y los costos de financiación del equipo por parte del contratista, o sea, los intereses (6% anual) sobre el capital invertido en el equipo de construcción.

Los costos unitarios del concreto se basan en el uso de cemento local y reflejan el volumen y la complejidad de los trabajos requeridos.

Los precios de compuertas, tuberías de carga y otros ítems importados se dedujeron de los precios actuales de esos artículos, dejando un margen para gastos locales de montaje. En cuanto a las turbinas y generadores, las cantidades asignadas se basan en los costos corrientes de unidades de capacidad y salto semejantes. Lo mismo se aplica a los renglones: "Equipo eléctrico auxiliar", "Grúa" de la casa de máquinas"; y "Equipos varios casa de máquinas".

Imprevistos o dificultades de construcción: Puesto que el proyecto no presenta dificultades excepcionales de cimentación, un 10% es suficiente para cubrir los costos imprevistos que se presenten.

Intereses durante la construcción: Se calcularon de acuerdo con el programa de construcción recomendado. Se supuso que los pagos iniciales al firmar los contratos de material de importación, serían del 20% y que se retendría un 10% hasta la terminación de las pruebas finales.

Se consideraron intereses del 6% para las inversiones en pesos y 4.75% para las inversiones en dólares. Los intereses sobre capital en pesos se incluyeron en el presupuesto, aunque es posible que gran parte de la financiación de Timba se haga mediante préstamos del Gobierno Nacional sin intereses.

3. PROGRAMA DE INVERSIONES

En el Cuadro 7-2 se presenta un plan de inversiones que indica las cantidades que es necesario invertir en cada año.

CUADRO 7 - 2

PROGRAMA DE INVERSIONES

(cantidad en miles)

Año	P E S O S \$			D O L A R E S US\$		
	Costo de Construcción	Intereses durante la Construcción	Capital requerido	Costo de Construcción	Intereses durante la construcción	Capital requerido
0	222	2	224	97	1	98
1	6.535	209	6.744	2.285	58	2.316
II	26.736	1.208	27.944	7.322	286	7.608
III	23.417	2.713	26.130	6.697	619	7.316
IV	3.361	1.453	4.814	1.175	336	1.511
TOTAL	60.271	5.585	65.856	17.549	1.300	18.849

4. DISTRIBUCION DE COSTOS

El proyecto de Timba de finalidad múltiple producirá renta inmediata por venta de energía eléctrica. Igualmente, el control de avenidas producirá un beneficio inmediato que irá aumentando a medida que se desarrolla la productividad de las tierras protegidas. La irrigación comenzará también a producir resultados benéficos en breve plazo después de terminado el proyecto. Los proyectos derivados de la irrigación, al igual que los derivados del control de inundaciones, irán aumentando a medida que las zonas servidas se desarrollan. Timba producirá también otros beneficios de diversa índole como son el mejoramiento de la calidad de las aguas y de las condiciones de navegación.

Un beneficio futuro muy importante se derivará del aumento del caudal mínimo del río, que hará posible la desviación de parte de las aguas del Río Cauca hacia la vertiente del Pacífico, para la generación en grande escala de energía eléctrica a bajo costo. Sin embargo, la gran inversión necesaria para este proyecto, junto con las dificultades que puedan surgir para la venta de cantidades tan grandes de energía, hacen que sea aventurado, al menos por ahora, contar con su realización y evaluar los beneficios que de él se deriven.

Por lo tanto, se ha considerado conveniente por ahora distribuir los costos del proyecto entre tres finalidades únicamente, a saber: Generación de energía, control de inundaciones e irrigación.

Los demás beneficios derivados del proyecto pueden ser relativamente muy grandes en el futuro. Sin embargo, ante la imposibilidad de hacer un avalúo real de ellos, y con el ánimo de hacer más simple el estudio de este informe por parte de las entidades de financiación, se decidió considerar solamente los beneficios provenientes de las tres finalidades arriba mencionadas.

Para la distribución del costo total del proyecto entre los tres fines, se empleó el método llamado de la "inversión alternativa justificable". De acuerdo con este método se determinan primero los "costos directos", o sea las cantidades que se pueden cargar directamente a cada uno de los objetivos. La diferencia entre la suma de los "costos directos" y el costo total es el llamado "cos-

to común", el cual se reparte entre las distintas finalidades proporcionalmente a los respectivos "costos remanentes alternativos". Estos a su vez son la diferencia entre el costo de un "proyecto alternativo justificable, de finalidad simple" y el "costo directo" de la respectiva finalidad. Por último, el costo asignado a cada finalidad será la suma de su "costo directo" más su parte correspondiente del "costo común".

Para poder establecer una comparación, los costos en dólares se redujeron a su equivalente en pesos, suponiendo una tasa de cambio de 6 pesos por cada dólar.

En el caso de generación de energía, el proyecto alternativo justificable sería una central térmica equivalente cuyo costo, teniendo en cuenta costos de operación, combustible y depreciación, sería de \$ 143'100.000. Una alternativa justificable para control de inundaciones consistiría en un embalse con capacidad útil de 305 Mm³, que es igual a la capacidad reservada para tal fin en el proyecto múltiple. Su costo sería de \$ 80'000.000 y sería justificable con base en los beneficios que se derivarían del control de inundaciones.

Para irrigación, alternativa justificable consistiría en una presa de desviación a través del río Cauca, en La Balsa, con sus respectivas estructuras auxiliares, tales como ataguía, vertedero y bocatoma. Su costo sería de \$ 19'300.000.

El cálculo de la distribución de costos se encuentra resumido en el Cuadro 7-3. En la columna encabezada "Plan A" se indica la distribución entre las tres finalidades consideradas, como sigue:

Generación de energía \$118'600.000; control de inundaciones \$ 47'500.000; irrigación \$ 12'900.000. Podría argüirse que la irrigación y el control de inundaciones son en realidad una sola finalidad en vez de dos, si se tiene en cuenta que la mayoría de los beneficios de la irrigación no sería realizable si no existiera el control de inundaciones.

En la columna denominada Plan B (Cuadro 7-3) se presenta una nueva distribución de costos en la cual irrigación y control de inundaciones se consideran como una sola finalidad. En este plan la asignación para generación de energía resulta de \$ 122'600.000 o sea 3% mayor que el Plan A.

CUADRO 7 - 3
COMPUTO DE DISTRIBUCION DE COSTOS

		Pesos	
1.	Costo total del proyecto		179'000.000
2.	Costo directo energía	83'000.000	
3.	Costo directo control inundaciones	0.000	
4.	Costo directo irrigación	3'600.000	
5.	Costo directo total	86'600.000	86'600.000
6.	Costo común		92'400.000
		PLAN A	PLAN B
		Distribución entre energía, control de inundaciones e irrigación.	Distribución entre energía, y recuperación de tierras.
7.	Costos de alternativa justificable, energ.	143'100.000	143'100.000
8.	" " " " Control inun.	80'000.000)	
9.	" " " " Irrigación	19'300.000)	83'600.000
10.	Costo remanente, energía (7)-(2)	60'100.000)	60'100.000
11.	" " Control inunda. (8)-(3)	80'000.000)	
12.	" " irrigación (9)-(4)	15'700.000)	80'000.000
	Total (10) + (11) + (12)	155'800.000	140'100.000
14.	Costo común asignado a energ. (6) × (10)	35'600.000	39'600.000
15.	" " Control inund. (6) × (11)	47'500.000)	
16.	" " irrigación (6) × (12)	9'300.000)	52'800.000
	(13)		
(6)	Costo común total (14) + (15)	92'400.000	92'400.000
17.	Costo asignado a energ. (2) + (14)	118'600.000	122'600.000
18.	" " a control inund. (3) + (15)	47'500.000)	
19.	" " a irrigación (4) × (16)	12'900.000)	56'400.000
(1)	Costo total del proyecto	179'000.000	179'000.000

5. COSTOS ANUALES

Los costos anuales de generación de energía y de control de inundaciones se componen de las siguientes partes:

- (1) Intereses sobre préstamos en el exterior, al 4.75% anual y con amortización a 20 años comenzando 4 años después de que el préstamo se haya hecho efectivo. Se ha supuesto que la amortización y los intereses se pagarán en 16 anualidades iguales. Estas anualidades resultan del 9.06% del costo asignado a la finalidad respectiva.
- (2) Los intereses del 6% sobre préstamos locales. No se tiene en cuenta la amortización.
- (3) Depreciación, calculada con base en un fondo de amortización, con 4% de interés compuesto; se consideró una vida útil de 40 años para el proyec-

Sueldos y jornales, operación
 Sueldos y jornales, mantenimiento
 Material y suministros

TOTAL

to, con lo cual la cuota anual resulta de 1.05%.

- (4) Seguros; se adoptó un costo de 0.1% del capital invertido. No se tuvieron en cuenta impuestos.

El incluir en los costos anuales tanto la amortización de préstamos al exterior (parte del ítem 1) como la depreciación, es aparentemente una repetición. Sin embargo se ha considerado que tal procedimiento le permitirá a la CVC acumular algún capital para reinversión y al mismo tiempo provee un margen de seguridad en el caso de que continúe la devaluación del peso.

Además de los renglones anteriores, en la determinación del costo anual de la energía, se tuvieron en cuenta los siguientes:

- (5) Costos de operación y mantenimiento; discriminados así:

\$ 325.400
 \$ 154.000
 83.600

\$ 563.000

- (6) Costos de transmisión, iguales al costo anual de la línea Cali-Timba. Según el Cuadro 7-25 del "Informe sobre Desarrollo Coordinado", el capital requerido para esta línea será de \$ 1'700.000 más US\$ 1'360.000. Estos costos se aumentaron, en el presente estudio; a \$ 2'500.000 más US\$ 1'500.000 para incorporar el aumento de los costos desde 1.955.

costos a irrigación y control de inundaciones tendría muy poco efecto en el costo anual de generación de energía.

Costo anual de generación y costo unitario de la energía. Para su cálculo se adoptó el Plan B, que da para energía una asignación ligeramente mayor que el Plan A. Los cálculos están resumidos en el Cuadro 7-4.

- (7) Gastos de administración, los cuales incluyen, además de los gastos de administración de los departamentos de energía de la CVC, una parte proporcional de los demás costos generales de administración no cargados a construcción.

Costos anuales de control de inundaciones. En el Cuadro 7-5 están resumidos estos costos. Se incluyó el costo de las mejoras al cauce del río ya que, al comparar los costos y los beneficios del control de inundaciones, se deben tener en cuenta sus dos factores principales (mejoras del cauce y embalse de Timba). El capital requerido para las mejoras del cauce se obtuvo de los presupuestos incluidos en el Capítulo VIII del Informe sobre Desarrollo Coordinado (costos a mediados de 1955) con las modificaciones siguientes:

Tanto los costos de operación y mantenimiento como los costos de administración se cargaron en su totalidad a energía puesto que la mayoría de ellos se deben a la generación de energía.

Además, la asignación de parte de estos

- (a) Aumento del 50% en los costos lo-

cales y del 10% en los extranjeros, desde 1955 hasta 1957.

(b) Intereses durante la construcción suponiendo que esta se lleve a cabo en un período de 4 años.

El costo anual de control de inundaciones se determinó para cada uno de los 2 casos siguientes: a) Mejoras del río hasta Buga únicamente, y

b) Mejoras del río desde La Balsa hasta Cartago.

Costo anual de irrigación. Los costos anuales de irrigación se indican en el Cuadro 7-6. El capital requerido de \$ 61'000.000 para inversiones en pesos, más \$ 54'000.000 para inversiones en dólares se obtuvo del cuadro IX-4 del Informe sobre Desarrollo Coordinado con las siguientes modificaciones: (a) Aumento del 50% en los precios locales y

del 10% en los extranjeros (desde mediados de 1.955). (b) intereses durante la construcción suponiendo un período de 2 años, que se consideró suficiente para obras relativamente pequeñas como canales, conductos a presión y estaciones de bombeo.

Los costos distribuidos en un período de 10 años tienen un "valor actual" de \$ 45'000.000 (para inversiones en dólares) y \$ 36'000.000 (para pesos) como lo indica el Cuadro 7-6.

Los intereses supuestos (6% para dólares y 8% para inversiones en pesos) en relación con canales de irrigación y bombas de drenaje son un poco mayores que los supuestos para el proyecto de Timba debido a que la financiación de este tipo de obras puede ser más difícil, por tratarse de trabajos dispersos y con un período de construcción bastante largo.

CUADRO 7 - 4

COSTO ANUAL DE GENERACION Y COSTO UNITARIO DE LA ENERGIA

(Cantidades en miles)

Capital requerido - Asignado a Energia.

En moneda colombiana			38.200
En moneda extranjera	14.060	x 6	84.400
			<u>122.600</u>
	\$	US\$	Total \$
			<u>(US \$1=\$6)</u>

Costo anual

Intereses y amortización moneda extranjera 9.6%		1.274	7.645
Intereses sobre préstamo local en pesos 6%	2.292		2.292
Depreciación 1.05%	401	148	1.287
Seguros 0.1%	38	14	122
Costos de transmisión	212	160	1.173
Operación y mantenimiento	563		563
Administración	130		130
<i>Costo anual total</i>	<u>3.636</u>	<u>1.596</u>	<u>13.212</u>

Energía generada al año:

En Timba	338.000.000	Kwh
Aumento en las otras plantas debido a Timba	29.000.000	Kwh
Aumento total debido a Timba	<u>367.000.000</u>	Kwh

<i>Costo unitario de la energía (kwh).</i>	<i>Centavos</i>	<i>US Mills</i>	<i>Tótal en Centavos</i>
En Timba	1.08	4.7	3.9
Aumento en todo el sistema debido a Timba	0.99	4.35	3.6

6. BENEFICIOS

Energía. Como es bien sabido, la disponibilidad de una fuente adecuada de energía eléctrica a un costo razonable, produce un beneficio muy superior a su costo o a la utilidad proveniente de su venta.

Según el Cuadro 7-4 el costo de la energía adicional debida a Timba será de 2.6 centavos por Kwh. Este costo es bastante bajo. (Para una rata de cambio de US\$ 1.00 = 6.00)

Desde mediados de 1.955 el sistema CHIDRAL ha venido vendiendo energía a un promedio de 4 centavos por kwh.

En ese entonces (1955) el "cambio ofi-

cial" del peso, o sea, el cambio para las entidades oficiales, como CHIDRAL, para el pago de sus obligaciones en dólares era de \$ 2.50 = US \$1.00; sin embargo, dicho cambio oficial fué abolido desde Junio de 1957. Por lo tanto el precio de \$ 0.04 por Kwh es totalmente inadecuado en la actualidad. Según se tiene entendido, CHIDRAL ha solicitado aprobación de un alza substancial en sus tarifas. Si se adopta finalmente la tarifa de \$0.07 por kwh, las utilidades por concepto de energía generada por Timba serán de \$ 0.034 por kwh, o sea, \$ 12'500.000 anuales, que representarían una utilidad del 10% aproximadamente, sobre el capital invertido de \$ 123'000.000.

CUADRO 7 - 5

COSTO ANUAL DE CONTROL DE INUNDACIONES

(Cantidades en miles de pesos)

A - Proyecto de Timba

Capital Requerido - Asignado a Control de Inundaciones:

Moneda Nacional	23.000
Moneda Extranjera US\$ 4167 x 6	24.500
Total	47.500

Intereses y amortización de Dólares, 9.06%	2.220
Intereses sobre Fondos en pesos, 6%	1.380
Depreciación	500
Seguros	50
Administración	100
Costo Anual "A"	4.250

B - Mejoras del Río Cauca

	La Balsa a Buga	Buga a Cartago	La Balsa a Cartago
Capital requerido			
en Moneda Nacional	12.500	18.500	31.000
en Moneda Extranjera	13.200	20.200	33.400
Total	25.700	38.700	64.400

CUADRO 7 - 5 - CONTINUACION

Intereses y amortización de Dólares, 9.06%	1.200	1.830	3.030
Intereses sobre fondos en pesos, 6%	750	1.110	1.860
Operación, mantenimiento, y administración	1.000	1.000	2.000
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Costo anual "B1"	2.950		
	<hr/>		
Costo "B2"		3.940	
		<hr/>	
Costo Anual "B"			6.890
			<hr/>
<i>Costo Anual Total</i>			
Timba, Costo Anual "A"	4.250		4.250
Mejoras Río Cauca, Costo Anual "B1"	2.950		
	<hr/>		
Costo anual total de Control de Inundaciones hasta Buga	7.200		
Mejoras del Río Cauca, Costo Anual "B"			6.890
			<hr/>
Costo anual total de Control de Inundaciones en todo el Río hasta Cartago			11.140
			<hr/>

CUADRO 7 - 6

COSTO ANUAL DE IRRIGACION

(Cantidades en miles de pesos)

A - Proyecto de Timba

Capital Requerido - Asignado a Irrigación		
En Moneda Nacional		6.470
En Moneda Extranjera		6.430
	Total	<u>12.900</u>
Intereses y amortización de dólares 9.06%		580
Intereses sobre fondos en pesos 6%		380
Depreciación		135
Seguros		15
	Costo Anual "A"	<u>1.110</u>

B - Sistema de irrigación y drenaje.

Incluye canales en las dos márgenes del río, estaciones de bombeo para irrigación y drenaje y conductos a presión. Se supuso que los propietarios pagarían todos los costos de operación y mantenimiento más los costos de construcción de obras locales, inclusive obras de control de avenidas en los afluentes. (Véase cuadro 7-7).

Capital Requerido

Suponiendo un período de construcción de 10 años e interés del 6% sobre los fondos en dólares y 8% sobre los fondos en pesos.

En moneda extranjera 61.000		
Valor actual (a) 73.6%	45.000	
En moneda nacional 54.000		
Valor actual (a) 67.2%	36.500	
	Total	<u>81.500</u>

Costo Anual

Intereses y amortización, moneda extranjera 9.24% (b)		4.200
Intereses sobre capital en pesos 8%		2.900
	Costo Anual "B"	<u>7.100</u>
	Costo Anual "A"	<u>1.100</u>
	Costo Anual Total	<u>8.200</u>

(a) Valor actual de una anualidad segura por 10 años, intereses 6% y 8% sobre fondos en moneda extranjera y nacional respectivamente.

(b) Préstamos a 20 años, 6% de interés, conpagos en anualidades a partir del 2º año.

Control de inundaciones: En el capítulo 2 se trató de las áreas que inunda una riada promedio, así como de las inundadas por la riada de 1949-1950 (la máxima registrada). En el Cuadro 2-1 se describió el efecto que el embalse de Timba tendría sobre los caudales de riada. El efecto es mayor en La Balsa, donde el área controlada por el embalse es el total del área de drenaje hasta ese punto (5480 km²) y es menor en Juanchito donde el área controlada es sólo el 10% del área de drenaje, que hasta allí es de 9060 km². El caudal máximo registrado en Juanchito es de 1000 m³/s; el embalse de Timba lo reducirá a 870 m³/s.

Si se fueran a construir las mejoras del cauce aguas arriba de Juanchito, eliminando, por lo tanto, el almacenamiento del Valle, la descarga producida en Juanchito por una riada como la de 1950 sería de 1500 m³/s sin Timba, que con Timba se reducirían a 870 m³/s.

Los beneficios directos por control de inundaciones para las distintas clases de tierra (cuadro 7-8) se calcularon con base en beneficios por hectárea, tomando la diferencia entre el producido neto de las tierras en las condiciones actuales y el calculado para las condiciones futuras.

La renta agrícola neta se calculó en el cuadro 7-7 con base en un valor de arrendamiento más un valor adicional producido por administración.+

Los valores de arrendamiento se estimaron en 10% de los precios de venta de las tierras en el Valle del Cauca, para los cuales se adoptaron valores relativamente bajos en comparación con los precios corrientes. (El 10% es el interés usual, en Colombia, para empresas privadas relativamente grandes).

El valor adicional producido por la administración* se estimó en 30% del valor de arrendamiento. Los concesionarios acostumbra pagar al propietario una renta anual igual a una tercera parte del producto bruto de la tierra. Las dos terceras partes restantes son la renta bruta del concesionario, que incluye intereses bancarios, gastos de admi-

nistración, impuestos sobre la renta y utilidad neta. Un avalúo pesimista de los dos últimos ítems permite estimarlos en 10% y 5% respectivamente de la renta del concesionario, lo que permite al 20% y 10% respectivamente del valor de arrendamiento (Véase nota 2 - Cuadro 7-7). Los impuestos sobre la renta, aunque desde el punto de vista del concesionario no representan utilidad, son riqueza derivada de la construcción del proyecto y por lo tanto deben ser tenido en cuenta al avaluar los beneficios.

Como se indica a continuación, se puede obtener una comprobación del precio de venta adoptado para la tierra de clase G, teniendo en cuenta los precios y costos de producción del arroz y la soya que son cosechas típicas:

1. El precio actual promedio de arroz sin trillar es de \$ 55 por saco de 150 libras (avoirdupois); para la soya, el precio por saco de 125 libras es \$ 46,25.
2. En un ciclo de 3 años se pueden obtener cuatro cosechas de arroz y dos de soya. Las producciones por plaza son de 47.5 sacos por cosecha de arroz y 16 sacos por cosecha de soya. El valor bruto anual de las cosechas es entonces de \$ 4.000 por plaza.
3. Los costos de producción por cosecha por plaza son \$ 620 para el arroz y \$ 250 para la soya, lo que da un costo promedio de producción de \$ 1.000 por plaza anualmente. Se incluyen todos los costos de producción excepto los intereses bancarios, el valor de los servicios de administración y los impuestos sobre la renta de arrendatario, ya que éstos se consideran como parte de la renta bruta del arrendatario (ver N° 5). Las entradas brutas son entonces de \$ 3.000 por plaza. (El ciclo de 3 años incluye un período de 6 meses para descanso de las tierras, durante el cual podrían dedicarse a pastos para ganadería; para ser conservativos, el posible valor adicional por tales usos se ha despreciado).

* Véase "Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects", Federal Inter-Agency River Basin Committee, Washington, D. E., 1950, Chapter IV.

5. Como se dijo antes, en general el arrendatario paga al dueño de las tierras un arriendo igual a una tercera parte de las entradas brutas, o sea que en este caso el arriendo es \$ 900. (Los \$ 1.800 restantes son entradas brutas del arrendatario).
6. Como el costo anual del uso de capital en Colombia es cerca del 10%, la tierra de clase G tiene un valor de \$ 9.000 por plaza. Para estar dentro de los límites de seguridad, se supuso un valor de \$ 7.500 por plaza.

El beneficio directo final por control de inundaciones, según el Cuadro 7-8, resulta

de \$ 26'000.000 de La Balsa a Buga y \$ 12'000.000 de Buga a Cartago para un total de \$ 38'000.000 de La Balsa a Cartago. Aunque en los costos anuales (Cuadro 7-5) se incluyeron los intereses durante un período de construcción de 4 años, el desarrollo de los cultivos en las tierras beneficiadas requiere un período adicional que se ha estimado en 5 años. Por lo tanto, el beneficio directo por control de inundaciones se ha reducido de \$ 38'000.000 a \$ 32'000.000 como se ve en el Cuadro 7-8.

La relación de provechos a costos hasta Buga resulta de 3.0:1 y para todo el Valle de 2.9:1.

CUADRO 7 - 7

RENTA AGRICOLA NETA POR HECTAREA

(pesos)

Clase de Tierra	Precio de Venta por Plaza	Valor de arrendamiento por Plaza (1)	Valor adicional por Plaza (véase Nota 2)	Renta neta Agrícola "A"	Renta Neta "B"	
				(3)	Por Plaza (4)	Por Ha.
A. Inundada permanentemente	500	0	0	0	0	0
B. Inundada de 3 a 6 meses la mayoría de los años	1200	120	-	120	120	190
C. Inundada una vez cada 2 a 5 años. Sin drenaje ni irrigación	2400	240	70	310	310	480
D. Inundada una vez cada 7 a 10 años; sin drenaje ni irrigación	3500	350	100	450	450	700
E. Libre de inundaciones; sin drenaje ni irrigación.	4000	400	120	520	520	810
F. Inundada una vez cada 7 a 10 años; con drenaje e irrigación	6500	650	200	850	700	1100 990 (a)
G. Libre de inundaciones; con drenaje e irrigación	7500	750	220	670	820	1280 1150 (a)

Notas:

1. Como valor de arrendamiento se tomó 10% del precio de venta.
 2. El valor adicional producido por administración se estimó en 30% del valor de arrendamiento; 10% corresponde a las utilidades netas del concesionario y 20% a su impuesto sobre la renta.
 3. La renta neta agrícola "A" corresponde al valor de arrendamiento más el valor adicional por administración.
 4. La renta neta agrícola "B" es igual a la "A" menos el costo anual de las obras de irrigación y drenaje que se supuso de \$ 150 por plaza. Este costo se compone de: (I) 10% de los costos de construcción de obras de irrigación y drenaje (\$ 850 por plaza, que incluye solamente canales laterales y zanjas de drenaje) y (II) Costo de operación y mantenimiento a razón de \$ 65 por plaza.
- (a) Reducido en un 10% para tener en cuenta la tierra ocupada por canales de irrigación y drenaje.

CUADRO 7 - 8

BENEFICIO DIRECTO POR CONTROL DE INUNDACIONES

(Cantidades en miles)

Beneficio directo final

Tierra	Beneficio por (A) \$	La Balsa a Buga		Buga a Cartago	
		cultivable (Ha)	Beneficio \$	Tierra Cultivable (Ha)	Beneficio \$
1. Zona inundable					
A	0.81	8.000	6.500	4.000	3.200
B	0.62	8.000	5.000	3.000	1.900
C	0.33	23.000	7.600	8.000	2.600
D	0.11	6.000	700	20.000	2.200
Sub-totales		45.000	19.800	35.000	9.900
2. Arreas adyacentes a la zona inundable.					
C	0.22 (B)	28.000	6.200	9.000	2.000
Totales		73.000	26.000	44.000	11.900

(A) Diferencia de renta agrícola neta entre la tierra de clase E y la tierra actual (Véase Cuadro 7-7).

(B) Beneficio estimado, debido a baja del nivel freático en la tierra adyacente a la zona inundable.

Beneficio directo descontado.

Suponiendo que se requiera un período de 5 años para alcanzar el beneficio directo final. Usando un interés de 8% se determinó

el valor actual de beneficio por los 50 años siguientes a la terminación del proyecto.

CUADRO 7 - 8 - CONTINUACION

Año	% Desarrollo	Valor Actual	Producto
1	20	.926	.185
2	40	.856	.342
3	60	.794	.476
4	80	.736	.589
5	100	.681	.681
6 a 50	100	8.247 (a)	8.247
			10.520

El valor actual de una anualidad segura por 50 años es 12.23.

El valor de descuento resulta entonces: $\frac{10.52}{12.23} = 86\%$

Los beneficios directos por control de inundaciones son, por lo tanto:

La Balsa a Buga	\$ 22'000.000
Buga a Cartago	10'000.000
La Balsa a Cartago	32'000.000

Relación Beneficios a costos

(costos según Cuadro 7-5)

La Balsa a Buga	3.0:1
La Balsa a Cartago	2.9:1

(a) El valor actual de una anualidad segura por 45 años es 12.11; $12.11 \times 0.681 = 8.247$.

Irrigación: Los beneficios directos finales por irrigación son de \$ 52'000.000 según el Cuadro 7-9. Este valor se basa a un beneficio adicional de US \$ 340 por hectárea sobre la zona de 152.000 ha. servida por Timba. Se supuso que todas estas tierras correspondrían actualmente a la clase E. y que gracias a la irrigación pasarían a clase G. (Nótese que el valor de la renta neta agrícola contiene una deducción por costo de construcción de canales laterales y zanjas de drenaje y por costo de operación y mantenimiento de todas las obras de irrigación y drenaje).

El costo de los beneficios directos finales (\$ 52'000.000) se descontó en la misma forma que se hizo con el control de inundaciones, excepto que se considera un período de desarrollo de 15 años en vez de 5. En el informe sobre Desarrollo Coordinado se había supuesto un período de 30 años (1.955-1.965) en los cuales estaban incluidos los 5 años asignados a la construcción y termina-

ción de Timba. Sin embargo, ahora se consideró que un período de 15 años sería suficiente en vista de los siguientes factores:

1. Una vez construido el proyecto de Timba y los canales principales, el desarrollo de la zona se hará rápidamente gracias a la facilidad con que se puede obtener agua de dichos canales.

2. El decreto 0290 de 1.957, que exige que todas las tierras en el país sean aprovechadas al máximo de su capacidad y que establezca multas en caso de no hacerlo, está teniendo ya un efecto considerable en el Valle del Cauca, por ser ésta una de las principales zonas escogidas por el Gobierno para su aplicación.

3. Aunque la lluviosidad ha sido más baja de lo normal las pérdidas causadas por la escasez de lluvias desde Juli ode 1.957 han puesto de presente el valor económico de la irrigación.

CUADRO 7 - 9

BENEFICIO DIRECTO POR IRRIGACION

Beneficio adicional por irrigación con agua
de Timba

1. Area neta irrigada 152.000 ha. (Véase Capítulo 2)

2. Beneficio adicional (Según Cuadro 7-7).

Clase G	\$1.150 por ha.
Clase E	810 " "
	<hr/>
	\$ 340 " "

3. Beneficio directo final

$$152.000 \times 340 = \$ 52.000.000$$

4. Beneficio directo descontable. Suponiendo 15 años para desarrollo e intereses del 8%. Considerando el valor actual de los beneficios durante los 50 años siguientes a la terminación del proyecto.

Año	% Desarrollo	Valor actual	Producto
1	7	.926	.06
2	13	.856	.11
3	20	.794	.16
4	27	.736	.20
5	33	.681	.22
6	40	.631	.25
7	47	.584	.27
8	53	.541	.29
9	60	.500	.30
10	67	.463	.31
11	73	.429	.31
12	80	.397	.32
13	87	.369	.32
14	93	.341	.32
15	100	.315	.32
16 a 50	100	3.670 (a)	3.67
			<hr/>
			7.43

El valor actual de una anualidad segura por 50 años es 12.23.

El descuento, es entonces 7.43

$$\frac{12.23}{7.43} = 61\%$$

Beneficios directos por irrigación = $52'000.000 \times 0.61 = \$ 31'700.000$ anuales.

5. Relación de beneficio a costo = 3.9:1 o sea $31'700.000/8'200.000$.

(a) El valor actual de una anualidad segura por 35 años es 11.66; $0.315 \times 11.66 = 3.67$.

Beneficios indirectos por control de inundaciones e irrigación:

Además de los beneficios directos ya descritos, el control de inundaciones y la irrigación producirán los siguientes beneficios indirectos:

1. Valor adicional debido a la elaboración y proceso del aumento en la producción agrícola.
2. Reducción de las pérdidas de vidas humanas causadas por inundaciones.
3. Reducción de daños por inundaciones y de pérdidas de vida animal.
4. Economías en los costos de construcción y mantenimiento de carreteras y de aeropuertos, como resultado de la mejora de las condiciones de drenaje.
5. Eliminación de los daños por interrupciones, causadas por inundación, en la producción industrial, al transporte y al comercio.

Aunque no se cuenta con datos para evaluar estos beneficios en términos monetarios se cree que podrían tener un valor igual a la mitad de los beneficios directos correspondientes en el caso de control de inundaciones y a la tercera parte en el caso de irrigación.

Beneficios varios: Estos ya han sido descritos en el Capítulo 2. Los principales serán:

- (1) La regulación del río Cauca permitiría un gran desarrollo hidroeléctrico mediante la desviación Cauca-Pacífico.
- (2) El aumento del caudal será benéfico para el abastecimiento de agua tanto público como industrial.
- (3) El aumento del caudal reducirá también el grado de contaminación de las aguas.
- (4) El embalse será un importante centro de recreo.
- (5) Las mejoras al cauce del río serán benéficas para la navegación y recreación.

Resumen de beneficios derivados del Proyecto de Timba.

Energía

Timba producirá energía a un costo de 0.99 centavos más 4.35 US Mills (entregado en los centros de consumo). Con

cambio a US\$ 1 = \$6, este costo equivale a solo 6 US Mills. por kwh.

Control de Inundaciones

El beneficio directo anual por aumento de producción agrícola debido al control de inundaciones es de \$32'000.000 por Timba y \$6'900.000 por mejoras al cauce del río. La relación de beneficios a costo, sin incluir los beneficios indirectos es de 2.9 a 1. Teniendo en cuenta los beneficios indirectos, avaluados en 50% del valor de los directos, la relación sería de 4.3 al 1.

Irrigación

El beneficio directo anual por irrigación debido al aumento de producción agrícola es de 32'000.000 y los costos anuales son solamente de \$ 8'200.000 (\$ 1'100.000 por Timba y \$ 7'100.000 por las estructuras principales de irrigación y drenaje), lo cual da una relación de beneficios a costos de 3.9 a 1. Si se incluye los beneficios indirectos que ascienden por lo menos a 1/3 de los directos, la relación resulta de 5.3 a 1.

Varios

a. La regulación del río Cauca hará posible un desarrollo hidroeléctrico en grande escala por permitir la desviación de parte del caudal del Cauca hacia la vertiente del Pacífico. Aunque este sería un beneficio de grandes proporciones, la época de su realización es muy incierta todavía y por lo tanto es imposible por ahora, evaluarlo en términos monetarios.

b. Mejoras en el abastecimiento de aguas, en las condiciones sanitarias de las aguas y en la navegación del río, producidas por el aumento del caudal y reducción de la turbidez.

c. Atracción turística y recreativa del embalse.

CAPITULO 8

PLANTA TERMICA DE TIMBA

1. GENERALIDADES

El crecimiento de la demanda normal de energía en el sistema de la CVC requerirá, para 1.970, un aumento de la capacidad generadora, por encima del suministrado por el proyecto hidroeléctrico inicial, será entonces necesario recurrir al uso en grande escala de energía térmica a menos que para esa época se hayan encontrado nuevas fuentes hidroeléctricas que permitan generación económica de energía. (Por ejemplo, si se encuentra justificable la construcción del sistema hidroeléctrico Cauca-Pacífico, por una utilización electroquímica industrial, habrá

generación económica suficiente para suplir el aumento de demanda).

La capacidad adicional necesaria será de unos 200.000 kw. durante un período de cerca de tres años. En este capítulo se contempla la instalación de una planta térmica de esa capacidad en el sitio más adecuado.

De acuerdo con los estudios preliminares hechos y con los standards de AIEE-ASME la planta que mejor se adapta a las condiciones supuestas estaría formada por 3 unidades de 66.000 kw cada una.

2. ESCOGENCIA DEL SITIO

Se encontró que la ubicación más favorable para una planta termoeléctrica, sería cerca a la planta hidroeléctrica de Timba. Tal ubicación ofrece las siguientes ventajas: Su cercanía a las fuentes de abastecimiento de combustible, disponibilidad de agua fría a bajo costo para el condensador y condiciones favorables para la cimentación de las estructuras, en zona no expuesta al peligro de inundaciones. La transmisión de energía al centro de consumo de Cali, distante 42 kms, se hará por la doble línea de transmisión de 115 kv, Timba - Cali, la de Salvajina - Cali,

y la línea de enlace Timba - Salvajina que estarán disponibles en esa época. Otra ventaja de esta ubicación es la poca molestia que causaría el humo, por estar apartada de los centros urbanos.

Existe un sitio de topografía adecuada y fácil acceso por ferrocarril y carretera, situado a 1.5 km al nor-este de la planta hidroeléctrica, como se ve en la Fig. 8-1. En él hay suficiente espacio para almacenamiento de carbón, patios de ferrocarriles y desecho de cenizas.

3. ABASTECIMIENTO DE CARBON

Los estudios sobre reservas y yacimientos de carbón en el Valle del Cauca se presentan en el Apéndice C de este informe. Estos estudios indican que hay reservas suficientes para abastecer la demanda de carbón por muchas décadas, pero que para poder suplir la creciente demanda de los ferrocarriles,

la industria y la generación de energía, es necesario incrementar grandemente la explotación de los yacimientos. Aún si se completan los ensanches que actualmente se están llevando a efecto, solo una parte del suministro de carbón para la planta térmica de Timba provendría de las minas de la zona

San Francisco - Timba; el resto, tendría que obtenerse de otros yacimientos.

Si se decide construir la planta térmica de Timba, se deben tomar, antes de comenzar la construcción, las medidas necesarias para asegurar un suministro estable de car-

bón. Una posibilidad de suplir la demanda adicional sería la mecanización e intensificación de las explotaciones de yacimientos de la zona Guachinte-Río Claro. Los fletes de esta área al sitio de Timba son más bajos que los fletes desde la zona vecina a Cali.

4. CARACTERISTICAS DE LA PLANTA

Para los estimativos del equipo de la planta se adoptaron las normas técnicas ac-

tuales, de acuerdo con el AEE-ASME. Las principales características de la planta, son:

Casa de máquinas

Semi - intemperie - Calderas

Tipo

Equipo mecánico de tiro. Calentador de aire y equipo de tratamiento de aguas localizados en el exterior.

Calderas

Cantidad

3

Capacidad nominal (circulación de vapor)

600.000 lbs de vapor/hora

Temperatura a la salida

950°F.

Presión a la salida

11325 psi

Combustible

Carbón pulverizado

Pulverizadores de carbón

4 horas por unidad

Ventiladores

1 de tiro forzado) para
cada
1 de tiro inducido) Unidad

Chimeneas

2 de 140 pies de altura y 14 pies de diámetro.
En concreto.

Grupos Turbogeneradores.

Cantidad

3

Tipo

Tandem- compound, 3600 rpm, 1250 psi, 950°F a la entrada con presión de escape de 1½" de mercurio.

Generadores de 66.000 kw, enfriados por hidrógeno, 88.325 kva a 30 psi de presión efectiva del hidrógeno; 3 fases, 60 ciclos, 13.800 voltios, relación de cortocircuito 0.64 con excitador en conexión directa.

Equipo Mecánico Auxiliar

Grúa para la sala de turbinas	1	35 ton.
Calentadores de agua de alimentación con vapor de extracción (por unidad)	5	2 a baja presión (tipo cerrado) 1 Calentador desaereador. 2 a alta presión (tipo cerrado)
Evaporador	1	para cada unidad con precalentador desaereador.
Condensador	1	para cada unidad con (a), (b) y (c).
(a) Bombas para el agua de condensación	2	
(b) Bombas para el agua de circulación	2	
(c) Sistema desaereador a chorro de vapor	1	
Bombas de alimentación de las calderas	2	por unidad 1 completa de repuesto.
Sistema de aceite de lubricación de las turbinas		1 por unidad - Comprende purificadores de aceite, bombas y tanque de almacenamiento
Compresores de aire	2	
Sistema de tratamiento del agua para calderas	1	
Sistema de transporte de cenizas		A chorro de agua.

Equipo eléctrico Auxiliar

Control de excitación	3
Tablero principal de control y relevadores	3
Cargadores de baterías	2
Batería de la planta	1
Aparatos de control de carga y frecuencia	3
Transformadores de servicio de la estación	10
Tableros de control de servicios auxiliares	10
Transformadores para energía de servicio de la instalación:	
Transformadores principales para energía de la estación	4
Reactores para el neutro	3
Purificador de aceite aislante	1
Bomba para aceite aislante	1

Equipos varios

Compuerta de fondo para la cámara de tamices	6
Tamices movibles	6
Bombas para lavado de tamices	2
Grúa para cámara de tamices	1
Compuertas de fondo para los canales de descarga	3
Malacates para vagones	3
Básculas	1
Transportadores de banda	4
Molino para carbón	1
Trailla móvil	3
Vagón para transportar transformadores	1

Funcionamiento: A continuación se compendia el funcionamiento de la planta, considerando operación en ciclo regenerativo

con precalentamiento del agua en 5 etapas y con una carga de 198.000 kw (66.000 kw por unidad).

Carga en la estación:	198.000 kw.
Unidades en funcionamiento	3
Carga en cada unidad	66.000 kw.
Rendimiento térmico de las turbinas (1½ pulg. de Hg.)	8910 btu./kwh.
Eficiencia de las calderas	86%
Potencia para servicios auxiliares	5.5%
Potencia total de servicios auxiliares	10.900 kw.
Rendimiento térmico neto de la planta	11.000 btu/kwh.

5. PRESUPUESTO DE COSTOS

El costo total de la planta térmica de Timba con instalación de 198.000 kw. (3 unidades de 66.000 kw), como se vé en el Cuadro 8-1, es de \$ 21.3 millones más US \$30.6 millones, incluyendo ingeniería de diseño y construcción, gastos generales de administración e intereses durante la construcción, pero excluyendo las líneas de transmisión y el patio de conexiones.

El método de cálculo para los presupuestos de costos fué el mismo seguido para el proyecto hidroeléctrico de Timba, descrito en el Capítulo 7.

El costo anual de la estación térmica se presenta en el cuadro 8-2. Del mismo cuadro se deduce que el costo del kwh, para un factor de capacidad de 60%, es de 1.48 centavos más 3.65 US Mills (que, en total, equivalen a 3.67 centavos). Este costo unita-

rio es relativamente bajo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los dos factores más importantes que afectan este costo pueden cambiar en el futuro, Estos factores, son:

- a) El costo del carbón.
- b) La rata de cambio adoptada para los gastos en dólares.

Es muy difícil predecir el costo futuro del carbón, si se considera la incertidumbre con respecto a la demanda y a la calidad de las minas que se descubran en el futuro. En el Apéndice C se trata este punto.

