[illegible]

[illegible]水力発電計画

[illegible]アイ[illegible]調査報告書

[illegible]

[illegible]電力開発[illegible]

JICA LIBRARY
1031763[5]

コロンビア共和国

フルミート水力発電計画
フィジビリティ調査報告書

付　　録

海外技術協力事業団

国際協力事業団
受入月日 '84. 3. 19
登録No. 00944
705
64.3
KE

APPENDIX

Ⅰ　実施設計のために必要とする諸調査

Ⅱ　Julumito 水力発電計画にともなう CEDELCA 電力系統の検討

Ⅲ　水文気象データ

Ⅳ　地質及び材料

APPENDIX I 実施設計のために必要とする諸調査

目　　次

I.1　地形測量 …… I－1
　I.1.1　計画地点全域図 …… I－1
　I.1.2　基準点測量 …… I－1
　I.1.3　河川縦断測量 …… I－1
　I.1.4　地形測量 …… I－1
I.2　水文，気象調査 …… I－2
　I.2.1　水文調査 …… I－2
　I.2.2　気象調査 …… I－2
I.3　地質調査 …… I－2
　I.3.1　Julumito ダム地点 …… I－2
　I.3.2　Dike NO.1 地点 …… I－4
　I.3.3　Dike NO.2 地点 …… I－4
　I.3.4　取水口および調圧水槽地点 …… I－4
　I.3.5　Rio Cauca 取水ダム地点 …… I－4
　I.3.6　材料 …… I－5

FIGURE LIST

Fig. I-1-(1) Schedule of Field Investigation Works for Definite Study (1)

Fig. I-1-(2) Schedule of Field Investigation Works for Definite Study (2)

Fig. I-2 Location Map for Topographic Survey

Fig. I-3 Route Map for River Profile Levelling

Fig. I-4 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dam Site (Plan)

Fig. I-5 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dam Site (Section)

Fig. I-6 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dike No. 1 Site (Plan and Section)

Fig. I-7 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Waterway and Powerhouse Site (Plan and Section)

Fig. I-8 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Rio Cauca Diversion Dam Site (Plan and Section)

Fig. I-9 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Borrow Area and Quarry Site (Plan)

TABLE LIST

Table I-3-1 List of Proposed Geological Investigation Works (Sheet 1 of 2)

Table I-3-1 List of Proposed Geological Investigation Works (Sheet 2 of 2)

I　実施設計のために必要とする諸調査

第２章で勧告した如くJulumito水力発電計画の実施設計を行うためには，更に計画地点の詳細な調査，試験を実施しなければならない。

以下に実施設計開始までに完了を必要とする諸調査の内容を記述する。

なお，本調査はFigI－１のスケジュールに従って遂行することを希望する。

I．1 地形測量

I.1.1　計画地点全域図

Julumito計画の構造物，貯水池等を含む全域をCoverする図面としては，現在，等高線間隔２５m，縮尺$^{1}/_{10,000}$の航空写真測量図が存在するが，これを補測，修正して等高線間隔５mの計画地点全域図を作成する。

I.1.2　基準点測量（FigI－2　参照）

計画地点全域，特に土木構造物の処置される地点を相互に結ぶ基準三角網を設定する測量を行い，三角点を設置し，それぞれの座標を確立する。

上記基準点の座標はI.1.1の計画地点全域図（$^{1}/_{10,000}$）および以下に行う河川縦断測量，各地点の地形測量の基準としなければならない。

I.1.3　河川縦断測量（FigI－3　参照）

下記各河川の河川縦断測量を実施する。

(1)　Rio Cauca

Rio Cauca，Rio Sate合流点を起点として，上流のCauca橋上流約500mのRio Cauca Diversion Dam地点までの約30 Km。

(2)　Rio Palacé

Rio Palacé Diversion Dam地点上下流へ各２Km，合計４Km。

(3)　Rio Blanco

Rio Blanco Diversion Dam地点上下流へ各２Km，合計４Km。

(4)　Rio sate

Dam地点より上流へ約10 Km

I.1.4　地形測量（FigI－２参照）

Ⅰ．2　水文，気象調査

Ⅰ.2.1　水文調査

(1)　Rio Caucaの Julumito測水所，Rio PalaceのMalvasa測水所，およびRio Sateの測水所の観測資料を継続してしゅう集し，整備する。

(2)　Rio Palace およびRio Blancoの取水地点附近に測水所を開設し日流量の観測を行い，整備する。

(3)　上記各測水所において洪水時の時間流量の観測を行い，整備する。

(4)　上記のほか，計画流域近傍におけるRio Cauca の本・支流に設けられている測水所の流量観測資料を出来るだけ長期間にわたりしゅう集して整備する。

Ⅰ.2.2　気象調査

(1)　降雨量資料

(a)　計画流域内のPopayan，Purace，Coconuco，Floridaの各気象観測所における毎日の降雨量の観測記録を継続してしゅう集し，整備する。

(b)　Rio Palace 取水流域内に気象観測所を設け，日降雨量の観測を行い，整備する。

(c)　上記各観測所において多降水時の時間降雨量の観測を行い，整備する。

(d)　上記のほか，計画流域近傍におけるRio Cauca の本支流に設けられている気象観測所の降雨量観測記録を出来るだけ長期間にわたりしゅう集して整備する。

(2)　気温，湿度および蒸発量

Popayan 気象観測所における毎日の気温，湿度，および蒸発量の観測資料を出来るだけ長期間にわたりしゅう集して整備する。

Ⅰ．3　地 質 調 査

Ⅰ.3.1　Julumito ダム地点

この地点に関して行なう次に示す調査と試験は，火山灰層の圧密沈下，火山灰層および風化安山岩溶岩の地耐力ならびに耐水性を明らかにするために行なうものである。

A　コアボーリング

(1)　工事数量（８孔，計２２０ｍ）はTable Ⅰ－３－１に，孔の位置はFig Ⅰ－４およびFig Ⅰ－５に示す。

(2)　地質柱状図およびボーリング作業日報を作成する。

(3)　毎日削孔開始に先立って地下水位を測定すること。

B　テストピット

計画ダム頂付近にテストピットを掘削し，地質調査を行ない地質展開図を作成すると共に載荷試験を行なう。また，深さ１ｍごとに土質試験のための試料を採取する。工事数量はTable Ⅰ－

3－1に，孔の位置はFig I－4に示す。

C　現地透水試験

この試験は，ボーリング孔を利用し，シングルパッカー法により行なう。削孔5mごとに孔底より3mの個所にパッカーを装着し，水を定められた圧力で注入する。法入圧は，試験位置における貯水の水圧の1.5倍程度を最高圧とし，その範囲で圧力を段階的に上下させる。すなわち，昇圧・降圧は下記の方式による。

河床部でのボーリング孔での圧力（kg／cm²）……3－5－10－5－3

ダム翼部でのボーリング孔での圧力（kg／cm²）……1－3－1

こ試験に際しては，孔口近くで過大な圧力を作用させないように配慮し，孔口より深さ5mまでは1 kg／cm²以下の圧力に制限する。

D　現地載荷試験

この試験は火山灰層および風化安山岩溶岩の地耐力を推定するために行なうものである。試験は，トレンチ，調査横坑およびテストピットを利用し，荷重－沈下量曲線を作成し降伏荷重を算出する。

試験位置は下表の通りである。

Test point of "in situ" loading test

Name of test adit or pit		Test point (from portal in meter)	Number of test point
Adit	A－1	2, 5 and 10	3
	A－2	do	3
	A－3	do	3
	A－4	do	3
pit		1, 3 and 5m deep	3
		do	3

E　不かく乱試料による試験

(1)　透水試験

(2)　一面せん断試験……圧密，非排水試験として行ない，圧密時，せん断時の変形－応力曲線を作成する。

(3)　CBR試験……一面せん断試験，三軸圧縮試験および圧密試験との相関性を求めダム基礎の評価を行なう資料の一つとする。

(4)　三軸圧縮試験……圧密・非排水試験および圧密・排水試験を行なう。

(5)　圧密試験

基盤の透水性，圧密沈下およびせん断強度について考察するために行なう上記の試験に伴なって同一試料について次の試験を行なうべきである。

(6) 自然含水比

(7) 現場密度

(8) 乾燥密度

(9) 土粒子の比重

(10) 粒度……特に，0.074mm 以下の細粒子についての分布

(11) コンシステンシー……試料は出来るだけ自然含水比に近い状態で行ない試験時の含水比を測定する。液性限界の試験の際は試料の練り返しを充分に行なう。

(12) 現位置での飽和度および間隙比の算出。

I.3.2 Dike No.1 地点

Dike No.1 の基礎地盤の地耐力と耐水性について研究するため下記の調査を行なう。

A. コアボーリング

工事数量（3孔，計75m）はTable I－3－1に，孔の位置はFig I－6に示した。

B. テストピット

(1) 工事数量（4坑，計20m）はTable I－3－1に，坑の位置はFig I－6に示した。

(2) 深さ1m，3mおよび5mより不かく乱試料を採取して Julumito ダム地点と同様な試験を行なう。

C. 現地透水試験

ボーリング孔を利用して Julumito ダム地点と同様な試験を行なう。

I.3.3 Dike No.2地点

Dike No.2の基礎地盤の地耐力と耐水性について研究するため，下記の調査を行なう。

A. テストピット

(1) 工事数量（5坑，計25m）はTable I－3－1に示した。

(2) 深さ1m，3mおよび5mより不かく乱試料を採取して透水試験，圧密試験およびCBR試験を行なう。試験の要領は Julumito ダム地点のそれと同様。

B. 現地透水試験

テストピットを利用し，定水位法により試験を行なう。

I.3.4 取水口および調圧水槽地点

取水口および調圧水槽の基礎地質状態を明らかにするためコアボーリングを行なう。その数量は取水口地点で1孔，50m，調圧水槽地点で1孔，70mである。孔の位置はFig I－7に示した。

I.3.5 Rio Cauca 取水ダム地点

河床砂礫および段丘礫層の存在状態を明らかにし，ダム基礎の掘削および基礎処理に関する資料を得るため，コアボーリングおよびボーリング孔を利用して透水試験を実施する。

A．コアボーリング

工事数量（3孔，計150m）はTable I－3－1に孔の位置はFig I－8に示す。

B．現地透水試験

削孔5mごとに，孔底より3mの個所にシングルパッカーを装着し，透水試験を行なう。砂礫層のため，パッカーがうまく装着できぬ場合には，5m区間のうち上部2mはセメンテーションを行なってその部分にパッカーを装着する。

注水に用いる圧力は最高3 kg/cm²程度とするが，地表付近は注水が地表に漏れぬように圧力は軽減されるべきである。

I.3.6 材　料

I 原石山地点

調査地点は，ほゞ水平に横たわる安山岩熔岩から構成されている。調査横坑による調査が望ましいが，地形がけわしく水平層であるので，コアボーリングによる調査を行なうこととした。

A．コアボーリング

(1) 工事数量（2孔，計330m）はTable I－3－1に，孔の位置はFig I－9に示す。

(2) 採取したコアを利用し，密度および吸水量の試験を行なう。なお，一軸圧縮強度を測定するのが望ましい。

II 土取場地点

ダムのしゃ水壁材料に利用しうるものは主として火山灰層である。

この材料は細粒であるのでしゃ水性は優れているが，高含水比であるので圧密沈下，せん断破壊，盛立時の間隙水圧の発生，施工機械のトラフィカビリィティなど種々の問題を含んでいる。

従って，火山灰層の特性をよく研究し，施工方法，盛立管理など土木技術にその成果を反映させなくてはならない。

A．コアボーリング

(1) 工事数量（2孔，計80m）はTable I－3－1に，孔の位置はFig I－9に示す。

(2) 調査および作業の要領はJulumitoダム地点のそれに準ずるが，採取したコアは必要に応じ土質試験の試料に供する。

B．テストピット

(1) 工事数量（4坑，計40m）はTable I－3－1に孔の位置はFig I－9に示す。

(2) 深さ1mごとに土質試験に供する試料を採取する。試料は乱れた試料でよいが，試料採取個所の現地湿潤密度および含水比を測定する。

C．土質試験

土質試験の項目は下記の通りである。なお，注意すべき項目については簡単な解説を付した。

(1) 現場湿潤密度

(2) 自然含水比

(3) 粒度分析…… 0.074 mm 以下の粒度についても分析を行ない，シルトおよび粘土の組成を明らかにする。

(4) コンシステンシー…… 液性限界（ＬＬ）および塑性限界（ＰＬ）について行なう。試料は自然含水比に近い状態のものを用い，試料直前の試料の含水比を資料に明記する。

(5) 分類…… 統一分類法（of USBR；Earth Manual）および改訂ＰＲ法（cf AASHO；　）による。

(6) 土粒子の比重

(7) 自然状態での間隙比

(8) 自然状態での飽和度

(9) 大型突き固め透水試験…… 突き固めの方法はModified proctor large scale（AASHO）を基準とする。

摘要；これらの試験の試料は気乾燥させたものを用いるべきであり，炉乾燥した試料に加水したものを用いるべきではない。しかし，試験を急ぐ場合には，60°C以下の温度で炉乾燥させて試料を調製して用いることは可能である。

また，突き固め試験では，各含水比の試料を調整したものを用い，同一の試料を繰返して使用することは避ける。

(10) 小型突き固め透水試験…… 突き固めの方法はModified proctor small scale(AASHO)を基準とする。

(11) ＣＢＲ試験…… 最適含水比で突き固めた試料を用いる。

(12) 三軸せん断試験…… 圧密排水試験および圧密非排水試験について行なう。

(13) 圧密試験

(14) 一面せん断試験…… 圧密排水せん断試験を行なう。圧密過程，せん断過程の変位および応力を明示する。

(15) ダム盛立方法に関する資料の収集と研究…… 使用するコア材料は，細粒である上に含水比が高い土質材料であり，普通の土質材料とは異なった特性を持っている。例えば，自然含水比に近い材料で突き固め試験を行なった場合，規定の突き固め回数に達しないうちに試料は流状を示し，以後の突き固めが不可能となることがある。この挙動は施工の際の過度のこね返しや過転圧による土質の劣化現象と結びつく，従って，同じ最適含水比でも締め固め仕事量により土の強度およびトラフィカビリティが変化するので，最も適した締め固め仕事量を算出する試験が必要である。

この見通しをたてるには，突き固め試験〔Modified proctor scale (AASHO)〕の突き固め回数を変えた試料の飽和度および空隙率を算出する。また，突き固め回数と試料のコーン試験，プロクター貫入試験またはＣＢＲ試験などの強度との関係を図示する。これらの資料を参考として，最も強度を示す上の飽和度を算出して，求められた飽和度をコアの盛立管理の目安とするのが適当であるように思われる。最も適した飽和度を示す締め固め仕事量は，施工の際の転圧方法の参考とすることができる。

Table I-3-1 List of Proposed geological investigation works (sheet 1 of 2)

(1) Core boring

Site	Nate of hole	Location	Angle of hole	Length of hole (m)	Remarks
Julumito dam (main dam)	DH-206	left bank	vertical	30	final size of hole, BX.
	DH-207	do	do	40	do
	DH-208	right bank	do	30	do
	DH-209	do	do	40	do
	DH-210	river bed	do	20	do
	DH-211	do	do	20	do
	DH-212	do	do	20	do
	DH-213	do	do	20	do
	Total	8 holes,	220m long.		
Dike No. 1	DDH-101	left bank	vertical	25	final size of hole, NX.
	DDH-102	right bank	do	25	do
	DDH-103	river bed	do	25	do
	Total	3 holes,	75m long		
Intake Surge tank	DH-8		vertical	50	final size of hole, BX.
	DH-9		do	70	do
Rio Cauca diversion dam	CDH-1	left bank	vertical	30	final size of hole, BX
	CDH-2	right bank	do	30	do
	CDH-3	do	do	30	do
	CDH-4	river bed	do	30	do
	CDH-5	do	do	30	do
	Total	5 holes	150m long.		
Borrow area	BDH-1		vertical	40	final size of hole, NX.
	BDH-2		do	40	do
	Total	2 holes	80m long		
Quarry	QDH-1		vertical	150	final size of hole, NX.
	QDH-2		do	180	do
	Total	2 holes	330m long.		
	Grand total	22 holes	975m long.		

