

3.2.3 El Once 発電計画 (176 MW)

本計画は、アトラート河本流と支流の Grande 川が合流して、その取水流域が 590Km² に拡大され、年平均流量が 85.2m³/s の地点に於いてダム・アップして得た落差 122m を利用して、最大出力 176 MW を得る計画である。

ダム・サイトの地形、地質の状況からみて、ダム・アップできる満水位の限界は 700m である。

この満水位 700m で得られる総貯水量は 39.5 百万 m³ で、利用水深 14m での有効貯水量は 15.7 百万 m³ である。この程度の有効貯水量では季節調整を行う事は無理であるが、週間調整は十分可能である。

この満水位 700m を得るためには高さ 110m、堤頂長 710m、ダム体積 4.2 百万 m³ のコンクリート・フェーシングの遮水壁をもつロック・フィルダムの計画が必要である。この規模のダム建設費は US\$ 146 百万が必要であり、kW 当りダム建設費は US\$ 827/kW となり、ダム建設の負担が大きく、この計画の経済性に大きく影響している。発電所は地形からみて、ダム右岸の山部に 600m 延長の導水路と、それに続く 600m 延長の水圧管路を 2 条設け、Drawing-06 に示す位置に発電所を明り屋内式のタイプで設ける。発電後は放水位 573m でアトラート河本流へ放水する。この水位は El Once の下流で計画される El Diecischo No 2 計画の貯水池の満水位より 2m 下になる。

この発電所で使用できる年平均流量は 85.2m³/s である。この流量により年間 753GWh/年の電力量の生産が可能である。

この発電所で 176 MW の最大出力を得るためには、最大使用水量 170m³/s が必要であり、水圧管路は 85m³/s × 2 条で計画した。その延長は 1,200m であるが、その上流部 600m 区間はトンネル方式でコンクリート圧力管とし、下流部は地表に設ける水圧管路を適用する計画とした。

発電機は 88MW × 2 台で計画した。水車は立軸フランス型を適用した。屋外変電所は屋内式発電所に接して、地上に設け、そこで 220kV に昇圧し、5 Km の 2cct 送電線で El Siete No 2 発電所に連結させる計画とした。

この計画のため、必要とする概算工事費は US\$ 347 百万である。従って、kW 当り建設費は US\$ 1,972/kW であり、KWh 当り建設単価は US\$ 0.461/KWh 年経費率を 12% とすると、その発電原価は US\$ 0.055/KWh である。

この発電原価は経済的に有利であるとは言えない。

この計画の主な諸元は以下の通りである。

<u>Maximum Output</u>	176 MW
<u>Catchment Area</u>	590 km ²

Run-off Conditions

Annual average available discharge	85.2 m ³ /sec
Average available discharge for lowest five days in a month	64.5 m ³ /sec
Minimum run-off	-
Maximum run-off	-

Regulating Reservoir

High water level	700 m
Low water level	686 m
Available drawdown	14 m
Total storage capacity	39,500,000 m ³
Effective storage capacity	15,700,000 m ³
Reservoir area	1,375,000 m ²

Feature of Structures

Dam

	Impervious concrete facing rockfill dam
Height	110 m
Crest length	710 m
Base width	80 m
Volume	4,200,000 m ³
Spillway capacity	9,000 m ³ /sec [regulated by the gates installed at spillway structure on left side of dam]

Intake

Maximum intake discharge	170 m ³ /sec
High water level	700 m
Low water level	686 m
Intake structure height	23 m
Intake structure width	12 m

Headrace

Type	Pressure tunnel
Length	600 m
Inner diameter	5.5 m
Number of lines	2 lines
Maximum discharge	85 m ³ /sec (flow velocity $v = 3.3$ m ³ /sec. at maximum discharge of 85 m ³ /sec)

Penstocks

Type	Upper horizontal portion Sloped portion	Tunnel-embedded (Ground surface type)
Length		600 m
Average inner diameter		4.6 m
Number of line		2 lines
Type of support in ground surface portion		Rocker support

Powerhouse

Type		Ground surface, indoor type
Maximum output		176 MW
Unit capacity		88 MW
Number of units		2 units
Turbine type		Vertical-shaft Francis
Revolution		200 rpm
Generator type		3-phases, AC generator
Generator capacity		98 MVA x 2 units
Power factor		90%
Building: height		35 m
width		30 m
length		45 m
Building space capacity		47,000 m ³

Outlet (appurtenant to powerhouse)

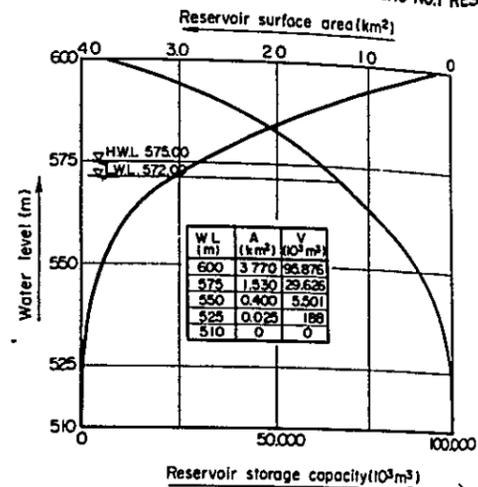
Tail water level	573 m
Structure width	30 m
Structure height	15 m
Maximum tail discharge	170 m ³ /sec

Power Generation

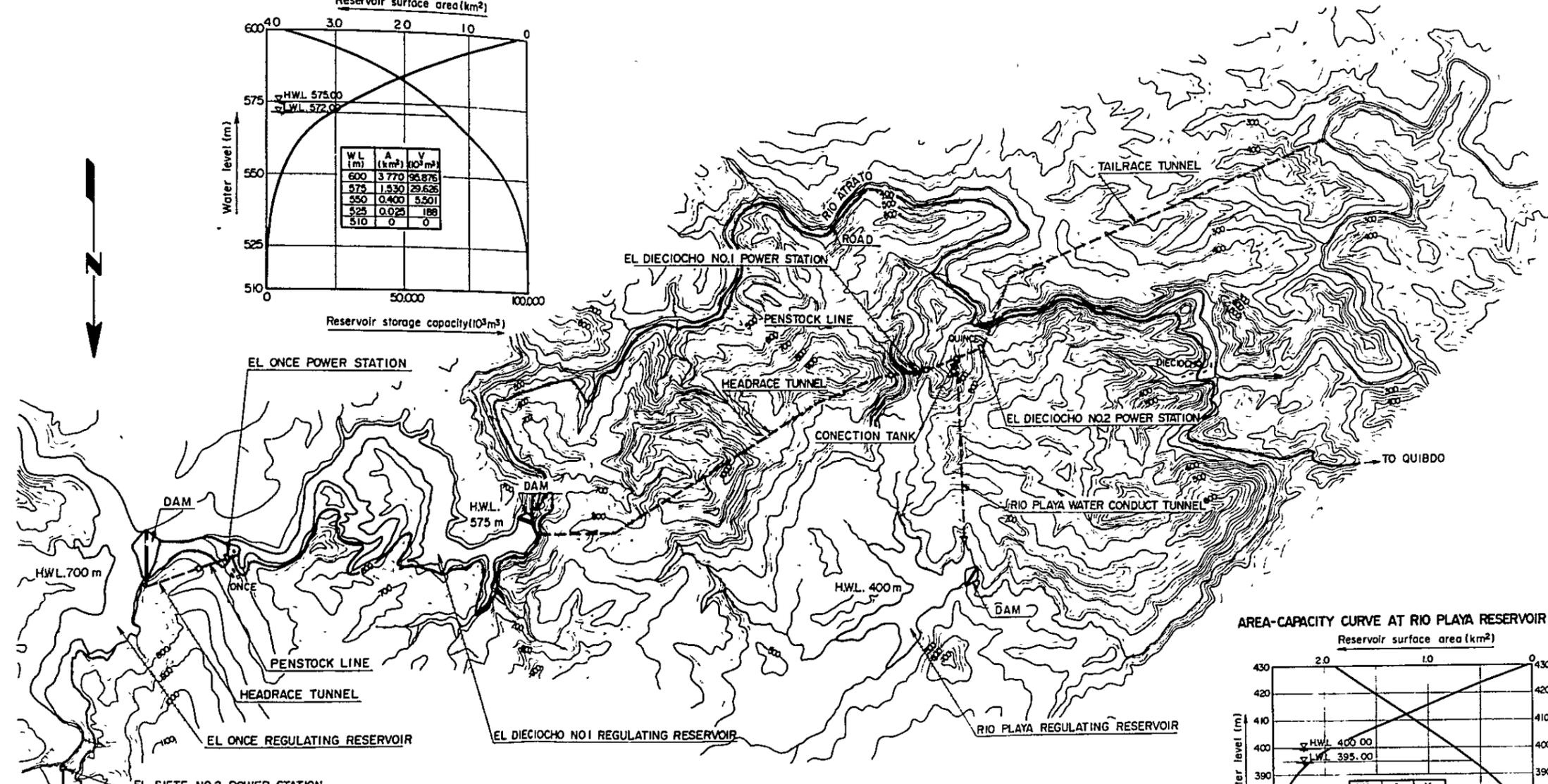
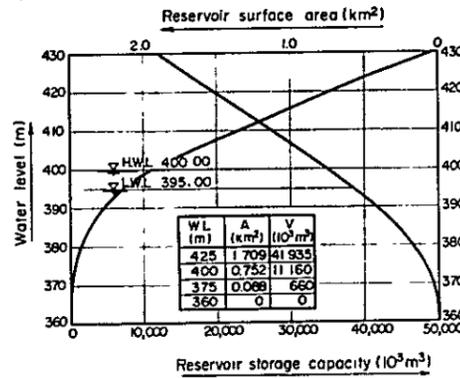
Generating development form	Dam type, daily and weekly regulation type
Intake water level	700 m
Tail water level	573 m
Gross head	127 m
Effective head	122 m
Maximum available discharge	170 m ³ /sec
Maximum output	176 MW
Annual energy production	753 GWh

Annual average output	85.9 MW
Annual plant factor	48.8%
<u>Roughly Estimated Construction Cost</u>	
Civil work	US\$212 x 10 ⁶
Generating equipment	US\$32 x 10 ⁶
Others	US\$103 x 10 ⁶
Total	US\$347 x 10 ⁶
<u>Economic Effect</u>	
Construction cost per kW	US\$1,972/kW
Construction cost per kWh	US\$0.461/kWh
Generating cost	US\$0.055/kWh (annual expense factor 12%)
<u>Construction Period</u>	
Period to operation	4 years

AREA-CAPACITY CURVE AT EL DIECIOCHO NO.1 RESERVOIR

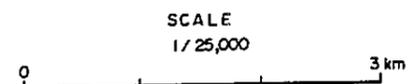


AREA-CAPACITY CURVE AT RIO PLAYA RESERVOIR



BRIEF DESCRIPTION OF PROJECTS

Item	Unit	EL DIECIOCHO NO.1	EL DIECIOCHO NO.2	Item	Unit	EL DIECIOCHO NO.1	EL DIECIOCHO NO.2
1 Catchment area				6 Penstock			
Main area	km²	620	620	Type		Ground surface	Ground surface
Sub area	km²	-	100	Diameter x Length	m	4.7 x 350 x 2	5.0 x 350 x 2
Total area	km²	620	720	7 Powerhouse		Out-door	Underground
Mean discharge	m³/s	90.6	110.2	Type		20 x 75 x 40	
1-5 discharge	m³/s	68.6	83.2	Width x Length x Height	m	30 x 50 x 35	
2 Dam				8 Tailrace tunnel			
Type		Concrete gravity	Concrete facing rockfill	Type			Non pressure
Height	m	80	45	Diameter x Length	m		8.2 x 4900
Crest length	m	330	280	9 Power production			
Volume	m³	487,000	500,000	Intake water level	m	575	400
Design flood	m³/s	3,900	3,300	Tail water level	m	400	250
3 Reservoir				Gross head	m	175	150
High water level	m	575	400	Effective head	m	165	140
Low water level	m	372	395	Max. discharge	m³/s	180	220
Available drawdown	m	3	5	Max. Output	MW	252	261
Effective storage cap.	10³ m³	5.0	3.0	Unit number	unit	2	2
Total storage cap.	10³ m³	29.6	11.0	Annual energy production	GWH	10.91	11.15
4 Intake				Annual mean output	MW	124.6	127.3
Type		Hydrated ground surface	Hydrated ground surface	Plant utility factor	%	49.4	48.8
Width x Length	m	30 x 12	10 x 10	Turbine type		VF	VF
5 Headrace tunnel							
Type		Pressure	Pressure				
Diameter x Length	m	7.4 x 4500	4.1 x 2100				



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ATRATO PROJECT
 GENERAL PLAN
 EL DIECIOCHO NO.1 PROJECT
 EL DIECIOCHO NO.2 PROJECT

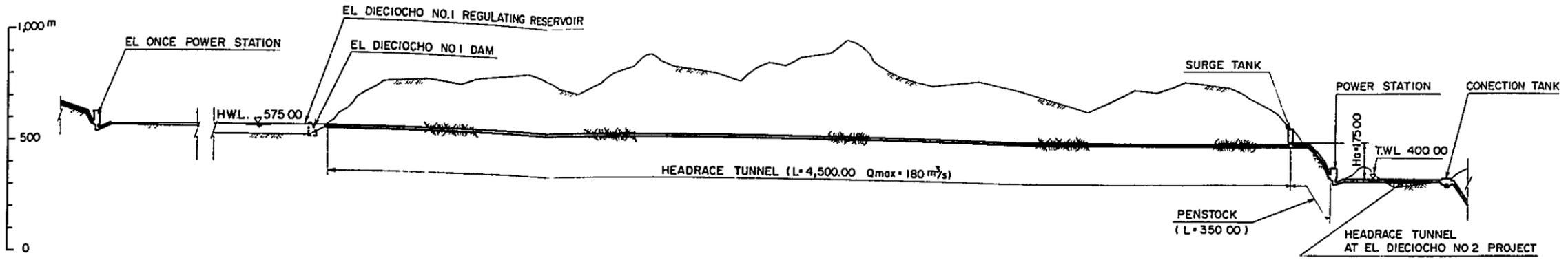
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co LTD
 TOKYO JAPAN

DR. SUBMITTED,
 TR. RECOMMENDED,
 C.K. APPROVED,

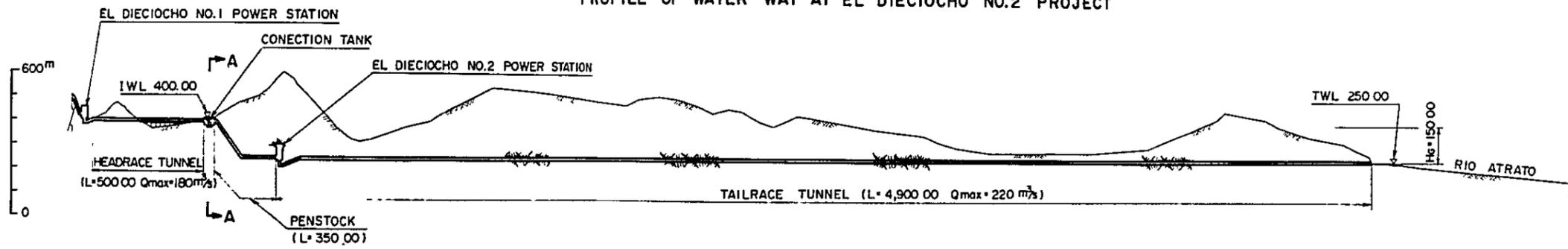
Dwg - 06

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
REVISION			

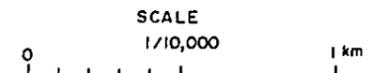
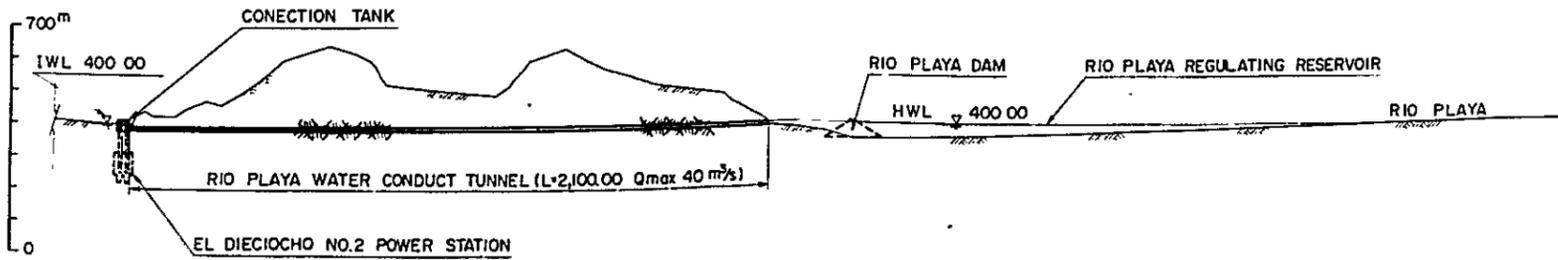
PROFILE OF WATER WAY AT EL DIECIOCHO NO.1 PROJECT



PROFILE OF WATER WAY AT EL DIECIOCHO NO.2 PROJECT



SECTION A-A (RIO PLAYA WATER CONDUCT TUNNEL)

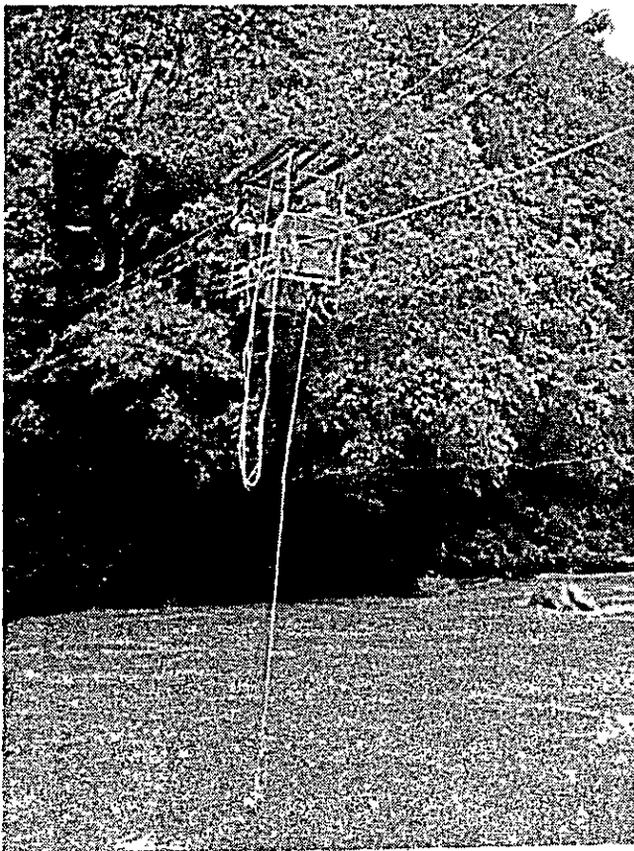


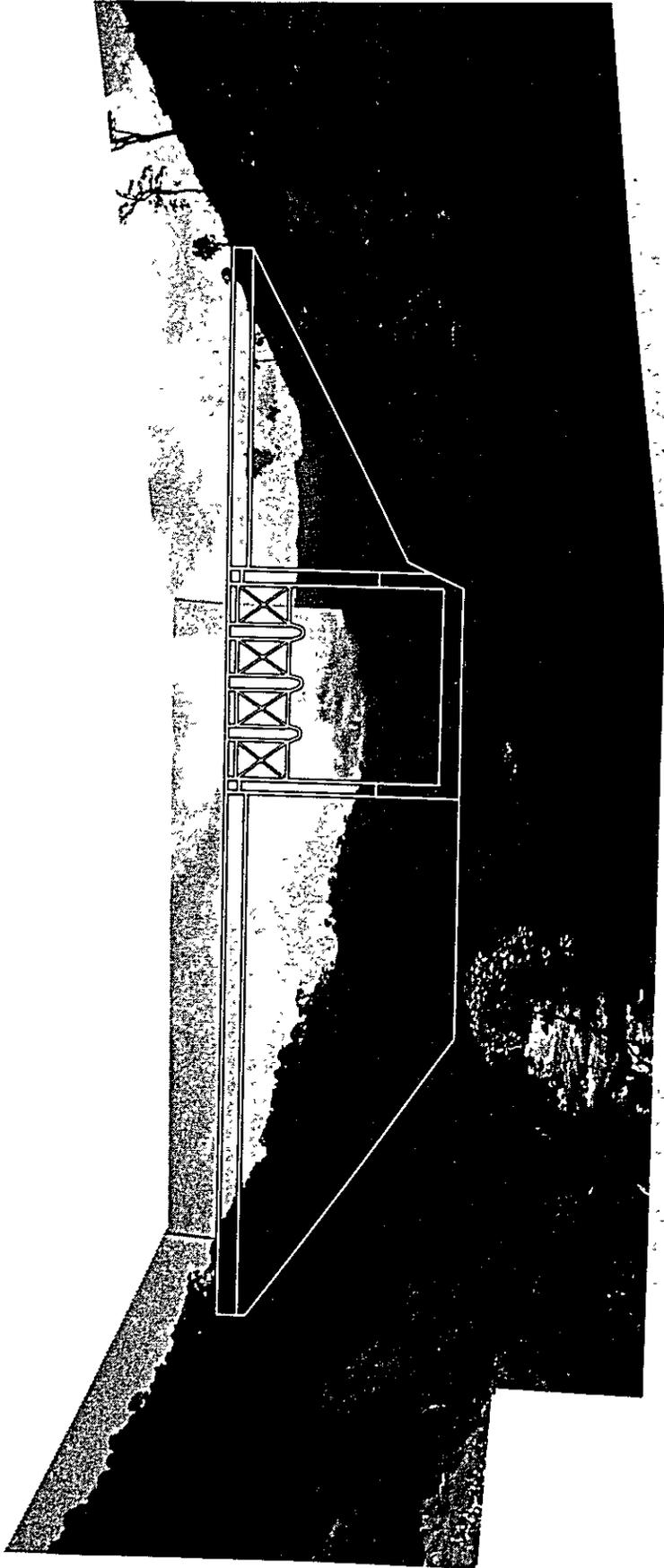
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ATRATO PROJECT	
PROFILE OF WATER WAY	
EL DIECIOCHO NO.1, NO.2 PROJECT	
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co. LTD TOKYO JAPAN	
DR	SUBMITTED
T.R.	RECOMMENDED
C.K.	APPROVED
Dwg - 10	

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY

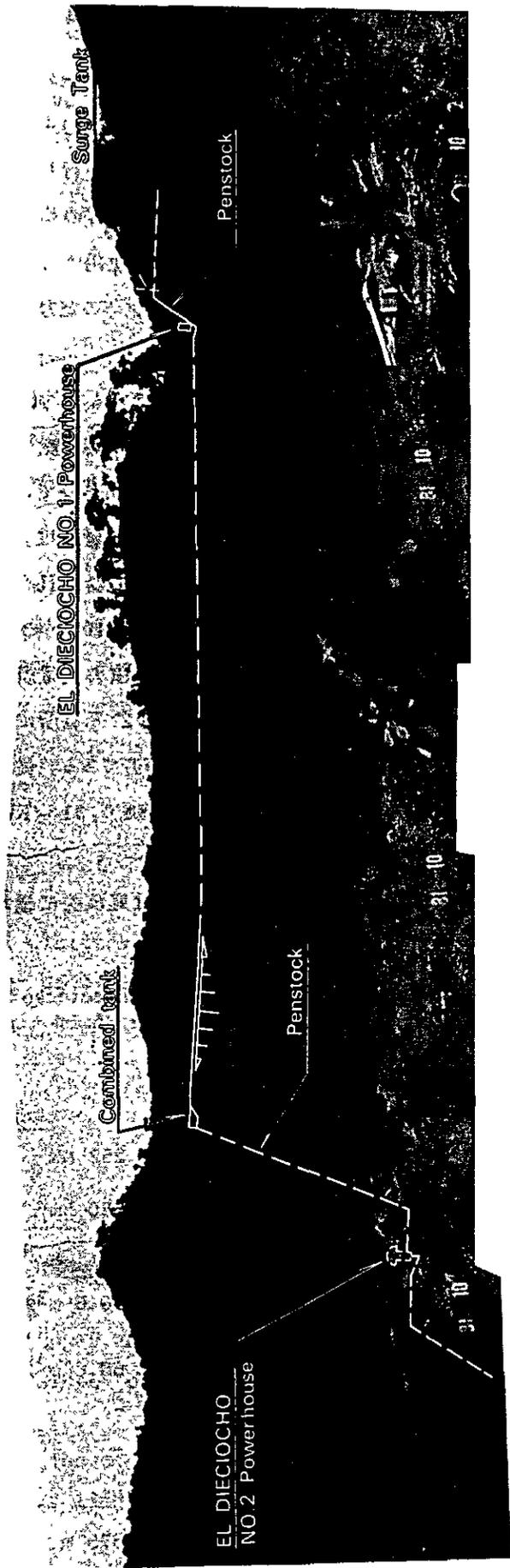
1 SHEET NO OF

ARAYANES Gaging Station





EL DIECIOCHO NO.1 Dam



EL DIECIOCHO NO.1 and NO.2 Power Station

3.2.4 El Dieciocho No 1 発電計画 (252 MW)

本計画はアトラート河本流に於いて El Once 地点の下流 6 Km の Arayanes 地点に満水位 575 m, 貯水量 5 百万 m^3 の貯水池を高さ 80 m のコンクリート重力式ダムで設け, 日間あるいは週間調整した水を 4.5 Km, 内径 7.4 m の圧力式トンネルで蛇行しているアトラート河をショート・カットして導水し, 有効落差 165 m を得て, 252 MW の発電を行う計画である。

El Dieciocho No 1 ダム地点は, 年間 $90.6 m^3/s$ の平均使用水量 $68.6 m^3/s$ 最低 5 日平均可能使用水量をもってあり, この流量は年間 1,091 GWh/年の電力量の生産を可能にするものである。

最低 5 日平均可能使用水量が $68.6 m^3/s$ であり, この時でも平均出力 95.3 MW の発電が可能であり, 最大出力 252 MW の発電では 9.1 時間の継続運転が可能である。

最大出力 252 MW を得るためには最大使用水量 $180 m^3/s$ が必要であり, 導水路は $180 m^3/s$ の通水量, 水圧管路は通水量 $90 m^3/s \times 2$ 条で計画した。水圧管路は Drawing-06 に示す山部の陵線の地表を利用する計画であり, その延長は 350 m であり, H/L 比は 1/2.0 である。

発電所はアトラート河の右岸に流入する Quince 谷の標高 400 m の地表に設け, 126 MW $\times 2$ 台で計画した。水車は立軸フランシス型を適用した。屋外変電所は発電所に接して設け, そこで 220 kV に昇圧し, 2-cct の送電線で El Siete No 2 発電所に連結する計画とした。

この計画のため, 必要とする概算建設費は US\$ 347 百万である。従って, kW 当りの建設単価は US\$ 1,377/kW であり, KWh 当り建設単価は US\$ 0.318/KWh, 年経費率を 12% とすると, 発電原価は US\$ 0.038/KWh である。

この発電原価でみると, El Dieciocho No 1 発電計画は経済的に極めて, 有利な計画である事を示している。

この発電所で使用後の放水は, その直下流に設ける El Dieciocho No 2 地下発電所で使用される事になる。

この計画の主な諸元は以下の通りである。

<u>Maximum Output</u>	252 MW
<u>Catchment Area</u>	620 km ²
<u>Run-off Conditions</u>	
Annual average available discharge	90.6 m ³ /sec
Average available discharge for lowest five days in a month	68.6 m ³ /sec
Minimum run-off	-
Maximum run-off	-
<u>Regulating Reservoir</u>	
High water level	575 m

Lower water level	572 m
Available drawdown	3 m
Total storage capacity	29,600,000 m ³
Effective storage capacity	5,000,000 m ³
Reservoir area	1,530,000 m ²

Feature of Structures

Dam

Type	Concrete gravity dam
Height	80 m
Crest length	330 m
Base width	135 m
Volume	487,000 m ³
Spillway capacity	5,900 m ³ (dam crest overflow type)