Con respecto al segundo factor y considerando que cerca del 90% de los costos son en dólares, es claro que cualquier fluctuación del cambio afectará notablemente el costo del kwh.

CUADRO 8 - 1

PLANTA TERMICA DE TIMBA — PRESUPUESTO PRELIMINAR DE COSTO
198.000 kw. (3 unidades de 66.000 kw.)

Item	(Miles)	
	PESOS	DOLARES
	\$	US\$
1. Tierras y vías de acceso	400	---
2. Descapote y limpieza	55	8
3. Explanación	180	32
4. Sistema de agua de enfriamiento	550	490
5. Sub-estructura	661	974
6. Superestructura	923	603
7. Edificio de Administración	106	64
8. Calderas y quemadores	6.212	5.534
9. Equipo de tiraje	276	503
10. Controles e instrumentos	225	210
11. Equipo para manejo de combustibles y disposición de cenizas	865	1.302
12. Sistema de agua de alimentación	395	1.274
13. Tuberías y aislamientos térmicos	1.707	1.325
14. Turbinas y generadores	1.139	6.344
15. Planta condensadora	212	855
16. Equipo eléctrico auxiliar	1.300	1.320
17. Equipos varios de la planta	60	182
18. Transporte marítimo y terrestre	638	1.600
Costo directo de construcción y costo de las tierras	15.904	22.620
Imprevistos 10%	1.590	2.262
Sub-Total	17.494	24.882
Diseño	996	797
Ingeniería de construcción	744	1.057
Gastos generales de administración (CVC)	350	498
Total, costos de construcción	19.584	27.234
Interés durante la construcción	1.675	3.390
Capital requerido	21.259	30.624

CUADRO 8 - 2

PLANTA TERMICA DE TIMBA.
COSTO ANUAL Y COSTO UNITARIO DE LA ENERGIA

	(Miles)	
	PESOS	DOLARES
	\$	US\$
Intereses y amortización sobre préstamos en dólares, 9.06%	-	2.755
Intereses sobre capital nacional	1.268	-
Depreciación 2.4%	510	735
Seguros 0.25%	53	77
Costos de transmisión	219	213
Operación y mantenimiento	2.700	-
Administración	150	-
	<hr/>	<hr/>
Sub-total "A"	4.900	3.800
 <i>Combustible</i>		
Tipo	Carbón, tal como sale de la mina, sin lavar.	
Poder calorífico	12.1000 btu. por libra en su estado original	
Costo en la Planta	25 pesos por tonelada métrica	
Rendimiento térmico de la Planta	11.000 Btu por Kwh.	
Generación anual, kwh. (con factor de capacidad de 60%)		1.040.000.000
Consumo anual de carbón T.		420.000
Costo anual de combustible		10.500.000
	<hr/>	<hr/>
Sub-total "A"	4.900	3.800
Combustible	10.500	-
	<hr/>	<hr/>
TOTAL	15.400	3.800

Costo unitario de la Energía (por kwh): 1.48 centavos más 3.65 US mills o sea 3.67 centavos con cambio a 6 pesos por dólar.

RESUMEN Y RECOMENDACIONES

1. FINALIDAD MULTIPLE

El proyecto de Timba será el primero de finalidad múltiple emprendido por la CVC. Sus fines principales, serán:

Control de avenidas y drenaje.

Irrigación.

Regulación del río Cauca, que hará posible la desviación de parte de su caudal hacia la vertiente del Pacífico, para desarrollo hidroeléctrico.

Además, el proyecto de Timba producirá resultados benéficos para la navegación y mejorará la calidad y cantidad del agua del río para abastecimiento público e industrial. El aumento del caudal hará disminuir la contaminación y hará que el agua sea más apta para fines recreativos.

Control de avenidas y drenaje: La capacidad del cauce del río en La Balsa, inmediatamente aguas abajo de la presa propuesta, es de 550 m³/s. Allí el río se desborda dos veces al año, en promedio. En Juanchito, donde la capacidad es de 650 m³/s, el río se desborda con la misma frecuencia.

En la zona plana del Valle del Cauca, entre la Balsa y Cartago, una avenida promedio inunda 56.900 ha. La máxima avenida registrada es la de Febrero de 1950, que inundó 84.400 ha. Se ha estimado que la frecuencia de esta avenida es de una vez en diez años.

Además del daño directo causado por el desborde de las aguas del Cauca, resultan daños secundarios en una zona de cerca de

40.000 ha, a causa del alto nivel de las aguas del río durante varios meses del año, que impide el drenaje por gravedad de las tierras adyacentes, las cuales por lo general, son más bajas que las riberas del río.

Como prácticamente toda la tierra protegida contra inundaciones es agrícola, no se justifica un grado tan alto de protección. Así, en el caso del Valle del Cauca, se ha encontrado más económico permitir inundaciones ocasionales que dar protección contra inundaciones de baja frecuencia a un costo muy alto. Se adoptó un grado de protección suficiente para evitar daños causados por avenidas de frecuencia hasta de una vez en 10 años, como la de Febrero de 1950.

Esta protección es posible mediante la construcción del embalse de Timba en combinación con las mejoras propuestas del cauce del río Cauca. Cuando el embalse de Salvajina sea construido se tendrá protección contra avenidas hasta de una frecuencia de una vez en 50 años.

La capacidad útil del embalse de Timba será de 430 Mm³, de los cuales 305 Mm³ estarán reservados para control de avenidas durante los meses de invierno, es decir, desde mediados de Noviembre hasta los primeros días de Febrero. Desde mediados de Junio hasta fines de Agosto, (época de verano), no habrá capacidad de almacenamiento para control de avenidas. En las otras épocas del año habrá capacidades intermedias de almacenamiento, disponibles para este fin.

Las mejoras complementarias del cauce del río Cauca consistirán en 38 kms. de rectificación del cauce y 98 kms. de jarillones de 2 m. de altura, a lo largo del río.

Energía. Los cálculos de demanda hechos en 1955 para el Informe sobre Desarrollo Coordinado, indicaron que sería necesario principiar a generar energía en Timba a mediados de 1961.

Sin embargo, desde 1955, la falta de capacidad generadora y las condiciones económicas desfavorables de los últimos años han interferido con el crecimiento de la demanda. La escasez de agua durante la época de sequía de 1957 limitó la generación de energía en la hidroeléctrica de Anchicayá. El máximo pico abastecido por el sistema CHIDRAL en ese año, fué de sólo 37.000 kw, incluyendo la planta Diesel de Cali que se vió obligada a funcionar casi continuamente.

Como consecuencia de las dificultades económicas que comenzaron a mediados de 1956, caracterizadas por un aumento progresivo del precio del dólar, el costo de la energía generada en plantas Diesel por concepto de combustibles y lubricantes solamente, ha aumentado de 4 a 8 centavos por kWh. Las tarifas en localidades vecinas a Cali, abastecidas por plantas Diesel, han tenido que ser elevadas a 15 y en algunos casos a 22 centavos por kwh. Las condiciones desfavorables de cambio han causado también restricciones en el uso tanto de equipo eléctrico industrial como de aparatos de uso doméstico.

Sin embargo, es de esperarse que la reciente estabilización de la situación política permitirá el regreso del país, en un futuro próximo, a su anterior estado de progreso económico.

La situación económica ha sido también uno de los factores determinantes del aplazamiento de la construcción de la central hidroeléctrica de Calima y del sistema de transmisión de la CVC.

Estos factores adversos han causado un desplazamiento de más de tres años en la curva de demanda predicha, para el Informe sobre Desarrollo Coordinado.

Las principales plantas generadoras disponibles en la época en que Timba habrá de incorporarse al sistema serán: La central hidroeléctrica de Anchicayá con 64.000 kw instalados, la central térmica de Yumbo con

20.000 kw instalados y la hidroeléctrica de Calima con 120.000 kw instalados. La capacidad continua del sistema será de 190 mw incluyendo otras plantas menores.

Según las predicciones actuales, la demanda alcanzará un pico de 190 Mw a fines de 1963. En vista de la capacidad de reserva disponible en esa época en Calima y teniendo en cuenta que las condiciones críticas de aguas mínimas están siempre circunscritas a los meses de Julio, Agosto y Septiembre, la terminación del proyecto en Timba puede aplazarse seis meses más, es decir hasta mediados de 1964.

La central de Timba suministrará 60.000 kw de capacidad de picos bajo cualesquiera condiciones de flujo en el río.

Como consecuencia, la generación firme del sistema se incrementará en 367.000.000 kwh anuales (en tableros de estaciones). En efecto, en un año promedio Timba generará 338.000.000 kwh y al mismo tiempo permitirá un aumento de 29.000.000 kwh de generación firme en las plantas pre-existentes.

Irrigación: Por medio de canales que partirán del canal de fuga de la planta hidroeléctrica, será posible irrigar 113.000 ha. netas de tierras situadas entre La Balsa y Guacarí, en la margen derecha, y entre La Balsa y Cali, en la margen izquierda del Río Cauca. Las aguas de retorno de estas 113.000 ha. se podrán utilizar para irrigar otras zonas aguas abajo; de esta manera, el proyecto de Timba hará posible la irrigación de 152.000 ha. (netas) o el 53% de la zona plana entre La Balsa y Cartago.

Desviación Cauca-Pacífico: El proyecto de Timba permitirá una desviación substancial de aguas del río Cauca hacia el Río Dagua (o a uno de sus tributarios) en la vertiente del Pacífico, para un posible desarrollo hidroeléctrico, utilizando la caída de cerca de 950 metros entre el nivel del río Cauca en Vijes y el Océano Pacífico. Una vez construido el proyecto de Timba, será posible desviar 100 m³/s. del río Cauca sin interferir con la irrigación; en el futuro, cuando se construya el proyecto de Salvajina, será posible aumentar este caudal a 110 m³/s. El estudio de la energía disponible en esta caída se incluyó en el informe presentado en Noviembre de 1.957.

2. INVESTIGACIONES

Las investigaciones efectuadas para preparar este informe incluyeron levantamientos topográficos, exploraciones del subsuelo, estudios geológicos, ensayos de materiales en el campo y en el laboratorio y estudios para los diseños preliminares y los presupuestos de costos.

Levantamientos topográficos: Se levantó un plano en la zona de la presa a escala 1: 2000. El área y la capacidad del embalse se determinaron de mapas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:10000 con curvas de nivel cada 25 m. Para determinar la diferencia de elevación entre los sitios de las presas propuestas en Salvajina y Timba, se niveló una línea a lo largo del Ferrocarril entre Timba y Suárez. Después de terminados los estudios para el presente informe, se tomaron fotografías aéreas de la región en Febrero de 1957, como parte de un programa cartográfico general. Con estas fotografías, una vez terminada la restitución, será posible obtener un plano bastante preciso de la zona del embalse, que facilitará la relocalización de los ferrocarriles y la carretera. El presupuesto preliminar de los costos de relocalización se elaboró con base en los planos disponibles y reconocimientos en el terreno.

Exploraciones del subsuelo: Se efectuaron exploraciones para investigar las condiciones de cimentación de la presa principal, la casa de máquinas y el vertedero. Estas exploraciones consistieron en siete apiques y siete perforaciones con taladro complementados por sondeos de barrena y trincheras. Las siguientes fueron las profundidades alcanzadas en las exploraciones:

Apliques	104.4 m.
Sondeos con taladro	172.6 m.
Sondeos con barrenas	25.6 m.
Trincheras	11.5 m.

Se efectuaron ensayos de permeabilidad en el terreno, especialmente de los materiales de cimentación, con el fin de poder estimar los bombeos requeridos durante la construcción para desecamiento.

Se ensayaron muestras de los materiales de cimentación para clasificarlos y determinar su resistencia. Estos ensayos se hicieron

en los laboratorios del Departamento del Valle y en los de su Universidad. Se realizaron también ensayos complementarios en los laboratorios de suelos del Instituto Tecnológico de Massachusetts y de Tippetts-Abbett-McCarthy Stratton en New York. También se hicieron exploraciones en el sitio escogido para el dique de la Ferreira, consistente en un sondeo por inyección de agua, 12 sondeos con barrena y 3 apiques. Se efectuaron los mismos ensayos de laboratorio que para las muestras de la presa principal.

Además se llevaron a cabo investigaciones de laboratorio de los materiales de relleno para la presa principal que comprenden:

a) Materiales para el núcleo impermeable compactado, consistentes en suelos residuales alterados que abundan en las colinas cercanas.

b) materiales para los rellenos permeables adyacentes al núcleo, tanto aguas abajo como aguas arriba, que serán obtenidos de depósitos de arena y cascajo, provenientes de operaciones de dragado, que se encuentran en el sitio.

Selección del nivel máximo del embalse: Se estudiaron dos alternativas con niveles máximos controlados a las elevaciones 1025 y 1035 m. Niveles máximos inferiores a la cota 1025 no se justifican, pues no permitirían almacenamiento adecuado para el control de inundaciones a menos que se redujera la generación firme.

Después de un estudio comparativo de costos y beneficios de las dos alternativas se adoptó la menor de las dos elevaciones para la cual resultó una relación de beneficio a costo de 3.49 a 1, comparada con 2.95 a 1 para la alternativa con elevación 1035 m.

Diseño preliminar: Las investigaciones en el terreno y los ensayos en el laboratorio suministraron información suficiente para el diseño preliminar y para determinar con suficiente aproximación (un margen de error posible del 15%), los costos de construcción. Para el diseño final se deben realizar ensayos de resistencia de los materiales de cimentación y obtener toda otra información adicional que pueda determinar un diseño

definitivo más económico. Esa clase de investigación es muy costosa y no se justifica para el diseño preliminar. Sin embargo, las exploraciones realizadas fueron suficientes para concluir que los terrenos son adecuados para la cimentación del terraplén principal y de las estructuras (casa de máquinas, bo-

catoma y vertedero).

Las dimensiones de las estructuras principales se indican en el "Resumen de Características Técnicas", al principio de este informe.

3. EL EMBALSE

De las 3.380 ha. que quedarán sumergidas, unas 1.200 están constituidas por tierras de muy poco valor, inutilizadas por residuos de las operaciones de dragado en la explotación de oro.

De las 2.180 ha. restantes solo 250 están cultivadas. En el presupuesto del proyecto se tuvo en cuenta el costo de nuevas viviendas, para las 400 familias que en la actualidad residen en el área del embalse. Esta gente se beneficiará además con las oportunidades de trabajo que ofrecerá la construcción del proyecto, por un período de 2 a 3 años.

En cuanto se refiere a la explotación del carbón, el efecto del embalse de Timba sobre ésta será insignificante. Las dos minas importantes próximas al embalse, que son las de San Francisco y Timba, se están explotando a 125 y 175 metros respectivamente, por encima del máximo nivel del embalse.

Aunque es posible que en esta región se encuentren yacimientos de carbón bajo el cauce del río Cauca, su existencia no se ha comprobado. Además, dadas las condiciones existentes de agua subterránea y las costosas instalaciones que requeriría la explotación de posibles yacimientos en esta zona, es muy probable que dicha explotación sea antieconómica. El ligero cambio en el nivel de aguas freáticas causado por Timba, afectaría muy poco esta situación.

La nueva localización de las líneas de ferrocarril Cali-Santander y Cali-Popayán, cuyo costo se ha incluido en el presupuesto del proyecto, permitirá un mejor servicio a las minas de la zona Timba-Suárez.

Aguas abajo del embalse de Timba, e incluidas enteramente dentro del Departamento del Cauca, hay 12.000 hectáreas de tierra sometida a frecuentes inundaciones y tan pantanosa que su producción agrícola actual es insignificante. Con la protección contra inundaciones provista por el embalse y las mejoras al cauce del río Cauca, estas tierras podrán producir un promedio de \$ 960 por hectárea por año, o sea un total de \$ 11.500.000 en toda el área. Esta suma anual es más de 3 veces el valor actual de las tierras ocupadas por el embalse.

Además, la construcción del embalse de Timba y las mejoras del Cauca, harán bajar los niveles del fondo del río y de las aguas subterráneas, facilitando la construcción de obras de drenaje para 25.000 ha. más, localizadas dentro del Departamento del Cauca. En esta área están incluidas algunas de las más ricas zonas productoras de cacao en la región.

En vista de lo anterior, los beneficios que el Departamento del Cauca obtendrá de la realización del proyecto compensarán con creces el costo de las tierras inundadas por el embalse.

4. PROGRAMA DE CONSTRUCCION

El programa de construcción depende del planeamiento de dos clases principales de trabajo: Primero, fabricación, entrega y montaje del equipo principal de generación (turbinas, reguladores y generadores); y segundo, planeamiento, por parte del contra-

tista, de la desviación del río y la construcción de la presa.

El siguiente programa se ha preparado con miras a que la primera unidad comience a generar a mediados de 1964:

a) *Equipo principal de generación*

Comienzo de preparación de planos para licitación	1º Oct.	1960
Terminación de planos y anuncio de la licitación	1º Mayo	1961
Adjudicación de contratos	1º Oct.	1961
Iniciación del montaje de la 1a. Unidad	1º Agosto	1963
Terminación del montaje de la 1a. Unidad	1º Junio	1964
Terminación del montaje de la 2a. Unidad	1º Julio	1964

b) *Contrato General*

Comienzo de preparación de planos de licitación	1º Nov.	1960
Terminación de planos y anuncio de la licitación	1º Junio	1961
Adjudicación del contrato	1º Nov.	1961
Iniciación de la construcción	1º Marzo	1962
Terminación de la ataguía de la 2a. etapa.	1º Julio	1963
Terminación de la construcción	1º Julio	1964

El diseño definitivo del proyecto se llevará a cabo una vez terminados los planos de licitación y con anterioridad al comienzo de la construcción. Es decir, debe ser ejecutado entre el 1º de Junio de 1961 y el 1º de Marzo de 1962.

Aunque las investigaciones ya realizadas son suficientes para la preparación de planos de licitación, será necesarios, como se dijo antes, obtener información adicional para el diseño definitivo. Esta nueva información permitirá mejorar el diseño para obtener máxima economía pero sin intraducir cambios en el tipo de construcción. Por lo

tanto, es posible hacer la licitación sobre planos preliminares en lugar de sobre el diseño definitivo. Así se economizan 5 meses en total, puesto que si se omitieran los planos preliminares, cuya preparación requiere 7 meses, el diseño definitivo tomaría aproximadamente 12 meses.

Los plazos arriba mencionados deben cumplirse a fin de efectuar el bloqueo del río durante la época seca. Sin embargo, en caso de que sea necesario alterar el programa propuesto, se podrían hacer modificaciones, a costo adicional, aumentando la altura de la ataguía en la 2a. etapa.

5. COSTOS

A continuación se presenta el presupuesto de costos, incluyendo ingeniería de diseño y construcción y gastos generales de

administración pero sin incluir líneas de transmisión ni patios de conexiones.

	Pesos (\$)	Dólares (US\$)
Costos de construcción	60'300.000	17'500.000
Intereses durante la construcción	5'600.000	1'300.000
TOTAL	65'900.000	18'800.000

Los intereses durante la construcción se calcularon al 6% para gastos en pesos y 4.75% para las cantidades en dólares.

Distribución de los costos: Con el fin de distribuir el costo total del proyecto entre sus múltiples finalidades, se estudiaron los costos de tres proyectos, de una sola finalidad cada uno, y que en conjunto prestasen los mismos servicios, o sea: Generación de

energía, control de inundaciones e irrigación. El costo de los tres proyectos sumados sería de \$ 242'400.000 contra \$ 179'000.000 del proyecto múltiple (suponiendo el cambio a US\$ 1.00 = \$ 6.00). Este último costo se distribuyó entre las distintas finalidades, con base en los costos de los proyectos parciales estudiados, en la forma que se indica a continuación:

Generación de energía	\$ 118'600.000
Control de Inundaciones	47'500.000
Irrigación	12'900.000
	\$ 179'000.000

Si el control de inundaciones y la irrigación se consideran como una sola finalidad ("recuperación de tierras") resulta una asignación ligeramente mayor para generación de energía:

Generación de Energía	\$ 122'600.000
Recuperación de tierras	56'400.000
	179'000.000

Costo Anual: El costo anual para cada finalidad se compone de dos partes: a) Costos fijos, basados en el capital asignado para esa finalidad y formados por: Intereses y amortización de préstamos en dólares, al 4.75% anual y con amortización en 20 años; intereses sobre préstamos en pesos, al 6% anual; depreciación y seguros. b) Costos de operación, mantenimiento y administración.

El costo anual de generación de energía, suponiendo para esta finalidad una asignación de \$ 122'600.000 es, según lo anterior, \$ 3'424.000 más US \$ 1'436.000, a lo cual se le deben agregar \$ 212.000 más US\$ 160.000 por costos de transmisión, que corresponderían al costo anual de la línea Timba-Cali.

El total anual para generación será de \$ 3'636.000 más US\$ 1'596.000.

Con una producción anual de 367 000.000 de kwh. el costo unitario de la energía resulta de 0.99 centavos más 4.35 US mills por Kwh, lo que equivale a un total de 3.6 centavos por kwh, con cambio de \$ 6.00 = US\$ 1.00.

El costo anual de control de inundaciones de Timba es \$ 4'250.000. El capital necesario para mejorar el cauce del río es \$ 64'400.000 y el costo anual es de \$ 6'890.000. El total anual para control de inundaciones resulta por lo tanto, \$ 11'140.000.

Para irrigación, el costo anual de Timba es de \$ 1'100.000 y el del sistema principal de irrigación y drenaje es de \$ 7'100.000, o sea un total de \$ 8'200.000 para esta finalidad.

6. BENEFICIOS

El proyecto de Timba producirá energía eléctrica a bajo costo, permitirá el control de inundaciones, facilitará el drenaje y proveerá agua para irrigación de la mayor parte de la zona plana entre La Balsa y Cartago. El proyecto producirá otros resultados benéficos, entre los cuales uno de los más importantes consiste en la regulación del caudal del río Cauca que permitirá la desviación de parte de sus aguas a la vertiente del Pacífico, para un posible desarrollo hidroeléctrico de grandes proporciones.

Con un costo de generación de la energía de 3.6 centavos por kwh, la utilidad anual de Timba, por venta de energía en bloque, en los centros de consumo, a razón de 7 centavos por kwh, será de \$ 12'500.000. (La tarifa actual para energía en bloque es unos 4 c/ pero se está estudiando su alza).

El producto anual de las tierras protegidas contra inundaciones (excepto para casos de 1 vez en 10 años), será de cerca de \$ 38'000.000. Suponiendo un período de 5 años para el completo desarrollo de estas tierras, el valor descontado resulta de \$ 32'000.000 anuales, que representa los beneficios directos por control de inundaciones. Comparado con este valor, el costo anual de control de inundaciones, que es \$ 11'140.000, resulta poco más de una tercera parte.

El beneficio directo por irrigación, o sea el producto neto adicional de las 152.000 hectáreas irrigadas por Timba, se calcula en \$ 52'000.000 al año. Suponiendo un período de desarrollo de 15 años para la construcción de canales y preparación de tierras, el valor descontado correspondiente resulta de \$ 31'700.000 que es aproximadamente cuatro veces mayor que el costo anual de irrigación (\$ 8'200.000).

Fuera de los beneficios directos, el control de inundaciones y la irrigación producirán otros beneficios indirectos como serían los derivados del aprovechamiento industrial de materias primas agrícolas, de la reducción en pérdidas de vidas humanas y de animales, la eliminación de perjuicios causados por interrupciones de los transportes y de la producción industrial a causa de inundaciones.

El aumento del caudal mínimo del río

producirá otros beneficios de diversa índole, como sería la reducción del grado de contaminación del río con el consiguiente provecho para el abastecimiento del agua tanto público como industrial. El proyecto diversificado de Timba crea la necesidad de las mejoras en el cauce del Río Cauca, lo cual le dará un mayor valor navegable y recreativo.

7. Para 1970, la demanda de energía sobrepasará la capacidad generadora de las plantas hidroeléctricas iniciales (Anchicayá, Calima, Timba y Salvajina). Si para ese entonces no se han encontrado nuevas fuentes económicas de energía hidroeléctrica de base será necesario recurrir al uso en grande escala de energía termoeléctrica obtenida del carbón.

Otra posibilidad, sería la introducción, en época apropiada, de una planta térmica de energía nuclear. Nuevos adelantos en este campo se están sucediendo con gran rapidez, pero con todo, la aplicación económica de este tipo de energía está iniciándose solamente en países altamente industrializados, para los cuales puede preverse un agotamiento de reservas de energía.

Los datos que se incluyen en este informe sobre una planta térmica de carbón, serán de gran utilidad al evaluar las posibilidades futuras.

Se ha considerado la instalación, en el sitio más adecuado, de una planta térmica de cerca de 200.000 kw, la cual sería suficiente para suplir el aumento de la demanda por un período de cerca de tres años. Su ubicación en el sitio escogido, en las cercanías de la hidroeléctrica de Timba, tiene las siguientes ventajas: Proximidad a las posibles fuentes de abastecimiento de carbón; disponibilidad de agua abundante a bajo costo; condiciones favorables para cimentación, en un lugar fuera del peligro de inundaciones; el sitio queda apartado de las zonas urbanas, con lo cual el humo no causaría molestias; la transmisión de energía al centro de consumo de Cali, distante 42 km., se facilitaría para las líneas de doble circuito, a 115 kv, entre Timba y Cali, Salvajina y Cali y la línea de enlace Timba-Salvajina las cuales estarán disponibles entonces.

Abastecimiento de carbón: Aunque con la demanda actual, las reservas existentes de

carbón alcanzarían para muchos años, es necesario intensificar su explotación para satisfacer la creciente demanda de los ferrocarriles, industrias y plantas termoeléctricas. La demanda de la planta térmica de Timba será suplida sólo en parte por las minas de la zona San Francisco - Timba, aún si se lleva a cabo el programa actual de expansión de la explotación minera. El resto de las necesidades de la termoeléctrica tendrá que ser abastecido por otras fuentes.

Será necesario conseguir, con suficiente anticipación a la construcción de la planta térmica de Timba, fuentes adecuadas y seguras para suplir sus necesidades de combustible.

Costos: El costo total de la planta térmica de Timba con capacidad de 198.000 kw. (3 unidades de 66.000 kw.) es de \$ 21'300.000 más US\$ 30'600.000 incluyendo ingeniería de diseño y construcción y gastos generales de administración, pero excluyendo líneas de transmisión y patio de conexiones.

El costo anual incluyendo transmisión pero sin incluir costo de combustible será \$ 4'900.000 más US\$ 3'800.000.

Suponiendo un factor de planta del 60% y el precio de carbón a \$ 25.00 la tonelada, el costo anual total, incluyendo combustible que vale \$ 10.5 millones, será \$ 15'400.000 más US\$ 3'800.000.

El costo unitario de la energía (con 60% de factor de planta) será de 1.48 centavos más 3.65 US mills o sea 3.67 centavos (con cambio a US\$ 1,00 = \$ 6.00). Este costo unitario es relativamente bajo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que dos de los factores que afectan este costo pueden cambiar en el futuro. Estos factores son, el costo del carbón y la rata de cambio del peso con respecto al dólar. El costo del carbón en el futuro es difícil de predecir si se considera la creciente demanda de este elemento para otros usos y la incertidumbre en cuanto a la calidad de los yacimientos que se puedan encontrar en el futuro.

Con respecto al segundo factor se puede apreciar la gran influencia de la rata de cambio sobre el costo de energía por kwh, si se tiene en cuenta que cerca del 90% del costo de la planta es en dólares.

RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones tratan de las medidas que deben tomarse en un futuro próximo, para asegurar una mayor economía y máximos beneficios del proyecto de Timba. No se recomienda ninguna acción inmediata con respecto a la planta térmica de Timba.

1. Informe del proyecto de mejoras del Río Cauca

Los estudios hechos hasta la fecha, sobre las mejoras del Río Cauca, son únicamente de reconocimiento. A fin de obtener el mayor provecho del control de avenidas provisto por el embalse de Timba, la construcción de las mejoras del cauce debe comenzar a más tardar dos años antes de la terminación

del proyecto de Timba.

El trabajo de ingeniería, que deberá ser terminado con anterioridad a esa época, consistirá en un reconocimiento general y en un informe del proyecto, acompañados de planos y especificaciones de construcción. Las mejoras del río son un problema complejo; en este caso comprenden rectificaciones con cortes pilotos excavados por dragas, jarillones, trabajos de encauzamiento y revestimiento del río, aliviaderos, obras especiales en las desembocaduras de los afluentes, drenaje de tierras bajas adyacentes y otros trabajos similares. Mientras se prepara el informe del proyecto deben llevarse a cabo conferencias y discusiones con los propietarios de tierras y con las dependencias oficiales.

A continuación se indica un programa aproximado del trabajo a seguir.

<i>Item</i>	<i>Período</i>
Reconocimiento general y elaboración del informe	Octubre 1959 a Mayo 1961
Diseño definitivo	Mayo 1961 a Febrero 1962
Negociaciones del contrato	Febrero 1962 a Junio 1962
Construcción	Junio 1962 a Dicbre. 1965

2. Programa de hidrología.

Aunque existe información suficiente para el diseño preliminar del proyecto de Timba, se necesitan datos adicionales para el diseño definitivo y para obtener la mayor eficiencia con respecto a la operación conjunta del proyecto para control de avenidas y generación de energía. Además, se requieren datos de sedimentación para proyectar medidas de control a largo plazo.

El informe sobre Desarrollo Coordinado, presentado en Enero de 1956, contiene recomendaciones detalladas con respecto a los programas hidrográficos y meteorológicos en la zona de la CVC. Con relación al proyecto de Timba, la ejecución del programa descrito en detalle en el Capítulo 3 debe acometerse sin demora.

3. Diseño del sistema de transmisión.

Los levantamientos y diseños para el sistema de transmisión, en conexión con el proyecto de Calima, incluyendo los trabajos de localización de la línea Cali-Timba-Popayán; sin embargo los estudios restantes para completar estos diseños han sido suspendi-

dos. Los estudios deben reanudarse oportunamente con el fin de que la construcción de la línea Cali-Timba-Popayán se termine con anterioridad o al menos simultáneamente con el proyecto de Timba.

4. Planos de licitación y diseño definitivo.

Es conveniente iniciar la construcción del proyecto de Timba en Marzo de 1962, a fin de que la 1a. unidad empiece a generar a mediados de 1964. Con tal fin será necesario comenzar la preparación de los planos de licitación en Octubre de 1960 y elaborar el proyecto definitivo entre el 1° de Junio de 1961 y el 1° de Marzo de 1962.

Como una alternativa, podría considerarse la omisión de los planos de licitación, caso en el cual habría que comenzarse el diseño definitivo hacia Junio de 1960 para terminarlo en Junio de 1961. Esta alternativa requeriría disponer de los fondos necesarios para ingeniería de diseño, con anterioridad a la fecha prevista en el plan original pero, por otra parte, tendría la ventaja de que la licitación se basaría en diseños definitivos más detallados.

APENDICES

APENDICE A

GEOLOGIA

1. GENERALIDADES

El Valle del Río Cauca es una depresión que separa las cordilleras Central y Occidental.

Aguas abajo (al norte) del sitio propuesto para la presa, en las cercanías de Timba, el valle se ensancha notablemente y sus planos de inundación forman una amplia llanura. Aguas arriba, desde Timba hasta Suárez, el valle se hace más estrecho y los pla-

nos de inundación son menos marcados; de San Francisco hacia arriba, el brazo del embalse que sigue el río Cauca, tendrá escasamente 0,5 km. de ancho. A lo largo del río Timba, el cual corre de norte a sur y desemboca en el río Cauca cerca de la población de Timba, el embalse tendrá un brazo de unos 4 km de largo y aproximadamente 0.5 km de ancho.

2. ESTRATIGRAFIA

Las rocas más antiguas en el área del proyecto son las del "grupo diabásico" del Cretáceo, que en la actualidad forman la mayor parte del flanco oriental de la cordillera occidental. Este grupo incluye derrames de lava diabásica e intercalaciones de rocas silíceas sedimentarias. Posteriormente, durante el Paleoceno, se depositaron pizarras negras de la formación Nogales, que en algunos sitios son calcáreas y silíceas.

A la formación Nogales siguieron depósitos de la formación Cauca durante el Eoceno y Oligoceno. La formación Cauca comprende pizarras, areniscas de grano fino a grueso, conglomerados de cuarzo y mantos de carbón en sus partes media y superior.

Con posterioridad a la formación de las rocas ya descritas, las fuerzas tectónicas produjeron la depresión que forma la hoya general del río Cauca. Dentro de la depresión general limitada por zonas más altas y resistentes del grupo diabásico, quedaron lechos constituídos por la formación Cauca.

La erosión y el acarreo de los arroyos tributarios produjeron una serie de abanicos aluviales que se extienden hacia el valle des-

de las cordilleras central y occidental. Simultáneamente con la formación de los abanicos aluviales el antiguo Cauca fué transportando desechos de roca y depositándolos en su valle. La presencia de depósitos lacustres mezclados con los abanicos aluviales y demás materiales depositados en el valle, indican que, al menos en una ocasión, el valle estuvo represado. Variaciones posteriores del nivel de erosión han hecho que el río vuelva a profundizar su cauce hasta los antiguos depósitos aluviales.

Los antiguos depósitos de abanicos aluviales y terraplenes están formados por gravillas de granos semirredondos y cantos rodados de diferentes tipos de roca, incluyendo cuarcita, pizarra, diorita y varios tipos volcánicos, en una matriz que varía de arcillosa a arenosa. Los procesos geológicos han consolidado estos depósitos en un grado moderado.

En un plano general es posible reconocer los antiguos depósitos de abanicos aluviales, pero en detalle es casi imposible e impráctico establecer la diferencia entre éstos y los

antiguos depósitos del río Cauca primitivo. Para mayor simplicidad ambos tipos de depósitos serán llamados conglomerados. Estos depósitos han sido incluidos por los geólogos colombianos en la formación Popayán del Plio - Pleistoceno.

El actual río Cauca fluye sobre un estrato de 5 a 8 metros de espesor formado por arenas y gravas recientes depositadas sobre

los conglomerados más antiguos. A los lados del río se encuentran colinas formadas por el antiguo conglomerado, el cual en algunos sitios está cubierto por talus. Adheridos a las colinas de conglomerados, se encuentran depósitos aislados en forma de terrazas, compuestos de gravas dejadas por el río Cauca en su relativamente reciente proceso de excavación (geológicamente hablando).

3. ESTRUCTURA

Al occidente del río Cauca, el límite entre el grupo diabásico y la formación Cauca (véase Fig. A-1) es una falla, invertida, al menos en parte. El estrato de la formación Cauca, al occidente del río está muy plegado en anticlinales y sinclinales normales e invertidos. La dirección de los pliegues varía de N 20° E a N 40° E. Los estratos están inclinados al oriente y al occidente pero, en general, predomina la inclinación hacia el occidente. La formación Cauca, en los sitios donde está expuesta, al oriente de San Francisco, está también plegada en una serie de anticlinales y sinclinales.

Los estratos de la formación Cauca al lado occidental del río, además de estar plegados, están afectados por numerosas fallas pequeñas.

Los conglomerados en el área del proyecto de Timba parecen estar intactos pero no tiene información de que en algunas otras zonas presentan fallas menores.

No se sabe qué clase de material hay debajo del conglomerado en el área del embalse propuesto. Es posible que sea la formación Cauca, pero también puede ocurrir que los estratos de esta formación hayan sido erosionados por el antiguo río Cauca, en cuyo caso el grupo diabásico estaría directamente debajo del conglomerado.

En las rocas más antiguas pueden existir fallas que no es posible ver por estar cubiertas de materiales depositados posteriormente. En la superficie no se encuentra ninguna evidencia de movimientos geológicos recientes.

4. ECONOMIA

Existen vetas de carbón en la formación Cauca media y superior, en las colinas situadas a lo largo de la ribera occidental del embalse propuesto. Estas vetas han sido explotadas durante varios años por métodos primitivos. Actualmente algunas minas cerca a Timba y a San Francisco están siendo mejoradas y mecanizadas. La formación del embalse no perjudicará la explotación de las

minas de carbón, según se explica en el Capítulo IV y en el Apéndice D.

Las gravas del actual y de los antiguos cauces del río Cauca contienen oro y han sido explotadas en los últimos años. La relación entre la explotación del oro y el proyecto propuesto se discute en el Capítulo IV.

5. SITIO DE LA PRESA DE TIMBA

Aproximadamente a 1.5 km abajo de la desembocadura del río Timba en el Cauca, existen unas colinas bajas de conglomerados que se aproximan al río, formando las contrafuertes entre los cuales se construirá la presa. (Véase figura A-1).

conglomerado, que forma los empotramientos de la presa, se han producido varios tipos de materiales, entre los cuales se distinguen los siguientes:

a) *Arcilla limosa y arenosa* constituida por conglomerado altamente meteorizado. (Los materiales originales exceptuando las

Como resultado de la meteorización del

gravas de cuarzo y cuarcita se meteorizaron formando arcilla limosa y arenosa). Los rastros de las gravas y piedras originales se pueden distinguir por el cambio de color. Este material que se encuentra laterizado en grados variables, se describe más detalladamente en el Apéndice B.

b) *Transición.* La transición entre el conglomerado altamente meteorizado y el conglomerado en buen estado está formada por gravas en diferentes estados de meteorización. Los límites no están bien definidos.

c) *Conglomerado.* Este material forma la parte baja de los empotramientos y está directamente bajo las gravas y arenas que forman el actual lecho del río. Incluye los materiales aportados por el antiguo río Cauca y los abanicos aluviales. La matriz varía de arenosa a arcillosa. En algunos sitios, intercalados con el conglomerado, se presentan estratos delgados de roca arenisca, de granos mal cementados, cuyo tamaño varía de medio a grueso y estratos carbonáceos que represen-

tan antiguos depósitos pantanosos.

Se encuentran depósitos recientes de arenas y gravas hasta de 8 metros de espesor, en el lecho actual del río Cauca, lo mismo que en algunos otros sitios del valle, donde fueron depositados por antiguos meandros del río.

El conglomerado que yace bajo las arenas y gravas recientes del lecho del río es impermeable. El núcleo de la presa debe bajar hasta encontrar este material. No se necesitarán inyecciones de cemento para impermeabilizar más el conglomerado. Tanto el material de transición como la arcilla limosa y arenosa (conglomerado altamente meteorizado) son relativamente impermeables. En la mayor parte del fondo del embalse propuesto hay indicios de la existencia de un manto freático alto que está esencialmente al mismo nivel del río, lo cual está de acuerdo con el carácter impermeable del conglomerado.

6. EL DIQUE LA FERREIRA

Por el sitio donde quedará el dique de La Ferreira parece haber pasado el antiguo cauce del río Timba, antes de que éste cambiara su curso para unirse al Cauca aguas arriba del pueblo de Timba. Los materiales

que forman la cimentación son arcilla (que varía de limosa a arenosa) y algo de arena limosa (Véase figura B-11). El contenido de arcilla de estos materiales los hace relativamente impermeables.

7. SISMOLOGIA

En el Valle del Cauca se han registrado temblores de apreciable intensidad. Por lo tanto, se ha recomendado para el diseño, un

factor de 0.05 de la gravedad como compensación contra la aceleración horizontal de las ondas sísmicas.

8. MATERIALES DE CONSTRUCCION

El conglomerado alta y moderadamente meteorizado se presta para la construcción de presas de tierra del tipo propuesto. Grandes depósitos recientes de arenas y gravas del río Cauca están disponibles en el área del embalse y son adecuados para la construcción de la presa.

Estos depósitos no contienen rocas del tamaño necesario para la protección de los taludes. Para este fin, se puede extraer material del área del "grupo diabásico" situada sobre el río Timba, aproximadamente 12 km al occidente del sitio de la presa.

APENDICE B

EXPLORACIONES DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE SUELOS

En relación con este informe se desarrolló un vasto programa de exploraciones en el terreno y de ensayos de laboratorio, con el fin de determinar las propiedades físicas y estructurales de los suelos en las áreas principales del proyecto. Para ello se tomaron muestras en los sitios de cimentación de la

presa principal, de las estructuras con ella relacionadas y del dique de La Ferreira, lo mismo que en las zonas de préstamo.

Los ensayos se llevaron a cabo en los laboratorios del Departamento y de la Universidad del Valle.

CIMENTACIONES DE LA PRESA DE TIMBA, DE LA CASA DE MAQUINAS Y DEL REBOSADERO.

1. EXPLORACIONES EN EL TERRENO

En la Fig. B-1 se indican la localización y los perfiles de las exploraciones realizadas en el terreno, las cuales consistieron en siete apiques excavados a mano (excepto los Nos. 1 y 6, situados en los conglomerados, en los cuales se usaron taladros accionados por aire comprimido), siete perforaciones con taladro, sondeos con barrena y trincheras. Las muestras de material impermeable en las áreas de préstamo fueron tomadas de los cortes de la carretera.

Las excavaciones con revestimiento se adelantaron por el sistema de lavado, extrayendo las muestras mediante un toma-muestras tipo "split-spoon" de 2½" y 3" de

diámetro interior y exterior respectivamente, hincado a golpes por un martillo de 350 lbs con una caída de 16 pulgadas. Se obtuvieron también muestras con toma-muestras de tubo delgado (tipo Shelby) de 2,8 pulgadas de diámetro interior, registrando el número de golpes requerido para cada 6 pulgadas de penetración. En el conglomerado la perforación se adelantó por medio de percusión; en el sondeo N° 1 se intentó extraer muestras de núcleo, sin ningún éxito. En vista de que la naturaleza del conglomerado hacía imposible obtener muestras inalteradas de los sondeos, adoptaron los apiques como el mejor medio de investigar los materiales de cimentación.