The schedule of proposed works is indicated in Table I-1-2.

Table I-3-1 List of proposed geological investigation works (sheet 2 of 2)

(2) Test pit

Site	Name of pit	Location	Depth of pit pit (m)	Remark
Julumito dam (main dam)	TP-201	left bank	7	
	TP-202	do	7	
	TP-203	right bank	7	
	TP-204	do	7	
	Total	4 pits	28m long	
Dike No. 1	DTP-101	left bank	5	
	DTP-102	do	5	
	DTP-103	right bank	5	
	DTP-104	do	5	
	Total	4 pits	20m long	
Dike No. 2	DTP-201		5	
	DTP-202		5	
	DTP-203		5	
	DTP-204		5	
	DTP-205		5	
	Total	5 pits	25m long	
Borrow area	BTP-101		15	
	BTP-102		15	
	BTP-103		15	
	BTP-104		15	
	Total	4 pits	60m long	
	Grand total	17 pits	133m long	

The schedule of proposed works is indicated in Table I-1-2.

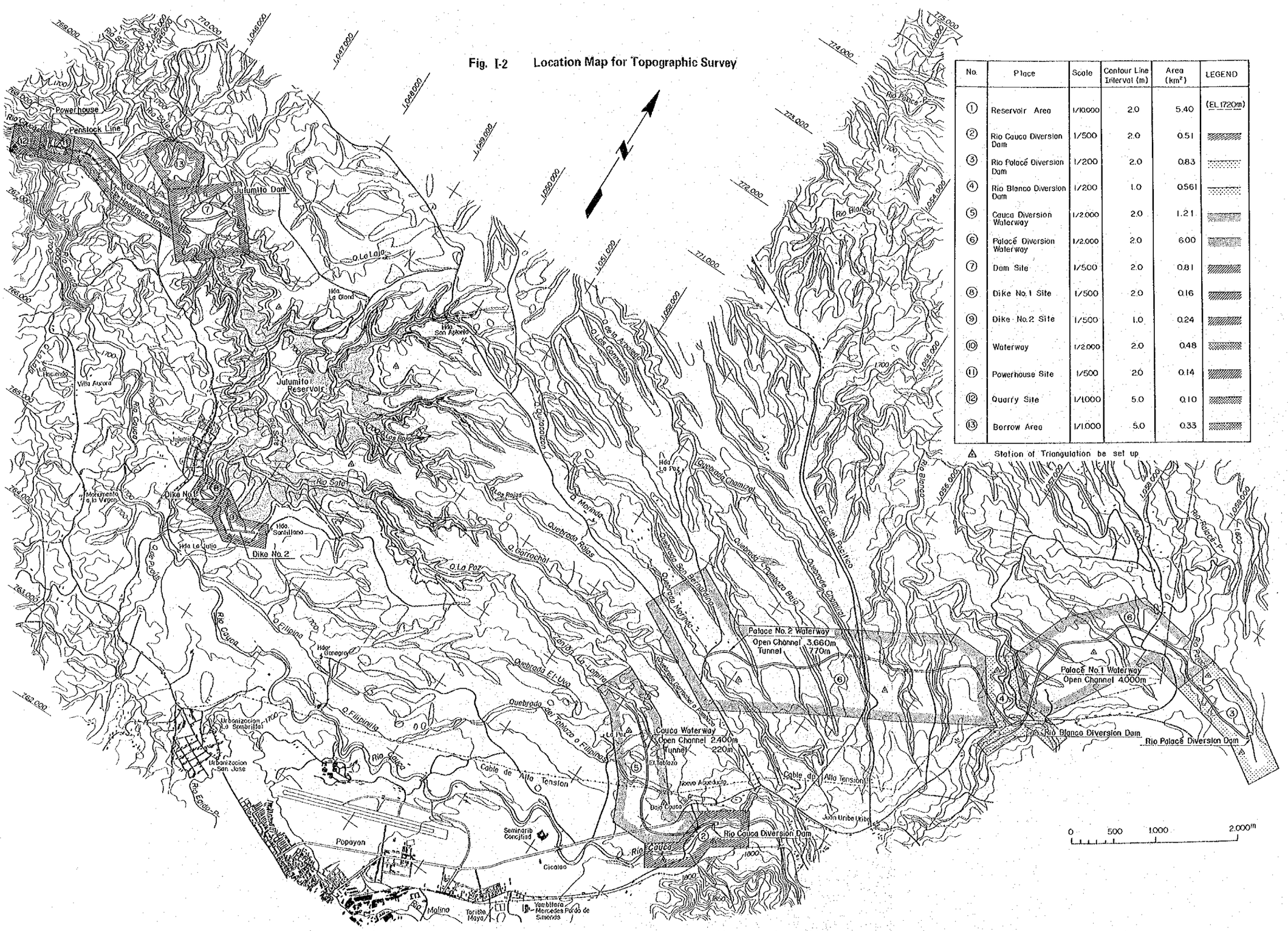
Fig. I-1-(1) Schedule of Field Investigation Works for Definite Study (1)

Items	Quantity	1973			1974												1975					
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Triangulation and Leveling	Station of Triangulation (24 points)																					
River Profile and Leveling	Rio Cauca 30.0 km Rio Palace 4.0 Rio ; 4.0 Rio Sate 10.0																					
Topographical Survey	(km^2)																					
Reservoir Area (1/10.000)	5.40																					
Diversion Dam Site																						
Rio Cauca (1/500)	0.51																					
Rio Palacé (1/200)	0.83																					
Rio Blanco (1/200)	0.56																					
Diversion Waterway																						
Cauca (1/2.000)	1.21																					
Palacé (1/2.000)	6.00																					
Dam Site (1/500)	0.81																					
No.1 Dike Site (1/500) No.2 Dike (1/500)	0.40																					
Waterway (1/2.000)	0.48																					
Powerhouse Site (1/500)	0.14																					
Quarry Site (1/1.000)	0.10																					
Borrow Area (1/1.000)	0.33																					
Check of Existing Aerial Topographical Map																						
Preparation of Hydrogic Data																						
Preparation of Meteorological Data																						

Fig. I-1-(2) Schedule of Field Investigation Works for Definite Study (2)

Items		Quantity	1973 Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	1974 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	1975 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Main dam site	Drill hole	220m																					
	Test pit	28m																					
	Field permeability test.	44m																					
	Field bearing test.	18m																					
	Laboratory test for foundation																						
No.1 dike site	Drill hole	75m																					
	Test pit	20m																					
	Field permeability test.	15m																					
	Laboratory test for foundation																						
No.2 dike site	Test pit	25m																					
	Field permeability test	5m																					
	Laboratory test for foundation																						
Cauca diversion dam site	Drill hole	150m																					
	Field permeability test.	30m																					
Intake site	Drill hole	50m																					
Surge tank site	Drill hole	70m																					
Quarry site	Drill hole	330m																					
	Laboratory test for rock material																						
Borrow area	Drill hole	80m																					
	Test pit	60m																					
	Laboratory test for soil material																						

Fig. I-2 Location Map for Topographic Survey


Powerhouse
Penstock Line
Headrace Tunnel
Julumito Dam
Julumito Reservoir
Dike No.1
Dike No.2
Villa Aurora
Hda. Sanitiano
Hda. La Glorid
Hda. San Antonio
Hda. La Paz
Hda. Ginegra
Urbanizacion La Sombrilla
Urbanizacion San Jose
Popayan
Seminario Conciliad
Cicalao
Yambitara
Mercedes Pardo de Simonds
Rio Cauca
Rio Molino
Rio Palace
Rio Blanco
Palace No.2 Waterway
Open Channel 3,660m
Tunnel 770m
Palace No.1 Waterway
Open Channel 4,000m
Cauca Waterway
Open Channel 2,400m
Tunnel 220m
Rio Blanco Diversion Dam
Rio Palace Diversion Dam
Rio Cauca Diversion Dam
Cable de Alta Tension
Nuevo Aqueducto
Quebrada Rojas
Quebrada El Uvo
Quebrada del Tablazo o Filipinas
Quebrada Chamizal
Quebrada Cumbaza Bajo
Quebrada Cumbaza
Quebrada San Bernardino
Quebrada Molino
Quebrada Cumbaza o Pambaz
Quebrada Lo Lopez
Quebrada Morinda
Quebrada Los Rojas
Quebrada Los Colores
Quebrada Los Comunes
Quebrada Lo Lalo
Quebrada Lo Filipina
Quebrada Lo Filipinita
Quebrada Lo Paz
Quebrada Lo Carrochal
Quebrada Lo Sate
Quebrada Lo Julio
Quebrada Lo Pajas
Quebrada Lo Incendio
Quebrada Lo Cauca
Quebrada Lo Blanco
Quebrada Lo Palace
Quebrada Lo Molino
Quebrada Lo Cauca
Quebrada Lo Palace
Quebrada Lo Palace
Quebrada Lo Palace

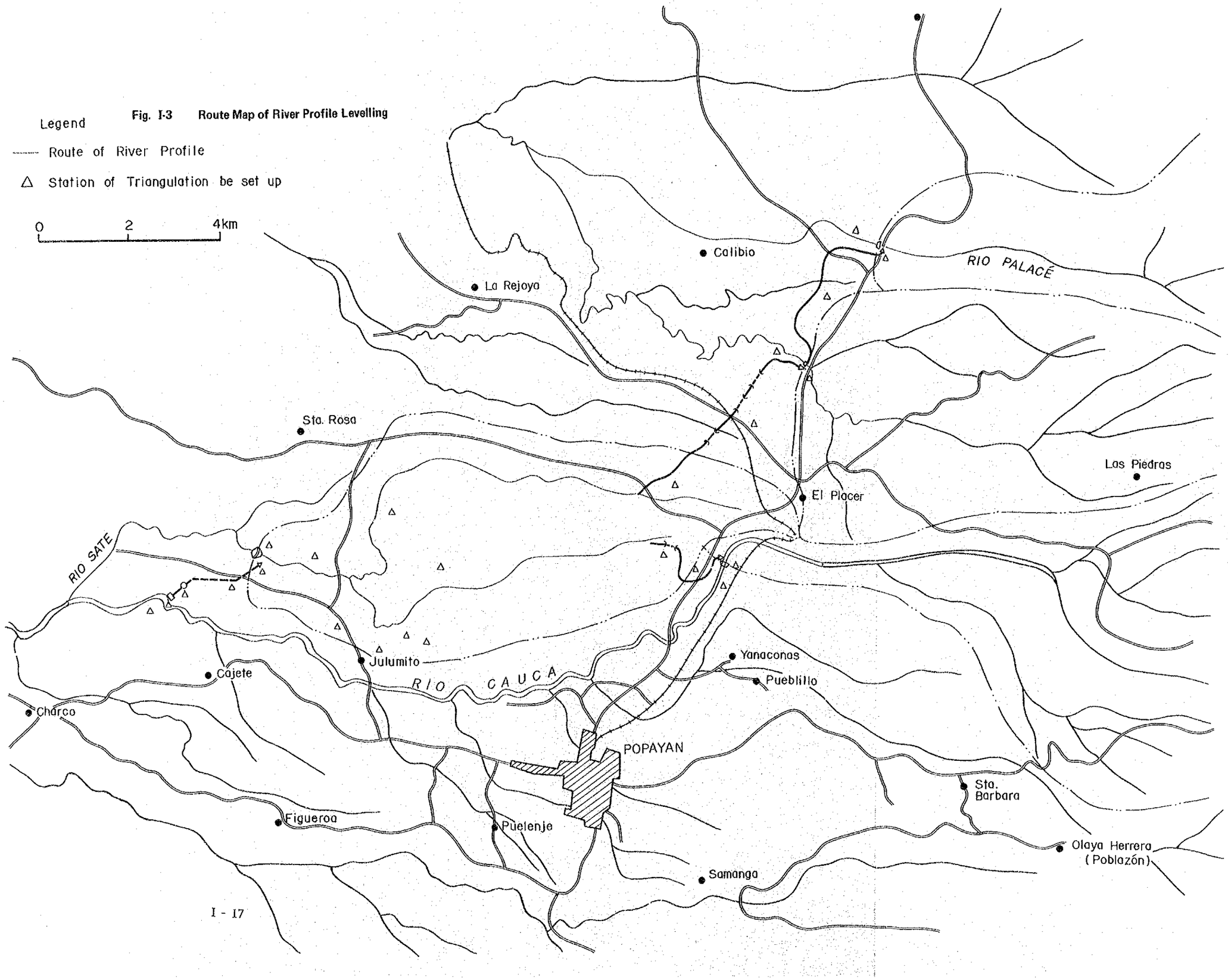


Fig. I-3 Route Map of River Profile Levelling

Fig. I-4 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dam Site (Plan)

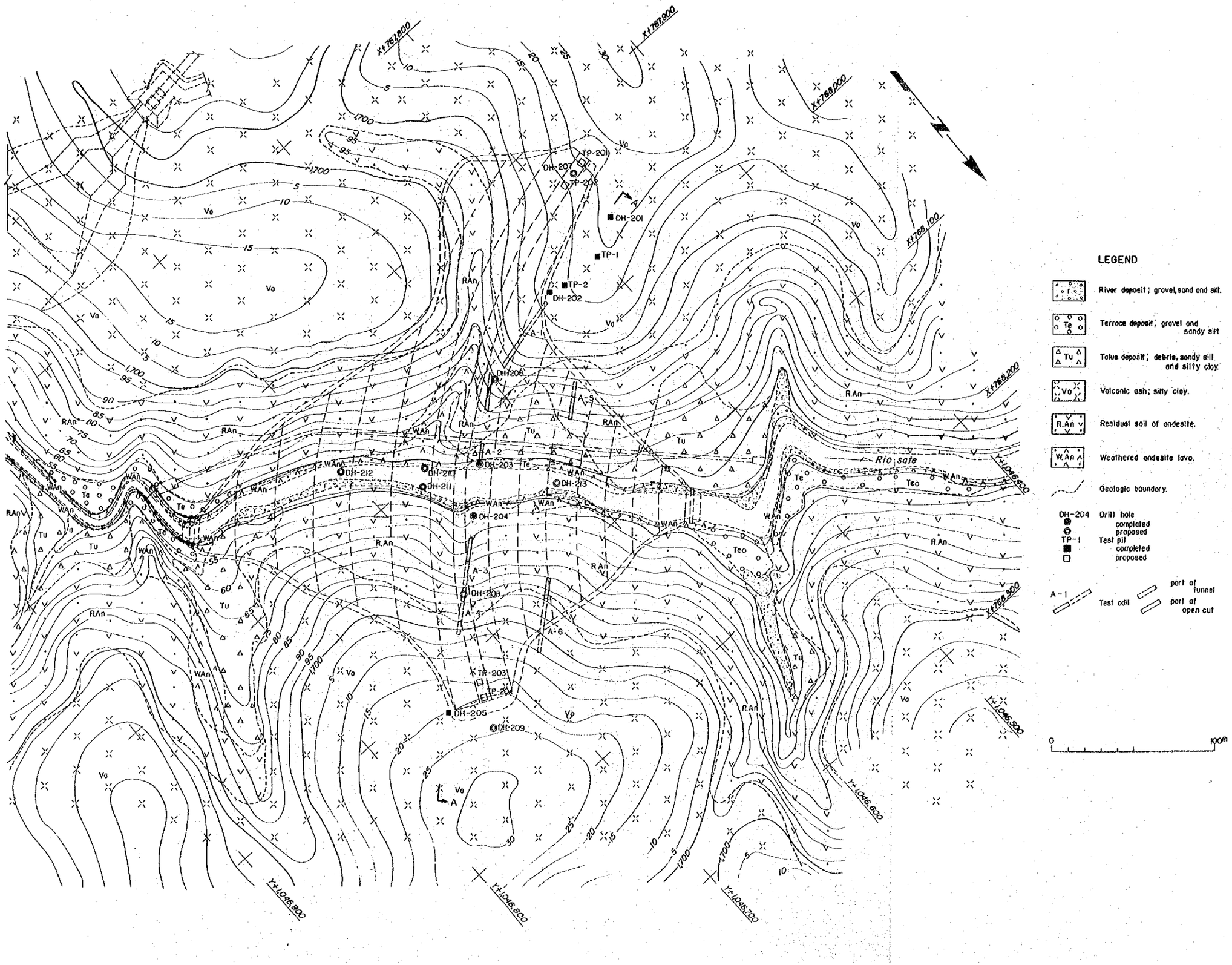


Fig. I-5 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dam Site (Section)