Intake

Maximum intake discharge	180 m ³ /sec
High water level	575 m
Low water level	572 m
Intake structure height	12 m
Intake structure width	30 m

Headrace

Type	Pressure tunnel (circular cross section)
Length	4,500 m
Inner diameter	7.4 m
Number of line	1 line
Maximum discharge	180 m ³ /sec (flow velocity v = 4.2 m/sec at max. discharge of 180 m ³ /sec)

Surge Tank

Type	Orifice type surge tank, circular section shaft type
Inner diameter	30 m
Height	40 m

Penstocks

Type	Upper horizontal portion Sloped portion:	Tunnel embedded type Ground surface type
Length		350 m
Average inner diameter		4.7 m
Number of line		2 lines

Type of support	Rocker support
<u>Powerhouse</u>	
Type	Ground surface, indoor type
Maximum output	252 MW
Unit capacity	126 MW
Number of units	2 units
Turbine type	Vertical-shaft Francis
Revolution	200 rpm
Generator type	3-phases, AC synchronized
Generator capacity	140 MVA x 2
Power factor	90%
Building: height	35 m
width	30 m
length	50 m
Building space capacity	52,000 m ³
<u>Outlet</u>	
Tail water level	400 m
Structure width	35 m
Structure height	15 m
Maximum discharge	180 m ³ /sec
<u>Power Generation</u>	
Generating development form	Dam and water way type, daily or weekly regulation type
Intake water level	575 m
Tail water level	400 m
Gross head	175 m
Effective head	165 m
Maximum available discharge	180 m ³ /sec
Maximum output	252 MW
Annual energy production	1,091GWh
Annual average output	124.6 MW
Annual plant factor	49.4%
<u>Roughly Estimated Construction Cost</u>	
Civil work	US\$207 x 10 ⁶
Generating equipment	US\$37 x 10 ⁶
Others	US\$102 x 10 ⁶
Total	US\$347 x 10 ⁶

Economic Effect

Construction cost per kW	US\$1,377/kW
Construction cost per kWh	US\$0.318/kWh
Generating cost	US\$0.038/kWh (annual expense factor 12%)

Construction Period

Period to operation	4 years
---------------------	---------

3.2.5 El Dieciocho No 2 発電計画 (261 MW)

本計画は El Dieciocho No 1 発電所の放水 $180\text{m}^3/\text{s}$ をその放水口で直接取水し、更に Playa 川に設ける満水位 400m の調整池と 2.1Km の連絡トンネルで連結し、Playa 川の年平均取水量 $19.6\text{m}^3/\text{s}$ を日間調整を行って加え、El Dieciocho No 1 発電所の直下流に設ける地下式発電所で、261MW の発電を行き計画である。

この発電計画は El Dieciocho No 1 発電所の放水位 400m と Bellavista の河川水位 250m との間の総落差 150m を発電に利用する計画であり、地形的にみて、地下発電所より Bellavista へ放水するための放水路はアトラート河本流を河床下の岩盤を貫いて設ける計画とした。この放水路 4.9Km で得られる落差は 100m である。放水路がアトラート河を横断する地点の河床標高は 350m であり、アトラート河本流を約 100m 下で放水路を通す事になり、掘削は困難ではないと判断した。

El Dieciocho No 1 発電所では、年平均使用水量が $110.2\text{m}^3/\text{s}$ 、最低 5 日平均可能使用水量でも $83.2\text{m}^3/\text{s}$ の流量があるので、年間 1,115 GWh/年の電力量を生産する事ができる。また、最大出力 261MW の発電では 8.9 時間の継続運転が可能である。

最大出力の 261 MW を得るためには、最大使用水量 $220\text{m}^3/\text{s}$ が必要であり、水圧管路は通水量 $110\text{m}^3/\text{s} \times 2$ 条、放水路は通水量 $220\text{m}^3/\text{s} \times 1$ 条の容量で計画した。放水路延長は 4.9 Km であり、有効落差は 140m であるので、H/L 比は 1/33 である。

発電所は El Dieciocho No 1 発電所の下流約 0.8Km にある山部の地下に設ける計画とし、 $130.5\text{MW} \times 2$ 台の設備とした。水車は立軸フランシス型を適用した。屋外変電所は El Dieciocho No 1 の屋外変電所と同じ用地に設け、No 1、No 2 の電力を合わせて 220kV に昇圧し、El Siete No 2 発電所と連結する計画とした。この事は El Once 計画地点が経済性よりみて、El Dieciocho No 1、No 2 計画より、開発が後になるものとして、この計画を直接 El Siete No 2 発電所へ連結する必要があるためである。

この計画のため、必要とする概算工事費は US\$ 287 百万である。従って、1.W 当り建設単価は US\$ 1,100/kW、KWh 当り建設単価は US\$ 0.257/KWh であり、年経費率を 12% とすると、その発電原価は US\$ 0.031/KWh である。

この発電原価でみると、El Dieciocho No 2 発電計画は経済的に有利である事を示している。但し、この計画は El Dieciocho No 1 発電所の放水した水と Playa 川よりの導水を使用する計画であり、No 1 発電所と同時あるいは、No 1 発電所の完成後に建設する事になるであろう。

この計画の主な諸元は以下の通りである。

<u>Maximum Output</u>	261 MW
<u>Catchment Area</u>	
Mainstream Rio Atrato	620 km ²
Tributary Rio Playa	100 km ²
. Total	720 km ²
<u>Run-off Conditions</u>	
Annual average available discharge	110.2 m ³ /sec
Average available discharge for lowest five days in a month	83.2 m ³ /sec
Minimum run-off	-
Maximum run-off	-
<u>Rio Playa Regulating Reservoir</u>	
High water level	400 m
Low water level	395 m
Available drawdown	5 m
Total storage capacity	11,000,000 m ³
Effective storage capacity	3,000,000 m ³
Reservoir area	752,000 m ²
<u>Feature of Structures</u>	
<u>Rio Playa Dam</u>	
Type	Impervious concrete facing rockfill dam
Height	45 m
Crest length	300 m
Base width	30 m
Volume	500,000 m ³
Spillway capacity	3,300 m ³ /sec (separately provided to side of dam)

Rio Playa Intake

Maximum intake discharge	40 m ³ /sec
High water level	400 m
Low water level	395 m
Intake structure height	10 m
Intake structure width	10 m

Rio Playa Water Conduct Tunnel

Type	Pressure tunnel (circular cross section)
Length	2,100 m
Inner diameter	4.1 m
Number of line	1 line
Maximum discharge	40 m ³ /sec

Headrace (Connecting water way with El Dieciocho No. 1 power station)

Type	Non-pressure waterway (composed of aqueduct and tunnel)
Length	750 m
Tunnel inner diameter	7.50 m (standard horsehoe shape)
Aqueduct cross section	Circular (pipe beam)
Tunnel length	500 m
Total span of aqueduct bridge	250 m
Number of line	1 line
Maximum discharge	180 m ³ /sec

Combining Tank and Spillway of Excess Water

Type	Ground surface type concrete tank
Height	9 m
Width	20 m
Length	150 m
Tank capacity	27,000 m ³

Penstocks

Type	Inclined tunnel-embedded type
Length	350 m
Average inner diameter	4.7 m
Number of lines	2 lines

Powerhouse

Type	Underground
Maximum output	261 MW
Unit capacity	131.5 MW
Number of units	2 units
Turbine type	Vertical-shaft Francis
Revolution	180 rpm
Generator type	3-phases, AC synchronized
Generator capacity	146 MVA x 2 units
Power factor	90%
Underground powerhouse dimensions	
Height	40 m
Width	20 m
Depth	75 m
Cave volume of generating room	60,000 m ³

Surge Chamber for Tailrace

Height	12 m
Width	8.2 m
Length	30 m
Volume	2,900 m ³

Tailrace

Type	Non-pressure tunnel (standard horseshoe shape)
Length	4,900 m
Inner diameter	8.2 m
Number of line	1 line
Maximum discharge	220 m ³ /sec
Gradient	1/1,000

Outlet

Tail water level	250 m
Structure height	15 m
Structure width	30 m
Maximum discharge	220 m ³ /sec (flow down as pressure tunnel during flood)

Power Generation

Generating development form	Dam and waterway type, daily regulation type
Intake water level	400 m
Tail water level	250 m
Gross head	150 m
Effective head	140 m
Maximum available discharge	220 m ³ /sec
Maximum output	261 MW
Annual energy production	1,115 GWh
Annual average output	127.3 MW
Annual plant factor	48.8%

Roughly Estimated Construction Cost

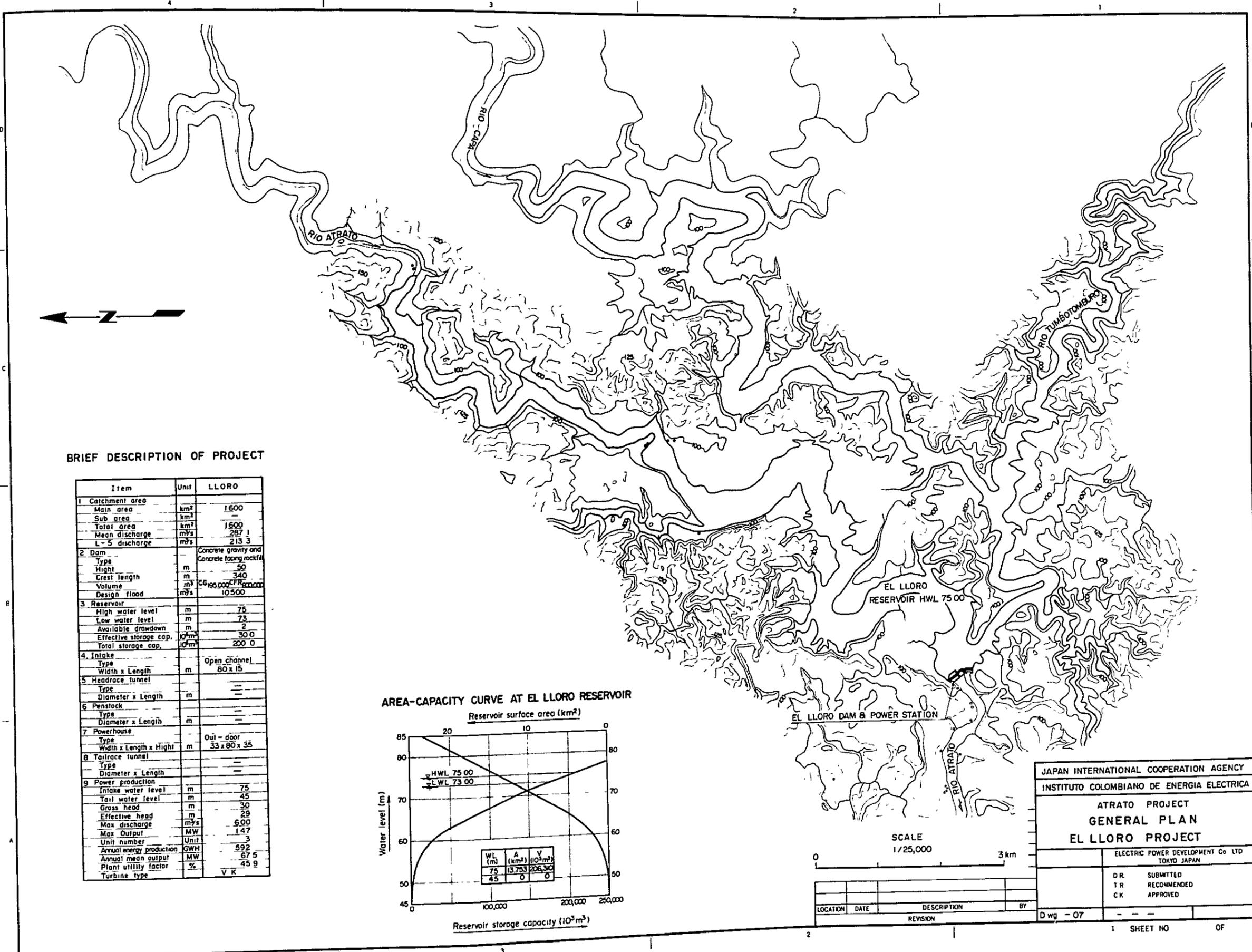
Civil work	US\$170 x 10 ⁶
Generating equipment	US\$41 x 10 ⁶
Others	US\$76 x 10 ⁶
Total	US\$287 x 10 ⁶

Economic Effect

Construction cost per kW	US\$1,100/kW
Construction cost per kWh	US\$0.257/kWh
Generating cost	US\$0.031/kWh (annual expense factor 12%)

Construction Period

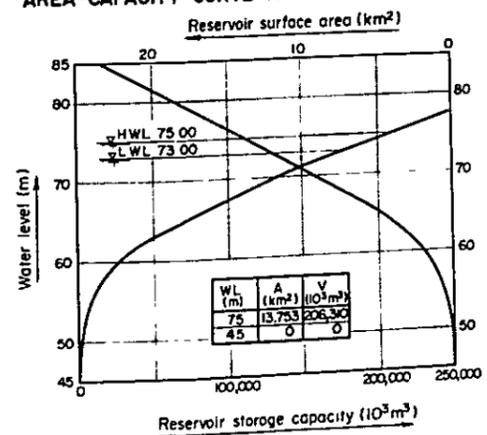
Period to operation	4 years
---------------------	---------



BRIEF DESCRIPTION OF PROJECT

Item	Unit	LLORO
1 Catchment area		
Main area	km ²	1600
Sub area	km ²	—
Total area	km ²	1600
Mean discharge	m ³ /s	287.1
L-5 discharge	m ³ /s	213.3
2 Dam		
Type		Concrete gravity and concrete facing rockfall
Height	m	50
Crest length	m	340
Volume	m ³	1,950,000
Design flood	m ³ /s	10,500
3 Reservoir		
High water level	m	75
Low water level	m	73
Available drawdown	m	2
Effective storage cap.	10 ⁶ m ³	30.0
Total storage cap.	10 ⁶ m ³	200.0
4 Intake		
Type		Open channel
Width x Length	m	80 x 15
5 Headrace tunnel		
Type		—
Diameter x Length	m	—
6 Penstock		
Type		—
Diameter x Length	m	—
7 Powerhouse		
Type		Out-door
Width x Length x Height	m	33 x 80 x 35
8 Tailrace tunnel		
Type		—
Diameter x Length	m	—
9 Power production		
Intake water level	m	75
Tail water level	m	45
Gross head	m	30
Effective head	m	29
Max discharge	m ³ /s	6.00
Max Output	MW	1.47
Unit number	Unit	3
Annual energy production	GWH	592
Annual mean output	MW	67.5
Plant utility factor	%	45.9
Turbine type		V K

AREA-CAPACITY CURVE AT EL LLORO RESERVOIR



SCALE 1/25,000

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ATRATO PROJECT
GENERAL PLAN
EL LLORO PROJECT

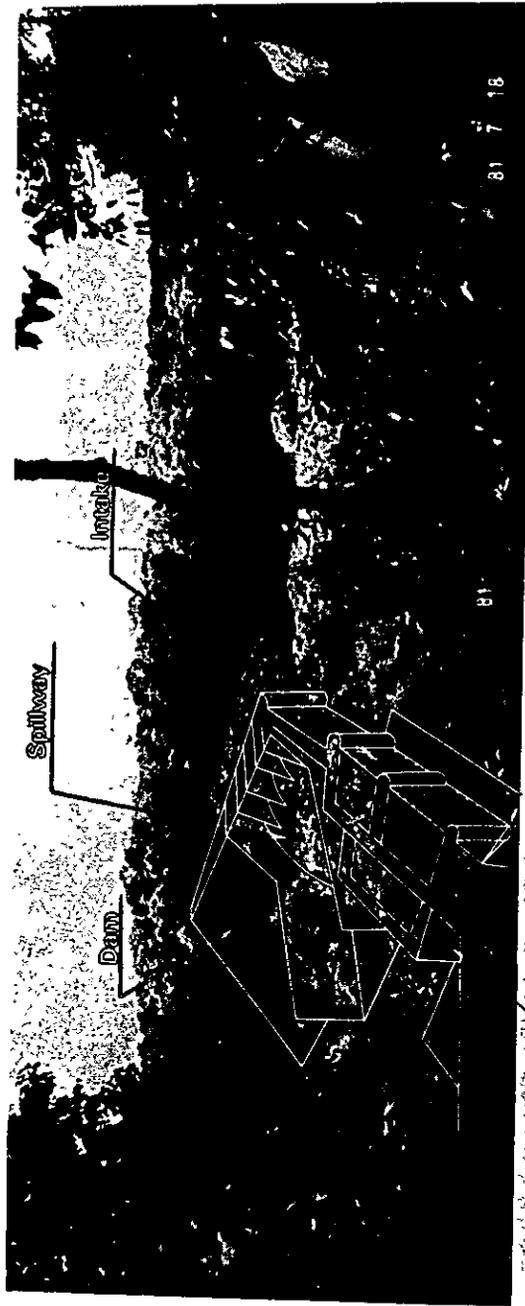
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co. LTD
 TOKYO JAPAN

D R SUBMITTED
 T R RECOMMENDED
 C K APPROVED

Dwg - 07

LLORO Gaging Station





EL LLORO Dam and Power Station

3.2.6 El Lloro 発電計画 (147 MW)

本計画はアトラート河本流と Capa 川, Tumbutumburo 川の 2 大支流が合流する地点の下流 500m の U 字型の狭部にダムを建設し, 満水位 75 m の貯水池を作り, ダム直下に発電所を設けるダム式発電として計画した。

アトラート河も, Bellavista より下流になると河川勾配も $1/240$ と極めて緩勾配であり, 水路で落差を得る事は経済的でない。従って El Lloro 地点に於いては, ダム式開発, すなわち, ダムで落差を得て, そのダムに付帯して, 発電所を設ける開発方式のみが適用される。

満水位 75m は, ダム両ウィングの地形からみて限界の水位であり, El Dieciocho No 2 発電所の放水水位 250m との間に 175m の遊休落差を生ずるが, この間は道路もなく, 一方, 舟で行く事もできない。また近い将来も道路が建設される可能性をもっていない。

El Lloro 地点までは Quibdo より道路が通じている Yuto 部落より 15Km の工専用道路を建設する事により, 建設資材を運搬できる。El Lloro と Bellavista の間の落差を発電に利用するのは El Lloro が開発され, その湖水を使用して, 資材の運搬が可能になった時点に於いて, 始めて開発が可能になるであろう。

El Lloro 地点では流域面積が $1,600\text{km}^2$ と大きくなり, その平均使用水量は $287.1\text{m}^3/\text{s}$ であり, 最低 5 日平均可能使用水量でも $213.3\text{m}^3/\text{s}$ もある。しかし, 放水水位が 45m と推定されるので, 有効落差は 29m と低落差である。それでも年間 613 GWh/年の電力量の生産が可能である。

最大電力 147 MW の発電を得るためには, 最大使用水量 $600\text{m}^3/\text{s}$ が必要であり, 1 台当り $200\text{m}^3/\text{s}$ の使用水量のカブラン型水車を 3 台設置する計画とした。

発電所はダム本体, 洪水吐と並んで, サイトの左岸に明りの屋内式で設けるものとした。この発電所では, 取水口は 3 連設け, 水車はその取水口に直結させる設計とした。発電に使用後の水はアトラート河本流に放流される。

水車は低落差大容量であり, 立軸カブラン型水車を適用した。

この計画のため, 必要とする概算工事費は US\$ 263 百万である。従って, kW 当り建設単価は US\$ 1,789/kW, KWh 当り建設単価は US\$ 0.444/KWh であり, 年経費率を 12% とすると, その発電原価は US\$ 0.053/KWh である。

この発電原価でみると, アトラート河上流部筋では経済性に於いて, El Siete No 1, No 2 El Dieciocho No 1, No 2 よりも劣る。しかし, 将来の水力電源として, 調査は進めて行くべき地点であると考えられる。

この計画の主な諸元は以下の通りである。

<u>Maximum Output</u>	147 MW
<u>Catchment Area</u>	$1,600\text{ km}^2$

Run-off Conditions

Annual average discharge	287.1 m ³ /sec
Average available discharge for lowest five days in a month	213.3 m ³ /sec
Minimum run-off	-
Maximum run-off	-

Regulating Reservoir

High water level	75 m
Low water level	45 m
Available drawdown	2 m
Total storage capacity	206,310,000 m ³
Effective storage capacity	30,000,000 m ³
Reservoir surface area	13,753,000 m ²

Feature of Structures

Dam

Type	Impervious concrete facing rockfill combined with concrete gravity dam of spillway
Height	50 m
Crest length	340 m
Base len	270 m
Volume of rockfill dam	600,000 m ³
Volume of concrete dam	195,000 m ³
Upstream slope of rockfill dam	1:1.6
Downstream slope of rockfill dam	1:1.6

Spillway (provided at concrete gravity portion)

Capacity	10,500 m ³ /sec
Number of gates	8 (tainter gate)
Gate dimensions: height	15 m
width	12 m
Apron width of spillway	124 m
Apron length of spillway	70 m

Intake

Maximum intake discharge	600 m ³ /sec
High water level	75 m
Low water level	73 m
Intake structure height	15 m
Intake structure width	80 m

Powerhouse

Type	Ground surface, indoor type
Maximum output	147 MW
Unit capacity	49 MW
Number of units	3 units
Revolution	113 rpm
Turbine type	Vertical-shaft Kaplan
Generator type	3-phases, AC synchronized
Generator capacity	55 MVA x 3 units
Power factor	90%
Building: height	32 m
width	33 m
depth	80 m
Building space capacity	84,000 m ³

Outlet

Tail water level	45 m
Flood water level	60 m
Outlet structure width	70 m
Outlet structure height	27 m
Maximum discharge	600 m ³ /sec

Power Generation

Generating development form	Dam type
Intake water level	75 m
Tail water level	45 m
Gross head	30 m
Effective head	29 m
Maximum output	147 MW
Maximum available discharge	600 m ³ /sec
Annual energy production	592 GWh
Annual average output	67.5 MW
Annual plant factor	45.9%

Roughly Estimated Construction Cost

Civil work	US\$138 x 10 ⁶
Generating equipment	US\$53 x 10 ⁶
Others	US\$72 x 10 ⁶
Total	US\$263 x 10 ⁶

Economic Effect

Construction cost per kW	US\$1,789/kW
Construction cost per kWh	US\$0.444/kWh
Generating cost	US\$0.053/kWh (annual expense factor 12%)

Construction Period

Period to operation	3 years
---------------------	---------

3.2.7 アトラート河上流部の電力を送電するための送変電計画

アトラート河上流部で発電した電力は既設連系系統に於いて、最も近距離にあるMedellinへ送電する計画とした。El Siete No 1 発電所とMedellin市間の距離は図上では約100Kmと測定され、大部分の電力はMedellin市で消費され、残る電力は既設系統を通じて、Bogota, Cali, Barranquilla市などに配電される。

アトラート計画地点にはMedellinよりQuibdoへ送電するための115kV Icct 既設送電線があり、計画地点付近を通っているが、その送電容量は極めて小さく25MWが限界である。従って、この送電線は工事用電力の送電には役立つが、新規計画地点の電力を送電する事はその容量からみて不可能である。従って、アトラート河上流部の電力をMedellinへ送電するためには新規の送電線を計画し建設する必要がある。

一方、Medellin市周辺の既設変電所 Envigado, Miraflores の2地点があり、現在建設中の Ancon Sur 変電所がある。これらの変電所にはアトラートの電力を受電するための、増設用地に余力がない。従って、アトラートの電力を受電するための新規変電所を計画する必要がある。

送電容量としては、最終的には1,120MW送電を考慮する必要があるが、El Siete No 1 No 2を開発した場合、284MWの最大電力を送電する必要があり、一方、El Dieciocho No 1, No 2を先行して開発した場合、413MWの最大電力を送電する事になり、一期工事としては220kV, 2cct 1ルートの送電を設ける必要がある。その送電容量は最大600MWである。アトラート河の開発がすべて終了した時点では、更にII期工事として、220kV, 2cct 1ルートを追加する必要がある。

一方、送電方法としては500kV, 2cct, 1ルートとして、全電力を送電する事も考えられるが、アトラート河上流部の開発が年次を追って、順次進められて行く事を考慮すると、先行投資の負担が大きくなり、経済的でないと判断した。

アトラートの電力を送電するために、220kVを採用するか、あるいは500kVを採用するかは、コロンビア全体の系統計画のプランに於いて、決定されて行くべき事柄であるが、単純にアトラート計画地点からMedellinへ送電する電源送電線と考えると、その建設費を比較して

みると、以下に示す、Table 3-2-2の通りである。

Table 3-2-2

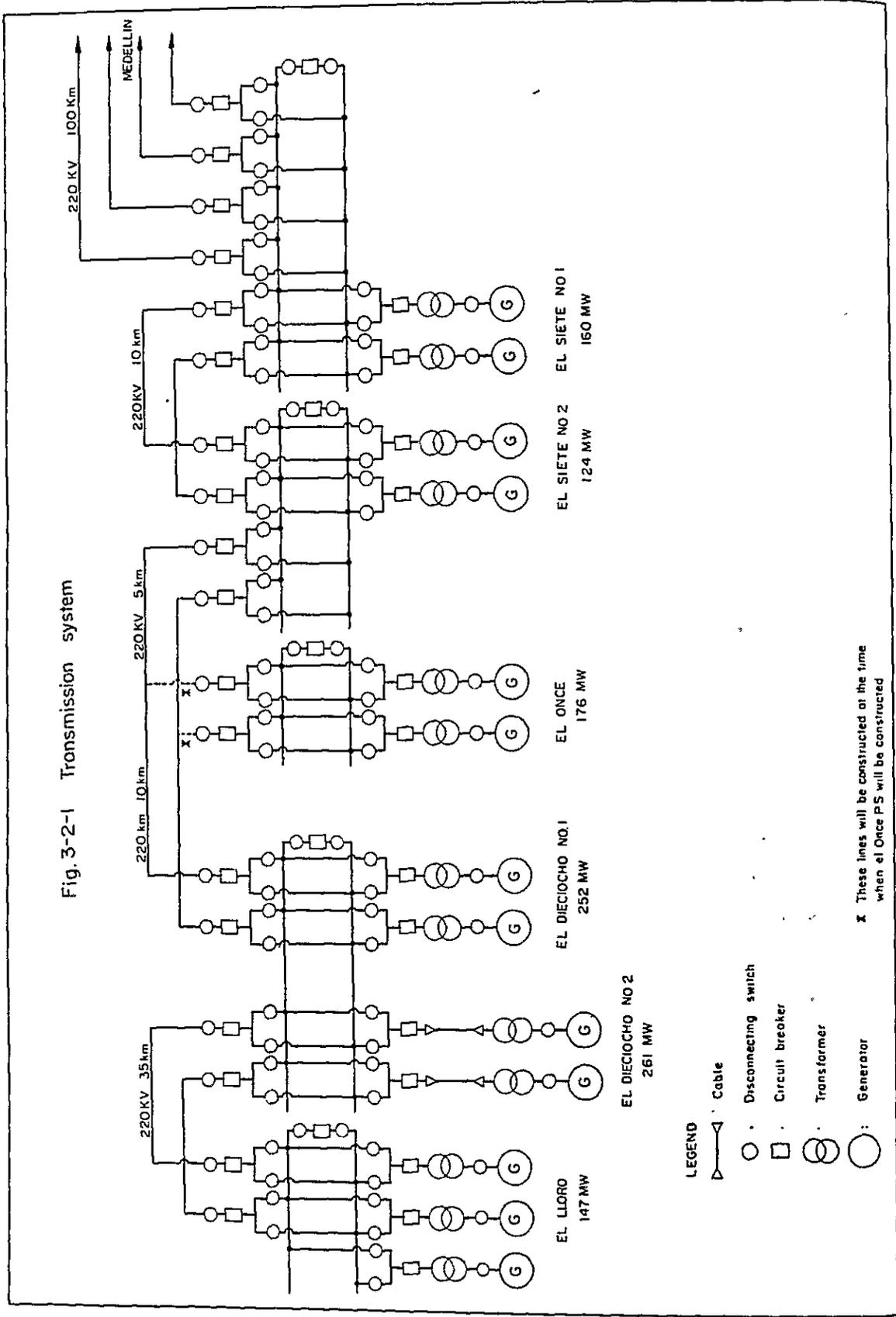
Equipments	Transmission Scheme		Unit: US\$1,000
	220 kV, 2 circuits, 2 routes	500 kV, 2 circuits, 1 route	
Transmission lines	127,300		136,400
Transformers	-		33,700
Switchyard equipments	3,640		12,700
Total	130,940		182,800

Note: The construction costs of this table are calculated about the equipments between 220 kV buses of sending substation and 220 kV buses of receiving substation. For calculation, it is assumed that length of transmission lines is 100 km and transformers of 500 kV are 450 MVA x 3 units for each substation.