2. ENSAYOS EN EL TERRENO

Los siguientes ensayos fueron realizados en el terreno:

Ensayos de permeabilidad, bajo carga constante y bajo carga variables, llevados a cabo en sondeos provistos de revestimiento y

Ensayos de permeabilidad, por bombeo, realizados en los apiques.

Los ensayos de carga variables se efectuaron en las sobrecapas residuales y en los materiales de cimentación no alterados. Aunque los resultados no son muy congruentes, como se observa en la Fig. B-13, se puede afirmar que los coeficientes de permeabilidad de estos materiales son bajos. Muchos de los ensayos de carga variable fueron

suspendidos después de 10 a 20 minutos de comenzados, al no observarse ningún descenso apreciable del nivel del agua dentro del pozo revestido.

En el pozo DG6, situado en material aluvial permeable, se observó un descenso muy rápido del nivel durante el ensayo de carga variable; en vista de esto, se realizó un ensayo de carga constante, con un suministro de 68 litros por minuto bajo presión de 1,39 m de agua en un tubo de 12,7 cm de diámetro. Con base en este ensayo el coeficiente de permeabilidad para arena y grava se estimó entre $1,6$ y $3,2 \times 10^{-1}$ cm/seg.

La Fig. 8-2 indica la localización y los perfiles de los sondeos con barrena y de los

apiques; en ella se incluyen también los resultados de los ensayos de bombeo que se realizaron en el apique N° 1, para determinar el coeficiente de permeabilidad de la sobrecapa de arena y grava que cubre el conglomerado a través del plano de inundación. Se realizaron numerosas mediciones de la cantidad de agua extraída en el proceso de desecación del pozo, durante su excavación en el conglomerado; los resultados indicados son valores promedios. Como hay varias incógnitas que afectan el cálculo de los coeficientes de permeabilidad a partir de estos ensayos, tales coeficientes solo pueden determinarse aproximadamente. Para la sobrecapa de arena y grava en las proximidades del apique N° 1 se calculó un coeficiente de permeabilidad entre 1 y 3×10^{-1} cm/seg.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

En la Fig. 3 se presenta una lista de los ensayos realizados y una tabulación de algunos de los resultados obtenidos. Los ensayos realizados fueron de dos clases, a saber: a) *Ensayos de clasificación* que comprendieron: Humedad natural, peso unitario del material en su estado natural, límites plásticos y líquido, peso específico de las partículas y granulometría. Además se realizaron análisis petrográficos, de diferencial térmico y de rayos X, en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Massachusetts U.S.A., bajo la dirección del Dr. William T. Lambe. b) *Ensayos para determinación de propiedades físicas y estructurales*. Tales ensayos comprendieron: Ensayos triaxiales, de presión inconfinaada, de consolidación y de permeabilidad.

Ensayos de clasificación: La sobrecapa, en el área del proyecto, está compuesta por dos clases de materiales: Aluviones en los planos de inundación y materiales residuales en las sierras que confinan el sitio de la presa. Los aluviones consisten en gravas arenosas, ocasionalmente con cantos rodados, hasta de 45 cm de diámetro. En la Fig. B-5 se presentan las curvas granulométricas de los materiales aluviales extraídos del apique N° 1, así como de materiales aluviales alterados por las operaciones de dragado.

A una profundidad de 2 a 3 m, existe una capa de limo orgánico interestratificada con la arena y con la grava y cuyo espesor varía desde unos pocos centímetros hasta 1 m. Este limo debe ser removido totalmen-

te en vista de sus características defavorables.

Los suelos residuales están compuestos por una masa heterogénea de conglomerados formados por cantos rodados, arenas y limos, de consistencias y resistencias variables. Alteraciones ocurridas bajo las condiciones de climas tropicales han transformado estos suelos, cerca de la superficie, en suelos residuales laterizados, pero a medida que la profundidad aumenta, se va encontrando una transición gradual de los suelos laterizados a los suelos residuales originales sin alterar, los cuales se encuentran cerca de la superficie del agua freática, o ligeramente debajo de ésta.

Las alteraciones han consistido principalmente en transformaciones de parte de los cantos, arenas y limos originales en arcillas caolínicas y también en filtraciones de ciertos minerales tales como sílice y óxidos de hierro. Estos minerales filtrados se han ido acumulando cerca de la tabla freática actual, donde han formado una corteza muy dura.

Las propiedades físicas de estos suelos varían gradualmente desde las de las lateritas en la superficie (de poco peso unitario, poca cohesión y poca fricción interna), hasta las de los conglomerados densos y relativamente cementados del fondo. La mayoría de los ensayos de laboratorio, fueron hechos con suelos completamente meteorizados puesto que fué imposible obtener muestras

de los materiales sin meteorizar, en las perforaciones con taladro. Debido a su composición, sólo se pudieron sacar muestras muy irregulares de ellos en los apiques.

Los ensayos de clasificación descritos en seguida fueron hechos con suelos completamente alterados.

La humedad natural de los materiales varía entre 30% y 68%. La densidad seca de muestras sin descomponer varía de 61.5 a 81,5 lbs. por pié cúbico. El límite líquido oscila entre 46,0% y 87,6% y el índice de plasticidad, entre el 3% y el 26%. La Fig. B-4 muestra el gráfico de plasticidad, elaborado con base en los valores obtenidos en los en-

Arena fina:	7% a 21%	(D > 0,06 mm)
Limo:	71% a 81%	(0,06 > D > 0,002 mm)
Arcilla:	2% a 18%	D < 0.002 mm)

En que "D" representa el tamaño del grano. Los gráficos granulométricos aparecen en la Fig. B-6.

En vista de que los resultados de los ensayos de plasticidad, la baja resistencia en estado seco, el comportamiento en los ensayos de dilatación y el análisis granulométrico, parecían indicar que este suelo era un limo elástico, se decidió enviar al laboratorio de suelos del Massachusetts Institute of Technology una muestra inalterada de 8" x 8", obtenida del apique N° 3 a una profundidad de 4,5 m. Esta muestra fué sometida a análisis petrográficos, de diferencial térmico y de difracción de rayos X.

A continuación se compendian los resultados de estos ensayos según los cuales la especie de arcilla se clasifica como caolinitas:

Composición	(% del peso)
Caolinita	= 65 ± 5
Cuarzo	= 15 ± 3
Oxidos libres de hierro	= 10 ± 1
Materias orgánicas	= No
pH	= 3,7
Sales solubles	= No

Capacidad de intercambio de cationes = 9 m eq./100 g de muestra

sayos para determinación de los límites de ATTERBERG. Estos materiales se pueden clasificar como limos inorgánicos de alta plasticidad, de acuerdo con el gráfico anterior y teniendo en cuenta su baja resistencia en estado seco y su dilatación entre media y baja. Sin embargo los análisis petrográficos clasifican las partículas finas de estos suelos como arcillas de tipo caolín.

El peso específico varía entre 2,63 y 2,75, con un promedio de 2,70; la gran variación de peso específico se explica por la presencia de óxidos de hierro libres en porcentajes variables. El análisis granulométrico arrojó los siguientes resultados:

Ensayos de compresión inconfiada: Se efectuaron ensayos sobre muestras de tubo, inalteradas, de los suelos residuales muy meteorizados, que constituyen la sobrecapa; lo mismo se hizo sobre muestras prismáticas relativamente grandes (10" x 10" x 25"), talladas a mano, de los conglomerados carmelita y verde.

La resistencia a la compresión inconfiada de los materiales meteorizados, definida por el punto máximo de la curva de esfuerzo vs deformaciones, varía entre 0,63 y 2,05 kg/cm² con deformaciones comprendidas entre 1,3 y 3,6%.

En la Fig. B-6 se presenta la curva de resistencia a la compresión inconfiada vs el contenido natural de humedad, junto con los resultados de plasticidad de las muestras tomadas en el apique N° 7. Aparentemente no hay ninguna relación entre todas estas propiedades. La resistencia a la compresión tiende a aumentar con el aumento de la profundidad a la cual se tomaron las muestras.

Todas las muestras se comportaron como materiales quebradizos, presentando sólo grietas de tracción en el momento de la rotura.

En el apique N° 4 se tomaron muestras del conglomerado meteorizado carmelita, a profundidades de 15 a 17 m. Estas muestras son representativas de la matriz de arcilla, de constitución arenosa a limosa, que rodea

las gravas y cantos rodados de roca más resistente; la resistencia a la compresión inconfiada de estas muestras varía de 1,3 a 2,0 kg/cm² con un promedio de 1,6 kg/cm². Fué muy difícil preparar muestras inalteradas de este material, a causa de su fragilidad; por tal razón se cre que estos resultados son un poco pesimistas.

La resistencia del conglomerado verde, a la compresión inconfiada, está comprendida entre 14,0 y 20,1 kg/cm² con un promedio de 16,4 kg/cm². Las muestras correspondientes se tomaron del apique N° 6 a profundidades de 7 a 8 m.

Ensayos de compresión triaxial: Se realizaron de compresión triaxial, con consolidación y sin drenaje, en muestras inalteradas de 2 pulgadas de diámetro y 5 de altura, con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales meteorizados de la sobrecapa. En la Figura B-7 aparecen los correspondientes círculos de Mohr. Las muestras fueron primero saturadas bajo una carga de 0,2 kg/cm² y una presión de restricción de 0,3 kg/cm². Luego fueron consolidadas mediante la aplicación de presiones de restricción de 0,3 a 3 kg/cm². Una vez terminado el proceso de consolidación por medio de las presiones laterales, la salida de drenaje fué cerrada y la muestra sometida rápidamente a carga axial hasta la rotura. La deformación correspondiente al esfuerzo de rotura varió de 11,6% a 14,5%; La mayoría de las muestras falló bajo una combinación de pandeo y esfuerzo cortante. El esfuerzo máximo varió de 1,47 kg/cm², con presión de restricción de 0,3 kg/cm² a 4,83 kg/cm², con presión de restricción de 3,0 kg/cm². Los círculos de Mohr para las dos series de ensayos, indican que el ángulo de fricción interna (con consolidación y sin drenaje) varía entre 22° y 23,5° y que la cohesión, determinada por la intersección de la envolvente de los círculos con el eje de las ordenadas, varía de 0,3 a 0,35 kg/cm².

Ensayos de consolidación. En Fig. B-9 a-

4. CONCLUSIONES

Los materiales de cimentación se pueden dividir en dos tipos principales: a) Un suelo residual altamente meteorizado, generalmente de color rojizo a carmelita claro y b) Una masa de conglomerado no meteorizado, de color verdoso, formada por cantos rodados, grava, arena y limo, con alguna cimentación. La transición del tipo (a) al ti-

parece el gráfico del índice de poros contra la presión (esta última en escala logarítmica). En la Fig. B-10 se presentan las curvas típicas de raíz cuadrada del tiempo vs deflexiones. Los ensayos se efectuaron en muestras inalteradas y también sobre una muestra compactada hasta la densidad óptima de Proctor; las muestras tenían una pulgada de espesor por 2,5 pulgadas de diámetro y fueron ensayadas en un edómetro de anillo fijo con doble drenaje y sumergido. Los incrementos de carga fueron mantenidos durante 24 horas.

En índice de poros inicial varió entre 1,00 y 1,08. No fué posible obtener un valor del índice de compresión, definido como la pendiente de la parte virgen de la curva de índice de poros vs logaritmo de la presión, en vista de que tal pendiente varía considerablemente dentro del intervalo de las presiones aplicadas. Se determinó, en cambio, la pendiente promedio para dos intervalos de presiones: En el intervalo de 2 a 4 kg/cm² la pendiente promedio varía de 0,147 a 0,16 y en el intervalo de 4 a 8 kg/cm² varía de 0,253 a 0,288. Para la muestra compactada las pendientes promedio fueron de 0,083 y 0,137 respectivamente.

El valor del coeficiente de consolidación, indicador de la rata de asentamiento bajo carga, está comprendido entre $0,3 \times 10^{-2}$ y $4,6 \times 10^{-2}$ cm²/seg. El hinchamiento observado durante los ensayos de consolidación fué moderado.

Ensayos de permeabilidad: Durante los ensayos de consolidación se realizaron ensayos de permeabilidad, de carga variable, en muestras inalteradas. También se hicieron ensayos en muestras de los mismos materiales después de compactados hasta la densidad óptima de Proctor. El coeficiente de permeabilidad varió de 1,0 a $2,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. para las primeras y entre 2,0 y $3,0 \times 10^{-8}$ cm/seg, para las segundas muestras compactadas.

po (b) no es brusca y generalmente está constituida por una matriz de suelo residual muy meteorizado dentro de la cual se encuentran cantos rodados y gravas de color carmelita, en diferentes grados de meteorización.

Los suelos residuales muy meteorizados

que se encuentran en el sitio de la presa poseen las siguientes propiedades generales:

a) *Descripción*: Arcillas jaspeadas rojas, carmelitas y amarillas, a menudo arenosas y limosas, en ocasiones mezcladas con grava y cantos rodados.

b) *Naturaleza de las arcillas*: En su mayoría son minerales caolínicos.

c) *Humedad natural*: 30 a 68%. Es menor que el límite líquido y en algunos casos se acerca al límite plástico.

d) *Densidad seca*: 62 a 86 lb/pie³.

e) *Plasticidad*: Media.

f) *Consolidación*: Compresibilidad media a baja; asentamiento rápido.

g) *Resistencia al esfuerzo cortante* (En ensayo con consolidación y aplicación rápida de la carga) Angulo de fricción interna 22°; cohesión 0,3 kg/cm².

h) *Permeabilidad*: Materiales inalterados 1,0 a $2,0 \times 10^{-6}$ cm/seg. Materiales compactados a la densidad óptima de Proctor: 2,0 a $3,0 \times 10^{-3}$ cm/seg.

i) *Resistencia a la compresión confinada*: 0,6 a 2,0 kg/cm².

El conglomerado de color carmelita presentó una resistencia promedio, a la compresión confinada, 1,6 kg/cm².

Para el conglomerado de color verde el promedio fué de 16 kg/cm².

MATERIALES DE RELLENO PARA LA PRESA PRINCIPAL.

5. ENSAYOS REALIZADOS

La Fig. B-3 presenta todos los ensayos realizados y registra algunos de los resultados obtenidos. Estos ensayos se realizaron en dos diferentes tipos de materiales: 1) Los que constituyen los depósitos aluviales de arena y grava, tanto en el estado en que se encuentran en los planos naturales de inundaciones, como en los desechos de dragado y 2) Los que constituyen las sobrecapas, los cuales por lo general están muy meteorizados.

Los ensayos realizados fueron de dos clases:

a) *Ensayos de clasificación*: Humedad natural, determinación de límites líquido y plástico y granulometría y b) *Ensayos de propiedades*: permeabilidad y compactación, llevados a cabo en muestras representativas alteradas.

Ensayos de clasificación: En la sección 3 se presentaron los resultados de los ensayos de clasificación de los suelos de la sobrecapa.

Permeabilidad: Los resultados de los ensayos de permeabilidad en suelos residuales compactados se presentaron también en la sección 3. Se realizaron ensayos de carga variable en muestras representativas de los materiales aluviales, compactadas hasta la densidad óptima según el ensayo modificado

de la AASHO, después de remover las partículas de tamaño superior a 2,5 pulgadas. Para las muestras típicas de grava arenosa bien gradada, con escaso contenido de finos, el coeficiente de permeabilidad varió entre 2 y 4×10^{-3} cm/seg.

Compactación - Materiales aluviales: Los ensayos de compactación de acuerdo con el método modificado de la AASHO, indicaron una densidad seca óptima que varía entre 129,9 y 134,7 lb/pie³ con contenidos de humedad comprendidos entre 4,2 y 4,8%. Los ensayos de compactación se efectuaron sobre materiales que pasaron tamiz de 3/4".

Compactación - Sobrecapa: Los resultados de los ensayos de compactación realizados en suelos de la sobrecapa se presentan en la Fig. B-8, en la cual se incluyen gráficas de densidad seca vs humedad, para muestras compactadas por el método standard de Proctor y por el método modificado de la AASHO. Todos los ensayos individuales para cada serie se realizaron sobre muestras de suelo virgen, es decir, que cada muestra no se usó más de una vez. La densidad seca óptima varió entre 74,0 y 89,6 lb/pie³ con humedades comprendidas entre 41,0 y 28,6 %. El ensayo de compactación por el método modificado de la AASHO dió una densidad seca óptima de 99,0 lb/pie³ a 25,4% de humedad, comparada con 89,0 lb/pie³ a 30,0% de humedad, obtenidas, para la misma muestra, por el método standard de Proctor.

6. CONCLUSIONES

Los materiales de relleno en el sitio de la presa de Timba tienen las siguientes propiedades generales:

Material aluvial: (adecuado para la sección impermeable de la presa)

a) *Descripción:* Gravas con algo de arena y escaso contenido de finos, ocasionalmente con cantos rodados hasta de 45 cm.

b) *Características de compactación:* De acuerdo con el método modificado de la AASGO, la máxima densidad seca, para materiales menores de $\frac{3}{4}$ de pulgada, varía entre 130 y 135 lb/pies³ con contenido de la humedad entre el 4% y el 5%.

c) *Permeabilidad:* Para materiales menores de $\frac{3}{4}$ de pulgada, compactados a la densidad máxima según el ensayo modificado de la AASHO, se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de $2 \text{ a } 4 \times 10^{-3}$ cm/seg.

Suelos residuales: (adecuados para el núcleo impermeable de la presa).

a) *Descripción:* Arcillas arenosas a limosa, ocasionalmente con cantos rodados o grava.

b) *Permeabilidad:* $2,0 \text{ a } 3,0 \times 10^{-8}$ cm/seg después de compactado a la densidad óptima de Proctor.

c) *Características de compactación:* El material compactado de acuerdo con el método standard de Proctor, tendría, en promedio, una densidad seca máxima de 83,0 lb/pie³ a una humedad óptima promedio de 34,5%. Compactado de acuerdo con el método modificado de la AASHO tendría una densidad seca máxima de 95,0 lb/pie³ a la humedad óptima de 30%. La humedad natural es de 2 a 13% mayor que la humedad óptima para colocación a la densidad standard de Proctor de 18% mayor que la óptima para densidades modificadas según la AASHO. Expuestos al aire, estos materiales pierden humedad con bastante rapidez, por lo cual no se espera encontrar dificultades excepcionales para compactar el material del núcleo impermeable hasta la densidad standard de Proctor.

DIQUE DE LA FERREIRA.

Se investigaron dos sitios para la ubicación de este dique: En el Sitio I tendría una altura de 15 m y cerca de 600 m de longitud, y en el sitio II, una altura de 10 m y una longitud de 800 m. La ubicación en este último sitio resultó ser la más económica.

7. EXPLORACIONES PARA LA CIMENTACION

En la Fig. B-11 se indican la localización y los perfiles de las exploraciones realizadas en el terreno, las cuales consistieron en las perforaciones con lavado y cuatro sondeos con barrena en el Sitio I; y una perforación con lavado, doce sondeos con barrena manual y tres apiques en el Sitio II. Entre los dos sitios se excavaron dos apiques de poca

profundidad. Las muestras fueron extraídas mediante una toma-muestras del tipo "split-spoon" de diámetro exterior de 3" e interior de $2\frac{1}{2}$ ", hincado por medio de un martillo de 317 lbs, altura de caída de 18 pulgadas. También se tomaron muestras con tubos Shelby de 2" de diámetro interior.

8. ENSAYOS DE CAMPO

Los únicos ensayos de campo realizados fueron los ensayos de permeabilidad, con cabeza variable, efectuados en pozos con revestimiento. Estos ensayos indicaron la presencia de un estrato de arcilla de arenosa a limosa, de 5 m. de espesor, por lo menos, si-

tuada encima de los materiales aluviales permeables. El coeficiente de permeabilidad de este estrato fué estimado entre $1,0 \text{ y } 5,0 \times 10^{-7}$ cm/seg, mientras que el de la formación de arena y grava se estimó entre $1,0 \times 10^{-2}$ y $1,0 \times 10^{-3}$ cm/seg.

9. ENSAYOS DE LABORATORIO

La lista de los ensayos ejecutados se incluyó en la Fig. B-3. Tales ensayos comprendieron:

a) *Ensayos de clasificación:* Humedad natural, límite líquido y límite plástico.

b) *Ensayos de propiedades:* Ensayos de comprensión no confinada, en muestras inalteradas obtenidas por medio de toma-muestras tipo Shelby.

Ensayos de clasificación: La sobrecapa en el área del proyecto está formada por arcillas residuales limosas y a menudo arenosas y con gravas. En la zona plana, comprendida entre las colinas que confinan el sitio de la presa, existe un estrato de arenas y gravas con escaso contenido de finos, cuyo espesor no ha sido determinado. La humedad natural varía entre 15,2% para las

muestras de arcilla arenosa y 79% para muestras de arcilla sola. El límite líquido varía entre 40,7 y 50,7% y el índice de plasticidad entre 7,4 y 19,8%. En la Fig. B-4 se presenta una gráfica del límite líquido vs el índice de plasticidad.

Las sobrecapas residuales en el sitio de La Ferreira son similares a las del sitio de la presa principal, con la diferencia de que en la zona del empotramiento izquierdo (oeste) se tornan más arenosas y se encuentran mezcladas con derrubios de ladera formados por areniscas muy meteorizadas.

Ensayos a la compresión inconfiada: La resistencia a la compresión inconfiada varió entre 0,4 a 1,62 kg/cm² con un promedio de 1,0 kg/cm² y con deformaciones comprendidas entre 9,1 y 21%. En su mayoría las muestras fallaron por pandeo.

10. CONCLUSIONES

Las condiciones de cimentación son similares en los dos sitios estudiados. El suelo residual que cubre los estratos de arena

y grava es similar al que se encontró en el sitio de la presa principal y tiene las siguientes propiedades generales:

a) Humedad natural	15,2 a 79%
b) Plasticidad	Media
c) Resistencia a la compresión no confinada	1,0 kg/cm ² (promedio)

11. MATERIALES DE RELLENO

Se ensayó el suelo residual para determinar sus características de compactación. En la Fig. B-12 aparece el correspondiente gráfico de densidad seca vs contenido de humedad, para compactación por los métodos standard de Proctor y modificado de la AASHO. Todos los ensayos se efectuaron sobre muestras vírgenes.

La densidad seca óptima, por el método standard de Proctor, varió entre 78,6 y

87,0 lb/pie³, para humedades de 41,9 y 30% respectivamente. Por el método modificado se encontró una densidad seca óptima de 85,9 a 92,4 lb/pie³ con humedades de 32,9 a 27,8%. La humedad óptima para obtener densidades standard Proctor es sólo 4,4 a 4,8% menor que la humedad natural. Para compactación a las densidades de la AASHO la humedad óptima es de 7,0 a 13,4% menor que la humedad natural.

LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.

12. LIMITACIONES

Todas las conclusiones de este apéndice están basadas en los resultados de un número

limitado de ensayos y son aplicables solamente a las muestras ensayadas.

13. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo un programa adicional de ensayos, antes de proceder con el diseño definitivo de las estructuras. Dicho programa debe incluir las siguientes investigaciones:

Relleno en tierra: Se deben investigar las características de resistencia al esfuerzo secante de la arena y grava compactadas, por medio de ensayos de compresión triaxial verificados en muestras de gran diámetro. La misma clase de investigación se debe rea-

lizar en muestras compactadas del material impermeable de préstamo.

Bocatoma: Se deben realizar ensayos de campo en grande escala para determinar la resistencia al esfuerzo secante de los materiales no meteorizados de la cimentación.

Presa principal: Se deben determinar las características de permeabilidad y de resistencia al esfuerzo cortante de los materiales del conglomerado más débil (el de color carmelita).

APENDICE C

ABASTECIMIENTO DE CARBON PARA LA FUTURA PLANTA TERMICA

(Las localidades mencionadas en este apéndice aparecen en las Figuras 4-4 y 2-1).

RESUMEN:

Se han encontrado yacimientos de carbón en el Valle del Cauca, en una zona situada a todo lo largo de la vertiente Oriental de la cordillera occidental, desde cerca a Yumbo hasta un poco al Sur de Popayán. Esta zona tiene una longitud de 250 km y su ancho oscila entre 5 y 25 km. Los depósitos que en ella se presentan pueden ser continuos, en forma de vetas cuyo espesor varía desde unos pocos centímetros hasta 2 ó 3 metros, o pueden estar interrumpidos por zonas no carboníferas, como en la región de Tambo, Cauca.

La geología del terreno y la inclinación de las vetas son tales que es imposible alcanzar en estas minas un grado de mecanización semejante al de las minas en los Estados Unidos. La inclinación de todas las vetas varía de 45° a 90° con la horizontal lo cual dificulta la explotación. Además muchas de las vetas contienen capas de arcilla dura o esquistos que complican la manipulación del carbón.

El carbón que se encuentra en el Valle del Cauca es de varios tipos y localmente se clasifica en antracita, sub-bituminoso y bituminoso. Los yacimientos han alcanzado su estado actual como resultado de la acción de fuerzas tectónicas y metamórficas.

En comparación con los carbones que se explotan en los Estados Unidos, la calidad de los del Valle del Cauca es baja y sus características muy irregulares. El contenido

de cenizas alcanza valores hasta del 27% y el contenido de azufre hasta del 3% en algunos sitios. La presencia de capas de material extraño dentro de las vetas de carbón es una de las causas del alto contenido de cenizas. En algunas vetas el azufre se presenta en forma de piritita finamente dividida y puede dar lugar a combustión espontánea.

Como resultado de la acción geológica, los carbones del Cauca se encuentran bastante fisurados y son muy friables. Aproximadamente el 75% del carbón proveniente de las minas actuales pasa por tamiz de ¼".

Hasta el presente, prácticamente todas las explotaciones se han llevado a cabo en escala reducida y sin mecanización.

Los yacimientos explotados están por encima del nivel del Valle y su explotación se lleva a cabo por medio de galerías a lo largo de las vetas o por medio de túneles a través de ellas. Los medios de transporte del carbón extraídos son bastante deficientes, si se les compara a los usados en los E.E. U.U.

Los cálculos de reservas de carbón se han basado en apreciaciones de carácter geológico más que en investigaciones directas por medio de perforaciones. Estas últimas resultan demasiado costosas y sus resultados no son concluyentes, debido a la presencia de fallas e incrustaciones de roca. Debido a estas circunstancias, se considera que los es-

tudios y estimativos descritos a continuación no son suficientemente precisos.

A principios de 1955 la Compañía Kaiser Engineers realizó un estudio de los carbones del Valle del Cauca, como resultado de este estudio se estimó que las reservas explotables, en la zona de 32 km que se extiende desde el río Jordán hasta unos 3 km al sur de San Francisco, ascienden a 32'000.000 de toneladas, o sea un promedio de 1'000.000 T por km. Sin embargo los autores del estudio hicieron la salvedad de que la premura del tiempo no les permitió llevar a cabo las investigaciones necesarias para una apreciación más exacta de dichas reservas. Estimaron también que la explotación en esta zona permitiría la extracción del 50% de las reservas, es decir unos 16'000.000 de toneladas de carbón, entre atracita, bituminosa y sub-bituminosa. Los estimativos de Kaiser son algo más pesimistas que los comunmente usados por la industria local, según los cuales las reservas totales en la zona ascienden a 138'000.000 de toneladas (3'000.000 ton/kh) de las cuales, con un 50% de recuperación, se obtendrían 69'000.000 de toneladas.

Con el fin de fomentar la explotación del carbón en esta zona, se obtuvo un préstamo del "Banque de Paris et des Pays Bas", para la construcción de una planta lavadora de carbón y para la expansión y modernización de dos de las minas principales. Este préstamo incluye inversiones para mejorar las instalaciones ferroviarias aumentando el número de góndolas para carbón, lo mismo que para mejorar las instalaciones portuarias en Buenaventura y para la instalación de un sistema de enriellado en la planta de lavado.

Las dos minas, "San Francisco" y "Timba", se comprometieron mediante un contrato que entró en vigencia el 10 de Septiembre de 1953, a entregar a la planta lavadora, durante 12 años, una cantidad mensual de carbón no inferior a 3.000 T y con un máximo de 8.000 T. El exceso de producción sobre las 8.000 toneladas al mes podía ser vendido en otros mercados.

La planta central de lavado, llamada "Planta Lavadora de Carbones del Valle", abastecerá de carbón lavado, con contenido constante de cenizas, a los ferrocarriles y a las industrias de la zona de Cali y a la planta térmica de Yumbo, en caso de que en dicha planta resulte más económico el uso de

carbón lavado. Se planea también ensayos en la planta de Yumbo una mezcla de carbón sin lavar y desperdicios de la planta lavadora. Inicialmente se pensó en exportar un mínimo de 10.000 T de carbón al mes, pero en vista de las dificultades encontradas en la producción para la exportación, parece que esto no será posible hasta dentro de algún tiempo.

En las plantas térmicas modernas es posible quemar el carbón bruto pulverizado, sin necesidad de lavarlo. El proceso de lavado produce un carbón de calidad más uniforme y menor contenido de cenizas, pero por otra parte aumenta su costo, lo cual a su vez puede reflejarse en un aumento del costo de producción de la energía.

En el estudio del sistema combinado de plantas térmicas e hidráulicas para la C.V.C. se ha considerado la instalación de 198.000 kw térmicos en el área de Timba, para ser usados en combinación con la planta hidroeléctrica. Una planta térmica de esa capacidad, funcionando con un factor de planta anual del 60%, requerirá 420.000 T de carbón al año.

Del estudio de las predicciones de la demanda futura de carbón en el Valle, Cauca y Caldas (Cuadro C-2) se deduce claramente que, si se ha de instalar una gran central térmica en la zona de Timba, será necesario incrementar considerablemente la producción carbonífera de la región.

No es aconsejable por lo tanto, proceder con el diseño de la planta térmica de Timba, o de cualquiera otra, hasta tanto no se haya asegurado, por medio de contratos, el suministro de carbón en cantidad suficiente. Si el crecimiento futuro de la demanda hace que la estación térmica de Timba resulte económicamente atractiva se debe tomar, en asocio con el Instituto de Fomento Industrial, las medidas necesarias para asegurar una producción adicional de carbón de 140.000 T por año, para la primera unidad de 66.000 kw, y de 420.000 T por año cuando las tres unidades estén en funcionamiento.

En la zona situada al pie de la cordillera Occidental, entre los ríos Timba y Guachinte y entre los ríos Guachinte y Claro, existen extensos yacimientos de carbón escasamente explotados. Sería conveniente entrar en contacto con los respectivos propie-

tarios a fin de iniciar un plan de desarrollo y mecanización tendiente a asegurar el abastecimiento de carbón desde esta zona. Además se debe considerar el uso de equipos de perforación con diamante, y toma de muestras para hacer la evaluación de las reservas.

Para el transporte de carbón al sitio de la planta se requieren 200 góndolas adicionales del tipo de volcamiento. El número de góndolas actualmente en servicio es inadecuado para manipular las cantidades de carbón que demanda la nueva planta.

1. USOS ACTUALES

El carbón se ha venido explotando en el Valle del Cauca desde hace 75 años y en la actualidad es esencial para la vida industrial de la región. Entre sus principales consumidores se encuentran los Ferrocarriles Nacionales (Pacífico), los Departamentos de Caldas y Cauca, Cementos del Valle, Cartón de Colombia, Celanese Colombiana, Fábrica Nestlé, Cervecería Bavaria, varios ingenios azucareros, hornos de cocimiento de ladrillos y tejas y otros. Hasta el momento, todas las

explotaciones mineras han sido hechas en pequeña escala y sin mecanización. Todas las explotaciones se están realizando a un nivel superior al del Valle. La explotación se realiza por medio de galerías dentro de las vetas o por túneles en la roca para interceptar dichas vetas. Todas las explotaciones productivas se extienden de las entradas hacia arriba y están por encima de la tabla general de agua.

2. CLASIFICACION, COMPOSICION Y PODER CALORIFICO

En el Valle del Cauca se encuentran varios tipos de carbón desde Meta Antracitas

hasta sub-bituminosos. Generalmente se clasifican como sigue:

Antracita	Contiene	hasta el 14% en materias volátiles
Sub-bituminosos	"	entre 14% y 32% en materias volátiles
Bituminoso	"	más del 32% en materias volátiles.

El contenido de cenizas varía entre 10% y 35%; el de azufre desde cero (en carbón de pocas materias volátiles) hasta 5.9%, con un promedio de 1,25%. Los datos relativos al poder calorífico y a la temperatura de fusión de las cenizas se presentan en el Cuadro C-1.

3. GEOLOGIA

Los yacimientos de carbón en el Valle del Cauca se encuentran en una zona situada a lo largo de la falda oriental de la cordillera Occidental desde cerca a Yumbo hasta un poco al sur de Popayán. Esta zona tiene una longitud de 250 km y su ancho varía entre 5 y 25 km. Cerca a Tambo (Cauca) los yacimientos desaparecen en un corto trayecto. Las vetas encontradas pertenecen al terciario inferior.

En su mayoría, las vetas son irregulares y se encuentran inclinadas desde 45° hasta verticales. El espesor de una misma veta puede variar entre 0.40 m y 2 m y en algunos casos desaparecen por completo. La mayoría de las vetas contienen esquistos y láminas de arcilla, lo cual afecta seriamente el cálculo de las reservas. Los estimativos de reservas se han basado en estudios geológicos adelantados con base en informaciones obtenidas de varias minas y en estudios de los afloramientos de las vetas en hondonadas y quebradas. No se han hecho

estimativos basados en perforaciones.

El estudio geológico más completo de carbón en el Valle del Cauca fué el realizado por el Sr. Enrique Hubach (10), quien estudió las formaciones carboníferas en todas las regiones del Valle del Cauca y concluyó que las reservas totales serían del orden de 406.500.000 T. Revisiones posteriores y más prudentes, realizadas por el mismo Hubach y otros geólogos, indican que las reservas son mucho menores.

Los estudios hechos en el Valle del Cauca por Kaiser Engineers quienes realizaron una visita a todas las minas en producción, a principios de 1955 y presentados en un Informe al Instituto de Fomento Industrial (11), estiman las reservas de explotación económica (vetas de 1 o más metros de espesor con 50% de producido neto) en la zona entre el río Jordán y San Francisco en 16.000.000 T. Ellos consideran que esta zona cuya longitud es de 32 km "puede ser explotada bajo un programa coordinado".

4. METODOS DE EXPLOTACION

Como ya se explicó, las minas pequeñas no están mecanizadas. La gran inclinación de las vetas y la variación en su espesor no permiten el uso intensivo de maquinaria. El acceso a las vetas se hace por túneles horizontales o socavones. Los mineros trabajan en la parte superior de las vetas inclinadas y el carbón cae por gravedad al túnel, donde es cargado en pequeños carros empujados a mano o por locomotoras (como en San Francisco) al portal de la mina, donde es descargado. En algunas de las minas más grandes, se emplean canaletas o cables

transportadores desde los portales hasta los sitios más convenientes para cargue en camiones. En las minas inaccesibles por vehículos, se usan mulas para transportar el carbón. Todas las minas tienen ventilación natural. En ocasiones se presentan afloramientos de agua subterráneas en la roca, caso en el cual se construyen cunetas para conducir el agua fuera de la mina. El uso de equipos accionados por aire comprimido está limitado a las minas más desarrolladas.

5. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA MINERA

Los informes presentados hasta 1953 sobre la industria minera en el Valle del Cauca indican la necesidad de mecanizar dicha industria y por tanto la necesidad de ayuda financiera. En 1953, la Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero en Bogotá, obtuvo un préstamo del "Banque de Paris et des Pays Bas" por U.S. \$3.000.000. La inversión de este capital cubre las siguientes mejoras:

- (a) Construcción de la "Planta Lavadora de Carbones del Valle" cerca a Cali.
- b) Mecanización y desarrollo de las 2 principales minas de carbón en la región.
- c) Instalación de acceso férreo a la planta lavadora.
- d) Aumento en las instalaciones ferroviarias.



rias con la compra de 160 góndolas adicionales.

- e) Desarrollo de las instalaciones portuarias en Buenaventura incluyendo grúas, remolques, dragado del canal, etc.

Cada una de las dos principales propiedades mineras firmó un contrato con la planta lavadora (Instituto de Fomento Industrial) para suministrar un mínimo de 3.000 y hasta un máximo de 8.000 toneladas mensuales de carbón. (La producción en exceso sobre las 8.000 toneladas puede ser

vendida en el mercado libre). Este contrato se firmó en Septiembre 10 de 1953 y tiene un período de vigencia de 12 años. El Ferrocarril del Pacífico tiene un contrato para transportar a la planta de lavado un mínimo de 30.000 toneladas por mes pero estará en capacidad de transportar hasta 90.000. El resto del carbón para la planta de lavado será suministrada por los pequeños productores de la región. Las mejoras en las minas se están llevando a cabo pero por el momento sería prematuro tratar de estimar el aumento en productividad que se pueda esperar en el futuro.

6. FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN LA ZONA DE TIMBA

Con el fin de suplir la demanda de 30.000 toneladas por mes, cantidad que es considerada como la necesidad económica del Valle, se ha prestado ayuda financiera para el desarrollo de las dos minas más grandes, la de Timba y la de San Francisco, ambas localizadas en la zona de Timba. A continuación se describen brevemente las instalaciones de estas dos minas:

Mina de Timba: Actualmente se está mejorando con el fin de aumentar su producción a 500 toneladas diarias, para lo cual se están perforando túneles horizontales a las cotas 1.200 y 1.327. Ya se terminó la perforación de un tercer túnel horizontal de 400 metros de largo a la cota 1.457, para interceptar las vetas carboníferas. Aproximadamente la mitad del túnel de la cota 1.200 se terminó a principios de 1956. En los dos túneles inferiores se emplearán locomotoras Diesel para empujar los carros a los patios de depósito fuera de los portales. En el túnel superior los carros serán empujados a mano. Los gases de escape de los motores Diesel serán pasados por agua y limpiados de modo que no sean tóxicos. Los carros serán cargados por gravedad o por medio de cargadores accionados por aire comprimido.

Se está construyendo un apartadero del ferrocarril al nivel del Valle, inmediatamente debajo de las entradas a la mina.

Un transportador de cable llevará por gravedad el carbón de los dos túneles superiores a las tolvas de cargue del ferrocarril mientras el carbón del túnel de la cota 1200 será llevado por un transportador sinfín. Los túneles están provistos de aire compri-

mido para taladros; la energía eléctrica para accionar los compresores es suministrada por la pequeña planta hidroeléctrica de Aznazú. El pico de la demanda de energía en la mina de Timba se estima en unos 300 kw.

La "mecanización" de las minas incluirá nuevas góndolas, dos locomotoras, cables aéreos, equipo de cargue, compresores de aire, equipo accionado por aire comprimido, instalaciones de alumbrado y cascos de minero provistos de luces accionadas por baterías recargables.

Según los estudios geológicos se espera que el túnel de la cota 1200 interceptará inicialmente yacimientos de carbón "Antracita". En el túnel de la cota 1327 se encontrará primeramente carbón "semibituminoso" (8 vetas con espesor que varían de 80 cms. a 4 m.) mientras que del túnel de la cota 1457 se extraerá carbón bituminoso.

Durante el desarrollo de la mina, se harán excavaciones laterales horizontales a ambos lados del túnel principal, con una longitud máxima de 500 metros, las cuales permitirán la explotación sobre una longitud de 1 km. desde un sólo punto de entrada.

Todas las vetas tienen un ángulo de inclinación de 54° a 90° con la horizontal.

Como las vetas son explotadas hacia arriba, la ventilación se efectuará por convección. Las vetas de carbón bituminoso afloran en la parte más alta de la sierra, aproximadamente a la El. 1550. A medida que la mina se vaya desarrollando se usará también ventilación forzada.

Se estima que, en esta área, las reservas de carbón por encima del nivel del Valle son aproximadamente de 3.000.000 de toneladas por kilómetro. Si la explotación diaria es de 500 T. o sea 3.000 toneladas por semana, la mina teóricamente podrá ser explotada durante 19 años sin otras excavaciones. Un período tal vez más razonable sería de 15 años, al final de los cuales se tendrán que hacer trabajos adicionales dentro de la mina para seguir explotándola.

La construcción de la presa de Timba producirá un embalse cuyo nivel máximo estará a la El. 1026.7 y cuyo nivel mínimo estará a la El. 1010. La relocalización de la línea férrea a la mina se describe en el Capítulo 4.

Mina de San Francisco: Esta mina también está siendo desarrollada con parte del préstamo Francés y se espera que su producción alcance 500 T. diarias. Los terrenos de la mina ocupan la falda de la sierra arriba de la población de San Francisco, 9 kms. al sur de Timba.

En la falda de la sierra, a la cota 1150, se está excavando un túnel horizontal con dirección este-oeste que se prevé tendrá una longitud de 1.500 a 1.600 m. Al otro lado de la serranía, en la zona de la Quebrada de Guabo, se está excavando otro túnel a la misma elevación y en dirección contraria. Los túneles se encontrarán de manera que la totalidad del carbón extraído saldrá por el extremo éste del primer túnel.

