

No. 10

ボリビア共和国

ピラヤ川水力発電計画

第1次調査報告書

1980年3月

国際協力事業団

国際協力事業団
O.R. (2)
30 1980

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is crucial for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent data collection procedures and the use of advanced analytical techniques to derive meaningful insights from the data.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in data management and analysis. It discusses how modern software solutions can streamline data collection, storage, and analysis processes, thereby improving efficiency and accuracy.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to mitigate these risks and ensure that the data remains reliable and secure throughout its lifecycle.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It stresses the importance of a data-driven approach in decision-making and the need for continuous monitoring and improvement of data management practices.

JICA LIBRARY



1054268[6]

ボリビア共和国

ピラヤ川水力発電計画

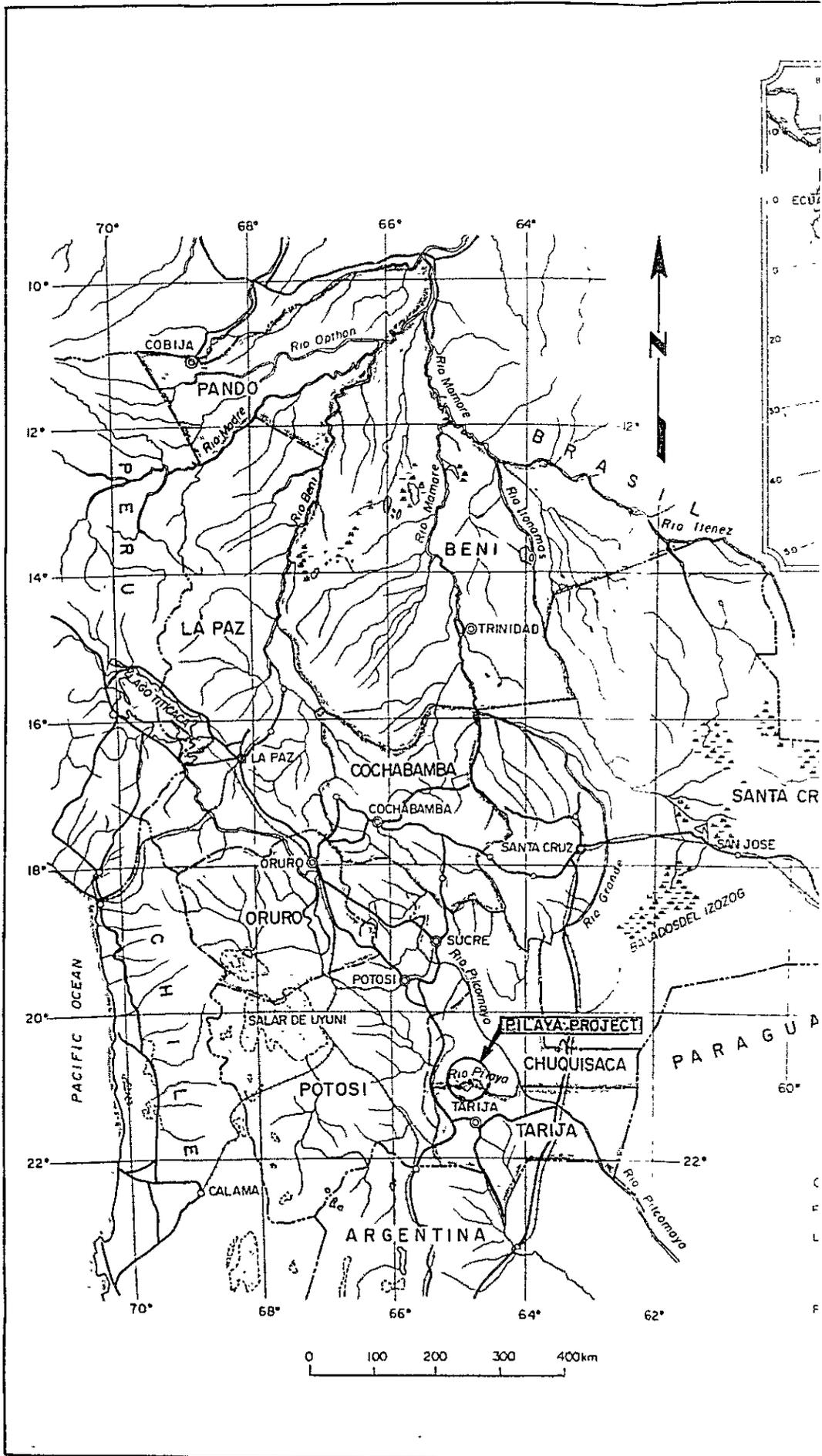
第1次調査報告書

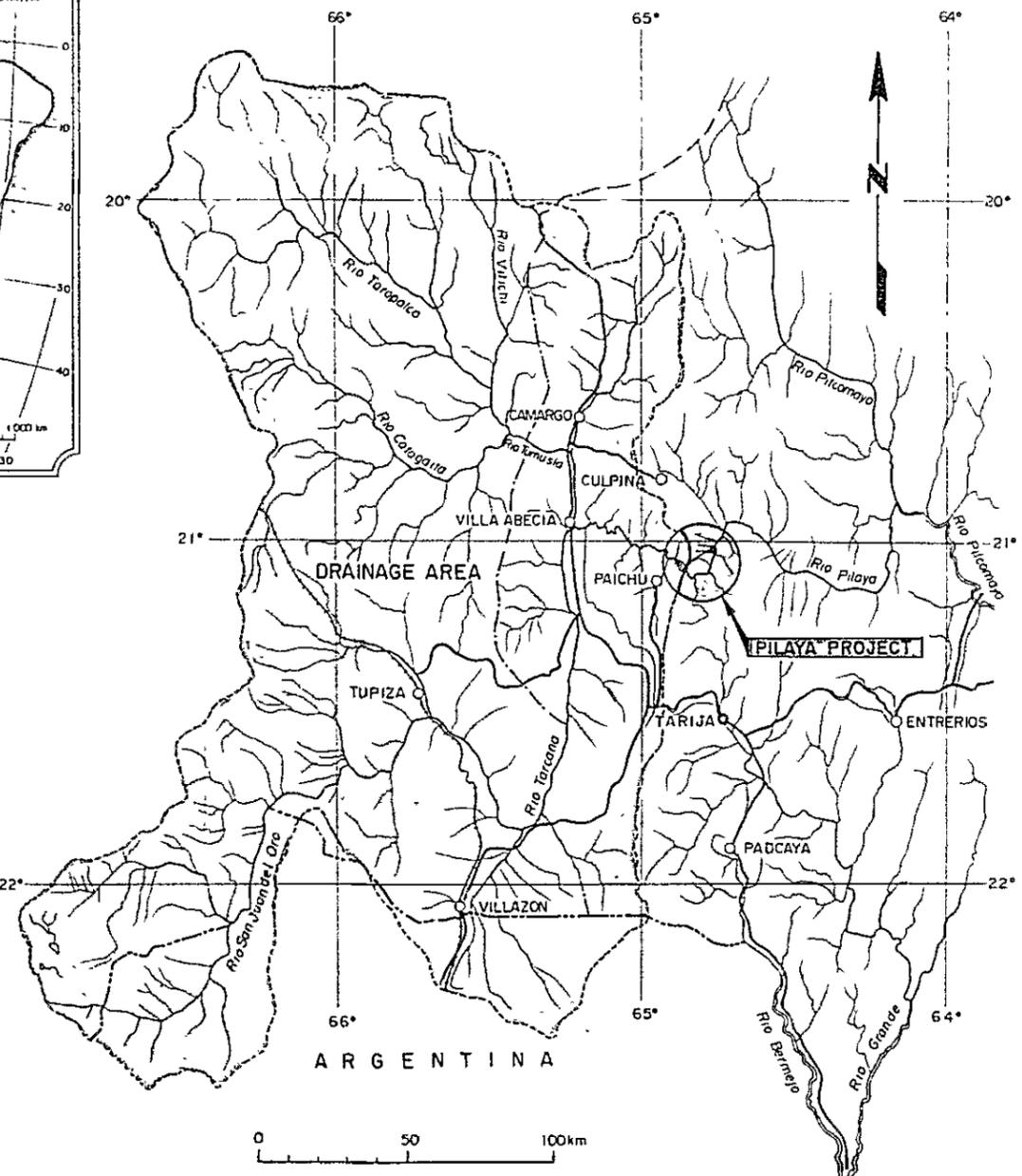
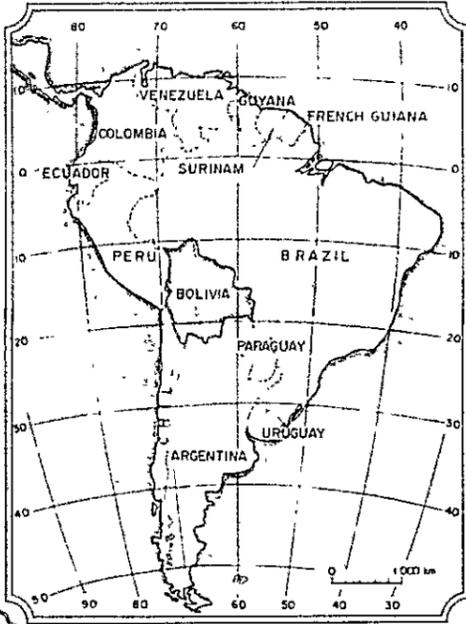
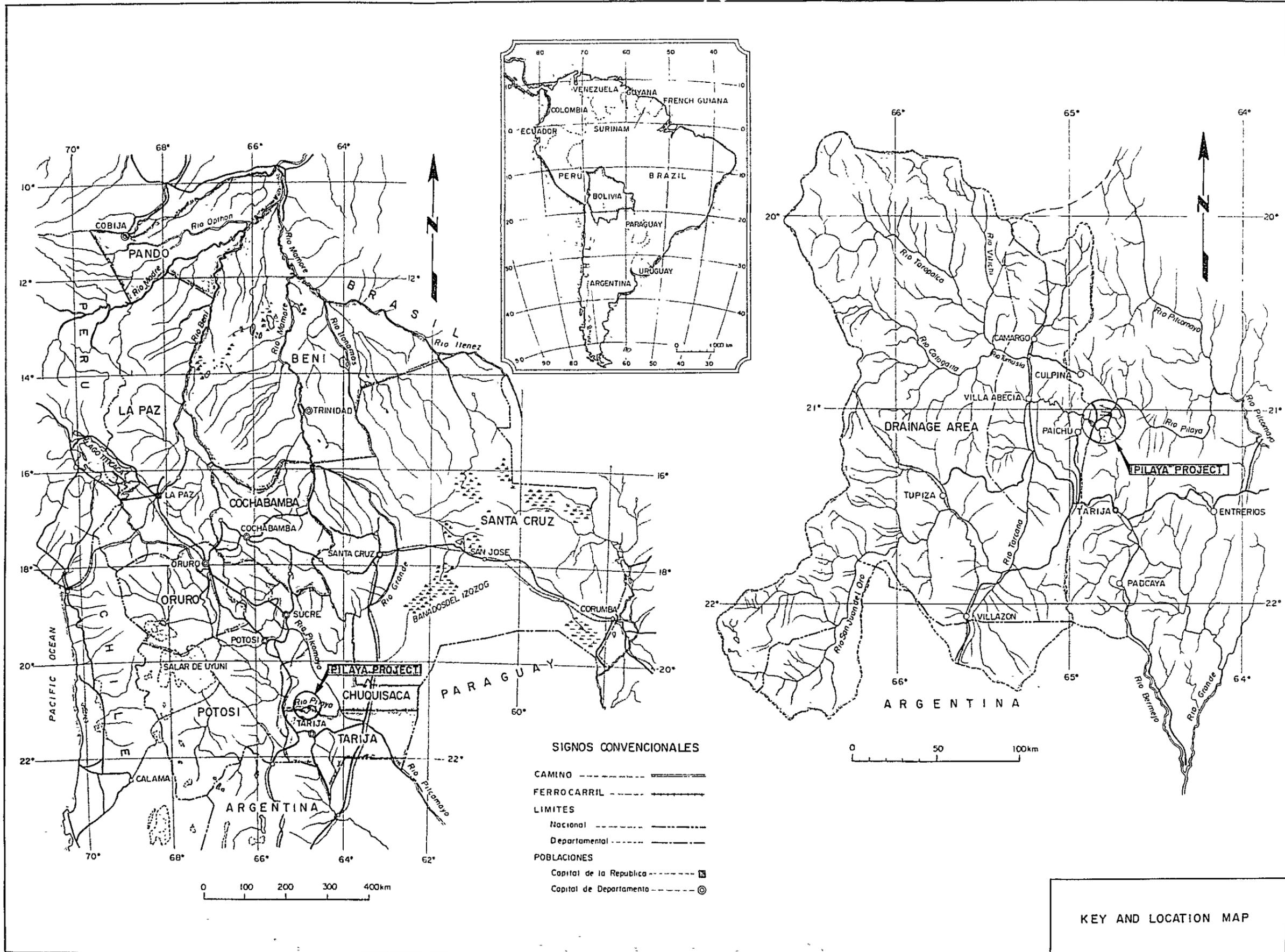
1980年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

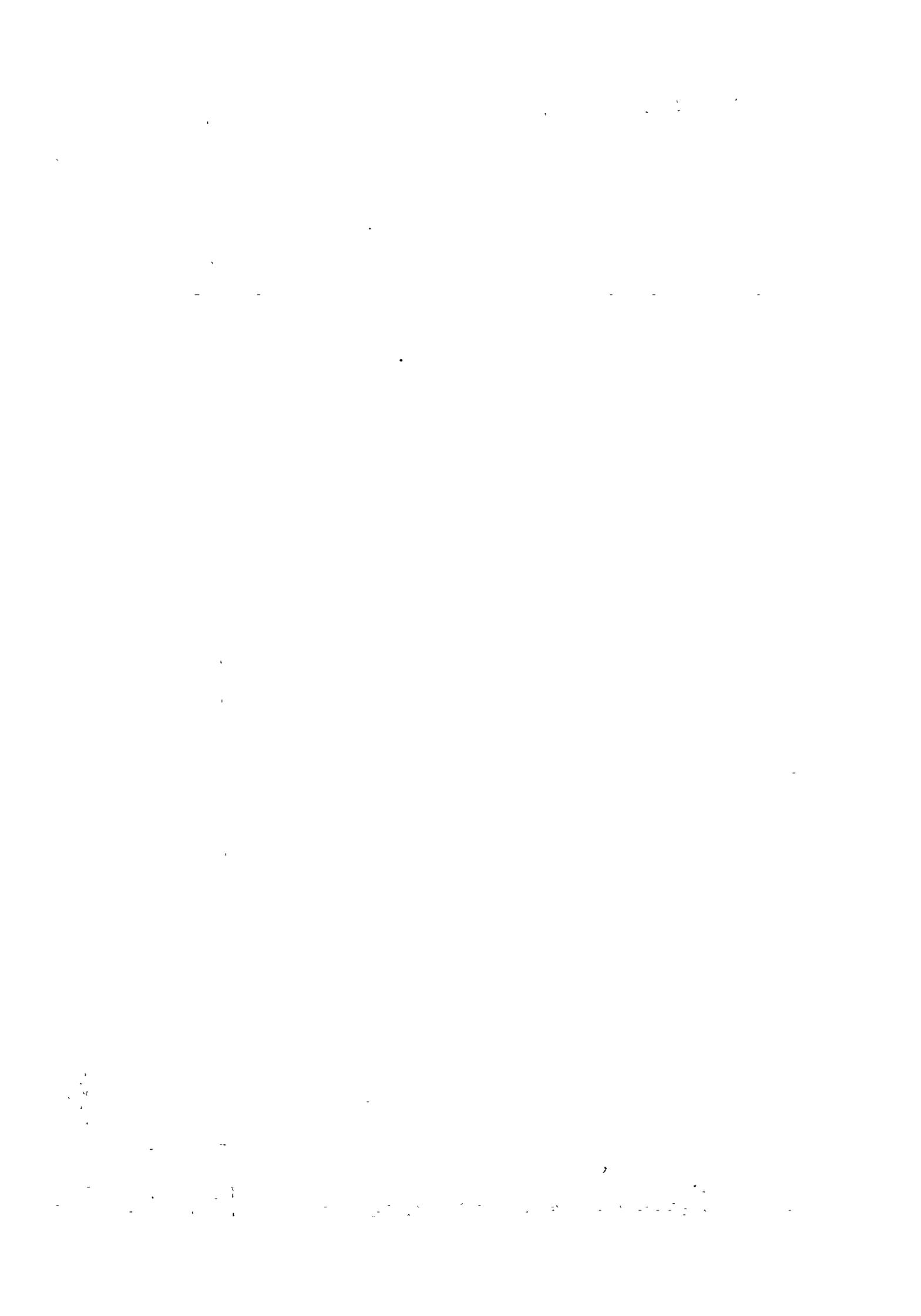
受入 月日	'86. 3. 31	702
		64.3
登録No.	12562	MPN





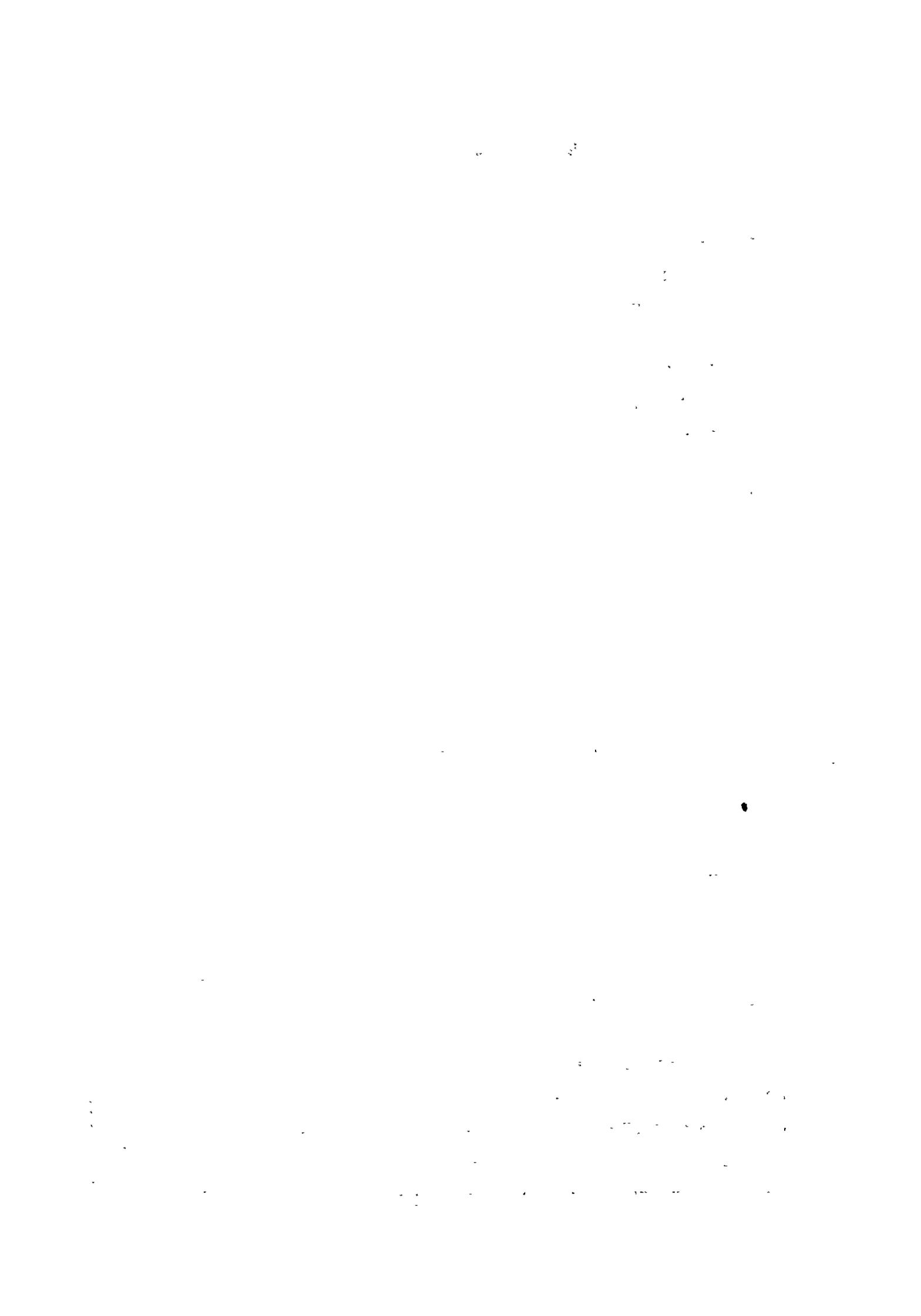
- SIGNOS CONVENCIONALES**
- CAMINO
 - FERROCARRIL
 - LIMITES
 - Nacional
 - Departamental
 - POBLACIONES
 - Capital de la Republica
 - Capital de Departamento

KEY AND LOCATION MAP



目 次

第1章 緒 論	1
1.1 経 緯	1
1.2 既存の報告書	1
1.3 報告書の目的と範囲	2
1.4 調査と研究	2
1.4.1 現地調査	2
1.4.2 調査団の構成	2
1.4.3 調査日程	3
1.4.4 日本における作業	4
1.5 基礎資料	4
1.6 ボリビア共和国の一般事情	4
第2章 結論と勧告	6
2.1 結 論	6
2.2 勧 告	6
第3章 基本開発計画	7
3.1 計画地域の位置および概要	7
3.1.1 計画地域の位置	7
3.1.2 計画地域の概要	7
3.2 基本開発計画の概要	8
3.2.1 Huacata 水力発電計画	8
3.2.2 Aguas Calientes 水力発電計画	8
第4章 開発計画の比較検討	11
4.1 需給バランスと開発時期	11
4.2 水文解析	13
4.2.1 降雨量観測所および測水所	13
4.2.2 降 雨	13
4.2.3 計画地点の流量算定	16
4.2.4 設計洪水量	16
4.2.5 堆 砂	19



4.2.6	考 察	20
4.3	地 質	20
4.3.1	序 論	20
4.3.2	流域の一般地質	20
4.3.3	計画地域の地質	21
4.4	発電計画	26
4.5	予備設計	28
4.5.1	土木構造物	28
4.5.2	電気設備	29
4.5.3	主要諸元	32
4.6	各工事の主な問題点	32
4.7	建設費	33
4.7.1	基本的条件	33
4.7.2	建設費の内容	33
4.7.3	建設工事費	34
4.8	電力コスト	36
第5章	調査工事計画および地質踏査	47
5.1	地質調査計画	47
5.1.1	ボーリング	47
5.1.2	調査横坑	47
5.1.3	弾性波探査(屈折法)	47
5.2	地質踏査	49
5.2.1	ダ ム	49
5.2.2	導水路トンネル	49
5.2.3	水圧管路および発電所	49
5.3	コアボーリングおよび透水試験仕様書	51