上記の Table 3-2-2 に示すように、最終段階での建設費で比較すると 220kV, 2cct 2 ルートで送電する方が、経済的に有利である事を示している。

Fig 3-2-1 はアトラート河上流部の電力を Medellin へ送電するための系統図を示している。この系統図では El Siete No 1, El Siete No 2, El Dieciocho No 1, El Dieciocho No 2, El Once, El Lloro の順で開発を進めて行く計画としてある。また、El Siete No 1 変電所より、Medellin までの送電線は I 期, II 期に分けて、順次建設するステージで考えられている。

また、変電所の母線構成は 1 発電所が停止しても、他の発電所はその溢流水を取水して発電する事ができるので、Fig 3-2-1 に示すように、母線構成を点検時などの停止が少なくてすむ、2重母線方式とした。



第4章 検討結果

FIGURE LIST

- Fig. 4-2-1 Composition of Installed Capacity in Colombia (1979-MW)
- Fig. 4-2-2 Composition of Generated Electric Power in Colombia (1979-GWH)
- Fig. 4-2-3 Uses of Electric Power (1979-GWH)
- Fig. 4-2-4 Typical Daily Load Curve of Interconnected System (1979)
- Fig. 4-2-5 Estimated Maximum Demand and Installed Capacity of Interconnected System (1980 - 1988)
- Fig. 4-2-6 Transmission System expected in 1988
- Fig. 4-2-7 Expansion Plan of Transmission System (1980 - 1988)
- Fig. 4-2-8 Location of Projects for Electric Power Development (1989 - 1991)
- Fig. 4-2-9 Theoretical Hydro Potential by River Basin
- Fig. 4-3-1 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL SIETE NO.1 DAMSITE
- Fig. 4-3-2 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL ONCE DAMSITE
- Fig. 4-3-3 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL DIECIOCHO DAMSITE
- Fig. 4-3-4 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL LLORO DAMSITE
- Fig. 4-4-1 PRECIPITATION DIAGRAM YEAR 1974
- Fig. 4-4-2 LOCATION MAP OF GAGING STATION IN RIO ATRATO
- Fig. 4-4-3 REGISTRATED DATA OF HYDROLOGICAL GAGING STATION IN ATRATO RIVER
- Fig. 4-4-4 CORRELATION BETWEEN AVERAGE PRECIPITATION OF CATCHMENT AREA AND RUN-OFF DISCHARGE AT PUENTE DE SANCHES GAGING STATION
- Fig. 4-4-5 CORRELATION BETWEEN AVERAGE PRECIPITATION OF CATCHMENT AREA AND RUN-OFF DISCHARGE AT TAGACHI GAGING STATION
- Fig. 4-4-6 LOCATION MAP OF PRECIPITATION OBSERVATION STATION AND PROJECTS SITES
- Fig. 4-4-7 MONTHLY DURATION CURVE'S MODEL
- Fig. 4-5-1 Flow Chart of Power Discharge

TABLE LIST

Table 4-2-1	Composition of Generating Facilities (1979)
Table 4-2-2	kW Balance of Interconnected System (1975 - 1981)
Table 4-2-3	Annual Growth Rate of Demand (1971 - 1979)
Table 4-2-4	Service Type of Electric Power
Table 4-2-5	Variations by Month in Maximum Demand of Interconnected System (1979)
Table 4-2-6	Tariff Rates of Main Cities by Service Type (July 1979)
Table 4-2-7	Energy Demand Forecast for Interconnected System
Table 4-2-8	Annual Increase of Installed Capacity
Table 4-2-9	Construction Schedule of Generating Facilities (1981 - 1988) (According to the data of ISA)
Table 4-2-10	Construction Schedule of Transmission Lines (1981 - 1988)
Table 4-2-11	kW and kWh Balance of Interconnected System
Table 4-2-12	Construction Schedule of Generating Facilities (after 1989)
Table 4-2-13	Technical and Economical Hydro Potential by River Basin
Table 4-2-14	Items according to the Scale of Installed Capacity
Table 4-2-15	Items according to the Construction Cost
Table 4-3-1	General Geologic Sequence and Rock Type of Rio Atrato Basin
Table 4-3-2	Geologic Sequence and Rock Type of El Siete No.1 and No.2 Project Area
Table 4-3-3	Geologic Sequence and Rock Type of El Once Project Area
Table 4-3-4	Geologic Sequence and Rock Type of El Dieciocho No.1 and No.2 Project Area
Table 4-3-5	Geologic Sequence and Rock Type of El Lloro Project Area
Table 4-4-1	Monthly Temperature at Quibdo Observatory (Year 1970)
Table 4-4-2	Monthly Temperature at La Mansa Observatory (Year 1977)
Table 4-4-3	Temperature at Each Project Site
Table 4-4-4	Annual Humidity at Quibdo & La Mansa Station
Table 4-4-5	Annual Average Wind Velocity at Quibdo Station
Table 4-4-6	Annual Precipitation at Each Precipitation Station in Departamento de Choco
Table 4-4-7	Annual Precipitation in Atrato Area
Table 4-4-8	Monthly Precipitation at Project Area
Table 4-4-9	Maximum Daily Precipitation at Each Year

Table 4-4-10	Run-off Duration at Puente de Sanchas G.S.
Table 4-4-11	Monthly Run-off at Puente de Sanches Gaging Station
Table 4-4-12	Monthly Run-off at Arayanez Gaging Station
Table 4-4-13	Monthly Run-off at Togachi Gaging Station
Table 4-4-14	Annual River Run-off Duration at Puente de Sanches Gaging Station
Table 4-4-15	Annual River Run-off Duration at El Siete No. 1 Dam
Table 4-4-16	Annual River Run-off Duration Curve at Tagachi Gaging Station
Table 4-4-17	Annual River Run-off Duration Curve Par 100 km ² at Tagachi Gaging Station
Table 4-4-18	Coefficient of River Run-off at Puente de Sanchas Gaging Station
Table 4-4-19	Coefficient of River Run-off at Tagachi Gaging Station
Table 4-4-20	Monthly Run-off at El Siete No.1 Dam
Table 4-4-21	Monthly Run-off at El Siete No.2 Dam
Table 4-4-22	Monthly Run-off at El Once Dam
Table 4-4-23	Monthly Run-off at El Dieciocho No.1 Dam
Table 4-4-24	Monthly Run-off at El Dieciocho No.2 Power Station
Table 4-4-25	Monthly Run-off at El Lloro Dam
Table 4-4-26	Weight Coefficient of Precipitation at Each Project Site
Table 4-4-27	Estimated Maximum Daily Precipitation at Each Project Site
Table 4-4-28	Estimated Flood Discharge in Rio Atrato Project
Table 4-4-29	Design Flood Discharge at Each Project Site
Table 4-4-30	Compared Design Flood Discharge between Rio Atrato Project and Other Project in Colombia
Table 4-5-1	Power Discharge at Each Project
Table 4-5-2	Annual Energy Production at Each Project
Table 4-5-3	Energy Production at El Siete No.1 Project
Table 4-5-4	Energy Production at El Siete No.2 Project
Table 4-5-5	Energy Production at El Once Project
Table 4-5-6	Energy Production at El Dieciocho No.1 Project
Table 4-5-7	Energy Production at El Dieciocho No.2 Project
Table 4-5-8	Energy Production at El Lloro Project
Table 4-5-9	Comparison of Annual Energy Production for Various Maximum Available Discharge at El Siete No.1 Project

- Table 4-5-10 Comparison of Annual Energy Production for Various Available Discharge at El Siete No.2 Project
- Table 4-5-11 Comparison of Annual Energy Production for Various Maximum Available Discharge at El Once Project
- Table 4-5-12 Comparison of Annual Energy Production for Various Maximum Available Discharge at El Dieciocho No.1 Project
- Table 4-5-13 Comparison of Annual Energy Production for Various Available Discharge at El Dieciocho No.2 Project
- Table 4-5-14 Comparison of Annual Energy Production for Various Available Discharge at El Lloro Project
- Table 4-5-15 Construction Cost of the Upstream Rio Atrato Project
- Table 4-5-16 Economic Effect for Each Project

4. 検 討 結 果

4.1 アトラート河の電力開発の意義

アトラート河は、西部アンデス山脈を源流として、Choco 平野へ流下するアトラート河本流の上流部と、Murri 河に於いて電力開発の可能性をもっている。今回、調査を行い、そのマスター・プランを策定したのはその中のアトラート河本流の上流部である。

計画地点と、既に全国送電連系されているMedellin地区は約100kmの送電線を建設する事により連絡出来る。従って、この送電線により、アトラート河上流部で発電される1,120MWの電力はBogota, Medellin, Cali, Barranquillaの4大電力需要地区に送電できる。

一方、コロンビア国の電力需要は1981年で4,058MWであり、1995年には15,159MWに達するものと予想されている(4.2.2項に記述)。その間1988年までの8年間に6,620MWの開発を計画し、更に1989年以降の計画として、12,284MWに及ぶ電力開発計画案を用意している。これらをすべて開発すれば1995年に予想される電力需要15,159MWは十分カバーされる事になる。しかし、1995年までに開発される地点すべてが、資金的、技術的に問題なしとする計画地点のみではない。従って、コロンビア国は未調査の河川をも含めて、技術的問題が少く、しかも、より経済性の高い地点の調査、開発を進めて行く必要性を考慮し、優良計画の選定を進めている。

アトラート河上流部の電力開発計画はその中の一つである。

アトラート河上流部の電力開発はその開発方式をみると、El Once, El Lloro 地点を除き、他の地点はすべて、ダム水路式の開発をとる事になる。また、アトラート河上流部は西アンデス山脈の西斜面を流下する急流であり、しかも、世界的にみても、コロンビア国内でも、最も多雨地帯に属しており、水力開発地点として良い条件をもっている。更に豊水期、渇水期の差が小さく、その河川のもつ流水状況が極めて安定している。

このような条件は水力開発にとって世界的にみても稀にみる好条件である。更に、建設に当たってのアクセス状況を見るとMedellin~Quibdo間の国道が、プロジェクト地域内を通っており、早期に開発を進める事ができる。また、建設用の動力を既設の115kV送電線より、工事場所の直ぐ近くで、変電所を設ける事により、容易に入手できる良い条件も合わせてもっている。

また、アトラート河で最初に開発される地点、例えばEl Siete No.1発電所160MWが完成すれば、その下流の地点を順次シリーズに開発して行く事が可能であり、長期に亘り、建設用機器、安定した労働力を利用する事ができる。

更に、Bolivar~Dieciocho間の国道の改良工事が行なわれる事により、Quibdo市への

物資輸送、Choco 県からの農産物の Medellín への輸送もより容易になる。このように、本開発計画の実施は、直接、間接的に Choco 県総合的開発の促進につながる効果をもっている。

アトラート河上流部の電力開発の最大の効果はコロンビア国の水力地点の多くがもっている欠点、すなわち7、8、9月に来る渇水期に、供給能力不足状態を生ずる欠点を、逆にアトラート河筋がこの間豊水期であることにより、ベース負荷を分担して全供給能力を安定させ有効化できる点である。

この事は火力供給力の比率が少ない、コロンビア国電力供給設備にとって多くの水力設備が渇水期にある時アトラート河の地点がベース負荷を分担すれば火力の役割りをはたす事になり、従来の水力設備は渇水期に直面してもミドル負荷あるいはピーク負荷を分担し、その設備能力をフルに活用できる事を意味している。

4.2.2 章にも記述した通りアトラート河上流部の開発計画は水力に、その多くを依存する電力開発基本計画がある限り、水力の渇水時に従来、火力が行っていた役割りと同じ、渇水補給が可能である地点として役立つ能力をもっている。この事のみを取上げても、アトラート河上流部を開発する意議は大であると言える。

一方、4.5.5 項でも記述してある通り、アトラート河上流部の El Siete No 1, No 2 および El Dieciocho No 1, No 2 地点はその発電単価が極めて安価であり \$ 0.023 ~ \$ 0.038/kWh の電力はコロンビア国の電力料金の長期安定に役立つものであり、同国の経済発展に資する効果は極めて大きいと言える。

4.2 コロンビア国の一般電力事情

4.2.1 電力の現況

(1) コロンビア国の電力組織

コロンビア国の電力機関としては、その行政を鉱山エネルギー省 (Ministerio de Minas y Energia) が担当し、その直接機関としてコロンビア電力公社 (ICEL - Instituto Colombiano de Energia Eléctrica)、政府資本会社として連系電力会社 (ISA - Interconexión Eléctrica S.A.) をもっている。更に民間資本を主体とし、一部政府資本を導入している Bogota 電力会社 (EEEB - Empresas de Energía Eléctrica de Bogotá)、Medellin 電力会社 (EPM - Empresas Públicas de Medellín)、Cauca 地域開発公団 (CVC - Corporación Autónoma Regional de Cauca) および大西洋岸電力公社 (CORELCA - Corporación Autónoma de Costa Atlantica) があり、電力開発ならびに電力の供給を担当している。

上記の中、電力会社 ICEL、連系会社 ISA は発送変電のみを行い、その生産した電力を Bogota、Medellin 電力網などに卸売りし、電力の広域運営を行っている。Bogota、

Medellin, Corelca 電力などは自ら電力開発を行うと共に ICEL, ISA より卸売りを受けた電力と自ら生産した電力を合わせて、自己系統内の電力消費者に供給し、売電している。

しかし、ICELはその配下に地方に散在している地方電力すなわち Antioquia, Boyaca, Caldas, Caqueta, Cauca, Cundinamarca & Meta, Choco, Huila, Nariño, Norte De Santander, Santander, Tolima 電力などを傘下にもち、その会社を通じて、電力を消費者に売電している。一方、ICELは政府資本を ISA, Bogota 電力, Medellin 電力, CVC などに政府の直轄機関として出資している。

現在、1979年時点で、コロンビア国に於ける既設発電設備は 4,248.6MW であり、その中の 98.1% に当たる 4,168.7MW を ICEL, ISA, Bogota 電力, Medellin 電力, CVC, Corelca 電力機関あるいは会社が所有しているので、コロンビア国の電力はこの 6 社によって、その運用が成されていると言える。

(2) 現有発電設備

1979年時点で、コロンビア国は 4,248.6MW の発電設備を所有し、その中、2,985.4MW が水力発電であり、全設備の 70.3% を占め電力供給の主体となっている。一方火力発電は 29.7% であり、1,263.2MW である。その中、708.5MW の火力設備が Corelca 電力の所有であり、他の電力では火力は水力の補完的役割りを果たしているのみである。従って、コロンビア国の電力設備構成は、水主火従であると言える。

各電力機関および電力会社が所有している発電設備は以下に示す通りである。

<u>Name of Power Plants</u>	<u>Hydro or Thermal</u>	<u>Installed Capacity (MW)</u>
<u>o Installed Capacity of ICEL</u>		
ESMERALDA	Hydro	30
INSULA	"	15
SAN FRANCISCO	"	135
PRADO	"	51
Other Hydro	"	142
Sub-total		<u>373</u>
PAIPA I	Thermal	33
PAIPA II	"	66
BARRANCA I, II,	"	25
BARRANCA III	"	66
Sub-total		<u>190</u>
PALENQUE	Gas turbine	32
ZULIA	"	15
TIBU	"	19
Sub-total		<u>66</u>
Total		<u>629 MW</u>

<u>Name of Power Plants</u>	<u>Hydro or Thermal</u>	<u>Installed Capacity (MW)</u>
o <u>Installed Capacity of ISA</u>		
CHIVOR I	Hydro	500
Total		<u>500 MW</u>
o <u>Installed Capacity of E.E.E.B.</u>		
SALTO I, II	Hydro	125
LAGUNETA	"	76
COLEGIO	"	300
CANOAS	"	50
<u>RIO NEGRO</u>	"	<u>10</u>
Sub-total		561
TERMOZIPA I, II	Thermal	70.5
<u>TERMOZIPA III</u>	"	<u>66</u>
Sub-total		136.5
Total		<u>697.5 MW</u>
o <u>Installed Capacity of E.P.M.</u>		
GUADALUPE I	Hydro	32
GUADALUPE II	"	10
GUADALUPE III	"	260
TRONERAS	"	36
RIO GRANDE	"	75
PIEDRAS BLANCAS	"	6
GUATAPE I, II	"	560
Total		<u>979 MW</u>
o <u>Installed Capacity of C.V.C.</u>		
ANCHICAYA	Hydro	64
ALTD ANCHICAYA	"	340
CALIMA	"	120
<u>Other Hydro</u>	"	<u>10</u>
Sub-total		534
<u>YUMBO</u>	Thermal	50
Sub-total		50
Total		<u>584 MW</u>

<u>Name of Power Plants</u>	<u>Hydro or Thermal</u>	<u>Installed Capacity (MW)</u>
o <u>Installed Capacity of CORELCA</u>		
BARRANQUILLA (1,2,3,4)	Thermal	264*
CARTAGENA (1,2,3)	"	198**
EL RIO (1,2,3,4)	"	36
EL RIO (5,6,7,8)	"	36
COSPIQUE (1,2,3,4)	"	32
Sub-total		566
BARRANQUILLA (5,6)	Gas turbine	42
BALLENAS	"	30
EL RIO (9,10)	"	39
COSPIQUE (5)	"	19
LA UNION (1,2,3,4)	"	62
RIO MAR	"	10
CHINU (1,2,3,4)	"	29
Sub-total		231
<u>Total</u>		<u>797 MW</u>

Note: * 132 MW of this capacity was commissioned in 1980

** 66 MW of this capacity was commissioned in 1980

(3) 供給能力の構成

(2)項で記述したように、コロンビア国が現在保有している発電設備は4,248.6MWでありその主体は水力発電である。

その水力発電設備の構成につき、越年調整可能の貯水式、日間調整式、自流式に分類し、更に火力発電を石油、石炭、ガス・タービン、ディーゼル発電に分類し、その発電能力と比率を各電力会社につき記述すれば以下のTable 4-2-1に示す通りである。

Table 4-2-1 Composition of Generating Facilities (1979)

Utility		Unit: MW									
Type	ICEL	ISA	E.E.E.B.	E.P.M.	C.V.C.	CORELCA	Others	Total			
Annual regulation reservoir	51	500	551.5	862	120	-	-	2,084.5			
	13.7%	100%	98.2%	88.6%	22.2%			69.8%			
Seasonal regulation reservoir	180	-	-	36	340	-	-	556			
	48.2%			3.7%	62.9%			18.6%			
Daily regulation	147.1	-	10	75	80.7	1.1	36	344.9			
	38.1%		1.8%	7.7%	14.9%	100%	100%	11.6%			
Run-of-river	-	-	-	-	-	-	-	-			
Sub-total	373.1	500	561.5	973	540.7	1.1	36	2,985.4			
	12.5%	16.8%	18.8%	32.6%	18.1%		1.2%	100%			
Oil-fired Steam P.P.	91	-	-	-	-	335.7	-	426.7			
	30.4%					47.4%		33.8%			
Coal-fired Steam P.P.	99	-	136.5	-	50	40.5	-	326			
	33.1%		100%		66.6%	5.7%		25.8%			
Gas turbine	66	-	-	-	-	252.7	-	318.7			
	22.1%					35.7%		25.2%			
Diesel	43.2	-	-	-	25.1	79.6	43.9	191.8			
	14.4%				33.4%	11.2%	100%	15.2%			
Sub-total	299.2	-	136.5	-	75.1	708.5	43.9	1,263.2			
	23.7%		10.8%		5.9%	56.1%	3.5%	100%			
Total	672.3	500	698	973	615.8	709.6	79.9	4,248.6			
	15.8%	11.8%	16.4%	22.9%	14.5%	16.7%	1.9%	100%			

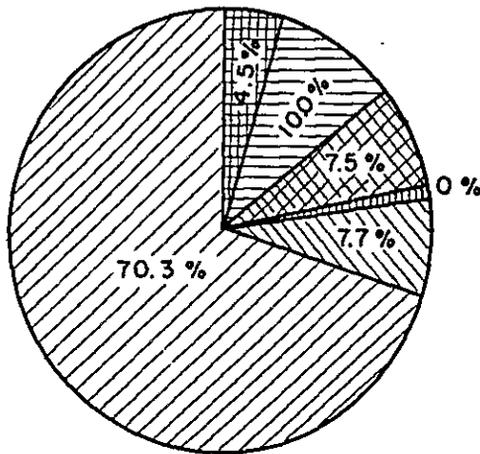
前項の Table 4-2-1 に示されているように、水力でも越年調整が可能な貯水式および季節調整の貯水式が全体の 88.4% も占めており、コロンビア国は極めて良質の水力発電を保有している。

一方、火力発電設備に於いても、石炭火力が火力設備の 25.8% を占めており、石油火力に対する依存度が少ない点、電力構成の面からみて、エネルギー対策は理想的であると言える。

また、ガス・タービンは火力設備の 25.2% を占めているが、その大部分が、Corelca 電力系統内に在り、1982年には主連系系統との連系が完了するので、緊急用の電力として利用されて行く事になる。

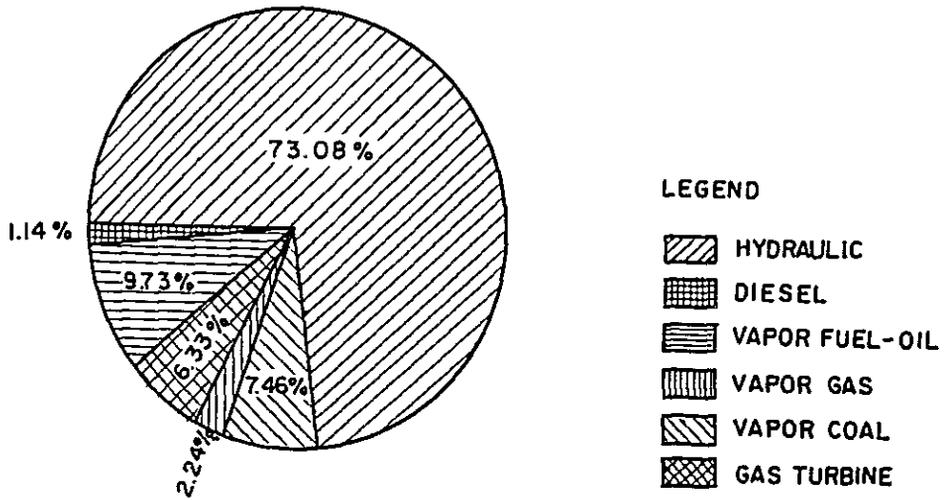
ディーゼル発電は 1,000 kW 以下の小型の機種が大部分であり、地方の未だ連系されていない村落に対する電力を担当しているが、全国で 191.8 MW であり、その影響度は小さい。

Fig. 4-2-1 Composition of Installed Capacity in Colombia
(1979 - MW)



TOTAL CAPACITY
42 486 MW

Fig. 4-2-2 Composition of Generated Electric Power in Colombia
(1979 - GWH)



LEGEND

- HYDRAULIC
- DIESEL
- VAPOR FUEL-OIL
- VAPOR GAS
- VAPOR COAL
- GAS TURBINE

(4) 電力需要と供給能力のバランスの現況

1979年時点で、全国の最大負荷は3,690.5 MWを記録しているが、その中の78.7%に相当する2,902.6 MWは連系系統内で発生する最大電力である。この連系系統はBogota市とその周辺都市を供給対象としているBogota電力、Medellin市を中心とするMedellin電力、Cali市を中心とするCVCの3大需要地をカバーしている。

しかし、1981年には今一つの北部にあるBarranquilla、Magdalena市を中心とするCorelca電力と既設連系系統との連系が完成する見込みであり、1981年時点には連系地区の最大負荷は4,058 MWに達する。

この連系系統に連結されている既設発電供給設備の合計出力は水力2,949.4 MW、火力1,289.3 MWで、合計4,238.7 MWである。それに1981年内に運開できる新規発電設備（Zipaquira IV, 66 MW, Chivor II, 500 MW, Paipa III, 66 MW, Chinu 100 MW, 合計732 MW）を加算すると合計設備は4,970.7 MWとなり、設備では913 MWの予備力を保有している事になる。

しかし、水力の渇水低下と火力の補修を考慮すると供給可能出力の出力低下率は最大18%と想定され、連系系統内に於ける保証出力は4,200 MWとなり、最大負荷4,058 MWに対して3.5%の142 MWの余力をもっているにすぎない。この状態は異常渇水年に直面し、そのうえ、事故発生時には供給力不足を発生させる危険性が大きい。

現在の需給バランス状態を過去7年に亘って示せば、下記のTable 4-2-2の通りである。

Table 4-2-2 kW Balance of Interconnected System (1975~1981)

Year	Maximum Demand	Installed Capacity	Firm Capacity	B-A	C-A	$\frac{C-A}{A}$
	A	B	C	MW	MW	%
1975	2,111.7	2,498		386.3		
1976	2,264.1	2,630		365.9		
1977	2,381.8	3,130		748.2		
1978	2,680.0	3,165		485.0		
1979	2,902.6	3,460		557.4		
1980	3,116	3,460	2,900		-216	-6.9
1981	*4,058	**4,970.7	4,200		142	3.5

Note: * Including Corelca system.

