

コロンビア共和国 小規模発電設備修復計画 フィージビリティ調査

主報告書

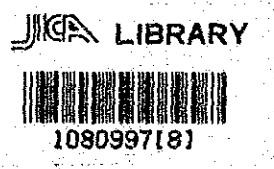
平成2年3月

国際協力事業団

紙計算
CR3
90-68

コロンビア共和国
小規模発電設備修復計画
フィージビリティ調査
主報告書
平成2年3月
国際協力事業団

1705
64.8
MPH



20927

コロンビア共和国
小規模発電設備修復計画
フィージビリティ調査

主報告書

平成2年3月

国際協力事業団



国際協力事業団

20927

序 文

日本国政府は、コロンビア共和国政府の要請並びに1987年11月～1988年6月に実施された同国の小規模発電設備修復計画に関するプレ・フィージビリティ調査の結果に基づき、当該計画のフィージビリティ調査を行なうこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、八千代エンジニアリング(株)小野匡美氏を団長とする調査団を編成し、1988年11月から1990年2月までの間、五次にわたる現地調査を実施した。

調査団はコロンビア国政府関係者と協議を行なうとともに当該地域での現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書がコロンビア国における効率的な電気事業に寄与するとともに、ひいては同国と我が国の友好親善をより一層深めることに貢献できれば幸いである。

終わりに、本調査に際し多大のご協力を頂いた同国の関係各位に対し、深く感謝の意を表するものである。

1990年3月

国際協力事業団
総 裁 柳 谷 謙 介

伝 達 状

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介 殿

コロンビア共和国・コロンビア電力庁（ICEL）所管の小規模発電設備修復計画に関するフィージビリティ調査報告書を、ここに提出いたします。

本調査は、昭和63年6月に提出したプレ・フィージビリティ調査報告書にもとづいて、コロンビア電力庁（ICEL）との協議を経て、選定された12地点の小規模発電設備（火力発電所：1地点，水力発電所：11地点）の修復に関するフィージビリティ調査であります。

当該フィージビリティ調査は、昭和63年11月に現地調査に着手してから平成2年3月に報告書の草案を作成するまで約17ヶ月にわたって実施されました。調査団は本調査報告書の草案を貴事業団に提出するとともに、平成2年1月29日から同年2月19日までコロンビア共和国を訪問し、この草案に関してICEL関係者と協議を行ないました。この協議において質疑された事項はすべて本報告書に盛り込まれております。

本調査報告書でとりあげた火力発電所は、Boyaca県、Boyaca電力会社のTermopaipa発電所（定格出力173MW）の1ヶ所だけあります。修復計画は、1975年建設の既設2号機（現在出力66MW）のタービン取替えによる8MWの出力増加を主体にした2号機改造計画と冷却塔を新設した冷却水システムの変換計画の2つに大別されています。修復概算工事費は平成元年9月の積算基準で、既設2号機の改造計画が約16.9億円（外貨分約10.8億円）、冷却水システムの変換計画が約20.8億円（外貨分約12.3億円）で合計約37.7億円（外貨分23.1億円）と見積られます。

水力発電設備の修復計画については、候補にあげられた11地点の中から、発電計画の経済指標および費用便益分析結果に地方電化のニーズを加味して厳選の上、実現性が高くか

つ早期着工が容易な Municipal, Intermedia, San Cancio及び Julio Bravoの4地点を推挙しました。これ等、4つの水力発電所の修復計画が実現すると発電出力は8,850kW増加し、年間発電電力量で84.8GWhの増大が期待されます。修復概算工事費は平成元年9月の積算基準で約21.6億円（内、外貨分約12.0億円）と見積られます。なお、今回のフィージビリティ調査は、修復という調査範囲に限定されたので、別の視点から即ち、既設の小規模発電所が包蔵している水力の再開発といった面から捉えた場合、有望な開発地点が数多く残されていることも併せて提言してあります。

調査団は、本報告書で選択した修復候補地点がその実現化に向けて進展し、同時にICE Lグループの技術者に対し関連技術移転の成果が結実することを切望するものであります。

本報告書を提出するに当たり、現地調査ならびに国内作業の全期間を通じ多大の援助と協力を賜った貴事業団をはじめ、在コロンビア日本大使館ならびにICE Lグループの関係者各位に対し、衷心から感謝の意を表するものであります。

平成2年3月

コロンビア共和国小規模発電設備修復計画調査団

団長 小野 匡美

目 次

	頁
序 文	
伝達状	
目 次	
略 語	
本調査の要約	
第1章 本報告書の内容	1-1
第2章 調査計画	2-1
2.1 調査対象地点	2-1
2.2 調査団の編成	2-3
2.3 調査項目	2-4
2.4 調査の作業フローと実施工程	2-6
第3章 ICBLグループの電力事情	3-1
第4章 基礎資料の収集と整理結果	4-1
4.1 水文資料	4-1
4.2 地形・地質資料	4-5
4.3 建設物価資料	4-8
第5章 TERMOPAIPAの修復計画	5-1
5.1 # 2号ユニットの出力増加計画 (66MW→74MW)	5-1
5.2 # 2号ユニットの計装方式の変換計画	5-1
5.3 冷却方式の変換計画	5-2
5.4 環境問題とその対策	5-3

第6章	水力発電所の修復計画	6-1
6.1	地点別修復計画案の比較検討	6-1
6.2	地点別最適修復計画	6-44
6.3	経済及び財務分析による評価	6-50
6.4	運転・保守・管理マニュアル	6-67
第7章	結 び	7-1
7.1	TERMOPAIPA火力発電所の修復計画	7-1
7.2	水力発電設備の修復計画	7-2
7.3	小規模水力発電設備の再開発に対する提言	7-6

付属資料

付-1	報告書目録
付-2	修復計画の対象に挙げられた小規模発電所リスト
付-3	コロンビア国内の電力セクターの関連組織表
付-4	流れ込み式水力発電所における 運転・維持・管理のための汎用マニュアル（案）

田各 語

ABBREVIATION

CAMBSA	Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S. A.
CAR	Corporacion Autonoma Regional de la Sabana de Bogota y de los Valles de Ubate y Chiquinquira.
CEDELCA	Centrales Electricas del Cauca S. A.
CEDENAR	Centrales Electricas de Nariño S. A.
CELGAC	Compania de Electricidad y Gas Cundinamarca
CHEC	Central Hidroelectrica de Caldas S. A.
CIF	Cost, Insurance and Freight
CRQ	Corporacion Autonoma Regional del Quindio
GRAMSA	Corporacion Regional Autonoma Manizales Salamina Aranzazu
CVC	Corporacion Autonoma Regional del Valle del Cauca
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadistica
E.	Electrificadora de
EBSA	Electrificadora de Boyaca S. A.
E. P.	Empresas Publicas
E/P	Electric Precipitator
EADE	Empresa Antioqueña de Energia S. A.
EDEQ	Empresa de Energia del Quindio
EEASA	Empresa de Energia del Amazonas S. A.
EEB	Empresa de Energia de Bogota
ELECTRAGUAS	Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Electrico
ELECTROLIMA	Electrificadora del Tolima S. A.
EPM	Empresas Publicas de Medellin
EPP	Empresas Publicas de Pereira
ESSA	Electrificadora de Santander S. A.
F/S	Feasibility Study
FOB	Free on Board
HIMAT	Instituto Colombiano de Hidrologia, Meteorologia y Adecuacion de Tierras
HP	High Pressure
ICEL	Instituto Colombiano de Energia Electrica
IGAC	Instituto Geografico 'Agustin Codazzi'
ISA	Interconexion Electrica S. A.
JICA	Japan International Cooperation Agency
P/P	Power Plant
S. A.	Sociedad Anonima
WHO	World Health Organization

本調査の要約

内容目次

	PAGE
1. 本調査の背景と経緯	S-1
2. 調査計画	S-2
2.1 F/S 対象発電所	S-2
2.2 調査団の編成	S-2
2.3 調査工程	S-6
3. TERMOPAIPA 火力発電所の修復計画	S-8
3.1 既設#2号機の改造計画	S-8
3.2 冷却水の冷却システムの変換計画	S-10
3.3 環境問題に関する提言	S-12
4. 水力発電所の修復計画	S-14
4.1 選別基準による分類	S-14
4.2 費用便益分析	S-17
4.3 修復計画の実施地点	S-21
4.4 小規模水力発電設備の再開発に対する提言	S-26

1. 本調査の背景と経緯

コロンビア共和国の電力需要は、1970年代に15～20%の増加を示し、同国政府は将来においても順調な増加を見込み、これに対応すべく大規模な水力発電を中心とする電源開発計画を進めていた。しかし、1980年代に入り電力需要の増加がかけりをみせ、近年の電力需要の伸びは年4～5%におさまっている。

このため、それまで積極的に建設を進めていた電源開発が結果的に過大投資となり、コロンビアの電気事業は財政的に困難な状況に追い込まれ、コロンビア政府は1990年までは新規の大規模電源開発の着工はしないことを決定している。

このような状況の中で、コロンビア政府は、従来の電源開発からとり残されていた地方の既設小規模発電設備の修復・最適規模化、地方電化のための小規模電源の開発及び送配電線の建設を重点的に進めることとしている。

コロンビア政府は、その電力政策の一環として、コロンビア電力庁 (Instituto Colombiano de Energia Electrica, 以下「ICEL」という。) が所管する15の公営電力企業の小規模発電所82地点 (火力: 3, 水力: 62, ディーゼル: 17) について、その修復計画を策定するための調査を1987年2月に日本政府に要請越した。

JICAは本調査をプレ・F/S (1987年度) とF/S (1988～89年度) の二段階にわけて実施し、プレ・F/Sでは82地点の中からF/Sに適した候補地点を選定することとした。

プレ・F/Sの結果、コロンビア側との協議を経てF/S候補に選定された小規模発電設備は12地点 (火力: 1, 水力: 11, ディーゼル: 0) である。

2. 調査計画

本F/Sは、1988年7月にICELとJICA (Japan International Cooperation Agency) との間で合意されたScope of Work (以下S/W という) に基づいて実施された。