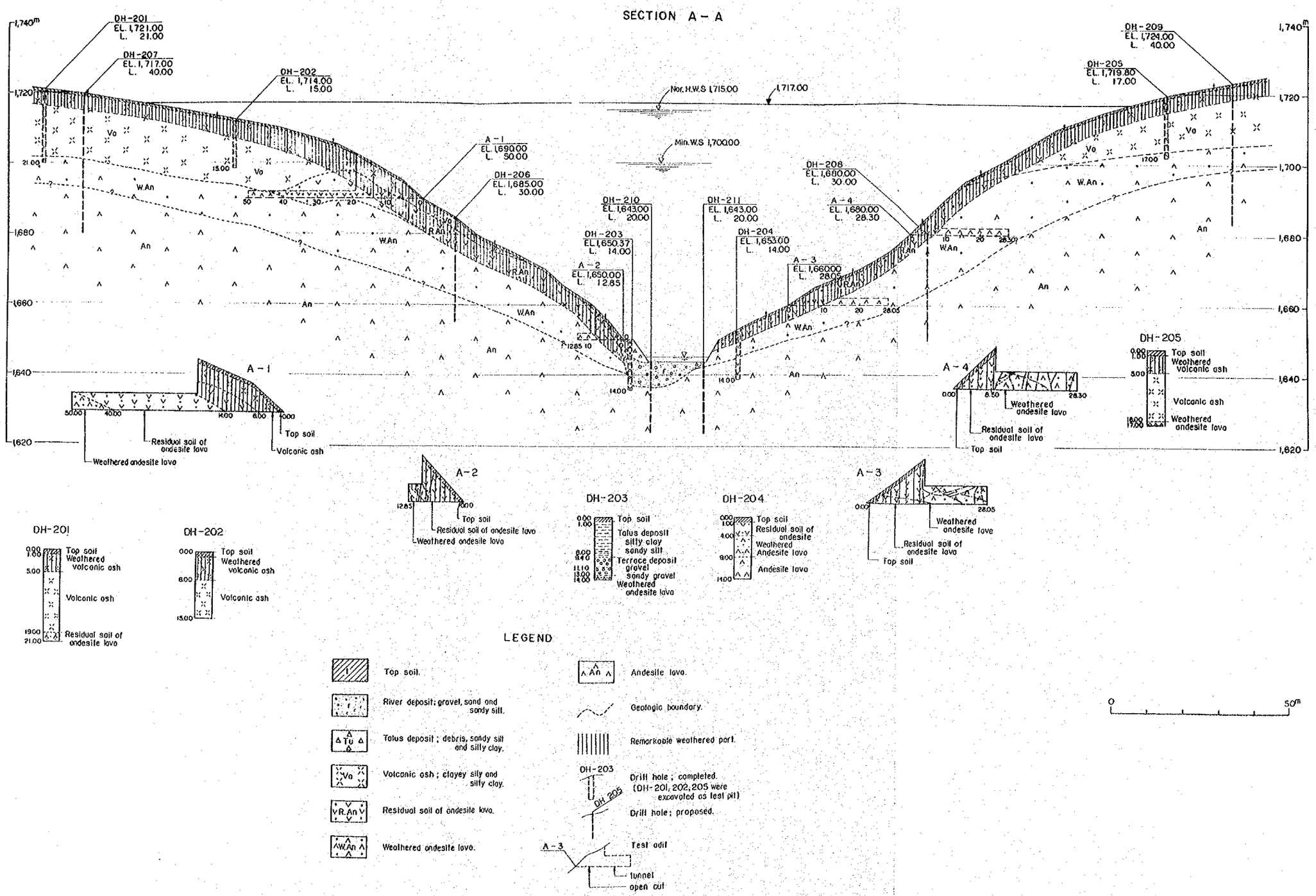
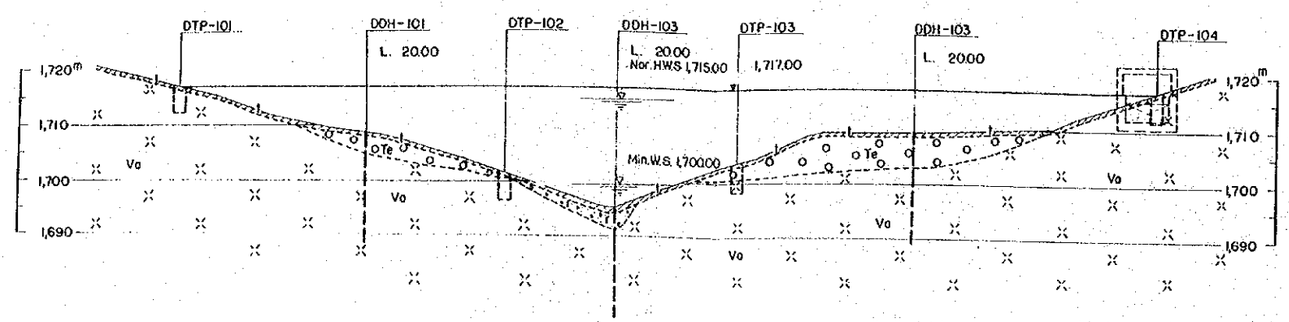
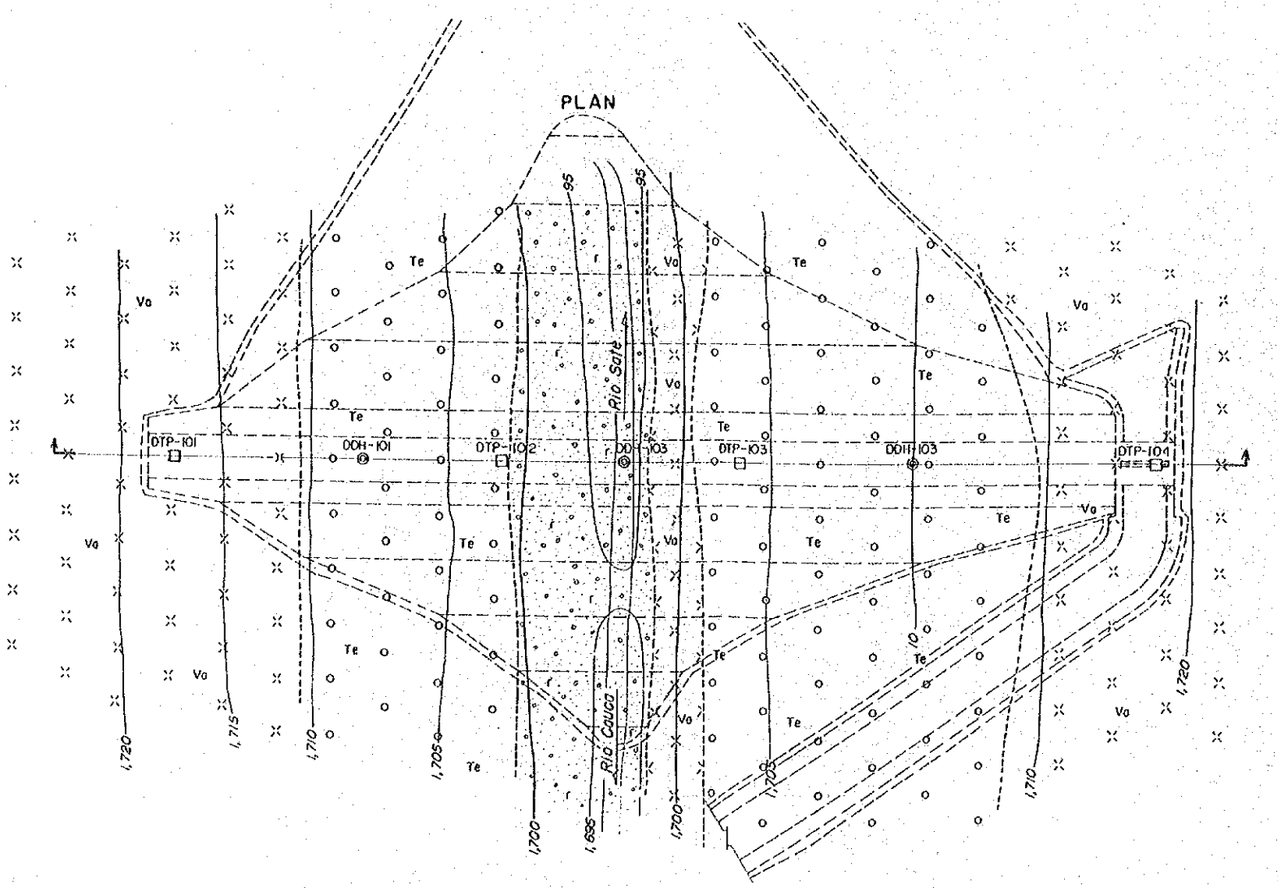


Fig. I-6 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Dike No. 1 Site (Plan and Section)

SECTION





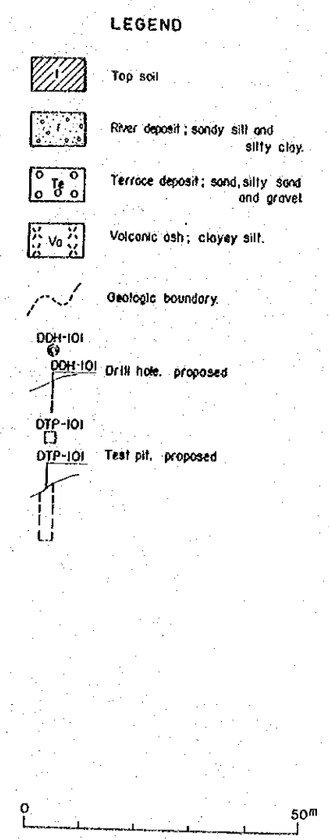


Fig. I-7 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Waterway and Powerhouse Site (Plan and Section)

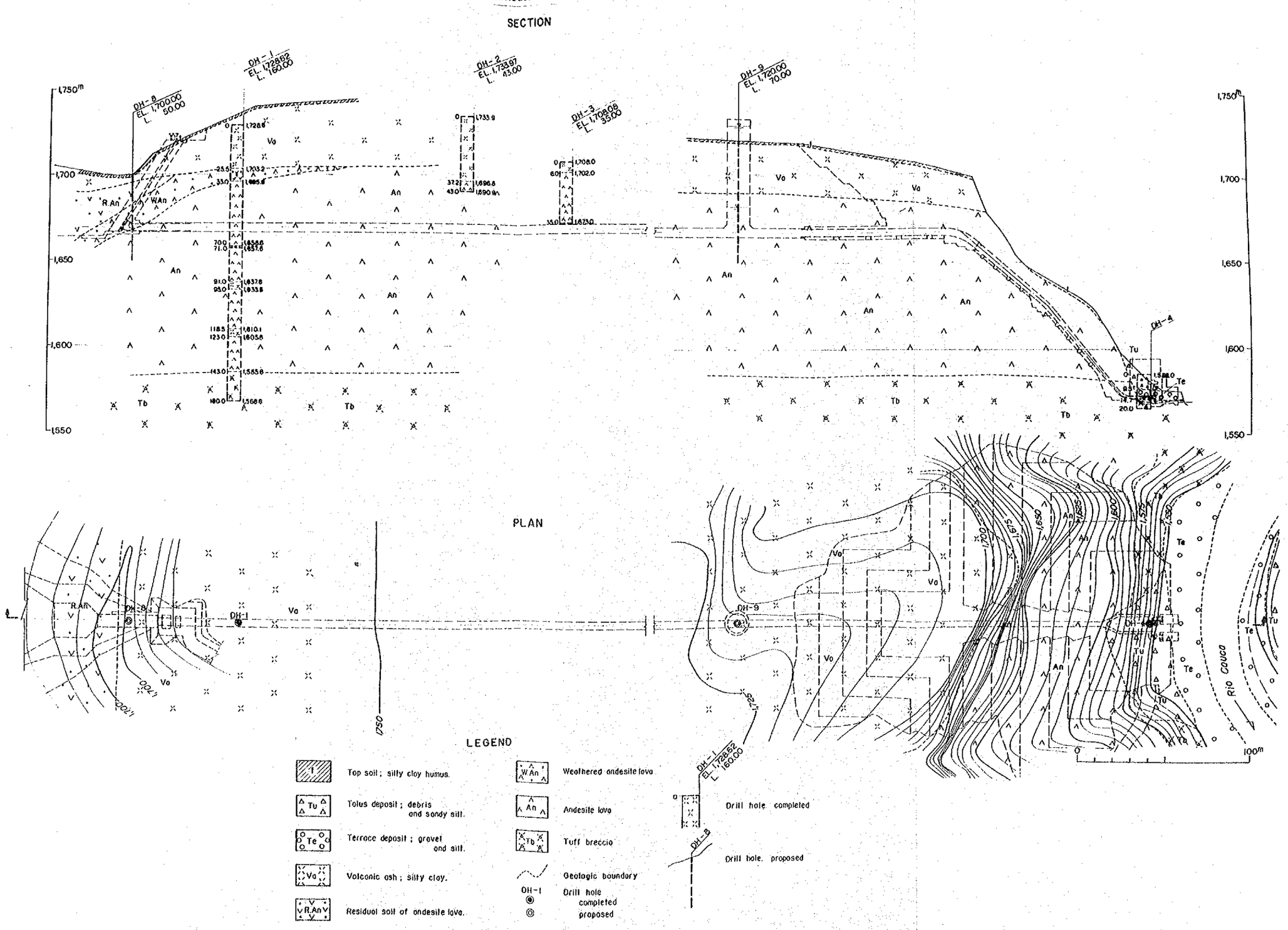


Fig. I-8 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Rio Cauca Diversion Dam Site (Plan and Section)