** Including the power plants which was commissioned in 1981.

連系系統およびCorelca系統について、過去9年間（1971~79年）の最大負荷、電力量の年伸び率を調べてみると、下記のTable 4-2-3に示す通りである。それによると、

コロンビア国では電力消費の平均伸び率は9.4%/年であり、最も大きな伸び率を示めた1973年でも11.89%であった。

Table 4-2-3 Annual Growth Rate of Demand (1971~1979)

		Unit: %/year									
Utility		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	Average Growth Rate
E.E.E.B.	E	11.75	10.03	10.93	11.41	10.90	10.47	7.43	10.93	11.66	10.61
	P	9.60	8.28	10.74	7.26	7.88	9.06	7.18	12.63	9.94	9.17
E.P.M.	E	9.41	10.37	9.06	7.11	6.31	10.01	-1.42	13.86	9.21	8.21
	P	13.74	6.87	11.97	5.94	7.75	5.29	3.13	11.82	6.42	8.10
C.V.C.	E	9.63	10.47	10.24	7.90	5.47	11.03	0.79	14.04	8.90	8.72
	P	12.60	5.59	8.48	10.75	7.94	8.44	7.28	6.79	8.33	8.46
ICEL	E	10.25	10.61	13.70	9.66	12.53	11.04	9.56	18.92	10.43	11.85
	P	7.77	10.16	22.00	3.17	16.07	13.44	4.13	14.83	7.35	10.97
CORELCA	E	—	—	10.55	9.93	6.33	13.40	6.42	15.59	12.57	10.68
	P	—	—	4.21	11.24	11.18	10.81	8.42	17.73	6.66	10.03
Total	E	11.07	9.10	11.89	7.14	9.87	9.19	5.78	12.71	7.90	9.40
	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Note: E; Annual Energy Consumption, P; Maximum Demand

(5) 電力使用用途とその消費量

コロンビア国に於ける電力の使用用途を1979年の実績値よりみると住宅用37.07%、産業用24.73%、商業用10.32%、官公庁用3.89%、公共照明1.83%、その他2.22%、電力損失19.85%である。この比率からみると電力損失の大きさが目立ち、送配電網の改善の必要性を示している。この事は電力損失を現状から12%まで低下させる事ができれば、約300MWの供給力を回復できる事を意味する。

電力使用・用途を電力会社別に示せば下記のTable 4-2-4に示す通りである。

Table 4.2.4 Service Type of Electric Power

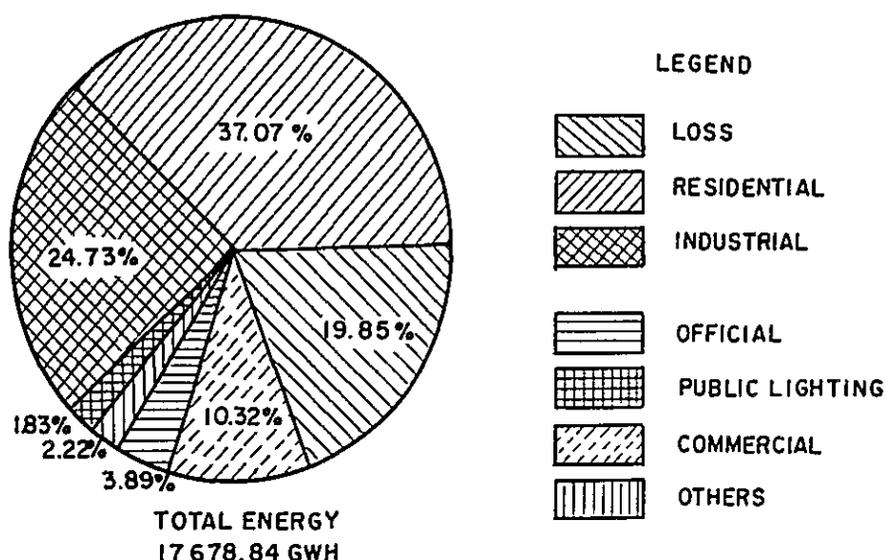
Service Type		Unit: %							
Utility		Residential	Industrial	Commercial	Governmental	Public Lighting	Others	Whole-sale	Losses
ICEL		36.05	8.72	16.75	3.85	2.24	3.89	11.1	17.33
ISA		-	-	-	-	-	-	98.54	1.46
E.E.E.B.		31.94	24.05	12.81	5.31	2.39	-	4.78	18.72
E.P.M.		33.63	22.26	5.82	2.17	0.55	1.03	-	17.90
C.V.C.		33.13	32.30	9.73	-	-	6.25	5.95	13.00
CORELCA		32.72	24.10	10.55	6.15	2.60	-	2.60	21.23
OTHERS		54.90	8.35	9.85	1.60	-	-	-	25.30
Total		37.07	24.73	10.32	3.89	1.83	2.22	-	19.85

一方、電力の消費量を調べてみた結果は以下の通りである。コロンビア国の人口統計よりみると1975年の人口調査では24百万人であり、人口増加率を3%として、1979年の人口を推定すると27百万人である。

その年の電力最大負荷は3,690.5MW、電力消費量は17,679GWh/年であり、一人当りの消費量は137W/人、655kWh/人/年である。

この消費量はラテン・アメリカに於いて、ブラジル、メキシコ、アルゼンチン、ベネズエラに次いで第5位に位置する数量である。この事はコロンビア国が基幹産業の電力部門の拡充に相当の努力を行って来ている事を示している。更にFig 4-2-3に示す如く、産業用、商業用電力が全体の35.05%を占め、その使用電力量は6,196GWh/年に達しており、相当、工業化を進めて来ている事を示している。

Fig. 4-2-3 Uses of Electric Power (1979-GWH)

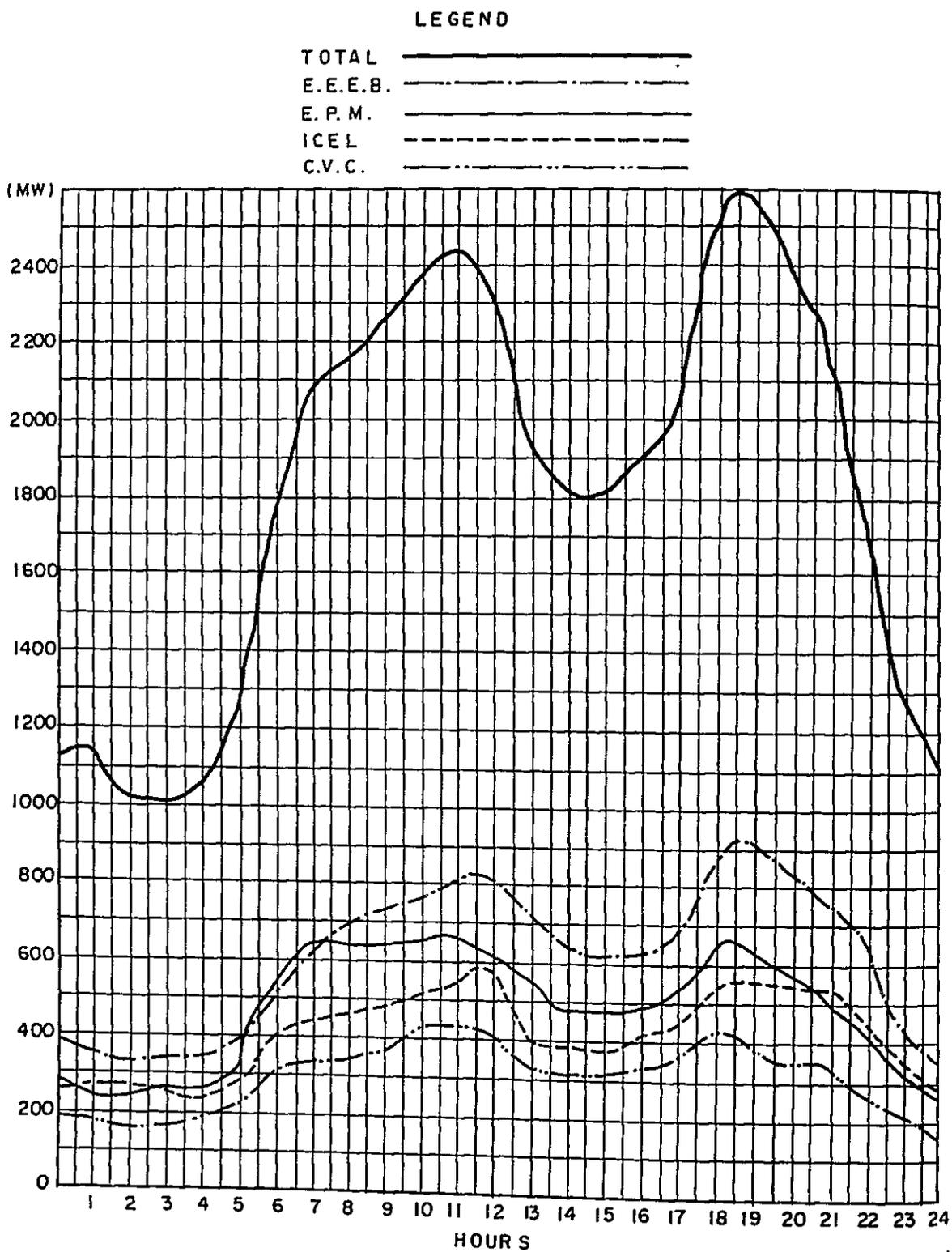


(6) 負荷形状と予備力

連系系統に於ける1979年の代表的・日間負荷形状はFig 4-2-4に示す通りである。この形状を見ると、連系系統に於いては最大負荷、2,600MWが18-19時に発生している。この事は電力の使用状況からみて、普通の事であり、家庭用電力のピークが原因している。しかし、11時に2,440MW(最大負荷の93.8%)の負荷が発生している。この事は他国に比較して、異常に高い数値であり、連系系統が熱帯、亜熱帯、温帯、亜寒帯と高度により気候の異なる地区をカバーしているため、工業用電力に加えて、冷房用電力のピークが重なるため生ずるものである。

日間負荷率はFig 4-2-4によると70.8%であるが土曜、日曜、祭日の低負荷日を考慮すると年平均負荷率は59.3%である。

Fig. 4-2-4 Typical Daily Load Curve of Interconnected System
(1979)



また、需要が増大を続けているため年間を通じて、1月から月順に最大負荷が増大し、最大負荷は12月である。これは年間を通じて気温の変動が少く、季節による影響がないためでもある。Table 4-2-5 は最大負荷の月別変動を示してある。

また、連系系統の深夜の最低負荷は1979年の実績では1,000 MWであり、最大負荷は2,600 MWである。この値は先進国の負荷形状よりみて、低い値であり、産業用電力が深夜には使用されていない事を示している。

Table 4-2-5 Variations by Month in Maximum Demand of Interconnected System (1979)

Month	Maximum Demand (MW)	Month	Maximum Demand (MW)
Jan.	2,623.4	July	2,727.6
Feb.	2,663.7	Aug.	2,768.5
Mar.	2,680.7	Sep.	2,800.4
Apr.	2,698.0	Oct.	2,859.1
May	2,711.0	Nov.	2,897.4
June	2,708.7	Dec.	2,902.6

一般に予備力は月単位で検討し、その月の最大3日平均の電力需要と、その月の供給能力の差で表わす。また、供給能力の検討では、水力の渇水による出力低下、火力発電の点検・補修の停止、および事故による停止を考慮する必要がある。

コロンビア国内の主要河川について河川流況を調べてみると渇水期は2～3月であり、豊水期は10～11月となる河川が多い。しかし、渇水期の流量は豊水期の流量の50%を多少下まわる程度である。一方、既設あるいは計画中の水力プロジェクトは季節調整が可能な地点が多いので、渇水による影響は少い方である。しかし、水力発電が全体の70.3%も占めているので、渇水年の影響が大きく、供給能力が渇水年には低下する事になり、設備をフルに利用できない年が発生する。

(7) 現行電力料金

コロンビア国では電力料金を地域性を考慮して、電力会社別、およびその用途別に区分している。また、物価スライドを考慮して、1.5～2.5%/月の率で値上げしている。料金は定額の基本料金とkWhの使用量に応じた料金に分かれている。一方、家庭用電力では使用量に比例して逓増料金を適用している。1979年の電力料金は全国の料金収入を売電電力量で除して、その平均単価を求めてみるとCOL\$ 0.84/kWh (US\$ 0.0168/kWh)であった。

この料金は他国に比して、極めて安価である。更に、主要都市に於ける電力料金の平均

価格を用途別に求めると下記の Table 4-2-6 に示す通りである。

Table 4-2-6 Tariff Rates of Main Cities by Service Type
(July 1979)

		Unit: COL\$/kWh			
City \ Service Type	BOGOTA	MEDELLIN	CALI	BARRANQUILLA	
Residential	0.76	0.60	1.10	1.26	
Commercial	1.82	1.71	1.40	1.88	
Industrial	1.26	1.15	1.85	1.47	
Governmental	0.99	0.72	0.87	1.21	
Public Lighting	1.03	0.10	0.86	1.18	
Average	1.10	0.74	0.92	1.40	

Note: The average unit price of the whole country is COL\$0.84/kWh.

上記の Table 4-2-6 でみると Medellín 市を中心とする Medellín 電力の系統が最も安価な料金を適用しており、水力発電を主体とする電力供給が電力料金の安定、安価に影響している事を示している。それに比して、火力発電にすべての供給力を依存している Barranquilla を中心とする Corelca 系統は全国でも、最も料金の高い地区になっており、Medellin 系統の約 2 倍の価格である。これは火力発電がコロンビアでは燃料コストが影響して、料金を高めている事を示している。

また、コロンビア国では住宅用料金を安価にして、商業用、産業用電力の料金を高くしている。これは産業育成には不利であるが、民生安定を重視した事を示している（注：ラテン・アメリカ諸国では一般に民生安定を重視した料金政策を適用している）。

4.2.2 1988年までの電力開発中期計画

(1) 指針とその目標

コロンビア国では国民生産が年 5% で伸びており、ISA の電力需要予測によると、今後とも年 10% 前後の増加が続くものとしている。

Table 4-2-7 は連系系統の電力需要予測値を示す。

コロンビア国では 1981 年から 1988 年までの 8 年間に 6,620 MW の新規電力設備と、延長 4,988 km の送電線の拡充計画を決定し、建設あるいは実施設計に入っている。

Table 4-2-7 Energy Demand Forecast for Interconnected System

Year	Maximum Demand (MW)	Growth Rate (%)	Year	Maximum Demand (MW)	Growth Rate (%)
1980	3,116	7.4	1988	8,094	9.7
1981	4,058	30.2*	1989	8,852	9.4
1982	4,585	13.0	1990	9,697	9.5
1983	5,074	10.7	1991	10,635	9.7
1984	5,584	10.1	1992	11,612	9.2
1985	6,147	10.1	1993	12,706	9.4
1986	6,742	9.7	1994	13,882	9.3
1987	7,377	9.4	1995	15,159	9.2

Note: According to 1981 data of ISA.

*Increase due to interconnection with the Corelca System.

Table 4-2-9 に示す通り、コロンビア国では未開発の水力資源を利用する水力主体の電力開発を基本としている。しかし、1984年までは764MWの火力発電、ガスタービン発電を考慮し開発を実施している。これは水力開発の決定分あるいは建設中プロジェクトのみでは増大する電力需要に対処できないため、補完的に開発を進め、将来は予備力として活用する事を考慮しての開発である。

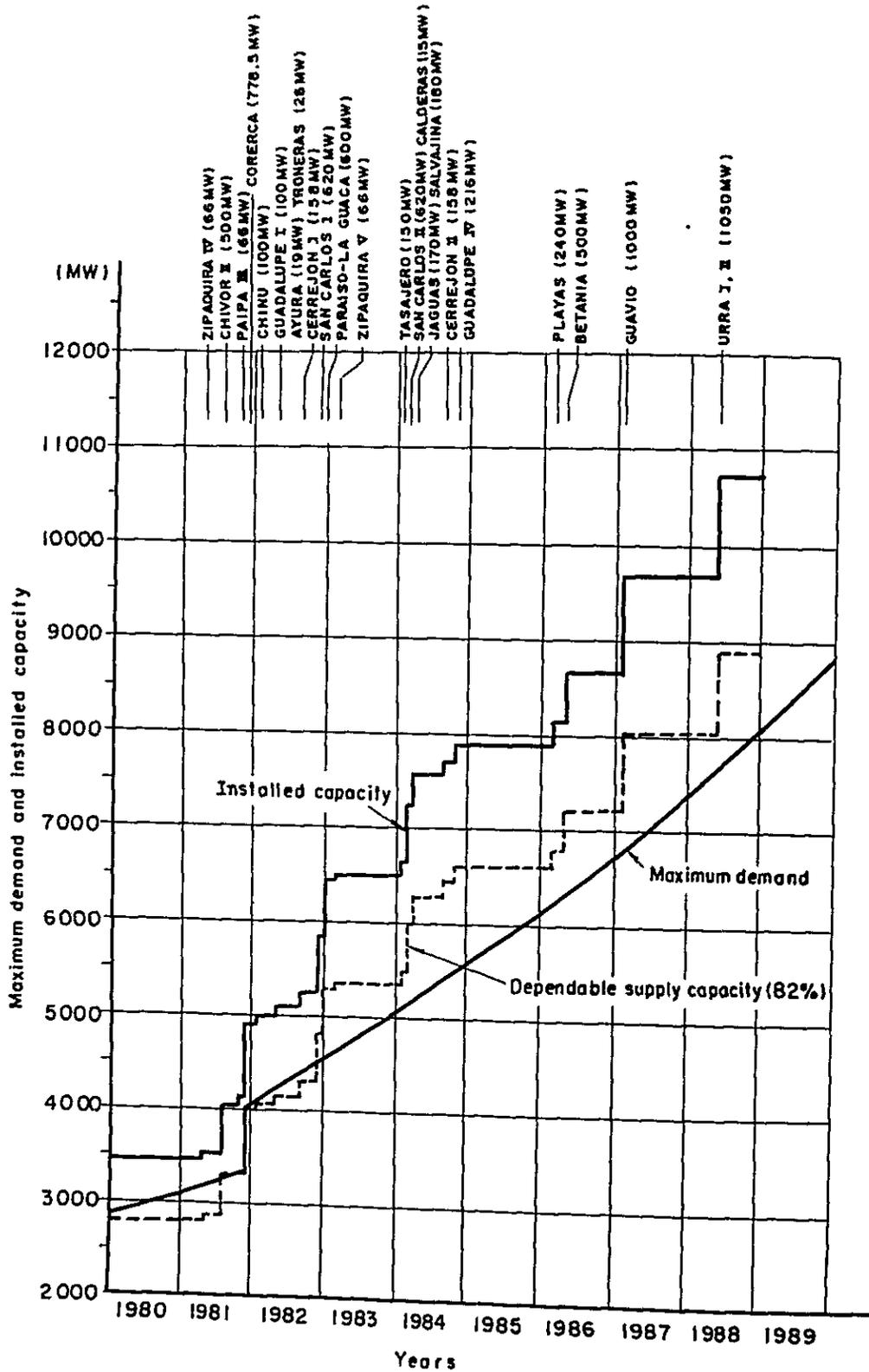
したがって、1988年以降のプロジェクトは工期を考慮すると、水力発電に主体をおく事が可能であり、計画にも十分反映させている。

一方、火力発電に於いては、下の表に示すように、火力発電に使用する燃料費に大差があり、国産が可能である石炭を活用する火力発電に主体をおいて行く考えをとっている。

Average Fuel Costs of Thermal Power Plants (1980)

Oil	US\$ 0.05~0.10/kWh
Gas	US\$ 0.03~0.06 "
Coal	US\$ 0.01~0.03 "

Fig. 4-2-5 Estimated Maximum Demand and Installed Capacity of Interconnected System (1980 ~ 1988)



(2) 電力開発中期計画の概要

(2)-1 電力開発計画

Table 4-2-9 にも示す通り、1988年までに運開を考慮している電力プロジェクトは水力が5,856MW、火力が764MWであり、水力が88%を占めている。水力プロジェクトの主体はSan Carlos I, II, 1,240MW, Paraiso-La Guaca 600MW, Playas 240MW, Betania 500MW, Salvajina 180MW, Guavio 1,000MW, Urra, I, II, 1,050MW の7大プロジェクトである。その他の水力は既設に於ける増設でChivor 500MW, Guadalupe 100MWがある。

一方、火力発電はCerrejon石炭火力I, II期, 158MW×2基, Tasajero ガス、火力150MWが大規模プロジェクトである。

以上の計画によると年度別に運開できる発電出力は下表に示す通りであり、年平均の開発量は828MW/年である。開発地点のサイトはFig 4-2-8 に示す通りであり、系統での配置からみるとMedellinに集中している。

Table 4-2-8 Annual Increase of Installed Capacity

Year	Annual Increase (MW)	Cumulative Rise (MW)
1981	632	4,870.7
1982	1,623	6,493.7
1983	66	6,559.7
1984	1,509	8,068.7
1985	0	8,068.7
1986	740	8,808.7
1987	1,000	9,808.7
1988	1,050	10,858.7
Total	6,620	—

Table 4-2-9 Construction Schedule of Generating Facilities (1981~1988)
(According to the data of ISA)

Year	Name of Power Plants	Installed Capacity (MW)		Utility	Year of Operation	Market
		Hydro	Thermal			
1981	ZIPAQUIRA IV		66	ISA-EEEE	1981/4	Bogota
	CHIVOR II	500		ISA	81/7	"
	PAIPA III		66	ICEL	81/10	"
	Sub-total	500	132			
1982	CHINU		100	ISA	1982/1	Barranquilla
	GUADALUPE I (Amp.)	100		EPM	*	Medellin
	AYURA	19		"	82/4	"
	TRONERA (Amp.)	26		"	*	"
	CERREJON I		158	CORELCA	82/8	Barranquilla
	SAN CARLO I	620		ISA	82/11	Medellin
	PARAISO-LA GUACA	600		EEEE	82/12	Bogota
Sub-total	1,365	258				
1983	ZIPAQUIRA V		66	ISA-EEEE	1983/2	Bogota
	Sub-total	-	66			
1984	SAN CARLOS II	620		ISA	1984/2	Medellin
	JAGUAS	170		"	84/3	"
	CALDERAS	15		"	84/5	"
	TASAJERO		150	ICEL	84/1	Bogota & Medellin
	SALVAJINA	180		CVC	84/3	Cali
	CERREJON II		158	CORELCA	84/8	Barranquilla
	GUADALUPE IV	216		EPM	84/10	Medellin
Sub-total	1,201	308				
1985	-	-	-	-	-	-
1986	PLAYAS	240		EPM	1986/2	Medellin
	BETANIA	500		ICEL-ISA	86/4	"
Sub-total	740	-				
1987	GUAVIO	1,000	-	EEEE-ISA	1987/1	Bogota
	Sub-total	1,000	-			
1988	URRA I	340		ISA-CORELCA	1988/5	Barranquilla
	URRA II	710		"	88/5	Medellin
	Sub-total	1,050	-			
Total		5,856	764			
			6,620			

Note: * 1982/1st half

(2) - 2 送電線拡充計画

送電線の拡充計画については1981年内に500kV(当初220kV運用)設計で、既設連系系統のSan Carlos P.SとSabana Larga間、524km、1-cctを完成させる見込みであり、Corelca系統と連結が完了する。

その結果、コロンビア国内に於ける大需要地はすべて連系され、主幹送電線網は完成する。

一方、水力発電源の開発と平行して、送電線の拡充を進める考えであり、1988年までにUrza水力開発とCorelca連系を目的とする550kV線、延長676km、その他の水力電源と系統運用を考慮した220kV線、延長3,788km、合計4,988kmの送電線を現在、建設あるいは計画している。

以上の送電計画の主幹線が1988年に完成すると、Fig 4-2-6およびFig 4-2-7に示す送電線網が完成する。この送電網は1989年以降に開発される水力電源あるいは石炭火力発電の開発を極めて容易にするものである。

Table 4-2-10 Construction Schedule of Transmission Lines
(1981 ~ 1988)

(According to the data of ISA)

Year of Operation	Section	Length (km)		No. of Circuits	Voltage (kV)
		500 kV	220 kV		
1981	CHIVOR P.S.		105	2	220
	*SAN CARLOS P.S. SABANA LARGA	524		1	500
	Sub-total	524	105		
1982	SAN CARLOS		34	2	220
	SAN CARLOS		209.2	1	220
	SAN CARLOS		205.2	1	220
	T. CERREJON		75	2	220
	SANTA MARTA		80	2	220
	PARAISA		6	2	220
	LA GUACA		5	2	220
	TORCA		24.5	1	220
	PARAISO		66	1	220
	PARAISO		32	1	220
	***TORCA		44.5	1	220
	TUNAL		14	1	220
	MARIGUITA P.S.	Branch	-	1	220
	RIO NEGRO	Branch	-	1	220
	Sub-total		-	795.4	
1983	**ESMERALDA		194.1	2	220
	SAN CARLOS		90	2	220
	ANCON SUR		15	1	220
	CERREJON		100	2	220
	POPAYAN		111.8	1	220
	POPAYAN		126	1	220
	PUERTO BERRIO S.S.	Branch	-	1	220
	Sub-total		-	636.9	
1984	SAN CARLOS		28	1	220
	SABANA LARGA		95	1	220
	SALVAJINA		50	1	220
	PANCE		14.9	1	220
	SALVAJINA		64.9	1	220
	GUATAPE		19.0	2	220
	GUADALUPE IV		45	2	220
	LA MESA		110	2	220
	SABANA LARGA		38.2	2	220
	BARBOSA S.S.	Branch	19	2	220
	TASAJERO	Branch	-	1	220
Sub-total		-	484		

Table 4-2-10 Construction Schedule of Transmission Lines (Cont'd)

Year of Operation	Section	Length (km)		No. of Circuits	Voltage (kV)	
		500 kV	220 kV			
1985	BUCARAMANGA	CÚCUTA	121	1	220	
	BUCARAMANGA	OCAÑA	140	1	220	
	OCAÑA	CÚCUTA	120	1	220	
	SAN CARLOS	PUERTO BERRIO				
		- BARRANCA		185	1	220
	BARRANCA	BUCARAMANGA		95.7	1	220
	Sub-total		- 661.7			
1986	PLAYAS	RIO NEGRO	57	1	220	
	ANCON-SUR	ESMERALDA	140	2	220	
	GUATAPE	PLAYAS	22	1	220	
	BETANIA	POPAYAN	180	2	220	
	BETANIA	IBAGUÉ	170	2	220	
	POPAYAN	PASTO	162	2	220	
	SABANA LARGA	TERNERA	80	1	220	
		Sub-total		- 811		
1987	ANCON-SUR	ENVIGADO	5	1	220	
	GUAVIO	CIRCO	80	2	220	
	***GUAVIO	TUNAL	119.3	1	220	
	***GUAVIO	CIRCO	89.5	1	220	
	GUAVIO	CONNECTION		-	220	
	NOROESTE S.S.	CONNECTION		-	220	
	Sub-total		- 294			
1988	SAN CARLOS	CERROMATOSO	210	1	500	
	CHINÚ	SABANA LARGA	181	1	500	
	URRÁ II	CERROMATOSO	100	1	500	
	URRÁ I	CHINÚ	155	1	500	
	URRÁ I	URRÁ II	30	1	500	
	Sub-total		676	-		
Total	Total of 500 kV and 220 kV lines		1,200	3,788	4,988	

- Note: * Operated initially at 220 kV, but to become 500 kV when Urra is completed in 1988.
- ** One circuit to be tied to Yumbo Substation, the other to Juanchito Substation.
- *** Torca-Circo and Torca-Tunal to be cut off when Guavio-Tunal and Guavio-Circo are completed in 1987.