第1章 緒 論

1.1 経 緯

ボリビア共和国における電力需要は、近年8%／年と比較的高い割合で増加しているが、同国南部のTarija県およびPotosi県地域に於いても、一般需要、および産業需要（鉱山・食油工業等）の伸びが高い率を示している。

この増加する電力需要に対処するため、ボリビア共和国政府は水力発電所の建設をはじめ、ディーゼル発電所およびガスタービン発電所の建設を積極的に進めている。

TarijaおよびPotosi両地域に対しても更に新規の電源の開発が必要であり、このためボリビア電力公社（Empresa Nacional De Electricidad SA-ENDE）は国連の協力の基にRio Pilaya 中流部にPilaya川水力発電計画を策定し、Huacata 計画およびその代案としてAguas Calientes 計画を選定した。

ENDE は 1977 年、ボリビア共和国政府を通じて日本政府に対し上記2案の優劣を比較検討し、有望な一方の計画に対しフィジビリティ・スタディ実施の協力要請を行ってきた。

この要請を受けて日本政府はフィジビリティ調査の必要性および可能性を確認するため、国際協力事業団（Japan International Cooperation Agency - JICA）を通じ1978年1月29日から2月11日の24日間、地質、経済および土木の3名の専門家を現地に派遣して調査を実施し、1978年3月本計画の予備調査報告書を日本政府に提出した。この予備調査報告書の勧告に基づき日本政府は再びJICAを通じ電源開発株式会社（Electric Power Development Co., Ltd-EPDC）の技師を中心とする4名から成る調査団を、1979年9月26日から10月29日の34日間ボリビア共和国の現地に派遣して、Huacata水力発電計画とその代案のAguas Calientes 水力発電計画の比較検討および1980年実施予定の地質調査工事の計画立案に必要な現地調査を実施した。

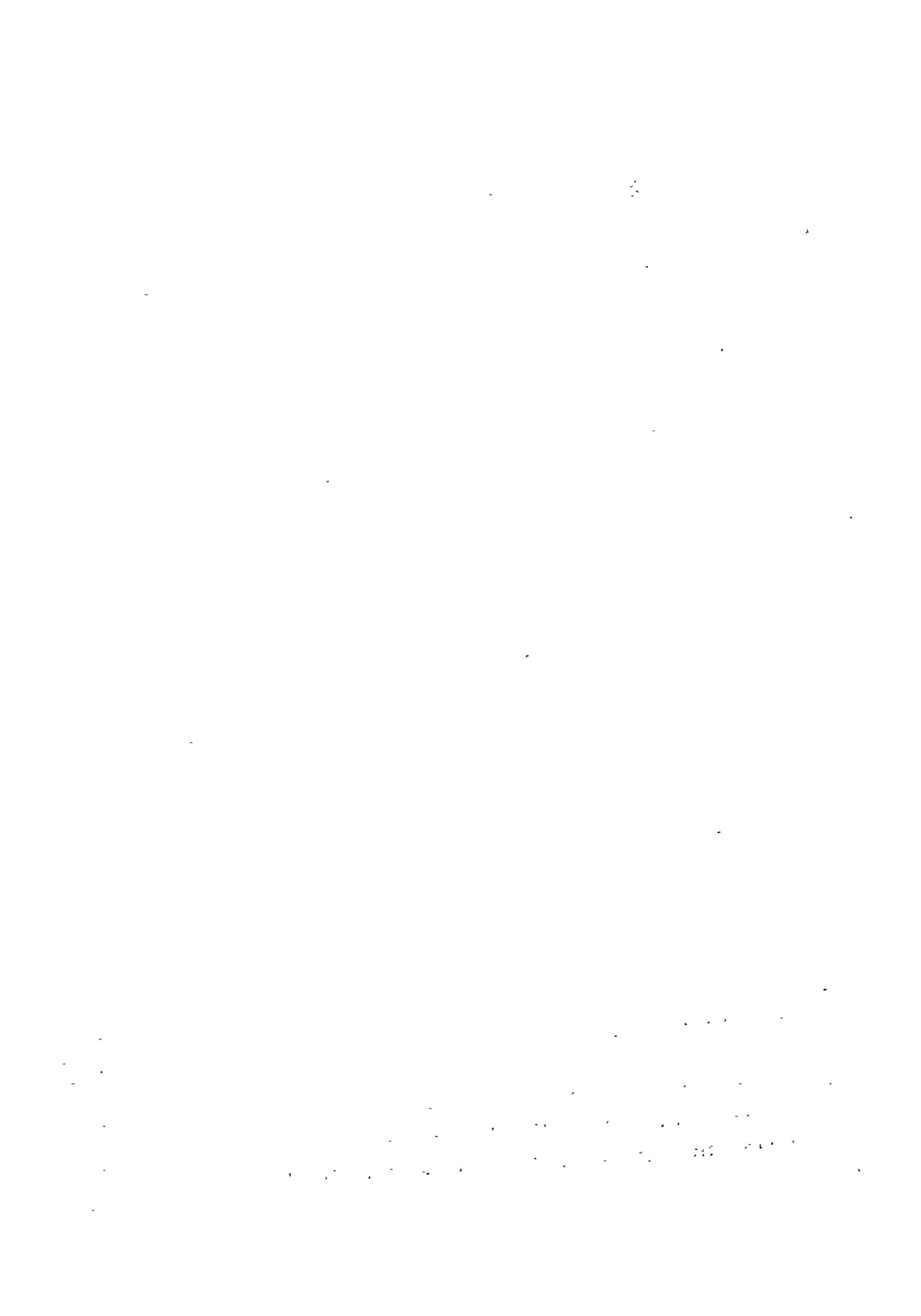
同調査団は帰国後、現地調査で収集した諸資料に基づいてスタディを実施し本調査報告書を作成した。

1.2 既存の報告書

Pilaya川水力発電計画はENDEおよび国連により立案され、若干の現地調査が実施されている。

1973年以降、本計画について作成された報告書は以下の通りである。

- (1) PROYECTOS HIDROELECTRICOS EN EL RIO PILAYA (ENDE), JUN.1973
- (2) PLANTA HIDROELECTRICA PILAYA ; ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD, ABRIL. 1978



1.3 報告書の目的と範囲

本報告書の目的は、1978年4月ENDEおよび国連により実施されたHuacata水力発電計画およびその代案としてのAgua Calientes水力発電計画の2案に対し、優劣を比較検討し有望な一方の計画に対し地質調査計画を立案することにある。

なお前述の調査工事の技術指導およびフィジビリティ調査は1980年に実施される予定である。

1.4 調査と研究

1.4.1 現地調査

調査団による本計画の現地調査は、ENDEおよびボリビア空軍の協力を得て、1979年9月26日から10月29日までの34日間にわたり実施された。

1.4.2 調査団の構成

Pilaya川水力発電計画に関して、現地における踏査、資料収集とその検討に当たった調査団の構成は次の通りである。

団 長	榎 並 敏 夫	電源開発株式会社	総 括
団 員	立 石 勝	国際協力事業団	業務調整担当
"	浅 野 潤 一	電源開発株式会社	土木計画担当
"	山 田 守	"	地 質 担 当

1.4.3 調査日程

日順	年月日	行程	宿泊地	調査内容
1	54. 9.26	東京 → リマ	リマ	移動
2	27		"	"
3	28	リマ→ラ・パス→コチャパンバ	コチャパンバ	"
4	29		"	ENDE 打合せ
5	30		"	団員打合せ
6	10. 1		"	ENDE 打合せ
7	2	コチャパンバ → タリハ	タリハ	移動
8	3		"	ヘリコプターによる現地視察
9	4	タリハ → コチャパンバ	コチャパンバ	移動
10	5		"	資料収集及び打合せ
11	6		"	"
12	7		"	"
13	8		"	"
14	9	コチャパンバ → タリハ	タリハ	移動
15	10	タリハ → アグアス・カリエンテス	アグアス・カリエンテス	アグアス・カリエンテス地点現地調査
16	11		"	"
17	12	アグアス・カリエンテス→ウアカタ →ダム・サイト	ダム・サイト	ウアカタ地点・ダム地点・現地調査
18	13		"	ダム地点現地調査
19	14	ダム・サイト → タリハ	タリハ	"
20	15		"	資料収集
21	16		"	"
22	17	タリハ → コチャパンバ	コチャパンバ	移動
23	18		"	資料収集
24	19		"	コラニ発電所, サンタ・イベル発電所視察
25	20	コチャパンバ → サンタ・クルス	サンタ・クルス	サンタ・クルスガスタービン発電所視察
26	21	サンタ・クルス → コチャパンバ	コチャパンバ	移動
27	22		"	資料収集
28	23		"	"
29	24		"	ENDE 打合せ
30	25	コチャパンバ → ラ・パス	ラ・パス	移動
31	26		"	日本大使館, エネルギー省表敬, 打合せ
32	27	ラ・パス → ニューヨーク	ニューヨーク	移動
33	28	ニューヨーク	機中	
34	29	→ 東京		



1.4.4 日本における作業

調査団は帰国後、1979年11月より1980年3月まで現地での調査結果および収集した資料を使用して、EPDC本社において団長の指揮のもとに、同社の技師グループにより本計画の検討を実施した。

水文資料の見直し、地質調査資料の分析、予備設計、工事費の算出、地質調査工事の計画立案等、諸検討が実施され本報告書が作成された。

1.5 基礎資料

本計画の調査のために、ENDEをはじめボリビア政府関係機関より提供された資料の内、主なものは次の通りである。

(1) 水文、堆砂、気象資料

計画地域内および周辺地域の気温、湿度、降雨量、流量、浮遊土砂等の観測資料

(2) 地形測量図

計画地域全般の地形図（ $S=1/250,000$ 、 $S=1/50,000$ 、 $S=1/10,000$ 、 $S=1/1,000$ ）

(3) 工事費積算に関する諸資料

(4) 地質調査資料

(5) 電力需要資料

(6) 電力を含むエネルギー開発計画資料

(7) 社会、経済情勢資料

1.6 ボリビア共和国の一般事情

(1) 地理

ボリビア共和国は南米大陸のほぼ中央にあり、南緯 10° から 23° に、また西経 57° から 69° に位置している。国土の総面積は約109万 km^2 で日本の約3倍あり、北と東はブラジル、南はパラグアイとアルゼンチン、西はペルーとチリに隣接している内陸国である。

地勢は標高3,000m以上のアンデス山岳・高原地帯と、それ以下の溪谷地帯および平原地帯の3つに大別され、高原と溪谷の両地帯の面積は、それぞれ総面積の5分の1を、山岳・平原地帯は残りの5分の3を占める。なお、アンデス高原にある標高3,800mのチチカカ湖は、輸送路、農業用水として利用され、また、この湖の魚類は大切な蛋白資源の供給源となっている。

(2) 気候

平原地帯においては、北部アマゾン地方は年間を通じ平均気温は約 25°C で暑さがきびしいが、南部地方は若干緩和される。

これに反して高原地帯は年平均気温が約 7°C で寒く、陽がのぼっている間だけ春の暖さとな

る位である。全般的に雨期が12月から3月、乾期が4月から11月であり、高原では明瞭に区分されるが、低地では雨期以外でもかなりの降雨がある。

(3) 人口

1976年9月現在の総人口は480万人、年平均増加率は2.6%である。総人口の約70%、即ち340万人が高原・溪谷地帯に居住し、残り30%、140万人が広大な平原地帯に居住している。人種構成は、原住民インディオが55%、混血32%、白人13%である。南米諸国ではブラジル、ペルー、アルゼンチンにつぎ日系人(11,000人)が多い。

(4) 経済構造

ボリビア共和国の経済構造の特色は、第一に、多くの発展途上国と同様にモノカルチャー的色彩が強く、近年、石油、天然ガスの輸出増加という新しい要素が加わりつつあるが、基本的には、鉍産物、特に錫が輸出の中心となっている。鉍産物はボリビア国にとり最大の外資収入源で1976年の輸出所得のうち、非鉄金属(錫、鉛、亜鉛、アンチモニー等)は約60%、石油、天然ガスは27%を占めている。

(5) 電気事業体制と電力系統

ボリビア国の電気事業は、1968年に公布された電気事業法によって、ボリビア政府機関である電力局により統制されている。電力事業は9社によって構成されているが、そのうち、主たる電気事業者はBPCおよびENDEの2社であって、この両社により事業用発電設備が81%所有されている。

ボリビア国内の電力系統は5つの電力系統に分かれている。すなわち、①La Paz市に電力を供給している北部電力系統、②Oruro市および周辺の鉍山に電力を供給しているBPCの電力系統と、さらにCochabamba市および鉍山に電力の供給を行っているENDE電力系統とを含めた中央電力系統、③Potosi, Sucre市および周辺鉍山に電力供給を行っているC-OMIBOLの電力系統からなる南部電力系統、④Santa Cruz市および周辺の石油開発関連設備に電力を供給している東部電力系統および⑤南東部のTarija電力系統の5つに分けられる。これらの電力系統はそれぞれ単独系統を構成しているが、1979年には中央電力系統と南部電力系統、さらに1981年までには中央電力系統と北部電力系統の連系が予定されている。

なお、ボリビア国の発電設備容量は、1967年末から78年までの間に年間約7%の伸びを示し1978年末の発電設備容量は457MW(水力70%、火力30%)に達している。このうち約26%は鉍山公社等の自家発電によるものである。

最近5ヶ年の電力消費は8%の増加を示しているが、需要家別消費電力の比率は一般家庭24%、鉍山44%、商業10%、工業19%、その他3%である。しかしながら全人口の3分の2は電力の恩恵に浴していない。

第2章 結論と勧告

2.1 結論

- (1) Pilaya川水力発電計画のHuacata計画およびその代案Aguas Calientes計画につき比較検討した結果、Aguas Calientes水力発電計画が妥当であるとの結論に達した。
- (2) ダム地点、導水路トンネル・ルートおよび発電所地点の地表踏査を実施した結果両計画共に主要上木構造物に重大な支障をきたす様な地質構造は認められない。
- (3) 両計画につきkW当り建設費およびkWh当り電力コストを比較した結果、Huacata水力発電計画ではそれぞれ1,505U.Sドル/kW, 0.027U.Sドル/kWh, Aguas Calientes水力発電計画では1,424U.Sドル/kW, 0.024U.Sドル/kWhとなり、Aguas Calientes水力発電計画がより経済的である。
- (4) 現段階でENDEが想定した電力需要の伸びによれば、1992年末に90MWの新規電源の投入が妥当と考えられる。Fig-4.1に示す電力需要ならびに各プロジェクトの投入については、今後のフィジビリティ調査において再検討する必要がある。

2.2 勧告

前記結論から以下の事項を勧告する。

- (1) 選定されたAguas Calientes水力発電計画につき、次段階のフィジビリティ調査に必要な降雨量、浮遊土砂量、河川流量、河川水位等の水文・気象データ収集を4.2.6項で指示したように行うべきである。
- (2) 地質調査工事を第5章「地質調査計画および地質踏査」に示す要領で実施すべきである。
- (3) フィジビリティ・スタディにおいては、ダム型式、ダム高および発電出力の最適化検討等を含めた全般的な見直しを行うべきである。

第3章 基本開発計画

3.1 計画地域の位置および概要

3.1.1 計画地域の位置

Pilaya川水力発電計画は、ボリビア共和国の南部を東方に流下するPilaya川の中流部に取水ダムを設け、水路式発電所で発電する計画である。対象となる流域は、南緯 $19^{\circ}35' \sim 22^{\circ}38'$ 、西経 $64^{\circ}32' \sim 67^{\circ}06'$ に位置し、その面積は $43,640 \text{ km}^2$ におよぶ。取水ダム、発電所等の主要構造物はTarija県の県都Tarijaの北方約50 Kmに位置する。

3.1.2 計画地域の概要

Pilaya川は、Tumusla川とSan Juan del Oro川の2つの支流が合流して形成されている。Tumusla川は、Frailes山脈の南端およびAltiplanoの山裾を流下している。この川の源流はYura川と呼ばれ標高約5,000 m地帯から発し流路を南東方向にとり、その後Palca Grande付近で南方へと大きく転流し、標高2,200 mのSan Juan del Oro川との合流点まで流下する。San Juan del Oro川は標高5,700 mの頂きをもつChocaya山脈にその源を発し、流路を北方にとりTumusla川との合流点へと続いている。Pilaya川はこの合流点より約200 Km東方へ流下した後、南米大陸第2の大河川であるLa Plata河の支流Pilcomayo川に合流する。

Pilaya川上流部の平均河川勾配は約3%と比較的緩やかであるが兩岸の斜面はかなり急峻である。取水ダム築造予定地点の中流部は平均河川勾配20%と急流になっており、兩岸もせばまりアプローチの困難な峡谷となっている。下流部の平均河川勾配は4~7%と再び緩やかになり川幅も徐々に広がっている。

Pilaya川流域は、同国南部のPotosi, ChuquisacaおよびTarija県にまたがっており、Pilcomayo川との合流点までの流域面積は $47,440 \text{ km}^2$ である。

年降雨量は所により相違しており西地域では200 mm、北地域では450 mm、流域内の年平均降雨は300 mm程度である。降雨は年間を通じて70~80%が12月~4月までの雨期に集中し、残りの20%~30%が乾期にあたる5月~11月にかけての降雨である。

計画地点付近の年平均気温は約 20°C であり、年平均湿度は約40%である。

計画地域には集水域をも含め、オールドビス系といわれる珪岩、砂岩、頁岩および泥岩等の堆積岩が広く基盤を成している。集水域は地勢的にはLas Cordilleras Central（中央山脈）およびLas Cordilleras Oriental（東部山脈）に位置し、地質構造的には南北方向の褶曲軸をもつ褶曲山地となっている。

計画地域は幼年期ないし壮年期の地形を呈し、Pilaya川およびその支流沿いの山腹斜面は急峻であり、崩壊地形やSlope - Washの分布が多く、侵蝕作用の著しいことを示している。

3.2 基本開発計画の概要

Pilaya川水力発電計画についてはいくつかの地点について予備的検討が行われており、1978年にはENDEおよび国連の共同作業によりFig-3.1に示すHuacataおよびAguas Calientes水力発電計画の検討がブレ・フィジビリティ・レベルで行われ、報告書として「PLANTA HIDROELECTRICA PILAYA; ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ABRIL 1978」が作成されている。この報告書によれば両発電計画ともフィジブルであるが、Aguas Calientes水力発電計画の方が経済的に優るということが結論とされている。

以下前記2案の発電計画概要について述べる。

またTable-3.1に両案の主要計画諸元を示す。

3.2.1 Huacata水力発電計画

Pilaya川中流部に高さ60mのアーチ・ダムを築造して調整池をつくり、その有効貯水容量約180万 m^3 により河水を日間調整する。この調整池の水を延長6.3Km、内径3.2mの導水路トンネルでPilaya川左岸に設ける地下発電所まで導水し、発電を行った後同川に放流するものである。

発電所では基準有効落差267m、最大使用水量 $26\text{ m}^3/\text{sec}$ で4台のフランシス水車および発電機で最大出力60MWの発電を行う。年間発生電力量は368GWhであり、このうち雨期には212GWh、乾期には156GWhを発生する。

概算工事費は 54.4×10^6 U.Sドルと見積られている。

3.2.2 Aguas Calientes水力発電計画

取水ダムはHuacata水力発電計画と同様であるが、発電所が更に下流に設けられる。調整池の水を延長約10.8Km、内径3.1mの導水路トンネルでPilaya川左岸に設ける地上式発電所まで導水し、発電を行った後Pilaya川に放流する。

発電所では基準有効落差439m、最大使用水量 $24\text{ m}^3/\text{sec}$ で、3台のフランシス水車および発電機により最大出力90MWの発電を行う。年間発生電力量は579GWhであり、このうち雨期には322GWh、乾期には257GWhが発電される。

概算工事費は 70.6×10^6 U.Sドルと見積られている。

Table - 3 . 1 Main Feature of the Project

Item	Unit	Huacata Aguas Calientes	
Type of Development		Divided - fall type	
Annual Inflow	10 ⁶ m ³	1,340	
Pondage and Dam			
Normal Water Level	m	1,791	
Dam Type		Arch concrete	
Height × Crest Length	m	59.50 × 140.00	
Volume	m ³	43,900	
Headrace Tunnel			
Section		Circular	Circular
Diameter × Length	mm	3.2 × 6.330	3.1 × 10.800
Effective Head	m	267	439
Maximum Available Discharge	m ³ /sec	26	24
Installed Capacity	kW	60,000	90,000
Annual Energy Production	GWh	368	579
Rainy Season (Nov - Mon)	GWh	212	322
Dry Season (Apr - Oct)	GWh	156	257
Construction Cost	10 ⁶ U.S \$	54.4	70.6