2.1 F/S 対象発電所

本F/Sの対象に選定された12地点の小規模発電所名を挙げると次の通りで、その位置を示すと図-1の通りで、コロンビア国南西部の8県に広く分布している。

Termopaipa 火力発電所	.....	Boyaca 県
Puente Guillermo 水力発電所	.....	"
Caracoli "	.....	Antioquia 県
San Cancio "	.....	Caldas 県
Intermedia "	.....	"
Municipal "	.....	"
Silvia "	.....	Cauca 県
Ovejas "	.....	"
La Vuelta "	.....	Choco 県
Julio Bravo "	.....	Nariño 県
Zaragoza "	.....	Santander 県
Lagunilla "	.....	Tolima 県

11地点の小規模水力発電所は、すべて流れ込み式の発電所で、これ等の現状を示すと表-1の通りである。11地点の発電設備容量の合計は約17MWに対して、現在出力の合計は 8.8MWであり、約50%の出力低下となっている。

2.2 調査団の編成

JICA F/S調査団は、プレ・F/Sに従事した団長・団員に水力発電計画(土木)、水力発電設備(機械)、水文(電気)、地質及び経済の専門家を補強して下記のメンバーで構成した。

区 分	担当分野	氏 名
団 長	総 括 (土木)	小 野 匡 美
団 員	水力発電計画 (土木)	遠 山 武 羅 夫
"	水 文 (電気)	野 仲 進
"	水力発電計画 (土木)	川 崎 義 雄
"	水力発電設備 (機械)	高 橋 彰 (国内作業のみ)
"	水力発電設備 (電気)	玉 井 昌 幸
"	火力発電設備 (機械)	下 村 栄 司
"	火力発電設備 (電気)	瀬 戸 寛 仁
"	地 質	内 瀬 戸 信 彦
"	地 質	井 上 隆
"	経 済	上 田 正 明



図-1. 発電所位置図

・ 火力発電所

コード番号	番号	発電所名
101	⑪	Termopalpa 火力発電所

・ 水力発電所

コード番号	番号	発電所名
201	②	Caracoli 水力発電所
210	③	P. Guillermo 水力発電所
211	④	San Cancio 水力発電所
212	⑤	Intermedia 水力発電所
213	⑥	Municipal 水力発電所
227	⑦	Silvia 水力発電所
228	⑧	Ovejas 水力発電所
233	⑨	La Vuelta 水力発電所
248	⑩	Julio Bravo 水力発電所
251	⑫	Zaragoza 水力発電所
261	⑬	Lagunilla 水力発電所

・ 調査地点の分布状況

県名	発電所		合計
	火力	水力	
Antioquia	0	1	1
Boyaca	1	1	2
Caldas	0	3	3
Cauca	0	2	2
Choco	0	1	1
Nariño	0	1	1
Santander	0	1	1
Tolima	0	1	1
合計	1	11	12

表-1 修復計画対象に選定された流れ込み式水力発電所の現況

JICA コード NO	水力発電所	電力会社	県別	使用水量 Q(m ³ /s)	落差 H(m)	定格出力		運 転 現 況			摘 要
						型式×台数*	Po (kW)	供用年数**	現有出力 Pe (kW)	Pe/Po(%)	
201	Caracoli	E A D E	Antioquia	5.0	86.0	P×1 F×1	1,600 1,600	55 27	1,150 1,150	72 72	
210	P. Guillermo	E B S A	Boyaca	2.6	58.0	F×2	640 640	30 40	0 0	0 0	水圧管路の破損のため 1984年より運転停止中
211	San Cancio	CHEC	Caldas	5.6	59.8	F×1 P×1	1,350 970	43 61	1,000 750	74 77	理論出力と定格出力との間 に大きなアンバランスがあ る。
212	Intermedia	〃	〃	5.6	59.0	P×1	1,120	43	900	80	
213	Municipal	〃	〃	5.6	80.6	P×2	1,056×2	45	700×2	66	
227	Silvia	CEDELCA	Cauca	1.5	31.0	F×1 F×1	500 104	36 30	0 100	0 96	1972年より故障により 運転停止
228	Ovejas	〃	〃	7.0	24.5	F×1	900	51	650	72	
233	La Vuelta	E. CHOCO	Choco	54.0	4.8	F×1 F×1	1,000 1,000	75 60	300 200	30 20	
248	Julio Bravo	CEDENAR	Nariño	2.0	120.0	P×3	500×3	48	0	0	水圧管路の破損のため 1983年より運転停止
251	Zaragoza	E S S A	Santander	6.5	30.0	F×1 F×1 F×1	520 520 520	40 58 53	400 400 400	77 77 77	
261	Lagunilla	ELECTROLIMA	Tolima	0.5	120.0	P×1 P×1	240 152	50 50	0 0	0 0	1972年より機器故障のため 運転停止

(注) * P:ペルトン型, F:フランシス型

** 供用年数は製作年より起算

● ICEL カウンターパートの編成

ICELがJICA F/S調査団のカウンターパートとして任命したエンジニア及びその所属を示すと次の通りである。

Juvenal Penaloza Rosas	Ing. Civil	Jefe Div. De Centrales
Jairo E. Gonzalez Morales	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Rafael Torres Mariño	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Mario Gutierrez Ospina	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Rafael Gomez Florez	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Jorge E. Hurtado Muñoz	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Augusto Sanabria Diaz	Ing. Mecanico	Ing. Div. De Centrales
Luis E. Becerra. P.	Ing. Mecanico	Ing. Div. De Centrales
Ramiro Velasco	Ing. Electrico	Ing. Div. De Centrales

● 各電力会社の支援スタッフ

JICA F/S調査団は、当該修復対象地点の現地調査並びに資料収集に際して、次に挙げる公営電力会社の技術スタッフの協力・支援を得た。

<u>電力会社</u>	<u>氏 名</u>	<u>所 属</u>
EADE	Humberto Alonso Cadavid A.	Manager of Planning Department
	David Aguilar	Manager of Substation and Plants
	Walter Leon Ospina Ortiz	Planning Engineer
EBSA	Edgar Olante Reyes	President
	Francisco Duque	Vice President
	Enoc Guerrero	Chief of Planning Dept.
	Hector Pulido	Chief of Termopaipa
	Jorge Hernan Ramirez S.	Chief of Service Engineer
	Pedro Lesmes	Service Engineer
	Avelino Cely	Service Engineer
	Fernando Crus F.	Chief of Electrical Engineer
	Jose De Los Santos Cardenas	Electrical Engineer
	Alvaro Delgado O.	Production Engineer
Fabio Abril G.	Mechanical Engineer	
Reinaldo Avelia	Operation Engineer	
Flaviano A. Gonzalez	Civil Engineer	
CHEC	Alberto Naranjo A.	Director of MIEL Project
	Hernando Duque Vargas	Manager of Small Plants
	Jorge H. Garcia C.	Member of MIEL Project
	Claudia M. Agudelo	Member of MIEL Project

E. Choco	Juan B. Hinestroza C.	President
	Jose Wilson Guerrero	Chief of Planning Office
	Jose Antonio Correa H.	Engineer
	Luz Elba Gonzalez	Engineer
	Carlos Osorio Molina	Manager of 'Metales Preciosos del CHOCO'
	Juan Ramon Gilabert	Chief of La Vuelta Power Plant
CEDELCA	Fernando Iragorri Cajiao	President
	Jose Morales M.	Vice President
	Larry Guzman M.	Civil Engineer
CEDENAR	Hernando Carreno Pilonieta	President
	Enrique Moreno B.	Vice President
	Diego Delgado Ruiz	Director of Power Generation/ Transmissio Program
	Juan Carlos Salazar	Civil Engineer
	Alvaro E. Martines	Civil Engineer
ESSA	Hernando Uribe Nino	President
	Ruben Gelves Diaz	Vice President
ELECTROLIMA	Ivan Nichols N.	President
	Hugo Neira S.	Chief of Planning Division
	Francisco Corrales	Chief of Small Power Plants

2.3 調査工程

本 F/Sは1988年11月に現地踏査に着手してから、1990年3月に最終報告書の提出まで17ヶ月間にわたって表-2に示すように、S/Wに定められた調査項目に従って現地作業と日本国における国内作業に分けて実施した。

表-2 調査工程表

作業項目	1988												1989												1990								
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4			
プロジェクト月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																
1. 既存資料の検討・分析	|||||																																
2. 現地踏査	|||||	|||||	|||||	|||||																													
3. (1) 作業計画	|||||																																
(2) 作業準備					|||||																												
(3) 地形測量					|||||	|||||	|||||																										
(4) 航測図化					|||||	|||||	|||||																										
(5) 地質調査					|||||	|||||	|||||																										
(6) 資料収集								|||||																									
4. 電力事情調査								|||||																									
5. 最適計画案の選定									|||||																								
6. ファイナリティ・グレード設計										|||||																							
7. 構造安定解析											|||||																						
8. 施工計画												|||||																					
9. 工事費積算													|||||																				
10. 経済・財務分析														|||||																			
11. 維持・管理マニュアル															|||||																		
1. インセンション・レポート																																	
2. プログレス・レポート																																	
3. インテリム・レポート																																	
4. ドラフト・ファイナル・レポート																																	
5. ファイナル・レポート																																	

凡例：
 ■■■■■ 現地作業, ■■■■■ ICEL現地作業, □ □ □ □ □ IICA国内作業, △ △ △ △ △ 報告書提出

3. TERNOPAIPA 火力発電所の修復計画

Termopaipa 火力発電所（定格出力173MW）における調査事項は3項目である。その中の2項目は以下に挙げる通り、修復のための調査というよりも既設2号機（現有出力66MW）が直面している不具合の解消ならびに運転保守点検面での信頼性向上対策といった改造計画のための調査である。