Fig. 4-2-6 Transmission System expected in 1988

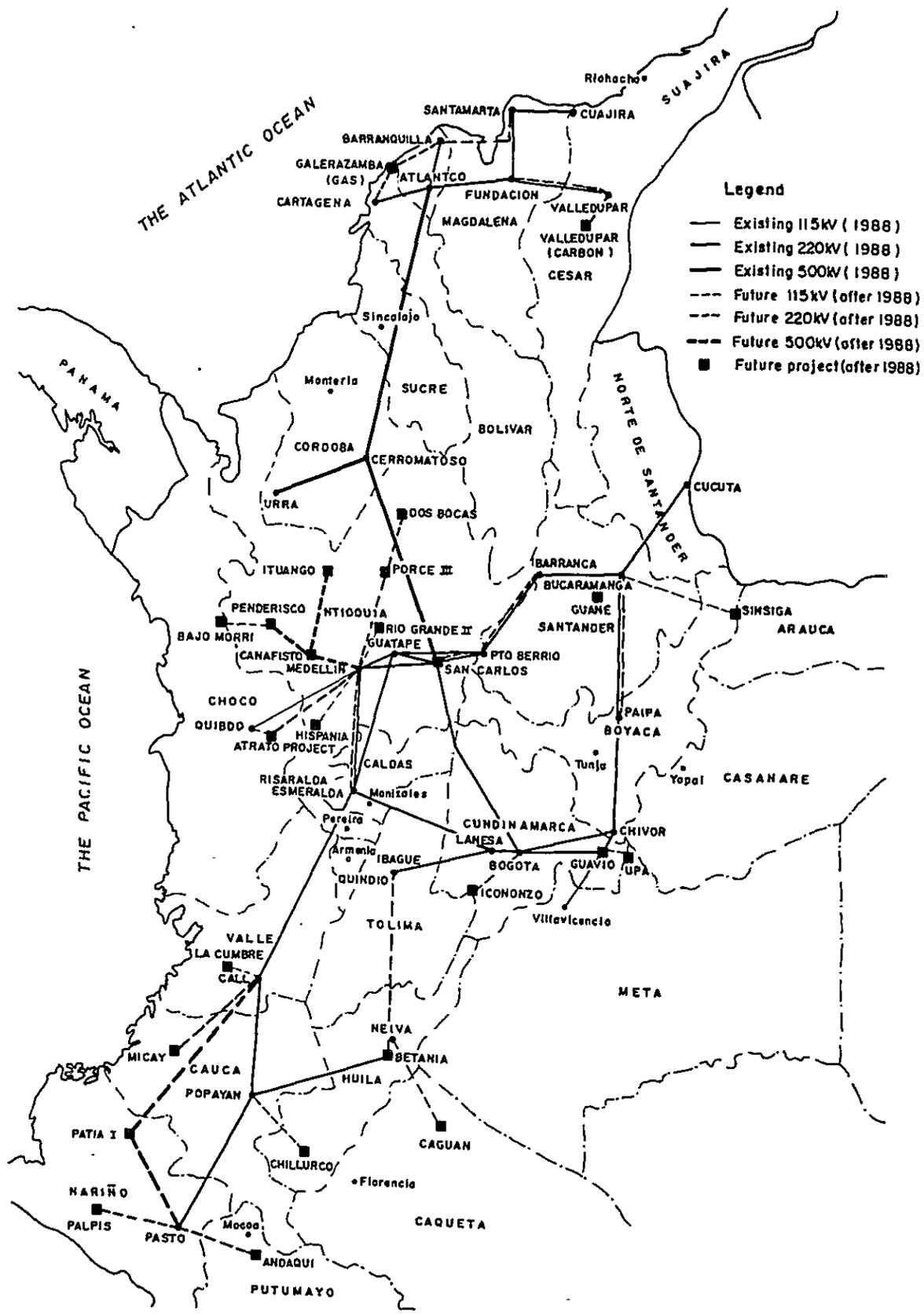
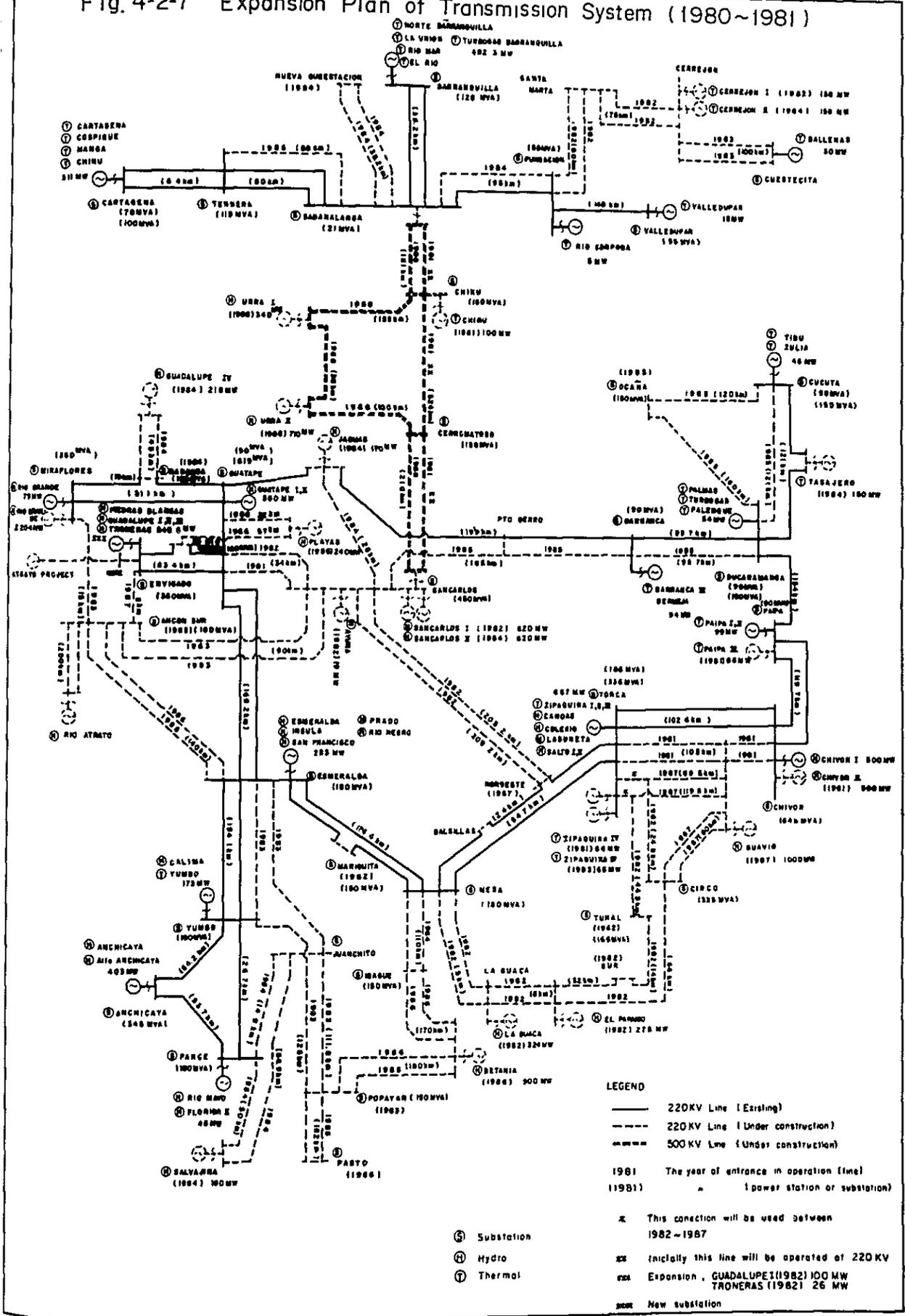


Fig. 4-2-7 Expansion Plan of Transmission System (1980~1981)



(2)-3 中期計画による電力需給バランス

(2)-2項で記述した電力開発中期計画に於いて、その電力需要想定値と供給能力のバランス状態を調べてみた。その結果はFig 4-2-5およびTable 4-2-11に示す通りである。

Table 4-2-11 kW and kWh Balance of Interconnected System (1980~1989)

Year	Name of Power Plants	Installed Capacity			Demand			Difference A - B (MW)
		Hydro (MW)	Thermal (MW)	Cumulative Rise (A) (MW)	Maximum Demand (B) (MW)	Average Demand (MW)	Load Factor (%)	
1980		-	-	3,460	3,116	1,891	60.7	344
1981	ZIPAQUIRA IV (C)		66					
	CHIVOR II	500						
	PAIPA III (C)		66					
	[Interconnection with CORELCA]							
	Sub-total	500	779	4,871	4,058	2,167	53.4	813
1982	CHINU (T.G)		100					
	GUADALUPE I (Amp.)	100						
	AYURA	19						
	TRONERAS (Amp.)	26						
	CERREJON I (C)		158					
	SAN CARLOS I	620						
	PARAISO-LA GUACA	600						
	Sub-total	1,365	258	6,494	4,585	2,807	61.2	1,909
1983	ZIPAQUIRA V (C)		66					
	Sub-total	-	66	6,560	5,074	3,130	61.7	1,486
1984	SAN CARLOS II	620						
	JAGUAS	170						
	CALDERAS	15						
	TASAJERO (C)		150					
	SALVAJINA	180						
	CERREJON II (C)		158					
	GUADALUPE IV	216						
	Sub-total	1,201	308	8,069	5,584	3,430	61.4	2,485

Table 4-2-11 kW and kWh Balance of Interconnected System (Cont'd)

Year	Name of Power Plants	Installed Capacity			Demand			Difference A - B (MW)
		Hydro (MW)	Thermal (MW)	Cumulative Rise (A) (MW)	Maximum Demand (B) (MW)	Average Demand (MW)	Load Factor (%)	
1985		-	-	8,069	6,147	3,774	61.4	1,922
1986	PLAYAS	240						
	BETANIA	500						
	Sub-total	740	-	8,809	6,742	4,132	61.3	2,067
1987	GUAVIO	1,000						
	Sub-total	1,000	-	9,809	7,377	4,514	61.2	2,432
1989	URRA I	340						
	URRA II	710						
	Sub-total	1,050	-	10,859	8,094	4,929	60.9	3,815

Note: (Amp.): Amplification
(C) : Coal
(T.G) : Gas Turbine

4.2.3 1989年より1995年までの電力開発構想(案)

(1) 一般

1988年までの中期電力開発計画については前項に於いて記述したが、連系系統の1995年の需要予測はISAの想定によると、最大出力15,159MW、電力量80,737Wh/年としている。この需要をみたすためには、1989年から1995年までの7年間に7,065MW(15,159MW-8,094MW)の電力開発を実施せねばならない。

現在、調査検討を進めているプロジェクトはTable 4-2-12に示す通りであり、その規模は水力11地点、火力1地点でその合計出力は12,284MWに及ぶものである(そのサイトはFig 4-2-8参照)。

これらの計画については未だそのプライオリティは決定されていないが、今後調査が進められるプロジェクト、例えばアトラート河水系の開発プロジェクトも加えて、そのプライオリティを検討して行く事になるであろう。

Table 4-2-12 Construction Schedule of Generating Facilities (after 1989)

Name of Power Plants	Installed Capacity (MW)	Annual Energy Production (GWh)	Construction Cost (10 ⁶ US\$)	Cost of Energy per kW (US\$/kW)	Cost of Energy per kWh (US\$/kWh)	Utility
JULUMITO	53	320	125.4	2,366	0.047	ICEL
MIEL I	384	1,680	266	691	0.019	ICEL
RIO GRANDE II	204	1,390	130.8	641	0.011	EPM
MIEL II	351	2,030	284.6	811	0.017	ICEL
CANAFIGASTO	1,500	7,370	945.2	543	0.015	ISA
SOGAMOSO	1,200	5,820	1,036	863	0.021	ISA
SAN JUAN	1,500	5,850	1,129	753	0.023	ISA
PATIA I	1,110	4,623	760.3	685	0.020	ICEL
PATIA II	970	4,203	575	593	0.016	ICEL
NEME	512	2,550	427.2	834	0.020	ISA
ITUANGO	4,200	18,080	2,206	525	0.015	
TERMICA (Thermal)	300	1,892				
Total	12,284	55,808	7,885.5			

Breakdown: 11,984 MW hydro, 300 MW thermal, 12,284 MW total.

Note: 1) Rio Grande II is being studied by Medellin Electric Power, and is expected to be changed to multi-purpose development including water supply to Medellin City.
2) Construction costs calculated as of 1978.

Fig.4-2-8 Location of Proyectos for Electric Power Development
(1989 ~ 1991)

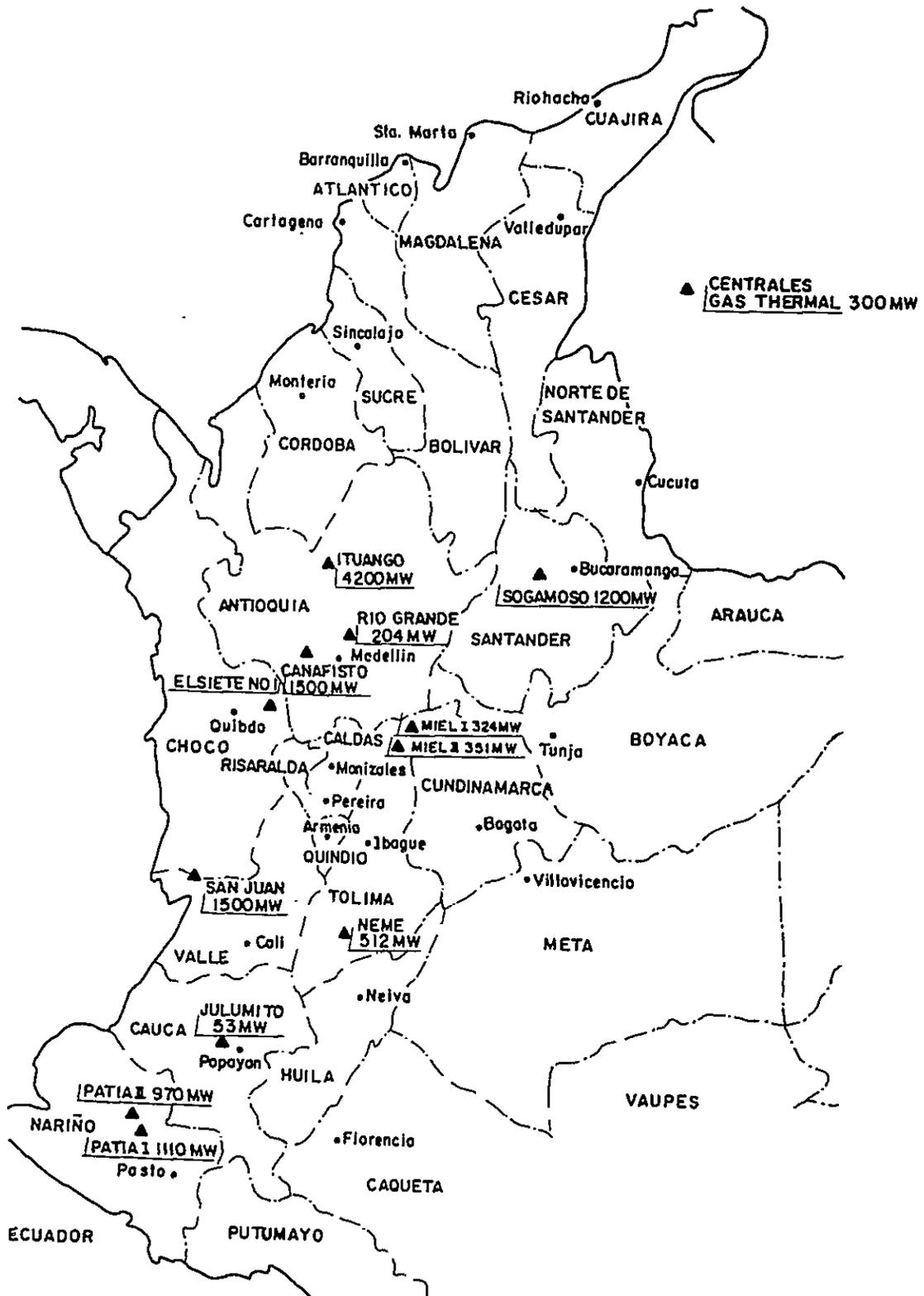


Table 4-2-12 に 1989 年以降の火力発電として、取り上げているガス火力(300 MW)はベネズエラ国内に於いて、山元で発電し、コロンビアへ送電する計画であり、国際協調のモデルとなるものである。

この火力発電を除いてはすべて水力発電として行きたいのが、コロンビア政府の基本政策である。一方、コロンビア政府の政策として、石炭鉱山の開発を進める意向であり、山元での石炭火力発電も今後取り上げられて来る可能性がある。

(2) 包蔵水力

コロンビア国が持っている包蔵水力資源は電力に換算すると 118,755 MW と推定されている。この推定値には既設および 1988 年までに開発を予定し、建設に入っているプロジェクトも含まれている。

しかし、1989 年以降に開発を予定している技術的に利用可能なプロジェクトを選定してみても 83,548 MW に及ぶ規模である。それを、地域別、地点数、検討段階について記述した結果は Fig 4-2-9 および Table 4-2-13 に示す通りである。

また、開発規模別に分類、および kW 当り建設費での経済性別に分類すると Table 4-2-14 および Table 4-2-15 に示す通りであり、その kW 当り建設費が US\$800 / kW 以下で開発可能と推定される地点は 35,000 MW もあると推定されている。

コロンビアでは 1989 年以降、2000 年までの 11 年間に開発を必要とする電力は 14,200 MW と推定されており、当分の間、水力により電力を供給して行ける恵まれた環境にある。

Table 4-2-12に1989年以降の火力発電として、取り上げているガス火力(300 MW)はベネズエラ国内に於いて、山元で発電し、コロンビアへ送電する計画であり、国際協調のモデルとなるものである。

この火力発電を除いてはすべて水力発電として行きたいのが、コロンビア政府の基本政策である。一方、コロンビア政府の政策として、石炭鉱山の開発を進める意向であり、山元での石炭火力発電も今後取り上げられて来る可能性がある。

(2) 包蔵水力

コロンビア国が持っている包蔵水力資源は電力に換算すると118,755 MWと推定されている。この推定値には既設および1988年までに開発を予定し、建設に入っているプロジェクトも含まれている。

しかし、1989年以降に開発を予定している技術的に利用可能なプロジェクトを選定してみても83,548 MWに及ぶ規模である。それを、地域別、地点数、検討段階について記述した結果はFig 4-2-9およびTable 4-2-13に示す通りである。

また、開発規模別に分類、およびkW当り建設費での経済性別に分類するとTable 4-2-14およびTable 4-2-15に示す通りであり、そのkW当り建設費がUS\$800/kW以下で開発可能と推定される地点は35,000 MWもあると推定されている。

コロンビアでは1989年以降、2000年までの11年間に開発を必要とする電力は14,200 MWと推定されており、当分の間、水力により電力を供給して行ける恵まれた環境にある。

Fig. 4-2-9 Theoretical Hydro Potential by River Basin

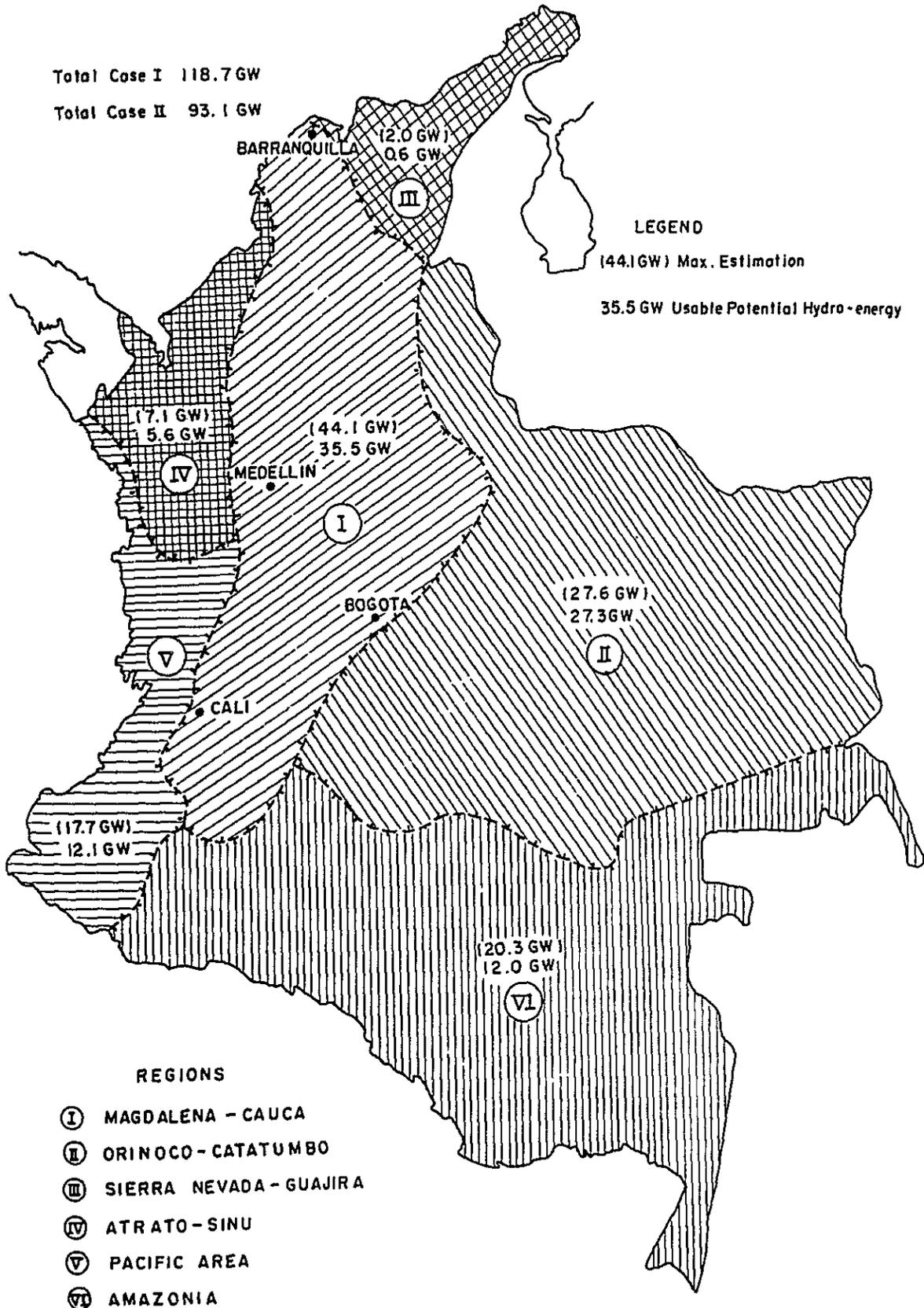


Table 4-2-13 Technical and Economical Hydro Potential by River Basin

River basin	Investigating Stage				Examining Stage		Planning Stage		Total	
	ESEE*		Other Organization		No. of Projects	Hydro Potential (MW)	No. of Projects	Hydro Potential (MW)	No. of Projects	Hydro Potential (MW)
	No. of Projects	Hydro Potential (MW)	No. of Projects	Hydro Potential (MW)						
Magdalena-Cauca	71	13,196	18	2,478	9	5,902	8	8,260	106	29,836
Orinoquia-Catatumbo	76	24,524	1	500					77	25,024
Sierra Nevada-Guajira	10	631							10	631
Atrato-Sinú	5	792	3	3,714					8	4,506
Vertiente Pacífico	35	7,587	1	246	1	200	3	3,500	40	11,533
Amazonia	33	12,018							33	12,018
Total	230	58,748	23	6,938	10	6,102	11	11,760	274	83,548

Note: The projects which are already decided to develop before 1988 are not included.

The output technically and economically feasible to be developed is expressed as power station installed capacity (MW) with power plant utility factor as 50%.

This table only includes the projects which have installed capacity more than 10 MW.

* Estudio del Sector de Energía Eléctrica

Table 4-2-14 Items according to the Scale
of Installed Capacity

Installed Capacity (MW)	Number of Projects		Hydro Potential	
	No.	%	MW	%
Less than 200	157	57	18,800	22
201 ~ 500	85	31	26,400	32
501 ~ 1,000	16	6	10,900	13
More than 1,001	16	6	27,400	33
Total	274	100	83,500	100

Table 4-2-15 Items according to the Construction Cost

Construction Cost (US\$/kW)	Number of Projects		Hydro Potential	
	No.	%	MW	%
Less than 499	18	7	15,300	18
500 ~ 800	56	20	19,700	24
801 ~ 1,200	96	35	26,800	32
More than 1,201	104	38	21,700	26
Total	274	100	83,500	100

4.3 地 質

4.3.1 はじめに

アトラート河の上流地域では上流から El Siete No 1 (160MW), El Siete No 2 (124MW), El Once (167MW), El Dieciocho No 1 (252MW), El Dieciocho No 2 (261MW), El Lloro (147MW), の6地点の水力発電計画が計画されている。今回1981年7月～8月までのうち10日間に亘り、前記の計画地点に対する地表地質状況把握のための現地踏査を実施した。

その結果は後述の通りである。しかし、今回の調査では各計画地点を十分カバーした精度のよい地形図を使用する事ができなかったため、現地踏査は既存の地質資料を参考にし、レーダー撮影による写真を使用して実施した。従って、地表地質の調査結果の精度は十分でない点を前もって、おことわりしておきたい。

但し、計画地点はアトラート河沿いの国道筋に計画されており、道路の掘削面を観察する事により、あるいはアトラート河流域付近の露岩等の観察により、ある程度の本計画に関連する重要地点の地質を調べる事ができた。

4.3.2 既存地質資料および踏査概要

今回のJICA調査団(1981)が地表地質踏査に利用できた既存資料は以下の通りである。

- 1) ESTUDIO DEL SECTOR DE ENERGIA ELECTRICA, INVENTARIO DE LOS RECURSOS HIDROELECTRICOS, 1979, Departamento Nacional de Planeacion(DNP)発行。

このReportの中に添付されている1/220,000縮尺の地質図

- 2) 地質図 (Mapa Geologico de Colombia)

コロンビア鉱山資源省、地質調査所発行、1976年版、縮尺1/1,500,000

(Instituto Nacional de Investigaciones Geologico - Mineras)

- 3) レーダーによる地表撮影写真

縮尺(原図1/250,000,引き伸し図1/40,000)

注) この写真では地形の高低を判断する事はできない。

- 4) 地形図 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi 発行)

縮尺: 1/100,000

注) この地図は河川が記入されているのみで、地形を表わす等高線が記述されておらず、河川の配置も極めて精度が低い。更に道路の記述も概略図示であり、踏査に利用したときも、支障を来たす事が多かった。

以上の資料を基に、現地において地質踏査を実施した。従って、現地での調査は地形の特徴、露岩のサンプル採取、河床露岩の調査、道路沿いの掘削面の観察を主体にして実施した。その結果に基づき、本報告に添付の地質図を作成したが、それは次のような図面である。

○ 計画地域・地質図 (Drawing - 03)

この地質図は主に DNP 発行 (1976 年) の地質図を元に編集したもので、今回の調査結果に基づいて、部分的に修正してある。

○ リニアメント図 (Lineament map, Drawing - 04)

El Siete No 1, No 2, El Once 計画地域については Instituto Geografico (地理院) で入手した 1962 年撮影の航空写真 (立体視可能) に基づいて作成した。しかし El Dieciocho No 1, No 2 計画地域については航空写真でカバーされていないので、止むを得ずレーダー撮影の写真を使用し、地表踏査による結果も考慮して、縮尺 1/50,000 のリニアメント図を作製した。

○ 各計画のダム地点の地質スケッチ図 (平面, 断面)

(Fig 4-3-1 ~, El Siete No 1 と Rio Playa ダム地点を除く)

この図は現地踏査時にスケッチした地質状況を土木グループが概略地形測量を行った地形図に記入したものであり、その位置および標高の精度がやや劣るものである。

今回の地表地質調査はアトラート河筋の水力発電計画のマスタープランを作成するのを目的としたもので、更に、地形図も不備な段階での調査であったため、各計画地点を概査するに留まり、詳細な地質図を作製することはできなかった。以下、各果点の調査範囲を記述する。

○ El Siete No 1 地点

El Siete No 1 地点は Medellin 市より Bolivar を経て Quibdo 市に至る国道沿いにあり、そのダムサイトは国道より十分観察する事ができる。また、国道の掘削面も十分見る事ができるので、地表の観察で地質の概要を知る事ができた。

El Siete No 1 計画の水路ルート、発電所地点は国道の対岸にあり、地形状況、露岩の状況を望見する事ができた。

(4.3.4 項に詳細を記述する)

○ El Siete No 2 地点

El Siete No 2 地点は前記国道に沿った右岸側に設ける計画であり、取水地点、トンネル・ルート、発電所地点の地形状況、地表面の岩種、露岩状況を観察する事ができた。

(4.3.4 項に詳細を記述する)

○ El Once 地点

この地点は国道沿いにあり、ダムサイト、発電所地点とも観察する事ができた。

(4.3.5 項に記述する)

o El Dieciocho №1, №2 地点

この地点は国道沿いにダムサイトがあるので、十分観察可能であった。また、両発電所地点は国道より、右岸側の山部に入る事が可能であり、調査は可能であった。但し Playa ダム地点は山道もないため、立入り調査を実施する事は無理であった。更に №2 発電所の放水トンネルのルートはアクセスが極めて悪く、立入り調査はできなかった。
(4.3.6 項に詳細記述する)

o El Lloro 地点

この地点は Quibdo より舟で行く事ができ、ダムサイトの両岸とも、観察する事が可能であった。
(4.3.7 項に詳細記述する)

以上の各計画地点とも、山部の表面は深い樹木でおおわれ、更に丘陵部でも、草地であるため、地表観察による地質調査は十分な成果を得る事はできないが、国道沿いの掘削面を観察する事により、あるいは河岸の岩石露頭を調べる事により、一応の地質状況を判断する事が可能であった。

4.3.3 一般地形、地質概要

(1) 一般地形

本計画はコロンビア国の北西部に位置する Choco 県を流れるアトラート河の上流部の水力資源を開発するものである。アトラート河は Choco 県の東部の山岳地帯を源流として、東流した後、方向を北方に変え、カリブ海に流入する全長約 600km のコロンビア第3位の河川である。計画地点はその上流部にあり、北緯 $5^{\circ}25' \sim 6^{\circ}00'$ 、西経 $76^{\circ}35' \sim 76^{\circ}06'$ の間に位置している。

アトラート河の源流をなす前記の東部山岳部は3筋で構成されているアンデス山脈 (Cordillera Occidental, Cordillera Central, Cordillera Oriental) の西アンデス山脈の西側斜面である。その標高は 2,500 ~ 3,000m である。アトラート河はその西アンデス山脈の西側斜面を源流とし、Carmen de Atrato 付近で標高 1,800m、Dieciocho で標高 280m となり、その上流部は極めて急流である。