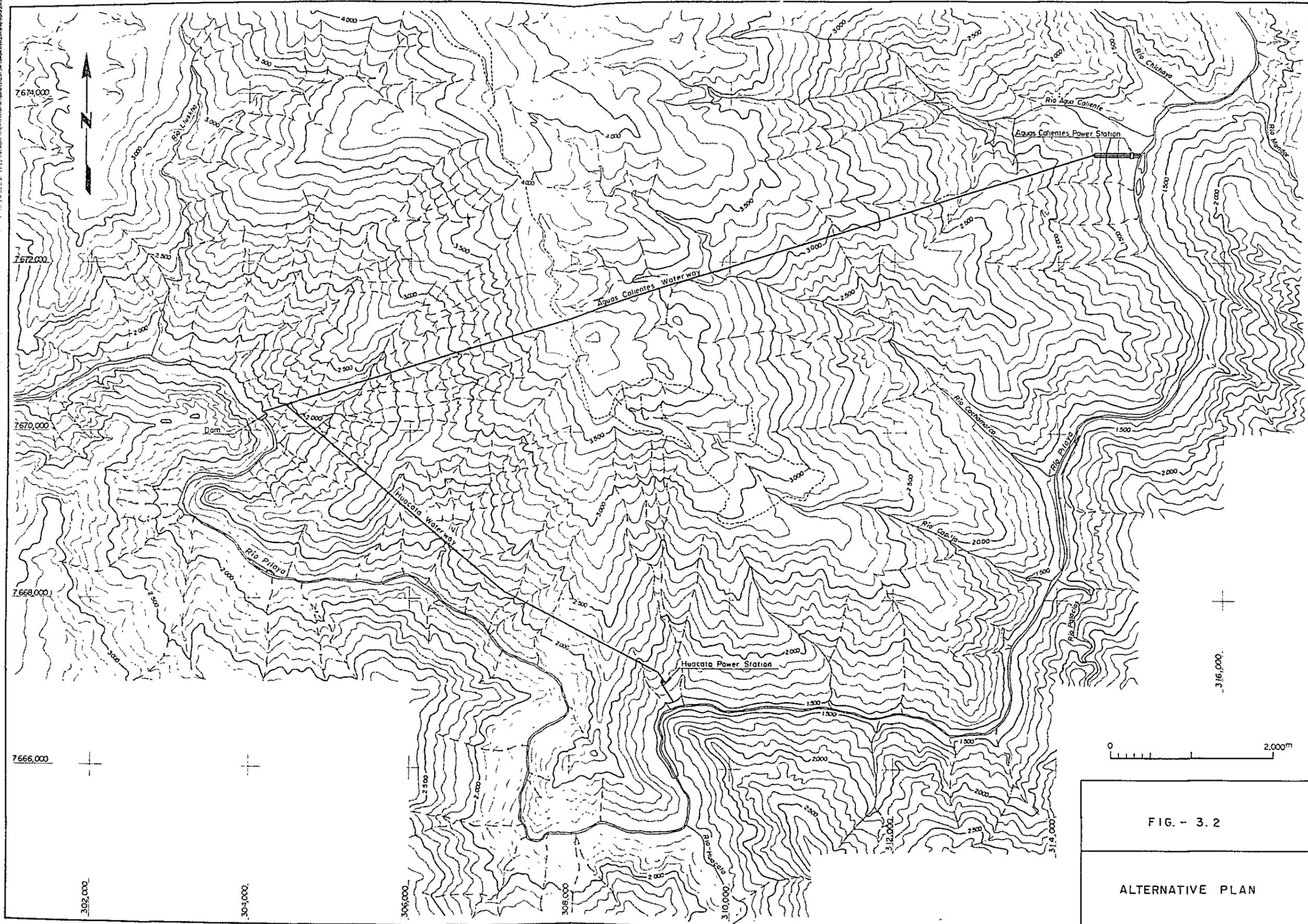


FIG. - 3.2
 ALTERNATIVE PLAN

第4章 開発計画の比較検討

本章では既に述べた Huacata 水力発電計画と Aguas Calientes 水力発電計画の何れが技術的、経済的に有利な発電計画であるかを検討している。

これらの検討に当たっては 3.2 項で述べている ENDE と国連によって作成された プレ・フィジビリティ報告書を基に、今回調査団がボリビアで入手した資料また現地調査結果を考慮して両計画についての見直しスタディを行った。その結果現地地点で有する水文気象資料、地形図、その他の資料および現地踏査、地表地質調査等から判断する限り同報告書はプレ・フィジビリティ・スタディとしては妥当なものである。

今回検討した事項および今後検討を要する事項について以下に述べる。

4.1 需給バランスと開発時間

1978 年末のボリビア共和国全体の総設備出力は 457 MW である。1967 年末から 1978 年末までの電力需要は年率 7% で上昇しており最近 5 年間に限れば年率 8% である。ENDE の想定によれば、この伸び率は今後も続くものとされ、1990 年の電力需要は電力量が 1,930 GWh 最大電力 678 MW となっている。

これらの電力需要の伸びに対処するため、ENDE は Table - 4.1 に示す水・火力発電所の建設を進めている。

Table - 4.1 Under Construction of Generating Facilities in Bolivia

Name of Power Plants	Installed Capacity (MW)
Corani Hydro-electric Power Station	27.0
Sta Isabel Hydro-electric Power Station	18.0
Sta. Cruz Gus Turbine Power Plant	22.1
Torija Diesel Power Plant	1.2

また、計画中の発電所を Table - 4.2 に示す。

Fig.-4.1 Estimated Maximum Demand and Installed Capacity of Entire Power System

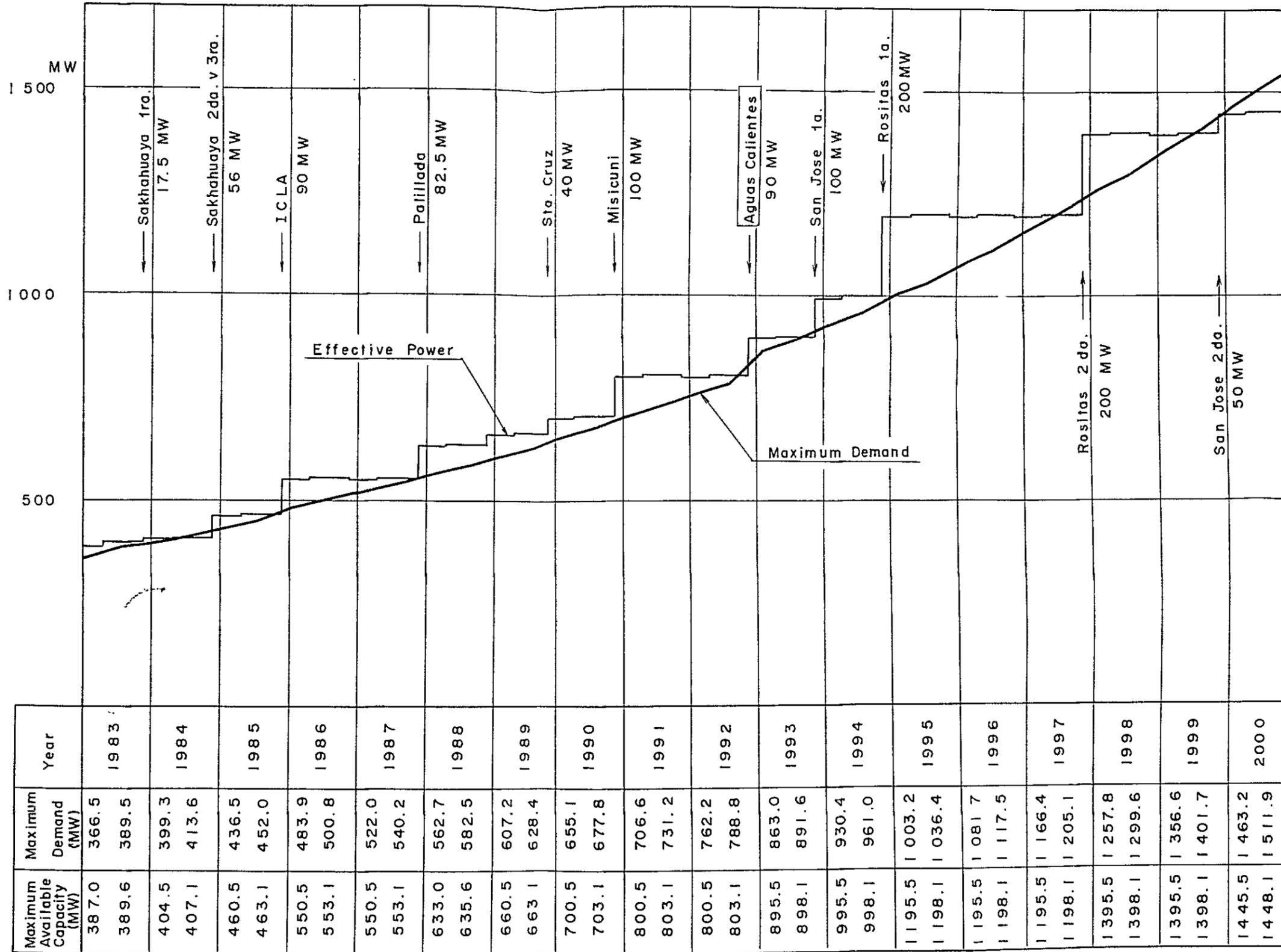


Table - 4 . 2 Construction Schedule of Generating Facilities
in Bolivia

Name of Power Plants	Installed Capacity (MW)
Sakahuaya Hydro-electric Power Project	50
Icla "	90
Palillada "	82.5
Misicuni "	100
Aguas Calientes "	90
San Jose "	150
Rositas "	400

なお Fig - 4.1 に示す ENDE が想定した電力需給バランスによれば、Aguas Calientes 発電所は 1992 年末に電力系統に投入される計画となっている。

4 . 2 水文解析

ブレ・フィジビリティ・スタディで実施されている水文解析の見直しの結果下記が判明した。

4.2.1 降雨量観測所および測水所

ブレ・フィジビリティ・スタディでは、流域内にある 45 降雨量観測所のうち 5 年以上の降雨資料を有する 33 観測所が選定されている。そして測水所は Pilaya 川の Chilicara 測水所と Pilcomayo 川の Villamontes 測水所がある。これらの雨量観測所および測水所の位置を Fig - 4.2 に示す。

4.2.2 降 雨

雨量資料から河川流量を算定するため以下の検討を行っている。しかし、算定された流量に対する信頼性は不十分なものである。その理由を以下に示す。

- 流域内の降雨量と河川流量の関係を検討するためには測水所の観測記録が不十分であること。
- 雨量観測所 (45ヶ所) が流域面積 (43,640 Km²) に比較して少ないこと。
- 流域内の雨量観測所の設置分布が不適切であること。

(1) 雨量資料の分析

雨量資料の信頼性や同質性の検討は対数正規分布および Double mass curve 法で実施されており概ね良好な結果を得ている。

(2) 雨量資料の補足

雨量資料の補足を行うため、雨量資料の不足する観測所と長期間データを有する観測所との年降雨量に対する相関関係をもとめ各々の降雨量を補足している。相関係数はそれぞれ 0.80~0.95 の間であり全体としては良好な数値を得ている。

(3) 流域内の平均降雨

流域内の平均降雨は、ティーセン法、流域分割法および等雨量線図法によって算出されている。その結果を Table - 4.3 に示す。ただし等雨量線図法による場合は、資料不足という理由からブレ・フィジビリティ・スタディでは除外している。

Table - 4.3 Mean Precipitation in the Basin

Unit :mm

Year	Thiessen			Sub - basin		
	P _{LL}	P _S	P _T	P _{LL}	P _S	P _T
1950/51	276.50	34.00	310.50	276.34	49.22	325.56
52	268.30	56.40	324.70	239.11	50.81	289.92
53	246.30	85.80	332.10	202.43	24.60	227.03
54	318.90	106.80	425.70	255.77	77.09	334.86
55	310.10	54.30	364.40	268.89	82.91	351.80
56	176.20	94.30	270.50	138.66	65.96	204.62
57	216.30	46.30	262.60	184.51	80.07	264.58
58	269.20	74.00	343.20	208.01	49.16	257.17
59	245.70	53.20	298.90	228.74	85.91	314.65
1959/60	307.80	50.80	358.60	254.01	34.64	288.65
61	250.70	47.10	297.80	202.93	51.08	254.01
62	247.20	45.60	292.80	208.02	49.47	257.49
63	348.40	23.90	372.30	267.85	32.53	300.38
64	255.20	53.90	309.10	213.09	36.01	249.10
65	257.00	56.20	313.20	213.96	43.03	256.99
66	189.90	81.00	270.90	179.47	54.95	234.42
67	226.00	28.60	254.60	218.43	89.69	308.12
68	395.40	89.00	484.40	386.96	58.14	445.10
69	189.60	29.90	219.50	160.74	63.98	224.63
1969/70	308.10	25.20	333.30	282.99	41.56	324.55
71	342.60	55.70	398.30	319.85	41.01	360.86
72	311.80	39.60	351.40	279.36	48.14	327.50
73	331.90	37.80	369.70	299.56	55.11	354.67
74	281.60	30.00	311.60	262.43	23.17	285.60
75	345.40	68.60	414.00	330.10	35.40	365.50
76	265.60		281.80	253.26	112.82	366.08
Mean	276.20	54.70	329.50	243.70	55.30	299.00

P_{LL} ; Rainy season from December to AprilP_S ; Dry season from May to NovemberP_T ; Total

4.2.3 計画地点の流量算定

(1) 計画地点の流域面積

1/50,000地形図に基づいて計測した流域面積は以下のとおりである。

- i) Chillcara 測水所地点 ; 43,150 km²
- ii) 取水ダム地点 ; 43,640 km²
- iii) Villamontes 測水所地点 ; 82,000 km²

Chillcara 測水所と取水ダム地点の間には残流域 490km² あるが、この残流域は全体の流域に比較して極めて小さい事、ならびに大きな流量をもつ支流がないことなどから、Chillcara 測水所で記録された流量と取水ダム地点の流量を同一のものと考えている。

(2) 流量資料の分析

Chillcara 測水所で記録された流量の信頼性および同質性の検討は、流量と平均降雨を用いた Double mass curve 法で実施され、概ね良好であることがブレ・フィジビリティ・スタディ報告書では確認されている。

(3) 流量資料の補足

Chillcara 測水所の流量資料の補足は、以下に示す 2 方法によって実施された。

- i) Pilcomayo 川の Villamontes 測水所の流量資料との相関法
- ii) 雨量と流量の相関法および乾期流量の Depletion curve による調整。
 - i), ii)の方法で算出された河川流量をそれぞれ Table - 4.4 と 4.5 に示す。

結論として、本発電計画の検討には、i)の方法によって得られた流量がブレ・フィジビリティ・スタディでは採用されている。その理由は、本発電計画のような水路式発電所の規模決定にあたっては、乾期流量が重要な要素となり、流量の少ない方がより安全サイドにたった計画の策定ができるからである。

4.2.4 設計洪水量

設計洪水量は、Gumbel, Goodrich, Log. Pearson Type III, Galton および Frechet 法などの確率計算法により算出されている。ただし Chillcara 測水所の有効流量資料は 4 年しかなく、不十分であるためダム地点に対する設計洪水量は Villamontes 測水所の流量資料を用いて算出した 1000 年確率洪水量を流域比により換算してもとめている。

(1) ピーク流量

Chillcara 測水所, Villamontes 測水所はともにピーク流量は観測されておらず、日平均流量のみが観測されている。

したがって、設計洪水量の算定にあたっては Fuller の経験式に基づいて日平均最大流量から算出された流量がピーク流量として用いられている。

(2) 設計洪水量の算定

Gumbel, Goodrich, Log. Pearson Type III, Galton および Frechet 法により、確率洪水

Table - 4.4 Monthly Mean Run-off at Chillcara Gauging Station

Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Meac.
1950/51	17.07	27.50	26.84	65.86	104.30	83.33	34.37	23.45	21.84	21.20	18.87	16.96	38.47
52	14.79	25.53	30.38	78.33	101.51	42.34	28.80	18.62	16.39	19.31	16.43	18.43	34.24
53	14.15	16.43	28.33	28.90	116.69	38.76	27.52	19.91	18.49	15.70	13.81	12.96	29.30
54	17.24	27.04	33.01	53.00	206.75	152.02	55.06	24.82	19.58	17.31	16.41	14.31	53.05
55	13.20	27.01	24.57	54.07	225.68	139.00	46.15	22.58	19.61	17.16	15.70	13.97	51.58
56	12.05	1272	27.54	88.21	158.00	43.65	23.89	19.93	18.62	16.17	15.60	13.60	37.50
57	17.46	26.76	28.77	40.54	123.11	65.73	32.24	25.75	17.66	14.10	9.93	7.40	34.12
58	12.31	18.43	37.78	144.12	115.79	89.34	32.55	22.17	18.06	15.58	11.97	8.80	43.90
59	15.83	23.71	51.80	155.32	228.34	233.56	57.79	23.80	17.03	13.79	10.96	10.96	70.24
1959/60	16.58	22.82	57.31	139.29	314.54	95.98	37.43	27.76	22.82	19.94	15.30	17.24	65.58
61	20.44	22.78	33.10	32.90	69.09	34.87	43.23	19.49	14.77	12.37	15.18	18.93	28.10
62	23.02	28.57	61.92	65.16	69.01	63.83	30.84	20.91	16.13	17.90	17.03	8.53	35.24
63	8.99	10.52	48.99	77.39	294.23	139.99	56.40	23.95	23.49	19.40	16.27	13.79	53.62
64	11.94	15.36	38.57	48.41	46.53	87.76	36.82	25.78	22.26	17.61	14.63	12.28	31.50
65	8.20	18.04	31.31	48.48	57.98	34.86	24.46	20.73	14.86	12.72	9.75	9.57	24.25
66	8.00	12.37	36.57	58.32	50.48	41.90	28.58	21.86	14.93	11.15	8.78	7.40	25.12
67	12.24	13.60	50.29	33.03	73.08	100.36	26.22	17.28	15.54	10.40	8.40	7.40	30.65
68	16.33	20.93	42.43	62.16	353.90	90.54	58.36	22.58	20.90	18.84	18.07	14.33	61.61
69	18.41	30.69	42.99	60.28	90.59	28.72	23.04	18.36	15.99	13.71	11.34	8.99	30.26
1969/70	9.47	16.37	35.35	81.35	91.12	111.41	53.47	24.25	20.19	16.56	13.23	11.15	40.33
71	8.63	9.09	28.16	51.76	225.93	139.07	39.86	22.73	18.55	15.66	13.08	9.43	48.50
72	9.57	22.87	40.84	77.68	66.96	60.22	33.39	19.94	18.24	14.05	10.46	9.15	31.95
73	11.07	18.89	33.54	80.29	68.43	76.49	32.00	18.75	19.40	18.36	15.36	10.86	33.62
74	9.80	15.30	16.47	101.94	313.14	72.99	48.14	20.55	18.84	16.87	13.71	12.40	55.01
75	9.60	8.99	36.96	260.60	413.30	104.58	39.42	21.63	19.83	14.95	12.41	12.41	79.14
76	9.81	10.24	34.88	116.12	98.45	78.04	27.75	21.76	17.53	13.69	10.78	10.03	37.42

Qa = 12.47 q = 0.98

Major run-off data are obtained by the Correlation method based on the run-off data observed at Villamontes Gauging Station on the Rio Pilcomayo and those at Chillcara Gauging Station.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is crucial for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent data collection procedures and the use of advanced analytical techniques to derive meaningful insights from the data.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in data management and analysis. It discusses how modern software solutions can streamline data collection, storage, and processing, thereby improving efficiency and accuracy.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to mitigate these risks and ensure that the data remains reliable and secure throughout its lifecycle.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It stresses the importance of a data-driven approach in decision-making and the need for continuous monitoring and improvement of the data management process.

Table - 4.5 Monthly Mean Run-off at Chillcara Gauging Station

(Unit : m³/sec)

Year	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Mean.
1950/51	9.53	11.32	28.30	94.50	155.80	60.70	28.30	21.90	20.00	18.30	16.80	13.10	39.88
52	10.14	13.30	35.80	97.20	120.00	42.50	22.00	22.10	20.20	18.50	17.00	13.26	35.78
53	10.26	14.09	33.30	72.10	160.40	76.80	30.40	22.80	20.70	19.00	17.40	13.57	40.90
54	10.50	32.30	65.80	72.60	208.50	141.80	43.10	20.80	18.90	17.30	15.90	12.40	55.00
55	9.59	46.30	83.70	75.00	247.40	135.70	39.30	21.10	19.10	17.50	16.10	12.56	60.28
56	9.71	20.50	40.60	77.90	96.30	20.50	17.40	24.90	22.60	20.60	18.90	14.74	32.05
57	11.40	29.70	60.00	80.00	112.00	40.80	21.20	23.70	21.50	19.70	18.10	14.12	37.69
58	10.90	16.30	39.30	103.50	73.40	76.20	30.70	22.20	20.10	18.40	16.90	13.18	36.76
59	10.20	20.30	45.70	77.50	114.50	77.90	30.90	22.80	20.70	19.00	17.40	12.57	39.12
1959/60	10.50	14.60	43.50	76.90	127.40	112.00	41.40	21.10	19.20	17.60	16.10	12.56	42.74
61	9.71	16.10	38.90	53.80	186.30	81.90	34.20	22.70	20.60	18.90	17.30	13.49	42.83
62	10.44	15.50	42.90	67.90	93.30	79.10	35.00	22.80	20.70	19.00	17.40	13.57	36.47
63	10.50	15.90	43.10	102.30	152.80	96.10	40.20	20.00	18.10	16.60	15.20	11.86	45.22
64	9.17	9.30	33.90	71.80	103.30	75.40	29.00	22.60	20.50	18.80	17.20	13.42	35.37
65	10.38	17.40	34.70	93.80	120.60	94.40	32.40	22.50	20.50	18.80	17.20	13.42	41.34
66	10.38	18.20	41.60	66.40	64.50	55.90	28.90	24.40	22.20	20.40	18.70	14.59	32.18
67	11.28	27.30	65.20	53.00	95.00	73.90	32.60	23.40	21.20	19.40	17.80	13.88	37.83
68	10.79	32.10	35.10	91.80	263.30	106.20	32.90	18.70	17.00	15.00	14.30	11.15	45.31
69	8.63	35.60	62.30	89.00	111.30	26.20	17.80	24.40	22.20	20.40	18.70	14.59	37.59
1969/70	11.28	14.40	40.00	92.40	100.10	109.00	42.60	21.10	19.20	17.60	16.10	12.56	41.34
71	9.71	21.80	24.80	101.90	253.10	40.90	21.60	20.10	18.30	16.80	15.40	12.01	46.37
72	9.29	18.60	42.70	100.90	165.70	81.90	35.50	21.00	19.10	17.50	16.10	9.15	44.80
73	11.07	18.89	33.54	80.29	68.43	76.49	32.00	18.75	19.40	18.36	15.36	10.86	33.62
74	9.80	15.30	16.47	101.94	313.14	72.99	48.14	20.55	18.84	16.87	13.71	12.40	55.01
75	9.60	8.99	36.96	250.60	413.30	81.30	39.42	21.63	19.83	17.38	14.95	12.41	77.20
76	9.81	10.24	34.88	116.12	98.45	78.04	27.75	21.76	17.53	13.69	10.78	10.03	37.42

Major run-off data are obtained based on the precipitation (Nov.~Apr.) and adjusted by the depletion curve (May.~Oct.)
 $Qa = 43.03$ $q = 0.98$



量を計算している。その結果、

- i) Frechet 法により算出された 1000 年確率洪水量は、他式によって算出された洪水量の 3～4 倍の量であり、また一般的に Frechet 分布により算出された洪水量は大きくでる傾向にあるため、ブレ・フィジビリティ・スタディでは参考値とするにとどめている。
 - ii) Goodrich, Log. Pearson Type III, Galton 法によって算出された各々の洪水量は近似の値であるが、Gumbel 法によって算出された洪水量のみが前記 3 者の値を上回っている。
- したがって、i), ii) を考慮した結果、このスタディでは安全サイドをとるという観点から Gumbel 法によって算出された 1000 年確率洪水量 $8,500 \text{ m}^3/\text{sec}$ を計画洪水量として採用している。

Table - 4.6 にダム地点の確率洪水量を示す。

Table - 4.6 Probable Flood Discharge by Gumbel method
(Unit : m^3/sec)

Return Period Years	Q	Return Period Years	Q
5	2,840	100	5,800
10	3,550	500	7,100
20	4,250	1000	8,500
50	5,100		