● 調査項目-1：

#2号機のタービン取替えによる出力増加計画（66MW → 74MW）

● 調査項目-2：

#2号機の空気式計装システムから電気式計装システムへの変換計画

残りの1項目が、Termopaipa 発電所全体を対象とした冷却用水の冷却システムを改修するP/Sである。

● 調査項目-3：

冷却池を用いたオープン冷却システムを冷却塔によるクローズド冷却システムに変換する計画

3.1 既設#2号機の改造（Renovation Plan）計画

3.1.1 タービン取替えによる出力増加計画（66MW→74MW）

1975年に建設された2号機の発電設備は発電機定格出力74MWに対してタービン定格出力は66MWでその間に8MWのギャップがある。

据付け後15年を経過した既設の古いタービン本体の部品（タービンローター、ブレード、ノズル、ダイヤフラム等）ならびに給水加熱器を新品に取り替えることによってタービン出力を66MWから74MWに増加することが出来る。

● #2号機タービン取替え工事計画

製造・据付費	……………	885百万円
(外貨分)		567百万円
(現地貨分)		318百万円
工 期	……準備作業	7ヶ月
	製 造	14ヶ月
	据付テスト	4ヶ月
	計	25ヶ月

● 経済指標

kW当り建設コスト …… 111 千円/kW

kWh 当り発電原価 …… 2.9 円/kWh

● 実施に向けての留意事項

タービン出力を8 MW増加した場合、必要な蒸気量は285.85T/Hになる。既設#2ボイラーの蒸気発生量はピークで300T/H，連続最大284T/Hとなっているので、最大連続容量の場合は、1.85T/H蒸気量が不足する計算になる。したがって、本計画の実施に当っては、まず最新のデータにもとづいて既設ボイラーメーカーとボイラー性能について詳細な打合せを実施する必要がある。

3.1.2 計装システムの変換計画

本改修計画の目的は、現在ある#2号機の空気式計測装置を電気式に変換することによって、適正な運転，円滑な維持管理ならびに保守点検の容易さを確保し監視・制御の信頼度の向上を図ることである。

現在、中央監視盤で監視・制御を行っているボイラー設備とタービン設備の計測装置を中心に、電算機を導入した総合的な電気式計装システムに変換する。主な変換項目を示すと次頁の通りである。

制 御 項 目	計 画 の 内 容
(1) ボイラー設備	
1) ボイラー自動制御	— デジタルボイラー自動制御装置 (DDC) に置き換える。
2) ボイラーマスタの自動制御	— Coal feeder speed をCoal flow としてフィードバックする。
3) 重油流量制御	— 重油流量計を設置することによりDDC にボイラー・マスタ回路を新設する。
4) 主蒸気圧力制御	— 出口蒸気温度のカスケード制御をDDC に新設する。
5) 起動用給水制御	— 起動時のドラム・レベル制御を起動用給水制御弁で行えるようにDDC 制御回路を設ける
(2) タービン設備	
1) 機械ガバナー	— 電気ガバナー (DEH) に転換する。これにより昇速，周波数，ストレス，弁切替，自動ランバック，負荷及びガバナー自動追従の自動化を図る。
2) 復水器及び脱気器のレベル制御	— DDC によるRemote controlに変換する。

● #2号機計装システム改修計画

製造・据付費	801百万円
(外貨分)	515百万円
(現地貨分)	286百万円

工 期

準備作業	10ヶ月
製 作	12ヶ月
据付テスト	5ヶ月
計	27ヶ月

● 経済指標

発電原価の増分	0.28円/kWh
---------	-----------

● 実施に向けての留意事項

計装システムを変換する場合、既存の計装システムの各側点及びその位置を明確に示した図面を完備しておく必要がある。また、#3号機の計装システムとの整合性にも配慮する必要がある。

なお、ボイラー設備のデジタル・ボイラー自動制御装置（DDC）への変換に伴って給水流量制御システムが変更になる。

3.2 冷却水の冷却システムの変換計画

現在の冷却システムは、復水器及び補機軸受を冷却した水が、取水口上流の Chicomocha 川に放流されていて、次に挙げるような問題を抱えている。これ等の問題を解消し、冷却効率の向上を計るために、新たに冷却塔を設置して、冷却水を循環させる冷却システムの変換計画を策定した。

● 現在の冷却システムにおける問題点

- 1) 自然冷却のために広大な面積の冷却池を必要とする。
- 2) 冷却水の取水温度が自然に高くなり冷却効率が低下する。
- 3) 冷却池を用いた自然冷却のため、冷却効率が天候に左右されやすい。
- 4) 冷却池の温度上昇が水草（Buchon 等）の繁殖を助長して水の循環を悪化させる。また、繁殖した水草を除去する経費の負担も軽視できない。

冷却塔の型式にも色々な種類があるが、結論として強制通風冷却塔を選択した。強制通風冷却塔を用いた循環式冷却システムの設計条件を示すと次の通りである。

● 循環式冷却システムの設計仕様

- 冷却塔容量
 - #1 ユニット用 7,000 m³/H
 - #2 ユニット用 13,000 m³/H
 - #3 ユニット用 13,000 m³/H
- 冷却水温度 冷却塔入口：35℃
冷却塔出口：27℃
- 外気温度（湿球温度） 13℃
- 冷却水昇圧ポンプの概略仕様
 - (容量) × (揚程)
 - #1 ユニット用 7,000 m³/H × 20m
 - #2 ユニット用 13,000 m³/H × 20m
 - #3 ユニット用 13,000 m³/H × 20m
- 循環する冷却水の水質改善の為に薬液注入装置を設置する。

● 見積り金額及び工期

見積り金額（金額単位—百万円）：

	外貨分	現地貨分	計
機器費	1,227	—	1,227
据付費	—	690.2	690.2
土木工事費	—	163.8	163.8
合計	1,227	854.0	2,081

工期：	準備作業	13ヶ月
	機器製作	10ヶ月
	輸送	2ヶ月
	据付・試験	9ヶ月
	計	34ヶ月（含土木工事期間の7ヶ月）

● 経済指標

発電原価の増分 …… 0.7円/kWh

● 実施に向けての留意事項

冷却塔設置計画スペースは、Chicamocha 川に近い地点なので十分な地耐力が得られるか否か、事前に地盤調査を行い確認すること。

既設埋設物の調査・確認を行い、もし、埋設物がある場合は、既設を改造するか又は新設部分の設計変更を検討すること。

3.3 環境問題に関する提言

当該発電所が現在直面している環境へ与える悪影響としては、#1ユニットに集塵器がないことに起因する煤煙と、Chicamocha 川への石炭灰の流出が挙げられる。このうち后者は、下流域の都市に多大な影響を及ぼすので既存灰捨場の護岸工事の実施及び新しい灰捨場適地探しを含め、早急に総合的な対策を立案する事が望まれる。

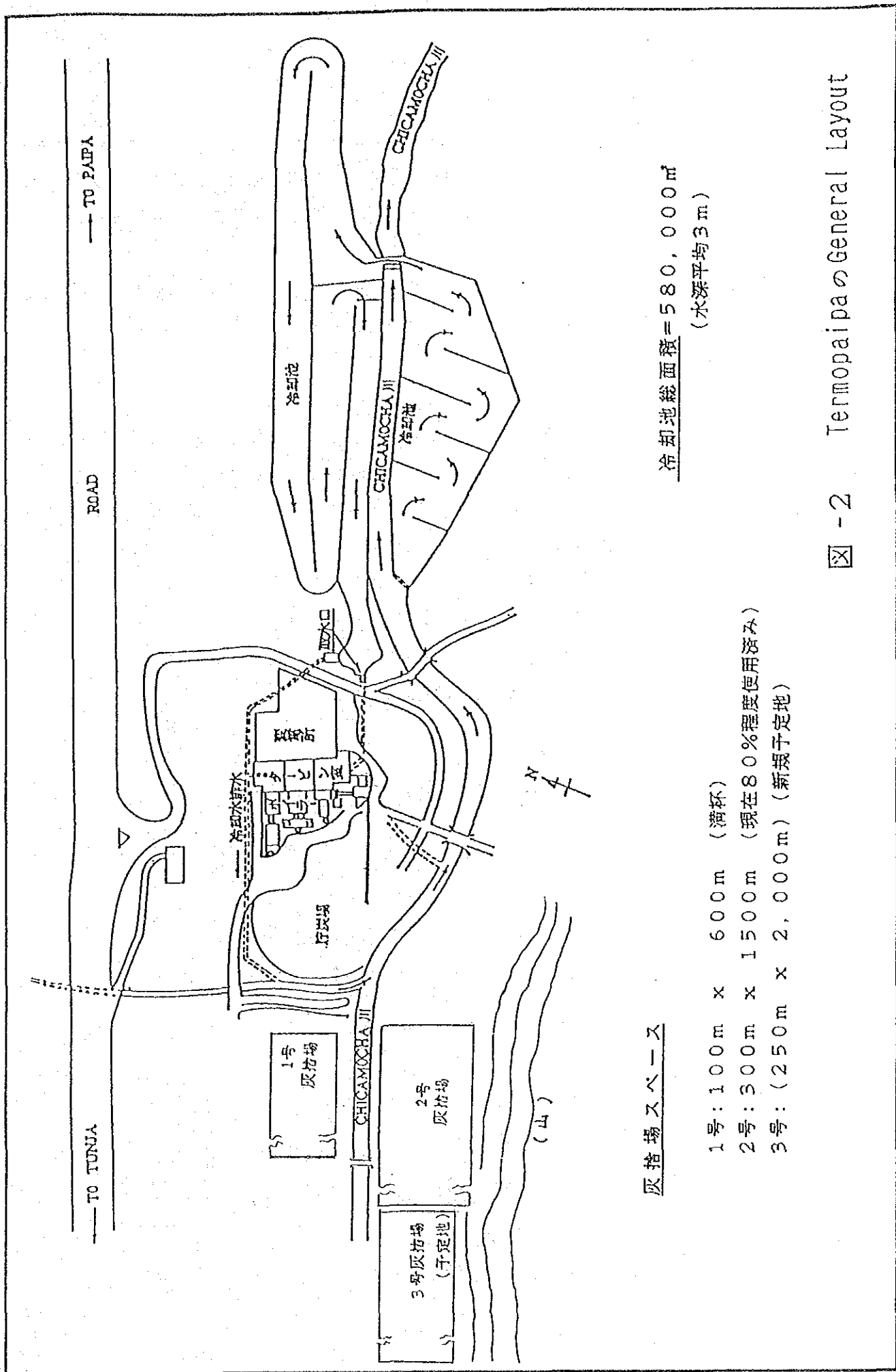
#1ユニットの煤煙防止のため、新たに電気集塵器を設置するには、既設ボイラー周りに十分なスペースがないので既設の煙突を撤去し、新たに煙突を築造する等の大々的な改造工事を伴うので実現性に乏しい。