Con base en estudios geológicos se estima que el túnel principal interceptará cuatro vetas de carbón de volatilidad media, con un contenido de materia volátil de 19% a 25%. Carbón como el de las vetas interceptadas por el túnel que parte de la ladera de la quebrada de Guabo, se encuentra también en otros lugares donde se dice que tiene características favorables para coquización. Sin embargo ésto no ha sido confirmado en los trabajos iniciales. Los carbones de la zona de esta mina son muy deleznales y se pueden triturar fácilmente. Las vetas están inclinadas desde 45° hasta casi la vertical.

El concepto general de mecanización para esta mina es el siguiente: El carbón será

cargado por gravedad o por cargadores accionados por aire comprimido, en vagonetas empujadas por pequeñas locomotoras Diesel. Estas lo llevarán hasta un volcador giratorio, donde será descargado a un tolva de 150 toneladas de capacidad. En este punto será cargado en vagonetas de 0.5 toneladas de capacidad, transportada por un cable aéreo movido por gravedad, y llevado hasta junto al ferrocarril en el fondo del valle, donde será puesto en tolvas de almacenamiento. Los vagones del ferrocarril serán cargados por gravedad. La capacidad transportadora del cable aéreo es de 50 toneladas/hora y se puede aumentar hasta 75 toneladas/hora. Cuando las vagonetas del cable aéreo lleguen abajo se desviarán por un riel encima de las tolvas, donde vaciarán el carbón. Las vagonetas vacías se empujarán a mano por el riel hasta volver al cable para hacer el viaje de regreso al punto de cargue. El mismo sistema se usará en el punto de cargue. El frenado se efectuará por medio de un motor de 50 kw. Las instalaciones incluyen un taller de mantenimiento y una unidad turbogeneradora de emergencia, movida por vapor, lo mismo que un compresor de aire.

El total de la producción de la mina será transportado por ferrocarril, ya que no hay carretera en esta zona. Si la presa de Timba se construye, la vía actual del ferrocarril quedará inundada; en el Capítulo 4 se describe su relocalización.

Nota general: El desarrollo de las minas de Timba y San Francisco se ha efectuado mucho más lentamente de lo que se había planeado, debido a dificultades financieras y administrativas. Ambas minas fueron cerradas en Enero de 1958, después de haber alcanzado una producción máxima en cada una de 3.000 T por mes. El gobierno nacional está organizando una corporación que se haga cargo de la operación de estas dos minas, lo mismo que de la planta lavadora de carbones. Se espera que Timba pueda reanudar su producción inmediatamente después de que la nueva organización comience actividades; para San Francisco, sin embargo se necesitará un plazo de unos seis meses para rehabilitar las obras. Estimativos realistas indican que no será posible alcanzar una producción de 10.000 T por año en cada mina, antes de 1960.

7. PLANTA DE LAVADO

Ningún informe sobre carbón en el Valle del Cauca sería completo sin mencionar la planta lavadora que se acaba de terminar al norte de Cali. Con la gran cantidad de pequeñas minas en explotación y de yacimientos en el Valle del Cauca, es muy grande la variación en las características del carbón, tal como lo recibe el consumidor; muchas veces el contenido de cenizas varía entre el 12% y el 30%. Por muchos años se había pensado en la necesidad de una planta lavadora para controlar el contenido de cenizas del carbón por medio del lavado y de la mezcla de carbones. Se han preparado muchos informes sobre la industria del carbón en el Valle del Cauca, entre ellos los de Emil Bosc (2), John B. Lewis, economista en carbón (3), y Thomas Fraser (4), (5). En el informe de Fraser (Noviembre de 1952) se presentan detalles de una planta lavadora para ser construída en el Valle, por el Instituto de Fomento Industrial. Esta Planta suministraría carbón lavado a todos

los compradores locales, y además prepararía un carbón adecuado para la exportación. El informe de Fraser estima en 20.000 toneladas por mes el consumo local futuro, y en 10.000 toneladas por mes la exportación en un futuro próximo, la cual aumentará a 20.000 toneladas por mes finalmente.

La "Planta Lavadora de Carbones del Valle", se construyó en un sitio localizado a 4 km. al norte de Cali (en dirección a Yumbo) próximo a la vía del Ferrocarril del Pacífico. La planta costó \$9'000.000 y fué financiada como se dijo anteriormente. La planta, que tiene una capacidad de 125 T/hora, operará inicialmente durante 8 hr. al día, con una producción de 1.000 toneladas/día. Si aumenta la demanda de carbón lavado, la planta podrá operar 16 horas diarias. Ocho compartimientos con una capacidad total de 3.000 toneladas, permitirán mezclar varias clases de carbón para producir una mezcla uniforme de carbón lavado.

Se pretende sacar los siguientes tipos de carbón lavado:

	4" a 3/4" (100 mm. a 20 mm.)	3/4" a 0" (20 mm. a 0)	3/8" a 0" (10 mm. a 0)
Carbón de alta volatilidad, no coquizable	x	x	x
Carbón de alta volatilidad, coquizable	x	x	x
Carbón de alta volatilidad (menos del 25%)			

Como sale de las minas

8. DATOS ECONOMICOS DEL CARBON EN LA ZONA DE TIMBA

El costo de la tonelada de carbón en la mina se estimó en \$ 15 a mediados de 1955. Para mediados de 1957 el costo era de \$ 23 por tonelada. Estas cantidades incluyen: costos directos, prestaciones sociales, costos de entibado, energía, aire comprimido, administración, regalías, amortización, intereses y ganancias.

Carbón cargado en la mina	\$ 23
Transporte ferroviario a Cali (a)	6
Costo de lavado (b)	6
	<hr/>
Pérdidas por lavado	\$ 35
	4
	<hr/>
	\$ 39

Los siguientes costos por tonelada métrica se consideran representativos para el carbón proveniente de la zona de Timba (mediados de 1957):

a) Los fletes del ferrocarril posiblemente pueden disminuir con base en una negociación para el transporte de grandes cantidades de carbón.

b) Sujeto a modificación cuando se conozcan los costos reales de operación.

El costo del carbón para la planta térmica de Yumbo, si se utiliza en ella carbón lavado, será del orden de \$39/tonelada incluyendo el transporte del carbón lavado desde la planta de lavado hasta la Central. El costo real del carbón por tonelada en Yumbo se reducirá algo, si es posible usar en esta planta una mezcla de carbón lavado y sin lavar; (a mediados de 1957 el costo del carbón sin

lavar en Cali era de \$28/tonelada).

En el caso de construir una planta térmica en Timba y utilizar pulverizadores de carbón, el costo aproximado en la planta sería de \$23/tonelada. En vista de la baja producción futura de las minas en esta zona, se debe aumentar en \$2 el precio por tonelada, para pagar gastos de nuevos desarrollos y mecanización de las minas. El costo por tonelada ascenderá entonces a \$ 25.

9. CALCULO DEL CARBON NECESARIO EN 1960

El cuadro C-2 ha sido preparado para mostrar la producción y la demanda probables, de carbón, en el año de 1960. Si se supone que para esta época la red principal de transmisión se habrá extendido hasta poder servir las principales poblaciones del Valle al sur de Zarzal, la planta térmica de Yumbo (20.000 kw) tendrá un factor de capacidad del 25% y por lo tanto consumirá 23.000 T de carbón por año. Poco después de la terminación de Calima, será posible extender aún más el sistema de transmisión,

conectando así consumidores en las zonas previamente servidas; en este caso el factor de capacidad de Yumbo (digamos para 1963) subirá al 90% aproximadamente, y el consumo de carbón será de 80.000 T por año. Se ha supuesto que el Ferrocarril del Pacífico consumirá una cantidad moderadamente mayor que la presente. La demanda futura de la industria ha sido estimada de acuerdo con el informe Rodríguez el cual se discutirá más adelante.

CUADRO C - 2

CALCULO DEL CARBON NECESARIO EN 1.960.

EXPLOTACION ANUAL DE CARBON		
1. Grandes minas mecanizadas		
Golondrinas	150 T/día	
San Francisco	350 T/día	
Timba	350 T/día	
	850 T/día	300.000 T/año
2. Otras pequeñas minas (estimado)		450.000 T/año
		750.000 T/año
CONSUMO ANUAL DE CARBON		
1. Térmica de Yumbo (20.000 kw; 25% factor de planta)		23.000 T/año
2. Ferrocarril del Pacífico		126.000 T/año
3. Otros consumidores (a)		433.000 T/año
	Subtotal	582.000 T/año
4. Exportación		120.000 T/año
5. Pérdidas en el lavado		15.000 T/año
	Total	717.000 T/año

(a) Esta cantidad se calculó suponiendo un aumento del 10% anual en la demanda de todos los consumidores industriales. Los registros indican un aumento promedio del 32% en la demanda de los tres principales consumidores industriales entre 1954 y 1955. El aumento promedio del 10% para todos se considera razonable.

10. ASPECTOS ECONOMICOS DE LA UTILIZACION DE RESERVAS

En el estudio e informe sobre producción y utilización del carbón en los Deptos. del Valle del Cauca y Cauca., de Septiembre 21 de 1955, José Rodríguez Mazuera (12) presenta una cantidad considerable de información sobre estos aspectos. A pesar de que el informe es optimista en cuanto a las reservas ilimitadas de carbón para suplir las futuras demandas, un estudio detenido de las estadísticas presentadas demuestran que, si el crecimiento industrial de la región continúa al ritmo presente, es posible que haya una grave escasez de carbón dentro de pocos años, a no ser que se aumente la producción.

El informe Rodríguez muestra el aumento de la demanda de carbón por los cuatro principales consumidores entre 1954 y 1955. Los aumentos variaron desde 11.2% para el Ferrocarril del Pacífico hasta 61.1% para "Celanese". El aumento para Cementos del Valle fué del 14.3%, y el de "Cartón" 43.5%. Como el consumo total de los tres mayores consumidores industriales en 1955 fué de 151.000 toneladas, se puede ver que hay una gran demanda creciente de carbón

para usos industriales.

El cuadro de consumidores de carbón presentado en el Informe Rodríguez indica un consumo de 396.000 toneladas en 1955, de 432.000 toneladas en 1956 y de 504.000 toneladas en 1957 (ésta última cantidad incluye el consumo de la planta térmica de Yumbo estimada en 54.000 toneladas).

Si nuevas industrias se siguieran desarrollando en el futuro al mismo ritmo con que han venido desarrollándose en los últimos años, y a un paso tal que aventajen al crecimiento de población, parece razonable suponer que los FF. CC. no aumentarán apreciablemente su consumo de carbón, y que todas las demás industrias aumentarán su demanda en un 10 % anual (La última cifra es bastante más baja que el promedio ponderado de 1954-55, de 32% de los tres grandes consumidores. Ver Cuadro C-2). Un estimativo basado en los datos anteriores y tasas de crecimiento del consumo, muestra que la demanda futura de carbón, en toneladas métricas por año, será la siguiente:

Año	FF.CC	Planta Térmica de Yumbo (20.000 kw.)	Industrias	Total
1956	126.000	10.000	297.000	429.000
1958	126.000	23.000	358.000	494.000
1960 (a)	126.000	80.000	433.000	582.000
1965	126.000	80.000	695.000	901.000
1970	126.000	80.000	1.114.000	1.320.000
1975	126.000	80.000	1.780.000	1.986.000

(a) Los consumos para este año han sido obtenidos del Cuadro C-2.

En vista de que el suministro de carbón es muy limitado, no hay duda de que éste debe conservarse para usos más lucrativos. La utilización en procesos industriales, por ejemplo, da riqueza y empleo varias veces superiores a los que dá el carbón cuando es usado como combustible o para la exportación. Por ello, hasta que no se pueda demostrar que hay una verdadera abundancia de carbón para estos usos, no parece aconsejable el aumentar su exportación o su uso para la producción de energía térmica.

La falta de informaciones suficientes y correctas sobre las reservas de carbón explotables, y el carácter primitivo de la ma-

yoría de las explotaciones mineras actuales, son razones poderosas para fomentar el desarrollo de la energía hidroeléctrica.

REFERENCIAS:

1. Geología Económica del Carbón y Existencia de Carbón en la Región de Cali; Anuario Estadístico del Valle del Cauca, 1945.
2. La Bassin Houiller de Cali; Emil Bosc; Septiembre 1, 1952.
3. Preliminary report on proposed Colom-

- bian coal export program, with special reference to coking; Thomas Fraser, US Bureau of Mines, and John B. Lewis, Mining Consultat Poit IV Program; US Bureau of Mines; October 1951.
4. The Coal Industry of the Cauca Valle; Thomas Fraser; US Bureau of Mines; 1952.
 5. A Development Program of the Valle and Cauca Coal Industry; Thomas Fraser and Alberto Vargas M.
 7. General Estimate of Productive Efficiencies and Mining Costs in Proposed Mechanized Coal Operations of the Cauca Valley; John B. Lewis; Bogotá; February 26, 1952.
 8. Análisis de Carbón de las Minas del Valle del Cauca por el Bureau of Mines de Estados Unidos; September 1, 1950.
 9. Impresión de una Visita a las Minas de Carbón de Cali; Dr. Leonard Cioni; Ciudad Trujillo, República Dominicana; Junio 15, 1950.
 10. Estudio sobre el Carbón de los Dptos. del Valle y Cauca; Mayo 1953; Dr. Enrique Hubach y Benjamín Alvarado.
 11. Colombia Coal Deposits, Export Program Study; for the Instituto de Fomento Industrial; Bogotá, Colombia and Kaiser Steel Corporation, Oakland, California; April 1955; Kaiser Engineers International. Inc.
 12. El Consumo de Carbón en el Area de Cali; José Rodríguez Mazuera; Instituto de Fomento Industrial, Planta Lavadora de Carbones del Valle; September 21, 1955.

APENDICE D

DESVIACION CAUCA PACIFICO

Existe la posibilidad, como se dijo en el Capítulo 2, de un desarrollo hidroeléctrico de grandes proporciones desviando agua del río Cauca hacia la vertiente del Pacífico. La potencia obtenible en dicho desarrollo depende, lógicamente, de la cantidad de agua que pueda ser desviada.

Según el Informe sobre Desarrollo Coordinado (Página XIII-1 y G-2), la regulación del caudal por el embalse de Timba permitiría una desviación mínima de 38 m³/s, sin embargo, se mencionan también en ese informe, varias maneras de economizar el agua para aumentar el caudal desviable.

Se hizo también un análisis preliminar del abastecimiento del área situada aguas abajo de Vijes y no abastecida por Timba. De un total de 280.000 ha netas en la zona plana (sin incluir el valle de Risaralda), 152.000 ha, serán servidas por Timba y 38.000 ha, por los afluentes entre La Balsa y Vijes. Quedan entonces, 90.000 ha situadas entre Vijes y Cartago, que deben ser abastecidas por los afluentes o por agua subterránea.

Este análisis preliminar se presenta en el Cuadro D-2. Sólo se incluyen datos para los meses críticos, según el estudio del Cuadro D-1. Como puede verse, el caudal de los afluentes entre Vijes y Cartago es suficiente para abastecer las 90.000 ha durante todo el

Según un nuevo análisis, llevado a cabo durante los estudios del presente informe, el mínimo caudal continuo de desviación, una vez terminado el embalse de Timba sería de 70 m³/s, suponiendo que el desarrollo agrícola sea total. Esta cantidad puede aumentarse si se considera que dicho desarrollo agrícola requiere un período considerable. Una vez terminado el embalse de Salvajina el mínimo caudal continuo de desviación será de 110 m³/s.

Este análisis se presenta en el Cuadro D-1.

período estudiado con excepción de los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 1946. Aún durante este período el caudal es casi suficiente. Durante los meses de Agosto y Septiembre de 1946 habría sido necesario obtener del subsuelo un caudal adicional de 12 m³/s, lo cual se considera perfectamente posible. Puede considerarse también la posibilidad de reducir el abastecimiento de agua subterránea a un caudal algo menor y aceptar pérdidas causadas por sequía a intervalos infrecuentes de aproximadamente una vez en 10 años.

De las cifras del Cuadro D-1 se dedujeron los caudales disponibles durante el 90% y el 80% del tiempo. Los resultados se indican en el Cuadro D-3.



CUADRO D-1

CALCULO DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DESVIACION AL PACIFICO - AÑO DE 1.946

(Metros Cúbicos por segundo (a))

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 u	110	120	130	130	130	110	110	120	130	130	130	130
2 r	46	40	62	128	131	37	0	5	2	63	150	130
3 d	64	80	68	2	-	73	110	115	128	67	-	-
4 Caudal en Juanchito	333	195	243	227	284	158	108	142	75	88	225	264
5 Caudal en La Balsa	234	147	175	176	205	124	82	96	55	71	163	196
6 Caudal tributario = (4)-(5)	99	48	68	51	79	34	26	46	20	17	62	68

Con Timba Solamente

7 Proveniente del suelo (retención)	-	-	-	-	-	-	40	-26 (f)	-13 (f)	67	-	-
8 d neta = (3)-(7)	64	80	68	2	-	73	70	146	141	-	-	-
9 Requerida para 38.000 ha (b)	10	12	10	-	-	11	11	22	21	-	-	-
10 Remanente (6)-(9)	89	36	58	51	79	23	15	24	-1	17	62	68

11 Proveniente de Timba (d)	234	124	149	150	176	111	96	129	153	53 (e)	163	196
12 Requerida para 152.000 ha (c)	37	46	39	-	-	42	41	85	82	-	-	-
13 Remanente (11)-(12)	197	78	110	150	176	69	55	44	71	53	163	196
14 Caudal desviable (10) + (13)	286	114	168	201	255	92	70	70	70	70	225	264

Con Timba y Salvajina

15 Proveniente del suelo (retención)	-	-	-	-	-	1	42	-2 (f)	-14 (f)	48	-	-
16 d neta = (3)-(15)	64	80	68	2	-	72	68	117	142	19	-	-
17 Requerida para 38.000 ha. (b)	10	12	10	-	-	11	10	17	21	3	-	-
18 Remanente (6)-(17)	89	36	58	51	79	23	16	29	-1	14	62	68

19 Proveniente de Timba (d)	233	135	128	126	131	128	133	149	193	107 (e)	134	157
20 Requerida para 152.000 ha (c)	37	46	39	-	-	41	39	68	82	11	-	-
21 Remanente (19)-(20)	196	89	89	126	131	87	94	81	111	96	134	157
22 Caudal desviable (18)+(21)	285	125	147	177	210	110	110	110	110	110	196	225

(a) Excepto items 1, 2, 3, 7, 8, 15 y 16 que son en mm.

(b) $0,15 \times d$ neta

(c) $0,58 \times d$ neta

(d) De los estudios de energía para el Informe sobre Desarrollo Coordinado.

(e) Diferencia de las cantidades consideradas en los estudios para el Informe sobre Desarrollo Coordinado; sin embargo las diferencias son tan pequeñas que no afectan la energía firme de Timba y Salvajina.

(f) Para restaurar el almacenamiento en el suelo.

CUADRO D-1 - CONTINUACION

CALCULO DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DESVIACION AL PACIFICO AÑO DE 1.947

(Metros Cúbicos por segundo) (a).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 u	110	120	130	130	130	110	110	120	130	130	130	130
2 r	72	78	40	44	80	91	79	60	98	236	125	64
3 d	38	42	90	86	50	19	31	60	32	-	5	66
4 Caudal en Juanchito	235	200	134	120	161	189	179	138	145	352	431	261
5 Caudal en La Balsa	172	158	102	90	118	142	139	112	120	286	343	191
6 Caudal tributario = (4)-(5)	63	42	32	30	43	47	40	26	25	66	88	70
<i>Con Timba Solamente</i>												
7 Proveniente del suelo (retención)	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-
8 d neta = (3)-(7)	38	42	90	11	50	19	31	60	32	-	5	66
9 Requerida para 38.000 ha (b)	6	6	13	2	8	3	5	9	5	-	1	10
10 Remanente (6)-(9)	57	36	19	28	35	44	35	17	20	66	87	60
<i>Con Timba y Salvajina</i>												
11 Proveniente de Timba (d)	172	135	108	48 (e)	82	129	139	112	170	332	364	191
12 Requerida para 152.000 ha (c)	22	24	52	6	29	11	18	35	19	-	3	38
13 Remanente (11)-(12)	150	111	56	42	43	118	121	77	151	332	361	153
14 Caudal desviable (10) + (13)	207	147	75	70	78	162	156	94	171	398	448	223
<i>Con Timba y Salvajina</i>												
15 Proveniente del suelo (retención)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16 d neta = (3)-(15)	38	42	90	86	50	19	31	60	32	-	5	66
17 Requerida para 38.000 ha. (b)	6	6	13	13	8	3	5	9	5	-	1	10
18 Remanente (6)-(17)	57	36	19	17	35	44	35	17	20	66	87	60
<i>Con Timba y Salvajina</i>												
19 Proveniente de Timba (d)	145	130	166	144	151	100	100	150	242	267	228	156
20 Requerida para 152.000 ha	22	24	52	50	29	11	18	35	19	-	3	38
21 Remanente (19)-(20)	123	106	114	94	122	89	82	115	223	267	225	118
22 Caudal desviable (18) + (21)	180	142	133	111	157	133	117	132	243	333	317	178

(a) Excepto items 1, 2, 3, 7, 8, 15 y 16 que son en mm.

(b) $0,15 \times d$ neta

(c) $0,58 \times d$ neta

(d) De los estudios de energía para el Informe sobre Desarrollo Coordinado.

(e) Diferencia de las cantidades consideradas en los estudios para el Informe sobre Desarrollo Coordinado; sin embargo las diferencias son tan pequeñas que no afectan la energía firme de Timba y Salvajina.

(f) Para restaurar el almacenamiento en el suelo.

CUADRO D-1 - CONTINUACION

CALCULO DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DESVIACION AL PACIFICO AÑO DE 1.948.

(Metros Cúbicos por segundo) (a).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 u	110	120	130	130	130	110	110	120	130	130	130	130
2 r	8	36	146	109	114	36	27	28	83	143	86	59
3 d	102	84	-	11	16	74	83	92	47	-	44	71
4 Caudal en Juanchito	165	136	236	396	311	247	139	111	74	183	249	219
5 Caudal en La Balsa	135	115	194	274	206	159	98	82	63	132	184	157
6 Caudal tributario = (4)-(5)	30	21	42	122	105	86	41	29	11	51	65	62

Con Timba Solamente

7 Proveniente del suelo (retención)	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 d neta = (3)-(7)	102	60	-	11	16	74	83	92	47	-	44	71
9 Requerida para 38,000 ha (b)	15	9	-	2	2	11	12	14	7	-	7	11
10 Remanente (6)-(9)	15	12	42	120	103	75	29	15	4	51	58	51

11 Proveniente de Timba (d)	135	92	168	248	177	146	98	108	98	178	205	157
12 Requerida para 152,000 ha (c)	59	34	-	6	9	43	48	53	27	-	25	41
13 Remanente (11)-(12)	76	58	168	242	168	103	50	55	71	178	180	106
14 Caudal desviable (10) + (13)	91	70	210	362	271	178	79	70	75	229	238	157

Con Timba y Salvajina

15 Proveniente del suelo (retención)	14	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
16 d neta = (3)-(15)	88	84	-	11	16	74	73	92	47	-	44	71
17 Requerida para 38,000 ha. (b)	13	13	-	2	2	11	11	14	7	-	7	11
18 Remanente (6)-(17)	17	8	42	120	103	75	30	15	4	51	58	51

19 Proveniente de Timba (d)	143	163	164	123	139	134	122	166	167	142	176	157
20 Requerida para 152,000 ha (c)	50	49	-	6	9	43	42	53	27	-	25	41
21 Remanente (19)-(20)	93	114	164	117	130	91	80	113	140	142	151	116
22 Caudal desviable (18) + (21)	110	122	206	237	233	166	110	128	144	193	209	167

(a) Excepto items 1, 2, 3, 7, 8, 15 y 16 que son en mm.

(b) $0,15 \times d$ neta

(c) $0,58 \times d$ neta

(d) De los estudios de energía para el Informe sobre Desarrollo Coordinado.

(e) Diferencia de las cantidades consideradas en los estudios para el Informe sobre Desarrollo Coordinado; sin embargo las diferencias son tan pequeñas que no afectan la energía firme de Timba y Salvajina.

(f) Para restaurar el almacenamiento en el suelo.

CALCULO DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DESVIACION AL PACIFICO
NOTAS EXPLICATIVAS DEL ANALISIS

1. La combinación más desfavorable de caudal mínimo y lluvias máximas se presentó en los años de 1946, 1947 y 1948. El análisis se limitó, por lo tanto, a esos tres años.
2. El agua requerida por los cultivos (u), con base en la disposición de cultivos supuesta (Véase Cuadro G-2, Informe sobre Desarrollo Coordinado) ascenderá a 1.480 mm por año, o sea, un promedio de 123 mm al mes. De acuerdo con la distribución de las lluvias, la siembra y cosecha de algunos cultivos se llevará a cabo durante los meses de Enero, Febrero, Junio, Julio y Agosto, de tal manera que (u), durante esos meses será inferior al promedio: 110, 120, 110, 110, y 120 mm respectivamente; durante los demás meses será 130 mm. Ver Renglón 1.
3. La precipitación n (r) para cada mes se tomó de los records de La Manuelita. La deficiencia, d = u - r. Ver renglón 2 y 3.
4. Según estudios de suelos recientemente terminados por el Departamento de Agricultura de la CVC, los suelos del Valle del Cauca tienen una capacidad de retención de agua (capacidad de almacenar agua que puede ser usada luego por los plantas) de 100 a 150 mm. Esta característica se puede aprovechar para suplir deficiencias de agua de irrigación. Se ha supuesto que se pueden usar hasta 75 mm de esta reserva para complementar el suministro de agua durante sequías muy severas. Ver renglón 7 y 15.
5. Los canales de irrigación de Timba abastecerán un área de 152.000 ha, según se explicó en la Sección 3 del Capítulo 2. Véase renglón 12 y 20.
6. Entre la presa de Timba y Vives, se encuentran 38.000 ha de tierra más altas que el embalse las cuales serán irrigadas por agua de los afluentes en vez de agua del embalse. Una buena aproximación del caudal de los afluentes, se obtendrá de la diferencia entre los caudales sin regular en Juancho y La Balsa. Véase Cuadro B-8 y B-9 del Informe Sobre Desarrollo Coordinado; véase también renglones 4, 5 y 6.
7. Los caudales suministrados mensualmente por Timba, indicados en los renglones 11 y 19, se calcularon con base en los requisitos de generación de energía y control de inundaciones, de acuerdo con datos que abarcan un período de ocho años y que comprenden los años secos de 1946, 1947 y 1948. Estos caudales fueron uno de los factores en que se basaron los cálculos de producción de energía de las Figuras 7-8 y 7-10 del Informe sobre Desarrollo Coordinado. (El otro factor fue la cabeza hidráulica, que en el caso de Timba, está sujeta a variaciones considerables).
8. El balance disponible o remanente del caudal tributario, después de irrigar 38.000 ha se indica en los renglones 10 y 18,
9. El balance disponible o remanente del caudal suministrado por Timba, después de irrigar las 152.000 ha servidas por los canales principales, se indica en los renglones 13 y 21.
10. La suma de estos balances es la cantidad disponible para la desviación, como se indica en los renglones 14 y 22. Estas cantidades suponen *desarrollo total* del valle (cultivos intensivos con irrigación). Los caudales mínimos, con Timba solamente y con Timba y Salvajina son 70 m³/s y 110 m³/s respectivamente.
11. Puesto que el desarrollo total puede tomar mucho tiempo (el Informe sobre Desarrollo Coordinado supone 30 años), es interesante conocer los caudales desviables bajo distintas condiciones de desarrollo (que se obtendría más o menos en 10 años) y con Timba solamente es de 100 m³/s.

CUADRO D - 2

CAUDALES AFLUENTES AGUAS ABAJO DE VIJES

1. Mes y año	7/46	8/46	9/46	10/46	4/47	2/48	8/48	9/48
2. d (a) mm	110	115	128	67	86	84	92	47
3. Proveniente del suelo (retención) mm	0	16	55	0	1	11	0	0
4. d neta = (2)-(3) mm	110	99	73	67	85	73	92	47
5. Requerida para 90.000 ha (b) m ³ /s	38	34	25	23	29	25	32	16
6. Proveniente de los afluentes (c) m ³ /s	34	22	13	21	29	25	38	28
7. Proveniente de aguas subterráneas m ³ /s	4	12	12	2	0	0	0	0

a) Del Cuadro D-1

b) $0.34 \times d$ neta

c) Calculado según los datos disponibles de caudales de los afluentes y del Cauca.

CUADRO D-3

RESUMEN DE CAUDALES DISPONIBLES PARA DESVIACION
AL PACIFICO

(Metros cúbicos por segundo)

	% del tiempo en que estarían disponibles		
	100	90	80
I Con Timba solamente y 50% del Valle desarrollado	100	100	120
II Con Timba solamente y todo el Valle desarrollado	70	85	100
III Con Timba y Salvajina y todo el valle desarrollado	110	120	130

CRITICA

Varios de los factores considerados en el cálculo del Cuadro D-1 requieren un estudio más detenido. Entre ellos los siguientes:

1. La cantidad "u", de agua requerida por los cultivos se tomó del Apéndice G del Informe sobre Desarrollo Coordinado, en el cual se usó el método de Blaney. Este método se basa en datos obtenidos, experimentalmente en la región Occidental de los Estados Unidos, donde la evaporación es, en general mayor que en el Valle del Cauca. Por lo tanto, los valores de "u", obtenidos según el método de Blaney, son probablemente demasiado altos. A fin de obtener valores que se ajusten a las condiciones del Valle del Cauca, es necesario llevar a cabo investigaciones más completas en la región.

2. El valor "r", de la precipitación, se obtuvo de los registros de observaciones en "La Manuelita", y se aplicó a todo el Valle. Este punto debe investigarse más detalladamente en estudios futuros, puesto que la precipitación en todo el Valle no es uniforme, ni en cantidad ni en distribución con relación al tiempo.

3. En los estudios futuros se deben medir profusamente la "capacidad de retención del suelo", que es una indicación de la cantidad de agua útil para los cultivos, que puede almacenar el suelo.

4. Existen posibilidades de abastecimiento adicional de agua de dos fuentes: Embalses en los afluentes y agua subterránea. Existen posibilidades de embalses con objetivos múltiples en los ríos La Vieja y Bugalagrande como se indica en el Apéndice D del Informe sobre Desarrollo Coordinado. Hay otras posibilidades menores que, aunque no sean atractivas consideradas como proyectos individuales, podrían ser interesantes en vista de su contribución a aumentar el caudal de desviación al Pacífico.

5. Se sabe que es posible obtener cantidades considerables de aguas subterránea en la zona situada aguas arriba de Vijes, y se espera utilizarlas en proyectos de irrigación aún con anterioridad a la construcción de Timba. Sin embargo en el Cuadro D-1 no se contempló esta posibilidad.

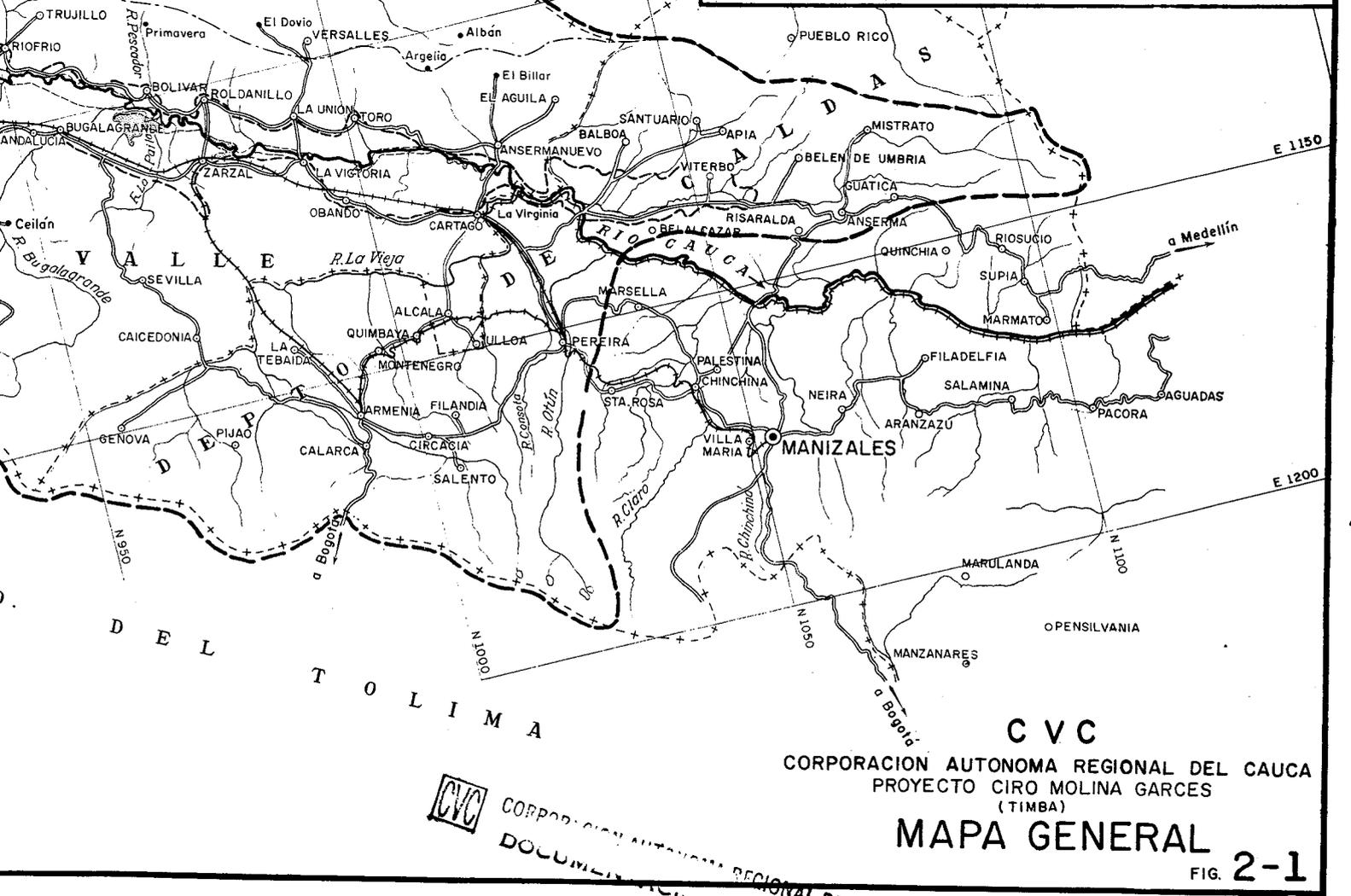
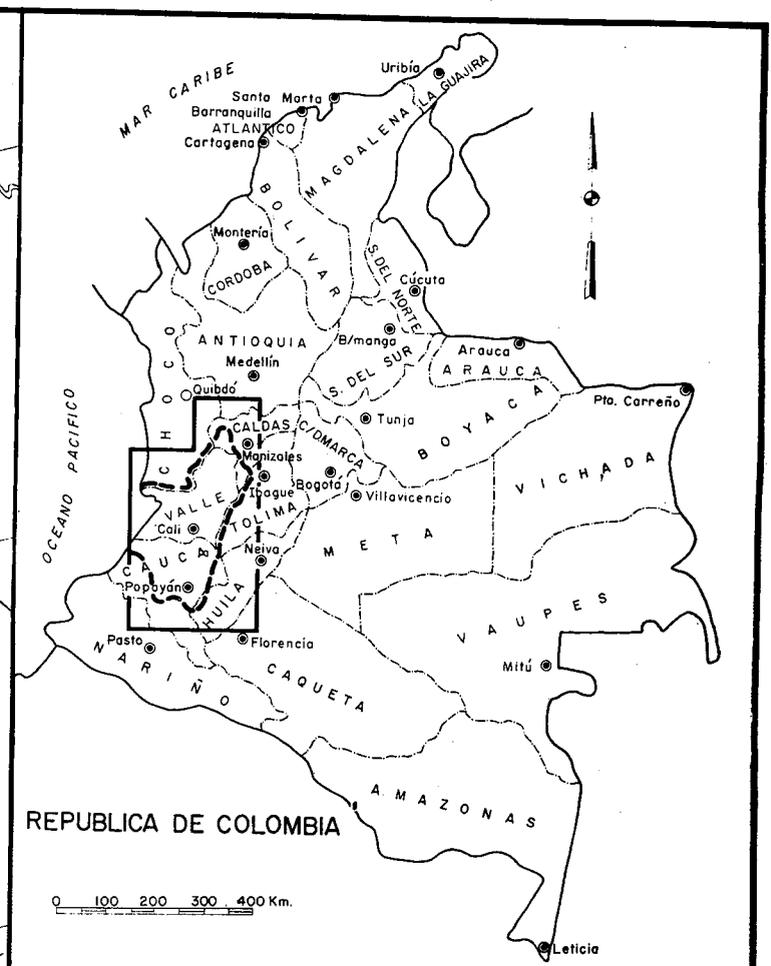
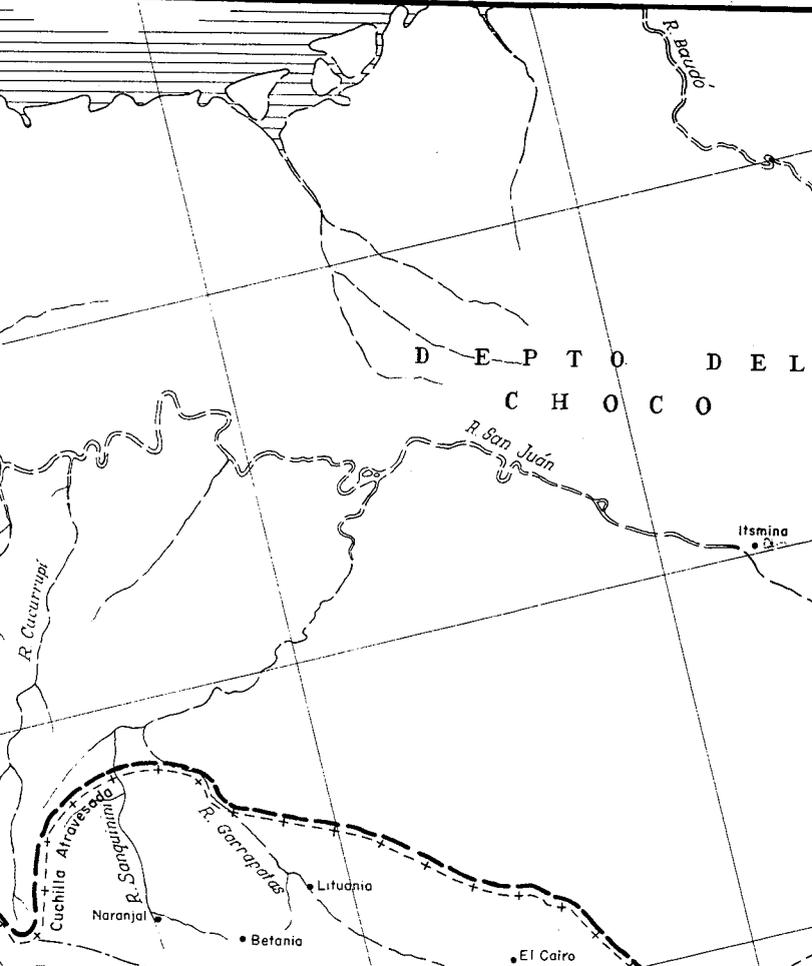
En resumen se puede decir que la apreciación de los caudales para desviación, indicados en el Cuadro D-3, es algo pesimista; y es de esperarse que estudios posteriores permitan aumentar considerablemente estas cantidades. Tales estudios comprenderían: Mediciones profusas de caudales, precipitación y agua subterránea; estudios agrícolas de distribuciones de cultivos y cantidad de agua requerida por los mismos; planeamiento de la distribución y del aprovechamiento de las aguas.