4.2.5 堆砂

堆砂の検討は、以下に示す 2 つの方法を基にして行われている。

- i) Chillcara 測水所地点 (ダム地点) の 10 ケ月にわたる観測によって得た資料を用いて堆砂量を求めたもの。
 - ii) Pilcomayo 川にある Villamontes, Talula, Puerto La Paz および Fortin Pilcomayo 測水所で得た資料からダム地点の堆砂量を流域比により求めたもの。
- その結果を Table - 4.7 に示す。

Table - 4.7 Sedimentation

Method	Sediment - Production Rate $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{Year}$	Sedimentation $10^6 \text{ m}^3/\text{Year}$
i	450.3	19.4
ii	678.7	29.3

このスタディでは ii) で算出された年間堆砂量 $29.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ を採用している。

4.2.6 考 察

先にも述べたように、現在有する水文資料からなし得る水文解析としては妥当なものであると判断されるが、今回のスタディで判明した若干の問題点やフィジビリティ・スタディの段階で再検討しなければならない事項について述べる。

- (1) 降雨量、河川流量および洪水量については、フィジビリティ・スタディ実施時までには得られる新しい資料を加えて再検討する事が望ましい。
- (2) Fullerの経験式がPilaya川に適応したものであるか確認する意味からも雨期におけるPilaya川のChillcara地点のピーク流量を観測する必要がある。
- (3) 浮遊土砂の観測について、特に雨期における継続的な観測をする必要がある。
- (4) 放水口でのRating Curve作成のためAgua Calientes発電所地点付近の河川水位を観測する必要がある。観測はChillcara 測水所での流量観測時刻と同時刻に行うものとする。

4.3 地 質

4.3.1 序 論

現在までに当計画地点の地質に関して以下の報告書が作成されている。

- (1) INFORMES DE EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD. Nos 6/73, 5/77
- (2) Investigación Geofísica del sitio de Presa (Bloque B) SOMGEX, 1977
- (3) BOLIVIA 共和国 PILCOMAYO川水系, PILAYA 川水力発電計画予備調査報告書, 1978年3月国際協力事業団
- (4) PLANTA HIDROELECTRICA PILAYA ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD , ENDE Y NACIONES UNIDAS, ABRIL 1978

今回の現地調査は1/10,000の航測図化による地形図を用い、ダムおよび調整池地域ならびにAgua Calientes 計画案とHuacata計画案の水圧管路および発電所地点の踏査を行った。また調査に際しては導水路トンネルも含む計画地域の航空写真(1/55,000)地質解析を実施した。

4.3.2 流域の一般地質

(1) 位置および地形

本計画の流域はBoliviaの南端、地勢的にはCordilleras Central (中央山脈)およびEl Altiplano (高原地帯)に位置する。計画地点は中央山脈の山間盆地Tarija北方約50km, 南緯21°00' ~ 21°10', 西経64°45' ~ 64°55'の間にある。

流域内での高原地帯は標高5,000 ~ 6,000 m, 中央山脈は標高4,000 ~ 5,000 mの隆起地帯をなし、ほぼ南北に伸びる褶曲山地を形成している。Pilaya川は高原地帯に源を発する河川を集め、計画地点では中央山脈の構造を西から東に横切り、Pilcomayo川に合流している。

流域は概ね幼年期ないし壮年期の地形を呈し、特に Pilaya 川沿いは急峻でV字谷を形成している所が多い。

計画地域における植生は薄く、至る所で地肌が見られ、主としてサボテン科に属するものなどがわずかに散在している。

(2) 地 質 (Fig - 4.3 参照)

MAPA GEOLOGICO DE BOLIVIA (1/10,000,000) SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (1978)によれば計画地域には集水域をも含め、オルドビス系の堆積岩が広く基盤を成している。オルドビス系の堆積岩は主に珪岩、砂岩、頁岩および泥岩等の碎屑岩から構成され、ほぼ南北に伸びる褶曲軸からなる褶曲を繰返しており一部の岩石は低度変成作用を被っている。

計画地点南方では背斜構造沿いに一部カンブリア系の堆積岩が露出しており、また計画地点上流、Tumusla川と San Juan del Oro川の合流点付近には南北に伸びる向斜構造があり、白亜系および第3系の堆積岩が分布している。

Tarija や Potosi のある山間盆地には沖積層の分布が見られる。

(3) 地 震

ボリビア南西部は環太平洋地震帯に位置し、活発な地震活動が認められる。計画地域は地震帯の中心からはかなり離れるものの、前述のプレ・フィジビリティレポートによれば強い地震の起る可能性のある地域とされ、そのマグニチュードは7.9とされている。

計画地域の地震と震度に関してはフィジビリティ段階で詳細な検討を行うものとする。

4.3.3 計画地域の地質

(1) 地形、地質概要

1) 地 形

計画地域で Pilaya 川は小さな蛇行を繰返しながらもダム地点では南東、Huacata 発電所地点では東方に、その後北北東に流路を取る大きな円弧を描いている。円弧の内側には北方に尾根を伸ばす急峻な山体があり、その最高峰 Cerro Alto は最高4,400 m に達する。Pilaya 川の南方では標高3,000 ~ 3,700 m 程の山々が連なり、主な支川はほぼ南北にその流路を取っている。支川は Pilaya川合流地点付近では河川勾配が急で険しいV字谷を形成している。

Pilaya 川の両山腹斜面は45°前後の急峻な斜面を成し、至る所に崖が形成されている。斜面の比高差はほぼ1,500 m ~ 2,500 mにも達し、各所に Slope-wash や崩壊地形が認められる。

これに対し、支川の上流部や山体の高標高部には幼年期の地形を示す緩やかな地形が認められる。

2) 地 質

計画地点にはオルドビス系といわれる珪岩・砂岩・頁岩および泥岩等の砕屑岩が広く基盤をなしている。これらは互層を示す所や塊状な分布を示す所があり、新鮮なものはいずれも緻密・堅硬な岩石で、珪岩は特にその傾向が著しい。計画地域で採取した岩石はいずれも低度変成作用を被っている。

主な計画構造物は全てこの砕屑岩を基礎岩盤とする。

表層堆積物としては、河岸山腹斜面に崖錐堆積物の分布が、山腹斜面には Slope-wash の分布が頻繁に認められる。計画ダム地点より Huacata 発電所地点にかけて Pilaya 川河床に分布する河床堆積物は分布が狭く粒径が著しく大きいのに対し、Aguas Calientes 発電所地点付近の河床堆積物は分布も広く、粒径は全般に細かい。この他、Aguas Calientes 等の支川には Pilaya 川河岸に扇状地堆積物の分布が見られる。

3) 構 造

現在までに ERTS 写真 (1/250,000) および航空写真 (1/55,000) を用いた地質構造解析結果が報告されているが、今回も同一の写真を用い解析を実施した。

(Fig - 4.4 参照)

i) 褶曲構造

計画地域には、Huacata 発電所地点西方を通り、ほぼ南北方向で南に傾斜する褶曲軸を持つ大きな背斜構造が存在する。褶曲軸の西方に伸びる脚はダム地点上流の Liuskha 川付近で小さな向斜および背斜構造を示し、さらに西方に向って Paichu 川沿いに伸びる大きな向斜構造へと連続している。一方、Huacata 発電所地点を通る背斜構造の東側に伸びる脚は、途中で小さな向斜、背斜を示すが Aguas Calientes 発電所地点の東方にまで連続している。

これらの褶曲軸はいずれ南北方向を有し、脚部の傾斜が $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の正立褶曲に近い構造を示す。

ii) 断層および節理 (線構造)

航空写真判読によって認められる断層には概ね $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$, $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E$ および $N-S$ 方向の三種類の走向を有するものに分けられる。 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ の走向を有する断層が当地域で最も卓越し長い距離に亘って連続性があり、これらの内一部は左ずれ断層の形態を示すものも認められる。 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E$ 方向の断層は計画地域の北方に多く見られるが、前者に比べて分布頻度、連続性も小さい。 $N-S$ 方向の断層は Huacata 発電所地点南方に多く認められ、左ずれ断層を示すものが卓越する。

航空写真下で認められる小さな線構造には、上述の三種類の断層方向とほぼ一致するものがあり、これらはそれらの断層と関連する小さな断層の可能性がある。またこの他に $E-W$ および $N-S$ 性の小さな線構造が認められる。これらは現地踏査によ

て節理であることが判明した。特にE-Wの方向の節理は計画地域において非常に卓越する。

(2) 主要計画地点の地質 (Fig - 4.5 参照)

1) 調整池地域

調整池地域でのPilaya川は東ないし南東に向かって流路を取り、数10mから100m程の谷幅を有しており兩岸山腹は急峻な地形となっている。特に右岸斜面は急峻で至る所に崖が形成されている。

基盤岩はオールドビス系の珪岩、珪質砂岩および頁岩等の碎屑岩よりなり、地層の走向、傾斜は河川を横断し上流に傾斜するN-S, 30° ~ 50° W方向を示す。

Pilaya川河岸には崖錐堆積物の分布が各所に見られる他、左岸山腹にはSlope-washの分布が広く認められる。Pilaya川河床には近傍の崩壊地から流出したと思われる径数mを越える巨礫が多く、河川勾配が急なために砂や小さな礫の分布はわずかししか認められない。

流域の地形・地質の状態からPilaya川による調整池地域への土砂供給は著しい量にのぼることが推察される。

2) ダム地点

Pilaya川はダム地点で南東に流路を取り約60mの谷幅を挟んで、左岸は約 40° 、右岸は標高約1,860m付近まで約 80° の急崖を成し、計画ダム頂標高1,803mでの谷幅は約90mであり、兩岸には広範に岩盤が露出している。

ダム軸近傍では、ダム軸上流約60mより上流域およびダム軸下流約100mより下流域には、川岸のどちらかに崖錐堆積物の分布があり、ダム軸近傍の約100m間は斜面上部からの崩積物を避け得る地形となっている。谷部には巨礫、大礫を主とする河床礫が分布しており、ダム軸近傍で実施された弾性波探査の結果によれば、その厚さは約15mに達する。

ダム基礎岩盤は灰緑色を呈する砂質頁岩および灰白色を呈する珪質砂岩や珪岩よりなる。いずれの岩石も低度変成作用を被っており、緻密・堅固な岩石である。これらはわずかな粒度の違いによる厚さ数cm~10cm程の層状や、厚さ数10cm程の互層を成し、その走向、傾斜は河川の流路方向と斜交し、上流に傾斜するN 10° E, 40° Wを示す。

ダム地点ではN 75° W, 85° SおよびN 35° E, 40° S Eの二方向の節理が卓越する。前者節理は平均20~50cm間隔で分布し、連続性もあるのに対し、後者は頻度も少なく連続性に乏しい。

兩岸山体には断層は認められないが、航空写真解析からは河床部にNE-SE走向の弱線が存在する可能性がある。

3) 水路ルートおよび発電所 (Fig - 4.6 参照)

a) Aguas Calientes 計画案

i) 導水路トンネル

導水路トンネルは長さ約 10.6km, ほぼ $N74^{\circ}E$ 方向を取るトンネルルートは標高の高い山体を横断するため, 地表までの被は最大 2,000m に達する。トンネルルートの途中に作業坑を設けることは地形的に困難であり, 取水口側および調圧水槽側の二箇所のみで掘削することになる。

トンネル経過地の地質は珪岩, 砂岩および頁岩等の堆積岩よりなり, いずれも緻密・堅硬な岩石である。

導水路トンネルはトンネル中央よりやや取水口側に褶曲軸を有する $N-S$ 方向の大きな背斜構造を横断する形となる。なお, 断層としては航空写真判読によればトンネル方向と鈍角で交わる $N50^{\circ}\sim 60^{\circ}W$ 方向の断層と交差する可能性がある。

断層部はトンネル掘削時に湧水が懸念され, 地表踏査によって断層位置を確認する必要がある。

発電所地点の直下流に位置する Aguas Calientes 川のさらに下流約 4 km 地点で, 同じく Pilaya 川左岸に合流する別の Agua Caliente 川があり, その川では現地情報によれば温泉の噴出がある。したがって, 温泉の噴出とその地質構造およびトンネルルートとの関連を明らかにする必要がある。

ii) 水圧管路・発電所

水圧管路および発電所は, Pilaya 川と Aguas Calientes 川との合流地点近くの Pilaya 川左岸に位置する。水圧管路の位置する斜面は急な所では 60° 程の傾斜を成すが全般には約 45° の傾斜を成している。斜面に沿っては一部 Slope - wash の分布も見られるが, 岩盤が露出している箇所も多い。山裾には小さな沢沿いに崖錐堆積物が分布している。

Aguas Calientes 川上流の標高 3,000m 付近には大規模な崩壊地があり, ここから流出した土石が Pilaya 川との合流点で扇状地を形成しており, この堆積物の裾は発電所近くまで達している。この扇状地を形成した土石はしばしば Pilaya 川を塞ぎ止めており, 近くは 1977 年の 11 月にも起っている。このために合流点より上流の Pilaya 川には厚い河床堆積物が堆積しており, また過去に於て標高約 1,330m まで水位の上昇したことを示す堆積面も見られる。

水圧管路および発電所地点とも基礎岩盤は主に珪岩・珪質砂岩および頁岩等の層状を呈する砕屑岩からなり, 新鮮な岩石はいずれも緻密・堅硬である。地層の走向, 傾斜はほぼ $N10^{\circ}E$, $40^{\circ}\sim 50^{\circ}E$ を示し, 調圧水槽および水圧管路の位置する斜面は一部を除き, ほぼ地層の層理面に沿った斜面となっている。節理は Pilaya 川

を横断する方向のN 80°E, 90°が卓越する。

鉄管路沿いの斜面には各所に露岩が見られ、一部にはクリープ性の緩みを生じている岩盤もみられるが、全般に良好な岩盤状態を示している。

発電所は標高1,330m付近に基礎を設けることになろう。この標高より高い山側の裾には崖錐堆積物が分布しており、標高の低い川側には河床砂礫が厚く分布している。一方、Agua Calientes川の扇状地堆積物が発電所計画地点付近まで達しており、この堆積物は下流に行く程層厚を増している。

b) Huacata 計画案

i) 導水路トンネル

導水路トンネルは長さ6km, Pilaya川の流路とほぼ平行するS 50°E~S 60°E方向のルートを取り、Huacata川合流地点下流約4km付近で発電所地点に達する。Pilaya川左岸側斜面下を通過するため、地表までの被はAgua Calientes導水路ルートより薄く、その厚さは200~800m程である。

トンネル経過地の地質はAgua Calientes導水路ルートと同じく、珪岩、珪質砂岩および頁岩等の碎屑岩よりなる。Huacata発電所西方約600mには、前述のN-S方向に伸びる大きな背斜構造があり、導水路トンネルはこの背斜構造を斜交して横断することになる。航空写真判読による線構造の方向から判断すると、導水路トンネルはトンネル方向にほぼ直交する走向のN 50°~60°E方向の断層と交差する可能性がある。

ii) 水圧管路・発電所

水圧管路および発電所の位置するPilaya川左岸斜面は、周辺上・下流とも切り立った崖と、崖の裾に分布するSlope-washよりなる。一方、Pilaya川谷底部は幅約70~80mで、河岸には各所に崖錐堆積物が押し出している。

水圧管路および発電所の地質は導水路経過地と同じく、頁岩・砂岩および珪質砂岩などからなる層状を成す碎屑岩よりなり、新鮮なものはいずれも緻密・堅硬な岩石である。水圧管路および発電所は背斜構造の東側に位置し、地層の走向・傾斜はほぼN 60°E, 10°Sを示す。節理はE-W, 70°~90°Nの走向・傾斜を有するものが卓越し、概ねその間隔は数10cmから2m程である。

このような地形、地質状態から、水圧管路および発電所は地下に設けるといふこれまでの計画案が適切と思われる。

(3) コンクリート骨材

ダム地点からHuacata発電所地点下流約7kmまでのPilaya川は河床幅も狭く、河川勾配も急であり、河床には大礫・巨礫の分布量に比べて細礫、砂およびシルト分は著しく少ない。したがってコンクリート骨材は碎石によって得ることになろう。基礎を成す岩石はい

ずれも緻密・堅硬であり、原石山から骨材を得ることは可能であろう。

一方、Aguas Calientes 発電所地点のPilaya 川には細粒な礫や砂を含む河床堆積物が広範囲に分布しており、選別によってコンクリート骨材が得られるものと思われる。

(4) 考 察

Aguas Calientes 計画案および Huacata 計画案とも、現在までの調査結果からは地質的に十分可能性を有する計画であると言える。しかし、計画面からは Aguas Calientes 計画案がより経済性が高いと判断されるに至った。したがってこの項では Aguas Calientes 計画案に関してのみ述べる。

- 1) 雨期における調整池内への土砂流入は非常に大きいことが予想される。浮遊流砂も含め定量的な検討が必要であろう。
- 2) ダム地点は兩岸山体斜面高標高部からの崩積土砂を避け得る位置に選定されており、地表踏査からは高さ 50 m 程のコンクリート重力式ダム構築には十分な強度を有する岩盤と思われる。したがって ENDE によって作成された 1/1,000 地形図を用いた詳細な地表調査を行うとともに 5-1 項に示す調査工事を実施することが望まれる。
- 3) 導水路トンネルは長さ 10.6 Km に及ぶ長大トンネルであるが、二箇所の切羽で掘削することになる。1/10,000 地形図を用い、下流 Agua Caliente 川の温泉地域を含めた地表踏査を実施し、地質構造解析を行うことが望まれる。
- 4) 水圧管路・発電所地点は露岩が多く分布する約 45° の傾斜の斜面に選定されている。発電所位置は Aguas Calientes 川沿いに流下する土砂流が Pilaya 川を塞止めた場合の Pilaya 川洪水位を避け得る位置に選定されるべきであろう。

水圧管路は上・下流約 120 m 離れた二つのルートが考えられる。この場合水圧管路上流ルートは、発電所および放水路の掘削が少ないが、水圧管路部に Slope-wash がやや厚い分布を示している。下流案は水圧管路ルート全般に広く露岩が認められるのに対し、発電所および放水路の掘削は上流案より多大となる。

今後、1/1,000 地形図を用いた詳細な地質踏査を実施すると共に、5-1 項に示す調査工事を実施することが望まれる。

- 5) 工事取付道路は急峻でしかも各所に Slope-wash の分布する斜面を通過することになり、ルートの選定に当っては詳細な検討を行う必要がある。

4.4 発電計画

発電計画の見直しを行った結果、基本的には第 3 章に述べた基本開発計画を遵守することとし、両案の比較検討をする上に必要と思われる項目については見直しを行った。

Hucata 水力発電計画と Aguas Calientes 水力発電計画を比較するにあたっては、取水地点が同一地点であるので使用水量は両計画とも同じ値を採るものとした。

ENDEによって行われた1963/64年から1973/74年までの10年間の流量解析の結果によれば、両計画の最大使用水量の限界は6時間ピーク負荷を渇水年においても確保するものとするれば30 m³/secとなるとされている。

Pilaya川の流況から1年間を雨期5ヶ月(12~4月)と乾期7ヶ月(5~11月)に分けて考察すると乾期の流量を確保するために最大使用水量を大きくしても、乾期の使用水量はTable-4.8に示す如く殆んど変化しないと言われている。

Table - 4.8 Average Available Discharge (Unit ; m³/sec)

	Qmax Q	20	22	24	26	28	30	35	40
Rainy Season	70.6	18.9	20.8	22.6	24.4	26.2	27.8	31.7	35.1
Dry Season	15.1	14.4	14.7	14.9	15.0	15.0	15.1	15.1	15.1
Annual Average	38.2	16.3	17.2	18.1	18.9	19.7	20.4	22.0	23.4

Note ; Qmax = Maximum Available discharge

Q = Average river run-off of 10 years (1963/64~1973/74)

上表にみられる如く最大使用水量を増加させることによるメリットは、雨期の発電可能電力量が増加することにある。しかし、一般にボリビアでは電力需要の雨期、乾期の差は少く、したがって、Pilaya川で雨期に発電を増加させることが、他の貯水池式水力の発電電力量を低減させ乾期に補給電力量として有効に利用されるか、もしくは、火力発電所の燃料が節約されることが証明されなければならない。

本報告書は予備調査であり、かつ、Huacata水力発電計画とAguas Calientes水力発電計画の優劣を検討するものであるので、渇水年においても一年を通じてピーク継続時間6時間以上を確保できる最大使用水量26.0 m³/secを両水力発電所の最大使用水量とする。

4.5 予備設計

予備設計は以下のように行った。

4.5.1 土木構造物

(1) Huacata 水力発電計画

1) ダム

Fig - 4.9 に示されるように高さ 52 m, 堤頂長 95 m, 下流面勾配 1 : 0.8 のコンクリート重力式ダムとする。

洪水吐は高さ 18.5 m, 幅 15.0 m のローラー・ゲート 3 門を有し, 洪水時にはサーチャージ水位 1,801.00 m にて, 最大 8,500 m³/sec の放流が可能である。

フィジビリティ・スタディにおいては, ダム・サイトの地形(右岸がほぼ垂直, 左岸が勾配 45°~50° の急峻な峡谷), 深い河床堆積物(現河床からの深さは最大 15 m 程度と予測されている), 予想される大量の堆砂, 大きな洪水量(1000 年確率で 8,000 ~ 10,000 m³/sec), 地質条件等を考慮し, 最も適当なダム・タイプを決定する必要がある。

2) 取水口

取水口は, ダムより約 15 m 上流の Pilaya 川左岸に設けることとする。

取水口の敷標高は, 低水位以下 6 m の標高 1,781.00 m に設定する。

取水口前面には除塵スクリーンを, 後部にはローラー・ゲートを設置し, 最大 26 m³/sec を取水する。

3) 沈砂池

ダム左岸導水路途中に沈砂池を設けることとする。沈砂池は幅 11.0 m, 高さ 11.0 m, 長さ 64.0 m の地下式構造物で, 3 門の排砂ゲートを有し, ダム下流部に沈砂池に溜った土砂を排砂する。

沈砂池内での最大流速は 0.29 m/sec とする。

フィジビリティ・レベルでは, 今後入手される資料を検討の上, 沈砂池の必要性, また, 必要であるならばその大きさ, 構造等について十分検討する必要がある。

4) 導水路トンネル

導水路トンネルは内径 3.2 m の円形断面とし, 延長 6.0 km, 最大通水容量 26 m³/sec とする。トンネル途中に作業用の横坑を取り付けるものとする。トンネルは全長にわたって鉄筋コンクリート巻立をおこなう。

5) 調圧水槽

調圧水槽は下部内径が 3.5 m, 上部内径が 10.0 m, 高さ 61.0 m の立坑と, 内径 4.0 m, 長さ 150.0 m の水平下部水室とから成る水室型調圧水槽とする。