既設ならびに現在使用中の灰捨場から、石炭灰の流失を防止する対策としては、極めて汎用的な方法ではあるが次のような案が挙げられる。

- ① Chicamocha 川の両岸に流出防止用壁を設置する。
- ② 灰捨場内の雨水は場内に濾過槽、沈澱槽を設け浄化した後、Chicamocha 川に排出する。
- ③ 2号灰捨場と山の間には、山側からの雨水を処理する為の適切な排水路等を設ける。
- ④ 灰捨場からの風による灰の飛散防止策として、灰を土又は砂で覆いそこに芝生や樹木などを植える。

一方、将来的な環境問題として次のようなことが指摘される。即ち、1958年に建設された#1号機 (33,000kW) の旧式化ならびに老朽化が進む過程で、Boyaca 地方の電力需要の増加が進み将来の増設を考えた場合、灰捨場の用地確保、灰の流出公害防止ならびに周辺環境保全等の対策が不可欠である。

したがって冷却塔方式への変換については、冷却効率の向上以外に冷却池を利用した既存のオープンサイクル冷却水システムを冷却塔を用いたクローズドサイクル冷却水システムに転換することによって、広大な面積を占めている冷却池の跡地利用 (約58万㎡) のメリットについても注目する必要がある。(図-2参照)



灰捨場スペース

- 1号: 100m x 600m (溝杯)
- 2号: 300m x 1500m (現在80%程度使用済み)
- 3号: (250m x 2,000m) (新規予定地)

冷却地総面積 = 580,000㎡
(水深平均3m)

図 - 2 TermopaipaのGeneral Layout

4. 水力発電所の修復計画

修復計画のF/S対象に挙げられた11ヶ所の小規模水力発電所のうち、Boyaca 県の EBSA 電力会社が所管する Puente Guillermo 水力発電所の場合は、水槽および水圧管路の復旧工事が実施されれば運転再開になるので、優先順位の選定対象から除外した。

残り10ヶ地点の小規模水力発電所について、それぞれの比較代替案の中から最適と評価された修復計画の概要を示すと表-3の通りである。

4.1 選別基準による分類

表-3の地点別最適修復計画一覧表から判るように、それぞれの水力発電所におけるkW当りの修復コストならびに修復後のkWh当りの発電原価には、大幅なバラツキが認められる。したがって、これ等修復計画の優位性を判定する選別基準として、プレF/Sに引き続いて、次のような3つの基準値を用いてグループ分けを行った。

選別基準① : 回復又は増加出力が 1,000 kW 以上

選別基準② : 回復又は増加出力のkW当りの修復コストが 300千円/kW (U. S. \$ 2,000/kW相当額) 以下

選別基準③ : 修復後の増分kWh当りの発電原価が 4.0円/kWh (30 mills/kWh相当額) 以下

● 各地点別の発電計画に対する評価

発電所名	発電計画の経済指標					
	出力増分 ΔP (kW)		ΔP当り修復 コスト (千円/kW)		電力量増分 ΔE当り発電 コスト (円/kWh)	
Caracoli	4,400	○	223	○	2.6	○
San Cancio	650	×	705	×	4.6	×
Intermedia	1,600	○	323	×	3.2	○
Municipal	3,100	○	189	○	2.1	○
Silvia	240	×	394	×	4.7	×
Ovejas	2,450	○	459	×	4.6	×
La Vuelta	7,200	○	391	×	4.5	×
Julio Bravo	3,500	○	171	○	2.1	○
Zaragoza	1,400	○	416	×	4.9	×
Lagunilla	5,000	○	195	○	2.3	○

(注) ○印は選別基準値を満足している。

×印は “ ” を満足していない。

表-3 各水力発電所別最適修復計画の概要

グループ	発電所名	① 既設発電設備諸元					② 修復発電計画							③ 回復又は増加電力	
		⑩ 最大 使用水量 Q ₀ (m ³ /s)	⑪ 有効 落差 H ₀ (m)	⑫ 定格 出力 P ₀ (kW)	⑬ 現有設備能力		⑳ 最大 使用水量 Q ₁ (m ³ /s)	㉑ 基 準 有 効 落 差 H ₁ (m)	㉒ 理 論 出 力 = 9.8×㉑×㉓ (kW)	㉔ 合 成 効 率 η	㉕ 出 力 = ㉒×㉔ P ₁ (kW)	㉖ 年 間 可 能 発 電 電 力 量 E ₁ (GWh)	㉗ 流 量 設 備 利 用 率 ε (%)	㉘ 出 力 = ㉕-㉙ ΔP (kW)	㉚ 年 間 可 能 発 電 電 力 量 ΔE (GWh)
					㉙ 出 力 P _e (kW)	㉚ 発 電 電 力 量 E _e (GWh)									
1	Caracoli (ALT-1)	5.0	86.0	3,200	2,300	18.81	10.0	82.9	8,124	0.835	6,700	57.0	96	4,400	38.1
	Municipal (ALT-2)	5.6	79.6	2,112	1,400	5.94	7.0	79.6	5,460	0.835	4,500	34.8	88	3,100	28.9
	Julio Bravo (ALT-1)	2.0	120.0	1,500	0	0	3.0	143.0	4,204	0.835	3,500	29.4	97	3,500	29.4
	Lagunilla (ALT-3-1)	0.5	120.0	392	0	0	2.0	309.0	6,056	0.830	5,000	43.2	99	5,000	43.2
2	Intermedia	5.6	56.8	1,120	900	3.33	5.6	56.8	3,117	0.830	2,500	19.7	88	1,600	16.4
	San Cancio	5.6	53.8	2,320	1,750	8.44	5.6	53.8	2,952	0.830	2,400	18.5	88	650	10.1
	La Vuelta (ALT-2)	54.0	4.8	2,000	500	6.25	100.0	9.65	9,457	0.823	7,700	65.7	96	7,200	59.4
3	Silvia	Total 1.5 NoUnit 1.1	31.0	604	100	0.82	1.1	31.0	334	0.740	240	2.1	98	240	2.1
	Ovejas (ALT-2)	7.0		900	650	2.97										15.0	26.0	3,822	0.830	3,100	26.2	94	2,450	23.2
	Zaragoza (ALT-1)	6.5	1,560	1,200	6.29	10.0	32.8	3,214	0.830	2,600	18.4	78	1,400	12.1	
グループ	発電所名	④ 修復工事費 (百万円)				⑤ kW当り建設コスト (千円/kW)		⑥ 年間発電端経費の合計 (百万円)					⑦ kWh当り平均発電コスト (円/kWh)		
		⑩ 発電機器費			⑭ 土 建 工 事 費 C ₂	⑮ ⑬+⑭ C	⑯ ΔP当りコスト =⑮/⑳ C/ΔP	㉑ P ₁ 当りコスト =⑮/㉒ C/P ₁	⑰ 運 転 維 持 管 理 費 AOM	⑱ 建設費の元利償還額 (25年平均)			⑲ ⑰+⑱	㉓ E ₁ 当り =㉒/㉖×0.95	㉔ ΔE当り =㉒/㉚×0.95
		㉙ 外 貨 分 C _{1r}	㉚ 現 地 貨 分 C _{1l}	㉛ ㉙+㉚ C ₁						㉜ ⑲外 貨 分 2.610×㉙ 25	㉝ ⑲現 地 貨 分 2.016×(㉚+㉛) 25	㉞ ㉜+㉝			
1	Caracoli (ALT-1)	409.2	164.1	573.3	407.3	980.6	222.8	146.3	3.8	42.7	46.1	88.8	92.6	1.7	2.6
	Municipal (ALT-2)	342.2	137.3	479.5	106.0	585.5	188.8	130.1	2.5	35.7	19.6	55.3	57.8	1.7	2.1
	Julio Bravo (ALT-1)	324.6	130.1	454.7	143.8	598.5	171.0	171.0	2.0	33.9	22.1	56.0	58.0	2.1	2.1
	Lagunilla (ALT-3-1)	538.2	215.8	754.0	222.2	976.2	195.2	195.2	2.8	56.2	35.3	91.5	94.3	2.3	2.3
2	Intermedia	264.7	106.1	370.8	146.6	517.4	323.4	207.0	1.4	27.6	20.4	48.0	49.4	2.6	3.2
	San Cancio	264.7	106.1	370.8	87.5	458.3	705.1	191.0	1.3	27.6	15.6	43.2	44.5	2.5	4.6
	La Vuelta (ALT-2)	1,035.6	415.2	1,450.8	1,367.3	2,818.1	391.4	366.0	4.3	108.1	143.7	251.8	256.1	4.1	4.5
3	Silvia	64.2	25.7	89.9	4.7	94.6	394.0	394.0	0.1	6.7	2.5	9.2	9.3	4.7	4.7
	Ovejas (ALT-2)	372.2	149.3	521.5	603.3	1,124.8	459.0	362.0	1.7	38.9	60.7	99.6	101.3	4.1	4.6
	Zaragoza (ALT-1)	316.1	126.7	442.8	139.7	582.5	416.1	224.0	1.5	33.0	21.5	54.5	56.0	3.2	4.9