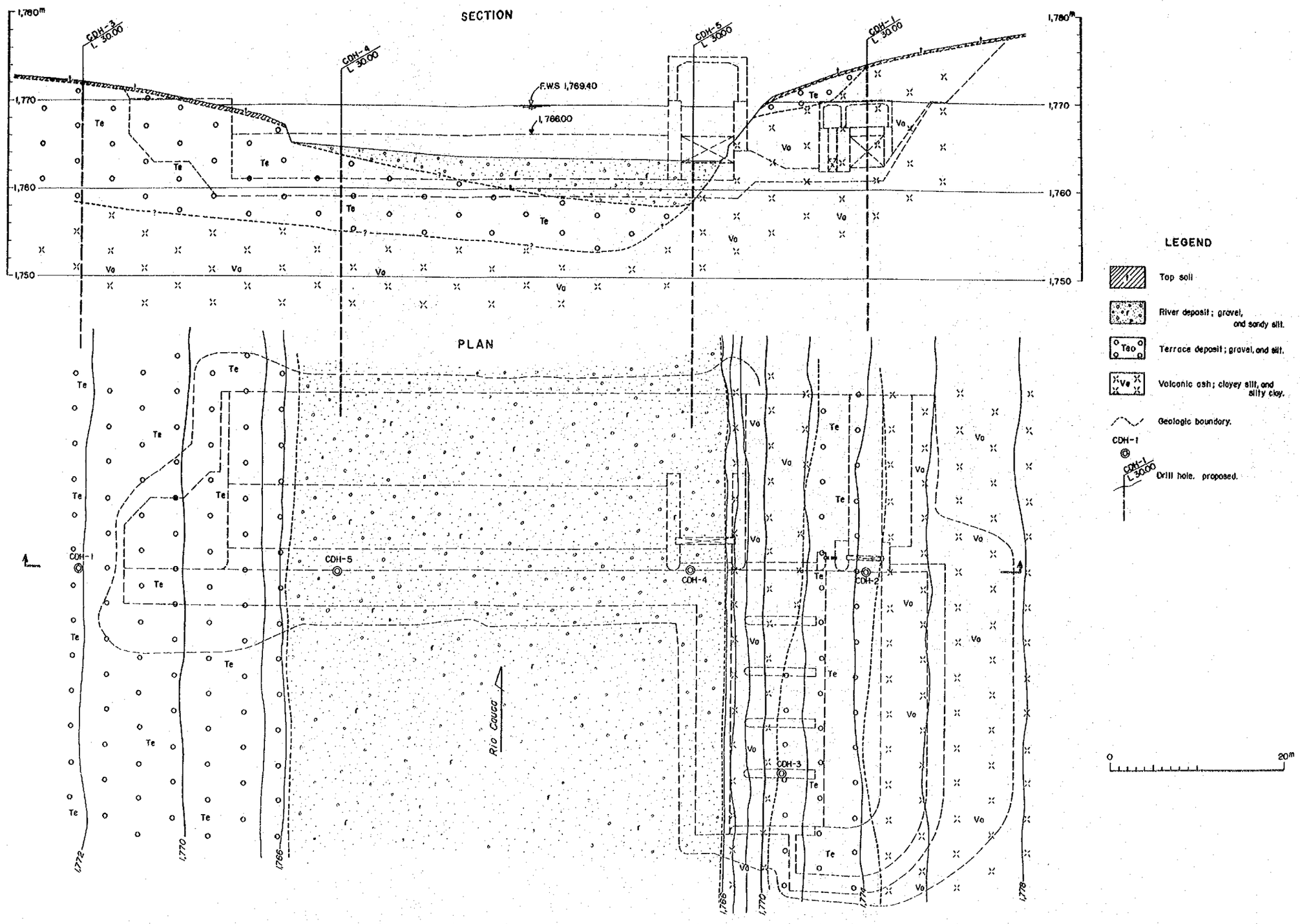


Fig. I-9 Location Map for Recommended Geological Investigation Works at Borrow Area and Quarry Site (Plan)

APPENDIX II Julumito水力発電計画にともなうCEDELCA電力系統の検討

目　　次

II.1　前提条件 …… II－1
II.2　電力沙流電圧調整計算 …… II－1
II.3　系統安定度の検討 …… II－3
II.4　短絡容量 …… II－4

FIGURE LIST

Fig. II-1 Diagram of CEDELCA-CEDENAR System

Fig. II-2 Impedance Map

Fig. II-3-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1976)

Fig. II-3-2 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1976)

Fig. II-4 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1978)

Fig. II-5 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1980)

Fig. II-6-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1982)

Fig. II-6-2 Power Flow and Voltage Regulation (Peak 1982, in case additional Popayan - Pasto Line is strung.)

Fig. II-7-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1985)

Fig. II-7-2 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1985)

Fig. II-7-3 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1985, in case additional Popayan - Posto Line is strung.)

Fig. II-7-4 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1985, in case additional Popayan - Posto Line is strung.)

Fig. II-8-1 Calculation Recording Chart of Transient Stability (3LG-open, 1980)

Fig. II-8-2 Calculation Recording Chart of Transient Stability (3LG-open, 1985)

Fig. II-9-1 Short Circuit Capacity (1982)

Fig. II-9-2 Short Circuit Capacity (1985)

TABLE LIST

Table II-1 Projected Power Flow

Table II-2 Years of Power Flow and Voltage Regulation Calculation

Table II-3 Projected Capacity of Transformer

Table II-4 Calculation Results of Voltage Regulation at Each Substations

Table II-5 Required Capacity of Static Condenser

Table II-6 Transmission Line Loss

Ⅱ Julumito 水力発電計画にともなう CEDELCA電力系統の検討

Julumito 発電所（26.5MW×2）はCEDELCA 電力系統に投入され，Popayan，Rio Mayo，Pasto，Ipiales の各変電所等，コロンビヤ南部の地区の需要増加にあてられる。

今回の電力系統の検討にあたって，Digital 計算器（IBM 360－50H）により，電力汐流，電圧調整計算，過渡安定度計算，短絡容量計算を行い，電力系統運用に必要な諸条件を求めた。

Ⅱ．1 前提条件

CEDELCA 電力系統の検討にあたっては次の前提条件を設定した。

(イ) 既設電力系統は，Pance変電所（CVC）からコロンビヤ南部のIpiales 変電所まで伸びる400Kmの115kV送電線と各変電所から広がる33 KVのFeeders から成っているFigⅡ－1にJulumito計画を含んだCEDELCA 電力系統を示す。

(ロ) Julumito発電所は1982年に115kV1回線送電線10 Kmにより，Popayan 変電所にてCEDELCA系統に連系され運転される。

(ハ) 1985年までの需要想定は，各変電所についてTableⅡ－1の通り想定する。また off peak 時点の需要は，現在及び想定の日負荷曲線より想定する。

(ニ) 供給力は既設のRio Mayo発電所（21 MW），および33 kVに並列される小水力発電所，1973年運開するFlorida Ⅱ発電所（24 MW）であり，過不足分は連系されるPance変電所より，期待出来る。又，1982年にはJulumito発電所（53 MW）が，これら地区の需要増加に対して運開される。

(ホ) Pasto変電所の2次側33 kV系に並列されるDiesel 発電所は，1976年以降は予備力として使用されるものとする。

Ⅱ．2 電力汐流電圧調整計算

前述の通りJulumito 発電所はFloridaⅡ発電所と共にPopayan 変電所にて中央系統に並列され，これより250km におよぶ送電線によってPasto，Ipiales地区需要に電力を輸送する。

電力汐流，電圧調整計算にあたって，この系統の運用が容易で，且つ経済的な設備投資がなされる様，1976，1978，1980，1982，1985年の5年度に亘る計算を行い，各変電所の電圧，各変圧器のタップの選定，又必要に応じて調相設備の設置，送電線増強等の設備投資も含めて検討している。汐流計算に使用された，インピーダンスマップはFig Ⅱ－2に示す。

計算結果はFig Ⅱ－3－1～Fig Ⅱ－7－4に示す通りである。汐流計算にあたって次の条件を設定した。

(イ) 負荷電力率は，現在の負荷力率及び将来の需要構成から0.90とした。

(ロ) 220kV系統に連系されるPance変電所連系点電圧は，100%とする。

(ハ) 変電所変圧器はTableⅡ－3に示すように，その需要に見合うよう30 MVA unitで増設する。ただし，Ipiales変電所変圧器は，その需要増加率が小さいので10 MVA unit増設とした。

(ニ) 既設変圧器はPopayan等一部主要変電所にはLRT付きもあるが，他は無電圧タップ±5%をもつものとした。

電圧調整計算にあたって，Popayan変電所は主要供給発電所をもっているので，尖頭時(peak)105%(120.75kV)程度の電圧を保持するものとした。また，これより，200～250Km遠方需要地であるPasto，Ipiales変電所まで10%(11.5kV)の電圧regurationをもつものとし，これら変電所に必要な調相設備を設置するものとする。尚off peak時，flat regurationに近くなる。

(1) 電圧変動

潮流計算結果より，各変電所における電圧変動を整理し，TableⅡ－4に示す。ただし，Pasto Ipiales変電所に於いて，必要な調相設備の設置を行っている。Peakおよびoff peakの間のPasto，Ipiales変電所の電圧変動は1976年1%，1985年で4%程度であり，他の変電所もこの程度か，これ以下である。また，1984年頃Popayan～Pasto間を2回線とした場合，電圧変動は8%程度となる。LRTのない変圧器の無電圧タップは，Popayan変電所で100.0－102.5%，Pasto，Ipiales変電所で95%を使用することが出来る。また，Popayan～Pasto間を2回線とした後は以西の変電所変圧器タップは97.5%程度が適当である。

既設送電線のみでCEDENAR電力系統に良質の電力を供給するためには，特に遠方需要端であるPasto，Ipialesには電圧調整設備と併わせて，変圧器に±10%のLRT設置が望ましい。

(2) 調相設備の設置

FigⅡ－3－1～FigⅡ－7－4の電力潮流計算結果，その他から算出された必要調相設備をTableⅡ－5に示す。調相設備は1976年にPasto，Ipiales両変電所合計で2.6MVAから，1982年に25.5MVAが必要であり，1985年には44MVAに急増する。しかし，1985年にPopayan－Pasto間が2回線になっていれば，設備量は減少して23.5MVAになる。

調相設備は前記変圧器タップ巾と関係するが，5～10MVA単位で変圧器2次側に設置する。大巾の電圧調整をこれで行い微調整を変圧器タップで行う場合が一般的である。本系統においては，これら調相設備により変電所電圧変動は，それ程大きくはならない。

(3) 送電線増強計画

CEDELCA－CEDENAR系統のpeak時系統全体の電力損失はPopayan－Pasto間の2回線化後の比較を含めてTableⅡ－6に示す。

現在Popayan－Pasto 間187 kmは2回線鉄塔1回線架線で，2回線に増強することは比較的容易である。Pasto，Ipiales 地区の需要が増大する1980年以降で系統損失が4.3 MW，1985年で9.5 MWに達し，この区間の2回線化を考えるべきである。

TableII－6は各年度に2回線とした場合の損失との比較を示しているが，2回線としたことによるPeak KWの節減は1982 年に1.3 MW，1985 年には4.1 MWに達する。

(4) 電力汐流電圧調整計算結果より以上総合して次の様にrecommendする。

(イ) Popayan － Pasto－Ipiales 間に，電圧reguration 10 %を採る。

(ロ) Julumito発電所変圧器タップ102.5－105.0－107.5 %とする。

(ハ) Pance変電所に設置される連系変圧器は1985 年までPopayan 系統の最大unit 機脱落を考えてLRT±10 %付 50 MVA 程度が必要である。

(ニ) 各変電所変圧器は系統運用の必要上± 10 %のLRT を設けることが望ましく，安定で良質な電力供給が行なわれるべきである。

(ホ) 特に遠方需要地区であるPasto，Ipiales 変電所はLRT 付変圧器を今後設置すべきであるが，更に既設変圧器の活用も考えて，電圧調整上調相設備を設置すべきであり，その所要量は1976 年から5 MVA ～ 10 MVA 単位で，両変電所2次側に設置，1982 年までに 25 MVA を設置する。

(ヘ) 調相設備量はこの他，Popayan － Pasto 間2回線化とも関連するので，これらを考慮して決定すべきである。

(ト) 以上から，各変電所の変圧器にLRT ± 10 %を設置する場合は勿論，既設変圧器の無電圧タップを適当に選定することで，2次電圧を充分安定に保持出来る。

(チ) Popayan － Pasto 間は2回線鉄塔となっているので，増架は比較的容易であり，CEDENAR系統のかなりの部分をこの送電線をこの送電線で輸送すること等，次項を考慮して1980 年以降に2回線化を計るべきである。

- Pasto，Ipiales 地区の供給信頼度の確保
- Peak kW 損失の節減
- 調相設備量の節減

II．3 系統安定度の検討

汐流計算による電圧位相差は最大の1985年に於いてPance－Ipialesの母線間に於いて，約30度Popayan－Pasto 間が2回線となれば，これが17度程度となり，定態安定度上の問題はない。

過度安定度として，Fig II－8－1およびFig II－8－2はPopayan－Pance線のPopayan変電所至近端に於ける，比較的苛酷な事故である3LG，0.14sec open の結果を示す。CEDELCA

－CEDENAR系統全体はCVA 220kV系統から分離されたり，stepoutすることはなく，安定であるがしかしJulumito発電所の運開前後でいずれの場合もPasto変電所の2次側33kVに並列されるRio Bobo発電所その他小水力発電所がstep outする事が判明した。

対策としてPasto変電所に於いて，2次33kV系統分離を行うか又は，各発電所にstep out relayを取り付ける必要がある。

II．4 短絡容量

短絡容量計算結果をFig II－9－1およびFig II－9－2に示す。CEDELCA系統の最大短落容量はPopayan変電所で540MVA以下であり，1985年或いは更に将来年度を考えてもPopayan変電所1,000 MVA，その他1,000MVA以下，Julumito発電所についても1,000MVA程度のしゃ断器を採用しておけば十分である。

Table II-1 Projected Power Flow

Unit: MW

		1976		1978		1980		1982		1985	
		peak	night	peak	night	peak	night	peak	night	peak	night
Santander	Ⓐ	3.3	1.1	3.9	1.3	4.6	1.6	5.4	1.8	6.8	2.3
Small PS	Ⓑ	2.1	0.7	2.5	0.9	3.0	1.1	3.4	1.1	4.3	1.4
Popayan	Ⓒ	15.7	5.3	18.6	6.3	22.0	7.5	25.7	8.7	32.4	11.0
Pasto	Ⓓ	25.0	5.5	31.4	6.7	37.2	8.0	43.4	9.3	54.7	11.7
"	Ⓔ	1.7	0.4	2.1	0.5	2.5	0.6	2.9	0.6	3.6	0.8
Ipiales	Ⓕ	6.8	1.4	8.4	1.8	10.0	2.1	11.6	2.4	13.7	3.1
Total		54.6	14.4	66.9	17.5	79.3	20.9	92.4	23.9	115.5	30.3

Table II-2 Years of Power Flow and Voltage Regulation Calculation

(1976～1985 10 Case)

Case No.	Year	Peak Night	No. of circuit of Transmission Line between Popayan and Pasto
1	1976	Peak	
2	"	Night	
3	1978	Peak	1 cct
4	1980	Peak	
5	1982	Peak	
6	"	"	2 cct
7	1985	Peak	1 cct
8	"	Night	
9	"	Peak	2 cct
10	"	Night	

Table II-3 Projected Capacity of Transformer

		Transformer Capacity (MVA)					
		1976	1978	1980	1982	1985	
Santander	Ⓐ	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Small PS	Ⓑ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Popayan	Ⓒ	26.25	26.25	56.25	56.25	56.25	Addition 30 MVA x 1 in 1980
Pasto	Ⓓ	56.25	56.25	56.25	56.25	86.25	Addition 30 MVA x 1 in 1975 Addition 30 MVA x 1 in 1983
"	Ⓔ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Ipiales	Ⓕ	12.75	12.75	12.75	22.75	22.75	Addition 10 MVA x 1 in 1981