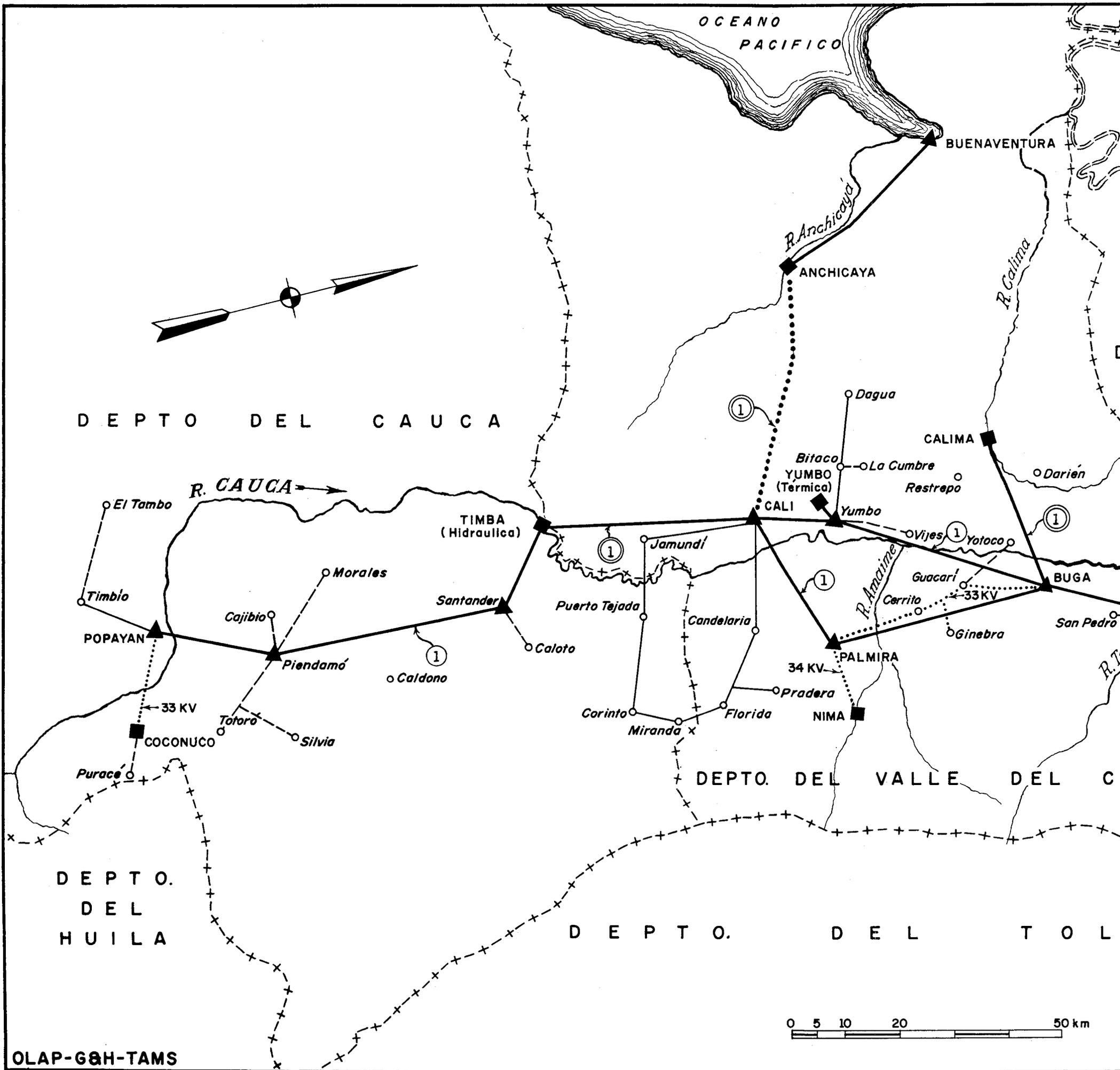
RESUMEN

1. Después de la terminación de Timba se contará, por un período de 10 años, con un caudal desviable mínimo de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, suponiendo que en ese período no se desarrolle intensamente más de la mitad del Valle. (En vista de los factores económicos y físicos, es probable que la rata real de desarrollo sea aún menor).
2. Si, además, de Timba, se construye el embalse de Salvajina el caudal desviable se aumentará a $110 \text{ m}^3/\text{s}$ aún suponiendo desarrollo total del Valle.
3. Con Timba solamente y con el Valle totalmente desarrollado el mínimo caudal disponible continuamente es de $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto significa que, si no se construye Salvajina, se podrá contar con un caudal mínimo continuo de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ durante 10 años, después de los cuales disminuirá gradualmente hasta $70 \text{ m}^3/\text{s}$, cuando el desarrollo agrícola del Valle sea total.
4. Los caudales mínimos continuos para desviación al Pacífico se presentan en el Cuadro D-3, en la columna encabezada 100%. En las dos columnas siguientes se dan los caudales disponibles durante 90% y 80% del tiempo.

Los resultados indicados se basan en hipótesis bastante pesimista. Es muy probable que al hacer investigaciones más completas de los factores hidrológicos y agrícolas que determinan la demanda de agua para irrigación, los caudales desviables puedan aumentarse considerablemente.

FIGURAS





OLAP-G8H-TAMS

CONVENCIONES—LEGEND

- | | |
|---------------------------------------|--|
| — Líneas de 115 KV | ○ Líneas de circuito simple
<i>Single circuit lines</i> |
| — 34 KV | ○ Líneas de circuito doble
<i>Double circuit lines</i> |
| - - - 13.2 KV | |
| Existente 34 y 13.2 KV | |
| ●●●●● 115 KV | |
| - - - Sistema de 115 KV de la CHEC | |
| ■ Plantas Principales | |
| ▲ Centros Principales de Distribución | |

NOTA:
La cifra dentro del círculo indica el número de líneas
The figure in the circle indicates the number of lines

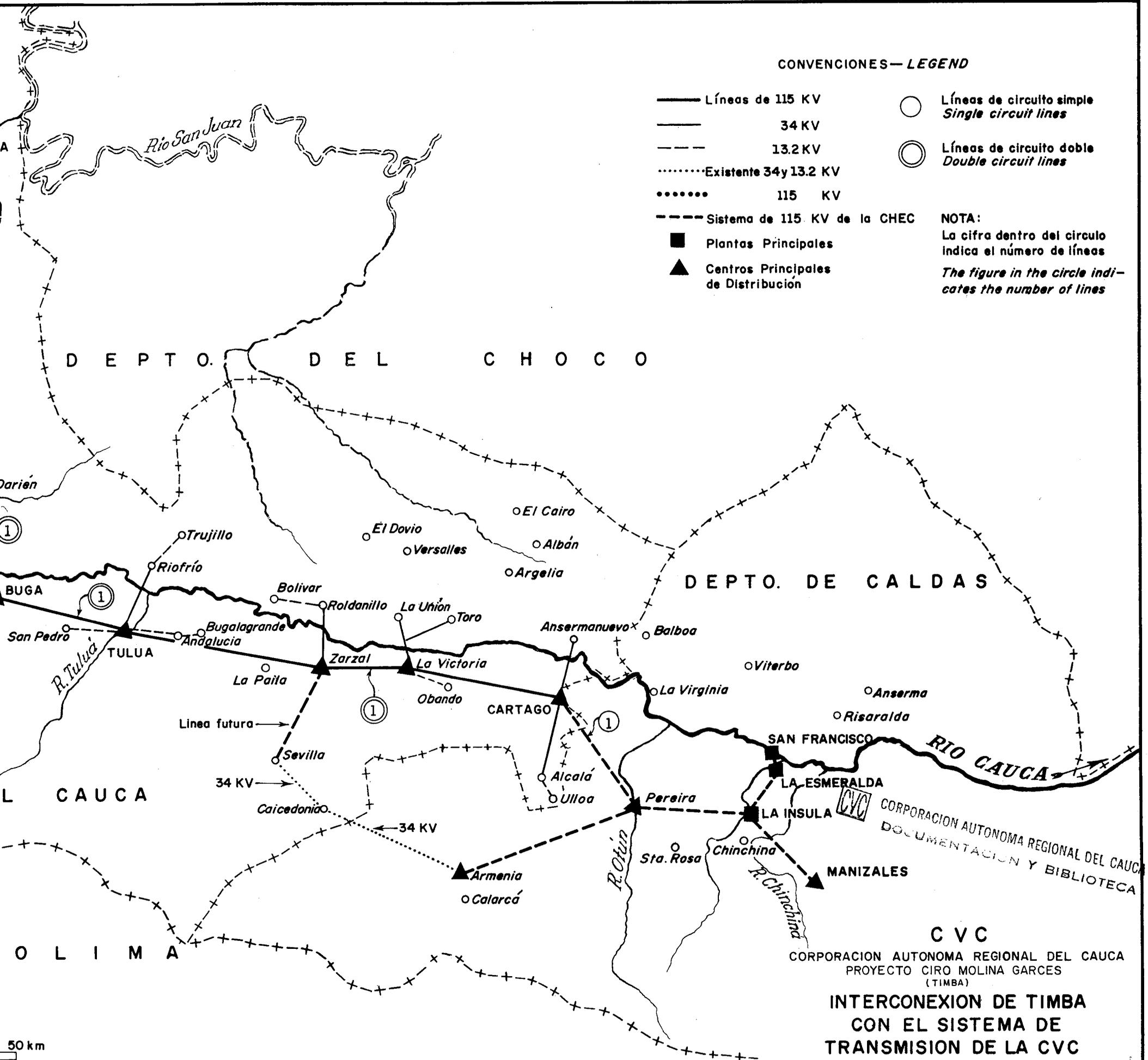
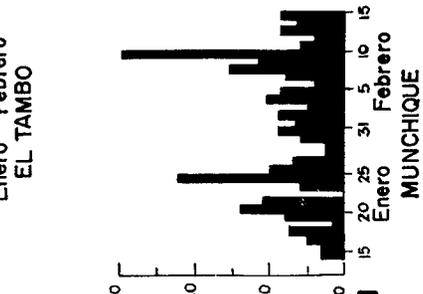
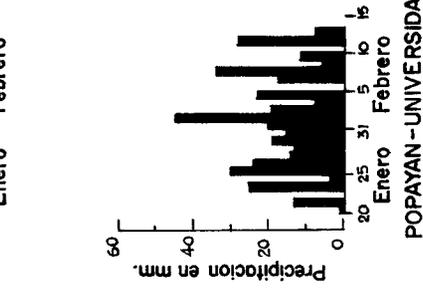
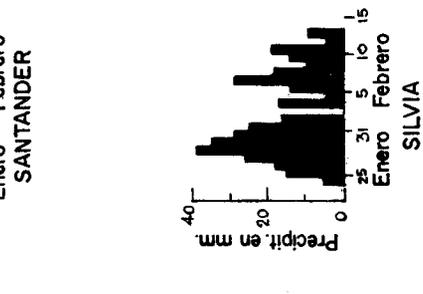
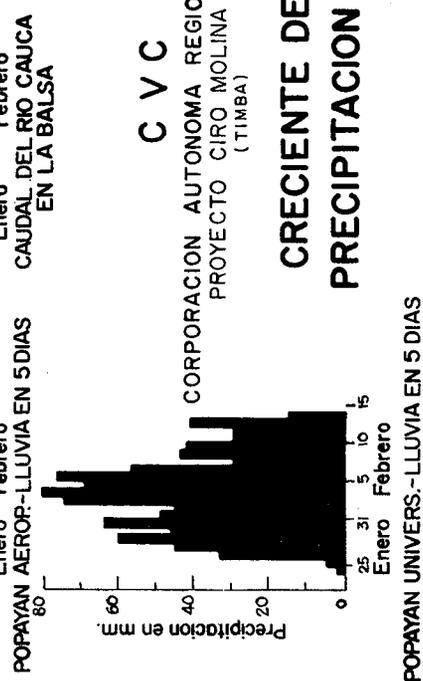
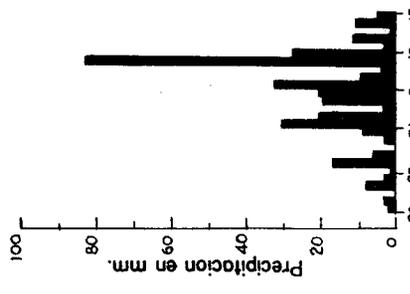
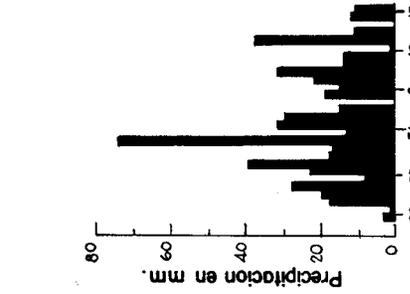
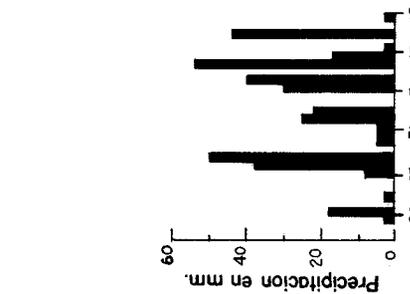
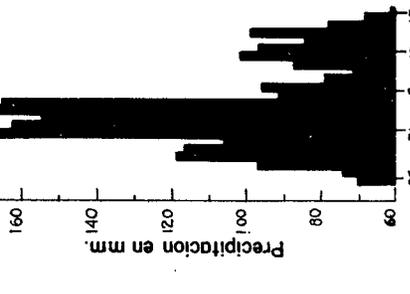
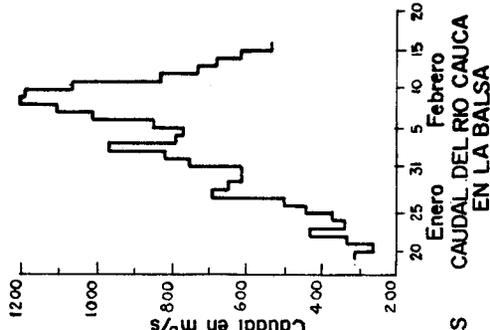
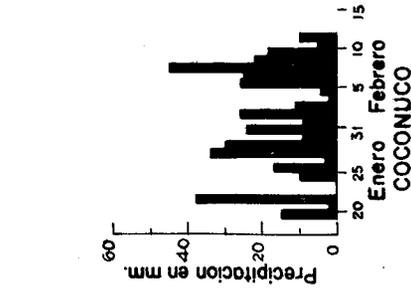
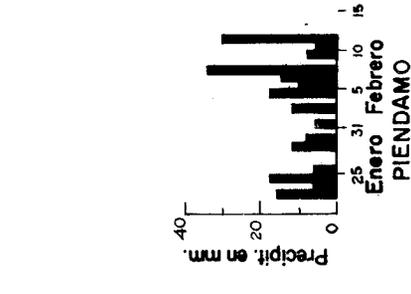
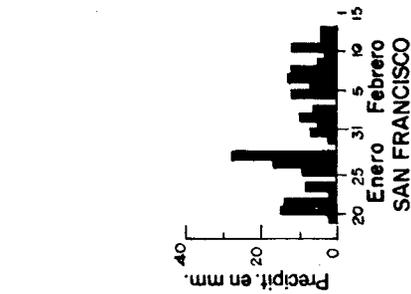
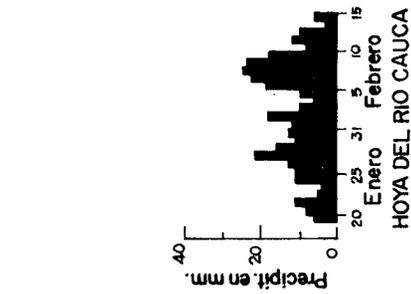
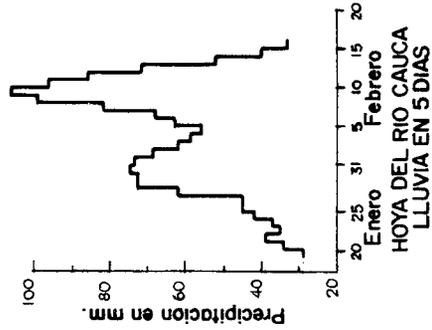


FIG. 2-2

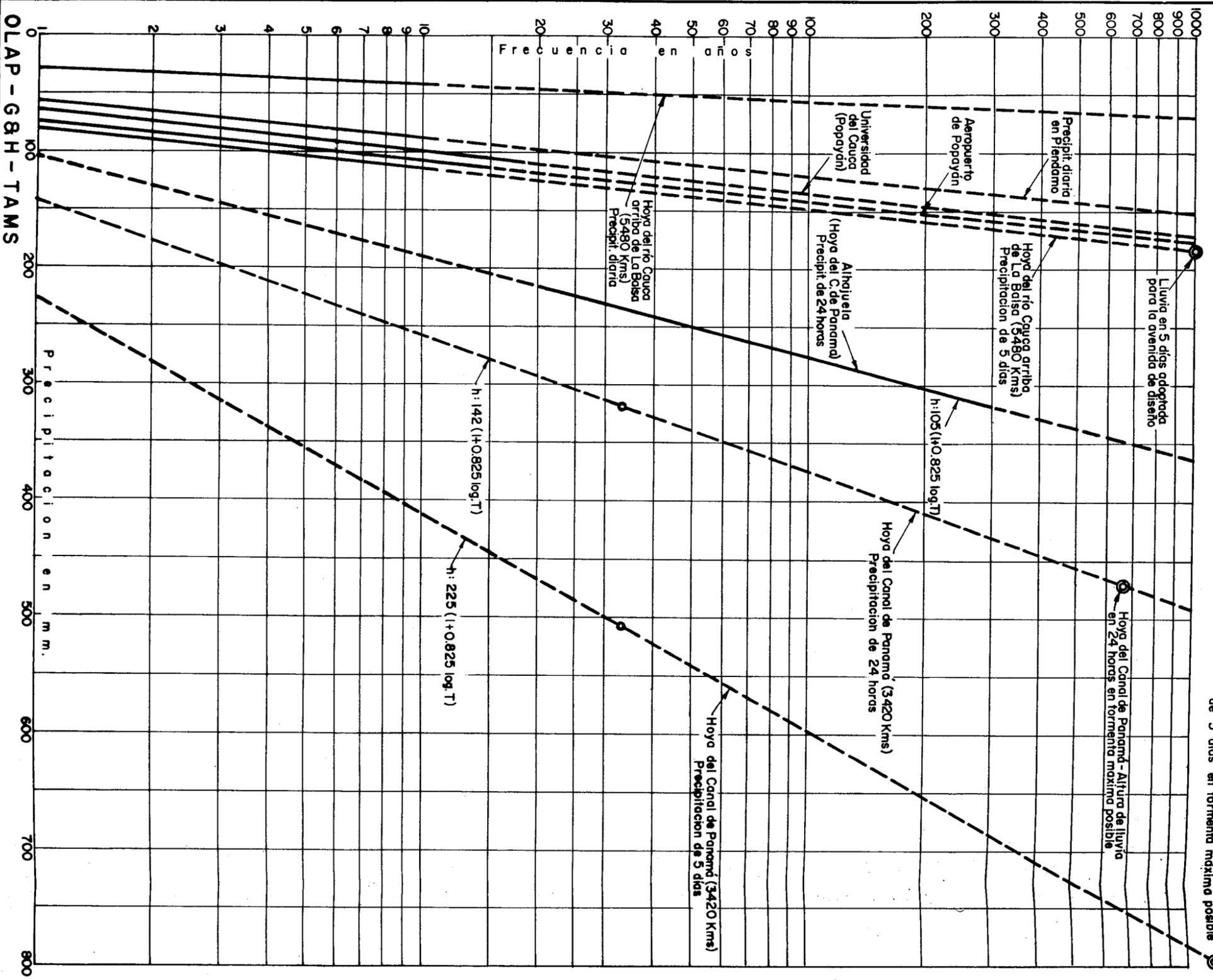


CVC
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

CRECIENTE DE 1950
PRECIPITACION DIARIA

POPAYAN UNIVERS.-LLUVIA EN 5 DIAS

Hoyo del Canal de Panamá - Altura de lluvia de 5 días en tormenta máxima posible



HOYAS DEL RIO CAUCA ARRIBA DE LA BALSA 1946 - 1956

Orden de Magnit.	HOYAS DEL RIO CAUCA ARRIBA DE LA BALSA 1946 - 1956			PIENDAMO 1946 - 1956			POPAYAN (Aeropuerto) 1946 - 1956		
	Precipitacion diaria	Altura	Frec. en años	Precipitacion diaria	Altura	Frec. en años	Precipitacion diaria	Altura	Frec. en años
1	42.3	107.3	11.00	82	109.4	15.00	15.00	15.00	15.00
2	33.0	104.7	5.50	80	105.3	7.50	105.3	7.50	7.50
3	32.3	94.3	3.66	65	89.7	5.00	89.7	5.00	5.00
4	31.9	93.7	2.75	65	87.4	3.75	87.4	3.75	3.75
5	31.5	89.4	2.20	62	83.7	3.00	83.7	3.00	3.00
6	31.2	87.9	1.83	56	83.7	2.50	83.7	2.50	2.50
7	30.5	86.6	1.57	55	83.2	2.44	83.2	2.44	2.44
8	28.9	84.8	1.37	54	82.4	1.88	82.4	1.88	1.88
9	28.9	82.8	1.22	53	82.2	1.67	82.2	1.67	1.67
10	28.3	82.8	1.10	50	79.3	1.50	79.3	1.50	1.50
11	26.4	80.2	1.00	50	77.4	1.36	77.4	1.36	1.36
12	25.8	78.5	0.93	49	76.5	1.25	76.5	1.25	1.25
13	25.8	76.4	0.85	49	75.0	1.15	75.0	1.15	1.15
14	25.6	75.8	0.79	48	74.3	1.07	74.3	1.07	1.07
15	24.8	75.0	0.73	48	73.1	1.00	73.1	1.00	1.00
16	24.6	74.6	0.69	46	73.0	0.94	73.0	0.94	0.94
17	24.2	73.6	0.65	45	70.8	0.88	70.8	0.88	0.88
18	24.2	73.2	0.61	45	68.0	0.83	68.0	0.83	0.83
19	24.1	72.8	0.58	45	67.3	0.79	67.3	0.79	0.79
20	24.0	72.0	0.55	45	66.4	0.75	66.4	0.75	0.75
21	23.2	71.8	0.52	45	64.3	0.71	64.3	0.71	0.71
22	23.1	71.3	0.50	45	64.3	0.68	64.3	0.68	0.68
23	22.9	70.6	0.48	45	64.0	0.65	64.0	0.65	0.65
24	22.7	68.8	0.46	45	63.8	0.62	63.8	0.62	0.62
25	22.7	68.2	0.44	45	63.7	0.60	63.7	0.60	0.60
26	22.5	67.6	0.42	45	62.0	0.58	62.0	0.58	0.58
27	22.4	67.1	0.41	45	61.3	0.56	61.3	0.56	0.56
28	22.2	66.7	0.39	42	59.2	0.53	59.2	0.53	0.53

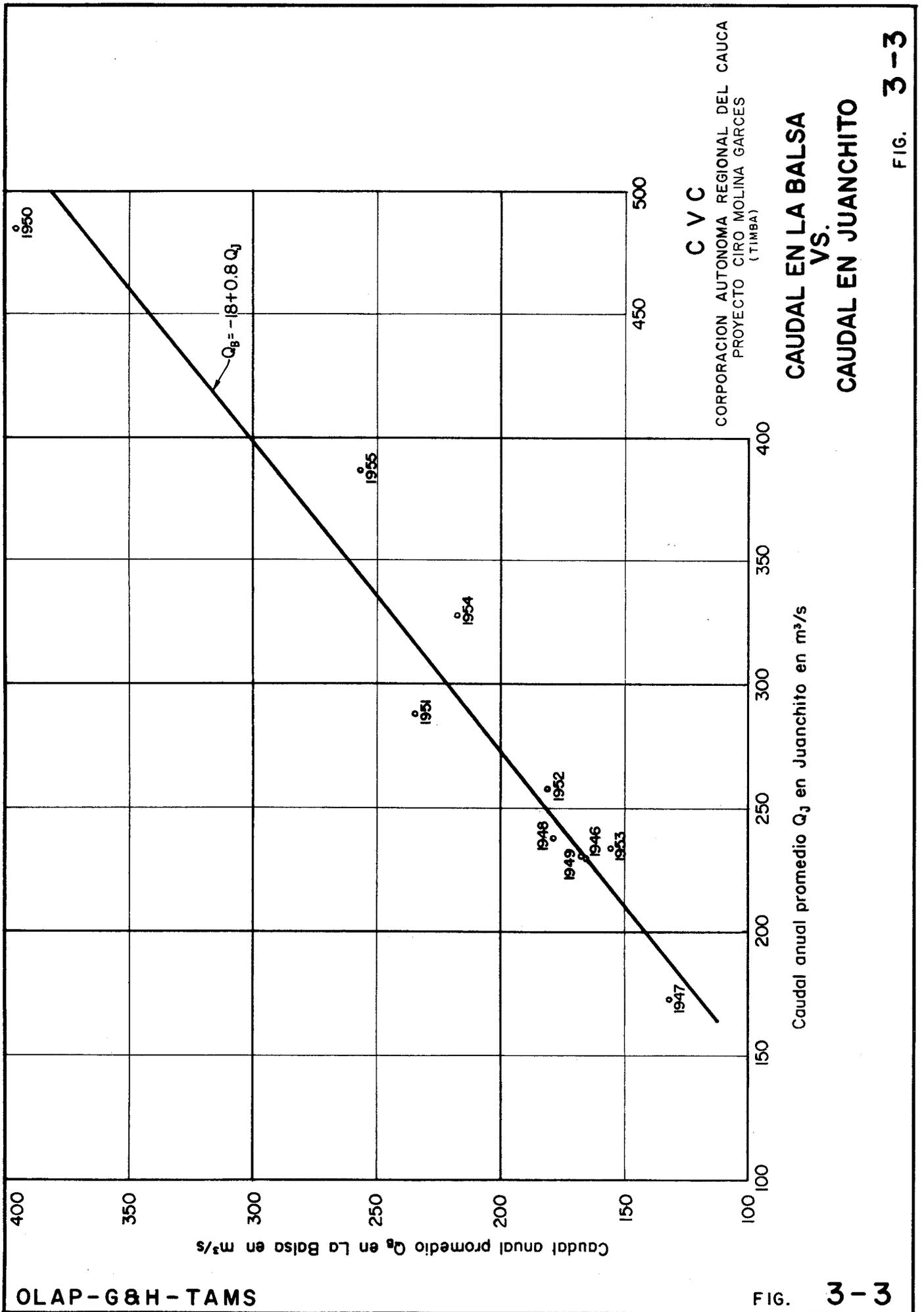
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

NOTAS:
 a) Los datos para Popayán se tomaron de "Hidrometeorológico Report No. 4" publicado en 1943 por U.S. Weather Bureau and Corps of Engineers.
 b) Las líneas a trazos indican periodos sin datos.
 c) Las curvas para la Hoya del Canal de Panamá se dibujaron siguiendo la misma ley que la de la Albujeña y pasan por puntos determinados de la Fig. 17 del mencionado informe, para una frecuencia de 33 años. (Dic. 1906 - Nov. 1939)

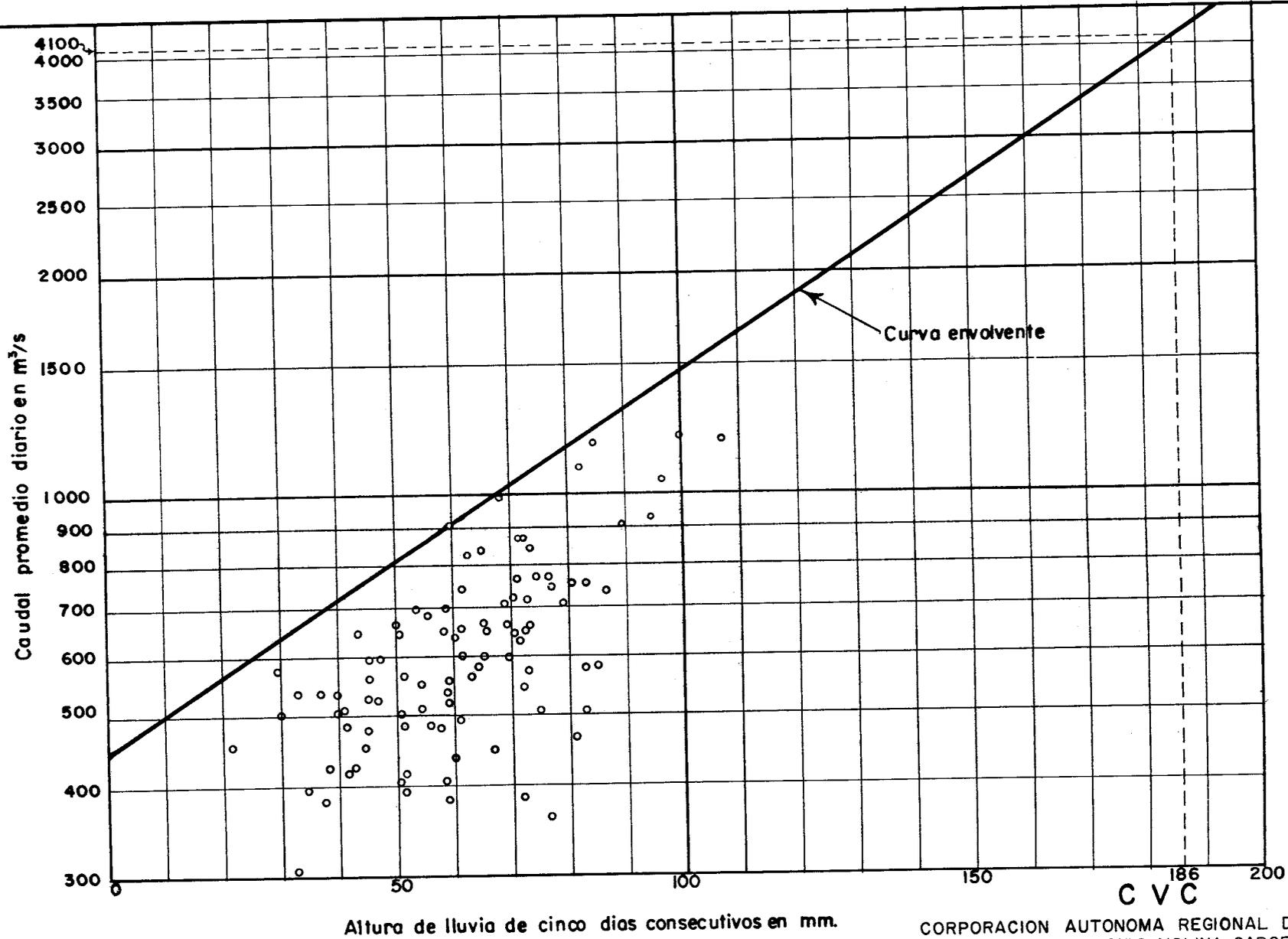
CVC

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA PROYECTO CIRO MOLINA GARCES (TIMBA)

HOYAS DEL CAUCA Y PANAMA PRECIPITACION - FRECUENCIA



OLAP-G8H-TAMS

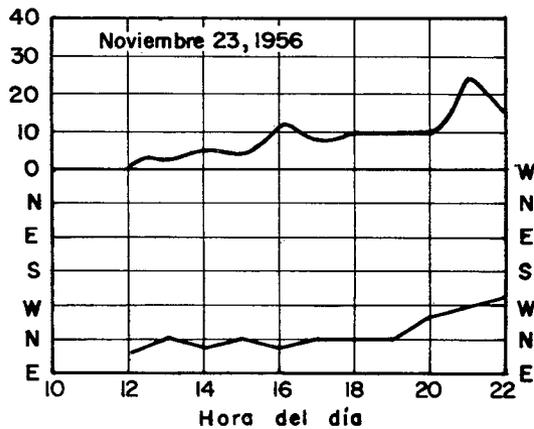
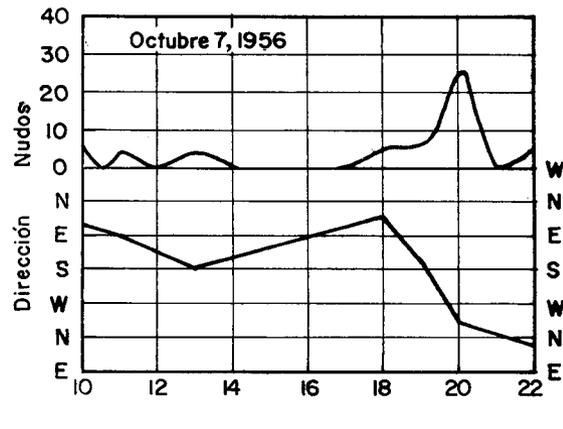
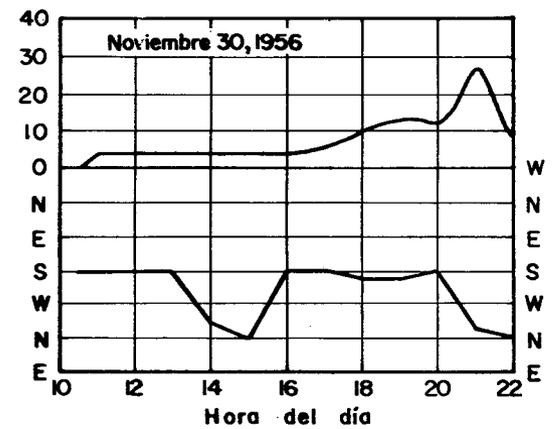
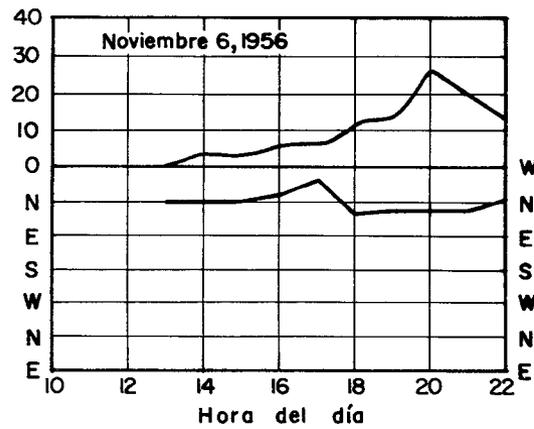
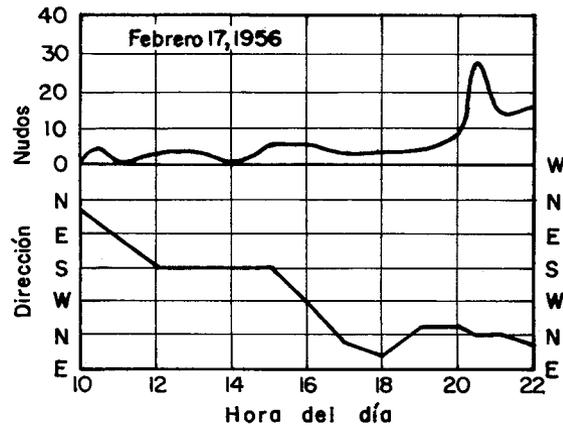
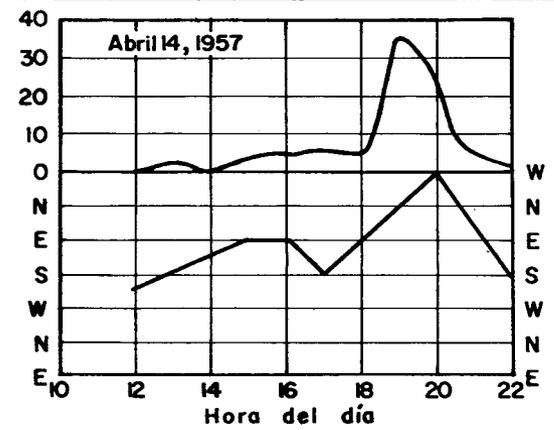
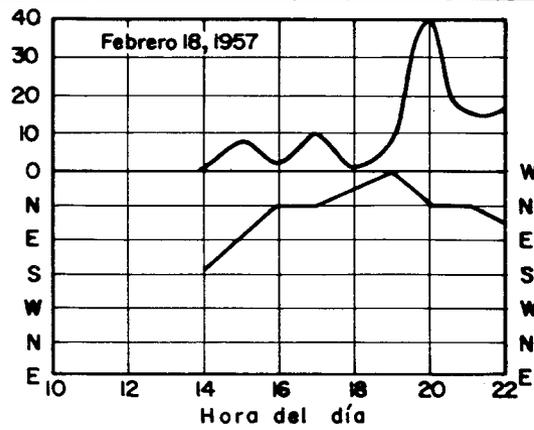
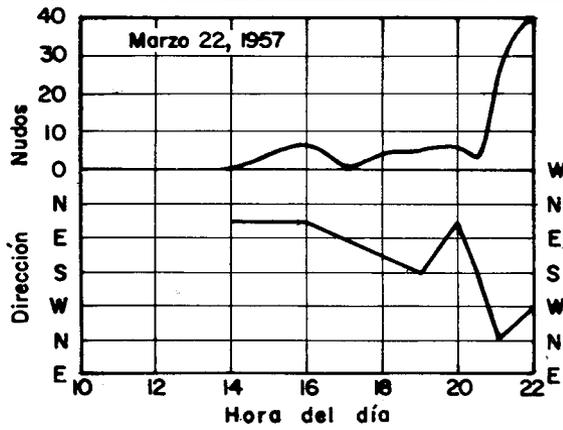


CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCÉS
(TIMBA)

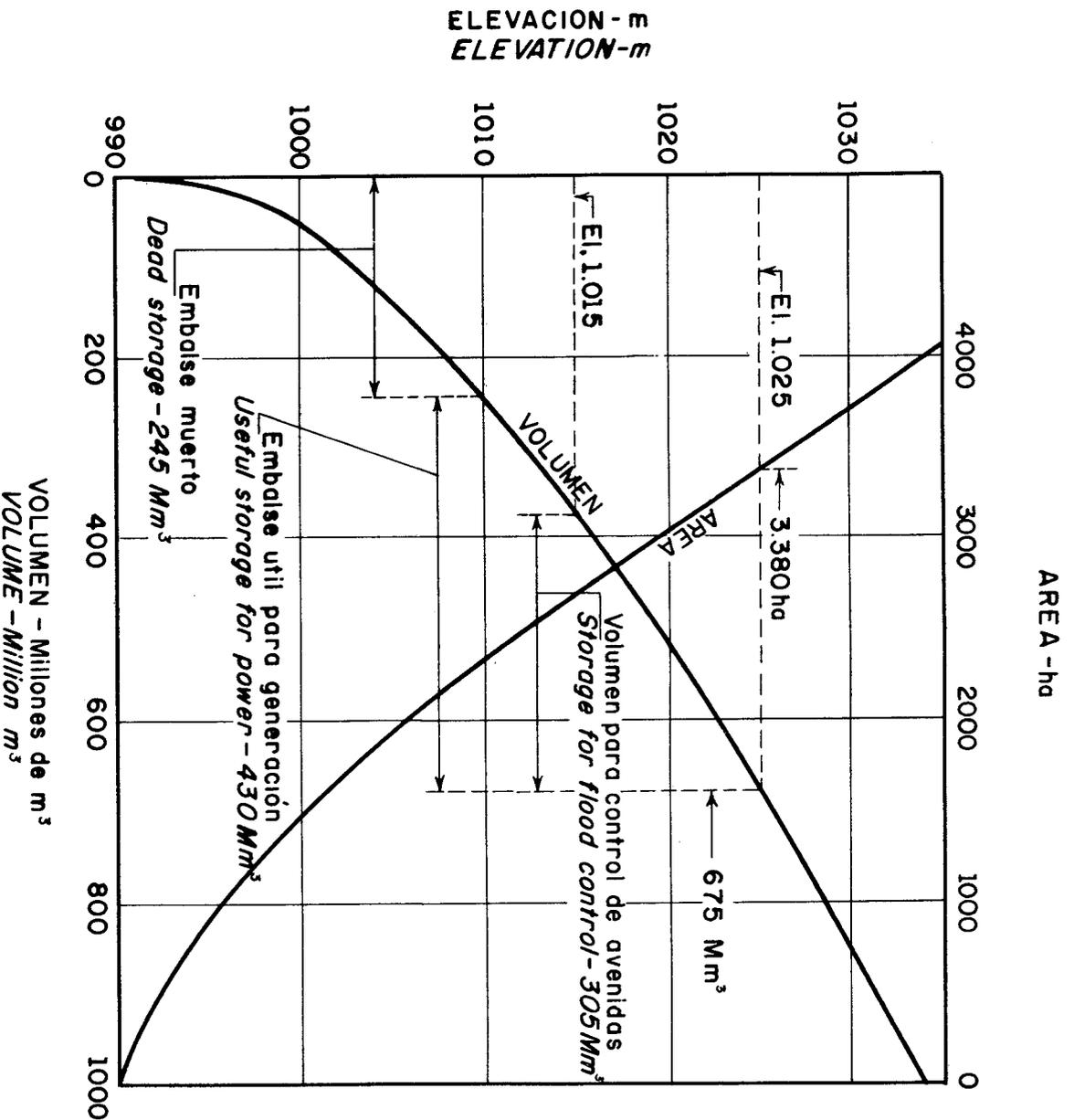
CAUDAL DIARIO
VS.
PRECIPITACION DE CINCO DIAS

FIG. 3-4

FIG. 3-4



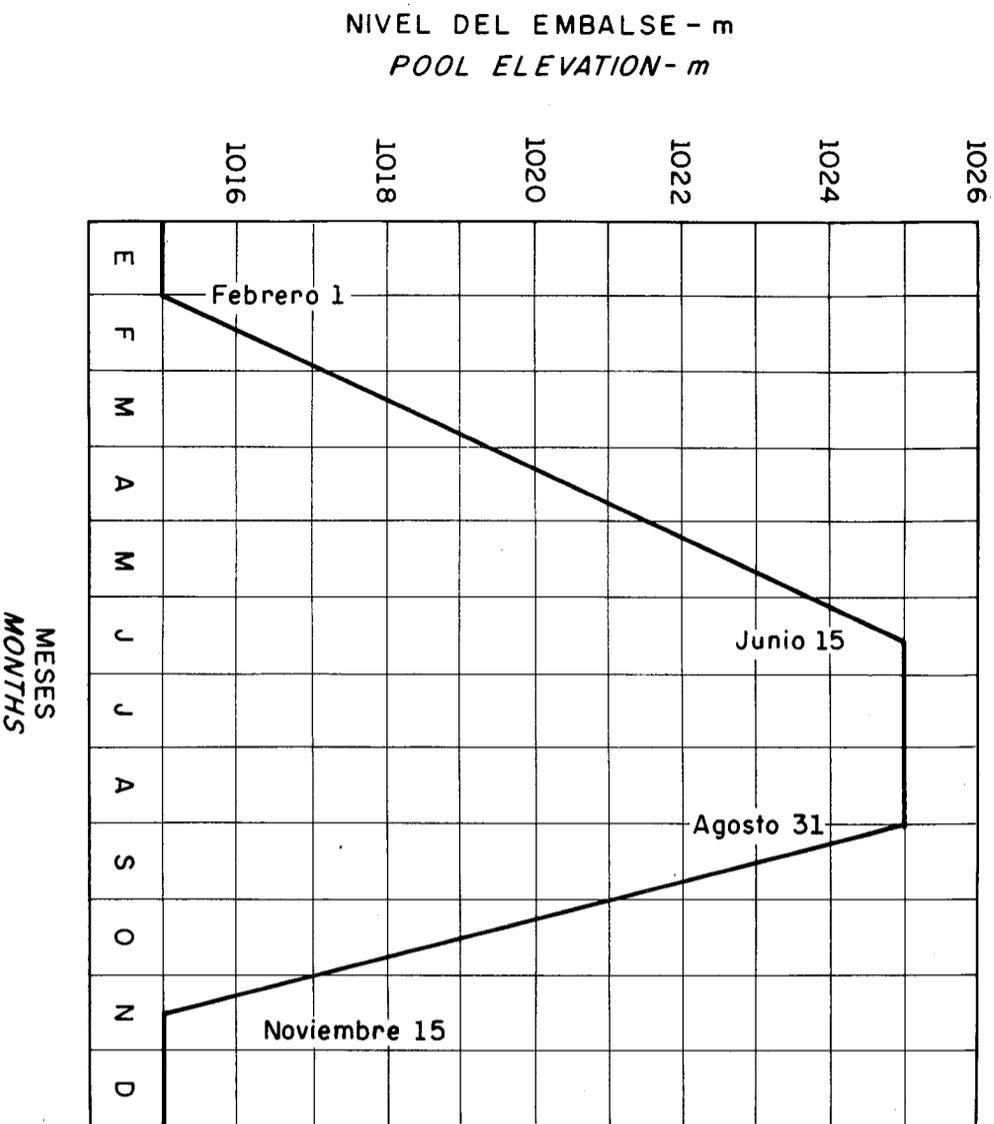
CVC
 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
 (TIMBA)
**VIENTOS MAS FUERTES
 REGISTRADOS EN CALI
 (Aeropuerto)**



C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

AREAS Y VOLUMENES DEL EMBALSE



OPERATING RULES

Reservoir Level

1. Higher than Rule Curve but lower than El. 1025.0

Action Required

Make the total outflow equal to the lowest of the following two quantities:

- (a) 790 m³/s
- (b) 870 m³/s minus the tributary flow between La Balsa and Juncalito

Open all outlets to prevent a further rise in reservoir level.