● グループ 1 : 実現性が期待できる水力発電所

上記の 3 つの選別基準値を全て満足する地点は、次の 4 つの流れ込み式水力発電所である。

- ① Caracoli 水力発電所 (Antioquia 県 BADE 電力会社所管, 定格出力 3,200kW)
現有出力 2,300kW → 修復後出力 6,700kW
- ② Municipal 水力発電所 (Caldas 県 CHEC 電力会社所管, 定格出力 2,112kW)
現有出力 1,400kW → 修復後出力 4,500kW
- ③ Julio Bravo 水力発電所 (Narino 県, CEDENAR 電力会社所管,
定格出力 1,500kW)
現有出力 0 kW → 修復後出力 3,500kW
- ④ Lagunilla 水力発電所 (Tolima 県, E. TOLIMA 電力会社所管, 定格出力 392kW)
現有出力 0 kW → 修復後出力 5,000kW

● グループ 2 : 立地条件或いは地域特性等の特殊事情に配慮すべき水力発電所

前述の選別基準のように発電計画の指標だけでなく、当該水力発電所の立地条件或いは特性などの特殊事情にも配慮すべき地点として次の 3 つの流れ込み式水力発電所が挙げられる。

- ① Intermedia 水力発電所 (Caldas 県, CHEC 電力会社所管, 定格出力 1,120kW)
現有出力 900kW → 修復後出力 2,500kW
- ② San Cancio 水力発電所 (Caldas 県, CHEC 電力会社所管, 定格出力 2,320kW)
現有出力 1,750kW → 修復後出力 2,400kW
- ③ La Vuelta 水力発電所 (Choco 県, Choco 貴金属株式会社所有,
定格出力 2,000kW)
現有出力 500kW → 修復後出力 7,700kW

(Intermedia 及び San Cancio 両水力発電所の特殊事情)

Caldas 県 CHEC 電力会社所管の Intermedia 及び San Cancio 両水力発電所をグループ 2 に挙げた理由は次の通りである。

Municipal 水力発電所を含むこれら 3 つの水力発電所は、Chinchina 川につながる一連の発電所群である。即ち、San Cancio 水力発電所の放水路は、Intermedia 水力発電所の取水口に直結し、同様に Intermedia 水力発電所の放水路は Municipal 水

水力発電所の取水口につながっている。したがって、各水力発電所の計画使用水量は、最上流に位置するSan Cancio水力発電所の最大使用水量 $Q = 5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ に支配される。さらに、各水力発電所の基準有効落差にも極端な差異がないので、これ等3つの水力発電所の修復に当っては、適性機種への整合化を通じて運転・保守・管理技術の標準化或いはパーツの互換性等のメリットに注目すべきであるからである。

(La Vuelta 水力発電所の特殊事情)

Choco 県, Choco 貴金属株式会社所有のLa Vuelta 水力発電所をグループ-2に挙げた理由は次の通りである。

当該水力発電所の場合、修復或いは改修計画の採否を単に発電計画の指標だけで決定できない背景があるからである。即ち、コロンビア国内では後進地域と見なされているChoco 県の地域開発に及ぼす波及効果を含めて、社会・経済的な視点に立った判断が求められる地点である。

La Vuelta 水力発電所の修復計画は既存のトリンチョ式取水堰を撤去して、コンクリートダム式取水堰に改造する案を予備的に採択しているが、この計画のためには更に次のような基礎資料が準備されなければならない。

- 取水堰の基礎地盤のコア・ボーリング調査資料
- 浸水領域の測量調査資料 (含航空写真測量による図化作業)
- 水没する補償物件調査資料

⑤ グループ-3：実現性に乏しい水力発電所

次の3つの流れ込み式水力発電所の修復計画は、前述の選別基準値を満足しない。

- ① Silvia水力発電所 (Cauca 県, CEDELCA 電力会社所管, 定格出力 604kW)
現有出力 100kW → 修復後出力 340kW
- ② Ovejas水力発電所 (Cauca 県, CEDELCA 電力会社所管, 定格出力 900kW)
現有出力 650kW → 修復後出力 3,100kW
- ③ Zaragoza水力発電所 (Santander 県, ESSA電力会社所管, 定格出力 1,560kW)
現有出力 1,200kW → 修復後出力 2,600kW

4.2 費用便益分析

修復計画の収益性を評価する方法として、費用便益分析と呼ばれている一般的な方法を採用した。費用便益分析を行うに当って、設定した前提条件を要約して示すと次の通りである。

④ 費用便益分析の前提条件

(1) 増分費用便益分析の採用

修復を行った後の収益性 (With) から修復を行わなかった場合の収益性 (Without) を差引いた増分を投資に対する収益性とみなす。

新品に取替えなかった場合、古い既存の発電設備が稼動する残存寿命は、一率に平均5年間と設定した (図-3 参照)。

(2) 建設コストの見積り

建設コストは内貨・外貨別に1989年9月の市場価格で見積られている。なお、外貨 (U. S. \$) と内貨 (col. \$) の交換レートはDNP が定めた U. S. \$ 1 = col. \$ 369.4 で設定している。

建設コストには、予備費および技術管理費が含まれているが土地収用費および補償費は含まれていない。

発電設備のFOB コストは、日本国内価格で見積られている。また、CIF 価格はISA が通常水力発電プロジェクトに適用している対FOB コスト比率 (FOB 価格 : CIF 価格 = 1.00 : 1.12) を用いて算定した。

(3) サービスライフ

収益性評価のためのプロジェクトのサービスライフは修復後25年間と設定した。

各年次別の減価償却費はICELが採用している定額法によって算定した。なお、この場合施設別の耐用年数は次のように設定し、残存価格は0としてある。

- ① 土木構造物の耐用年数 …………… 50年
- ② 発電設備の耐用年数 …………… 25年

(4) 運転・維持管理費

運転維持管理は、ISA が水力発電所に適用している平均的な評価額、即ち年間を通じて設備容量 (kW) 当り U. S. \$ 4.0 を採用した。

(5) 便益単価

1988年12月におけるICELの電力会社に対する売電価格を用いて、プロジェクトの収益とみなすことにした。

- kWに対する対価 …………… 1,086,909.69 ペソ/MW
= 2,942.36 U. S. \$/MW
- kWh に対する対価 …………… 4,936.18 ペソ/MWh
= 13.36 U. S. \$/MWh

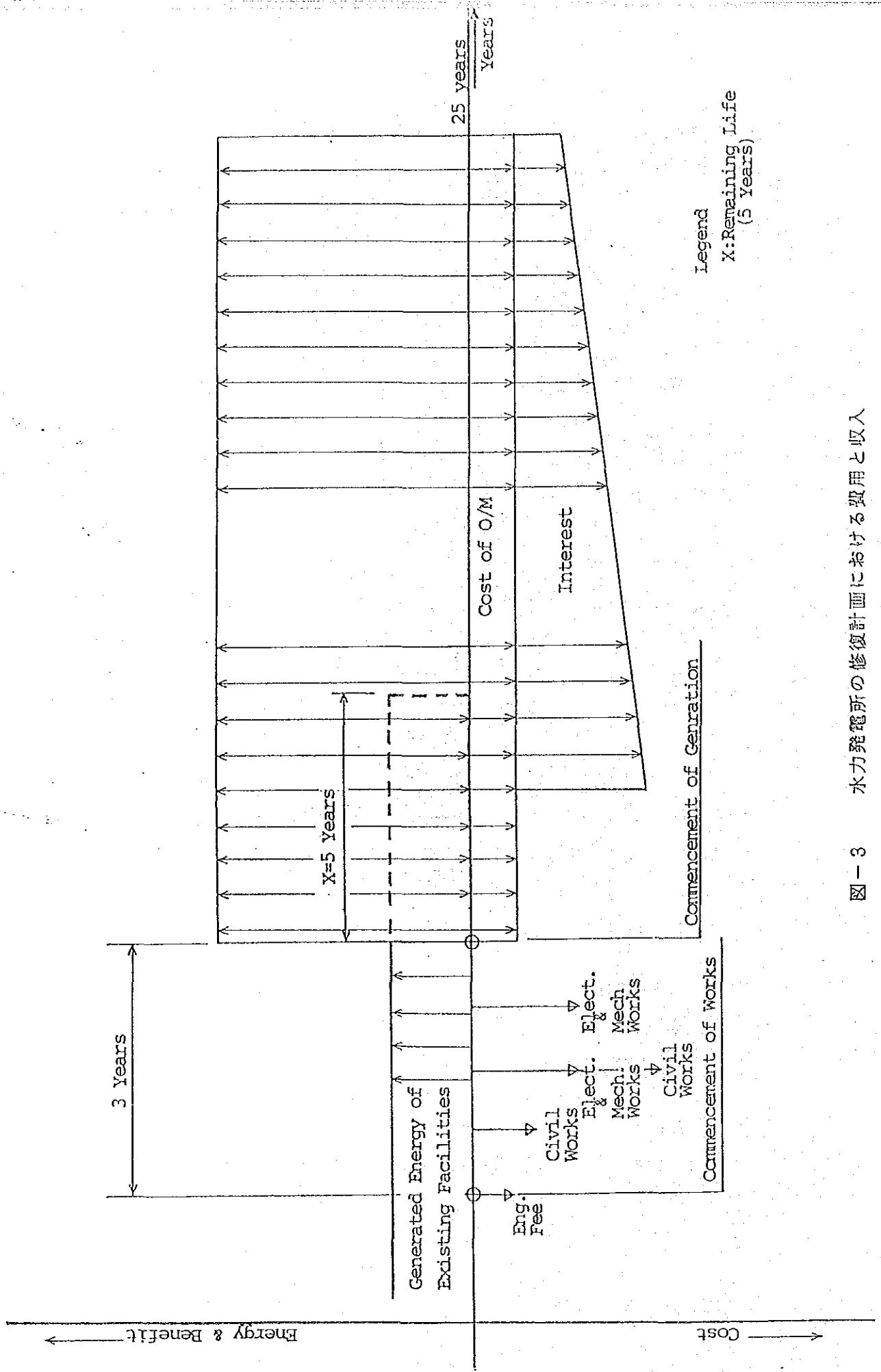


図-3 水力発電所の修復計画における費用と収入

(6) 資金の調達条件

外貨ならびに内貨の資金調達のための借入条件は次の通りである。

① 外貨の借入条件

- 年 利：10%
- 元本支払期間：25年間（うち4年間据置期間を含む）
- 支払条件：元本均等払い

② 内貨の借入条件

- 年 利：21%
- 元本支払期間：8年間（うち1年間の据置期間を含む）
- 支払条件：元本均等払い

(7) 割引率

純現在価値（NPV）および費用便益率（C/Bレシオ）の算定に適用させる割引率は、コロンビア国の実質金利の推定から年率 7.6%と設定した。

4.2.1 グループ1の水力発電所に対する費用便益分析

実現性が期待できるとして選別されたグループ1の水力発電所の修復計画について、それぞれの費用便益分析結果を示すと次のようになる。

● グループ1の水力発電所の修復計画に対する評価

発電所	発電計画の経済指標			費用便益分析		
	増加出力 ΔP (kW)	ΔP 当り 修復コスト (千円/kW)	ΔE 当り 発電コスト (円/kWh)	費用便益比 C/B	純現在価値 NPV (百万円)	内部収益率 IRR (%)
Caracoli	4,400	223	2.6	0.99	7	7.7
Municipal	3,100	189	2.1	0.86	51	9.2
J. Brayo	3,500	171	2.1	0.96	14	8.1
Lagunilla	5,000	195	2.3	1.06	-28	7.0