Table II-4 Calculation Results of Voltage Regulation at Each Substations

Unit: %

	Year	1976		1978	1980	1982		1985			
	Transmission Line Poparan-Pasto	1 cct		1 cct	1 cct	1 cct	2 cct	1 cct		2 cct	
	Peak · Night	peak	night	peak	peak	peak	peak	peak	night	peak	night
Primary Side (115 KV) Bus	Cali (Base)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Santander	100.9	100.0	100.7	100.5	101.3	101.3	100.9	100.0	100.9	100.7
	Popayan	103.6	99.7	102.5	101.9	104.6	104.6	103.7	99.8	103.9	102.1
	Rio Mayo	102.6	99.3	101.9	101.0	101.7	102.2	99.5	99.5	100.9	103.5
	Pasto	97.2	97.1	96.6	96.0	95.9	97.9	94.6	97.3	96.5	102.8
	Ipiales	95.7	96.3	94.9	94.1	94.0	95.3	92.8	96.6	94.0	102.1
Secondary Side Bus	Santander	99.4	98.9	99.0	98.4	98.9	98.8	97.7	99.0	97.8	99.7
	Popayan	100.3	97.7	99.2	100.1	102.6	102.6	101.1	99.0	101.3	101.2
	Rio Mayo	106.6	99.1	105.9	105.0	105.6	106.2	103.6	99.3	104.9	103.4
	Pasto	95.0	96.1	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	96.7	95.0	102.2
	Ipiales	95.0	95.2	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.9	95.0	101.5

Table II-5 Required Capacity of Static Condenser

Target Voltage: 95% at peak time

Unit: MVA

Transmission Line Popayan-Pasto	1 cct			2 cct		
Installation Point	Pasto	Ipiales	Total	Pasto	Ipiales	Total
1976	–	2.6	2.6	-8.5	1.2	–
1978	6.2	4.4	10.6	-2.3	2.9	–
1980	13.4	6.5	19.9	3.9	4.8	8.7
1982	17.1	8.4	25.5	5.2	5.3	10.6
1985	31.6	12.4	44.0	14.1	9.4	23.5

Table II-6 Transmission Line Loss

(In the case of Static Condenser is installed)

Unit: MW

Transmission Line Popayan-Pasto	1 cct	2 cct	Difference
1976	2.4	2.0	0.4
1978	3.0	2.4	0.4
1980	4.3	3.0	1.3
1982	5.9	4.0	1.9
1985	9.5	5.4	4.1

Fig. II-1 Diagram of CEDELCA-CEDENAR System

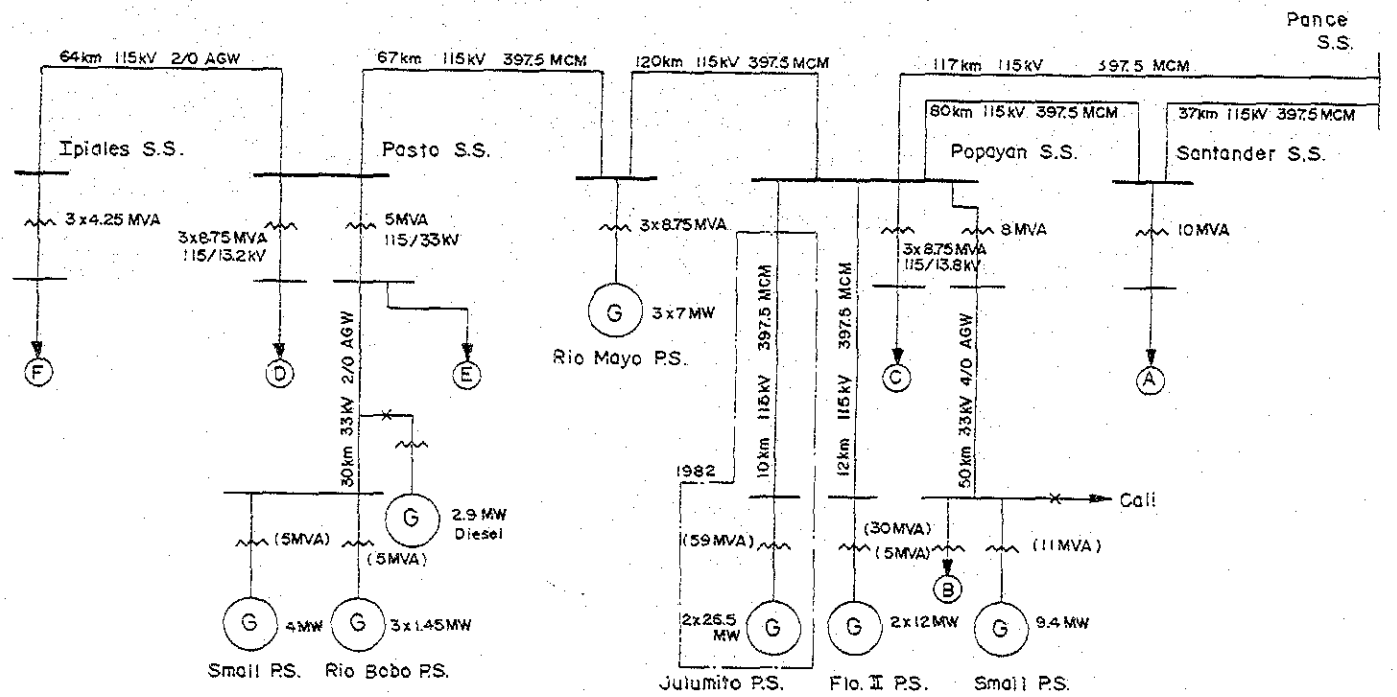


Fig. II-2 Impedance Map

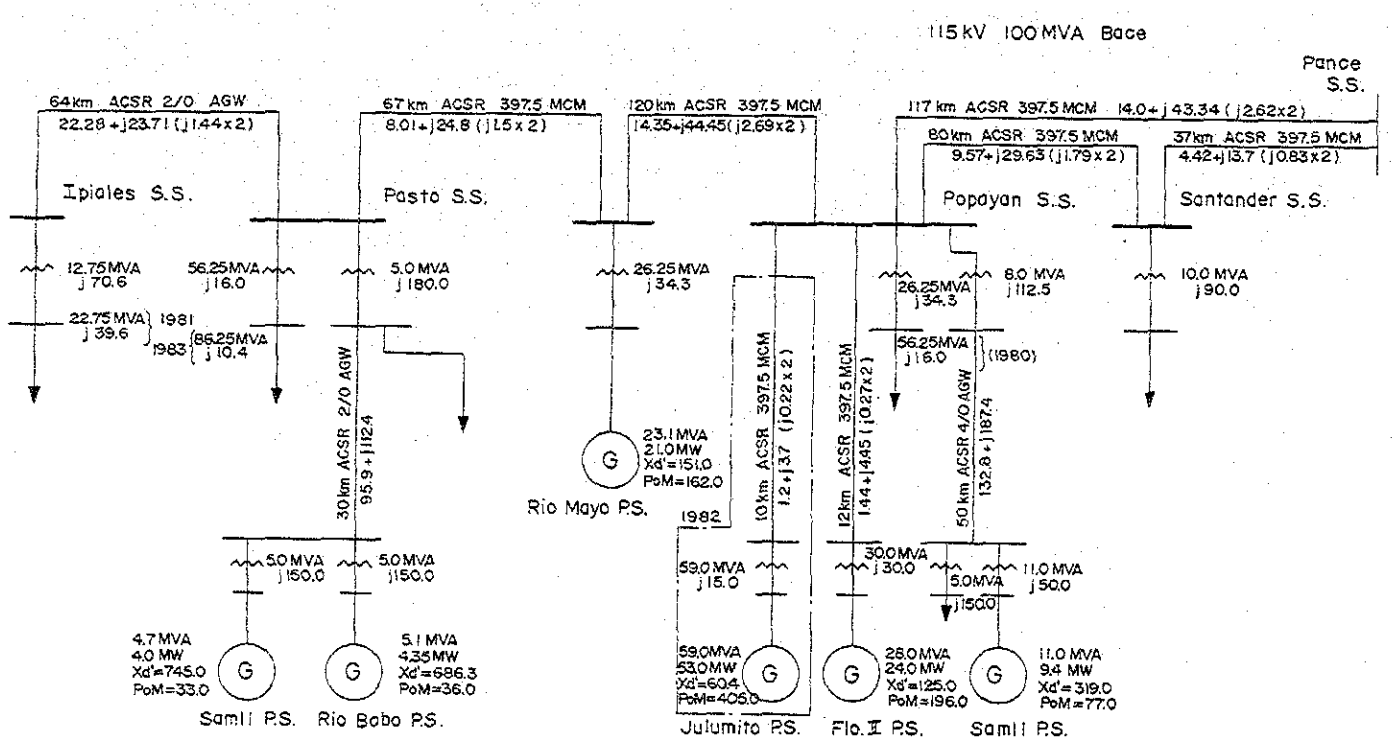


Fig. II-3-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1976)

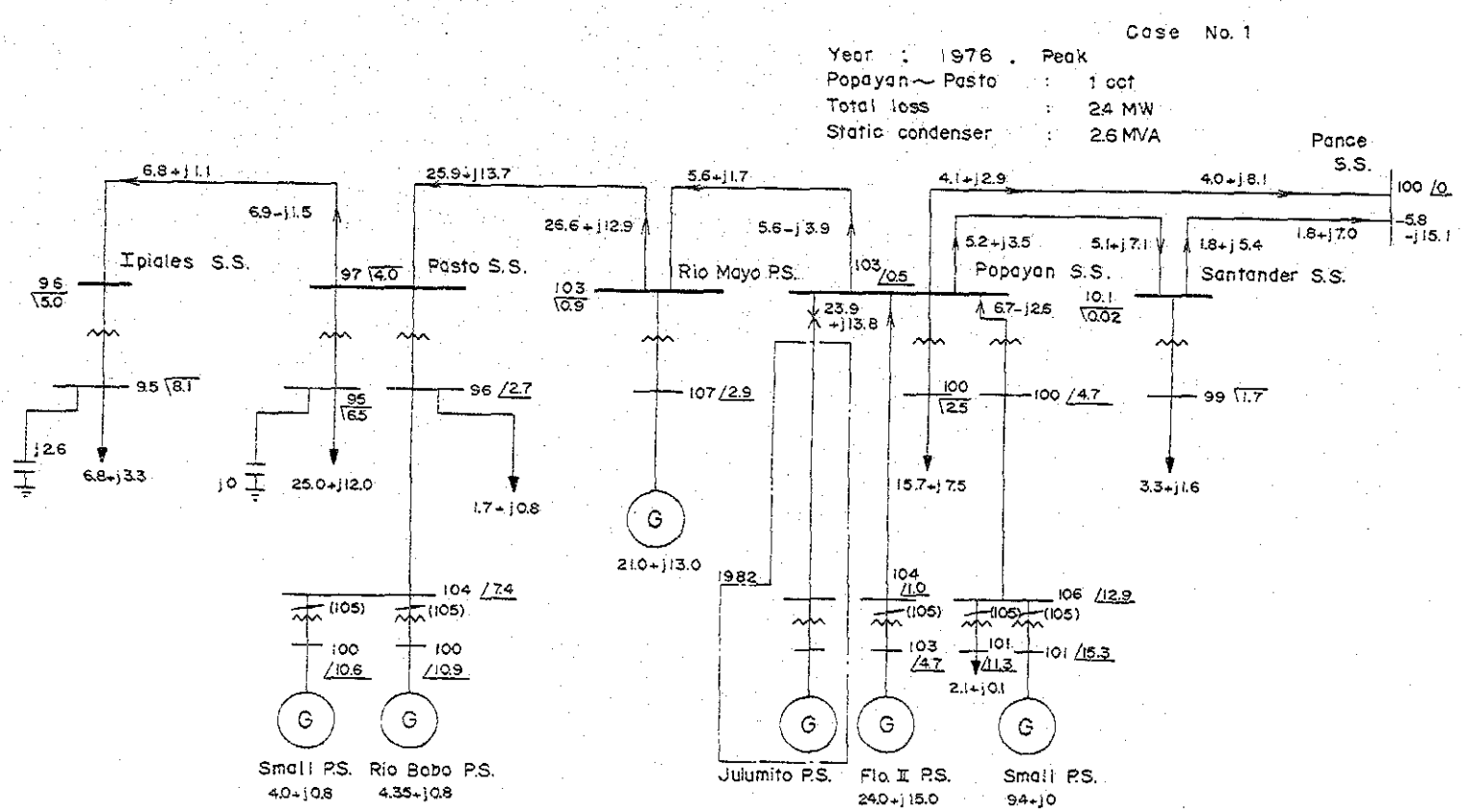


Fig. II-3-2 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1976)

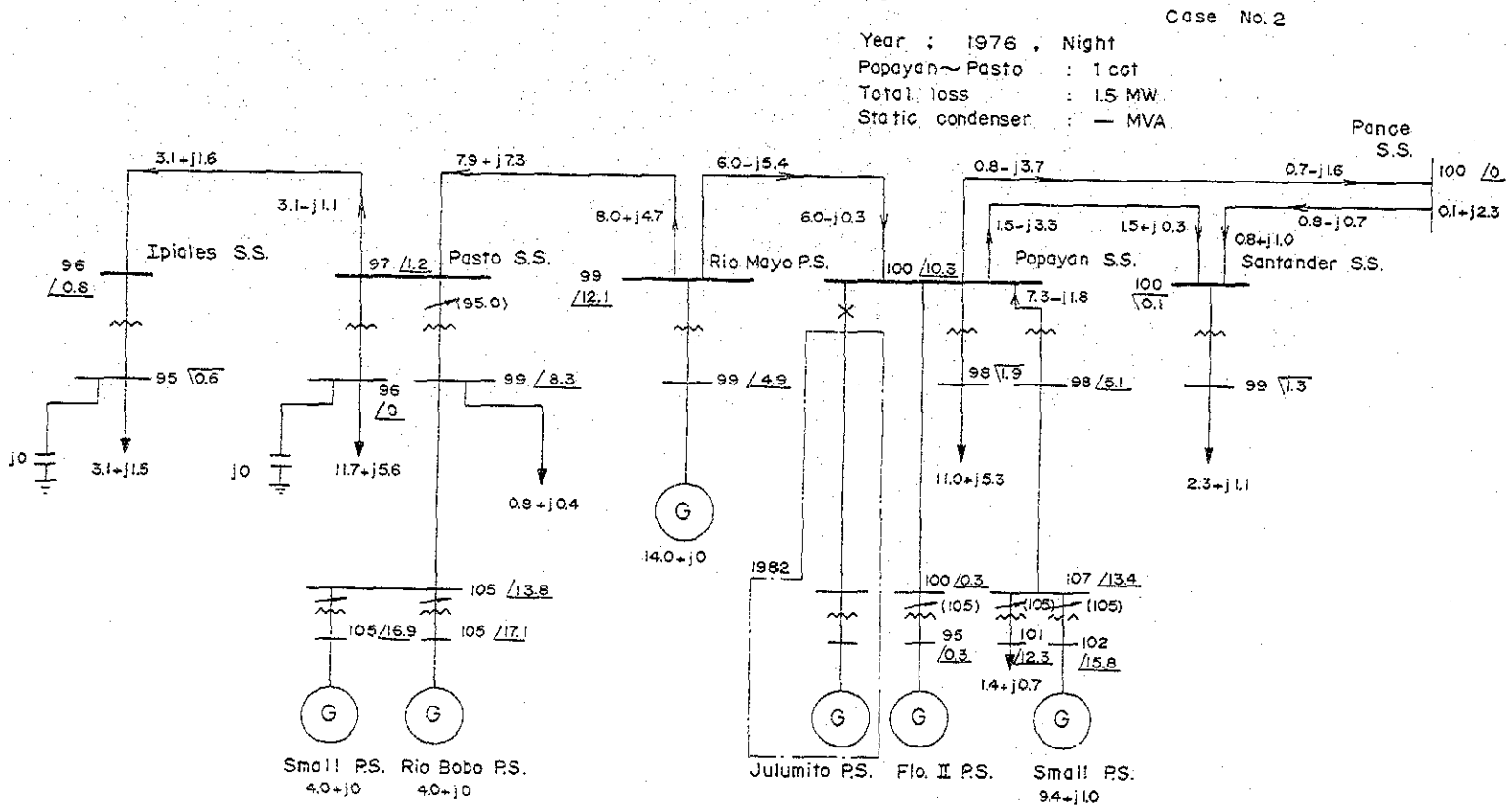


Fig. II-4 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1978)