更に Dieciocho から El Lloro (標高 45m) の区間は極めて緩流であり、アトラート河は蛇行して、流下している。計画地点は前記の急流部および El Lloro を水力として開発するものである。その急流部を構成している山塊は比較的急峻な壮年期の山であり、その間をアトラート河は V 字形の溪谷、部分的に巾広い河岸段丘を形成して流下している。

その間の植生は標高 1,500m 付近は温帯あるいは亜熱帯植物の混成林で山の表面を全面おおっている。主に自然の雑木林であり、植林したものではない。

更に標高 1,000m ~ 300m 付近すなわち、El Once, Dieciocho 計画地点は亜熱帯の

植生であり、密度の高い繁茂状態であり、山間に立入るには相当の伐採を必要とする状態である。また、その山林は自然のまま放置され、利用されていないので山道もない。

標高 300m 以下の地帯すなわち、Dieciocho ~ El Lloro に至る地域は一面熱帯性の植生におおわれた平原であり、部分的に丘陵状の山部をもっている。一見して樹海である。アトラート河はその間を蛇行して流下し、随所に河岸段丘を形成してゐる。

(2) 一般地質

コロンビア全体の地質構造を見ると、地形からも判るように、コロンビアの東半分は Guayan 楯状地の影響をうけ、比較的単純な構造である。それに対して、西半分はアンデス山脈から成っており、褶曲作用による複雑な構造を示している。

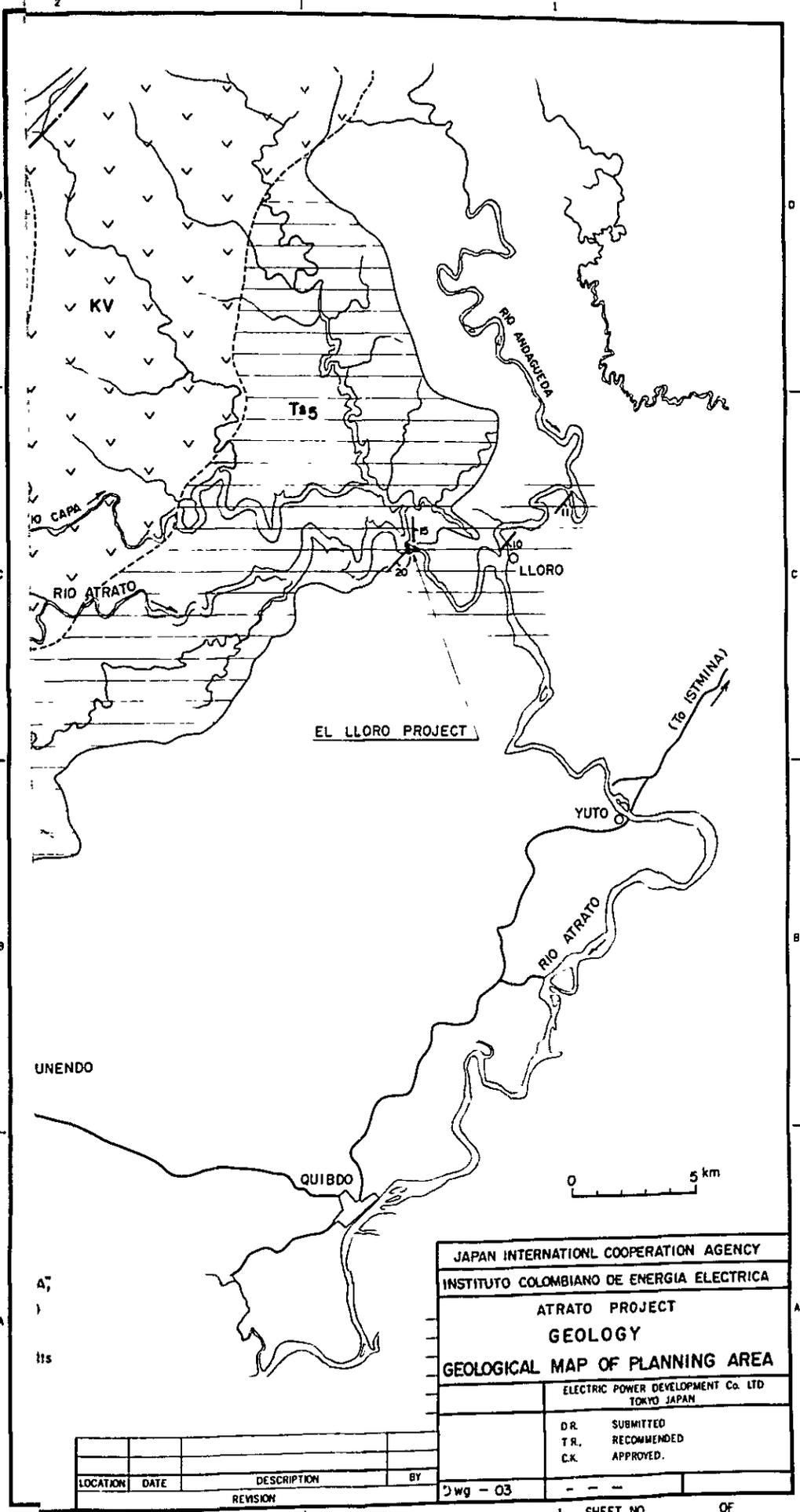
Geological map of Colombia (縮尺 1/1,500,000, 1976 年版)によると、計画地域のうち、その上流部の山岳地帯は褶曲構造の著しい中生代白亜紀の堆積岩(頁岩、凝灰岩、チャート等)と火成岩(玄武岩、輝緑岩等)が多く分布し、それらに第三紀の閃緑岩が貫入して分布している。また、下流部の平野地帯には第三紀(漸新世~鮮新世)の堆積岩(砂岩泥岩互層、礫岩)と、それを覆って、第四紀の堆積物が分布している。これらの地層は帯状を成して、南北方向に分布している。

この地域の断層の多くは白亜紀地層の褶曲軸に平行したもので、あるいは地層分布に一致して分布し、その走向は南北方向である。このような地質構造は全体として、アンデス山脈の造山運動により形成されたものであると判断できる。

計画地域の Geological Sequence and Rock type は Table 4-3-1 に示す通りである。また、地層の分布状況は Drawing - 03 を参照されたい。

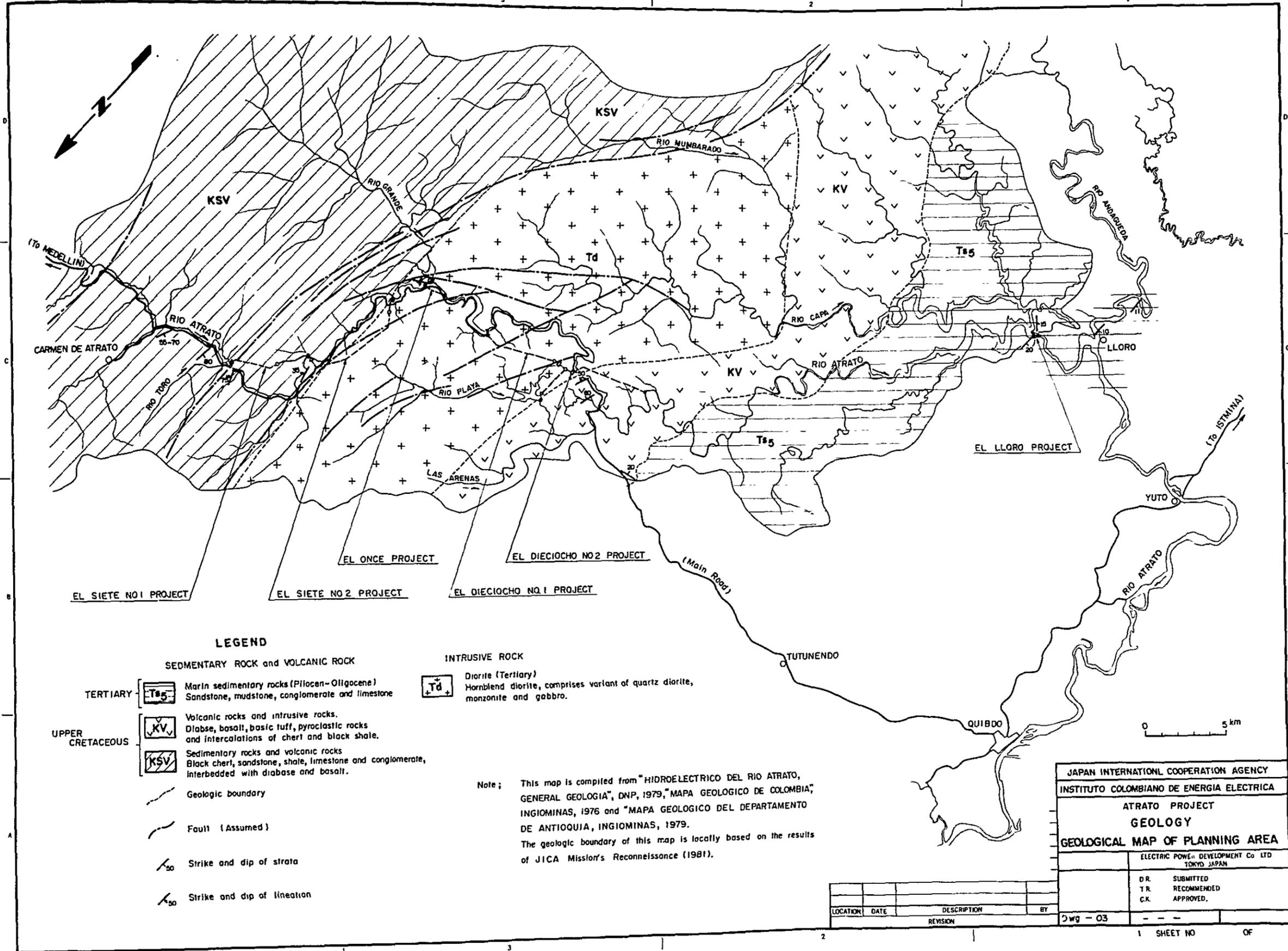
Table 4-3-1 General Geologic Sequence and Rock Type of Rio Atrato Basin

Era	Period	Rock Unit	Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Cenozoic	Quaternary	Quaternary system	Alluvium, terrace deposits and slope wash.	Unconsolidated deposits consist of gravel, sand, silt, etc.	Along the Rio Atrato.
	Tertiary	Ts5; Marine sedimentary rocks	Alternation of sandstone and mudstone, and conglomerate.	Alternation of sandstone and mudstone interbedded with thin conglomerate beds. Commonly gently dipped beds, and weakly consolidated, somewhat soft in general.	El Llora project area.
		Td; Intrusive rocks	Diorite.	Medium-to coarse-grained, massive and hard. Joints are regularly spaced in part.	El Siete No.2 project area, El Once project area, El Dieciocho No.1 and No.2 project area.
Mesozoic	Upper Cretaceous	KV; Volcanic rocks and intrusive rocks	Diabase, basalt, basic tuff, pyroclastic rocks and intercalations of chert and black shale.	Diabase and basalt are massive and hard. Basic tuff is massive and rather soft.	El Dieciocho No.2 project area.
		KSV; Sedimentary rocks and volcanic rocks	Black chert, sandstone, shale, limestone and conglomerate, interbedded with diabase and basalt.	Conglomerate, diabase and basalt are massive and hard. Alternation of sandstone and shale is somewhat brittle and strongly folded as a whole.	El Siete No.1 project area.



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ATRATO PROJECT	
GEOLOGY	
GEOLOGICAL MAP OF PLANNING AREA	
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co. LTD TOKYO JAPAN	
D.R.	SUBMITTED
T.R.	RECOMMENDED
C.K.	APPROVED.
Dwg - 03	- - -

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
REVISION			



LEGEND

- SEDIMENTARY ROCK and VOLCANIC ROCK**
- TERTIARY** [T5] Marine sedimentary rocks (Pliocene-Oligocene)
Sandstone, mudstone, conglomerate and limestone
- UPPER CRETACEOUS** [KV] Volcanic rocks and intrusive rocks.
Diabase, basalt, basic tuff, pyroclastic rocks and intercalations of chert and black shale.
- [KSV] Sedimentary rocks and volcanic rocks
Black chert, sandstone, shale, limestone and conglomerate, interbedded with diabase and basalt.
- Geologic boundary
- - - Fault (Assumed)
- \swarrow_{50} Strike and dip of strata
- \swarrow_{50} Strike and dip of lineation

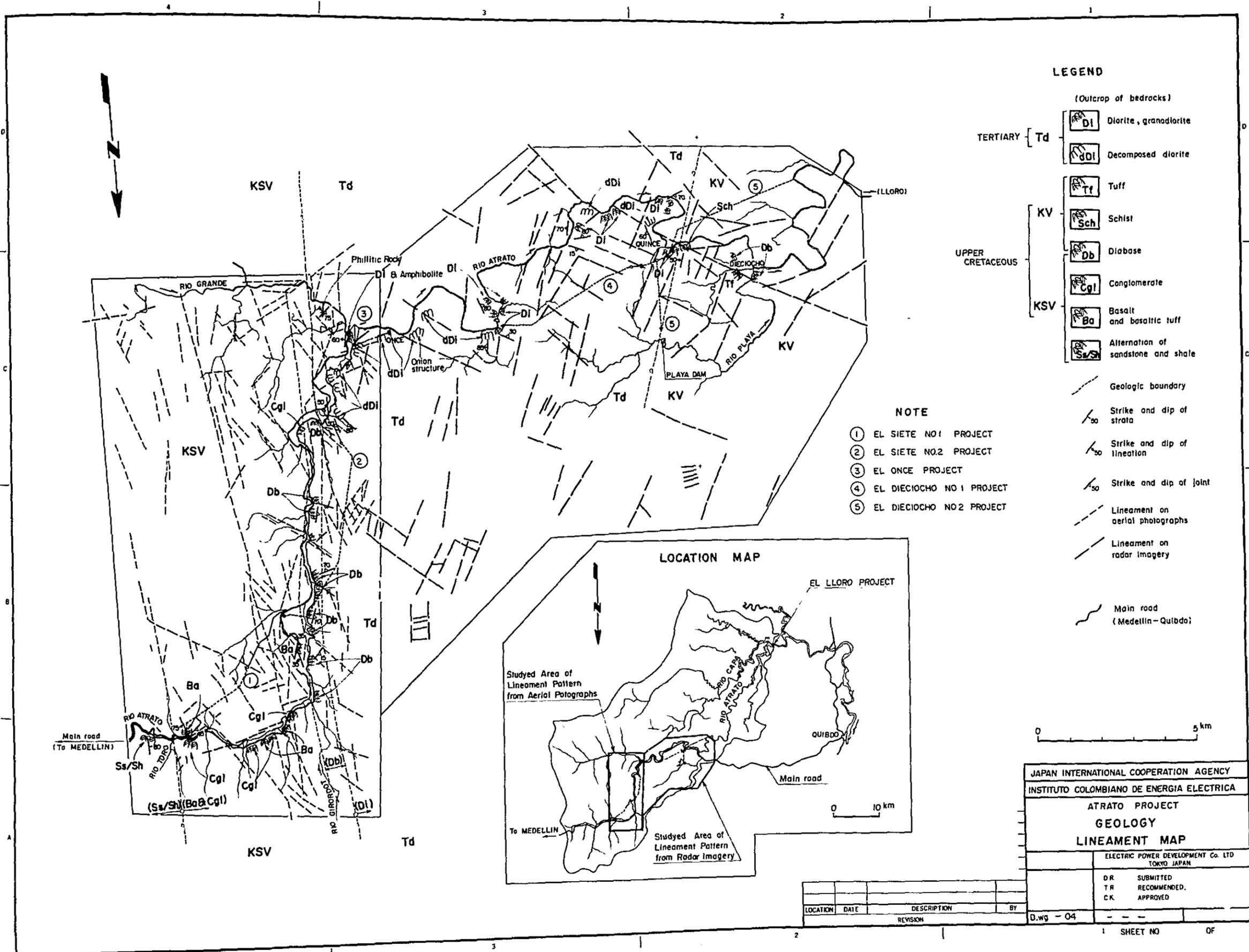
- INTRUSIVE ROCK**
- [Td] Diorite (Tertiary)
Hornblend diorite, comprises variant of quartz diorite, monzonite and gabbro.

Note; This map is compiled from "HIDROELECTRICO DEL RIO ATRATO, GENERAL GEOLOGIA", DNP, 1979, "MAPA GEOLOGICO DE COLOMBIA", INGIOMINAS, 1976 and "MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, INGIOMINAS, 1979. The geologic boundary of this map is locally based on the results of JICA Mission's Reconnaissance (1981).

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ATRATO PROJECT	
GEOLOGY	
GEOLOGICAL MAP OF PLANNING AREA	
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co. LTD TOKYO JAPAN	
D.R.	SUBMITTED
T.R.	RECOMMENDED
C.K.	APPROVED.

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY
		REVISION	

Dwg - 03
1 SHEET NO OF



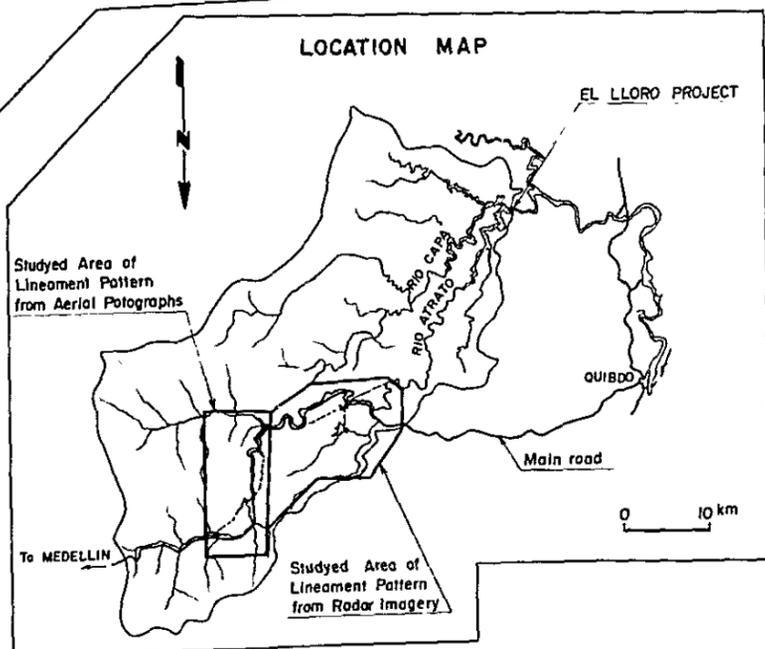
LEGEND

- (Outcrop of bedrocks)
- TERTIARY { Td
- Diorite, granodiorite
 - Decomposed diorite
- UPPER CRETACEOUS { KV
- Tuff
 - Schist
 - Diabase
 - Conglomerate
 - Basalt and basaltic tuff
 - Alternation of sandstone and shale
- KSV
- Geologic boundary
 - Strike and dip of strata
 - Strike and dip of lineation
 - Strike and dip of joint
 - Lineament on aerial photographs
 - Lineament on radar imagery
 - Main road (Medellin-Quibdo)

NOTE

- ① EL SIETE NO.1 PROJECT
- ② EL SIETE NO.2 PROJECT
- ③ EL ONCE PROJECT
- ④ EL DIECIOCHO NO.1 PROJECT
- ⑤ EL DIECIOCHO NO.2 PROJECT

LOCATION MAP



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ATRATO PROJECT	
GEOLOGY	
LINEAMENT MAP	
ELECTRIC POWER DEVELOPMENT Co. LTD TOKYO JAPAN	
D.R.	SUBMITTED
T.R.	RECOMMENDED.
C.K.	APPROVED

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY

D.wg - 04 1 SHEET NO OF

4.3.4 El Siete No. 1, No. 2 地点の地質

(1) 一般地質

El Siete No 1, No 2 発電計画地点は標高 2,500～3,000 m 級の山峰が南北に連なるアンデス山脈（西アンデス西斜面）にある。アトラート河はこのアンデスの山間を源流から南下して流下し、El Siete No 1 ダム地点付近でその方向を西に変え、Girordot 支流の合流地点で、再度、その方向を南に変えて、El Once に至っている。その間、西流している部分、すなわち El Siete より Girordot 支流の合流地点までの区間は V 字形の溪谷を形成しており、その河川勾配は 1/18 の急流である。河床には岩盤の露頭を見ることができ、大きな岩の転石を多く見ることができる。

一方、南流している部分、すなわち El Siete No 2 計画の位置する Girordot 支流より El Once までは、開けた U 字形の谷であり、部分的に河岸段丘が分布している。この部分の河川勾配は 1/23 と西流している部分に比べて緩勾配であるが、通常の河川に比べては急流である。

この計画地域に分布している岩石は砂岩頁岩互層、玄武岩、礫岩、輝緑岩、その分布状況は Drawing - 03 に示してある。また、その岩石の性状は Table 4-3-2 に示す通りである。

1979 年作製の DNP の地質図によると、El Siete No 1 ダム地点の直下流を通過して南北方向に伸びている断層と El Siete No 2 地点の水路ルートと交差するアトラート河沿いの、南北方向の断層が推定されているが、今回の地表踏査の結果ではその断層の存在を地表では確認できなかった。その断層の正確な位置及びその性状については今後の調査に於て確認すべきである。

(2) El Siete No 1 ダム地点の地質

このダムサイトでは満水位 1,460 m、ダム高 55 m のコンクリートダムとして計画されている。河床の標高は 1,415 m である。

この谷は河巾 15～20 m で流下した大きな礫の堆積があるが、兩岸とも、岩盤が露出している（Fig 4-3-1）。左岸山腹斜面は 45° で、満水面 1,475 m 付近まで岩盤の露頭を部分的に観察する事ができる。一方、右岸は標高 1,435 m の道路まで 30° 傾斜で道路から標高 1,470 m までは 50° 斜面であるが、標高 1,470 m 付近に巾 40 m 程度の緩斜面が存在する。このサイトで満水位 1,460 m で貯水池を計画すると、ダム堤頂長は 150 m である。従って、ダム高に対するダム巾の比は 1 : 2.7 であり、地形的に見るとダムサイトとしての適地である。

ダムサイトの地質をみると、ダム左岸および河床の兩岸とも、白亜紀上部の玄武岩、右岸は同じ玄武岩と白亜紀上部の礫岩が地表に露出している。玄武岩は一般に黒色、塊状、しかも堅硬であるが、部分的に 10 cm 程度の亀裂が細かい間隔で発達している。しかし、

顕著な風化は見られない。

一方、礫岩は直径2~10cmの玄武岩礫を多く含み、暗灰色、塊状でやや軟質である。

表層堆積物はダムサイトでは左岩にわずかに見られる他に、右岸のダム軸の上、下流にはやや厚いSlope Washが分布している。

また、河床には直径50~100cmの礫とシルトが堆積しているが、その深さは2~3m程度であると推定される。今回の踏査に於いて、地表を見る限りでは大規模な断層は確認されなかったが、DNPの1979年作製の地質図によると、ダム軸の直下流に南北方向の断層の存在を記入してある。

また、節理は玄武岩ではEW25~45°S, N20°W75°NE, N35~50°E40°NWの走向、傾斜のものが10~100cm間隔で発達している。このうち、EW25°~45°S方向のものはわずかに開口したり、あるいはその亀裂に薄い粘土をはさんでいる。高さ55m級のダムの基礎として、玄武岩はグラウトによる基礎処理を行い、透水対策を講ずれば十分な強度をもっていると推定される。しかし、礫岩は透水性の心配があり、悪い部分は掘削し、除去する必要がある。

このダムサイトに於いては1/1,000または1/2,000縮尺の地質図を他の地質調査工事と平行して作製し、地質構造の詳細な解明を行う必要がある。一方、ダム基礎をなす玄武岩および礫岩について、ボーリング孔で、透水テストを行う必要がある。

(3) El Siete No.1地点の導水路、水圧管路、発電所地点の地質

導水路は、ダムサイト左岸に設ける取水口から、左岸の山部を貫通して発電所地点に至る3.3km、内径4.1mのトンネルである。Drawing-05に示されているように、導水路の経過地はアトラート河左岸にある山塊であり、導水路の途中で地表より、350mの深部に設ける事になる。従って、導水路トンネルは白亜紀上部の玄武岩及び礫岩を掘削する事になる。

水圧管路は、アトラート河左岸にある南西方向の幅の狭い尾根上に長さ2.3kmで計画されている。この尾根の傾斜は15°であり、その斜面には地沁りや崩壊地は見られない。その基盤は玄武岩及び礫岩と推定されるが、地表は樹木でおおわれているので、現状では詳しい地質状況は確認できない。

発電所地点は、アトラート河沿いの河岸段丘上に計画されている。この地点の上流約1kmの川岸には玄武岩の露頭が観察される。表層の段丘堆積物の厚さは発電所を設けるのに支障を来す程厚くはないと推定される。また、その下部にある、発電所の基礎を構成する岩石は玄武岩あるいは礫岩であり、基礎として止配ないと思われる。

DNPの地質図によると、導水路、水圧管路、発電所地点の近傍には断層の存在を記入してないが、今回の踏査の結果、および航空写真による地質判読の結果を総合判断してみると水圧管路を横断して南北に延びる長い線構造が認められる。それが、断層によるものか、あるいは岩質の違いに原因するものか、調査する必要がある。

(4) El Siete No 2 地点の取水ダム，導水路，水圧管路，発電所地点の地質

El Siete No 2 計画の取水は El Siete No 1 発電所の放水を最大 40m³/s 直接取水し，更に 70km² の El Siete No 1 ダムの下流にある雑流域より最大 20m³/s 取水するので，高さ 15m の取水ダムをアトラート河の本流に設ける必要がある。

この取水ダムは El Siete No 1 発電所の直上流に設ける事になり，川巾は約 40m である。その両岸には玄武岩が分布すると予想されるので，高さ 15m 級の取水ダムを設ける事は十分可能である。

導水路トンネルはアトラート河の右岸に沿って幅広く，南北に連続している山塊を貫通させる。導水路経過地の地表から最大の深さは約 280m であり，導水路ルート途中に存在する 3 条の谷の部分で約 40m の地表からのかぶりとなっている。この地域には閃緑岩が広く分布している。この閃緑岩の表層は風化のために，1～2m の深さまで軟質となっているが，岩体深部は堅硬である。

水圧管路を設ける斜面は傾斜 30°前後で緩勾配である。また，その表層は 1～2m の表層堆積物がおおっているが，その基盤は閃緑岩であり，2m 程度の風化が予想される。しかし，水圧管路の基礎としては問題はない。ただし，水圧管路の発電所に近い部分は段丘堆積物が分布する勾配の緩やかな段丘であり，基盤まで立坑により，岩着させる必要がある。

更に，水圧管路を設ける稜線を形成する山部は比較的，細い尾根であり，その斜面には深さ 20m 程度の小さな谷が約 80m の間隔で碁盤目状に存在している。この地形的な特徴は閃緑岩の節理のパターンによるものと思われるが，さらに詳細な現地調査を行なってこの地点の地質構造を十分調査する必要がある。