6) 水圧管路

水圧管路の形式は設置場所の地形・地質を考慮して地下式とする。水圧鉄管は、内径 2.9 ～ 2.6 m 1 条とし、発電所の直前で 4 条に分岐する。

一本当りの延長は 360 m である。

7) 発電所

発電所は、地形・地質を考慮して地下式構造とし、幅 12.0 m、高さ 22.0 m、長さ 38.0 m の鉄筋コンクリート造りとする。

ドラフト管はエルボ型とし、その出口（変圧器室下部）にはドラフト・ゲート 4 門を設ける。

発電所に平行に幅 6.0 m、高さ 6.0 m、長さ 38.0 m の地下式変圧器室を設ける。

8) 放水路トンネル

放水路トンネルは内径 3.8 m の円形断面とし、その延長は 300.0 m である。

(2) Aguas Calientes 水力発電計画

1) ダム

Huacata 水力発電計画に同じ。

2) 取水口

Huacata 水力発電計画に同じ。

3) 沈砂池

Huacata 水力発電計画に同じ。

4) 導水路トンネル

導水路トンネルは内径 3.2 m の円形断面とし、延長は 10.6 Km、最大通水容量は 26 m³/sec である。トンネルは全長にわたって鉄筋コンクリート巻立をおこなう。

5) 調圧水槽

調圧水槽は下部内径が 3.0 m、上部内径が 12.0 m、高さ 101.0 m の立坑と、内径 3.5 m、長さ 200.0 m の水平下部水室とから成る水室型調圧水槽とする。

6) 水圧管路

水圧管路の形式は、設置場所の地形および地質を考慮して地表式とする。

水圧鉄管は内径 1.7 m ～ 1.4 m の 3 条とし、一本当りの延長は 800.0 m である。

7) 発電所

発電所は地形・地質を考慮して、幅 31.5 m、高さ 27.0 m、長さ 40.0 m の地上式とする。

4.5.2 電気設備

(1) 予備設計のための基本的な考え方

4.4 発電計画で述べた如く、Huacata および Aguas Calientes 両水力発電計画の最大使



用水量は $26.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ とし、貯水池と放水路との間で得られる落差を基準に、発電所最大出力を決めるものとする。

最大ユニット容量については、両発電所のいずれかが電力系統に接続される1990年代初めの電力需要の5%を限度として決めるものとする。

水車タイプの選定にあたっては、1台あたりの使用水量と有効落差より、適切なタイプを選定するものとする。

Huacata 発電所はその地形から地下式発電所となるので、主変圧器は地下発電所に隣接し、地下に設けるものとする。115 KV 送電線と接続する機器は、GIS (Gas Insulated Switchgear) を採用するものとし、115 KV 母線は単母線とする。

Aguas Calientes 発電所は地上式発電所となるので、115 KV 送電線と接続する115 KV 開閉機器および主変圧器は屋外に設けるものとする。

(2) 水車タイプの選定と主要機器の諸元

1) Huacata 発電所

水車タイプの選定にあたっては、基準落差および1台当りの使用水量を考慮し、フランス水車を選定した。水車発電機および主変圧器の主要諸元は、次のとおりである。

水 車

タ イ プ	:	フランス
出 力	:	15,400 kW
基 準 落 差	:	273 m
最大使用水量	:	$6.5 \text{ m}^3/\text{sec}$
回 転 数	:	750 rpm

発 電 機

タ イ プ	:	立軸交流発電機
容 量	:	16,700 KVA
電 圧	:	11,000 V

主変圧器

容 量	:	16,700 KVA
電 圧	:	115 KV / 10.5 KV

ユニット台数は ENDE の予備設計案と同じく4台案を採用した。この結果、発電所出力は 60 MW となる。

2) Aguas Calientes 発電所

水車タイプの選定にあたっては、基準落差および1台当りの使用水量を考慮し、ベルトン水車を選定した。ENDEの予備設計では、フランス水車が選定されていたが、過去の製作実績からみて適用範囲の境界線上にはあるが、Pilaya 川の水質を考慮すると、

水車の点検補修の簡単なベルトン水車の採用が好ましく、したがってベルトン水車を採用した。水車発電機および主変圧器の主要諸元は、次のとおりである。

水 車

タ イ プ	:	立軸ベルトン水車
出 力	:	32,400 kW
基 準 落 差	:	436 m
最大使用水量	:	8.66 m ³ /sec
回 転 数	:	375 rpm

発 電 機

タ イ プ	:	立軸交流発電機
容 量	:	34,900 KVA
電 圧	:	11,000 V

主変圧器

容 量	:	34,900 KVA
電 圧	:	115 KV / 10.5 KV

ユニット台数は、ENDEの予備設計案と同じく3台を採用した。ユニット当りの出力は31,400 kWであり、電力系統負荷の約5%に相当する。

また、発電所出力は90 MWとなる。

なお、本プロジェクトのフィジビリティ・スタディ段階での調査においては、立軸ベルトン水車と横軸ベルトン水車について、経済比較を行なう必要がある。

4.5.3 主要諸元

Pilaya川水力発電計画に於ける主要諸元は、下記に示す通りである。

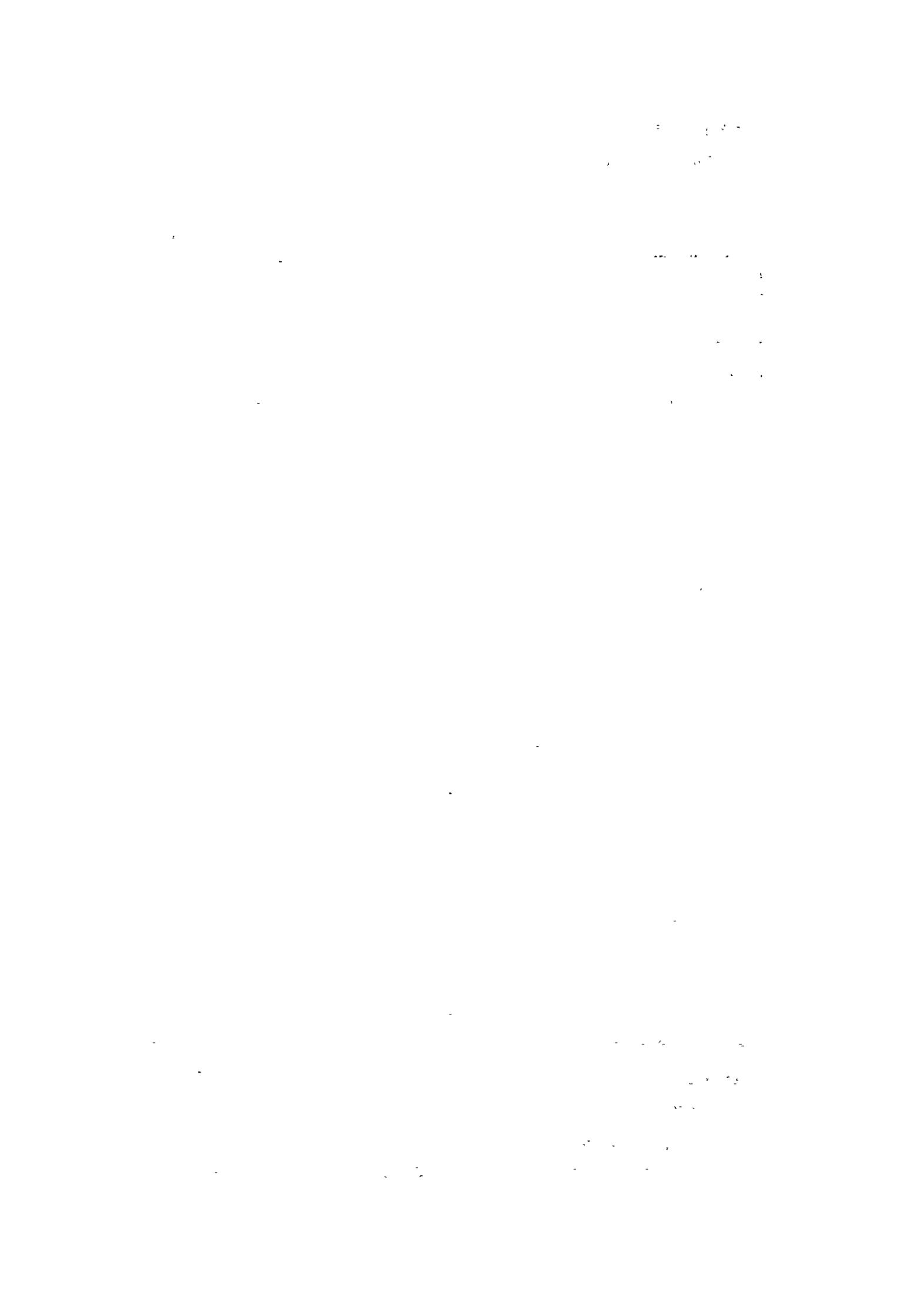
Table - 4.9 Main Feature of the Project

Item	Unit	Huacata	Aguas Calientes
Type of Development		Divided - fall Type	
Annual Inflow	$10^6 m^3$	1,340	
Pondage and Dam			
Normal Water Level	m	1,797	
Dam Type		Concrete Gravity	
Height × Crest Length	m , m	52 × 95	
Volume	m^3	55,000	
Headrace Tunnel			
Section		Circular	Circular
Diameter × Length	m , m	3.2 × 6,000	3.2 × 10,600
Effective Head	m	273	436
Maximum Available Discharge	m^3/sec	26	26
Installed Capacity	kW	60,000	90,000
Annual Energy Production	GWh	386	609
Rainy Season (Nov. - Mar.)	GWh	223	353
Dry Season (Apr. - Oct.)	GWh	163	256
Construction Cost	10^3 US \$	90,300	128,200

4.6 各工事の主な問題点

Huacata 水力発電計画では、発電所への工事用道路を非常に急峻な峡谷に設けねばならず、その建設工事が極めて困難であろうと予想される。また、発電所は地下式で坑口に適当な平地がなく、仮設備のスペースが取れず工事幅狭が予想される。一方、Aguas Calientes 水力発電計画では、工事用道路として Carapari から発電所迄のルートが考えられるが、このルートは比較的河床幅が広く、兩岸の勾配も緩やかな地域にあるので、道路建設は Huacata 水力発電計画に比べて有利である。

また、Aguas Calientes 水力発電計画に於ける水圧管路、発電所および放水路等の工事は明り工事であり、仮設備用の平地も充分確保されるため、施工上の難点は少ないと予想される。



導水路トンネルについては、Huacata 水力発電計画では片口 1.5 Km，総延長 6.0 Km であるが、一方、Aguas Calientes 水力発電計画では片口 5.3 Km，総延長 10.6 Km となり、工期、施工難度に問題がある。

ダムサイトおよび Huacata 発電所周辺では地形が急峻で、適当な土捨場を設けることが困難であり、フィジビリティ・レベルでは、掘削ずりの処理方法を慎重に検討する必要がある。

4.7 建設費

4.7.1 基本的条件

見積られた建設費は、Huacata 水力発電計画および Aguas Calientes 水力発電計画の 2 案に対する優劣を比較検討するための概算建設費である。

(1) 建設費算出に当り、ENDE が本計画のために算出した単価および同社計画の Icla 水力発電計画フィジビリティ報告書に記載の単価、並びに日本における最近の同規模程度の水力発電所建設実績を考慮するとともに、計画地点の自然条件、地域条件、工事規模および現地調査結果も考慮した。

(2) 建設費は、1979 年 10 月時点の価格で算出した。

(3) 建設費計上の範囲は 2 案とも屋外開閉所までとし、送電線は含まない。

したがって、発電端での建設費である。

4.7.2 建設費の内容

(1) 土木工事費

工事数量の内、ダム・発電所・導水路は、第 4 章 5 項「予備設計」に添付した設計図に基づき計上したが、その他の構造物に対しては、プレ・フィジビリティ報告書に記載の数量を計上した。

なお、主な工種別数量を Table - 4.11 に示す。

(2) 水力機器、電気機器類の費用

主要ゲート類、水圧鉄管等、水力機器と水車発電機、変電機器等、機器資材類はすべてボリビア国外において製作され供給されるものとし、海上輸送費、保険料、積卸費、ボリビア共和国内の陸上運搬費、現場据付費等を含め計上した。

(3) 準備工事費

準備工事費には、本工事着工前に実施する必要がある取付道路の新設については計上されているが、ENDE が独自に実施する地質調査工事、水文、気象資料の収集、詳細設計に必要な地形測量等は計上されていない。

(4) 技術費および管理費

技術費および管理費として、直接工事費の 12% を計上した。

(5) 予備費

予備費は、直接工事費の 30% を計上した。

(6) 建設中利子および建設費のエスカレーション

建設中利子および建設費のエスカレーションは計上されていない。

4.7.3. 建設工事費

本計画に対する Huacata 水力発電計画建設に要する工事費は、発電端において 90.3×10^6 US\$, また Aguas Calientes 水力発電計画建設費は 128.2×10^6 US\$ である。

概算工事費の内訳を Table-4.10 に示す。

Table-4.10 Summary of Estimated Construction Cost
As of Nov. 1979 (Unit : 10^6 US\$)

Item	Huacata	Aguas Calientes
A. Generating Facility	57,540	82,710
A.1 Civil Works	42,500	59,100
(1) Dam	11,730	11,730
(2) Intake	580	580
(3) Sedimentation Basin	2,410	2,410
(4) Headrace Tunnel	17,590	32,640
(5) Surge - Tank	810	1,070
(6) Penstock Foundation	2,920	6,700
(7) Powerhouse Building	6,310	3,920
(8) Switchyard	150	50
A.2 Electrical Equipment	15,040	23,610
(1) Turbine	15,040	23,610
(2) Generator		
(3) Transformer		
(4) Miscellaneous		
(5) Installation Cost		
B. Preparatory Work	6,090	7,540
(1) Access Road	6,090	7,540
Total Direct Cost (A + B)	63,630	90,250
C. Engineering Cost	7,640	10,830
D. Contingency	19,030	27,120
Total Construction Cost as of Nov. 1979	90,300	128,200

Table-4.11 Summary of Principal Work Quantities

Description	Unit	Quantity	
		Huacata	Aguas Calientes
(1) Civil Work			
1. Dam			
1 - 1 Common Excavation	m ³	100,600	100,600
1 - 2 Rock Excavation	"	37,400	37,400
1 - 3 Concrete	"	55,000	55,000
2. Intake			
2 - 1 Rock Excavation	m ³	1,700	1,700
2 - 2 Tunnel Excavation	"	2,700	2,700
2 - 3 Concrete	"	1,040	1,040
3. Sedimentation Basin			
3 - 1 Tunnel Excavation	m ³	13,500	13,500
3 - 2 Concrete	"	5,800	5,800
4. Headrace			
4 - 1 Length of Tunnel	m	6,000	10,600
5. Surge Tank			
5 - 1 Tunnel Excavation	m ³	5,600	7,100
5 - 2 Concrete	"	1,600	2,000
6. Penstock			
6 - 1 Length of Penstock	m	355	800
7. Powerhouse and Tailrace			
7 - 1 Excavation (Common and Rock)	m ³	14,600	20,000
7 - 2 Tunnel Excavation	m	865	0
7 - 3 Concrete	m ³	6,900	8,300

4.8 電力コスト

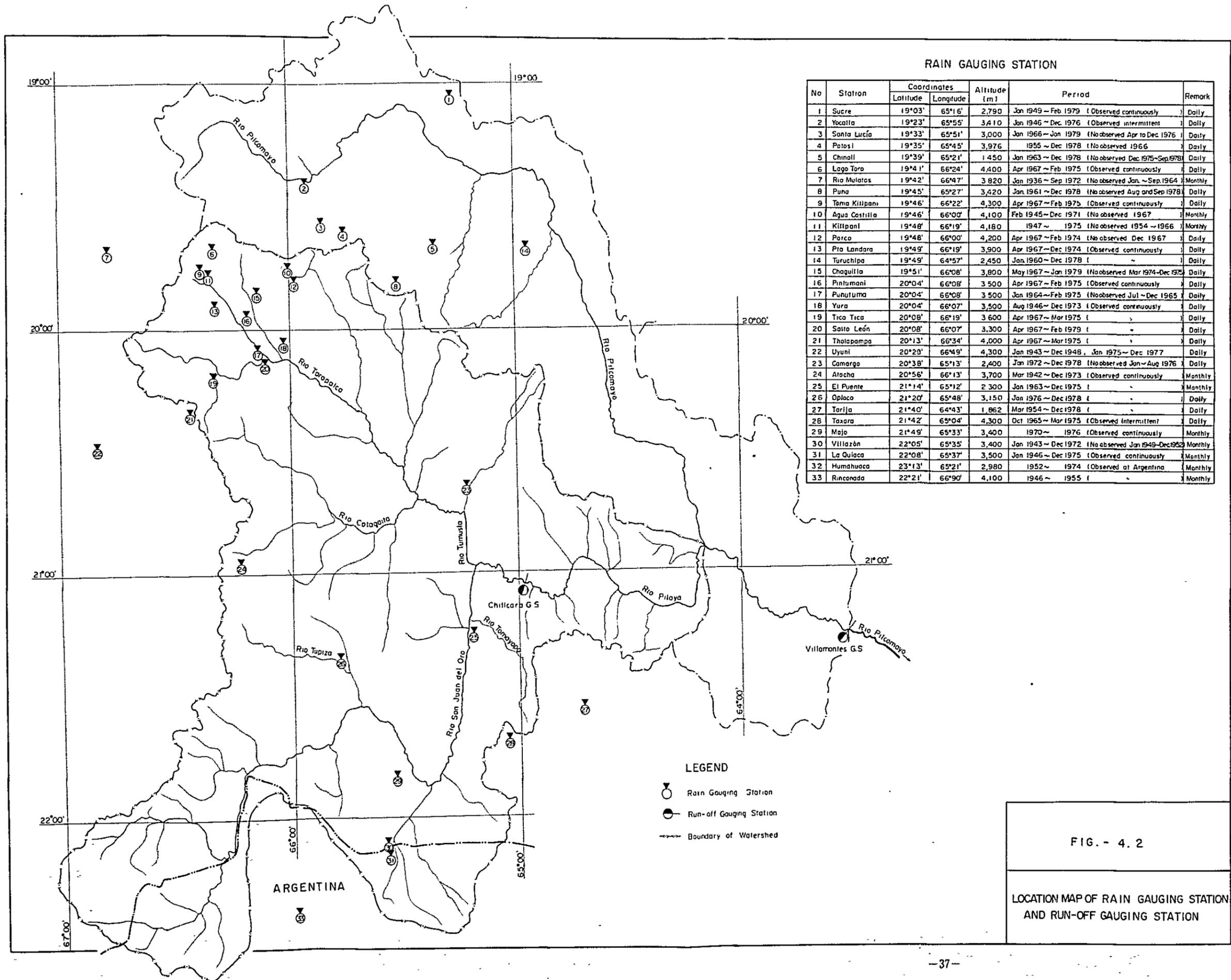
Huacata および Aguas Calientes 発電所の発電端におけるkW当り建設費およびkWh当り電力コストを算定すれば、Table-4.12に示すようになる。

算定の仮定条件は、発電設備については耐用年数 50 年、残存価格 0、修繕費、人件費および一般管理等の経費は総工事費の 1.5% とし、年利子率 10% とした。

これより耐用年数間の均等化した年間費用を求めると、発電設備の総工事費に対する経費率は 11.586% となる。

Table-4.12 Energy Cost of Huacata and Aguas Calientes Schemes

Power Station	Construction Cost 10 ³ US\$	Installed Capacity MW	Average Annual Energy Production GWh	Annual Cost 10 ³ US\$	Cost Per KW US\$	Cost Per KWh mills US\$/KWh
Huacata	90,300	60	386	10,460	1,505	27.10
Aguas Calientes	128,200	90	609	14,850	1,424	24.38