4.2.2 グループ2の水力発電所に対する費用便益分析

Caldas県のCHEC電力会社が所管するSan Cancio, Intermedia及びMunicipalの3つの水力発電所は、Chinchina川につながる一連の発電所群であるので、これ等の修復計画をパッケージとして考えた場合の費用便益分析の結果を示すと次のようになる。

● Chinchina川につながる水力発電所群のパッケージ別評価

* パッケージ別	発電計画の経済指標			費用便益分析		
	増加出力 △P (kW)	△P当り 修復コスト (千円/kW)	△E当り 発電コスト (円/kWh)	費用便益比 C/B	純現在価値 NPV (百万円)	内部収益率 IRR (%)
パッケージ①	4,700	235	2.5	1.01	-25	7.5
パッケージ②	5,350	292	2.9	1.07	-54	6.8

* パッケージ①=Municipal +Intermedia両水力発電所

パッケージ②=Municipal +Intermedia+San Cancioの3水力発電所

なお、グループ2に挙げたChoco県, Choco貴金属株式会社所有のLa Vuelta水力発電所の修復計画に対する費用便益分析の結果を示すと次のようになる。

● La Vuelta水力発電所の修復計画に対する評価

発電所名	発電計画の経済指標			費用便益分析		
	増加出力 △P (kW)	△P当り 修復コスト (千円/kW)	△E当り 発電コスト (円/kWh)	費用便益比 C/B	純現在価値 NPV (百万円)	内部収益率 IRR (%)
La Vuelta	7,200	391.4	4.5	2.29	-896	0.5

4.2.3 グループ3の水力発電所に対する費用便益分析

Cauca 県のCEDELCA 電力会社が所管するSilvia及びOvejasの両水力発電所ならびにSanlander 県のESSA電力会社が所管するZaragoza水力発電所は、費用便益分析の結果も当然のことながら好結果は望めず、修復計画の実現性に乏しい。

各水力発電所毎に発電計画の経済指標、即ちkW当りの修復工事費と増分電力量 kWh 当りの発電コストと費用便益分析の結果をまとめて表示すると次のようになる。

● 水力発電所別の修復計画に対する評価

グループ別	発電所別 修復計画案	発電計画の経済指標			費用便益分析			
		増加出力 ΔP (kW)	ΔP当り建設 コスト (千円/kW)	ΔE当り発電 コスト (円/kWh)	費用便益比 C/B	純現在価値 NPV (百万円)	内部収益率	
							FIRR (%)	EIRR (%)
Group-1	Caracoll ALT-1	4,400	222.8	2.6	0.99	7	7.7	11.2
	Municipal ALT-2	3,100	188.8	2.1	0.86	51	9.2	11.5
	Julio Bravo ALT-1	3,500	171.0	2.1	0.96	14	8.1	10.5
	Lagunilla ALT-3-1	5,000	195.2	2.3	1.06	-28	7.0	10.4
Group-2	Intermedia	1,600	323.4	3.2	1.37	-75	4.6	5.8
	San Cancio	650	705.1	4.6	1.40	-69	4.6	6.9
	La Vuelta ALT-2	7,200	391.4	4.5	2.29	-896	0.5	2.4
Group-3	Silvia REN	240	394.0	4.7	2.02	-24	1.1	3.4
	Ovejas ALT-2	2,450	459.0	4.6	2.63	-452	-0.4	1.5
	Zaragoza ALT-1	1,400	416.1	4.9	1.74	-131	2.7	5.0

4.3 修復計画の実施地点

4.2 で示した各水力発電所別の評価リストの成績に加えて、各電力会社とのヒヤリング結果を総合判断の上JICA調査団は、修復計画の有力な実施地点として次の4つの水力発電所を選定した。

- ① Municipal 流れ込み式水力発電所
(CHEC電力会社所有 現在定格出力 2,112kW → 修復後定格出力 4,500kW)
- ② Intermedia流れ込み式水力発電所
(CHEC電力会社所有 現在定格出力 1,120kW → 修復後定格出力 2,500kW)
- ③ San Cancio流れ込み式水力発電所
(CHEC電力会社所有 現在定格出力 2,320kW → 修復後定格出力 2,400kW)
- ④ Julio Bravo 流れ込み式水力発電所
(CEDENAR 電力会社所有 現在定格出力 1,500kW → 修復後定格出力 3,500kW)

4.3.1 Municipal, Intermedia及びSan Cancio水力発電所

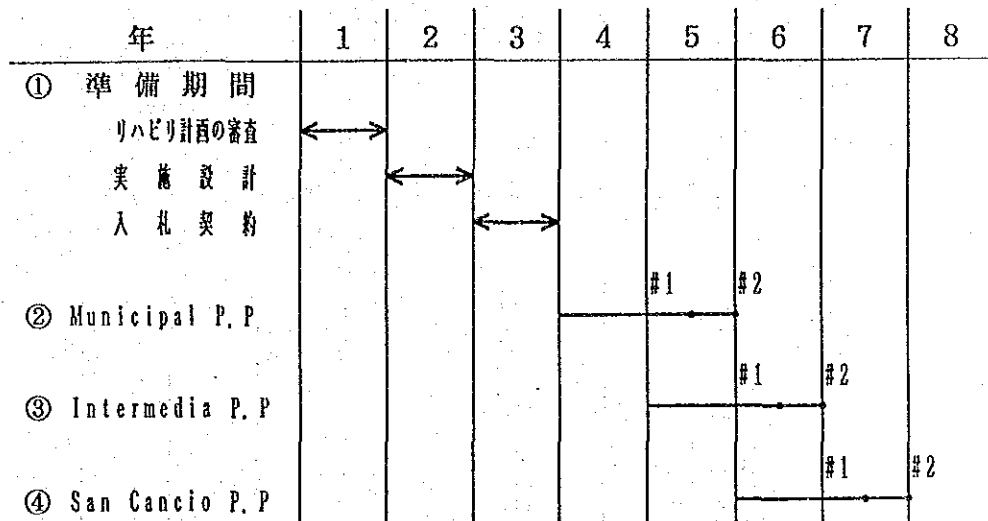
Caldas県CHEC電力会社が所管するMunicipal, IntermediaおよびSan Cancioの3つの水力発電所群は、Chinchina 川に連なる一連の水力発電所である。個々の修復計画だけを採り上げるとMunicipal 発電所の修復計画が抜群の便益効果を与え実現性にすぐれている。しかしながら発電計画としては、これら3つの水力発電所は1つのパッケージとして取り扱うべきであり、Municipal 発電所からIntermedia 更にSan Cancioと順次シリーズに修復すべきである。

● 修復工事計画

1989年9月の市場価格ベースで見積られた修復工事費は次の通り合計額で1,561.2百万円である。その中外貨分は 871.6百万円現地貨分は 689.6百万円でその割合は0.56 : 0.44である。

発電所名	外貨分	現地貨分	計	(金額単位:百万円)
Municipal	342.2	243.3	585.5	
Intermedia	264.7	252.7	517.4	
San Cancio	264.7	193.6	458.3	
計	871.6	689.6	1,561.2	

着工順位をMunicipal, IntermediaそしてSan Cancio発電所とした場合の建設期間は、次に示す通り着工後通算48ヶ月と予定される。



③ 3つの発電所をパッケージとした場合の経済指標

増加出力 ΔP (kW)	.....	5,350
年間発電可能電力量の増分 ΔE (MWh)	...	55,400
ΔP kW当りの工事費 (千円/kW)	.....	292
ΔE kWh 当りの発電コスト (円/kWh)	...	2.9
C/B比	.....	1.07
純現在価値 (N.P.V) (百万円)	.....	-54
内部収益率 (IRR) (%)	.....	6.8

④ 実現に当たっての留意事項

これら3つの発電所の修復計画の実現に向って、ICELグループは次の3項目の検証を早急を実施すべきである。

- ① 既設導水路の通水能力の検証
- ② Municipal 発電所の取水口地点における残流域流量の検証
- ③ Chinchina 川の水質に対する検証

4.3.2 Julio Bravo 水力発電所

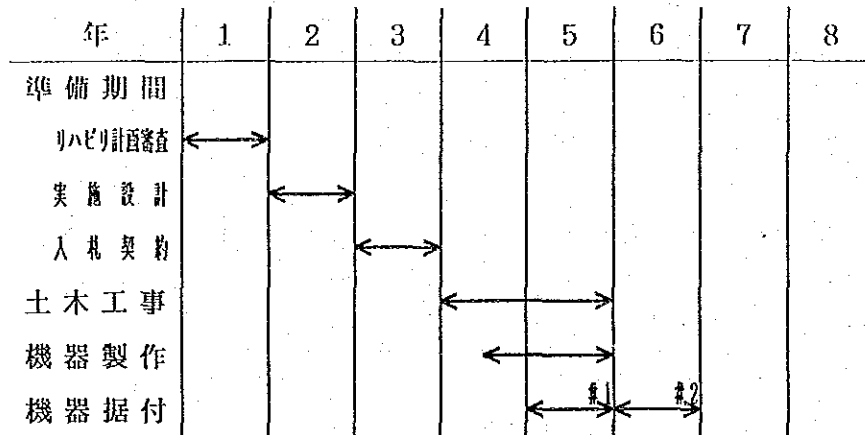
Narino県CEDENAR 電力会社が所管するJulio Bravo 水力発電所についても後述するようにその実現性に向けていくつかの検証すべき事項が残っているが、本発電所の修復計画に対する実現性は高い。