発電所地点には水圧管路下部から連続している段丘堆積物が分布している。その段丘堆積物の厚さは 2～3m と推定されるが，ボーリング調査によって確認すべきである。

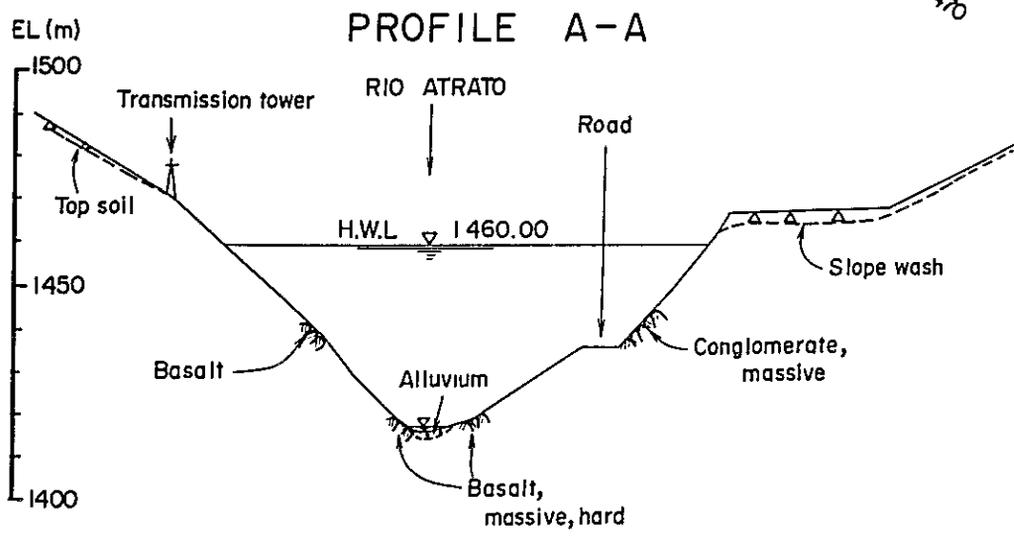
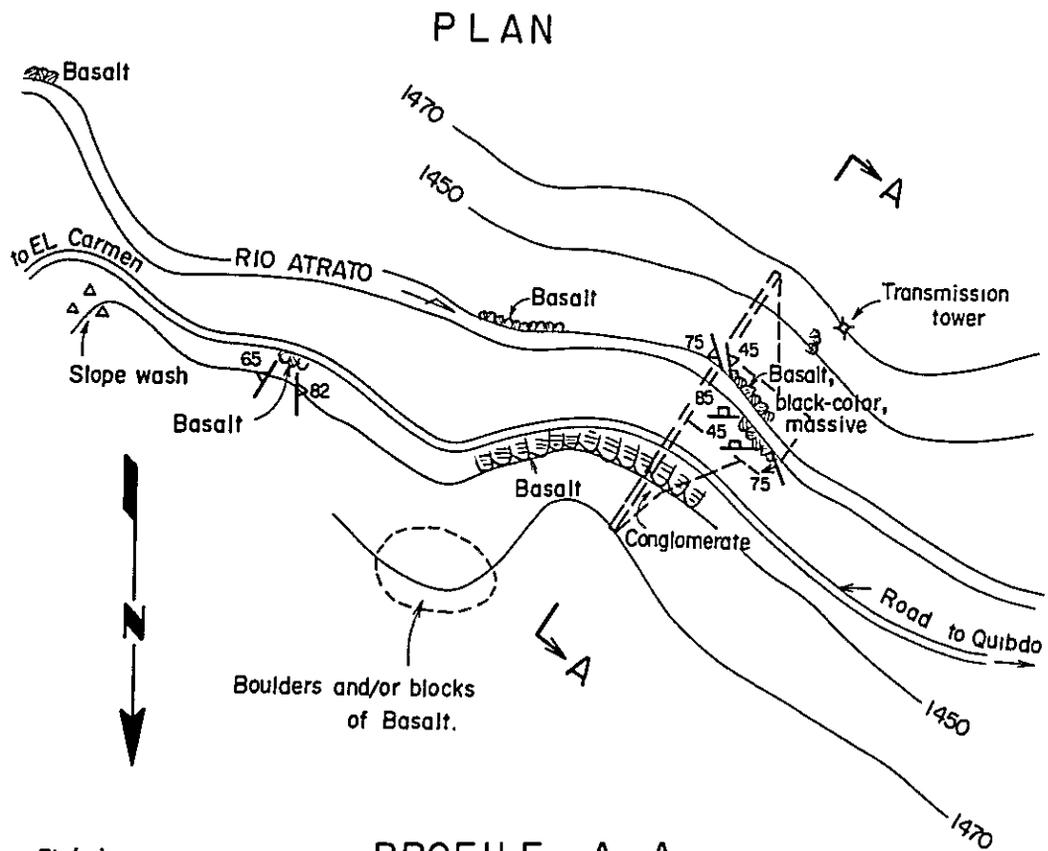
El Siete No 2 計画の取水ダムおよび取水口を除く主要構造物は，すべて第三紀に貫入した閃緑岩の分布地域にある。取水口付近には白亜紀上部の礫岩，玄武岩および厚さ約 1km の輝緑岩の貫入岩体が分布する。これらの岩石の一般的性質は Table 4-3-2 に示す通りであり，岩石の分布状況は Drawing - 03 および Drawing - 04 に記述してある。

断層は DNP の地質図によると，導水路に平行してアトラート河沿いに一条存在すると推定されている。また，航空写真判読によると，南北方向の線構造が若干認められるが，今回の地表踏査では明らかな断層として確認できなかった。

Table 4-3-2 Geologic Sequence and Rock Type of El Siete No. 1 and No. 2 Project Area

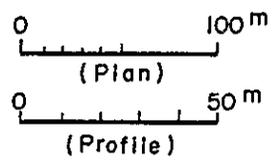
Period	Rock Unit	Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Quaternary		Alluvium, slope wash	Unconsolidated deposits. Many boulders of basalt in Alluvium in general. Slope wash; silty matrix and angular rock fragments (basalt, chert, etc).	Along the Rio Atrato valley.
Tertiary	Td	Diorite	Grayish-white, massive and hard. Decomposed diorite is frequently seen at mountain slopes.	Headrace Tunnel, Penstock and Power Station sites of No. 2 project.
Upper Cretaceous	KSV	Diabase	Gray to dark green, massive and hard. Intruded about 1 km wide. Generally fresh in road-cut.	Upstream part of Headrace Tunnel route of No. 2 project.
		Conglomerate	Black to gray, massive and moderately hard. Many basaltic pebbles with muddy matrix. Joint pattern is not remarkable.	Damsite, Headrace Tunnel, Penstock and Power Station site of No. 1 project.
		Basalt	Black, massive, hard and partially cracky. Basaltic Tuff in local.	Damsite of No. 2 project.
		Alternation of sandstone and shale	Gray to black, thin-bedded. Shaly part is rather brittle. In general slightly sheared along the bedding planes.	Upstream part of the reservoir area of No. 1 project.

Fig.4.3-1 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL SIETE NO.1 DAMSITE



LEGEND

- | | | | |
|--|---------|--|------------------------------|
| | Outcrop | | Strike and dip of joint |
| | Cliff | | Strike and dip of open crack |
| | | | Strike and dip of lineation |



4.3.5 El Once 地点の地質

(1) 一般地質

本計画地点は、アトラート河と Grande 川 の合流点の直下流に位置し、そこは El Siete No 2 発電所から 2.5 km の下流である。アトラート河 El Siete No 2 計画地点付近では南西に流れるが、Grande 川 との合流点で西に流れを変えている。兩岸の河床から 100 m ～ 150 m には緩斜面が、河床から 20 ～ 30 m には河岸段丘が存在している。本計画はアトラート河本流と、Grande 川 が合流する地点の約 300 m 下流の狭部に高さ 110 m、満水位 700 m のダムを設け、その直下に、導水路トンネルと水圧管路で導水し、発電所を設ける計画である。

この計画地域に分布する岩石は殆ど閃緑岩であり、一部に輝緑岩が分布している。その岩石の一般的性質は Table 4-3-3 に示す通りである。また、分布状況は Drawing -03 に示してあるが、輝緑岩と、閃緑岩の境界は南北方向であり、やや破碎されていると推定される。

DNP の地質図によると、ダムサイトを直撃はしていないが、湛水池内を横断する北東-南西方向の断層が 2 条、発電所の下流には El Siete No 2 地点より連続している北北東-南南西方向の断層が一条存在する。(Drawing -03, 04)

(2) El Once ダム地点の地質

ダムは高さ 110 m、満水位 700 m、堤頂長 710 m のコンクリート表面遮水ロックフィルダムとして計画されている。

ダム地点では Fig 4-3-2 に示せ通り、河床標高 610 m、川幅約 40 m となっている。右岸は川から標高 685 m の道路まで段丘堆積物の分布する傾斜 10° の緩斜面である。道路から上、標高 740 m までは傾斜 40° の斜面となっているが、その上部(標高 740 m)は丘陵状の平坦面となっており、付近にそれより高い山はない。一方、左岸は河床から標高 705 m の段丘面まで 30° の斜面であるが、標高 705 m 付近は段丘堆積物に覆われた平坦部であり、分水嶺近くまで連続している。谷は満水位(標高 700 m)で幅 700 m と浅く広い形状となっている。

ダム基礎に分布する岩石は第三紀に貫入した閃緑岩で新鮮な部分は灰白色、塊状、堅硬である。河床付近には新鮮な閃緑岩露出しているが、ダムサイトの両ウイングでは風化が中～強度に進んでいる。強風化岩は風化残留土状の風化閃緑岩中に比較的堅硬な閃緑岩が残留しているという状態である。その強度な風化層の厚さは道より上で 3 ～ 5 m に及ぶと推定される (Fig 4-3-2)。

標高 670 m にある右岸道路の掘削面で閃緑岩の露頭が観察できるが相当風化が進んでいる。

表層堆積物はダム右岸の緩斜面（道路より下部）および、ダム左岸の平坦部（標高 705 m）には段丘堆積物が分布している。その段丘堆積物の厚さは確認できない。ダム左岸の斜面にはわずかの slope washが見られる。

河床部には直径 1～2 m の大きな礫が多く堆積しているが、新鮮な岩盤は河床下 5 m 程度の深さに存在するものと推定される。断層は今回の調査では確認できなかったが、航空写真判読ではアトラート河に平行する N 75°E 方向の線構造（長さ約 1.5 km）が数本認められる（Drawing - 04）。

節理はダムサイトの上流 Grande 川との合流点付近で、N 55°E 垂直、N 55°W 50° SW の二方向のものが 30cm 間隔で発達しているのが観察される。

ダム基礎を構成する岩盤は部分的に深部まで、岩質が風化、あるいは劣化している心配がある。従って、透水性が高くなっている可能性があるため、ボーリング調査で確認する必要がある。

更に、ダム左岸については、満水位（標高 700m）との関係から、標高 705～725 m の段丘面の段丘堆積物の厚さおよび風化帯の厚さをボーリングによって、確認する必要がある。

(3) El Once 地点の導水路、水圧管路、発電所地点の地質

取水口、導水路、水圧管路はダム近くの右岸の頂部が平坦な、南西方向の尾根に設けられる。導水路は長さ 600 m で内径 5.5 m、水圧管路は長さ 600 m、それぞれ 2 条で計画されている。

この地域に分布する岩石は閃緑岩である。一般にこの閃緑岩の表層は 3～5 m の深さまで中程度から強度に風化していると思われる。導水路トンネル経過地は狭い尾根の地表から 40～50 m の深さに設けられるので風化がトンネル経過地の岩盤に及び部分的に脆くなっている可能性がある。

水圧管路は前述した尾根の西斜面地表に設けられる。この基礎岩盤も表層部は強度に風化している。

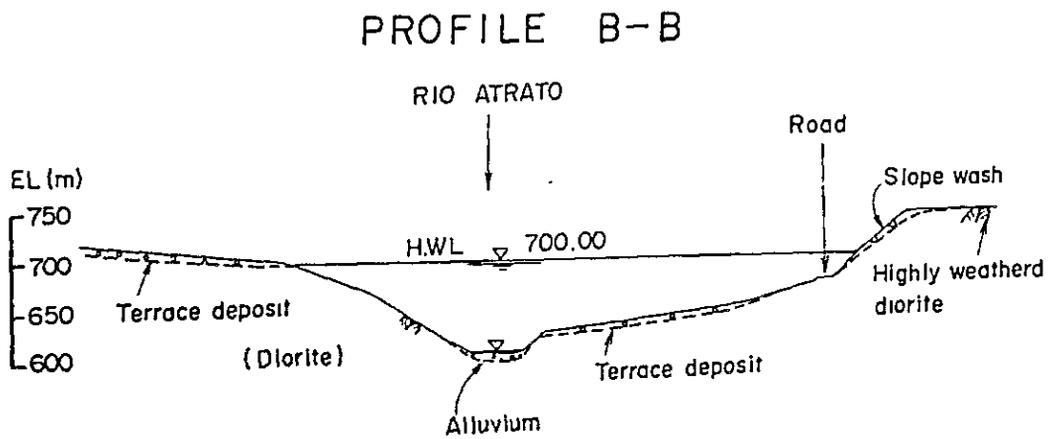
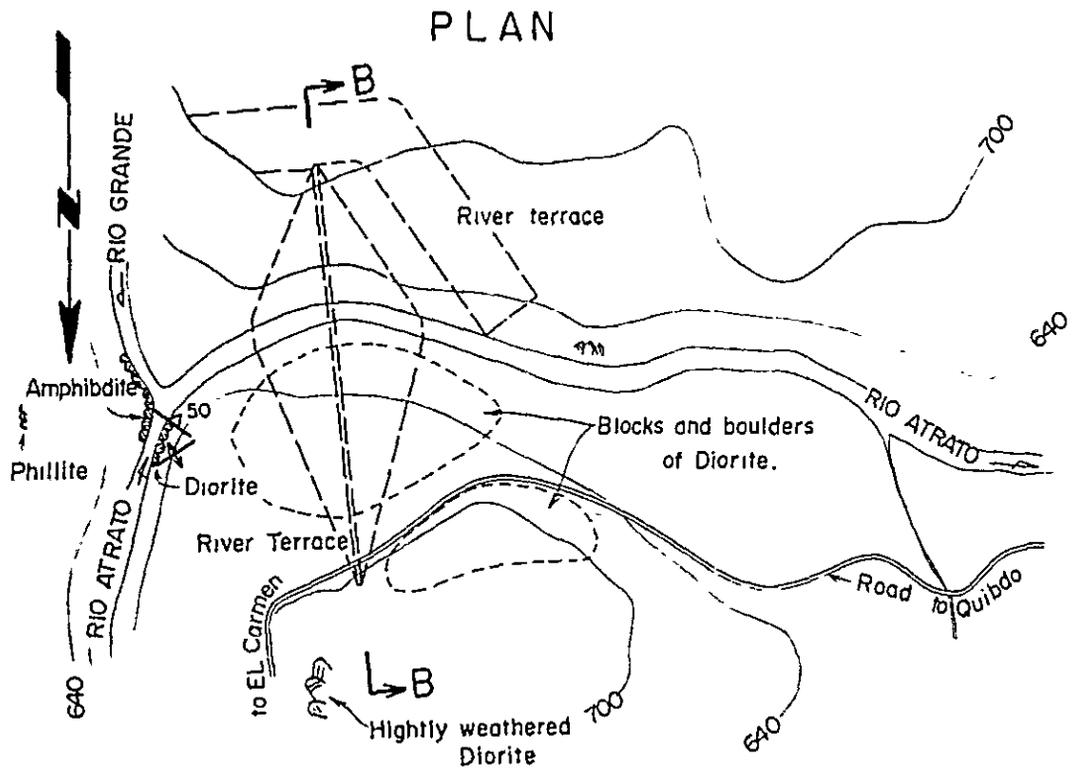
発電所地点はダム地点下流 1 km の浅く広い谷の緩斜面に位置している。その表層には段丘堆積物と河床砂礫が分布している。発電所基礎の岩石は閃緑岩である。閃緑岩の表層は風化して、やや軟質となっていることが予想される。

水圧管路経過地および発電所地点についてはボーリングによって表層堆積物の厚さと基盤岩石の風化程度とその深度を調査する必要がある。

Table 4-3-3 Geologic Sequence and Rock Type of El Once Project Area

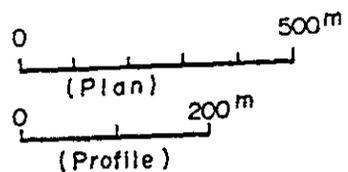
Period	Rock Unit	Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Quaternary		Alluvium, terrace deposits	Unconsolidated deposits. Alluvium consists of gravels and boulders (diorite, conglomerate, basalt, etc.).	Along the Rio Atrato valley.
Tertiary	Td	Diorite	Grayish-white, massive and hard. Most of outcrops are strongly weathered and decomposed. Amphibolite locally (at the upstream of damsite).	Damsite, Headrace Tunnel and Power Station sites.
Upper Cretaceous	KSV	Diabase	Gray to dark green, massive and hard. Intruded about 1 km wide. Generally fresh in road-cut.	Upstream part of the Reservoir area of El Once project.

Fig.4.3-2 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL ONCE DAMSITE



LEGEND

- Outcrop
- Strike and dip of joint
- Strike and dip of lineation



4.3.6 El Dieciocho No. 1, No. 2 計画地点の地質

(1) 一般地質

本計画の Dieciocho No. 1 は El Once ダムの下流 6 km にある Arayanes 地点に、満水位 57.5m の高さ 80m のダムを設け、延長 4.5 km、内径 7.4 m の導水路で、El Quince 地点に導水し、発電する計画である。

更に、Dieciocho No. 1 発電所の放水、最大 180 m³/s と Playa 川より導水する最大 40 m³/s の水量を合流させ、El Quince 地点で地下式発電所を設け、その使用後の水を放水路で、Bellavista 地点まで導水して、アトラート河へ放水する計画である。

この地域はアトラート河が蛇行しながら、西流する部分であり、西岸を構成する山部は右岸は標高 900~1,000m 級の山塊である。しかし、河沿いには部分的に河岸段丘が見られる。また、その河川勾配は El Siete 付近からみると緩やかであるが、1/94 である。

この地域の岩石分布は Dieciocho No. 1 計画地点では閃緑岩が主体であり、Dieciocho No. 2 計画地点では輝緑岩と玄武岩の構成地帯である。その岩石の一般的性質は Table 4-3-4 に示す通りである。これらの岩石の境界の性状は地表では判断できないが、境界線は南北方向で、No. 2 計画の放水路と 45° で交差し、Playa 導水路とは平行している。

DNP の地質図によると、Dieciocho No. 1 導水路と 45° で交差する北北東-南南西の断層 1 条と、Dieciocho No. 1 発電所付近を通る 1 条の断層が存在する (Drawing - 03)。

(2) El Dieciocho No. 1 ダム地点の地質

El Dieciocho のダム地点は El Once のダム地点の下流 6 km に位置している。ダムは高さ 80m、満水位 57.5m のコンクリートダムとして計画されている。河床標高は 50.5m で河幅は 40m である。右岸は 40° の斜面であるが、左岸は丘陵状の地形を呈し、15° の斜面となっている。そして、その左岸には幅 50~70m の段丘が標高 530m 付近に見られる。また、ダム堤頂長は 330m でダム高と堤頂長の比は 1:4.2 である (Fig 4-3-3)。

ダム基礎を構成する岩石は第三紀に貫入した閃緑岩で、灰白色、塊状、堅硬である。しかし、節理は 20~50cm 間隔で発達している。また、その表層部は風化のため、やや脆くなったり、亀裂の一部に粘土薄層を挟在している。右岸にある道路 (標高 530m) の掘削面では露岩が 2~3m の厚さで風化し、軟質化している。

表層堆積物はダムサイトの左岸では段丘堆積物が、約 3~5m の深さで分布しているものと推定されるが、右岸では表土がわずかに分布するのみである。また、河床部は兩岸に岩盤の露頭を見る事ができるが、河床面には直径 30~100cm の礫が分布し、新鮮岩盤までの深さは約 5m 程度と推定される。

層は今回の調査では地表を見る限り確認できなかった。一方節理は右岸の沢で測定し

た結果、 $N 0^{\circ} \sim 20^{\circ} E 60^{\circ} \sim 80^{\circ} SE$ 、 $EW 90^{\circ}$ および $N 10^{\circ} E 20^{\circ} NW$ の走向、傾斜をもつ、三方向の節理が卓越している。

最初の節理は20~50cm間隔であり、二番目は20~30cm間隔で密着している。そして最後の節理は頻度は少ないが、亀裂に1~2cmの破碎が見られる。

破碎部を挟在している可能性もあるので、基礎岩盤の透水性について十分に調査する必要がある。

(3) D1 Dieciocho No 1 地点の導水路、水圧管路、発電所の地質

Dieciocho No 1の導水路はダムサイト右岸に設ける取水口からアトラート河の右岸の山部を貫通して、蛇行する川をshort cutする形で設ける。そのトンネル延長は4.5 km、内径は7.4 mである。

Drawing - 06に示すように、導水路の経過地はアトラート河の右岸にある連続した山部の中心部を選定したので、山のかぶりは300~450mであり、途中で大きな谷は存在しない。この経過地は地質図によると閃緑岩である。

ダムより、No 1発電所に至る道路沿いに露出している閃緑岩をみると、風化が進んでいる部分が多く認められるので、トンネルのかぶりの薄い部分は注意を要する。

DNPの地質図によると、取水口から1kmの地点を 45° の角度で横断する断層があるとされているが、道路沿いの地表では確認できなかった。(Drawing - 03)。一方、レーダー撮影の写真より判読した結果、導水路の経過地に線構造が数本 $N 10^{\circ} \sim 20^{\circ} E$ 方向で2~3km連続して認められる(Drawing - 04)。これが断層であるかは、レーダー写真では判読できない。

しかし、この方向の線構造は道路沿いの露頭で観察した節理の方向と一致しており、破碎している可能性がある。

水圧管路はアトラート河の右側を川と平行して連続して存在する山部の終端に稜線の地表面を利用して設ける。この部分は山道もなく、全面、樹木におおわれているので、地質状況を観察する事はできなかったが、谷川および道路の掘削面に露出している岩石を見ると主に閃緑岩が分布していると推定される。また、その表層は少なくとも2~3mの深さまで風化していると推定される。

発電所は谷川を利用して、用地を造成して地表に設ける。この谷川の状態を見ると、部分的に岩盤の露頭が観察され、発電所の基礎は閃緑岩で構成される岩盤上に設ける事ができると推定される。

(4) E1 Dieciocho No 2 地点の水圧管路、発電所、放水路地点の地質

E1 Dieciocho No 2 発電所はDieciocho No 1 発電所と、El Quince谷をはさんで、Dieciocho 村落まで、アトラート河の右岸沿いに存在する標高600mの連続した山部地下

式発電所として設ける。El Dieciocho No 1 発電所の放水および Playa 川貯水池で取水した水は El Dieciocho No 2 発電所へ導水路および水圧管路で導水される。

斜坑方式の水圧管路および地下式発電所は El Dieciocho No 1 発電所から連続している閃緑岩よりなる山体の地表面から 0~300m の深部に設けられる。この山部の地質状況は道路の掘削面で推定する以外ないが、その掘削面で見ると閃緑岩および片岩が分布している (Drawing-04)。その新鮮部は塊状、堅硬であり、地表から 300m の深さの地下発電所部分には同質の閃緑岩が分布すると推定される。しかし、今後の調査に於いて断層、破碎帯の有無を十分調べる必要がある。そのためにはボーリング調査が有効であろう。

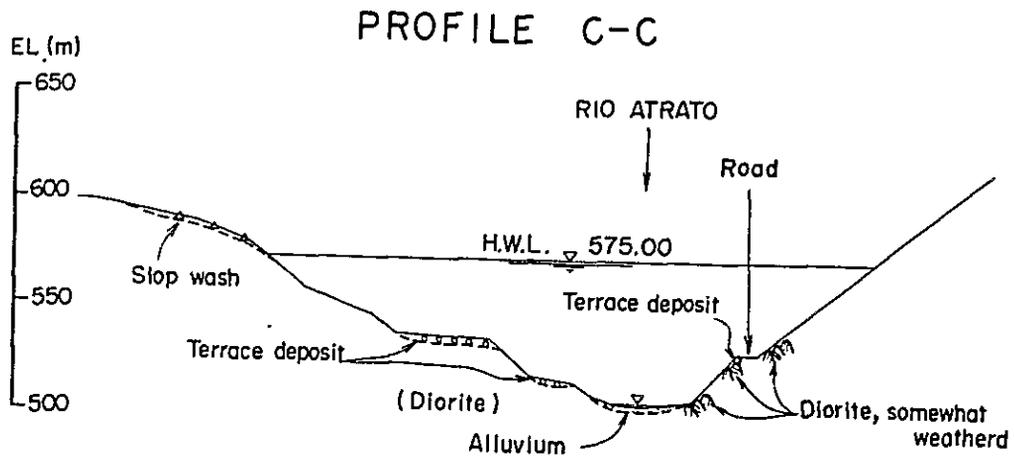
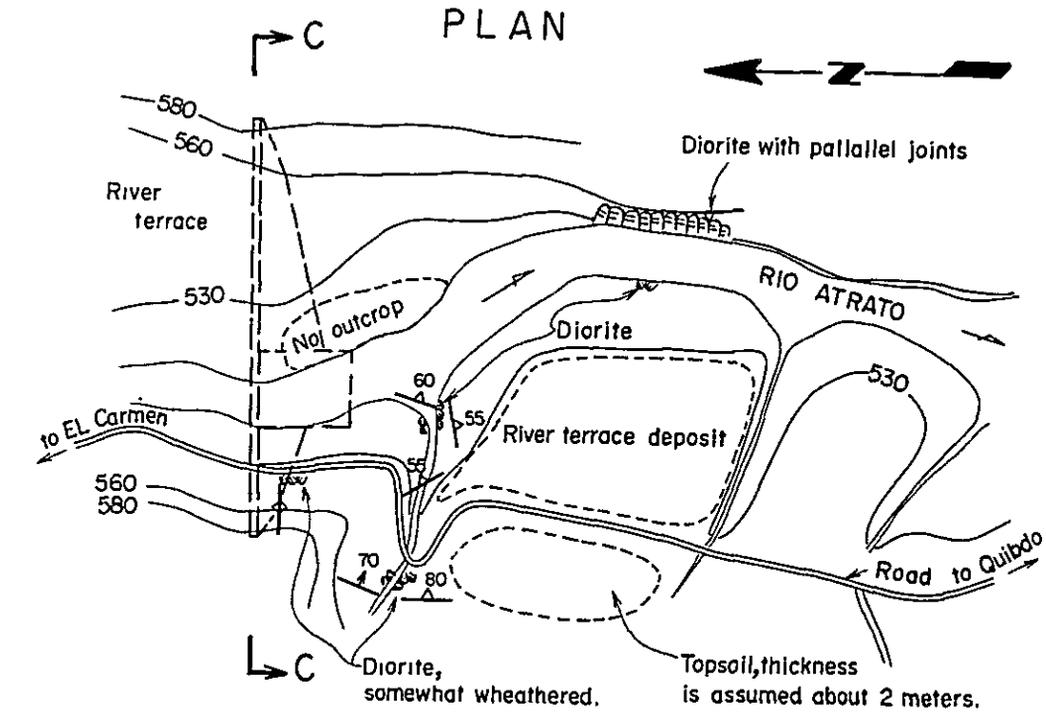
Playa 川取水ダムおよびその導水路 2.0 km の経過地の地質は現状では山道もなく、そのダムサイトまで立入り調査をする事はできない。従って、DNP 地質図あるいはレーダー写真より解読する以外ない。Playa ダムは閃緑岩と片岩の地質境界の近くの片岩側に設ける計画である。ダム高は 40m で計画されているので、地質的に困難性はないものと推定される。しかし、この地域は今回、全く立入る事ができなかったため、今後の調査に於いて地質的に解明すべきである。この調査はアクセス道路 (山道程度でよい) を設ける事が先決である。

一方、最大流量 $220\text{ m}^3/\text{s}$ を発電後に放水する放水路 (直径 8.4 m, 延長 4.9 km) は発電所直下流で一担、アトラート河本流の河床下 100m を横断して貫通させ Bellavista 地点まで導入してアトラート河に放流する。その間のトンネル・ルートの地形は丘陵状の山体であり、地質は発電所に近い部分は閃緑岩と片岩からなり、その他の大部分のトンネル・ルートには輝緑岩と凝灰岩が分布している。それらの一般的性質は Table 4.-3.-4 に示す通りである。現状ではその地表を全面、熱帯性の樹林が密に覆っており、その地質状況を地表で判断できないが、アトラート河本流沿いに露出している岩石の状態を見て、判断すると、放水路トンネルは片岩、輝緑岩、凝灰岩中に設ける事が可能であろう。DNP の地質図には、この付近に断層は記入されていない。放水路トンネルの地表からの深さは最大 300m で掘削に支障ない部分が多いと推定されるが、途中の谷部で深さは最小の 30m 程度となっており、その被りの薄い部分では風化がトンネル部まで及んでいる可能性があるため十分注意する必要がある。

Table 4-3-4 Geologic Sequence and Rock Type of El Dieciocho No. 1 and No. 2 Project Area

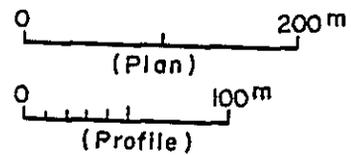
Period	Rock Unit	Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Quaternary		Alluvium, terrace deposits	Unconsolidated deposits. Many big boulders of diorite in Alluvium in general. Terrace deposits consist of gravels and sand.	Along the Rio Atrato valley.
Tertiary	Td	Diorite	Grayish-white, massive and hard.	Dam site, Headrace Tunnel and Power Station site of No. 1 project. Power Station site of No. 2 project.
Upper Cretaceous	KV	Diabase	Gray to dark green, massive and hard. Generally fresh in road-cut.	Upstream part of Tailrace Tunnel route of No. 2 project.
		Tuff	Gray, massive and generally rather soft. Some outcrops are strongly weathered and decomposed.	Some part of Tailrace Tunnel route of No. 2 project.
		Schist	Gray, massive, hard and locally like sandstone schist (containing coarse grained quartz). Generally fresh in road-cut.	Upstream part of Tailrace Tunnel route of No. 2 project.