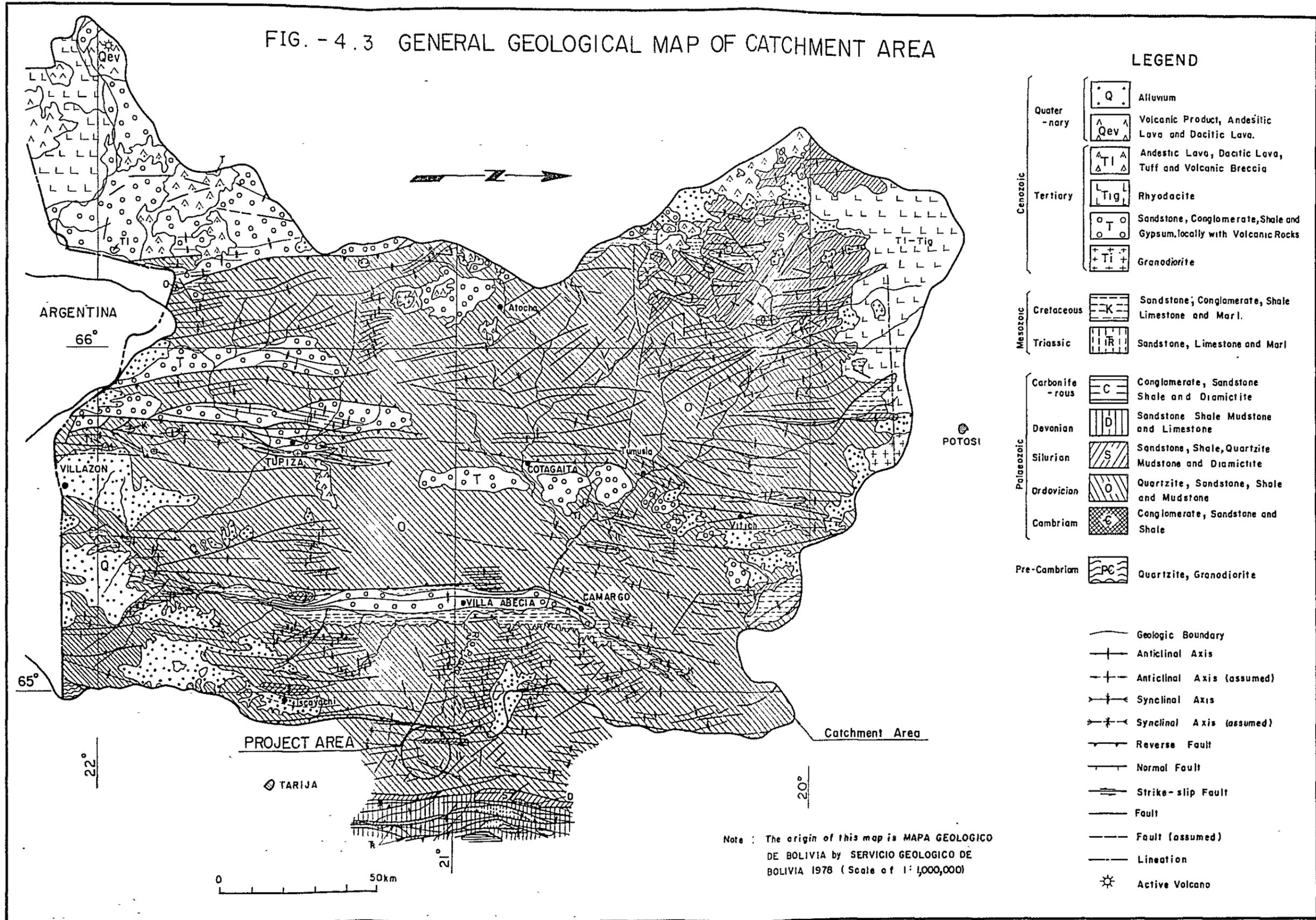
RAIN GAUGING STATION

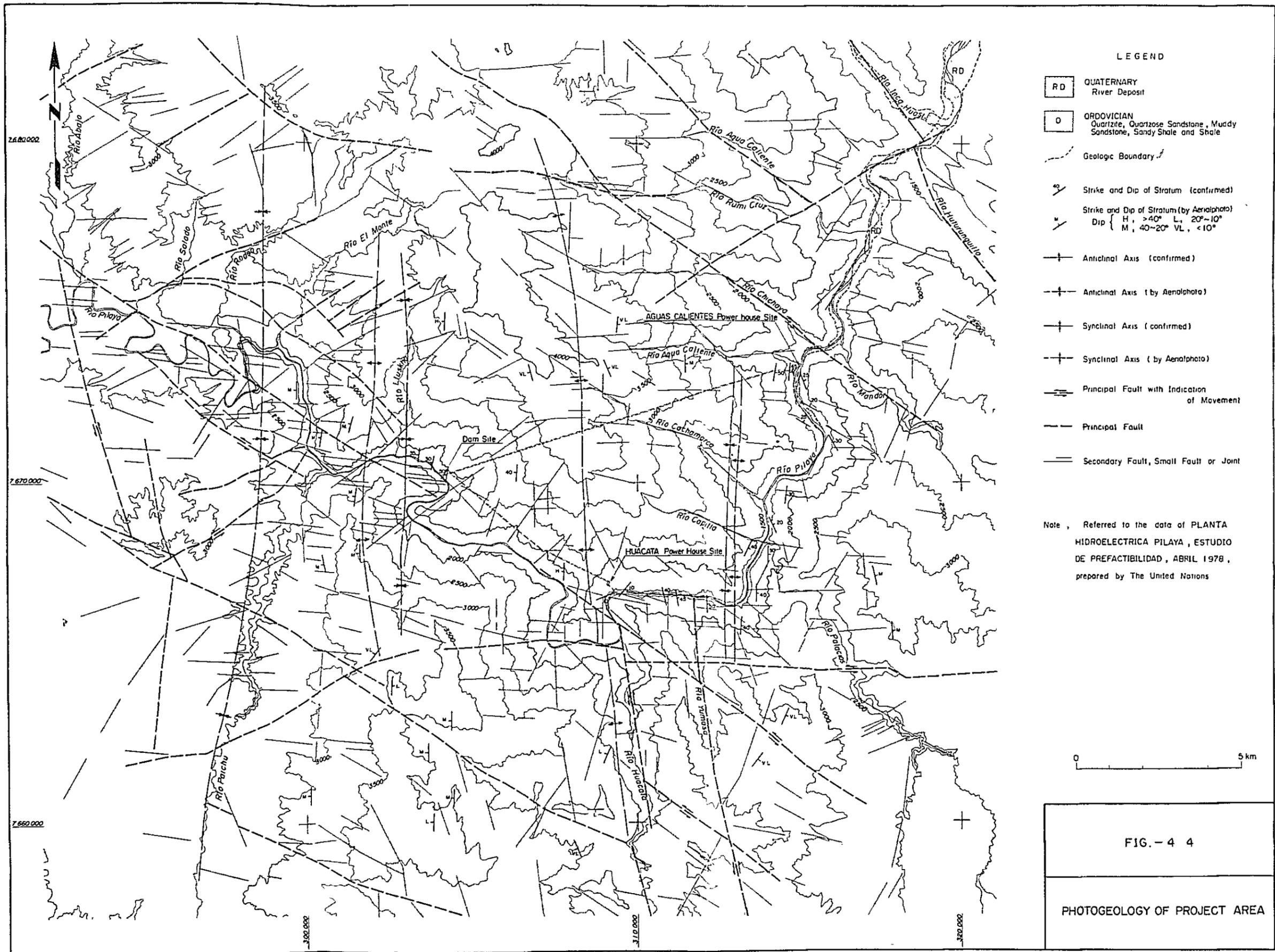
No	Station	Coordinates		Altitude (m)	Period	Remark
		Latitude	Longitude			
1	Sucre	19°03'	65°16'	2,790	Jan 1949 ~ Feb 1979 (Observed continuously)	Daily
2	Yocalla	19°23'	65°55'	3,410	Jan 1946 ~ Dec 1976 (Observed intermittent)	Daily
3	Santa Lucía	19°33'	65°51'	3,000	Jan 1966 ~ Jan 1979 (No observed Apr to Dec 1976)	Daily
4	Potosí	19°35'	65°45'	3,976	1955 ~ Dec 1978 (No observed 1966)	Daily
5	Chinall	19°39'	65°21'	1,450	Jan 1963 ~ Dec 1978 (No observed Dec 1975 ~ Sep 1978)	Daily
6	Lago Toro	19°41'	66°24'	4,400	Apr 1967 ~ Feb 1975 (Observed continuously)	Daily
7	Rio Mulatos	19°42'	66°47'	3,820	Jan 1936 ~ Sep 1972 (No observed Jan ~ Sep 1964)	Monthly
8	Puna	19°45'	65°27'	3,420	Jan 1961 ~ Dec 1978 (No observed Aug and Sep 1978)	Daily
9	Tama Killpaní	19°46'	66°22'	4,300	Apr 1967 ~ Feb 1975 (Observed continuously)	Daily
10	Agua Castilla	19°46'	66°00'	4,100	Feb 1945 ~ Dec 1971 (No observed 1967)	Monthly
11	Killpaní	19°48'	66°19'	4,180	1947 ~ 1975 (No observed 1954 ~ 1966)	Monthly
12	Parca	19°48'	66°00'	4,200	Apr 1967 ~ Feb 1974 (No observed Dec 1967)	Daily
13	Pta Landara	19°49'	66°19'	3,900	Apr 1967 ~ Dec 1974 (Observed continuously)	Daily
14	Turuchipa	19°49'	64°57'	2,450	Jan 1960 ~ Dec 1978 ()	Daily
15	Chaguita	19°51'	66°08'	3,800	May 1967 ~ Jan 1979 (No observed Mar 1974 ~ Dec 1975)	Daily
16	Pintumani	20°04'	66°08'	3,500	Apr 1967 ~ Feb 1975 (Observed continuously)	Daily
17	Punutuma	20°04'	66°08'	3,500	Jan 1964 ~ Feb 1975 (No observed Jul ~ Dec 1965)	Daily
18	Yura	20°04'	66°07'	3,500	Aug 1946 ~ Dec 1973 (Observed continuously)	Daily
19	Trica Trica	20°08'	66°19'	3,600	Apr 1967 ~ Mar 1975 ()	Daily
20	Saito León	20°08'	66°07'	3,300	Apr 1967 ~ Feb 1979 ()	Daily
21	Thalapampa	20°13'	66°34'	4,000	Apr 1967 ~ Mar 1975 ()	Daily
22	Uyuni	20°28'	66°49'	4,300	Jan 1943 ~ Dec 1948, Jan 1975 ~ Dec 1977	Daily
23	Camargo	20°38'	65°13'	2,400	Jan 1972 ~ Dec 1978 (No observed Jan ~ Aug 1976)	Daily
24	Atocha	20°56'	66°13'	3,700	Mar 1942 ~ Dec 1973 (Observed continuously)	Monthly
25	El Fuente	21°14'	65°12'	2,300	Jan 1963 ~ Dec 1975 ()	Monthly
26	Oplaca	21°20'	65°48'	3,150	Jan 1976 ~ Dec 1978 ()	Daily
27	Tarija	21°40'	64°43'	1,862	Mar 1954 ~ Dec 1978 ()	Daily
28	Taxara	21°42'	65°04'	4,300	Oct 1965 ~ Mar 1975 (Observed intermittent)	Daily
29	Majo	21°49'	65°33'	3,400	1970 ~ 1976 (Observed continuously)	Monthly
30	Villazón	22°05'	65°35'	3,400	Jan 1943 ~ Dec 1972 (No observed Jan 1949 ~ Dec 1952)	Monthly
31	La Quilaca	22°08'	65°37'	3,500	Jan 1946 ~ Dec 1975 (Observed continuously)	Monthly
32	Humahuaca	23°13'	65°21'	2,980	1952 ~ 1974 (Observed at Argentina)	Monthly
33	Rinconada	22°21'	66°90'	4,100	1946 ~ 1955 ()	Monthly

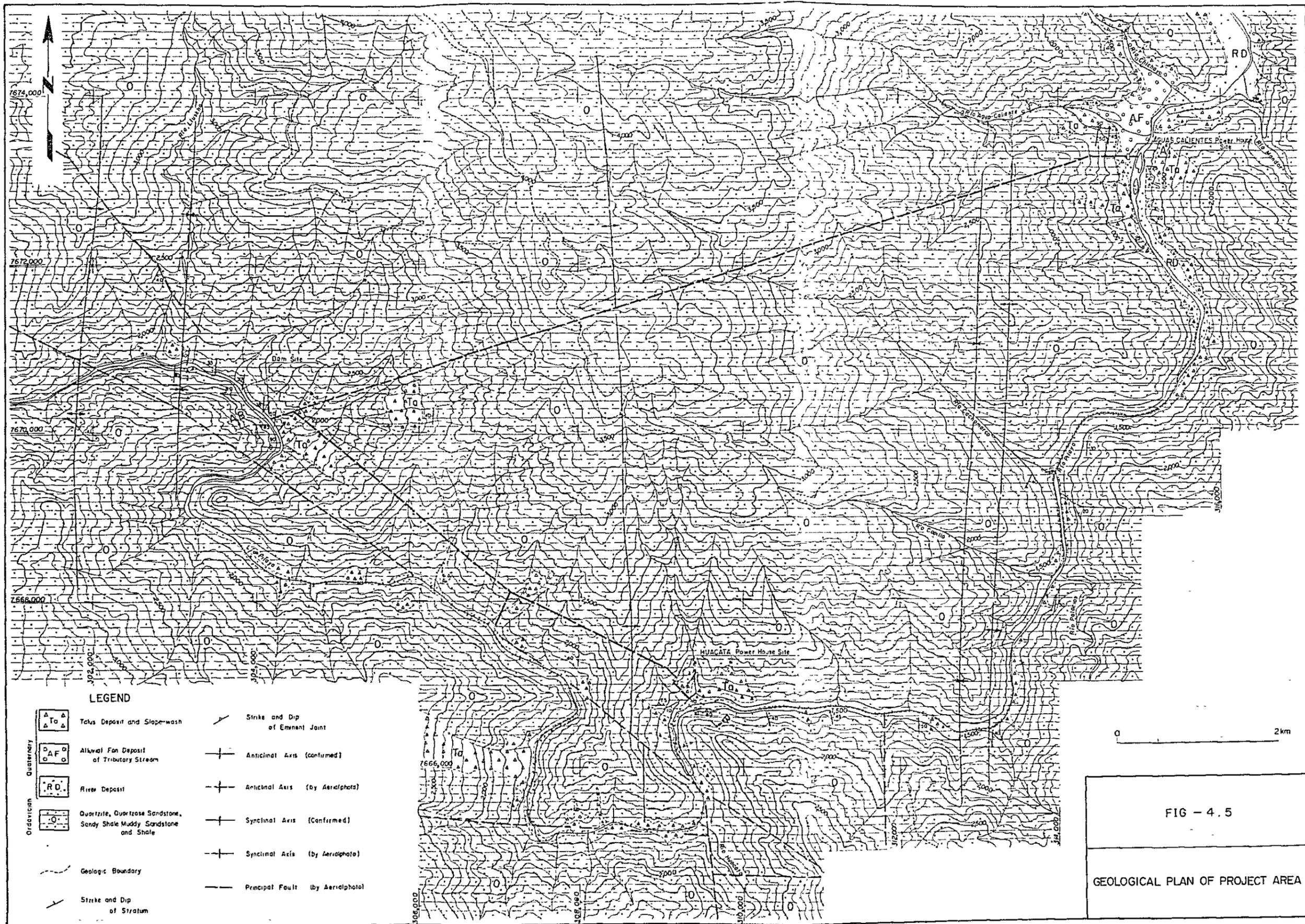
FIG. - 4.2

LOCATION MAP OF RAIN GAUGING STATION
AND RUN-OFF GAUGING STATION

FIG. - 4.3 GENERAL GEOLOGICAL MAP OF CATCHMENT AREA







LEGEND

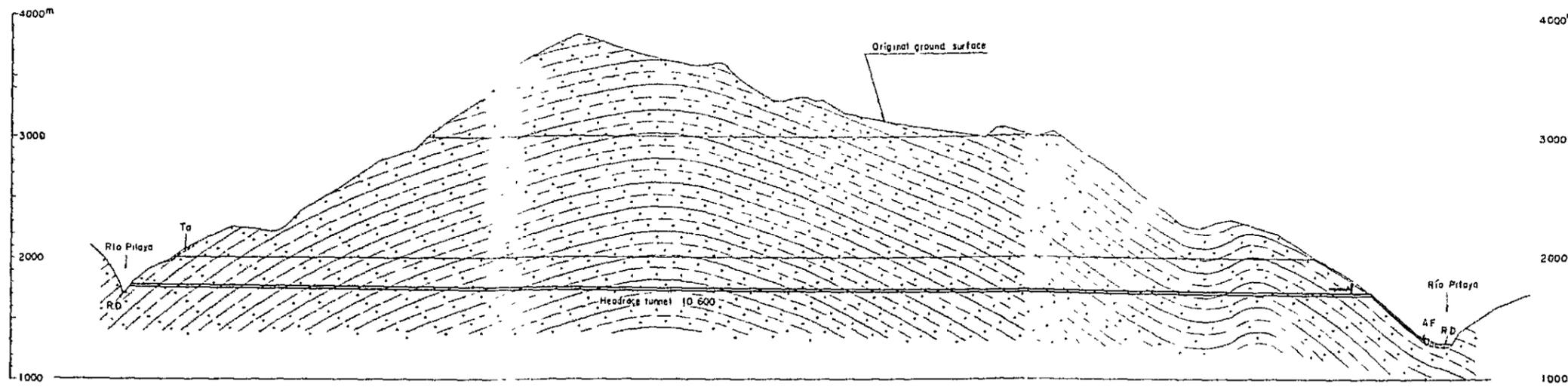
- | | |
|--|---|
| <p>Quaternary</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Tol ▲ Toluca Deposit and Slope-wash □ AF □ Alluvial Fan Deposit of Tributary Stream ● RD ● River Deposit | <ul style="list-style-type: none"> Strike and Dip of Eminent Joint Anticinal Axis (confirmed) Anticinal Axis (by Aerialphoto) Synclinal Axis (Confirmed) Synclinal Axis (by Aerialphoto) Principal Fault (by Aerialphoto) |
| <p>Oligocenic</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ○ ○ Quartzite, Quartzose Sandstone, Sandy Shale Muddy Sandstone and Shale | |
| <ul style="list-style-type: none"> Geologic Boundary Strike and Dip of Stratum | |

0 2km

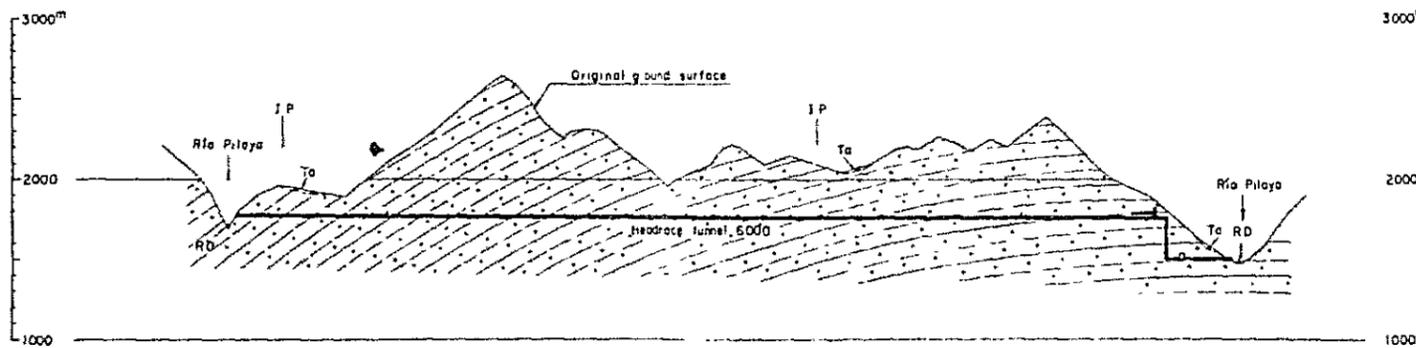
FIG - 4.5

GEOLOGICAL PLAN OF PROJECT AREA

A-A AGUAS CALIENTES Route



B-B HUACATA Route



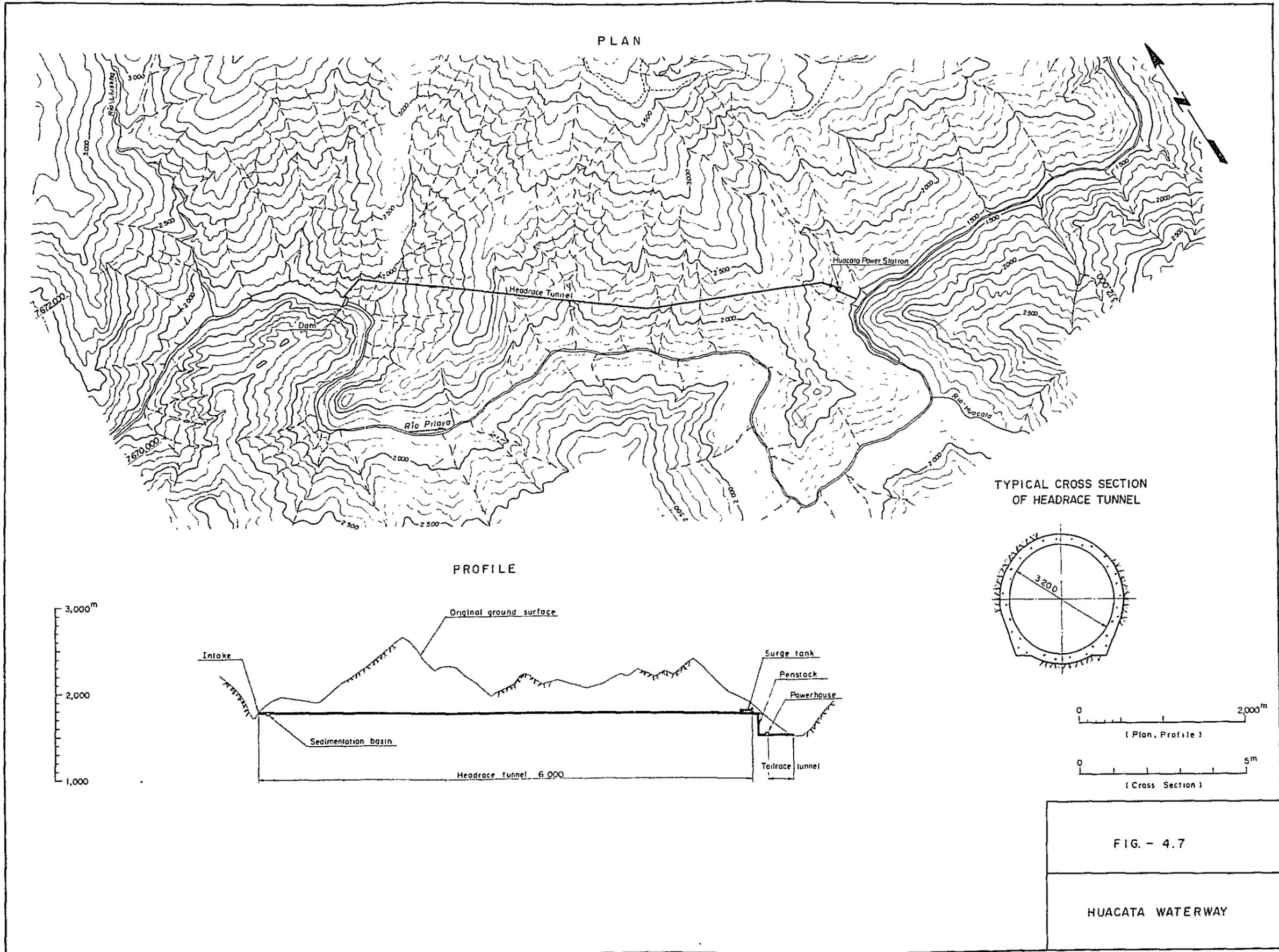
LEGEND

- | | | |
|------------|----|---|
| Quaternary | Ta | Talus Deposit and Slope-wash |
| Quaternary | AF | Alluvial Fan Deposit of Tributary Stream |
| Quaternary | RD | River Deposit |
| Ordovician | D | Quartzite, Quartzose Sandstone,
Sandy Shale, Muddy Sandstone and Shale |
| | | Geologic Boundary |