④ 修復工事計画

1989年9月の市場価格ベースで見積られた修復工事費は次の通り 598.5百万円で外貨分と現地貨分の比率は0.54 : 0.46である。

外貨分	.....	324.6	(百万円)
現地貨分	.....	273.9	(")
合計工事費	.....	598.5	(")

修復工事期間は準備期間(36ヶ月)を除いて着工後通算36ヶ月と見積られる。



⑤ 経済指標

増加出力ΔP (kW)	.....	3,500
年間発電可能電力量の増分ΔE (MWh)	.....	29,400
ΔP kW当りの工事費(千円/kW)	.....	171.0
ΔE kWh 当りの発電コスト(円/kWh)	.....	2.1
C/B比率	.....	0.96
純現在価値(N.P.V)(百万円)	.....	1.4
内部収益率(IRR)(%)	.....	8.1

⑥ 実現に向けての留意事項

この Julio Bravo水力発電所における修復計画の実現に向って、ICELグループは次の2項目の検証を早急を実施すべきである。

- ① 既設取水堰地点における流況
- ② 取水口地点における水質の年間変化

4.3.3 早期着工が困難な有力候補地点

Antioquia 県 EADE 電力会社所管の Caracoli 発電所および Tolima 県 E. TOLIMA 電力会社所管の Lagunilla 発電所の 2 地点を実施計画地点から除外したのは、次に述べるような理由で早期着工が困難と判断されたからである。

③ Caracoli 発電所の早期着工が見送られた理由

本発電所の場合、修復計画よりも使用水量を倍増する改造計画のほうが便益効果が大きいという結論になっていて、そのためには既設の導水鉄管路 ($\phi = 1,350 \text{ m/m}$, $L = 1,300 \text{ m}$) の撤去・取替工事が必要である。しかしながら、既設導水鉄管路は外見性に堅牢性を保持しており、その損耗状況の精査と残存寿命の検証のほうが、修復工事に先行すると判断されたからである。

④ Lagunilla 発電所の早期着工を困難にしている理由

Lagunilla 川の流域にあった測水所は、1985年11月に発生した Nevado del Ruiz の爆発による土石流で全て流失してしまっている。

土石流の発生により本流域の流況が変化していることもあって、近隣流域の最近の流量資料を利用するとしても、少なくとも 2 年間の Lagunilla 川における同時流量観測資料の蓄積が必要と判断したからである。

4.4 小規模水力発電設備の再開発に対する提言

1987年11月にプレ・F/S の対象として ICEL がとり挙げた小規模水力発電所は全部で 62 地点である。今回の F/S の結果、実現性の高い候補地点として推奨した水力発電所は、4.3 に述べた 4 地点、回復出力の合計で 8,850 kW (修復後の定格出力は 12,900 kW) にすぎない。これは飽くまでも、今回の S/W が既設発電設備の修復という調査範囲に限定された結果であって別の観点、即ち 62 地点の小規模水力発電所が包蔵している水力開発という視点で捉えた場合、有望な開発地点が数多く残されていることも、この際指摘しておきたい。例えば次のような候補地点を挙げるができる。

① 水利用率のきわめて低い水力発電所

Inza 水力発電所 (Cauca 県)

Rio Recio 水力発電所 (Tolima 県)

- ② 一つの水系に連続して位置しながら総合的に開発されていない水力発電所
Quindio 県Quindio 川水系にあるBayona, Campestre 及びLa Unionの3つの
水力発電所群
- ③ 既設ディーゼル発電所の代替電源としての水力発電所開発地点
Rio Napia 水力発電所新規開発地点 (Cauca 県)

第1章 本報告書の内容

本報告書は、コロンビア電力庁 (Instituto Colombiano de Energia Electrica, 以下 ICEL という) 所管の13公営電力会社が所管する82の小規模発電所 (火力: 3地点, 水力: 62地点, ディーゼル: 17地点) の中から選ばれた、12発電所 (火力: 1地点, 水力: 11地点) の修復計画に対するフィージビリティ調査 (以下 F/S という) の結果をまとめたものである。

本 F/S は、1988年7月に ICEL および国際協力事業団 (Japan International Cooperation Agency, 以下 JICA という) との間で合意署名された Scope of Work (以下 S/W という) にもとづいて実施された。

本 F/S の対象に選定された発電所名及びその所在県を示すと次の通りである。

■小規模火力発電所

Termopaipa 火力発電所 Boyaca 県

■小規模水力発電所

Puente Guillermo 流れ込み式水力発電所 Boyaca 県

Caracoli 流れ込み式水力発電所 Antioquia 県

San Cancio 流れ込み式水力発電所 Caldas 県

Intermedia 流れ込み式水力発電所 Caldas 県

Municipal 流れ込み式水力発電所 Caldas 県

Silvia 流れ込み式水力発電所 Cauca 県

Ovejas 流れ込み式水力発電所 Cauca 県

La Vuelta 流れ込み式水力発電所 Choco 県

Julio Bravo 流れ込み式水力発電所 Nariño 県

Zaragoza 流れ込み式水力発電所 Santander 県

Lagunilla 流れ込み式水力発電所 Tolima 県

これ等12の各発電所毎の調査結果は本報告書とは別にそれぞれの分冊 (巻末の付録-1 参照) に詳述してある。

Boyaca 県の Puente Guillermo 水力発電所の場合は、水槽および水圧管路の復旧工事を実施することによって修復計画は完了する。残りの10地点の水力発電所の修復計画については、その実現性をプレ・F/S (1987年11月~1988年6月) の時に設定した選別基準を用いて、実現性のある有望なグループと相対的に実現性に乏しいグループな

らびにその中間として、立地条件あるいは地域特性等の特殊事情にも配慮すべきグループの3グループに分類してある。

なお、本修復計画案は、電力連系公社（Interconexión Eléctrica S.A.以下ISAという）が1987年6月に発刊した電源開発基準（Plan de expansión en generación）に準拠して立案されている。

しかしながら同基準が大規模水力発電所の開発計画を対象にして制定してあるために全面的な適用は出来なかった。

第2章 調査計画

ICELは、ICEL傘下の15公営電力会社が所有する82地点の小規模発電所（火力：3地点、水力：62地点、ディーゼル：17地点）に適切な修復を実施することにより、これ等発電所のより効果的な活用を図りたいとする主旨のもとに、1987年2月に日本政府に対し修復計画調査を要請した。

要請のあった82の発電所は、巻末の付録-2に添付されるように、コロンビア国全土の13県と1直轄区に広く散在しているため、JICAは、本調査をプレ・フィージビリティ調査（プレF/Sという）とF/Sの2段階に分けて実施することとした。プレF/Sでは、これ等発電所の現状を把握するとともにF/Sを実施するに適した、効率的な修復効果の期待できる発電所を選定する目的で、1987年11月から1988年6月までの間8ヶ月にわたって実施された。

今回のF/Sは、プレF/Sの調査結果をもとに、JICAとICELとの間で選択された12発電所（火力：1地点、水力：11地点）について、最適の修復計画を策定する目的で、1988年11月から1990年3月まで17ヶ月間にわたって以下述べる調査計画にもとづいて実施されたものである。

2.1 調査対象地点

今回のF/Sの対象地点は既に述べた通り、火力発電所はTermopaipaの1地点だけで残りの11地点はすべて流れ込み式水力発電所である。

これら調査地点は、次に示すように、8県（Antioquia, Boyaca, Caldas, Cauca, Choco, Nariño, Santander, Tolima）に分布している。

(1) Termopaipa発電所の修復計画

Termopaipa発電所においてF/Sの対象に挙げられた修復項目は次の3項目であり、その中の2項目は#2ユニットを対象としたものである。

- ① #2ユニットのタービン出力の増加（66→74MW）
- ② #2ユニットの空気式計装システムから電気式計装システムに転換
- ③ 冷却塔新設によるクローズドサイクル方式の冷却水システムへの転換

(2) 水力発電所の修復計画

F/Sの実施対象として選択された11地点の流れ込み式水力発電所名とその現況を示すと表-2.1の通りである。これ等11発電所の発電設備容量の合計16,988kWに対して現在出力の合計は、8,800kWであり、約50%の出力低下となっている。

表-2.1 修復計画対象に選定された流れ込み式水力発電所の現況

JICA コード NO	水力発電所	電力会社	県別	使用水量 Q(m ³ /s)	落差 H(m)	定 格 出 力		運 転 現 況			摘 要
						型式×台数*	Po (kW)	供用年数**	現有出力 Pe (kW)	Pe/Po(%)	
201	Caracoli	E A D E	Antioquia	5.0	86.0	P×1 F×1	1,600 1,600	55 27	1,150 1,150	72 72	
210	P.Guillermo	E B S A	Boyaca	2.6	58.0	F×2	640 640	30 40	0 0	0 0	水圧管路の破損のため 1984年より運転停止中
211	San Cancio	CHEC	Caldas	5.6	59.8	F×1 P×1	1,350 970	43 61	1,000 750	74 77	理論出力と定格出力との間 に大きなアンバランスがあ る。
212	Intermedia	〃	〃	5.6	59.0	P×1	1,120	43	900	80	
213	Municipal	〃	〃	5.6	80.6	P×2	1,056×2	45	700×2	66	
227	Silvia	CEDELCA	Cauca	1.5	31.0	F×1 F×1	500 104	36 30	0 100	0 96	1972年より故障により 運転停止
228	Ovejas	〃	〃	7.0	24.5	F×1	900	51	650	72	
233	La Vuelta	E. CHOCO	Choco	54.0	4.8	F×1 F×1	1,000 1,000	75 60	300 200	30 20	
248	Julio Bravo	CEDENAR	Nariño	2.0	120.0	P×3	500×3	48	0	0	水圧管路の破損のため 1983年より運転停止
251	Zaragoza	E S S A	Santander	6.5	30.0	F×1 F×1 F×1	520 520 520	40 58 53	400 400 400	77 77 77	
261	Lagunilla	ELECTROLINA	Tolima	0.5	120.0	P×1 P×1	240 152	50 50	0 0	0 0	1972年より機器故障のため 運転停止