2. Higher than El. 1025.0

NORMAS DE OPERACION

Nivel del Embalse

1. Más alto que la Curva de Operación, pero más bajo que la El. 1025.0

Acción Requerida

Hacer que el caudal de salida total sea igual al menor de los dos siguientes valores:

- (a) 790 m³/s
- (b) 870 m³/s menos el caudal tributario entre la Balsa y Juncalito

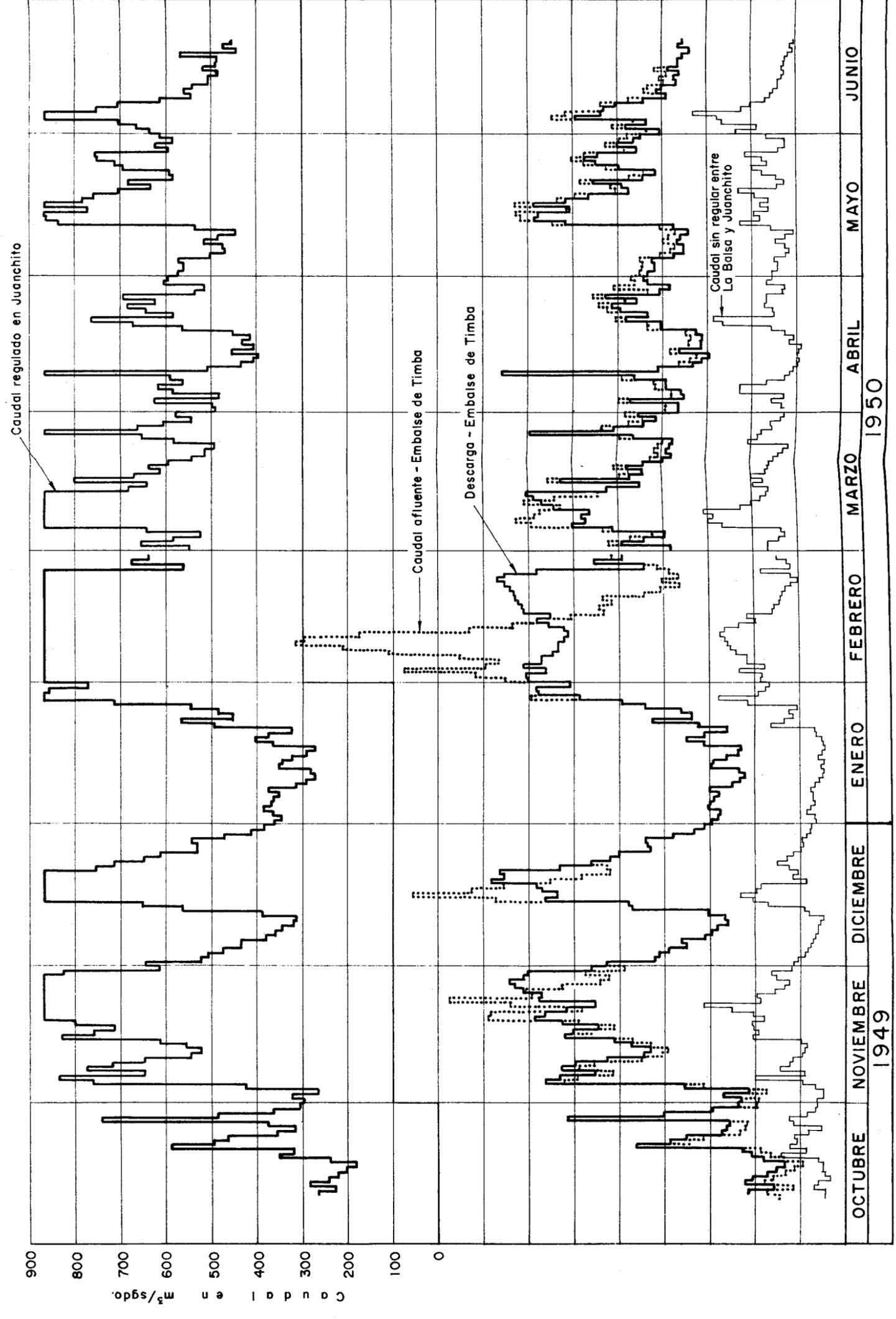
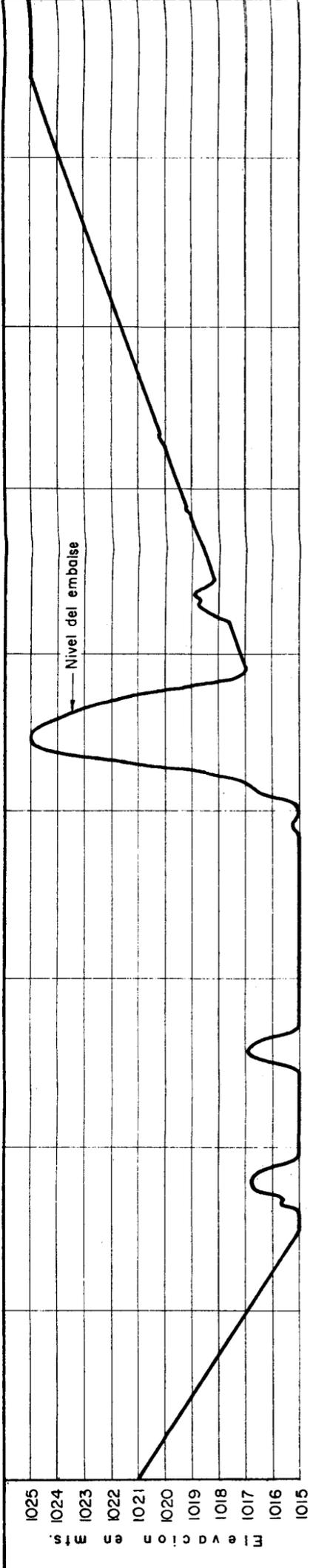
Abrir todas las salidas para evitar una mayor subida en el nivel del embalse.

2. Más alto que la cota 1025.0

C V C

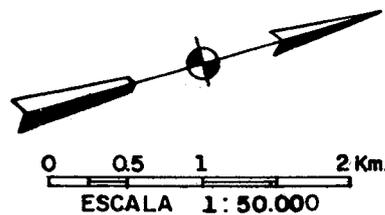
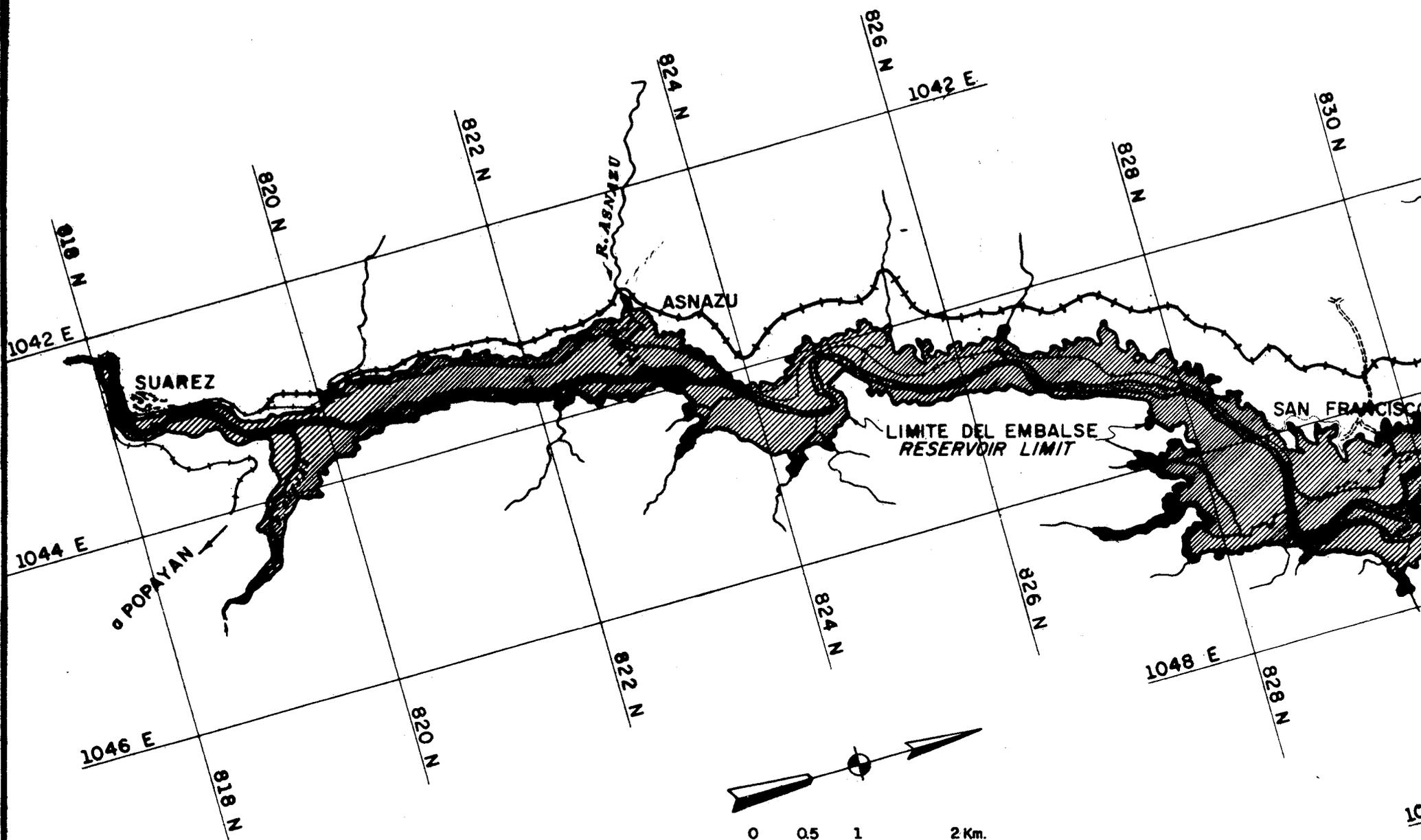
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

OPERACION DEL EMBALSE
PARA CONTROL DE AVENIDAS

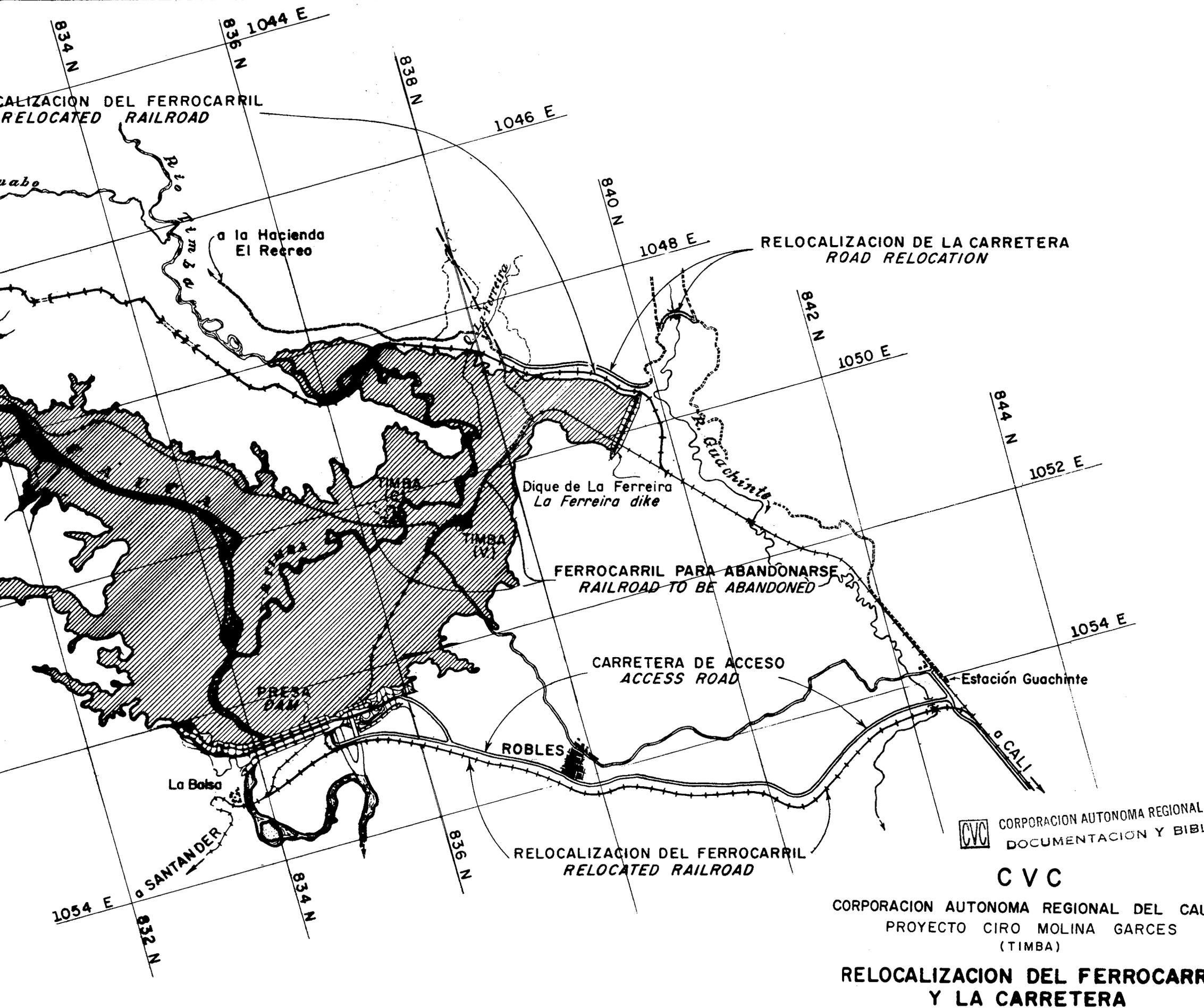


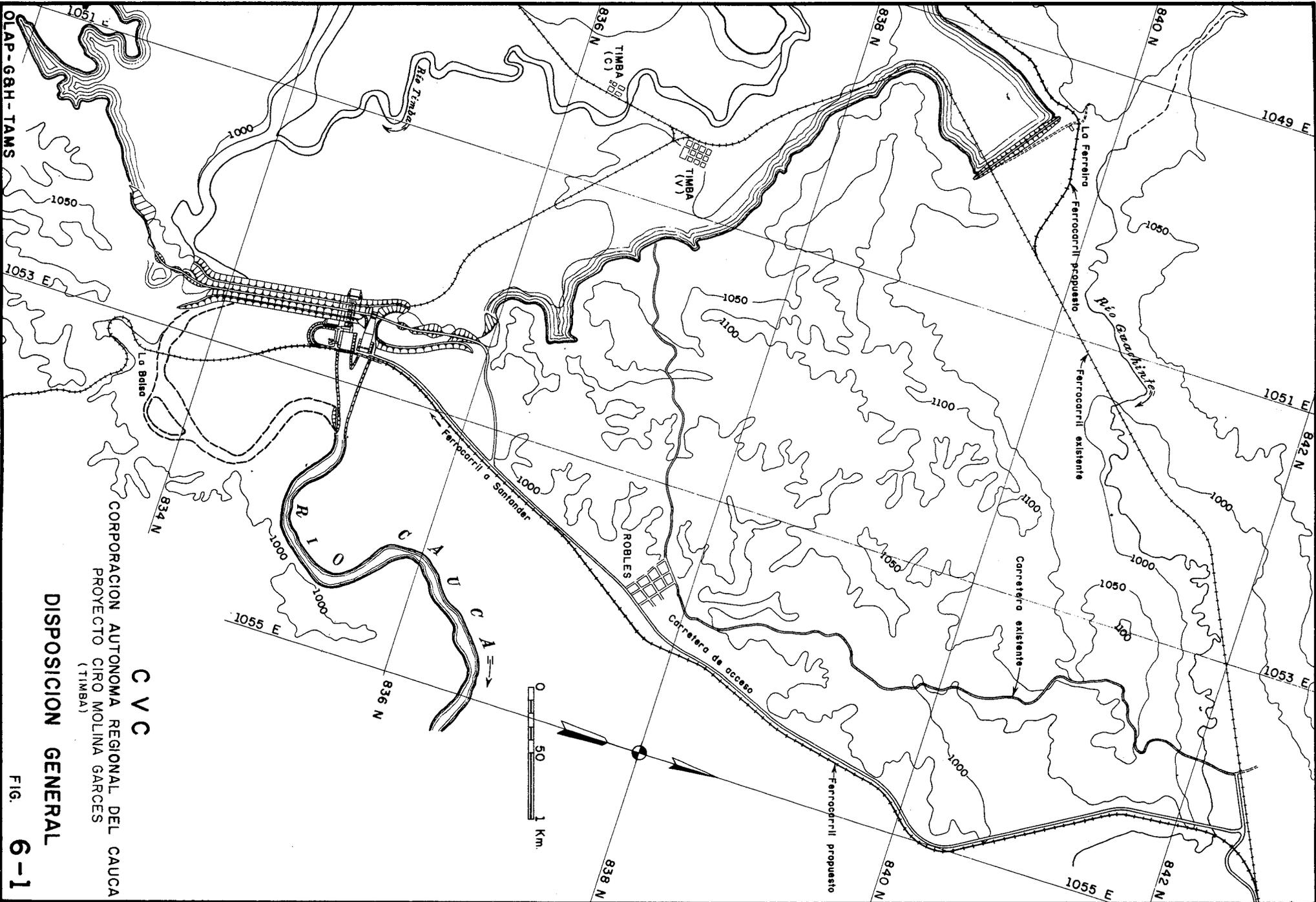
CVC
 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
 (TIMBA)

**EFFECTO DEL EMBALSE
 EN LA
 CRECIENTE DE 1949-50**
 FIG. 4-3



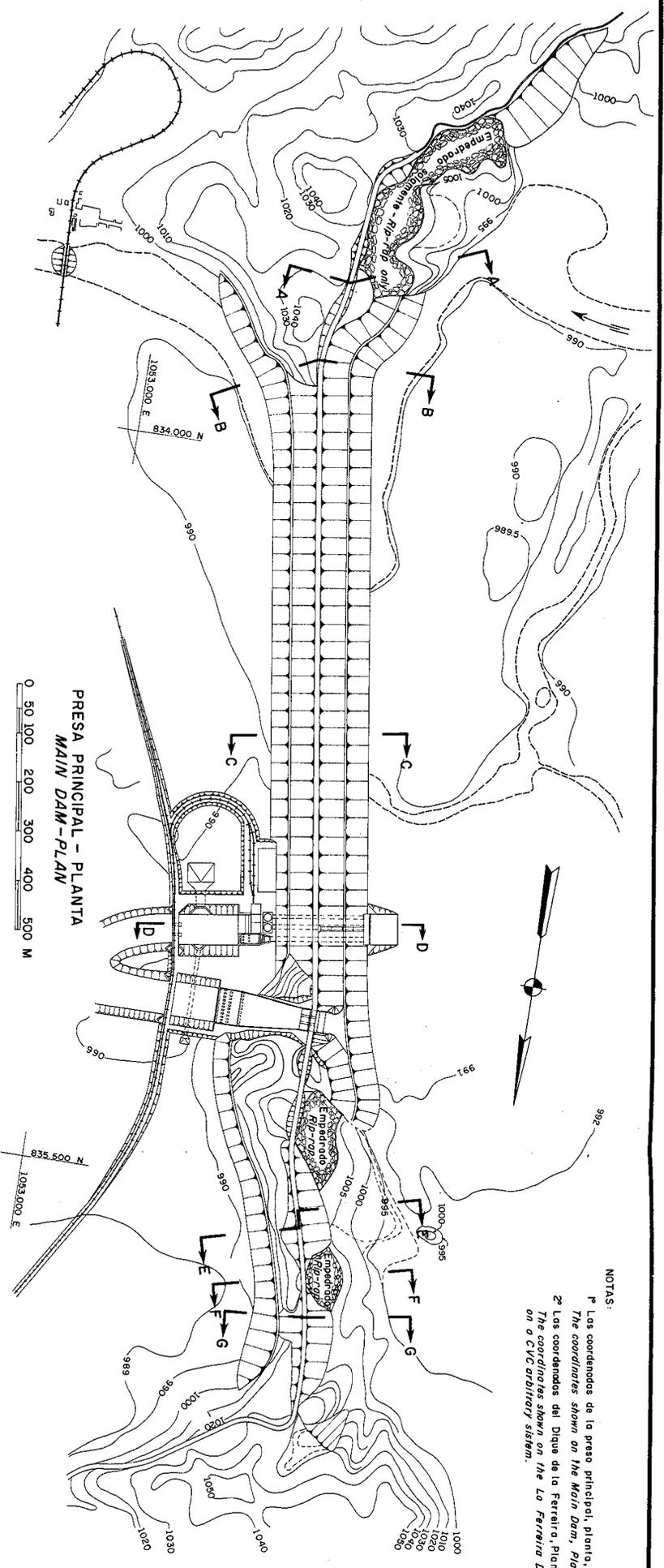
OLAP-G&H-TAMS



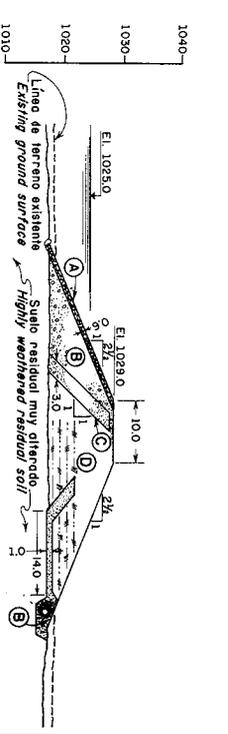
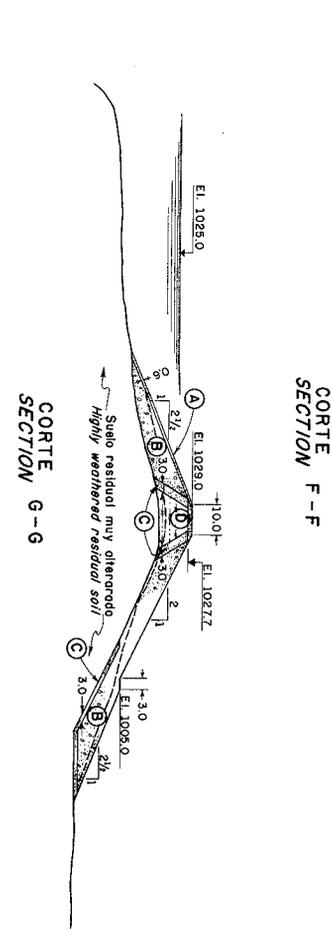
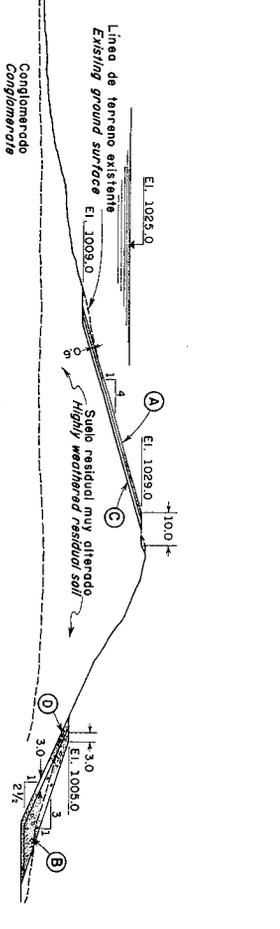
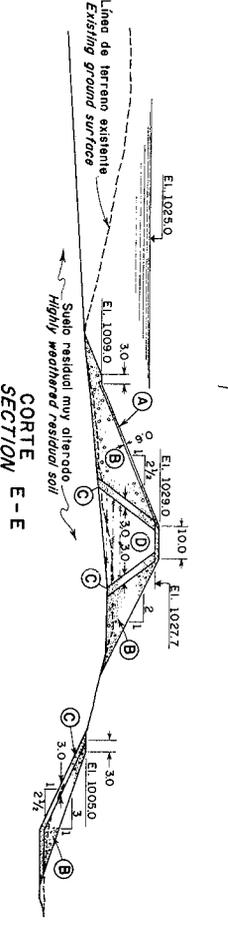
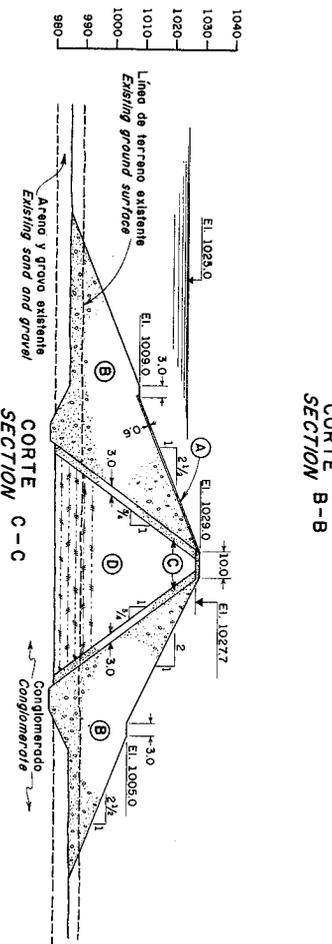
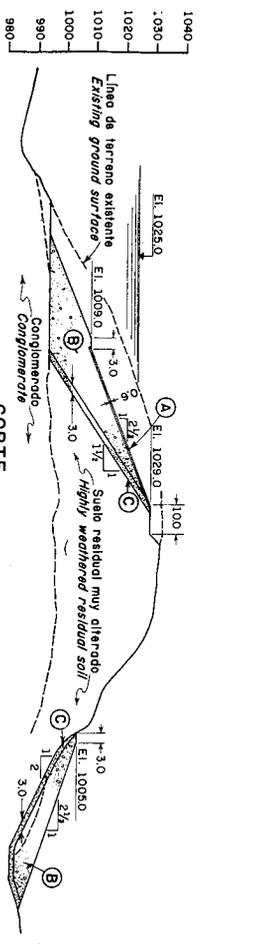
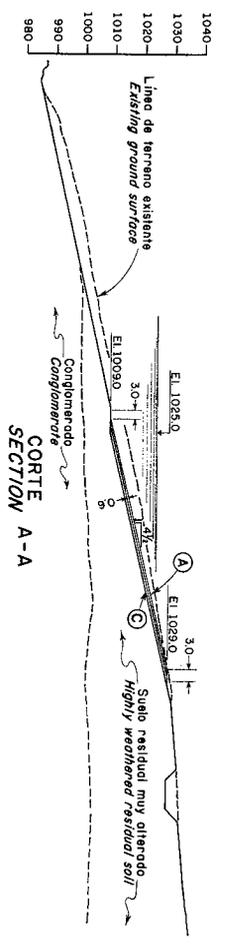
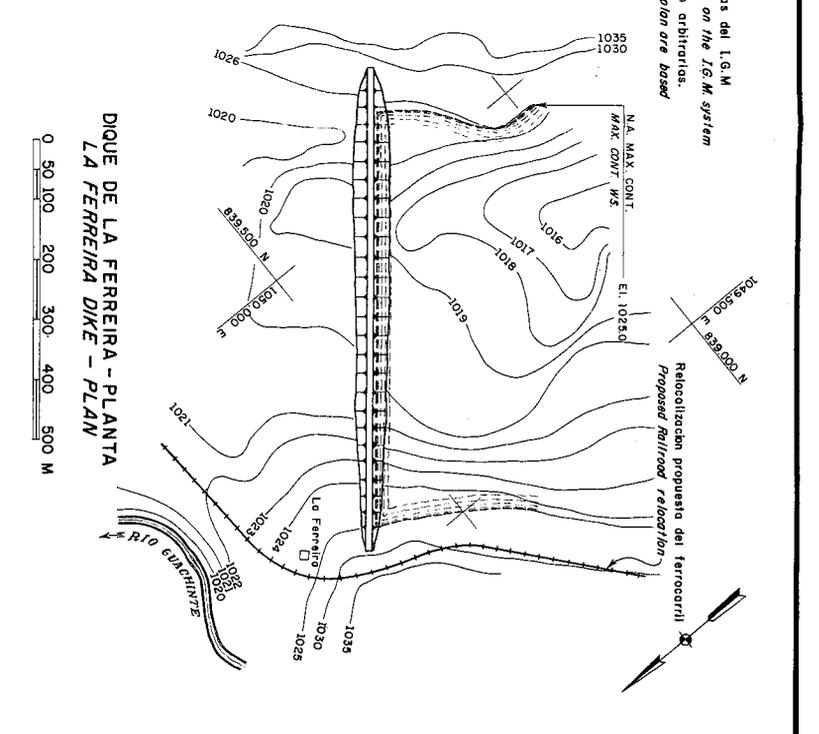


CVC
DISPOSICION GENERAL

FIG. 6-1



NOTAS:
 1º Las coordenadas de la presa principal, planta, son las del I.G.M.
 2º Las coordenadas shown on the Main Dam, Plan, are on the I.G.M. system.
 3º Las coordenadas del Dique de la Ferreira, Planta, son arbitrarias.
 The coordinates shown on the La Ferreira Dike, plan are based on a C.V.C. arbitrary system.

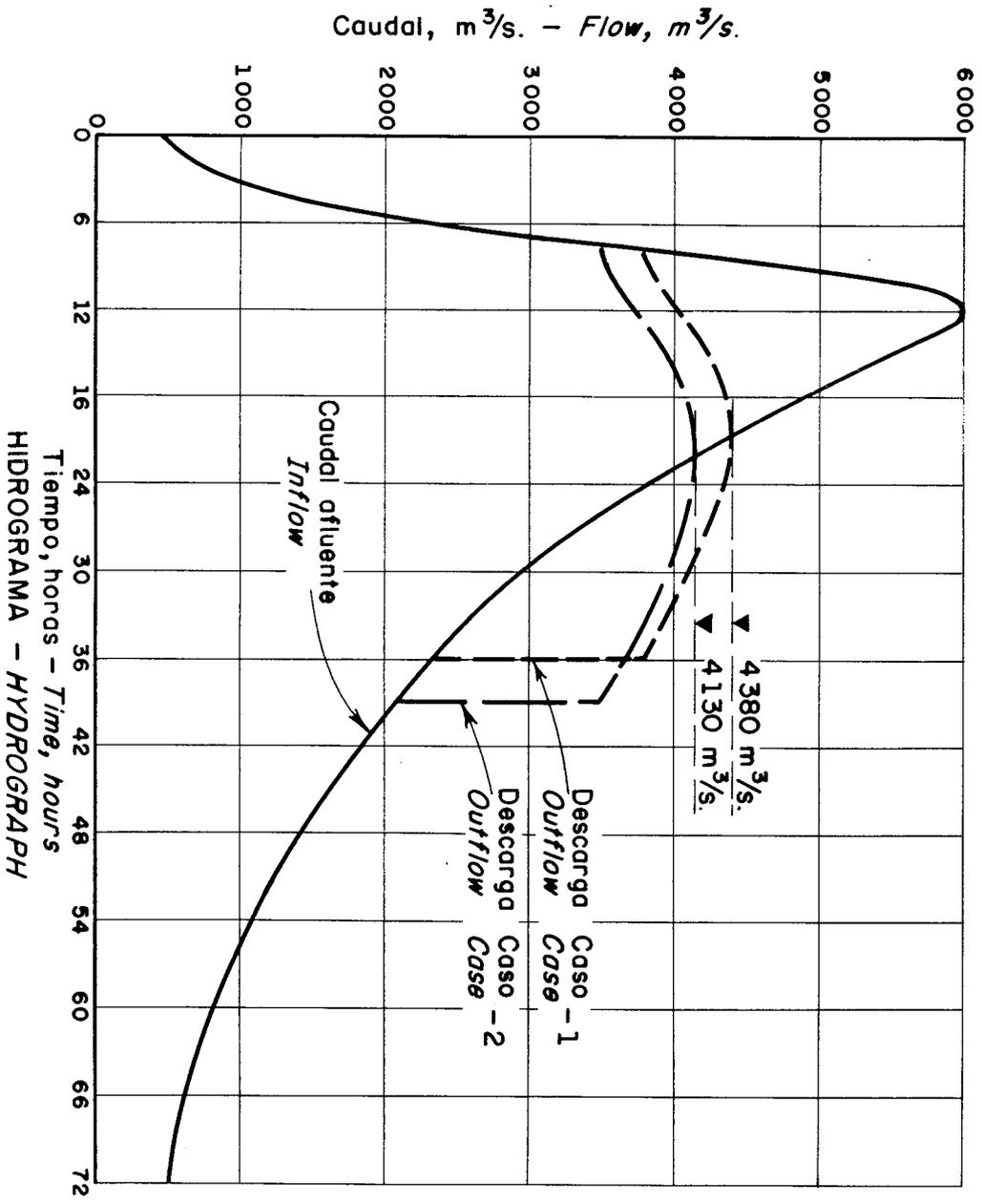
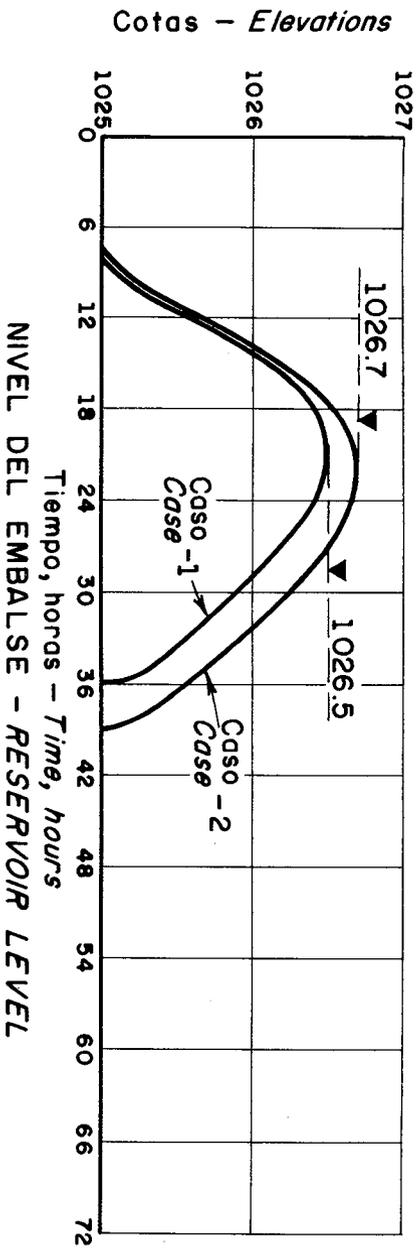


PRESA PRINCIPAL - CORTES TÍPICOS
MAIN DAM - TYPICAL CROSS - SECTIONS

CONVENIONES
LEGENDA

- (A) Empedrado Rip-rap
- (B) Relleno de arena y grava compactado
- (C) Filtro
- (D) Pelillo impermeable compactado

C.V.C.
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)
PRESA PRINCIPAL
Y
DIQUE DE LA FERREIRA