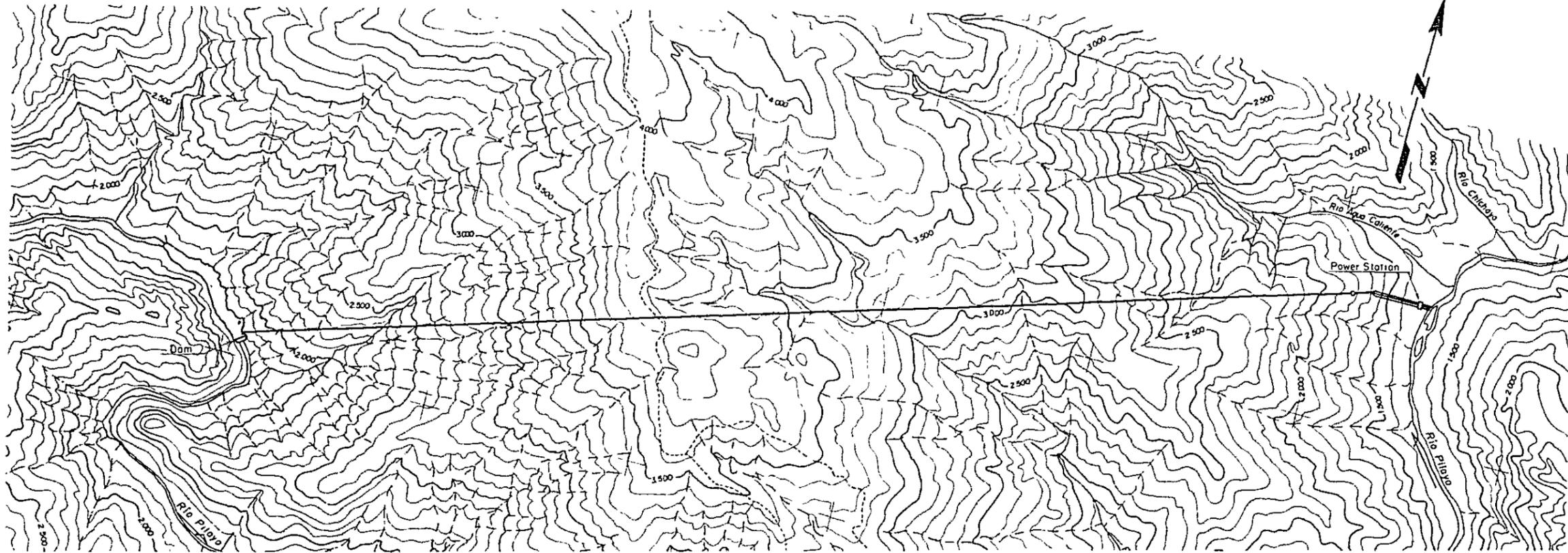
0 2 km

FIG.- 4.6

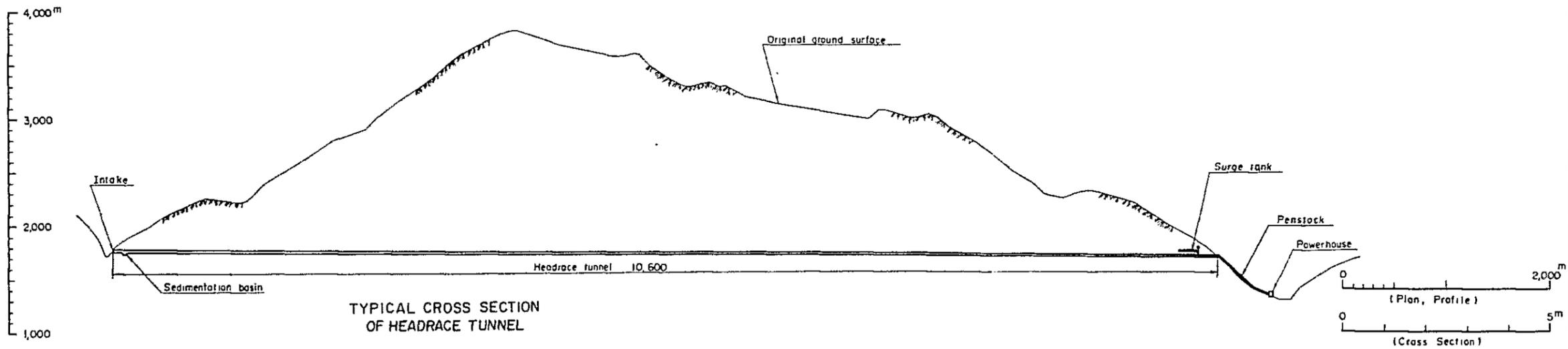
PROFILE OF WATER WAY



PLAN



PROFILE



TYPICAL CROSS SECTION OF HEADRACE TUNNEL

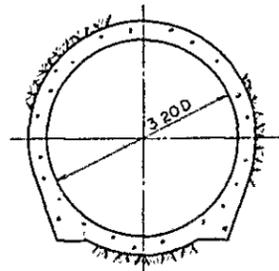
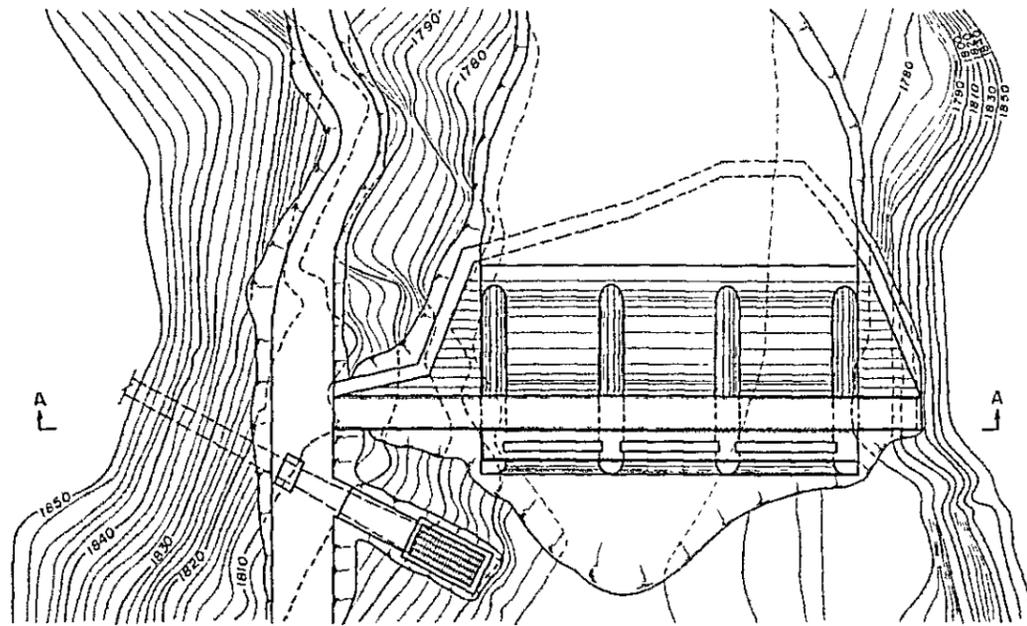


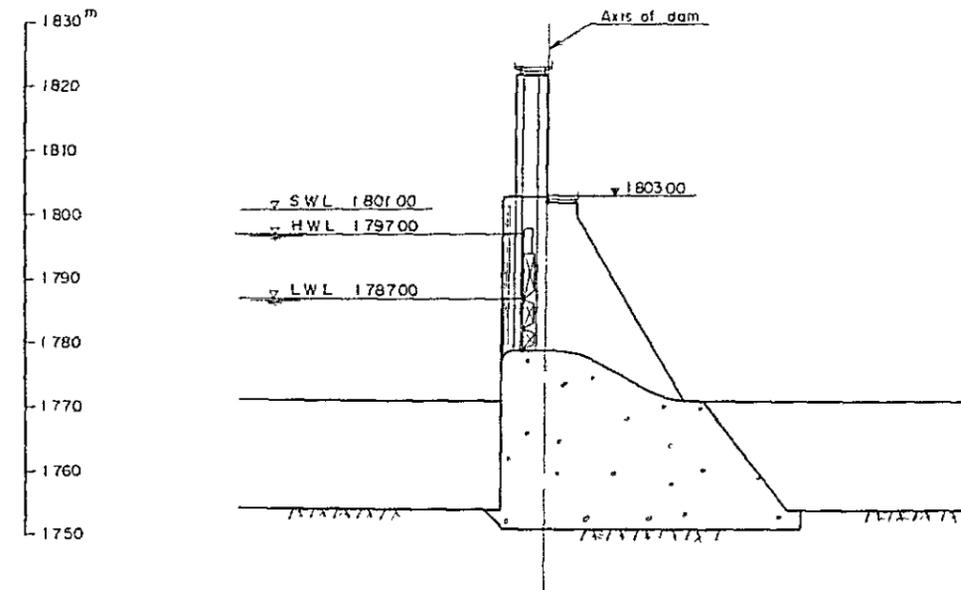
FIG. - 4.8

AGUAS CALIENTES WATERWAY

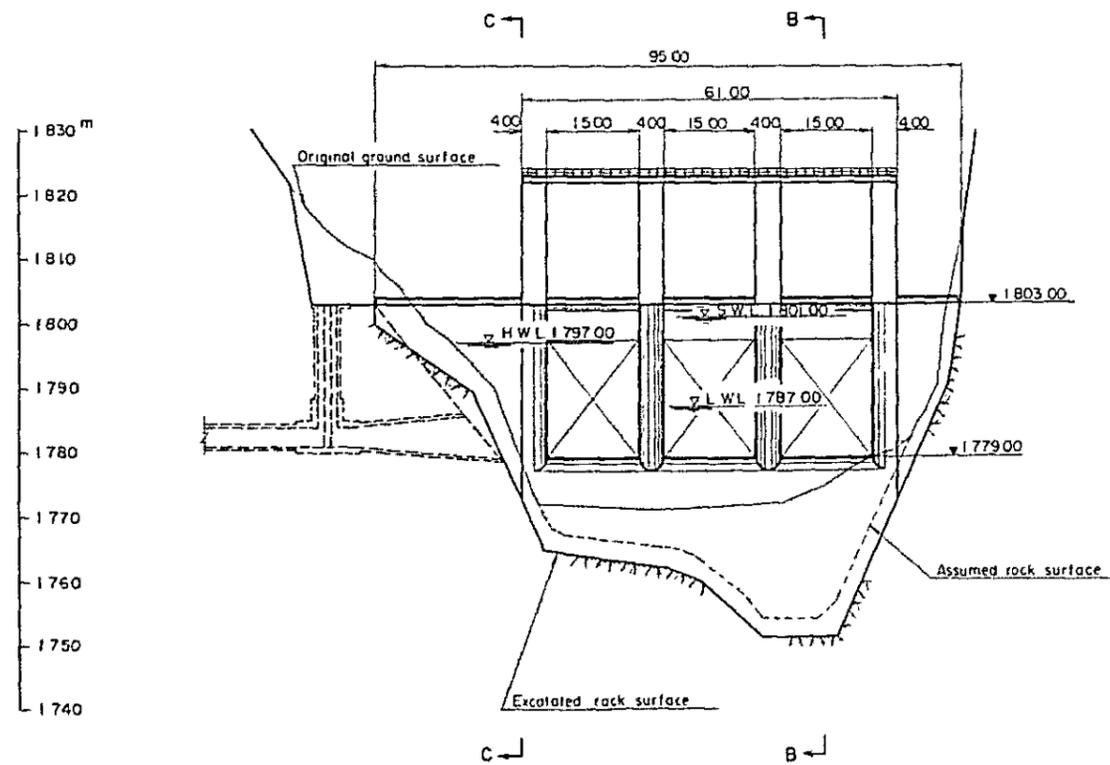
P L A N



SECTION B - B



SECTION A - A



SECTION C - C

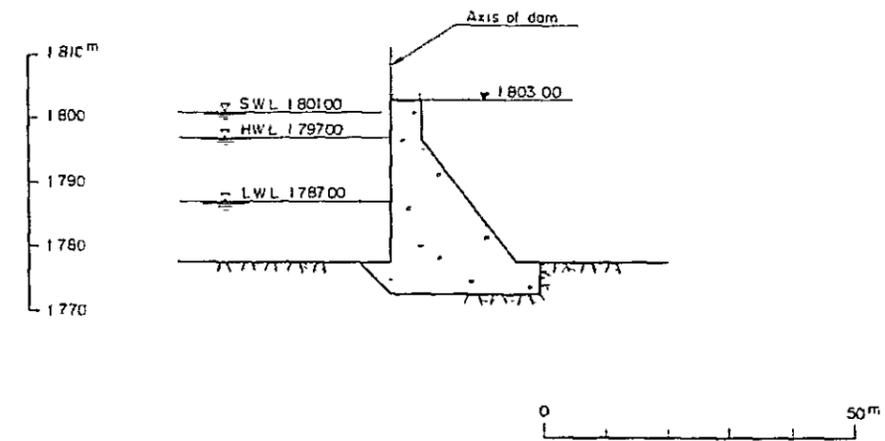
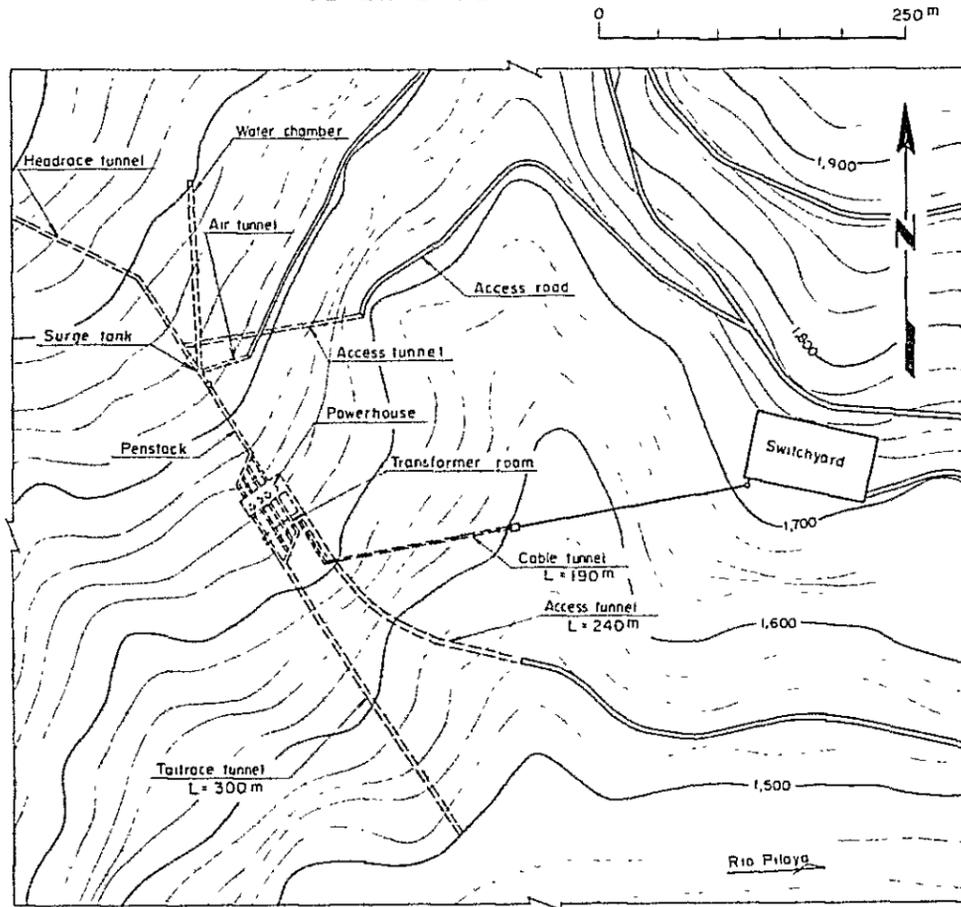


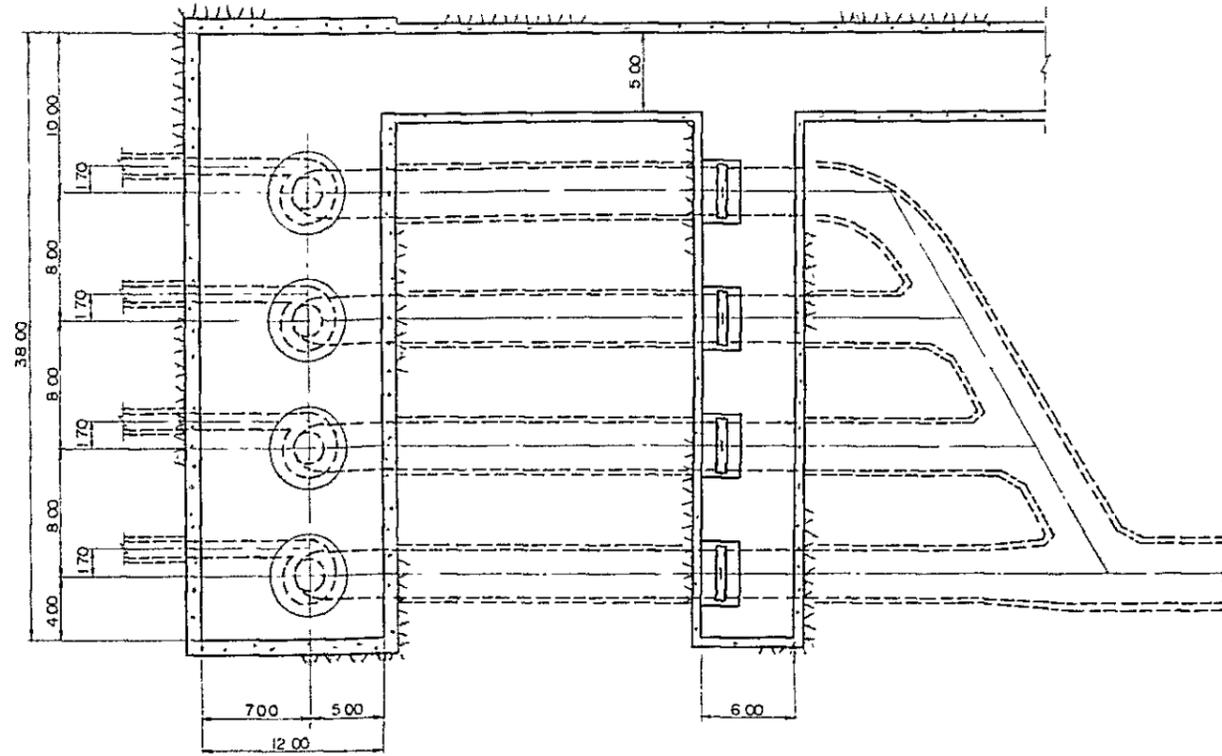
FIG. - 4.9

D A M

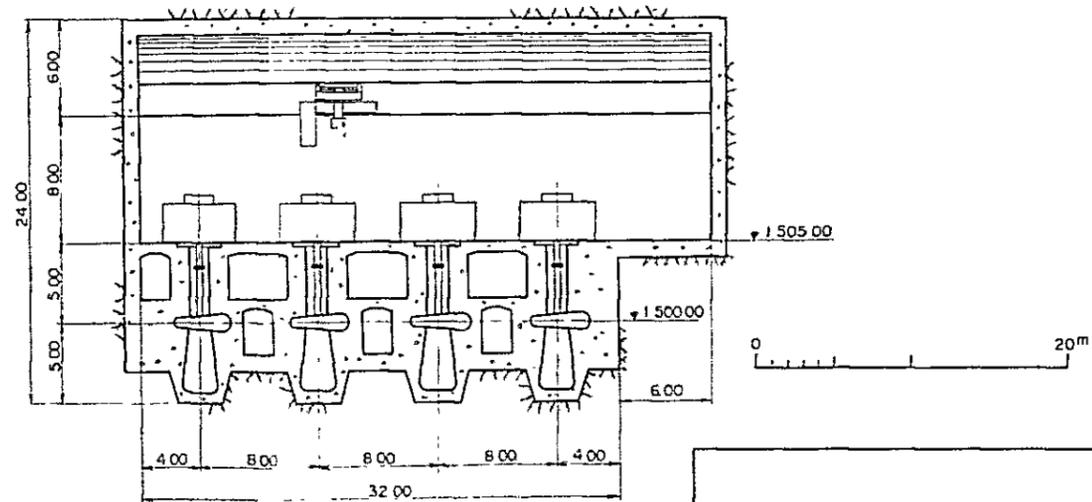
GENERAL PLAN



PLAN (EL. 150500)



LONGITUDINAL SECTION



TRANSVERSE SECTION

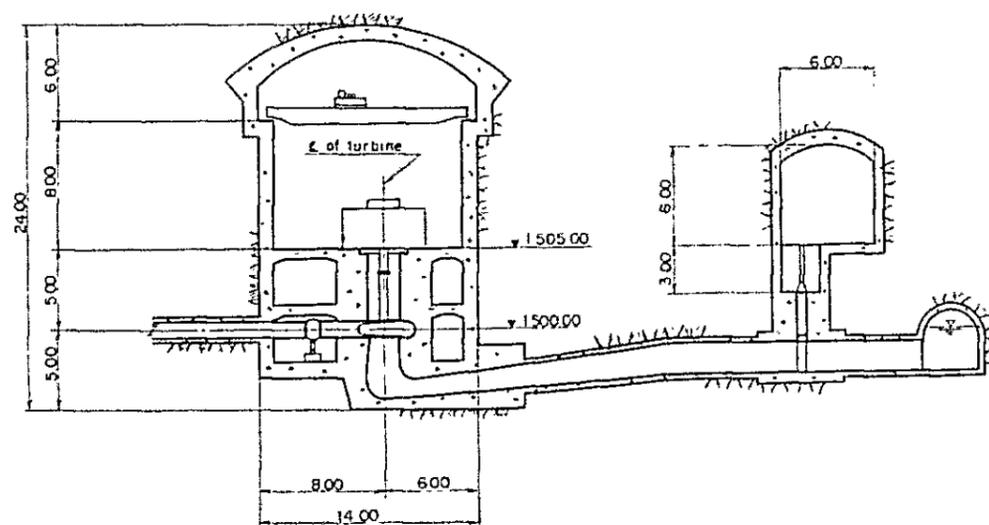
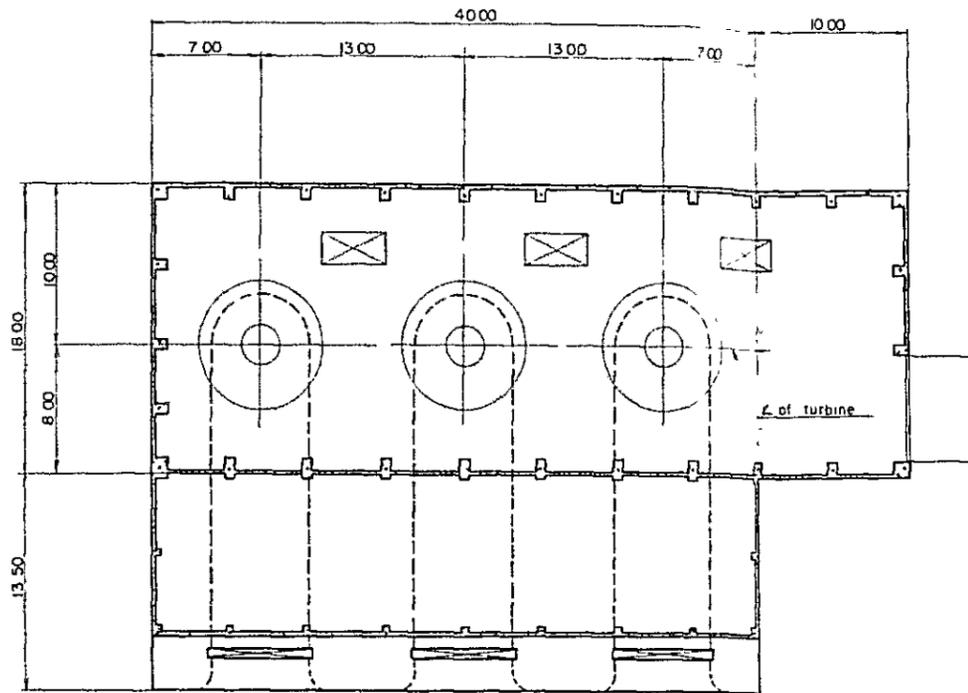