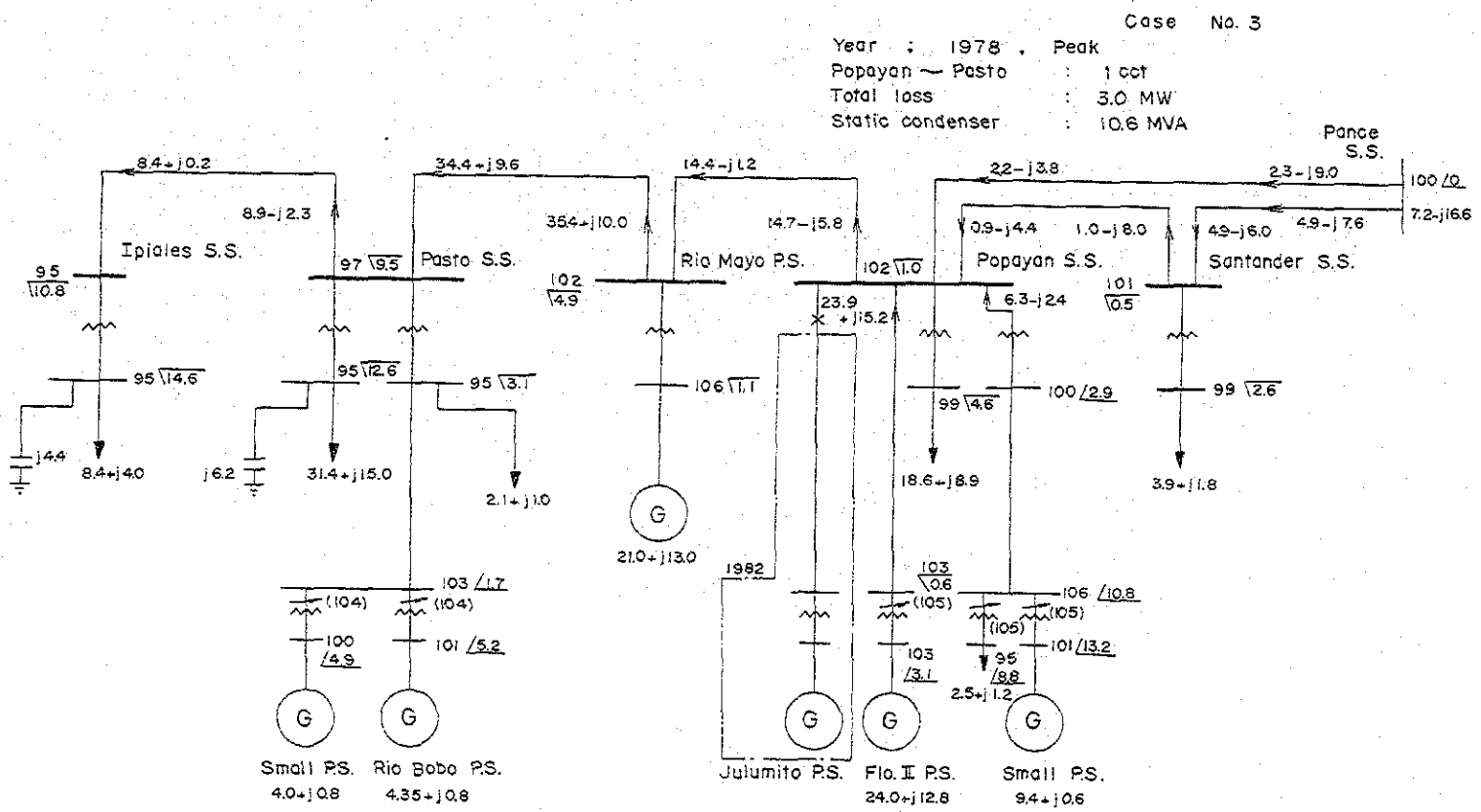


Fig. II-5 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1980)

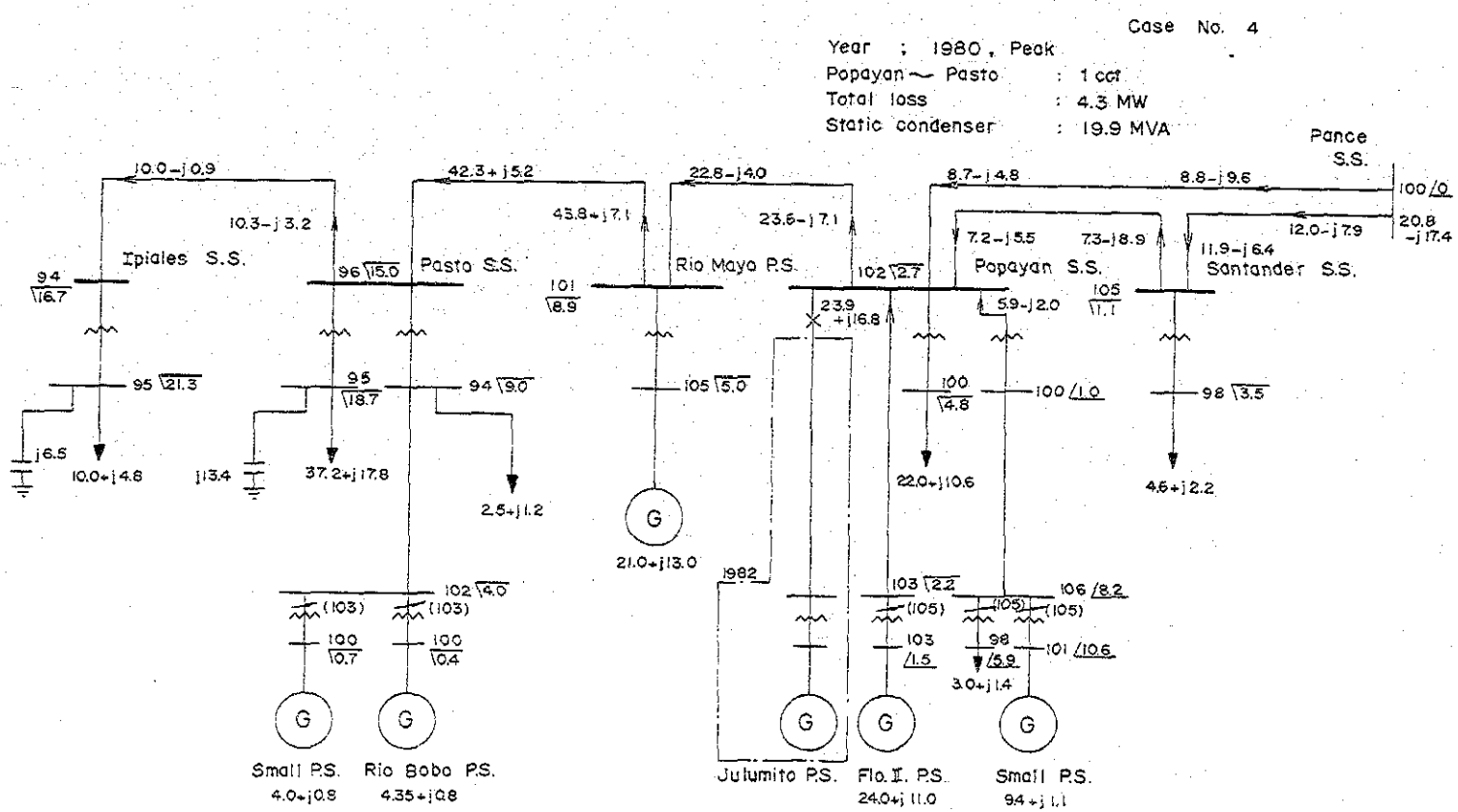


Fig. II-6-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1982)

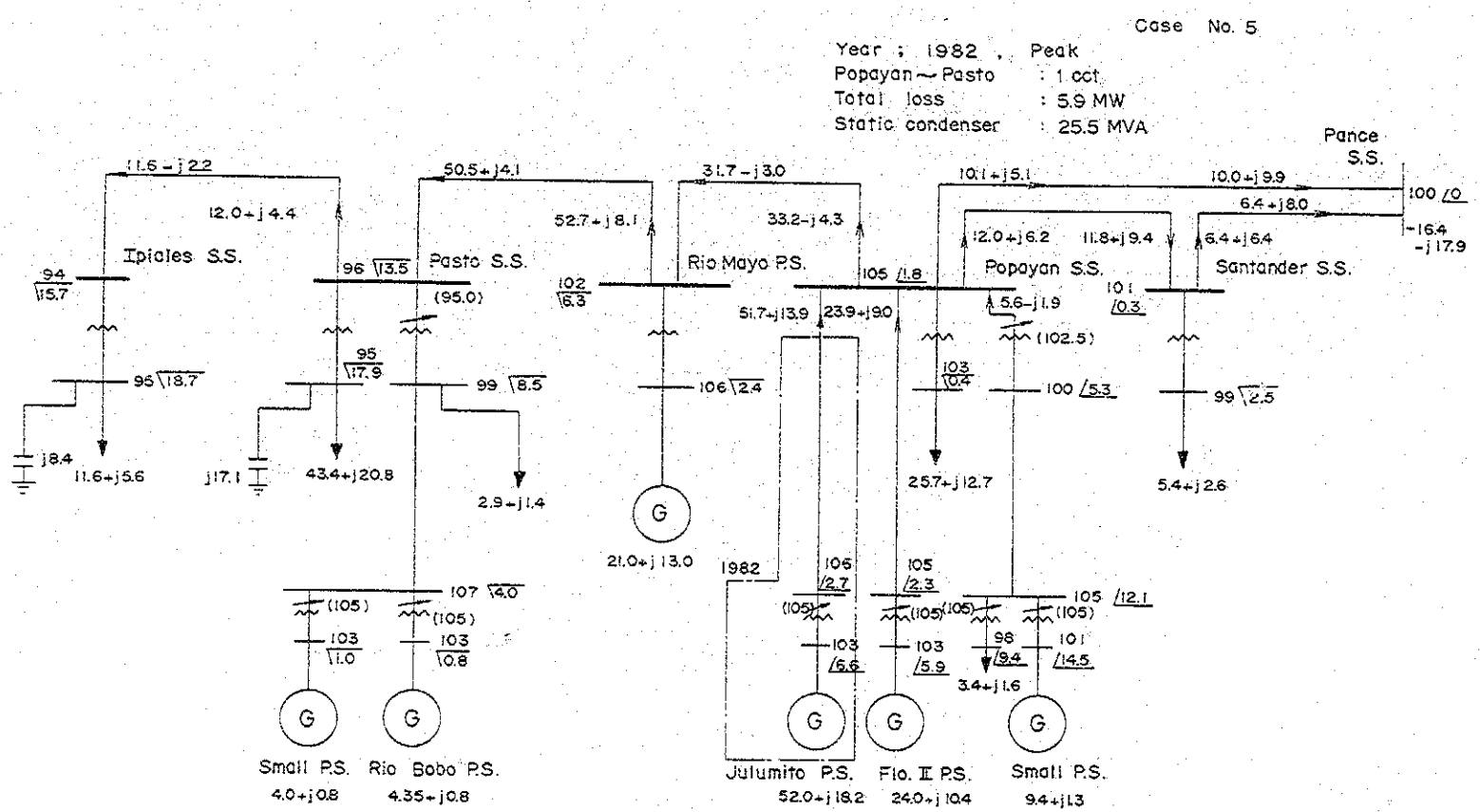


Fig. II-6-2 Power Flow and Voltage Regulation (Peak 1982, in case additional Popayan - Pasto Line is strung.)

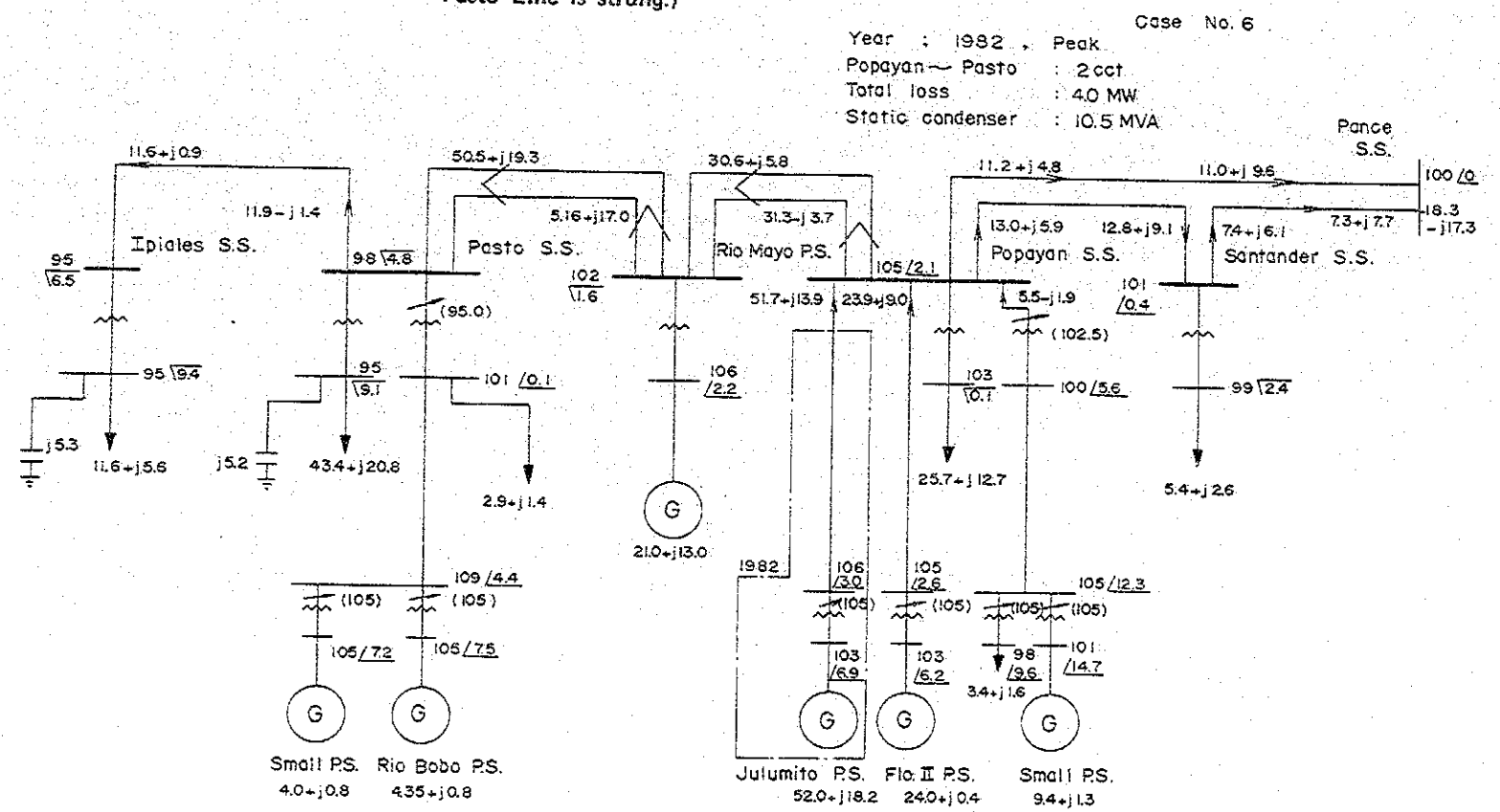


Fig. II-7-1 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1985)