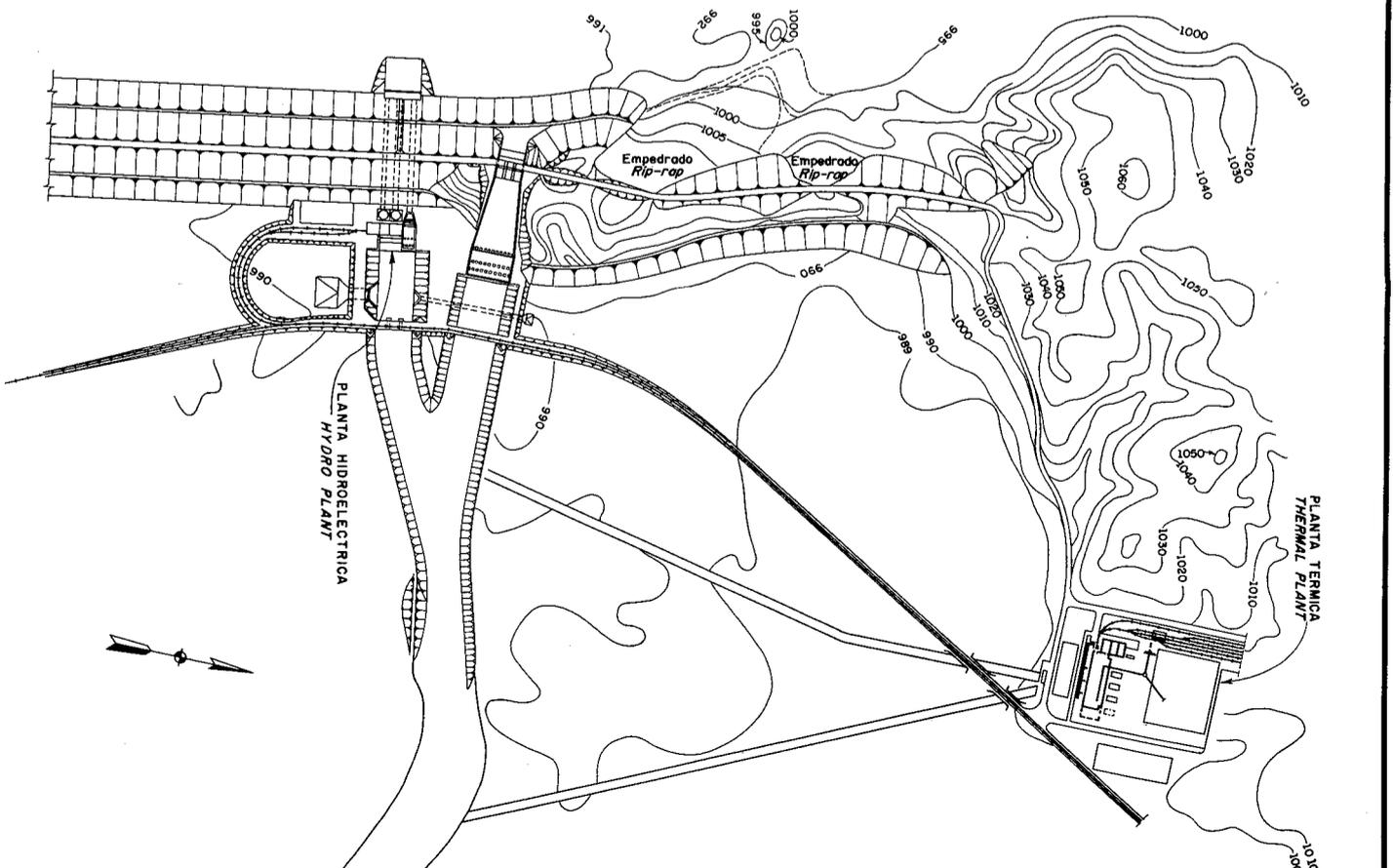
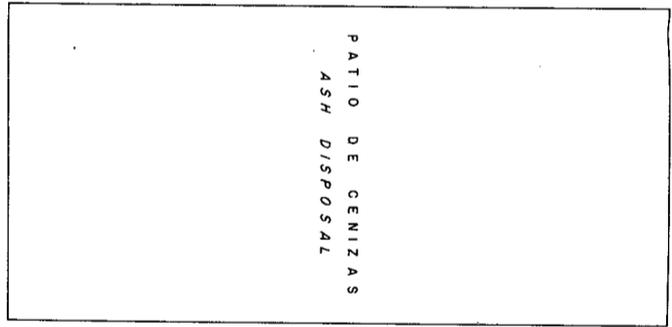
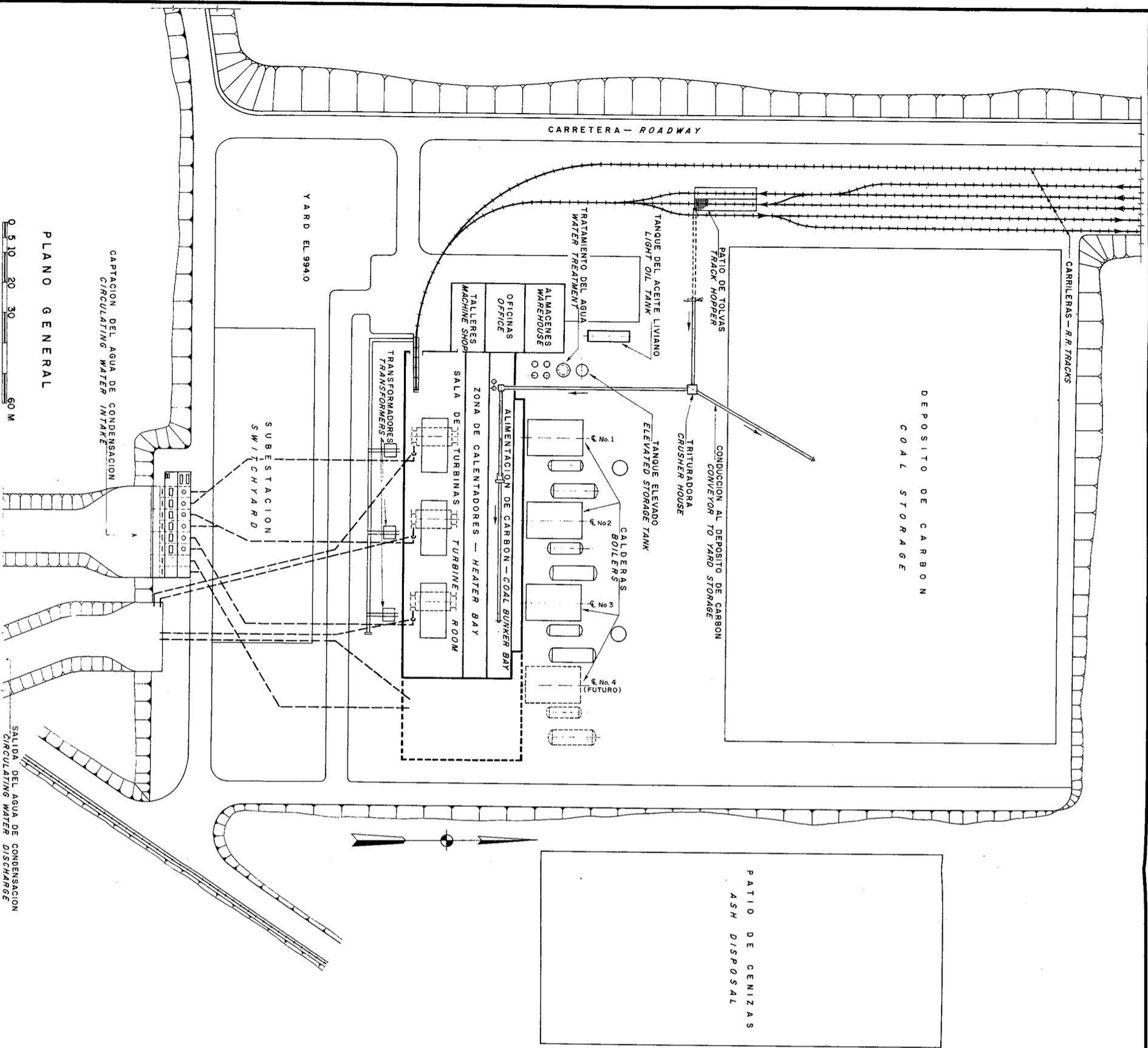
Caso 1: Estructura de descarga con
ambas compuertas abiertas
Case 1: Outlet works with both gates open

Caso 2: Estructura de descarga con
sólo una compuerta abierta
Case 2: Outlet works with only one gate open

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

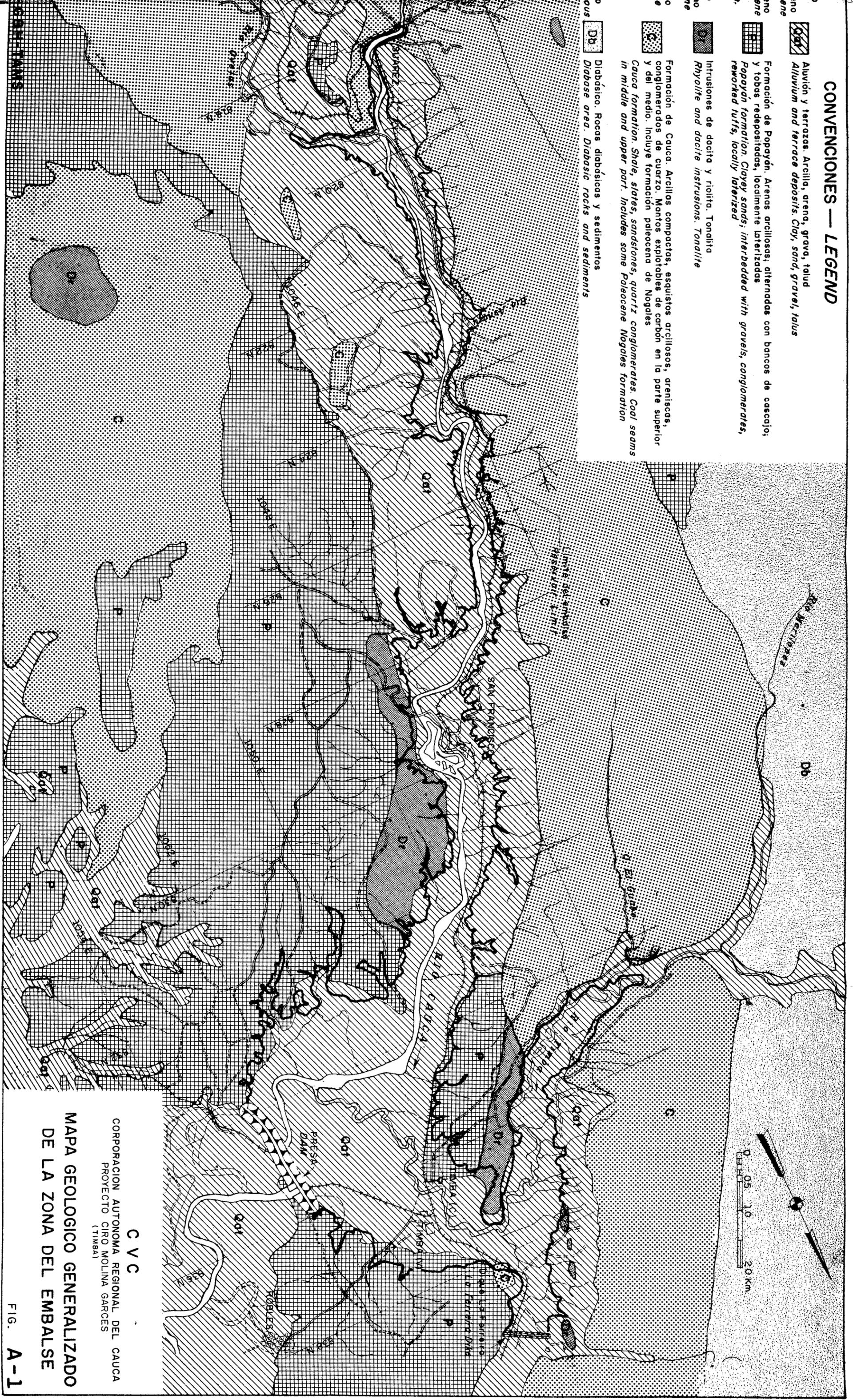
RIADA MAXIMA



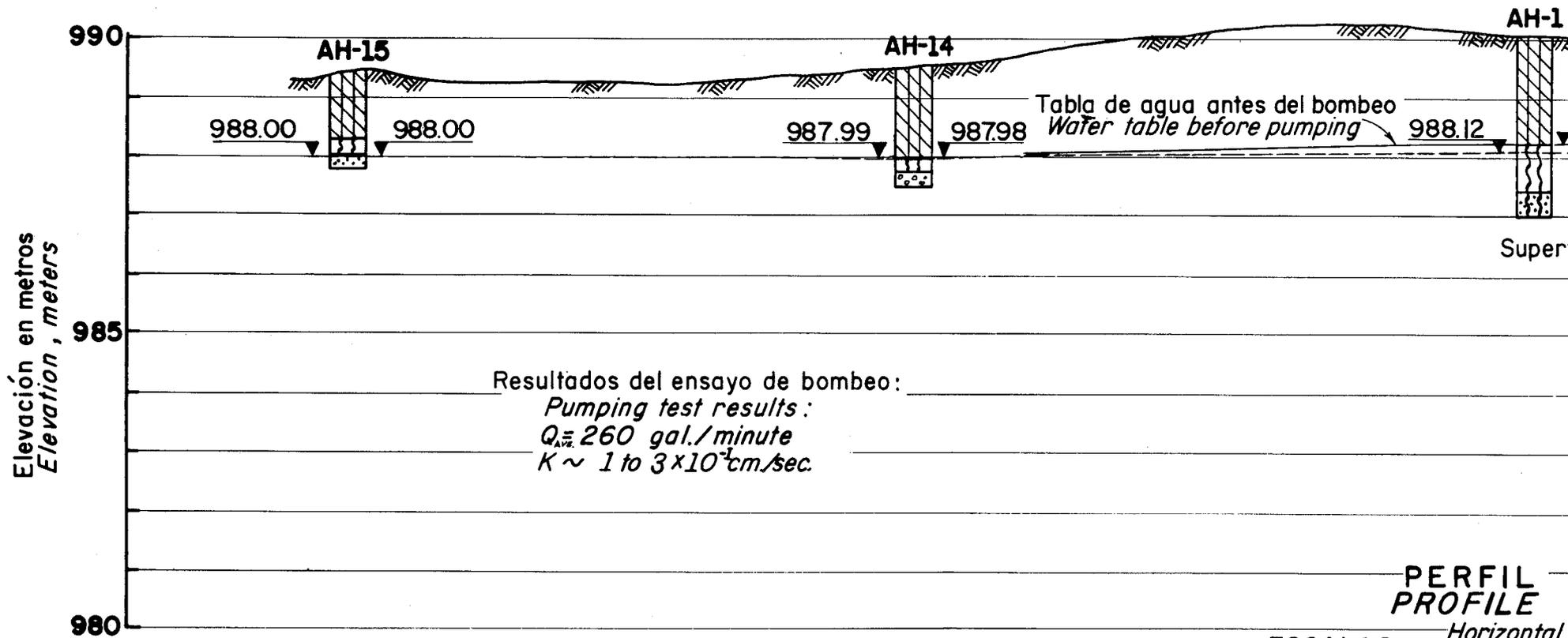
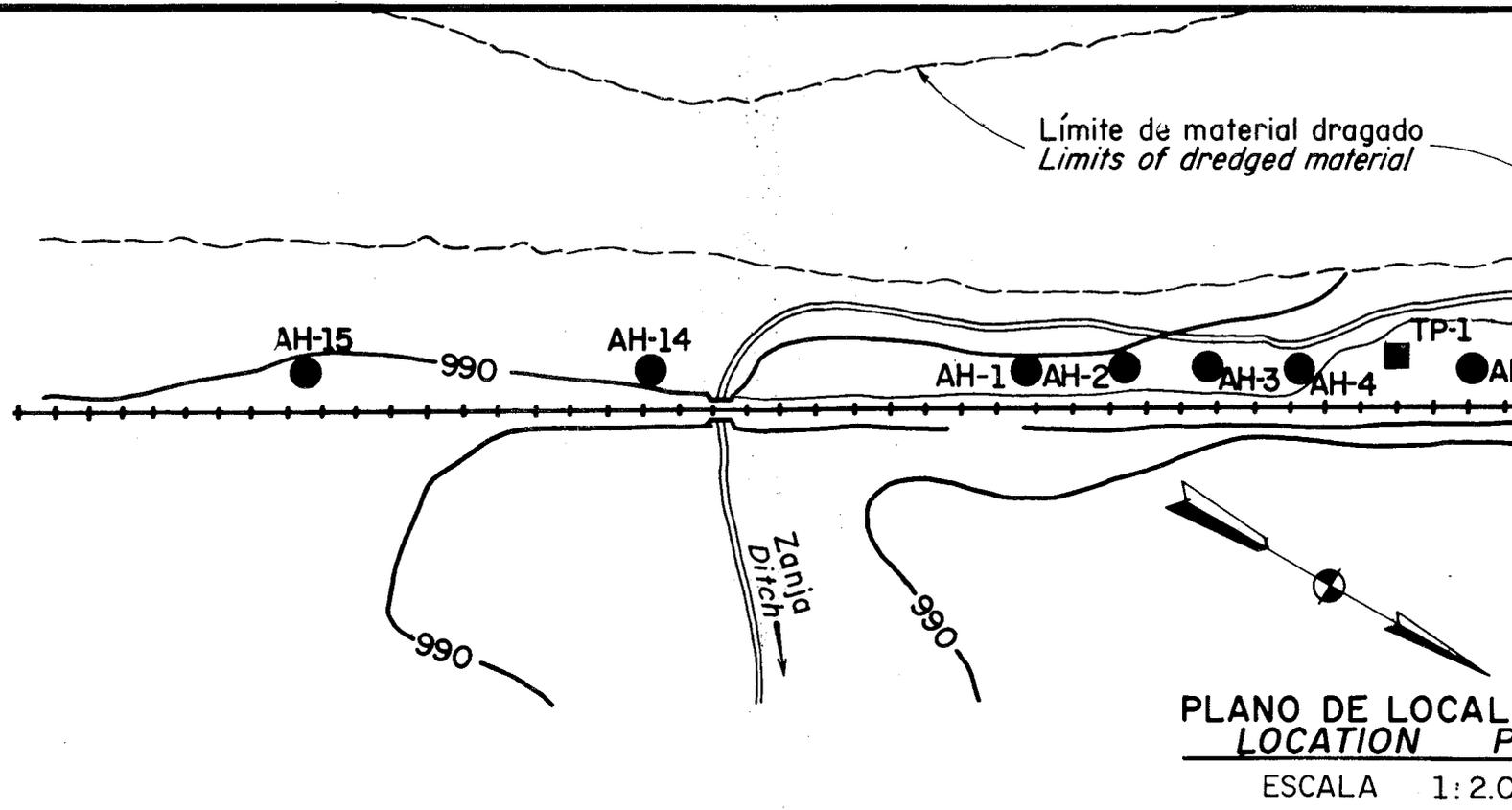
CVC
 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
 (TIMBA)
PLANTA TERMICA DE TIMBA

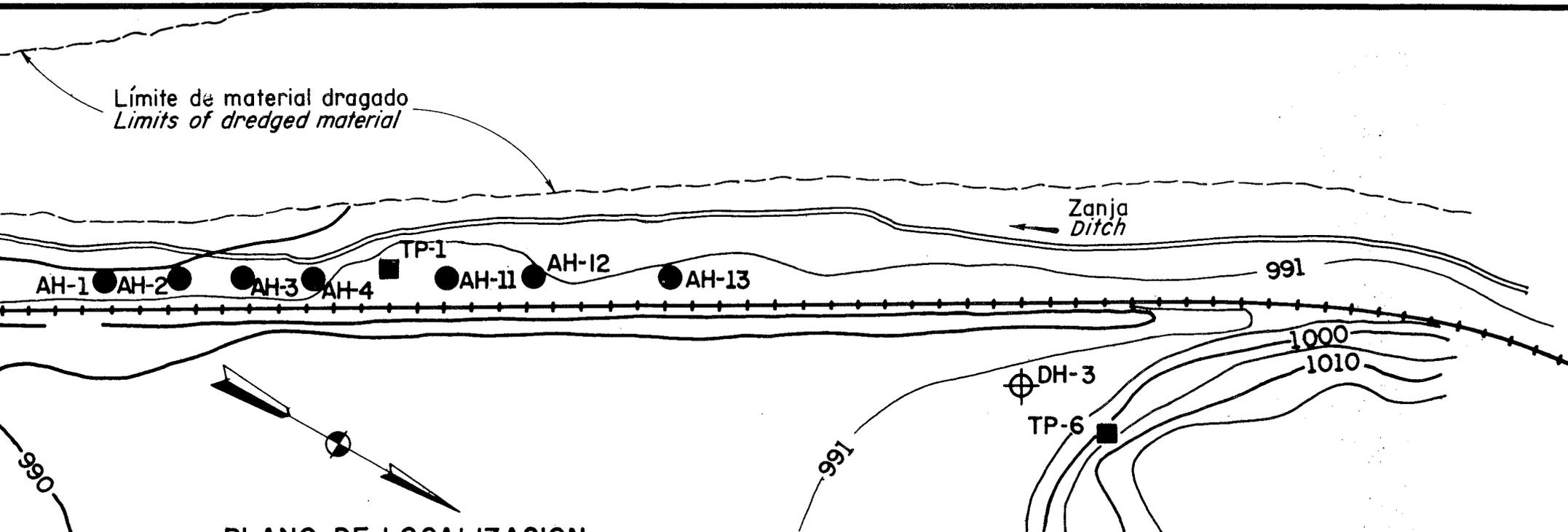
CONVENCIONES — LEGEND

-  Aluvión y terrazas. Arcilla, arena, grava, talud
Alluvium and terrace deposits. Clay, sand, gravel, talus
-  Formación de Popayán. Arenas arcillosas; alternadas con bancos de cascajo; y tobas redepositadas, localmente laterizadas
Popayan formation. Clayey sands; interbedded with gravels, conglomerates, reworked tuffs, locally laterized
-  Intrusiones de dacita y riolita. Tondilita
Rhyolite and dacite intrusions. Tondilita
-  Formación de Cauca. Arcillas compactas, esquistos arcillosos, areniscas, conglomerados de cuarzo. Mantos explotables de carbón en la parte superior y del medio. Incluye formación paleocena de Nogales
Cauca formation. Silt, slates, sandstones, quartz conglomerates. Coal seams in middle and upper part. Includes some Paleocene Nogales formation
-  Diabásico. Rocas diabásicas y sedimentos
Diabase area. Diabasic rocks and sediments



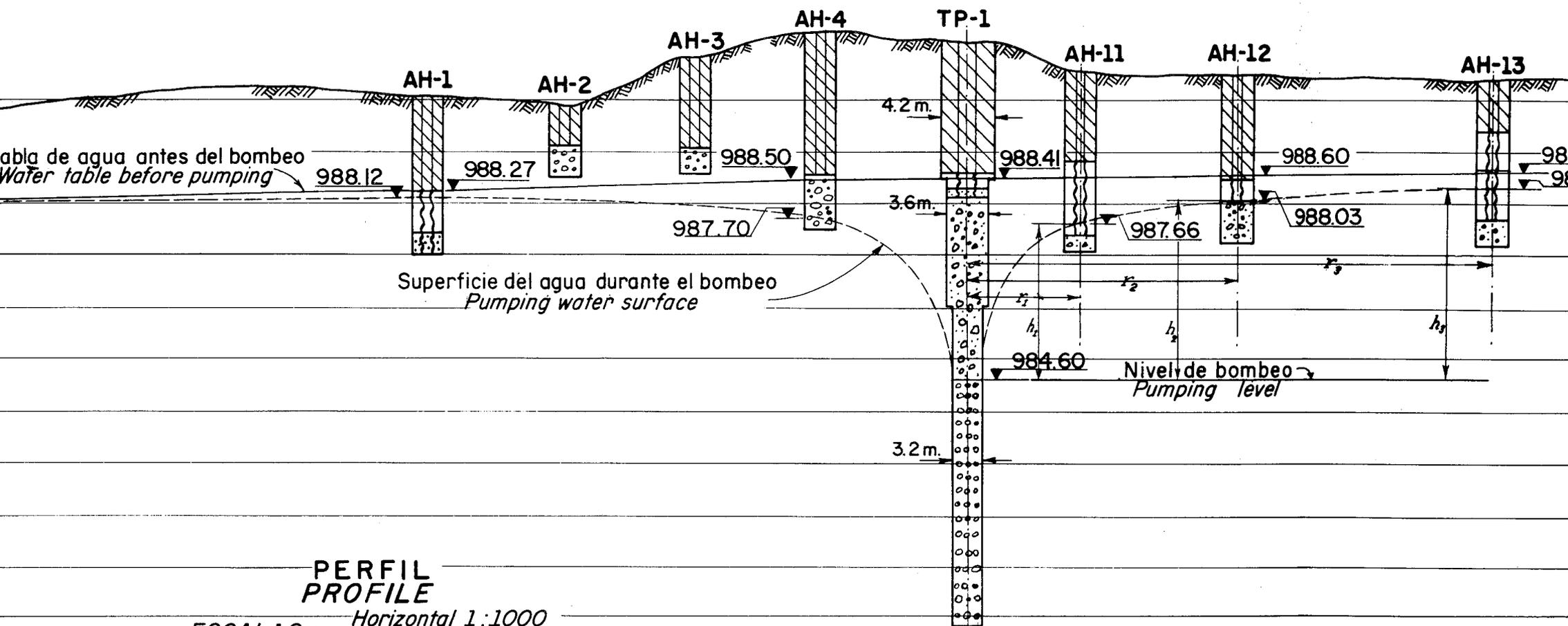
C V C
 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 PROYECTO CIRO MOLINA GARCÉS
 (TIMBA)
**MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO
 DE LA ZONA DEL EMBALSE**





**PLANO DE LOCALIZACION
LOCATION PLAN**

ESCALA 1:2.000



**PERFIL
PROFILE**

ESCALAS : Horizontal 1:1000
Vertical 1:100

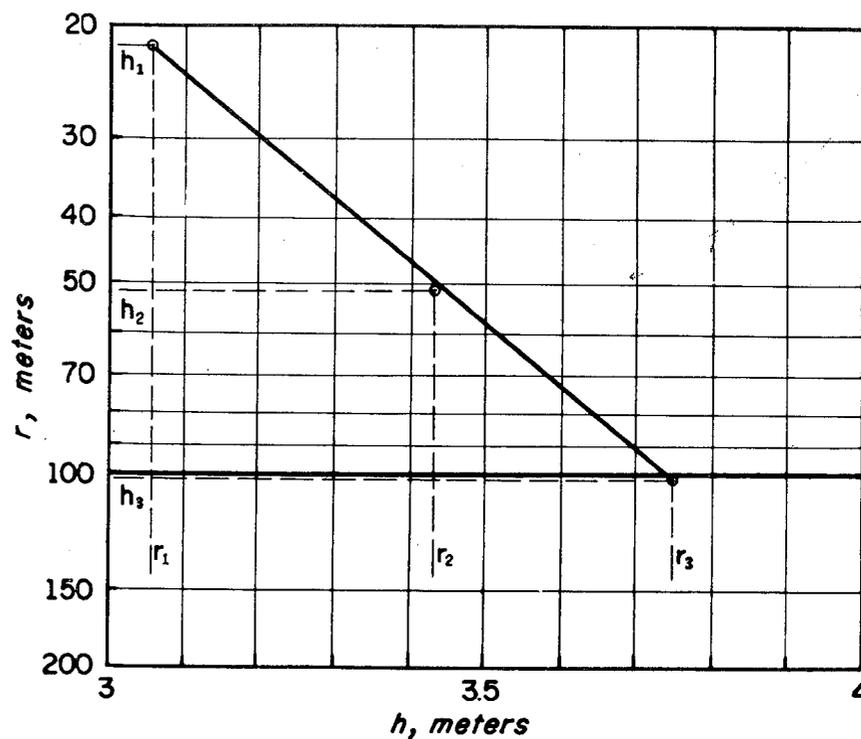
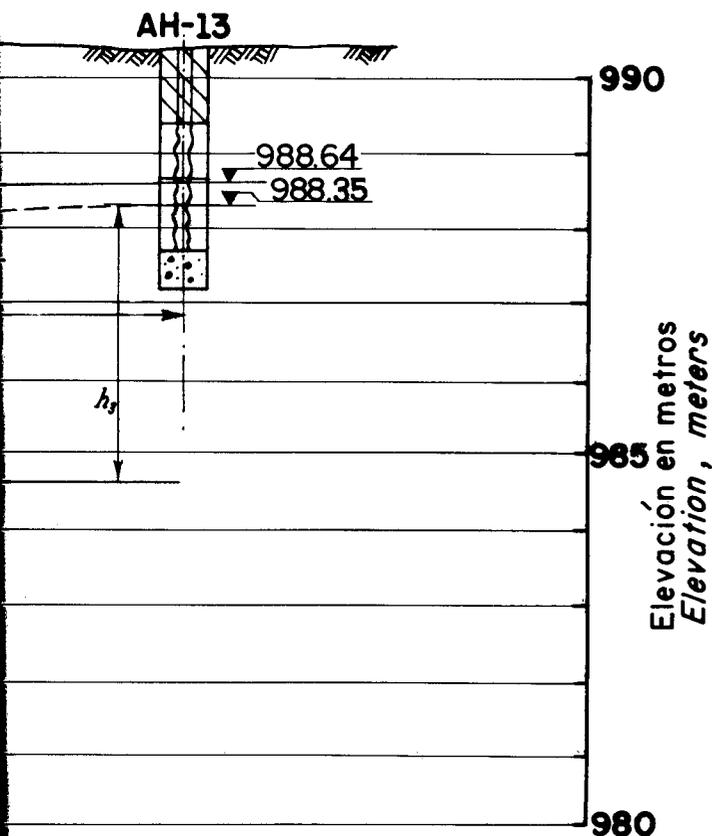
CONVENCIONES LEGEND

- Barreno
Auger hole
- ⊕ Taladro
Drill hole
- Apique
Test pit

SIMBOLOS SYMBOLS

-  Arena
Sand
-  Grava
Gravel
-  Cantos rodados
Boulders
-  Limo
Silt
-  Arcilla
Clay
-  Limo orgánico
Organic silt
-  Conglomerado
Conglomerate

Una combinación de símbolos representa una combinación de suelos
A combination of symbols represents a combination of soils



C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS DE BOMBEO



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

FIG. B-2

DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

Boring No	Depth, meters	DESCRIPTION	Natural water content %	Natural dry unit weight, lb/ft ³	Liquid Limit %	Plastic Limit %	Specific Gravity	Grain size	Coefficient of permeability, cm/sec	Compaction		Unconfined compression kg/cm ²	Triaxial compression
										Standard	Modified		
										Optimum weight lb/ft ³	Water content %		
		<u>TIMBA DAM - FOUNDATION:</u>											
TP-1	2.0	DK brown silty CLAY	44.8										
	2.7	Black org. SILT	55.6		62.1	46.1							
	0.5	Lt. brown clayey SILT	57.4		53.7	55.9							
	4.0	GRAVEL, sm sand						X					
TP-3	3.0	Red mottled silty CLAY	48.6	81.3	66.0	43.5	2.67	X	1.2x10 ⁻⁶				X
	6.0	Red mottled silty CLAY	39.9	85.5	59.4	38.2	2.63		1.9x10 ⁻⁶				X
	2.0	Red mottled silty CLAY	45.3		63.5	47.8	2.64						
	4.0	DK red silty CLAY	42.2		56.9	47.1							
	4.5	Red mottled silty CLAY	42.9		58.7	42.1	2.75						
TP-4	15.0	Brown conglomerate											
	15.5	Brown conglomerate											
	16.3	Brown conglomerate											
	16.3	Brown conglomerate											
	16.8	Brown conglomerate											
TP-6	7.0	Green conglomerate											
	7.0	Green conglomerate											
	7.5	Green conglomerate											
	7.5	Green conglomerate											
TP-7	0.8	DK brown silty CLAY	30.8		57.4	49.0							
	2.5	DK brown silty CLAY	39.6		57.2	46.7							
	3.8	Red silty CLAY	43.5		49.0	46.0							
	5.5	Red silty CLAY	45.3		49.0	46.0							
	8.3	Red silty CLAY	45.8		49.1	46.3							
	9.8	Red silty CLAY	50.6		56.0	45.2							
	11.3	Red silty CLAY	41.0		49.0	46.1							
	12.8	Red silty CLAY	43.8		54.0	46.5							
	14.1	Red silty CLAY	52.3		47.0	37.6							
	16.2	Red silty CLAY	67.9		57.0	46.7							
	18.1	Red silty CLAY	58.2		57.3	49.0							
	19.6	Lt. gy sandy CLAY	51.7		57.2	49.0							
DH-2	4.6	Red mottled silty CLAY	59.2	61.5									
	6.7	Red mottled silty CLAY	48.7	68.3									
		<u>TIMBA DAM - FILL MATERIALS:</u>											
RC-1	1.6	Red silty CLAY	47.0		87.5	61.2	2.67	X					
RC-2	1.5	Red silty CLAY	44.7		83.0	58.4	2.63	X					
RC-3	2.2	Red silty CLAY	30.1		57.4	35.3		X					
RC-4	2.5	Red silty CLAY	43.2		57.0	37.0	2.73	X					

Petrographic, differential thermal and X-ray dif-
fraction analyses at M.I.T., U.S.A.

Tests on compacted soil.

RC-1	1.6	Red silty CLAY	47.0	87.5	61.2	2.67	X	2-3x10 ⁻⁵	74.0	41.0	Tests on compacted soil. X	
RC-2	1.5	Red silty CLAY	44.7	63.0	58.4	2.63	X		75.3	39.7		
RC-3	2.2	Red silty CLAY	50.1	57.4	35.3		X		89.6	28.6		
RC-4	2.5	Red silty CLAY	43.2	57.0	37.0	2.75	X		87.6	30.5		
TP-5	5.0	Red mottled silty CLAY	48.6	70.7	47.8		X	2-5x10 ⁻⁵	81.9	36.7		
TP-5	3.6	Red mottled silty CLAY	45.3	63.5	47.6		X	2.7x10 ⁻⁵	89.0	30.0		
TP-4	10.0	Lt. brown silty CLAY					X				134.7 4.8 Dredged soil. River sand at La Balsa.	
TP-1	4.5	C-m-t GRAVEL sm sand					X					
-	-	C-m-t GRAVEL tr sand										
-	-	C-m-t SAND										
LA FERRERIRA DAM - FOUNDATION:												
DH101	0.91	gy mottled silty CLAY	42.9								0.75	
	1.57	gy mottled silty CLAY	45.0								0.74	
	1.57	gy mottled silty CLAY	44.0								0.83	
	2.28	gy mottled silty CLAY	43.2								1.62	
	3.33	gy mottled silty CLAY	79.0								1.04	
	3.8	gy mottled silty CLAY	39.0									
	3.8	gy mottled silty CLAY	43.0									
	4.88	GRAVEL and gy silty CLAY	19.9									
	6.4	GRAVEL and gy silty CLAY	15.2									
DH201	0.91	Red mottled silty CLAY	32.4								1.4	
	3.8	gy mottled silty CLAY	45.0								0.41	
	7.8	Silty m-t SAND	23.3									
TP201	0.9	yel mottled silty CLAY	36.6									
	2.25	yel mottled silty CLAY	32.3									
	5.15	yel mottled silty CLAY	40.0									
	7.7	yel mottled silty CLAY	40.0									
	8.5	yel mottled silty CLAY	40.4									
TF202	0.9	DK br. sandy CLAY	22.5									
	3.1	DK br. sandy CLAY	28.5									
	6.2	DK br. sandy CLAY	40.0									
	8.4	DK br. sandy CLAY	21.5									
TP205	1.8	br. silty CLAY	26.2									
	3.9	br. silty CLAY	37.8									
	5.6	br. sandy CLAY	33.6									
	7.6	br. sandy CLAY	37.2									
TP501	1.0	Red mottled silty CLAY	46.3	50.7	50.7				78.6	41.9	85.9	32.9
TP502	1.2	gy mottled silty CLAY	34.8	40.7	33.3				87.9	30.0	92.4	27.8



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

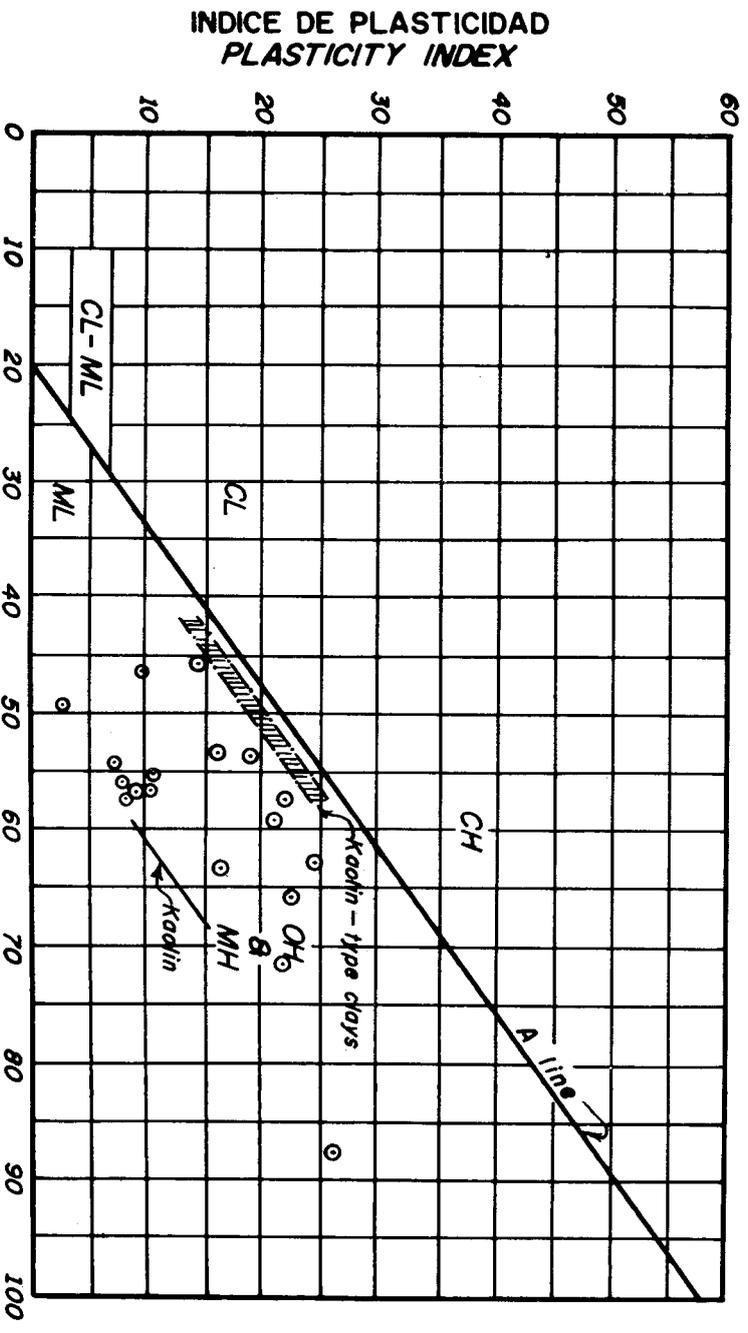
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE
LABORATORIO

FIG. B-3

FIG. D-1

OLAP-G8H-TAMS

- CL** Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas gravosas, arcillas limosas, arcillas magras.
Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays.
- ML** Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas, limosas o arenosas, o limos arcillosos con baja plasticidad.
Inorganic silts and very fine sands, rock floor, silty or clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity.
- CH** Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.
Inorganic clays of high plasticity, fat clays.
- OH** Arcillas orgánicas de plasticidad mediana a alta, limos orgánicos.
Organic clays of medium to high plasticity, organic silts.
- MH** Limos inorgánicos, suelos micáceos o diatomáceos con arena fina o limo, limos elásticos.
Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts.