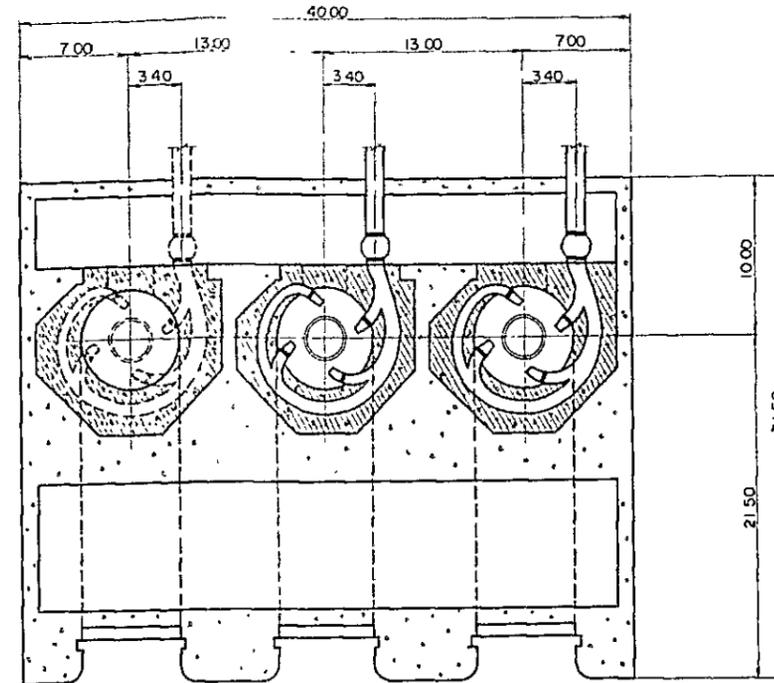
FIG - 4.10

HUACATA POWERHOUSE

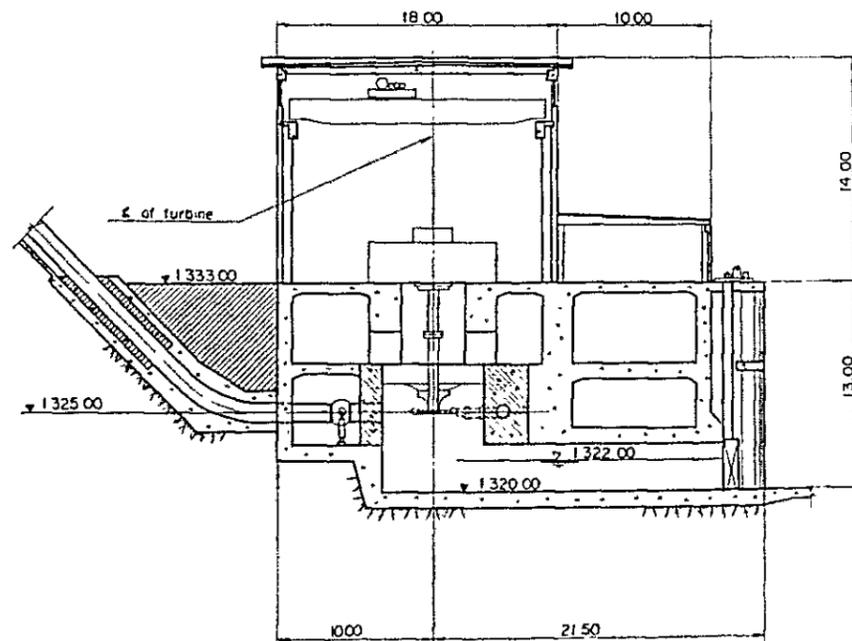
PLAN (EL 1333.00)



PLAN (EL 1325.00)



TRANSVERSE SECTION



LONGITUDINAL SECTION

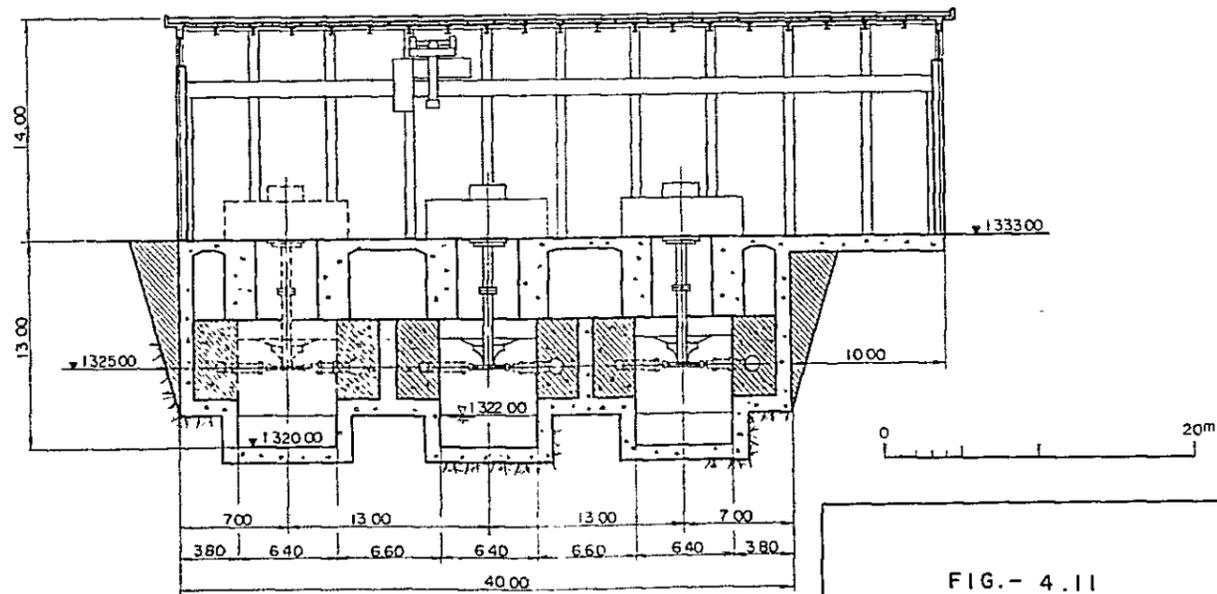


FIG.- 4.11

AGUAS CALIENTES POWERHOUSE

第5章 地質調査計画および地質踏査

5.1 地質調査計画

5.1.1 ボーリング

地質調査工事ボーリング数量は、Table - 5.1 に示す。

また、地質調査工事位置については、Fig - 5.1 に示す。

調査ボーリングの数量は合計24孔、延長960mであり、ダム地点で実施するボーリング孔については、全て透水試験を実施するものとする。調査ボーリングおよび透水試験を実施するものとする。調査ボーリングおよび透水試験の仕様は、5.3.1項に示す。

なお、調圧水槽地点および水圧管路地点の調査ボーリングで、ボーリング機械等の搬入が困難な場合は、横坑掘削による代用も可とする。

5.1.2 調査横坑

調査横坑数量はTable - 5.1に、位置図はFig - 5.1に示す。

調査横坑はダム地点で合計5坑、延長140mである。

横坑の寸法は高さ2m、幅2mとする。

5.1.3 弾性波探査（屈折法）

弾性波探査数量はTable - 5.1に、位置図はFig - 5.1に示す。弾性波探査はダム地点で合計5測線、延長350m、発電所地点で合計6測線、延長1,470mである。

Table - 5.1 List of Proposed Geological Investigation Works

Site		NO	Elevation (m)	Length (m) *	Direction	Remarks	
Dam	Drill Hole	R - 1	1,780	40	S 60° W , 50°	Water Pressure test, Right bank	
		R - 2	1,780	60	N60° E , 70°	"	
		R - 3	1,771	30	90°	"	
		R - 4	1,780	30	S 60° W , 60°	"	
		R - 5	1,770	30	90°	"	
		R - 6	1,770	30	90°	"	
		R - 7	1,771	30	90°	"	
		L - 1	1,795	40	N60° E , 60°	Water Pressure test, Left bank	
		L - 2	1,772	40	90°	"	
		L - 3	1,772	70	S 60° W , 45°	"	
		L - 4	1,776	30	N60° E , 50°	"	
		L - 5	1,770	30	90°	"	
		L - 6	1,770	30	90°	"	
		L - 7	1,775	30	90°	"	
	Total :		14 holes	520 m			
	Adit	RA - 1	1,785	30	S 60° W , 0°	Right bank	
		RA - 2	1,785	25	S 60° W , 0°	"	
		LA - 1	1,775	30	N60° E , 0°	Left bank	
		LA - 2	1,775	30	N60° E , 0°	"	
		LA - 3	1,785	25	N60° E , 0°	"	
Total :		5 adits	140 m				
Surge-tank	Penstock	S - 1	1,860	100 (50)**	90°		
Penstock		P - 1	1,720	30 (20)	90°		
		P - 2	1,570	30 (20)	90°		
Powerhouse	Drill Hole	P - 3	1,430	30	90°		
		PH - 1	1,341	40	90°		
		PH - 2	1,329	40	90°		
		PH - 3	1,334	40	90°		
		PH - 4	1,350	40	90°		
		PH - 5	1,339	40	90°		
PH - 6	1,334	50	90°				
Total :		10 holes	440 m				

Site		NO	Elevation (m)	Length (m)	Direction	Remarks
Dam	Seismic Prospecting	I		70		
		II		65		
		III		65		
		IV		70		
		V		80		
		Total :		5 traverses		350 m
Powerhouse	Seismic Prospecting	I		250		
		II		220		
		III		300		
		IV		250		
		V		250		
		VI		200		
		Total :		6 traverses		1,470 m

* Length of drill hole and depth of test adit.

** 調圧水槽および高標高部の水圧管路での調査ボーリングを横坑で代用する場合の横坑の長さ。

5.2 地質踏査

フィジビリティ調査において、下記事項について地質調査を実施すべきである。

5.2.1 ダム

ENDEの作成した1/10,000実測地形図を用いた詳細な地質図の作成。

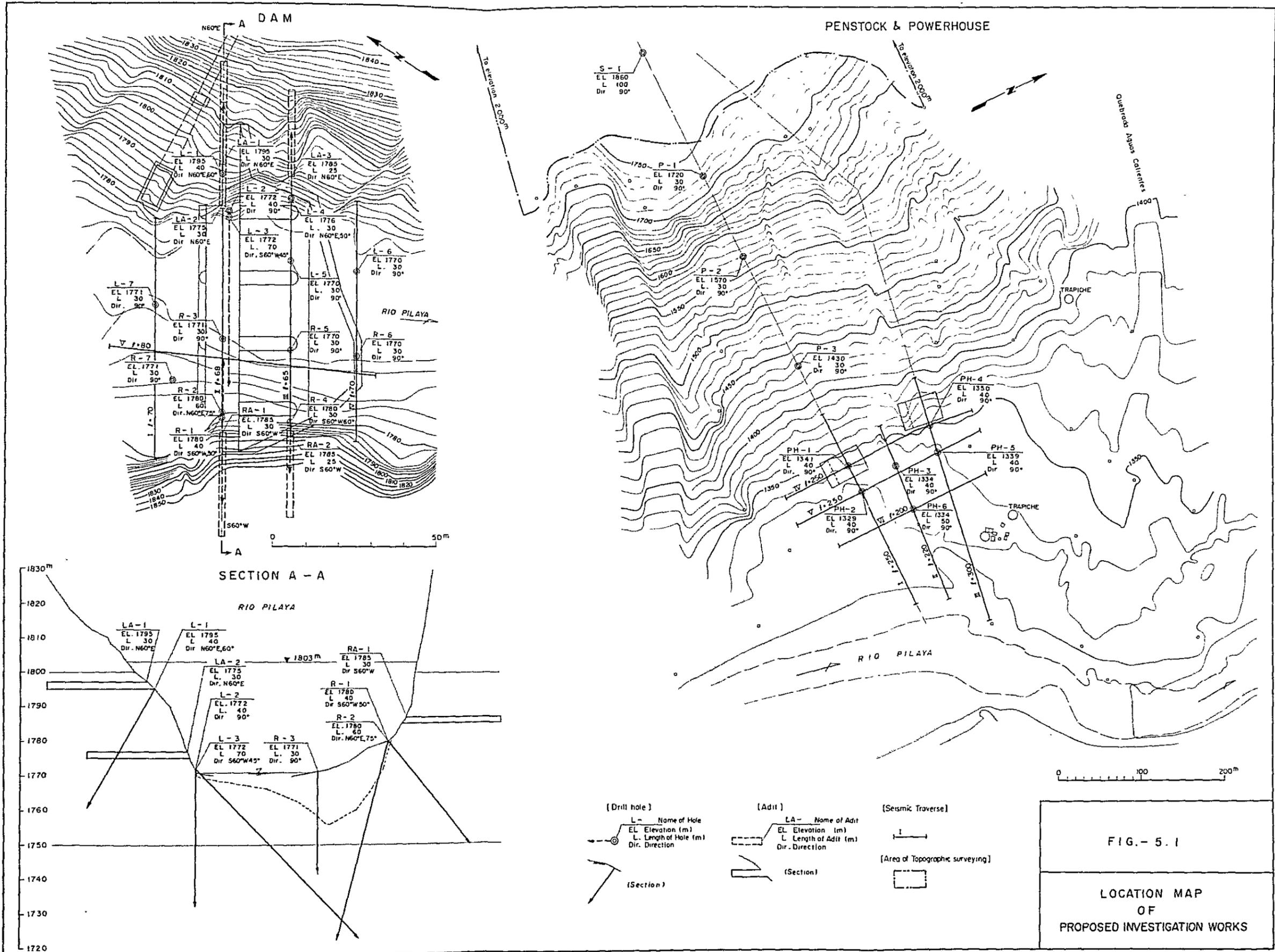
5.2.2 導水路トンネル

航測図 1/1,000 を用いた地質図の作成。

5.2.3 水圧管路および発電所

ENDEの作成した1/1,000実測地形図を用いた詳細な地質図の作成。

なお、ENDEの作成した水圧管路および発電所地点の実測地形図(1/1,000)は、標高1,740mまでであり、現在計画されているAgua Calientes水力発電計画は、調圧水槽の導水路敷高で約1,700mあり、このため仮設備工事等を考慮し、Fig-5.1に示す範囲の追加測量を実施すること、また、地形図にはダム地点の地形図も合わせ、座標グリッドを記入すること。



5.3 コアボーリングおよび透水試験仕様書

(1) 工事工程, 技術者, 使用機器

- 1) 工事の開始に先立って, 乙は地質状況を検討のうえ, ボーリングおよび透水試験の工程を検討し, 工程表, 技術者経歴書および使用機器一覧表を甲に提出し, 承認を求めるものとする。
- 2) この工事, 試験に従事する技術者は, 油圧式ボーリング機によるコアボーリングおよびボーリング孔を利用する透水試験について, 十分な経験と技術をもつ者とする。
- 3) この工事, 試験に使用する機器は, それぞれ下記の形式または能力のものとする。
 - a) ボーリング機 : 最終孔径 66 mm の孔を深さ 100 m 以上削孔可能な油圧式高速ロータリーボーリング機および最高のコア採取率を得るのに適したコアバーレル, およびダイヤモンドビット等の付属品一式。
 - b) ポンプ : 圧力 10 ㏩のもとで, 150 ℓ/mm 以上の吐出能力をもち, 吐出圧力および吐出量の脈動が小さい形式のもの。
 - c) 圧力計(送水用) : 目盛の最小単位が 0.5 ㏩以下のもの。
 - d) 流量計 : 目盛の最小単位が 1 ℓ/mm の積算流量計。
 - e) パッカー : 原則として, エクステンション(メカニカル)パッカーを使用するものとし, 岩質によっては, レザーパッカーを用いる。
 - f) 孔内水位測定器 : 電気回路式水位測定器で 1 cm 以下の読み取り精度をもつものとする。

(2) コアボーリング

1) 測量および機械の据付け

- a) ボーリング位置の測量は, 「ボーリング工事位置図」に示す基準点から, 甲が承認する方法で乙が行い測量成果を甲に提出するものとし, 甲によるボーリング位置の現地確認を求めるものとする。
- b) ボーリング機械は, 所定の孔口位置, 方向および傾斜に合わせて据付け固定し, 工事中の移動を防止するものとする。

2) 削孔および記録

- a) ボーリング孔径は, 66 mm 以上とする。
- b) ボーリングに際しては, 地層の状態に応じ, 使用するビットおよびコアバーレルの種類を選ぶとともに, ビット給圧, 回転数, 送水量を加減するなど, 地層の原形を損じないコアを 100% 採取するよう, 最大の努力を払うものとする。
- c) 孔壁の崩壊が予測される箇所では, ケイシングパイプの使用やセメンテーションによって崩壊を未然に防ぐ処置を行うこと。
- d) 削孔作業に関連する諸資料と現象は, これをすべて正確にボーリング野帳に記録し, 甲の承認する様式の日報用紙に転写して提出するものとする。

e) コア採取率の不良が明らかに乙の理由によると判定される場合および日報の記載が正確になされていない場合、甲は乙に対して、乙の負担による再削孔を命ずることができる。

f) 記録は C.G.S. 単位で行なうものとする。

g) RQD (Rock Quality Designation) : 1 m ごとに、10 cm 以上のコアの全長を測定し、パーセンテージで日報に記録する。

3) コアの整理と納入

a) コアの長さは、コアバーレル内にある状態で正味の長さを測定するものとする。

b) コアはバーレルから直接コア箱の当該深度区間に移し、動かないように収納するものとする。

c) コア採取不能区間については、スライムの採取可能な場合は、その区間のスライムをビニール袋に入れてコア箱の当該箇所に収納し、その他の場合は、当該区間へのコアのずれ込みを防止するものとする。

d) コア箱の内法長を 1 m とし、1 箱 5 列または 10 列とする。

e) コア箱の外面には、地点名、ボーリング番号、深度区間を、内面には深度 10 cm ごとのマークをそれぞれ記入するものとする。

4) ボーリング柱状図

ボーリング技術者は、削孔中の諸現象、測定記録およびコア観察結果をもとにして、ボーリング柱状図を作成するものとする。ボーリング柱状図は、甲の承認する様式によるものとする。

5) コア写真

コア箱に整理されたコアを、各箱ごとにカラーフィルムで撮影するものとする。撮影は、直射日光をさけた明るい場所で行なうものとし、乾燥したコアは表面を水でぬらすものとする。

6) 孔内水位の測定

毎日、作業開始前および終了後に孔内の水位 (単位 : cm) を測定し、日報に記載するものとする。

7) 孔口標識の設置

削孔完了後、孔口に木栓などを打込み、その上部にボーリングの番号を記入するものとする。

(3) 透水試験

透水試験は、Table - 5 1 に示す指定したボーリングについて実施すること。

1) 透水試験は、ボーリング孔に装着したバッカーと孔底の間のボーリング孔に清水を圧入する、いわゆるシングルバッカー・ステージ工法によるものとする。

- 2) 試験は表土、砂礫およびパッカーの装着が不可能な表層風化部を除く岩盤について実施するものとする。
- 3) 1 試験区間の長さは原則として 5 m とする。ただし、次に述べるパッカー位置の選定により増減を生じることがある。
 - a) パッカーの装着は、コア観察結果から所定深度およびその上部で亀裂の少ない位置を選ぶものとする。
 - b) 注入開始後、パッカー上部への水漏れが発見または推定されたときは、パッカーを上部に移動して再試験するものとする。ただし、この場合、着岩後第 1 回目の試験では、パッカーを着岩点から順次下方へ移動して、パッカー装着部からの水漏れのないところを選ぶものとする。
- 4) 試験区間の削孔終了後、濁水およびスライムが排出しなくなるまで、孔底まで挿入したロッドを通して、孔内を洗うものとする。
- 5) 注入サイクルは、孔口からパッカー位置までの深さに応じ、下表のとおりとする。ここでいう注入圧とは、孔口近くに置かれた圧力計の示す圧力をいう。

着岩後の深度	注入サイクル 覧
5 m まで (第 1 ステージ)	1 - 2 - 3 - 2 - 1
5 ~ 10 m (第 2 ステージ)	1 - 3 - 5 - 3 - 1
10 m 以深 (第 3 ステージ 以下)	1 - 5 - 10 - 5 - 1

- 6) 注入量の測定は、各注入圧力段階で 10 分以上の予備注入を行ない、注入量が一定になったことを確認した後開始するものとする。注入量の測定時間は 10 分間とする。
- 7) 注入量の測定は 1 分間隔に行うものとし、甲が承認する様式の記録用紙に測定結果を記録するものとする。
- 8) ある圧力のもとで、注入量がポンプの吐出量を越えるときは、それ以上の注入圧による試験は行なわない。この場合、パッカー位置を下部へ変更し、試験区間を短縮して、所定の注入圧による試験を実施するものとする。
- 9) 孔底深度、パッカー位置、地下水位および孔口から圧力計までの高さは正確に測定し、記録用紙の所定欄に記入するものとする。
- 10) 試験結果から、次式により各注入圧ごとのルジオン値を求めるものとする。ルジオン値は、記録用紙の所定欄に記入すると共に一覧表にまとめるものとする。

$$Lu = \frac{10 Q}{PL}$$

Lu : ルジオン値

P : 有効注入圧 (覧)

Q : 注入量 (ℓ/min)

L : 試験区間長



有効注入圧は、圧力計位置から試験区間の midpoint までの静水圧、地下水位、管内抵抗による損失水頭などによって、下記の補正を行なって求めるものとする。

$$P = P_0 + (h_3 - h_4) \times 0.1$$

P_0 : 圧力計指示圧力 (㉞)

h_3 : P.55 の図を参照のこと (m)

h_4 : 管内抵抗による損失水頭 (m)

長さ 3 m, 内径 31 mm, 継手長 110 mm, 継手内径 17 mm,
のロッドを使用した場合は, $h_4 = Q^2 \ell \times 10^{-4}$

ただし, ℓ : 注入管長

(4) 成果品

乙は、次の内容を含む報告書 5 部を甲に提出するものとする。

- 1) ボーリング孔位置図 (1/1,000 地形図)
- 2) ボーリング一覧表 (各孔の位置, 孔口標高, 掘進長, 岩盤までの深さ, 岩盤掘進長, 岩盤コア採取率, その他)
- 3) ボーリング柱状図
- 4) コア写真
- 5) 透水試験記録およびルジオン値計算結果
- 6) 各試験区間ごとの圧力 - 注入量曲線

報告書は英文で作成すること。