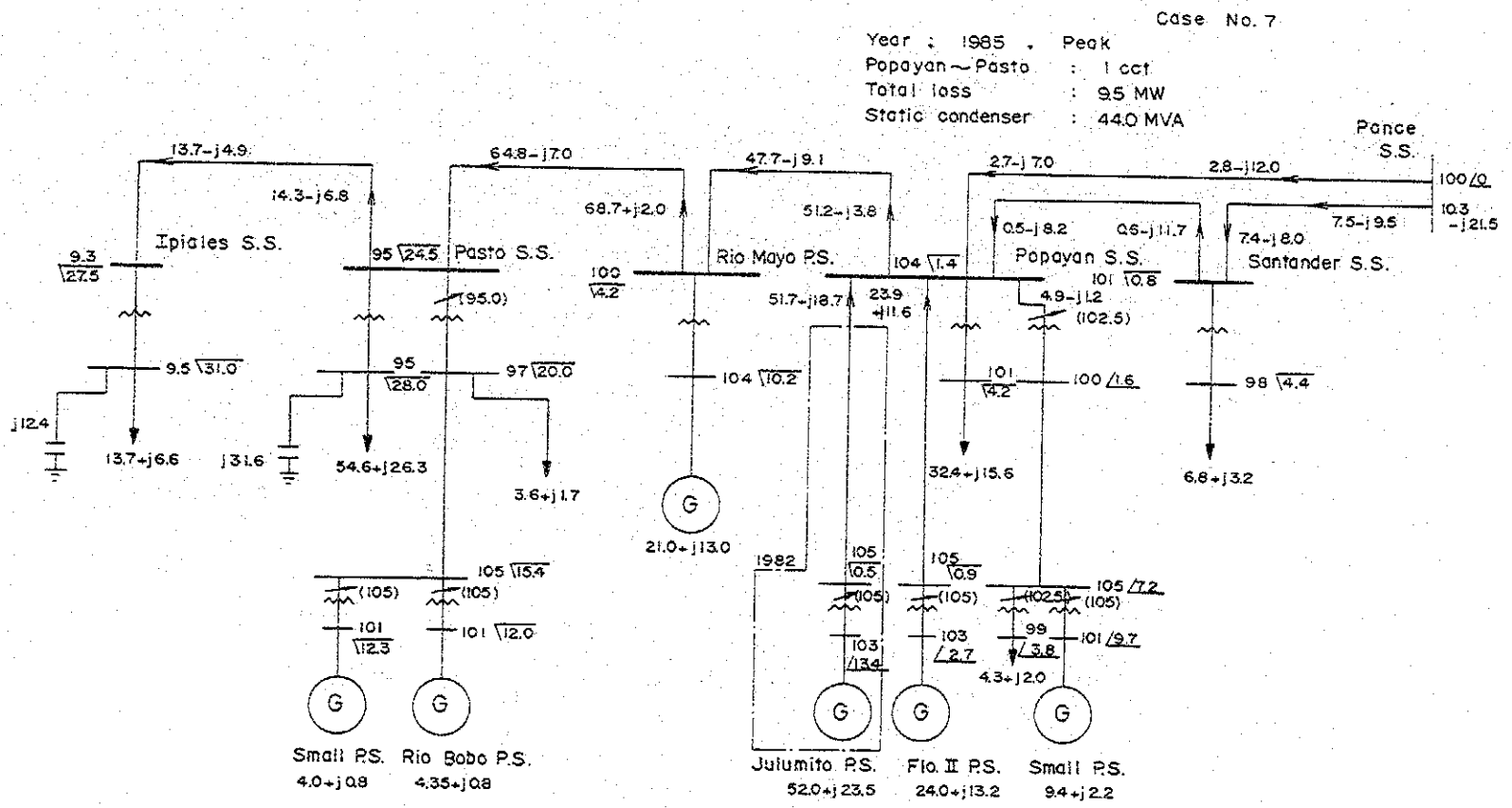


Fig. II-7-2 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1985)

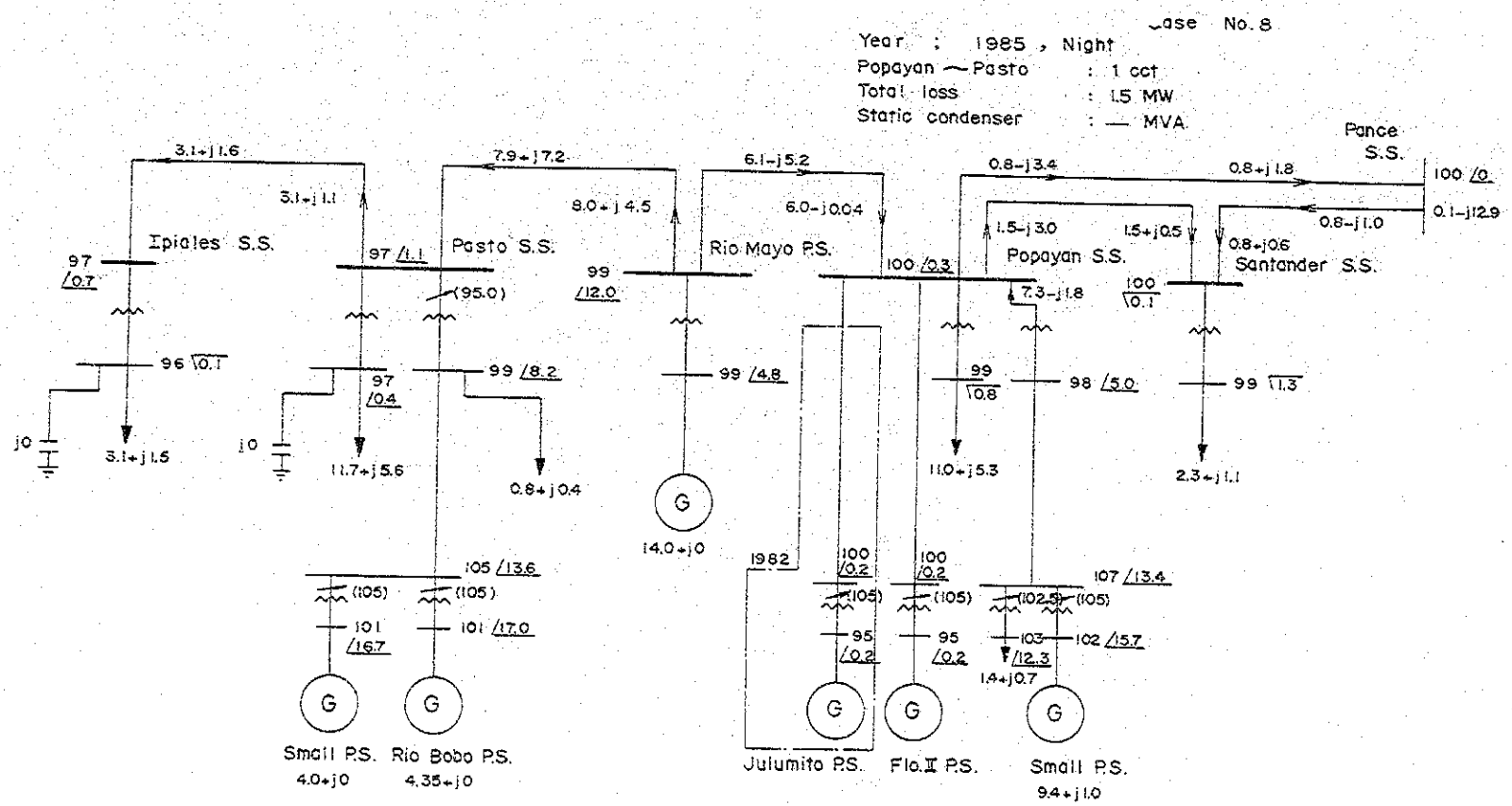


Fig. II-7-3 Power Flow and Voltage Regulation (Peak, 1985, in case additional Popayan - Pasto Line is strung.)

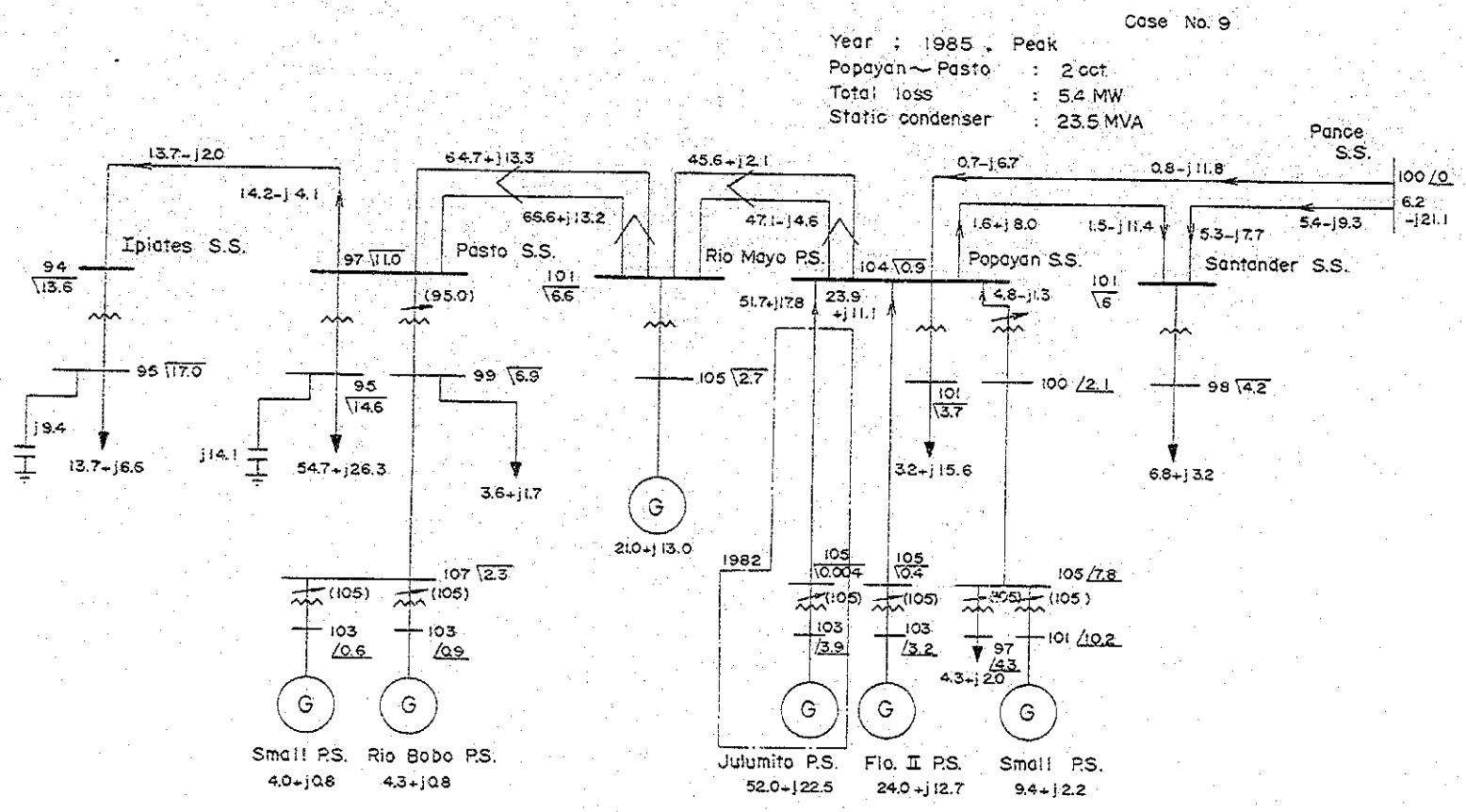


Fig. II-7-4 Power Flow and Voltage Regulation (Night, 1985, in case additional Popayan - Posto Line is strung.)

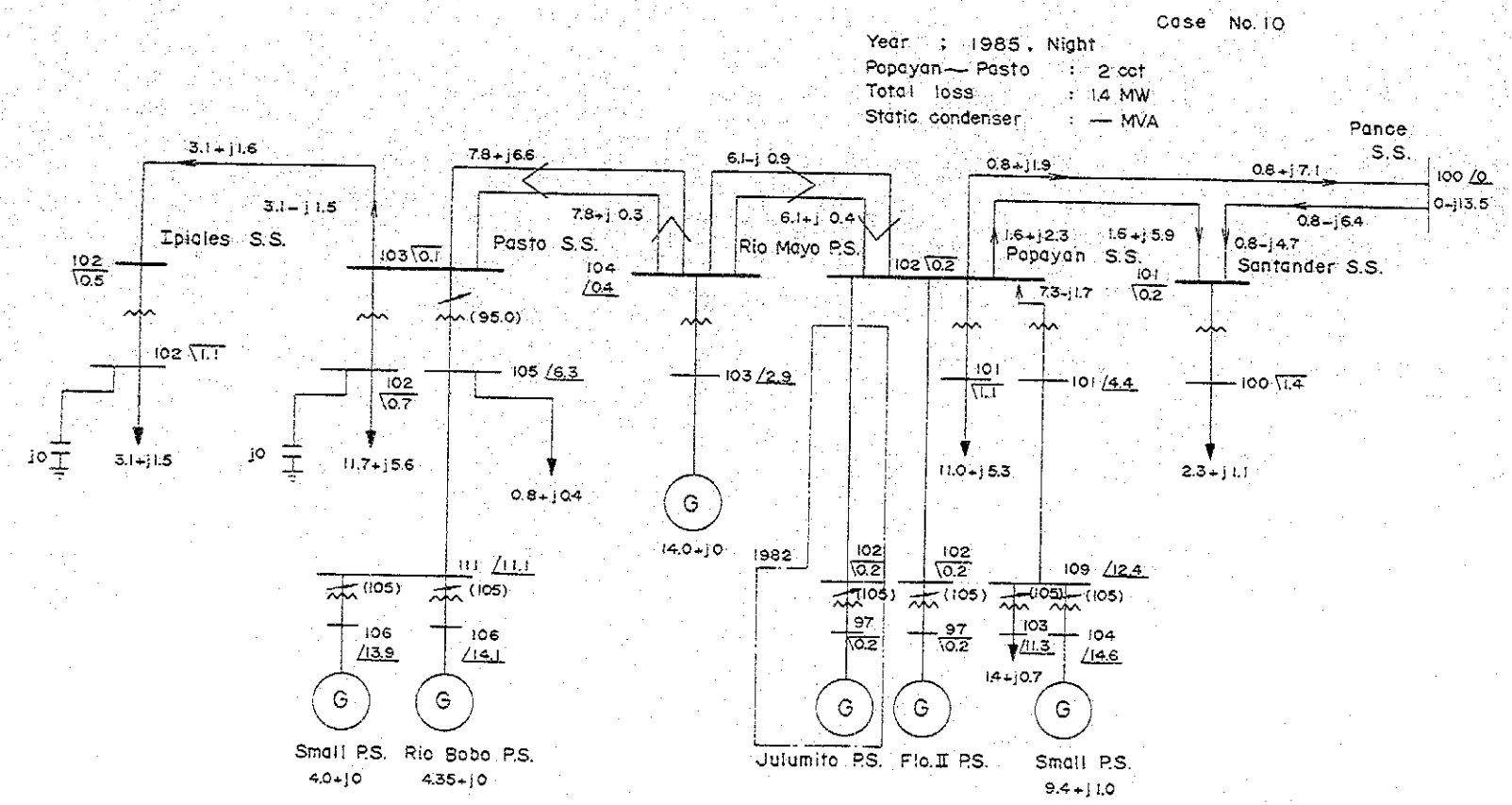


Fig. II-8-1 Calculation Recording Chart of Transient Stability (3LG-open, 1980)