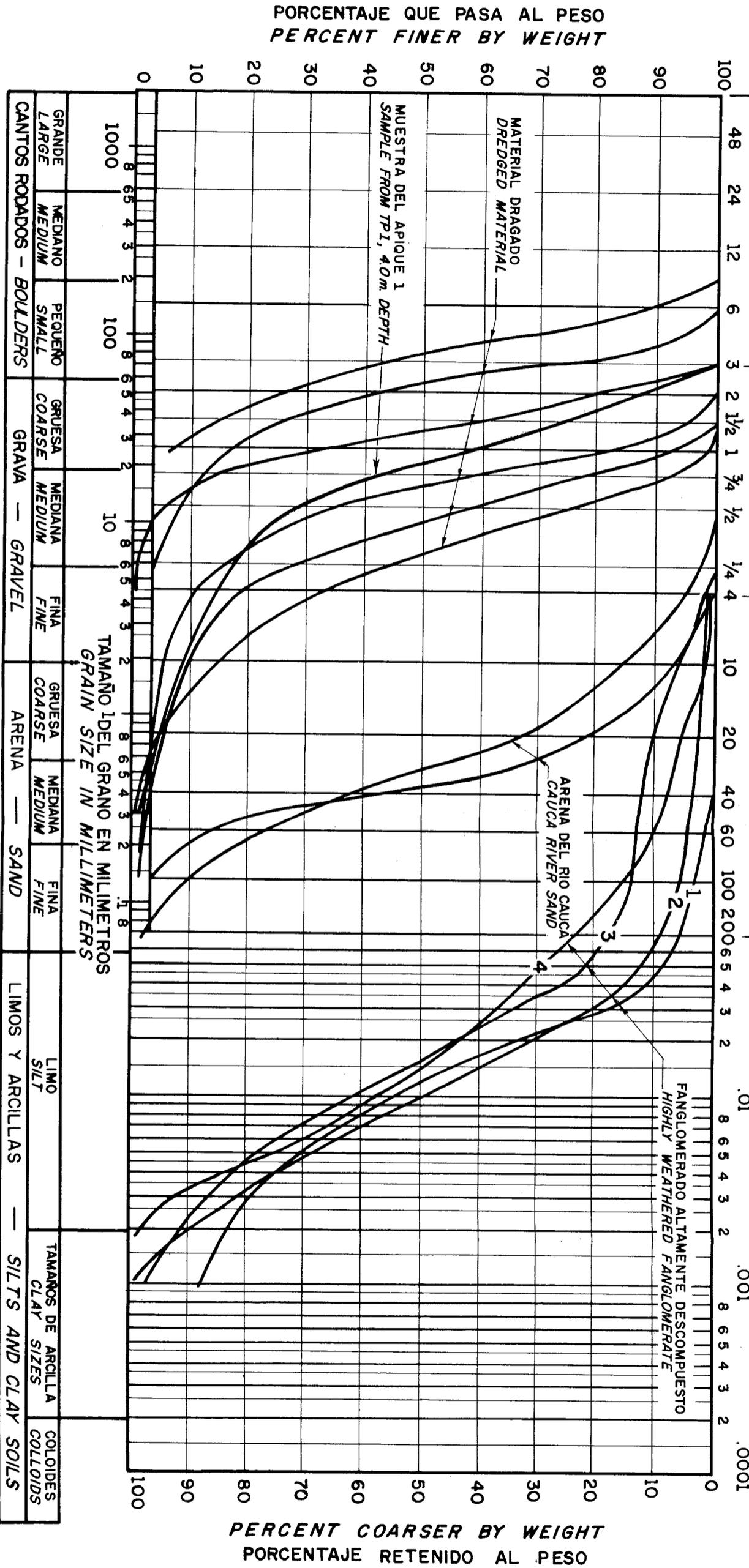
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)
GRAFICO DE PLASTICIDADES

ANÁLISIS DE TÁMICES
SIEVE ANALYSIS

TAMANO - PULGADAS SIZE - INCHES	ABERTURA DEL TAMIZ, PULG. SIEVE OPENING - INCHES	NUMERO DEL TAMIZ, U.S. STANDARD U.S. STANDARD SIEVE NUMBERS
48	24	12
6	3	2
2 1/2	1 3/4	1 1/2
1 1/4	1	1
3/4	1/2	1/2
1/4	1/4	1/4
10	10	10
20	20	20
40	40	40
60	60	60
100	100	100
200	200	200
400	400	400
600	600	600
800	800	800
1000	1000	1000

ANÁLISIS DE HIDROMETRO
HYDROMETER ANALYSIS

TAMANO - MILIMETROS SIZE - MILLIMETERS	TAMANO - MILIMETROS SIZE - MILLIMETERS	TAMANO - MILIMETROS SIZE - MILLIMETERS
.01	.01	.01
8	6	5
4	3	2
.001	.001	.001
8	6	5
4	3	2



FANGLOMERADO ALTAMENTE DESCOMPUESTO
HIGHLY WEATHERED FANGLOMERATE

Muestra No.	Origen	Profund. Mts.	Contenido de humedad	Límite líquido %	Límite plástico %
Sample	Source	Depth	Water content %	Liquid limit %	Plastic limit %
1	RC-1	1.6	47.0	87.5	61.2
2	TP-3	3.0	48.6	70.7	87.8
3	RC-2	1.5	44.7	63.0	38.4
4	RC-3	2.2	30.1	57.4	35.3

OLAP-68H-TAMS

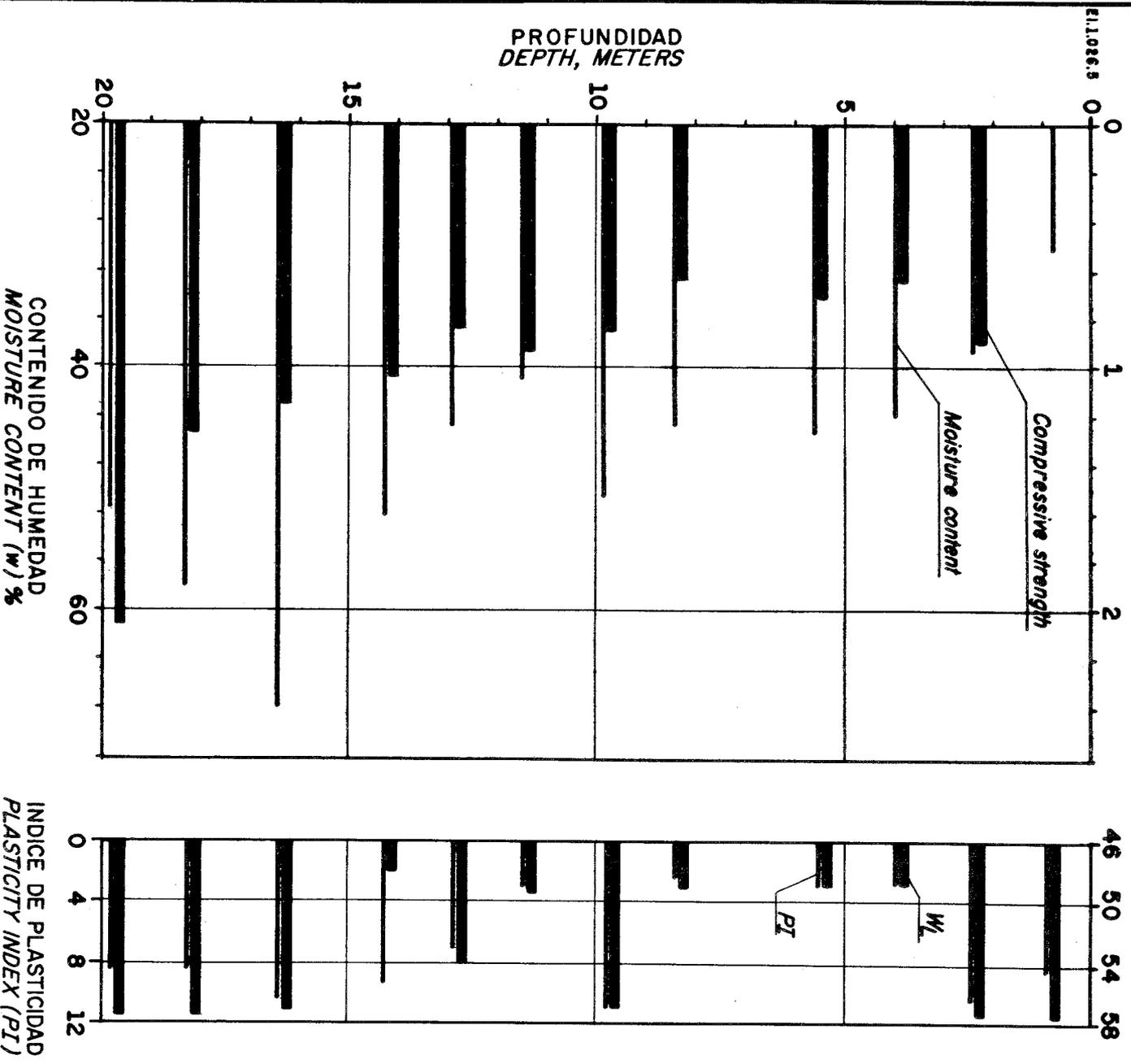
C V C
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

CURVAS GRANULOMETRICAS

FIG. B-5

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH (q_u), Kg/cm^2

LIMITE LIQUIDO
LIQUID LIMIT (w_L)



Muestras no tocadas de fanglomerado altamente descompuesto del apique No. 7
Undisturbed samples, highly weathered fanglomerate from test pit No. 7

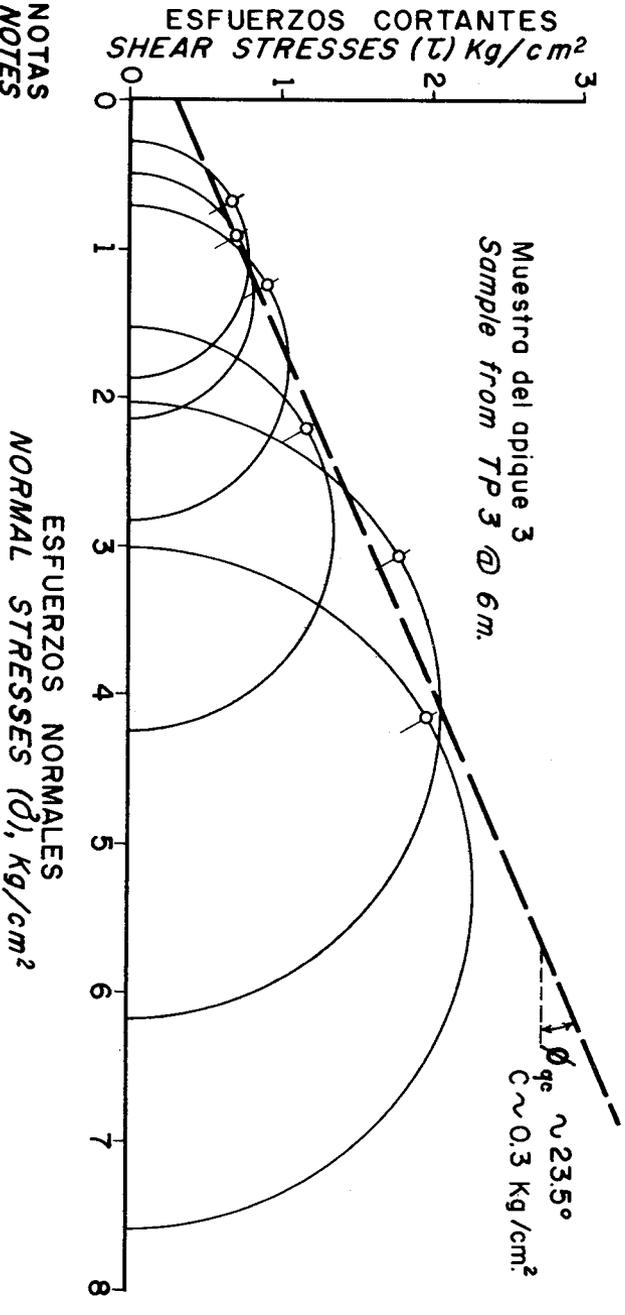
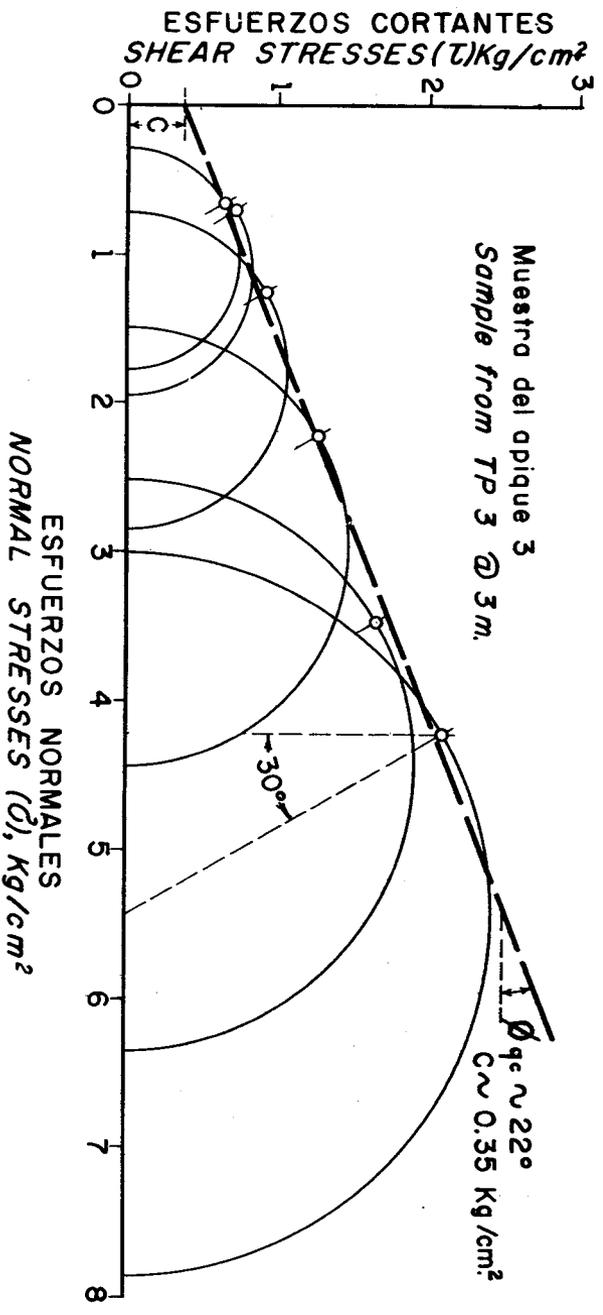
C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRIO MOLLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS DE COMPRESION

OLAP - G&H - TAMS

FIG. B - 6



NOTAS
NOTES

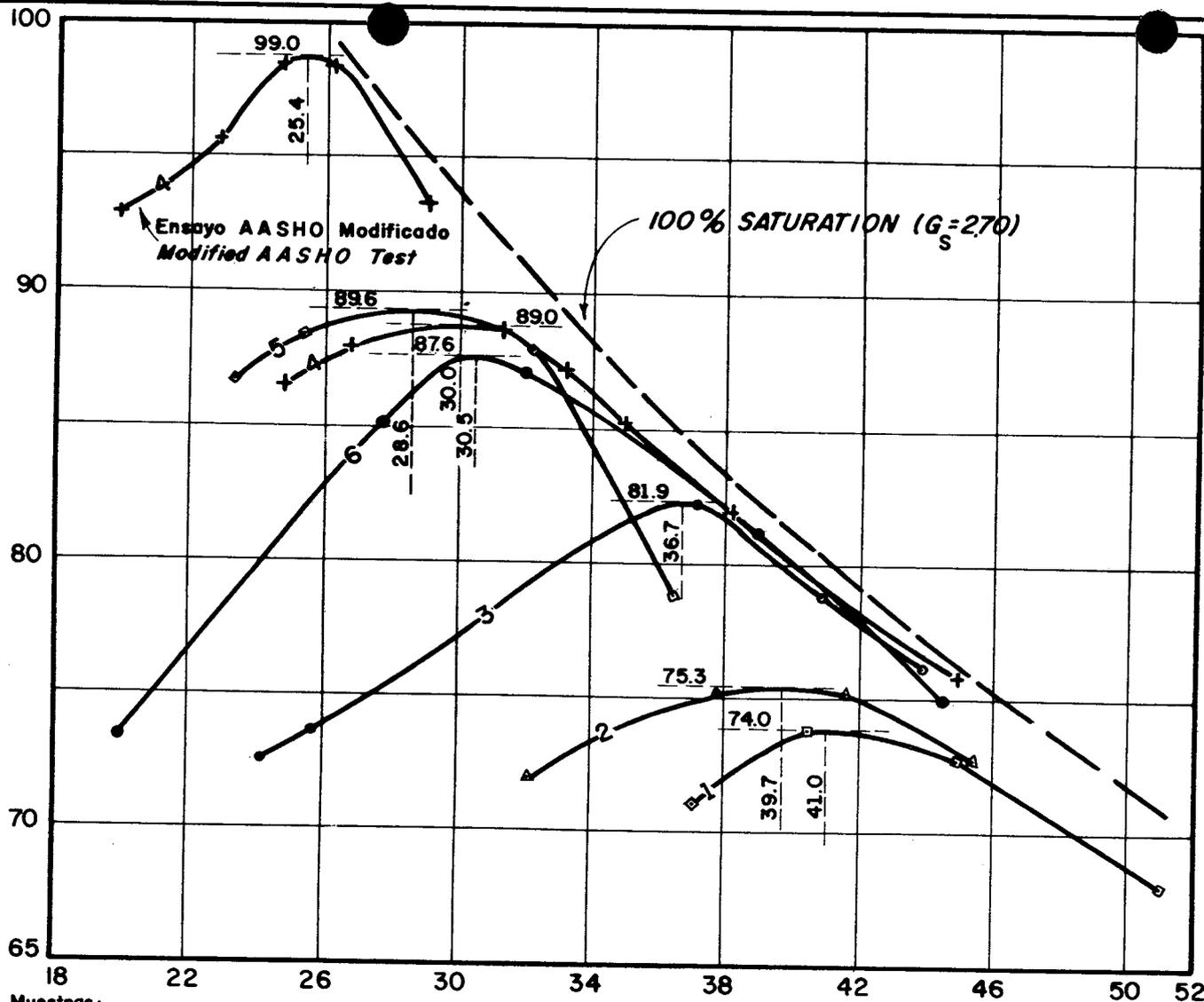
- 1) Muestras no tocadas de fanglomerado altamente descompuesto
Sample undisturbed highly weathered fanglomerate
- 2) Ensayos consolidados sin drenaje con saturación previa, bajo una presión de 0.2 Kg/cm² y una presión lateral de 0.3 Kg/cm²
Tests consolidated-undrained with previous saturation under a head of 0.2 Kg/cm² and a confining pressure of 0.3 Kg/cm²

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS TRIAXIALES

PESO UNITARIO SECO
DRY UNIT WEIGHT, lb/ft³



Muestra Sample	Contenido de hum. natural Natural moisture content %	Limite liquido Liquid limit %	Limite plastico Plastic limit %
1	47.0	87.5	61.2
2	44.7	63.0	38.4
3	48.6	70.7	47.8
4	43.3	63.5	47.6
5	30.1	57.4	35.3
6	43.2	57.0	37.0

Notas:

- 1) Ensayos tipo Proctor standard excepto lo indicado.
- 2) Muestras de Fanglomerado descompuesto

Notes:

- 1) All tests standard Proctor except as shown.
- 2) All samples of highly weathered Fanglomerate

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS DE COMPACTACION

FIG. B-8

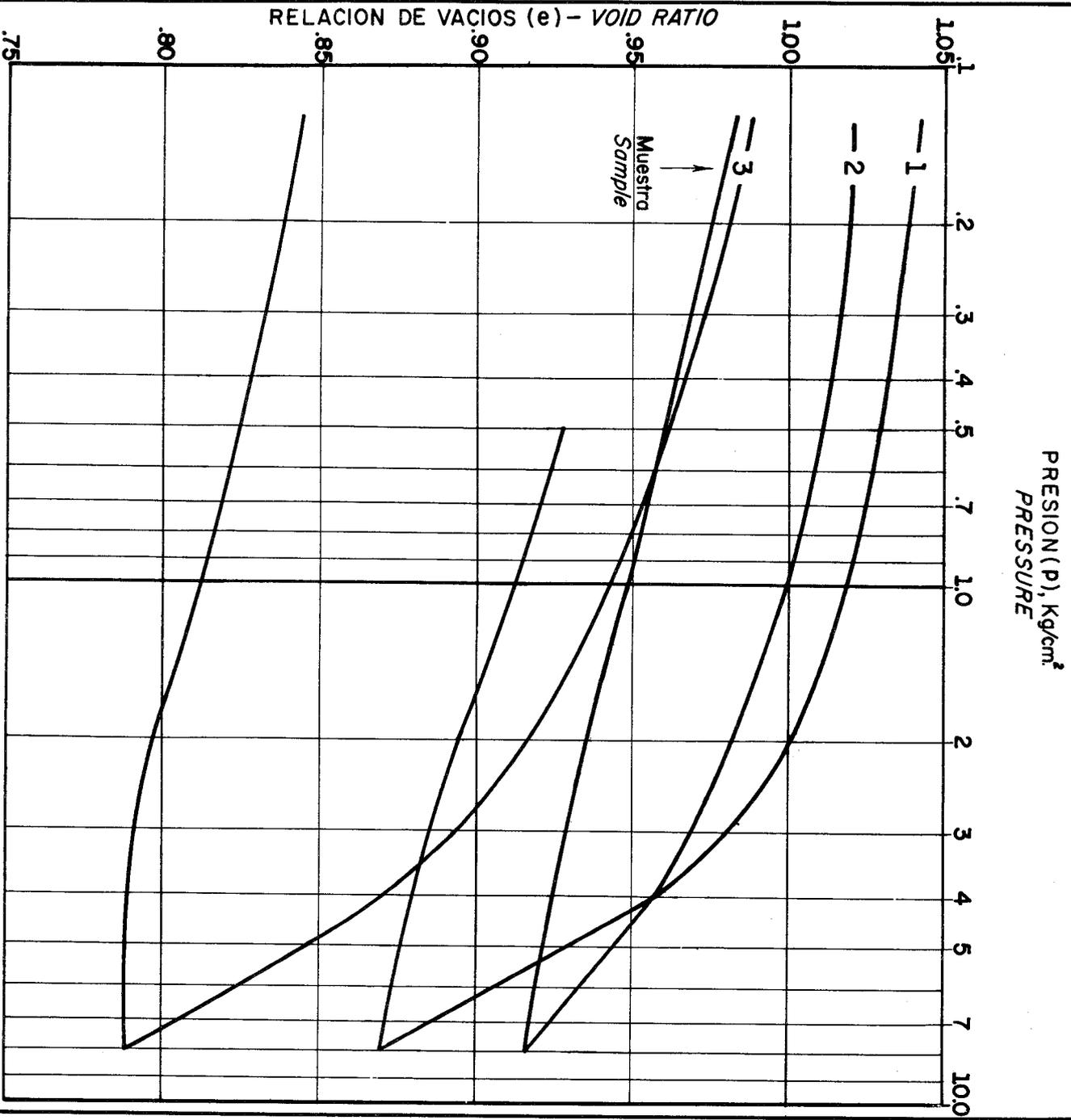
Muestras:
Samples:

- No. 1 sacada del RC-1, 1.6m. de profund.
No. 2 taken from RC-2, 1.5m. depth
No. 3 " " TP-3, 3.6m. "
No. 4 " " TP-4, 100m. "
No. 5 " " RC-3, 2.2m. "
No. 6 " " RC-4, 2.5m. "

CONTENIDO DE HUMEDAD
MOISTURE CONTENT, %

FIG. B-8

OLAP-G&H-TAMS



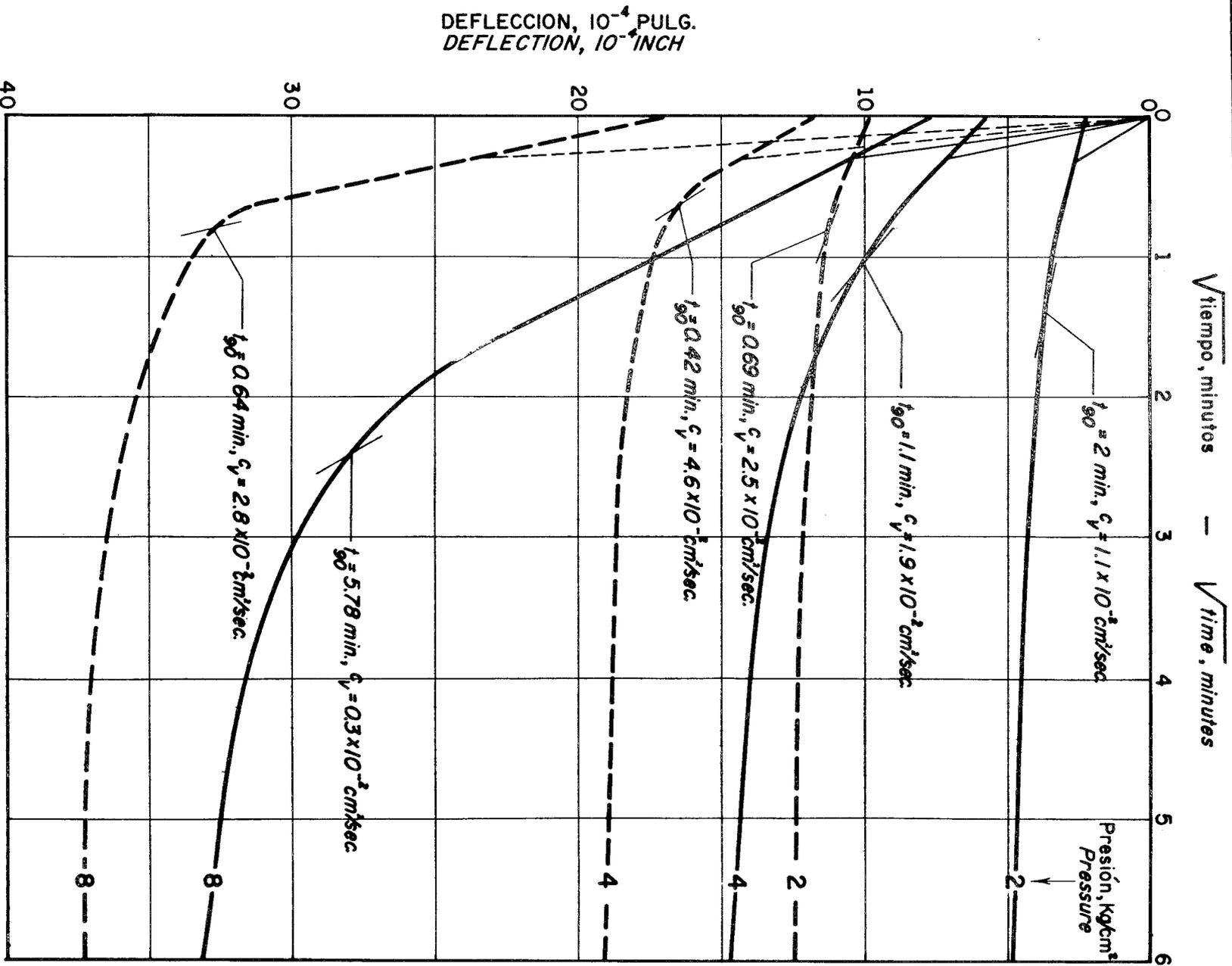
NOTAS:

- 1) Muestras 1 y 3 no tocadas, del apique No. 3 a 3 y 6 m. de profundidad
Samples 1 y 3 undisturbed, from TP No. 3 at 3 and 6 m depth
- 2) Muestra 2 la misma que la 1 después de compactada (optimo Proctor)
Sample 2 same as 1 after compaction to optimum Proctor

MUESTRAS SAMPLES	CONTENIDO DE AGUA INICIAL INITIAL WATER CONTENT	RELACION DE VACIOS INICIAL INITIAL VOID RATIO
1	28.6	1.08
2	37.3	1.02
3	39.9	1.00

C V C
 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
 PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
 (TIMBA)

ENSAYOS DE CONSOLIDACION



**CONVENCIONES
LEGENDA**

----- Muestra del apique No. 3, 3m. profundidad, no tocada
Sample from TP No 3, 3m. depth, undisturbed

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS DE CONSOLIDACION

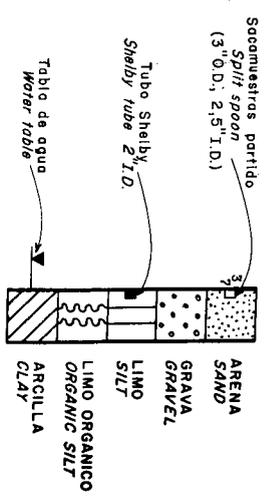
----- La misma muestra despues de compactada al peso optimo
Same sample after compaction to optimum weight (Std. Proctor)

OLAP-68H-TAMS

FIG. B-10

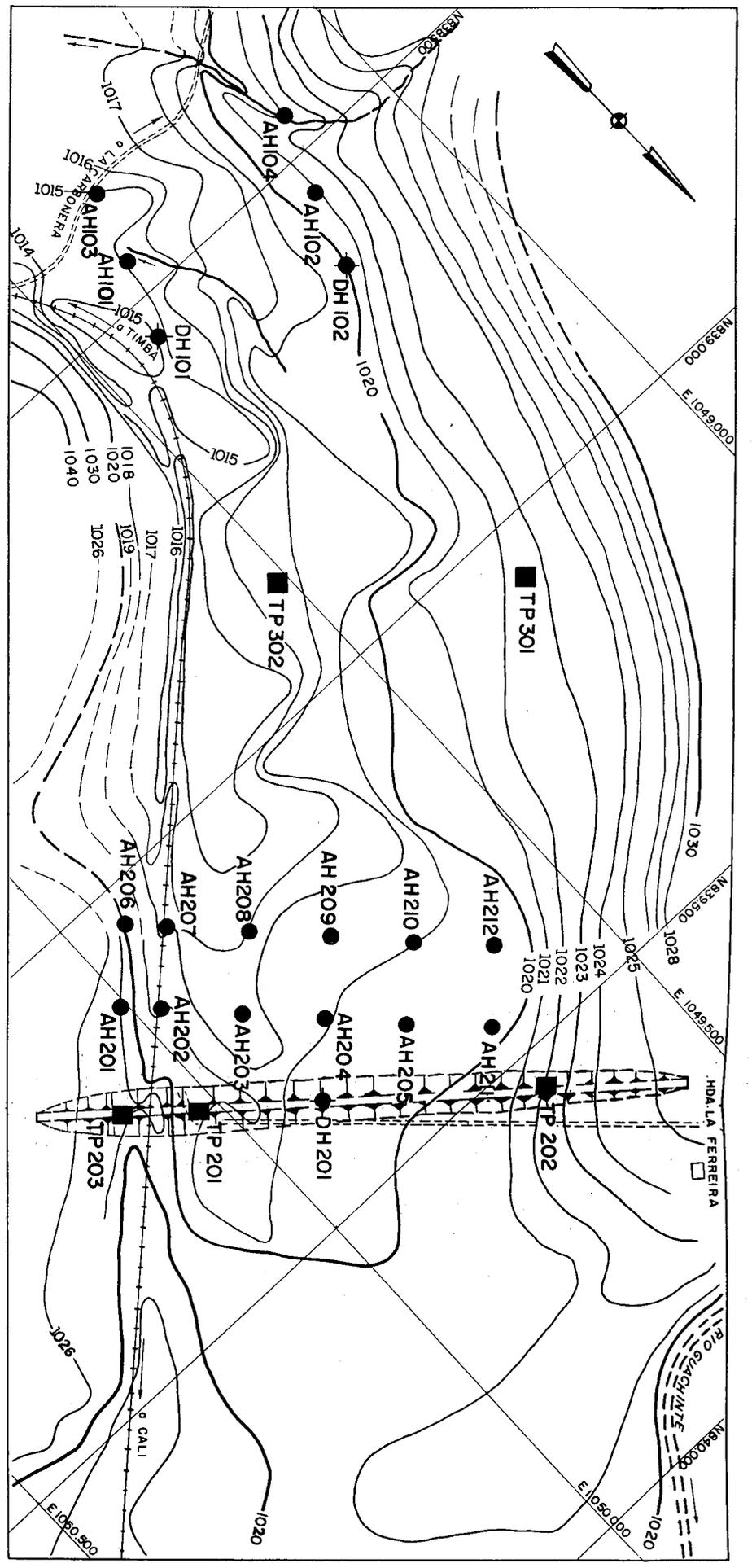
**CONVENCIONES Y SIMBOLOS
LEGEND AND SYMBOLS**

- PERFORACION CON TALADRO
- BARENNO
- AUGER HOLE
- APIQUE EXPLORATORIO
- TEST PIT



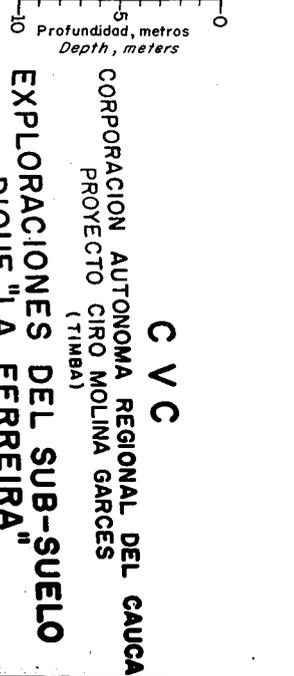
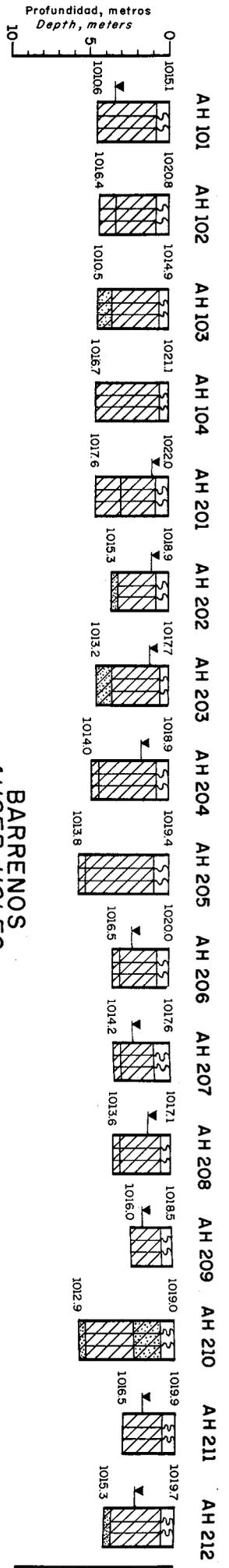
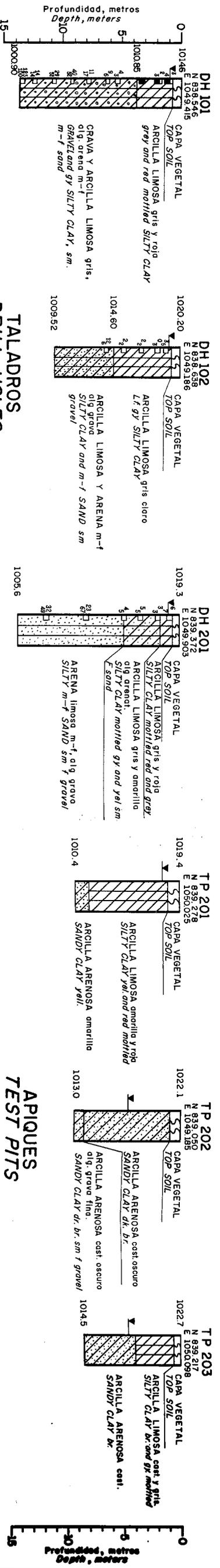
NOTAS:

- 1) Una combinación de símbolos representa una combinación de suelos.
A combination of symbols represents a combination of soils.
- 2) Los números al lado del símbolo del socometros partido representan el número de golpes por cada 6 pulgadas de penetración bajo el impacto de un martillo de 317 libras bajando de una altura de 18 pulgadas.
The numbers adjacent to the split- spoon symbol represent the number of blows for each 6 penetration under the impact of a 317 lb. hammer falling 18"
- 3) Apiques 301 y 302 bajaron solamente hasta 1 m. y 1.2 m. de profundidad. Véase Fig. 12 para la descripción del suelo.
Test pits 301 and 302 only 1 m and 1.2 m. deep. See Fig. 12 for description of soil.
- 4) Las coordenadas de este plano son arbitrarias.
Coordinates shown are based on a CVC arbitrary system.

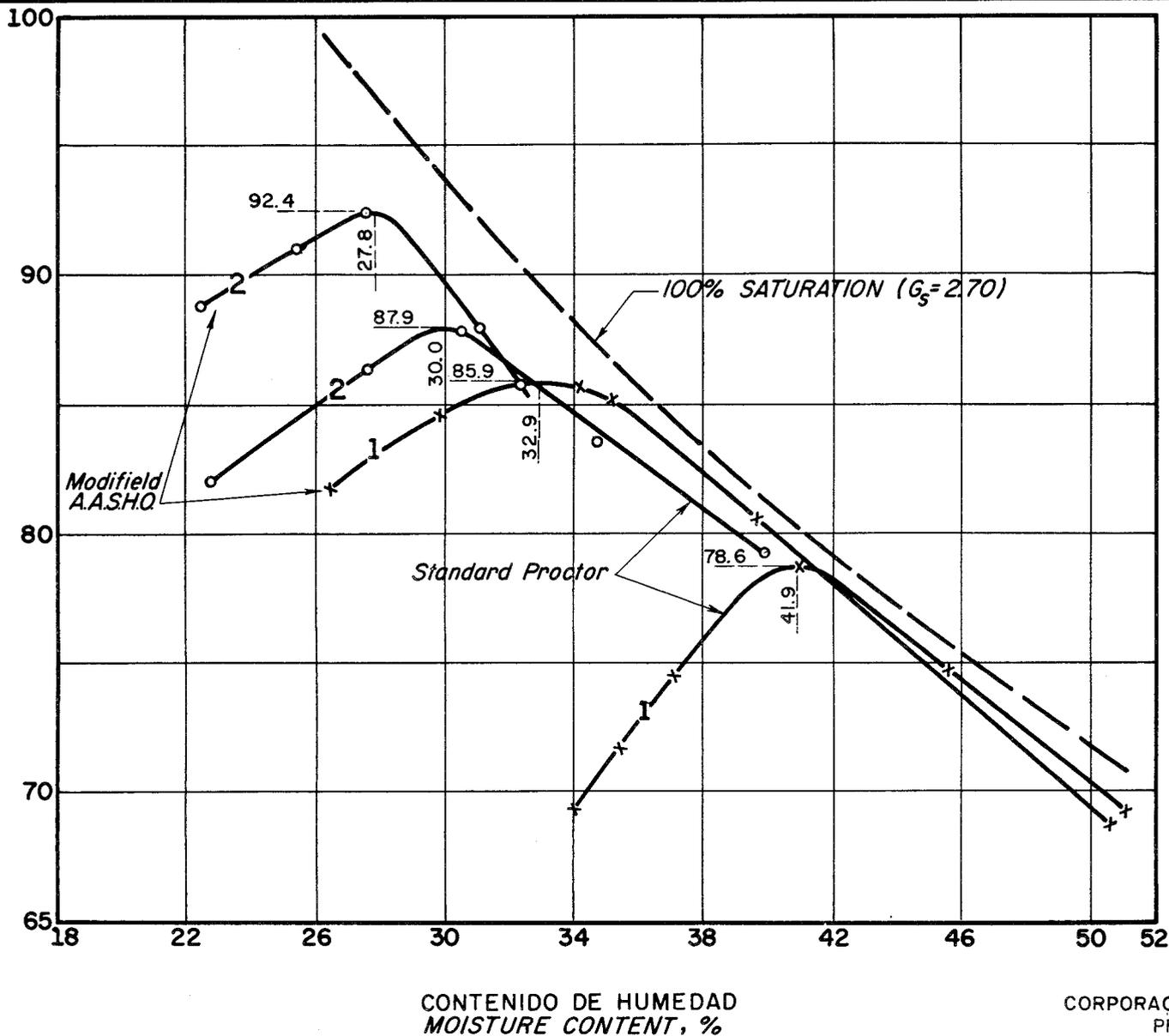


**LOCALIZACION
LOCATION PLAN**

Escala 1:5000



PESO UNITARIO SECO
DRY UNIT WEIGHT, lb/ft³



Muestra	Contenido de humedad natural	Limite líquido	Limite plástico
Sample	Natural moisture content %	Liquid limit %	Plastic limit %
1	46.3	50.7	30.9
2	34.8	40.7	33.3

Notas:

- 1) Muestra 1 sacada del apique 301 a 1m. de profundidad
Muestra 2 sacada del apique 302 a 1.2m. de profundidad
- 2) Apiques 301 y 302 :
Dique LA FERREIRA
- 3) Muestras de fanglomerado descompuesto

Notas:

- 1) Sample 1 taken from TP 301, 1m. depth
Sample 2 taken from TP 302, 1.2m. depth
- 2) Test pits 301 and 302 :
Located at LA FERREIRA dike site
- 3) Samples of highly weathered fanglomerate

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

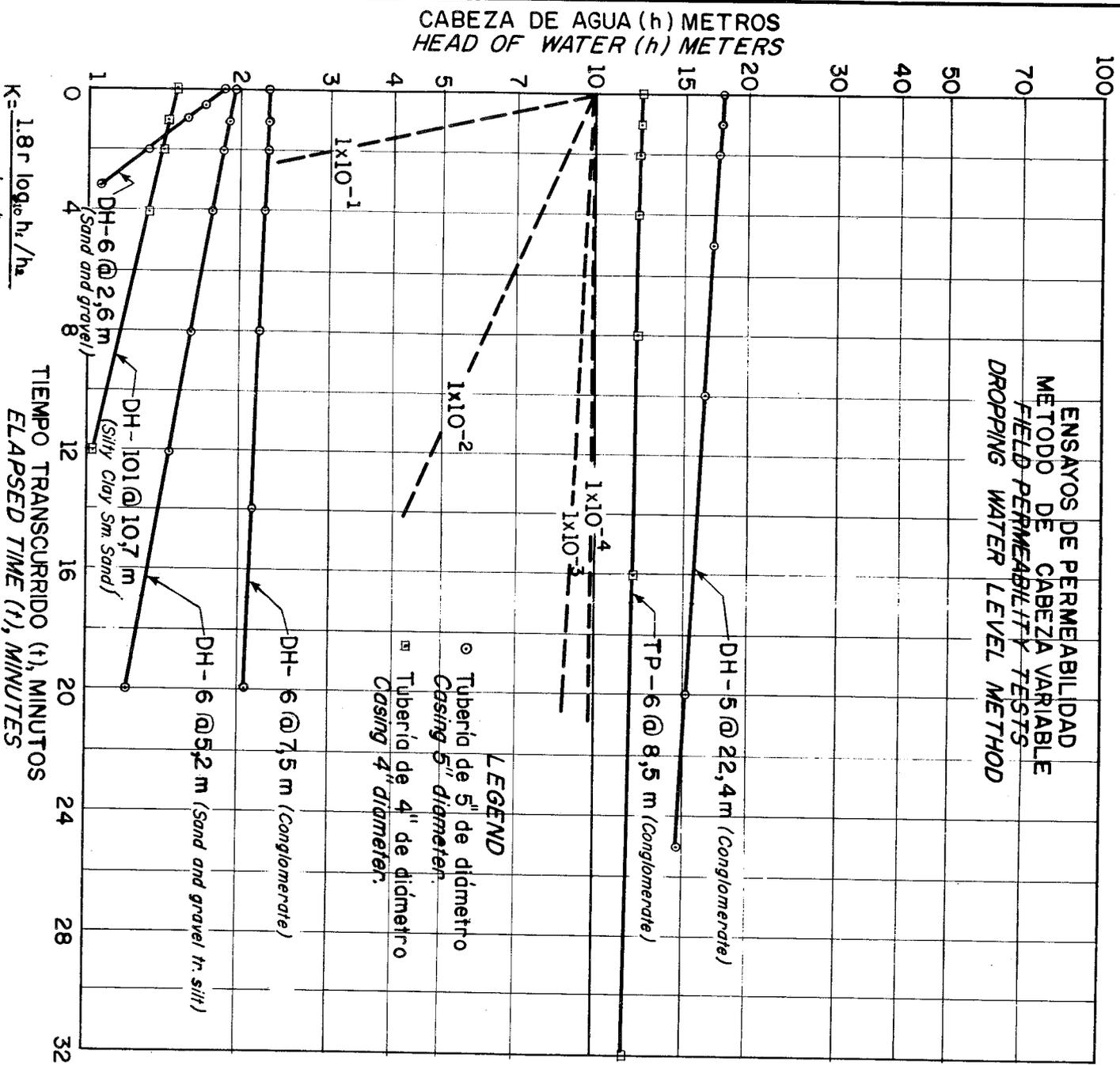
ENSAYOS DE COMPACTACION

FIG. B-12

OLAP- G8H-TAMS

FIG. B-12

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD
MÉTODOS DE CABEZA VARIABLE
FIELD PERMEABILITY TESTS
DROPPING WATER LEVEL METHOD



$$K = \frac{1.8r \log_{10} h_1/h_2}{t_2 - t_1}$$

r = Diámetro interior de la tubería
Inside diameter of casing.

h₁ y h₂ = Diferencia de elevación entre el nivel de agua en la tubería y la tabla de agua para los tiempos t₁ y t₂ respectivamente.
Difference in elevation between water level in casing and piezometric level at t₁ and t₂ respectively.

K = Coeficiente de permeabilidad.
Coefficient of permeability.

Nota: Las líneas discontinuas representan una escala de permeabilidades en cm/seg. para la tubería de 5".
Note: Dash lines represent a scale of permeability values in cm/sec. for the 5" diameter casing.

C V C

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
PROYECTO CIRO MOLINA GARCES
(TIMBA)

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

BIBLIOTECA

FECHA DE DEVOLUCION

El préstamo de este libro vence en la fecha del último
sello y durante este día debe hacerse la devolución
se cobrarán 0.50 c/tvos. de multa por cada día de retraso

15 OCT 1985
- 9 ABR. 1986

- 9 ABR. 1986