Fig.4.3-3 GEOLOGICAL SKETCHED MAP OF EL DIECIOCHO DAMSITE



LEGEND

- | | | | |
|--|---------|--|-----------------------------|
| | Outcrop | | Strike and dip of joint |
| | Cliff | | Strike and dip of lineation |



4.3.7 El Lloro 計画地点の地質

(1) 一般地質

本計画はアトラート河上流部の最下流の地点であり、アトラート河本流と、Copa 川が合流する地点の峽部を利用して、高さ 50m のダムでせき止め、そのダム直下に発電所を設け発電する計画である。(通称ダム式発電)

計画地域は標高 100~150m の丘陵状の地形を呈し、その間をアトラート河および Capa 川が川巾 150~250m 前後で蛇行しながら、南西方向に流れ、両河川が合流後は西流している。川沿いには河岸段丘が随所に見られ丘陵部は全面、熱帯性植物が繁茂し、河岸まで及んでおり、ジャングル地帯を形成している。

この地域に分布する岩石は第三紀(漸新世-鮮新世)の砂岩泥岩互層および礫岩である(Drawing-03)。その一般的走向・傾斜は N15°W・10°SW であり、その岩石がもつ一般的性質は Table 4-3-5 に示す通りである。

(2) El Lloro ダムおよび発電所地点の地質

ダムはコンクリート遮水壁をもつ、ロックフィルダムとして計画し、その高さは 50m 満水位は標高 75m で計画した。ダムサイトの河巾は約 150m、調査時点での水位標高は 44m であった。(Fig 4-3-4)。

ダムサイトの左岸には標高 50m と 57m の 2 段の段丘が分布し、その段丘に連なる山部は 100~125m の丘陵である。その地表は表層堆積物でおおわれているので岩盤の露頭を見ることができない。但し、その丘陵部の崖の部分では岩盤の露頭を見る事ができ、丘陵部の芯部は砂岩泥岩互層で構成されているものと推定される。

一方、右岸は河床面 44m から標高 80m まで、急斜面の壁状を呈し、その表面には泥岩と砂岩の互層より成る岩盤の露頭を観察できる。その頂部は比較的平坦な丘陵状の山部であり、その標高は 75~100m である。その谷の中は満水位 75m で 320m であり、巾の広い U 字形の谷を示す。

ダム基礎を構成する岩石は主に第三紀の砂岩泥岩互層であり、随所に礫岩の 30~40cm の薄層を挟在している。その砂岩と泥岩の互層は灰あるいは黒色で、厚さ 2~10cm の泥岩と黒色で、中あるいは粗粒の厚さ 10~20cm の砂岩の互層である。この岩石はいずれも、固結度が低く、軟質であり、その岩片は手で容易に折る事ができる状態である。

また、部分的に存在している礫岩は黒色を呈し、直径 1cm 以下の細かい礫を多く含む部分と直径 2~10cm の礫を含む部分とに区別できる。それらの礫はチャート、安山岩、閃緑岩などで構成され、その基質は泥質で見かけは締っているが、固結度は悪い。

表層堆積物としてはダムサイトの直下流右岸に厚さ約 6m の段丘礫層と 1~2m の表土が分布している。

一方、左岸にも、厚さ1～2mの表土とその下部に厚さは不明であるが段丘礫層が分布している。また、河床部は河巾150mと広く、全巾に亘り、流水があり、その水深は深く測定できなかつたが、上下流の状況からみて、直径10～20cmの礫を主体とした砂礫が厚く堆積しているものと推定される。

前述の通り、ダムサイトの基礎岩盤の地層の走向はNS～N15°Wで、アトラート河の流路と30～45°の角度を成し、更にその傾斜が10～18°Wで下流に向けてゆるく傾斜している。一方、断層は今回の調査では地表で観察する事はできなかった。しかし、節理は砂岩と泥岩の互層中の泥岩の一部に存在し、その方向はアトラート河の流路と平行している、N45°E85°SEの方向のものが若干見られた。

高いダムの基礎としては、前記の岩質は一般的に軟質であるが、50m級のロックフィル型の低いダムでは地耐力の心配はないが、透水性の面に於いて問題があり、相当の基礎処理を行う必要がある。本ダム地点およびその貯水池地域には満水位を標高75mとした場合、地形的にやや不安な場所が2箇所ある。即ち、そのうちの一つは、ダム地点の約1km下流左岸の標高約85mの鞍部であり、他の一つは、ダム地点右岸側の標高約85mの比較的平坦な尾根である。以上の2箇所の部分については、漏水の危険性があり、今後充分にその透水性について調査する必要がある。また、前記の基礎岩盤は貯水による浸水のため、破壊や軟弱化する可能性をもっており、テストピースによる浸水試験を実施して岩盤の安定性を確認する必要がある。

Table 4-3-5 Geologic Sequence and Rock Type of El Lloro Project Area

Period	Rock Unit	Rock Type	Characteristic	Main Distribution
Quaternary		Alluvium	Unconsolidated deposits. Mainly gravel, sandstone and silt.	River bed of the Rio Atrato.
		Terrace deposits	Unconsolidated deposits. Mainly pebble with sandy or silty matrix.	On the river terrace of Damsite.
Tertiary	Tss	Alternation of sandstone and mudstone, partially interbedded with conglomerate.	Mainly alternation of sandstone and mudstone, partially interbedded with conglomerate. Mudstone; black to gray, 2 ~ 10 cm thick bedding. Sandstone; black, medium to coarse grained, 10 ~ 20 cm thick bedding. Conglomerate; pebbles and cobbles of chert, andesite, diorite, etc. with muddy matrix, 30 ~ 40 cm thick bedding. Consolidation degree of alternating beds is not so strong and these beds are generally soft and brittle.	Damsite and Power Station site.

4.4 水文解析

4.4.1 アトラート河上流部の一般気象条件

計画地点は北緯 $5^{\circ}25'$ ～ $6^{\circ}00'$ に在り、ほぼ赤道付近に位置している。従って、Quibdo、Lloro などの低地は一般に熱帯性気候である。しかし、El Siete No 1 計画地点は標高 1,500m にあり、亜熱帯あるいは温帯性になる。

雨量は Quibdo、Tutunendo では 12,000mm/年を越す年もあり、世界最大の多雨地帯の一つであると言われている。一方、山岳地帯でも西アンデス山脈の西側斜面は 7,000～10,000 mm/年を記録する年もある。従って、高温多湿地方で低地は熱帯性植物が繁茂するジャングル地帯を形成している。

気温は低地の Quibdo では日最高 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、日最低 22°C であり、日間に $6\sim 8^{\circ}$ 変動するが、この状態は年間を通じて変化しない。一方、高地（標高 2,000m）の La Mansa では日最高 20°C 、日最低 13°C 、その差 7°C で低地同様、年間を通じてその状態は変動しない。

一般に、雨期、乾期の差はないが、1月～3月の3ヶ月が乾期で、その他の4月から12月までは雨期であると区別する事ができる。最も雨を降らせる月は10月、11月である。その月の日最大雨量は 150～200 mm/日であり、月最大雨量は 1,000～1,500 mm/月 を記録している。

(1) 気温

計画地域に於いて、気温を観測しているのは Quibdo の空港と La Mansa（標高 2,000 m）観測所のみであり、代表年と見られる年の月別気温は以下の通りである。

Table 4-4-1 Monthly Temperature at Quibdo Observatory
(Year 1970)

Month	1	2	3	4	5	6
	Max. daily average	Min. daily average	1 - 2	Monthly maximum	Monthly minimum	4 - 5
Jan.	32.1	22.4	9.7	34.0	19.0	15.0
Feb.	31.6	23.2	8.4	35.0	22.0	13.0
Mar.	31.5	23.2	8.3	34.0	21.0	13.0
Apr.	32.3	23.1	9.2	35.0	20.5	14.5
May	31.3	22.7	8.6	34.0	21.0	13.0
June	32.3	22.4	9.9	35.0	17.0	16.0
July	30.8	22.1	8.7	34.0	23.0	11.0
Aug.	31.3	-	-	33.3	-	-
Sep.	30.6	22.0	8.6	34.0	21.0	13.0
Oct.	31.1	22.3	8.8	34.0	22.0	12.0
Nov.	30.7	22.1	8.8	34.0	22.0	12.0
Dec.	30.4	22.3	8.1	33.0	21.0	12.0
Average	31.3	22.6	8.7	35.0	19.0	16.0

Table 4-4-2 Monthly Temperature at La Mansa Observatory
(Year 1977)

Month	Unit: °C					
	1 Max. daily average	2 Min. daily average	3 1 - 2	4 Monthly maximum	5 Monthly minimum	6 4 - 5
Jan.	21.9	12.5	9.4	23.4	10.6	12.8
Feb.	21.8	13.1	8.7	24.4	11.2	13.2
Mar.	22.5	13.5	9.0	26.0	11.4	14.6
Apr.	21.4	13.6	7.8	24.4	11.4	13.0
May	20.4	13.6	6.8	23.4	12.2	11.2
June	20.7	13.0	7.7	23.6	14.2	9.4
July	21.6	12.5	9.2	23.8	10.6	13.2
Aug.	21.0	12.6	8.4	23.6	11.0	12.6
Sep.	21.0	12.5	8.6	23.8	10.8	13.0
Oct.	20.6	13.4	7.2	22.8	12.0	10.8
Nov.	20.5	13.2	7.4	23.2	10.8	12.4
Dec.	20.6	13.6	7.1	22.8	11.6	11.2
Average	21.2	13.1	8.1	23.8	11.5	12.3

以上の資料を基に、標高により気温が変動するものとすれば、各計画地点の気温は以下の通りであろう。

Table 4-4-3 Temperature at Each Project Site

Project Sites	Unit: °C				
	Max. daily average	Min. daily average	Annual max.	Annual min.	Elevation level (m)
El Siete No.1	24.0	15.7	28.5	12.4	1,460
El Siete No.2	26.5	18.1	30.7	14.0	970
El Once	27.9	19.4	32.0	14.8	700
El Dieciocho No.1	28.6	20.0	32.5	15.3	570
El Dieciocho No.2	29.4	20.8	33.3	15.8	400
El Lloro	31.1	22.4	34.8	16.9	75

(2) 湿度

湿度は下記の記録をみても理解できるように非常に高く、年間を通じて殆ど変動せず、また、標高差でも余り変化がないので、各計画地点は下表と同程度の湿度をもっているも

のと推定できる。

Table 4-4-4 Annual Humidity at Quibdo & La Mansa Station

Station	Hour			Annual average	Annual maximum	Annual minimum	Year
	07	13	19				
Quibdo	98	75	90	80	99	74	1970
La Mansa	95	78	92	88	96	77	1974

Unit: %

(3) 風速

風速の観測値は計画地域では Quibdo 空港の測定値しかない。その測定値は Table 4-4-5 の通りである。

Table 4-4-5 Annual Average Wind Velocity at Quibdo Station

Annual average (hour)			Monthly average	Average of monthly maximum	Maximum
07	13	19			
0.5	1.6	0.6	0.9	5.2	10.3

Unit: m/s

この風速測定値は計画地域の地形特性から見て、計画地点にも適用できるものである。

(4) 降水量

計画地点の降水量を知るための観測所は La Mansa, Camen de Atrato, Pinón, Tutunendo, Quibdo, La Vuelta, の6観測所しかない。これは Quibdo 地点での流域面積 4,870 km² でみると 800 km² に1観測所であり、観測所の数は極めて少いと言える。しかし、これらの観測所のデータより、計画地域の降水特性は知る事ができる。また、計画地域の周辺に散在する雨量観測所も入れると合計28の観測所があり、年降水量の概略の等高線分布を画く事ができる。

年雨量の等雨量高線図を1968~1979年までの12年間について画いてみた。その結果、各年とも同じ傾向を示しているが、代表的等雨量分布線は1974年のデータであり、Fig 4-4-1に示す通りである。

それによると、Quibdo, Tutunendo 地区はアトラート河流域でも、最も雨量の多い地区であり、年9,000~12,000mmを記録している。また、El Lloro, El Dieciocho No 1, No 2の3地点は7,500~8,000mm/年の地域に属し、El Once, El Siete No 2はPinón観測所で代表でき、5,000~8,000mm/年、更にEl Siete No 1地域は3,000~4,000mm/年の地区である。アトラート河中流部は年3,000mmの地区であり、その下流部は更に

少なくなり2,500mm/年となる。従って、アトラート河上流部は地域的にみても、最も多雨地域に属している事を示している。

Table 4-4-6 および Table 4-4-7 はアトラート流域内およびその周辺の雨量観測記録である。

Table 4-4-8 に示す通り、月別降水量表を見ると、La Mansa, Carmen de Atrato 観測所については1月～3月の3ヶ月は、はっきり乾期であると区別できるが、Piñon, Tutunendo, Quibdo, La Vuelta については年間を通じて雨期、乾期の区別ができず、年中雨期であると言える。従って、年間9,000～12,000mmもの降水量を記録する事となっている。

この事からみるとアトラート河上流部は月別雨量表からみても、El Siete No 1 計画地点のみが1月～3月まで乾期の影響をうけるが、El Siete No 2 以下の下流地点は比較的乾期の影響が少なく、年間を通じて平均した流量をもっている極めて流況のよい河川であると判断できる。

また、この地域の降雨の状況は時間雨量をみると、午前は雨なしでくもり、午後から夜間にかけて雨を降らせるのが通常である。最も雨量強度の強いのは深夜である。日最大雨量を Table 4-4-9 に示したが、Carmen de Atrato では最大110mm/日、Piñon 268mm/日、Tutunendo 203mm/日、そして、Quibdo では301mm/日を記録している。これらの日最大雨量は7月～10月の間に発生している。これらの最大雨量は何日間も連続して降るのではなく、記録でみると一日単位で降っている。従って、降雨は一日サイクルで発生し、その程度に於いて強い日と弱い日がある。

Table 4-4-6 Annual Pricipitation at Each Pricipitation Station in Departamento de Choco

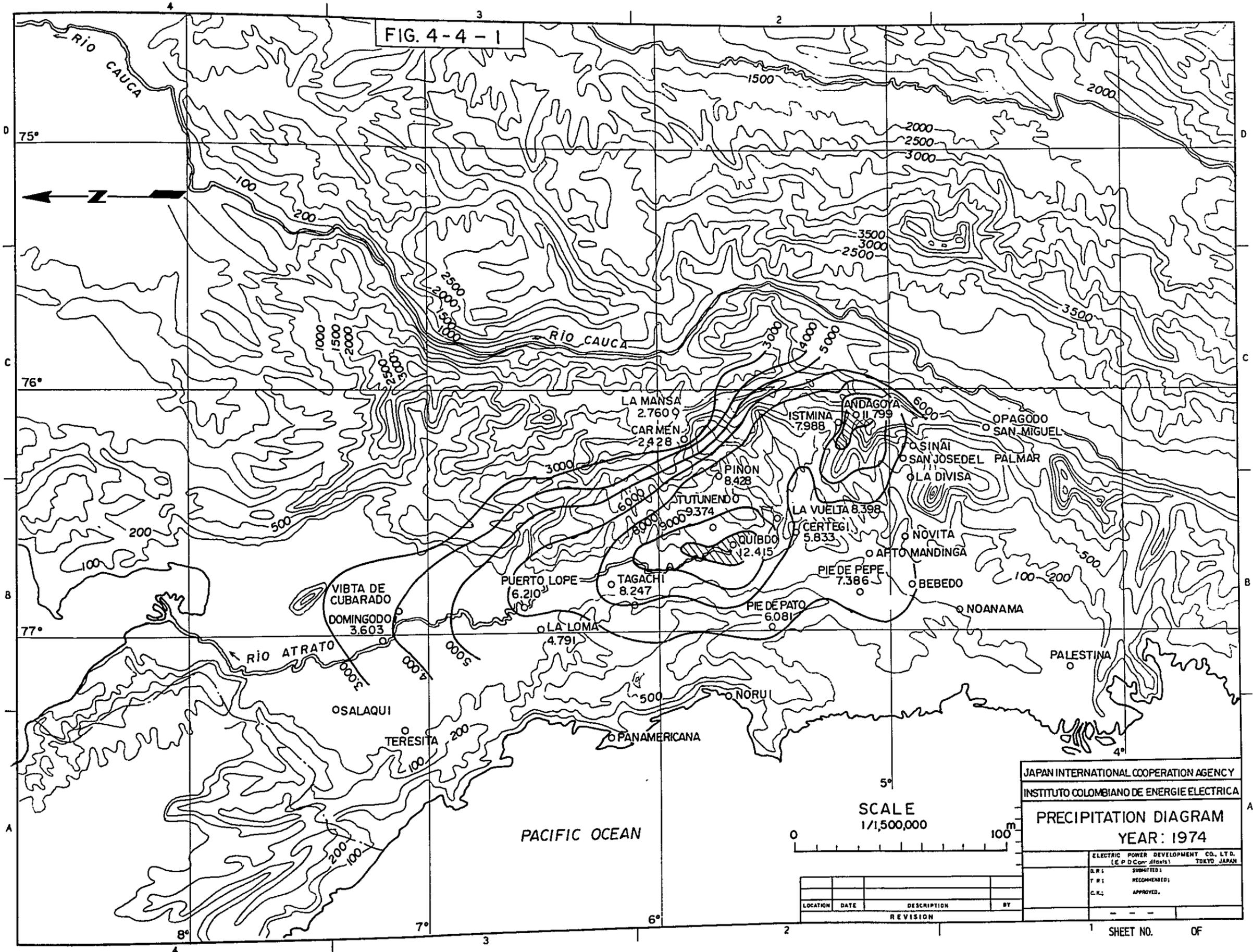
Station	Mark	Annual Pricipitation			Period
		Maximum	Mean	Minimum	
SALAQUI	G.2.4	-	2,613	-	74 ~ 79
DOMINGODO	G.2.6	4,659	3,823	2,736	67 ~ 80
VISTA DE CUBARADO	G.3.17	29,635		8,981	72 ~ 80
TERESITA	G.2.7	3,040	2,737	2,460	72 ~ 78
PUERTO LOPE	H.3.8	6,210	5,360	4,522	70 ~ 79
LA LOMA	H.3.10	7,507	5,473	4,944	67 ~ 79
TAGACHI	H.3.16	8,247	6,535	4,814	67 ~ 80
PANAMERICANA	H.2.4	7,128	5,660	4,177	39 ~ 77
LA MANSÁ	I.3.2	7,892	3,834	2,005	70 ~ 77
CARMEN DE ATRATO	I.3.3	3,437	2,642	1,826	58 ~ 80
EL PINON	I.3.7	11,316	7,511	5,579	58 ~ 80
TUTUNENDO	I.3.5	12,666	10,574	8,671	67 ~ 80
QUIBDO	I.3.8	12,428	7,734	3,625	47 ~ 77
LA VUELTA	I.3.11	10,955	8,661	7,086	63 ~ 80
CERTEGI	I.3.13	10,543	6,887	4,165	67 ~ 80
PIE DE PATO	I.3.9	10,597	7,390	4,981	71 ~ 80
NOVITA	J.3.3	14,183	8,612	6,366	67 ~ 80
ISTMINA	I.3.16	9,389	7,717	6,787	67 ~ 80
ANDAGOYA	I.3.19	11,799	7,487	5,975	18 ~ 80
APTO MANDINGA	I.3.20	-	-	-	67 ~ 79
PIE DE PEPE	I.3.17	7,830	6,636	5,753	73 ~ 80
SAN JOSE DEL PALMAR	J.3.2	6,213	4,825	3,449	67 ~ 80
SINAI	J.3.6	7,106	6,090	4,337	67 ~ 80
LA DIVISA	J.3.5	6,213	4,825	3,449	67 ~ 80
BEBEDO	J.3.4	9,180	7,720	6,749	73 ~ 80
NOANAMA	J.3.12	9,030	7,947	6,801	66 ~ 70
OPAGODO SAN MIGUEL	J.3.21	9,399	7,410	5,231	67 ~ 80
PALESTINA	J.2.3	-	7,405	-	66 ~ 70

Table 4-4-7 Annual Precipitation in Atrato Area

Stations	Marks	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
SALAZUI	G.2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,613	-
DOMINGODO	G.2.6	3,757	-	3,757	4,162	4,231	-	-	3,603	3,409	-	-	4,069	2,736
VISTA DE CUBARADO	G.3.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,981	-
TERESITA	G.2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	3,040	2,705	2,460	-	-
PUERTO LOPE	H.3.8	-	-	-	-	5,649	-	5,413	6,210	5,320	5,048	4,522	-	-
LA LOMA	H.3.10	7,507	-	5,194	5,737	5,768	5,700	-	4,791	5,808	5,075	4,944	5,849	-
TAGACHI	H.3.16	7,835	-	5,935	-	8,040	5,092	5,979	8,247	7,288	6,503	4,814	6,370	5,786
PANAMERICANA	H.2.4	-	-	-	-	-	4,177	7,128	6,162	6,565	4,267	-	-	-
LA MANSA	I.3.2	-	-	-	-	7,892	5,054	-	2,760	3,123	2,170	2,005	-	-
CARMEN DE ATRATO	I.3.3	3,437	-	2,728	3,363	3,518	2,311	2,222	2,428	2,858	1,972	1,826	2,546	-
EL PINON	I.3.7	6,275	5,579	-	-	-	5,640	8,593	8,428	10,206	7,124	8,047	8,199	7,679
TUTUNENDO	I.3.5	12,100	-	11,071	10,505	12,704	8,671	10,629	9,374	12,666	10,113	9,736	11,382	8,931
QUIBDO	I.3.8	-	7,399	6,647	8,948	7,442	-	-	12,415	12,428	-	-	-	-
LA VUELTA	I.3.11	9,527	9,091	9,900	9,595	10,955	7,670	8,489	8,398	-	7,086	8,021	7,662	7,799
CERTEGI	I.3.13	-	-	9,487	9,939	10,543	6,660	4,165	5,833	7,224	6,199	-	4,650	4,168
PIE DE PATO	I.3.9	-	-	10,597	9,255	9,116	7,457	6,481	6,081	7,480	-	-	-	5,058
NOVITA	J.3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISTMINA	I.3.16	6,856	6,899	7,864	8,139	8,933	7,647	-	7,988	6,798	6,787	7,710	7,591	9,389
ANDAGOYA	I.3.19	7,607	-	8,462	-	8,879	7,671	9,379	11,799	10,595	-	5,975	-	6,375
APTO MANDINGA	I.3.20	-	-	10,314	-	14,183	7,001	8,256	-	9,366	6,366	7,040	-	6,370
PIE DE PEPE	I.3.17	-	-	-	-	-	-	-	7,386	7,830	5,753	6,011	6,463	6,373
SAN JOSE DE PALMAR	J.3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	4,184	4,969	3,438	-	3,698
SINAI	J.3.6	6,311	6,665	5,665	6,428	6,565	4,337	6,142	6,080	7,106	-	5,599	-	-
LA DIVISA	J.3.5	5,361	-	4,333	-	5,573	4,626	6,157	6,213	-	3,449	4,470	4,233	3,839
BEBEDO	J.3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	17,566	9,180	7,232	-	6,749
NOANAMA	J.3.12	9,093	-	6,801	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPAGODO SAN MIGUEL	J.3.21	6,808	-	8,102	-	-	6,810	-	7,927	7,475	5,231	8,406	-	6,532
PALESTINA	J.2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Unit: mm

FIG. 4-4-1



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIE ELECTRICA

PRECIPITATION DIAGRAM
 YEAR: 1974

ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.
 (E.P.D.C. (Japan)) TOKYO, JAPAN

SUBMITTED: _____
 RECOMMENDED: _____
 APPROVED: _____

LOCATION	DATE	DESCRIPTION	BY

REVISION

SHEET NO. 1 OF

Table 4-4-8 Monthly Precipitation at Project Area

		Unit: mm/month					
Month	Station	LA MANSA	CARMEN DE ATRATO	PINÓN	TUTUNENDO	QUIBDO	LA VUELTA
Jan.	Maximum	403	325	1,095	1,440	1,188	1,002
	Average	189	133	618	708	550	573
	Minimum	15	50	138	222	141	186
Feb.	Maximum	533	371	672	1,049	1,056	853
	Average	266	129	444	620	424	448
	Minimum	79	25	150	93	78	137
Mar.	Maximum	343	303	710	1,183	1,005	1,312
	Average	315	163	455	618	473	526
	Minimum	124	62	210	142	162	215
Apr.	Maximum	691	491	1,182	1,373	856	1,042
	Average	422	249	641	816	546	663
	Minimum	147	122	301	306	84	394
May	Maximum	706	417	1,585	1,502	1,229	1,154
	Average	358	264	769	970	657	787
	Minimum	219	132	448	395	118	367
Jun.	Maximum	814	426	870	1,624	1,530	1,405
	Average	406	273	650	1,075	703	811
	Minimum	182	181	186	691	187	524
Jul.	Maximum	824	522	1,256	1,506	1,441	1,176
	Average	330	233	577	967	770	814
	Minimum	196	58	299	350	140	567
Aug.	Maximum	907	450	1,251	1,940	2,030	1,438
	Average	365	245	643	1,044	839	998
	Minimum	108	104	352	436	159	649
Sep.	Maximum	877	418	1,005	1,700	1,129	1,044
	Average	354	226	723	922	671	815
	Minimum	83	112	388	108	493	545
Oct.	Maximum	686	411	1,445	1,886	938	1,141
	Average	361	263	920	1,141	578	827
	Minimum	152	28	516	766	165	408
Nov.	Maximum	455	329	1,398	2,037	1,985	1,259
	Average	269	226	899	1,007	674	754
	Minimum	142	89	395	103	351	369
Dec.	Maximum	312	316	1,409	1,384	1,222	1,165
	Average	161	178	882	886	654	667
	Minimum	18	40	308	612	326	326
Annual	Maximum	7,892	3,518	11,316	12,666	12,428	10,955
	Average	3,834	2,642	8,169	10,574	7,734	8,661
	Minimum	2,005	1,826	5,579	8,671	5,533	7,086
Period		71 ~ 77	59 ~ 81	59 ~ 80	67 ~ 80	47 ~ 77	63 ~ 80

Table 4-4-9 Maximum Daily Precipitation at Each Year

Unit: mm

Station Year	CARMEN DE ATRATO	PINÓN	TUTUNENDO	QUIBDO
1959	52	134	-	207
60	94	268	-	158
61	42	180	-	181
62	80	190	-	113
63	60	153	-	179
64	62	134	-	190
65	110	154	-	208
66	78	120	-	163
67	90	100	203	206
68	100	132	-	178
69	60	120	199	194
70	61	230	150	185
71	65	205	186	141
72	47	104	176	142
73	50	153	154	188
74	51	129	176	301
75	57	153	150	273
76	61	134	160	176
77	55	154	150	157
78	48	193	156	-
79	75	136	135	-