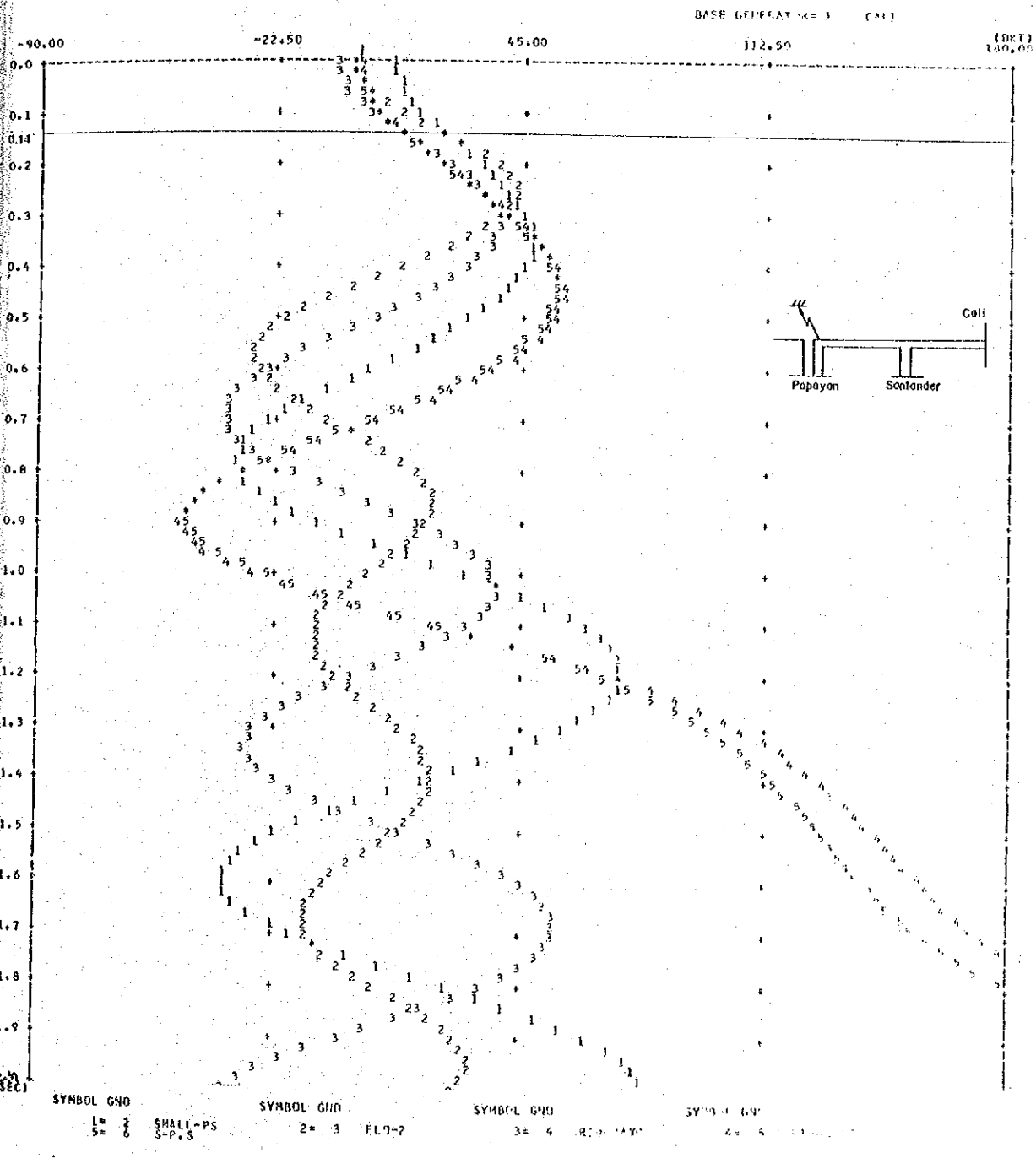


Fig. II-8-2 Calculation Recording Chart of Transient Stability (3LG-open, 1985)

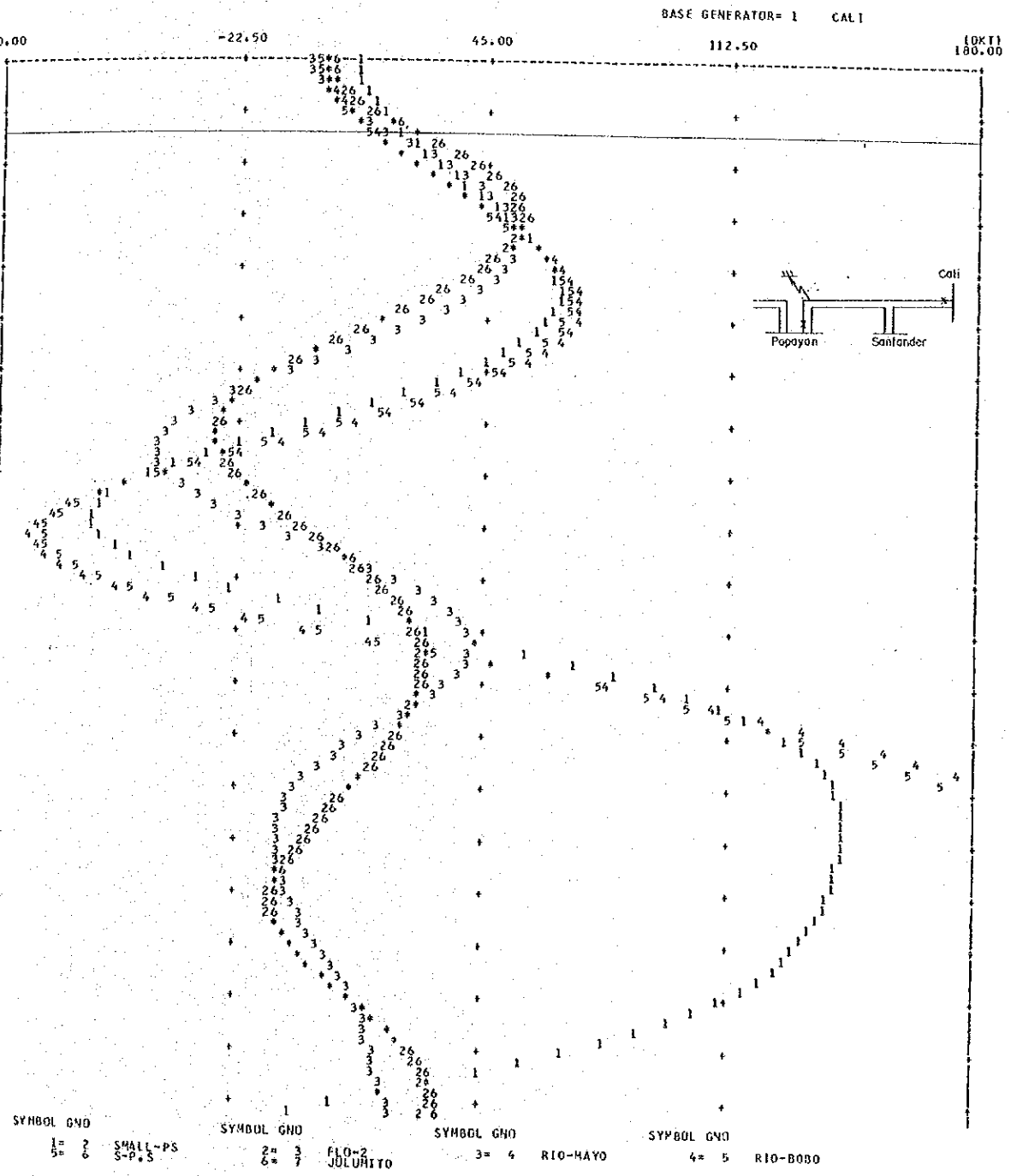


Fig. II-9-1 Short Circuit Capacity (1982)

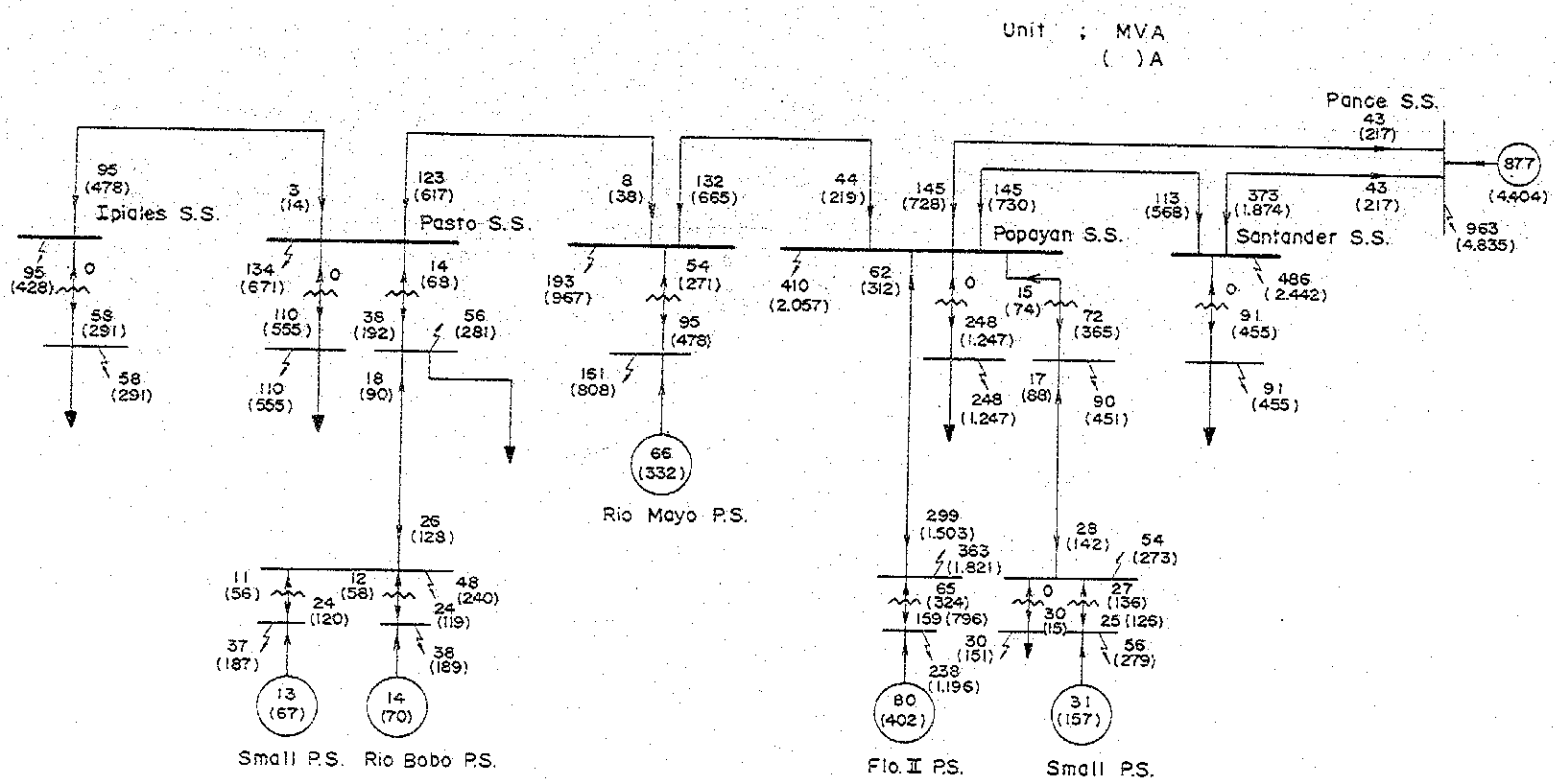
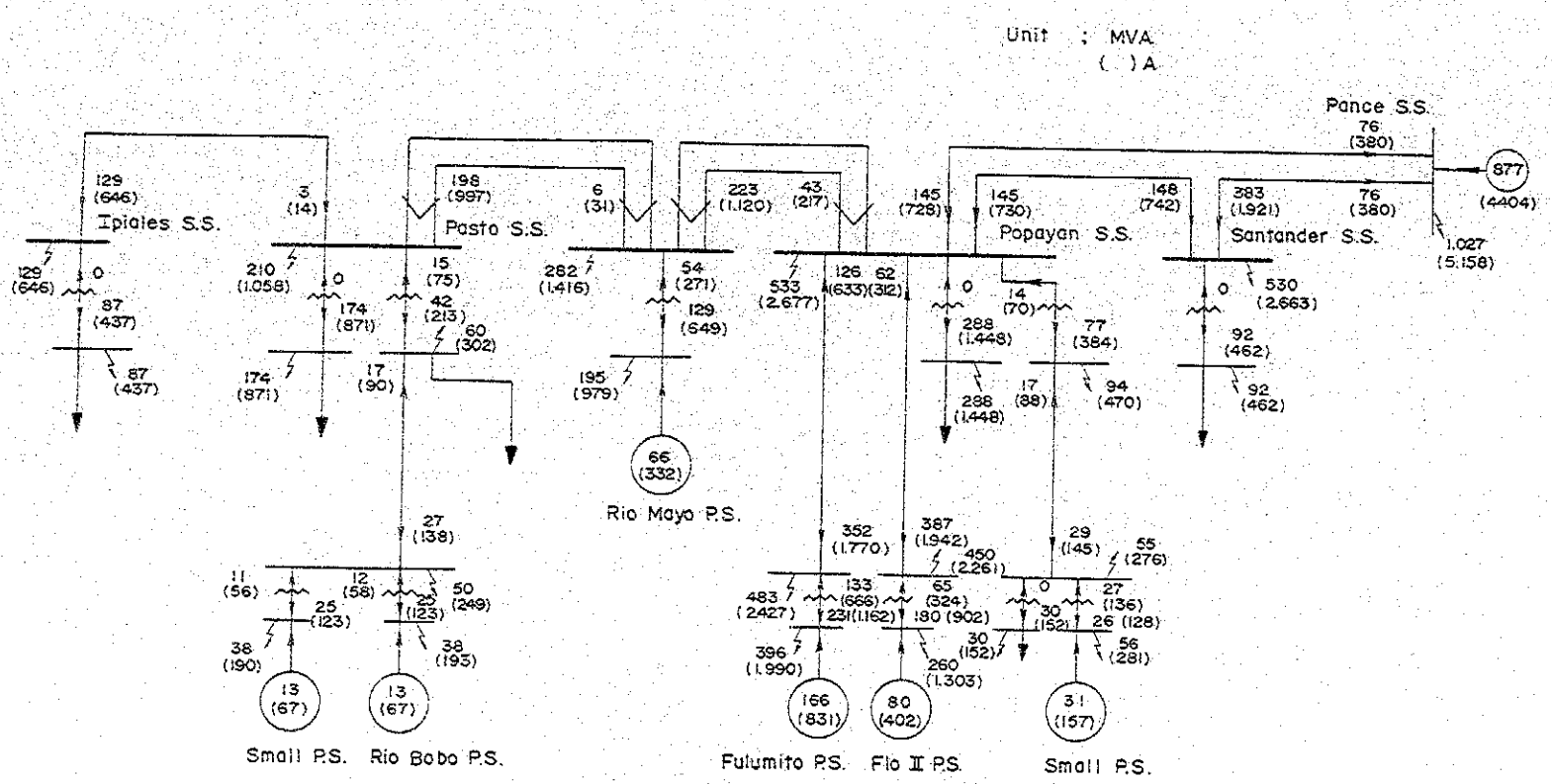



Fig. II-9-2 Short Circuit Capacity (1985)