(注)* P:ペルトン型, F:フランシス型
** 供用年数は製作年より起算

2.2 調査団の編成

2.2.1 JICA F/S調査団

JICA F/S調査団は、プレ・F/Sに従事した団長・団員全員に水力発電計画（土木）、水力発電設備（機械）、水文（電気）、地質及び経済の専門家を補強して下記のメンバーで構成されている。

区分	担当分野	氏名
団長	総括（土木）	小野 匡美
団員	水力発電計画（土木）	遠山 武羅夫
"	水文（電気）	野仲 進
"	水力発電計画（土木）	川崎 義雄
"	水力発電設備（機械）	高橋 彰（国内作業のみ）
"	水力発電設備（電気）	玉井 昌幸
"	火力発電設備（機械）	下村 栄司
"	火力発電設備（電気）	瀬戸 寛仁
"	地質	内瀬戸 信彦
"	地質	井上 隆
"	経済	上田 正明

2.2.2 ICELカウンターパートの編成

ICELがJICA F/S調査団のカウンターパートとして任命したエンジニア及びその担当分野を示すと次の通りである。

Juvenal Peñaloza Rosas	Ing. Civil	Jefe Div. De Centrales
Jairo E. Gonzalez Morales	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Rafael Torres Mariño	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Mario Gutierrez Ospina	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Rafael Gomez Florez	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Jorge E. Hurtado Muñoz	Ing. Civil	Ing. Div. De Centrales
Luis E. Becerra P.	} Ing. Mecanico	Ing. Div. Centrales
Augusto Sanabria Diaz		
Ramiro Velasco	Ing. Electrico	Div. Centrales

2.2.3 各公営電力会社の支援技術スタッフ

JICA F/S調査団は、当該修復対象地点の現地調査並びに資料収集に際して、次に挙げる公営電力会社の技術スタッフの協力・支援を得た。

電力会社	氏 名	所 属
EADE	Humberto Alonso Cadavid A.	Manager of planning Department
	David Aguilar	Manager of Substation and Plants
	Walter Leon Ospina Ortiz	Planning Engineer
EBSA	Edgar Olarte Reyes	President
	Francisco Duque	Vice President
	Enoc Guerrero	Chief of Planning Dept.
	Hector Pulido	Chief of Termopaipa
	Jorge Hernan Ramirez S.	Chief of Service Engineer
	Pedro Lesmes	Service Engineer
	Avelino Cely	Service Engineer
	Fernando Cruz F.	Chief of Electrical Engineer
	Jose De Los Santos Cardenas	Electrical Engineer
	Alvaro Delgado O.	Production Engineer
	Fabio Abril G.	Mechanical Engineer
	Reinaldo Avelia	Operaton Engineer
CHEC	Flaviano A. Gonzalez	Civil Engineer
	Alberto Naranjo A.	Director of MIEL Project
	Hernando Duque Vargas	Manager of Small Plants
	Jorge H. Garcia C.	Member of MIEL Project
E. Choco	Claudia M. Agudelo	Member of MIEL Project
	Juan B. Hinestroza C.	President
	Jose Wilson Guerrero	Chif of Planning Office
	Jose Antonio Correa H.	Engineer
	Luz Elba Gonzalez	Engineer
	Juan Ramon Gilabert	Chief of La Vuelta Power Plant
Carlos Osorio Molina	Manager of 'Metales Preciosos del CHOCO'	

CEDELCA	Fernando Iragorri Cajiao	President
	Jose Morales M.	Vice President
	Larry Guzman M.	Civil Engineer
CEDENAR	Hernando Carreño Pilonieta	President
	Enrique Moreno B.	Vice President
	Diego Delgado Ruiz	Director of Power Generation/ Transmissio Program
	Juan Carlos Salazar	Civil Engineer
	Alvaro E. Martinez	Civil Engineer
ESSA	Hernan Uribe Niño	President
	Ruben Gelves Diaz	Vice President
ELECTROLIMA	Ivan Nicholls N.	President
	Hugo Neira S.	Chief of Planning Division
	Francisco Corrales	Chief of Small Power Plants

2.3 調査項目

1988年7月にJICA及びICBLの間で合意・署名されたScope of Workに定められた本F/Sの実施項目を列挙すると次の通りである。

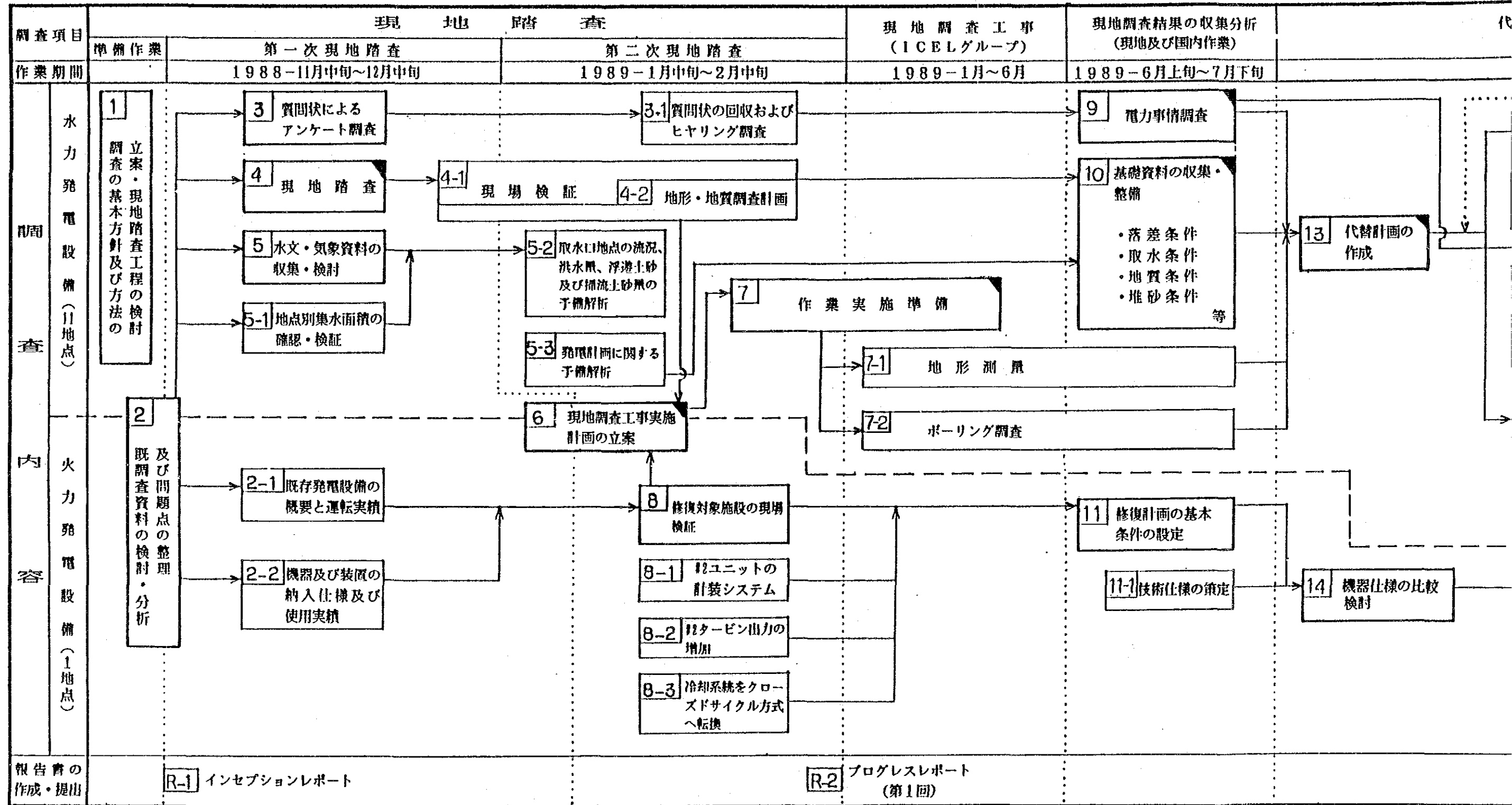
- (1) 既調査及び既存資料類の検討・分析
- (2) 現地踏査
- (3) 現地調査工事
 - ① 地形測量
 - ② 航測図化作業（必要に応じて）
 - ③ 地質調査
 - ④ 水文・気象調査
 - ⑤ 上記調査データ収集と現地確認
- (4) 電力事情調査（電力需要予測及び供給計画の分析・検討）
- (5) 修復比較計画案の検討及び最適計画の選定
- (6) フィージビリティ・グレードの設計
- (7) 主要施設の安定解析
- (8) 施工計画
- (9) 修復又は最適化計画の工事費の積算
- (10) 経済及び財務分析
- (11) 維持管理マニュアルの作成

2.4 調査の作業フローと実施工程

本F/Sの調査内容と調査工程を作業フローのかたちで示すと図-2.1のように示すことができる。

本F/S業務は、1988年11月に現地踏査に着手してから、1990年3月に最終報告の提出まで、17ヶ月にわたって、表-2.2に示すように現地作業と日本国における国内作業に分けて実施された。

図-2.1 調査内容及び調査の作業フロー



凡例 No 調査項目

←2, 3に示した作業項目表示

及び調査の作業フロー

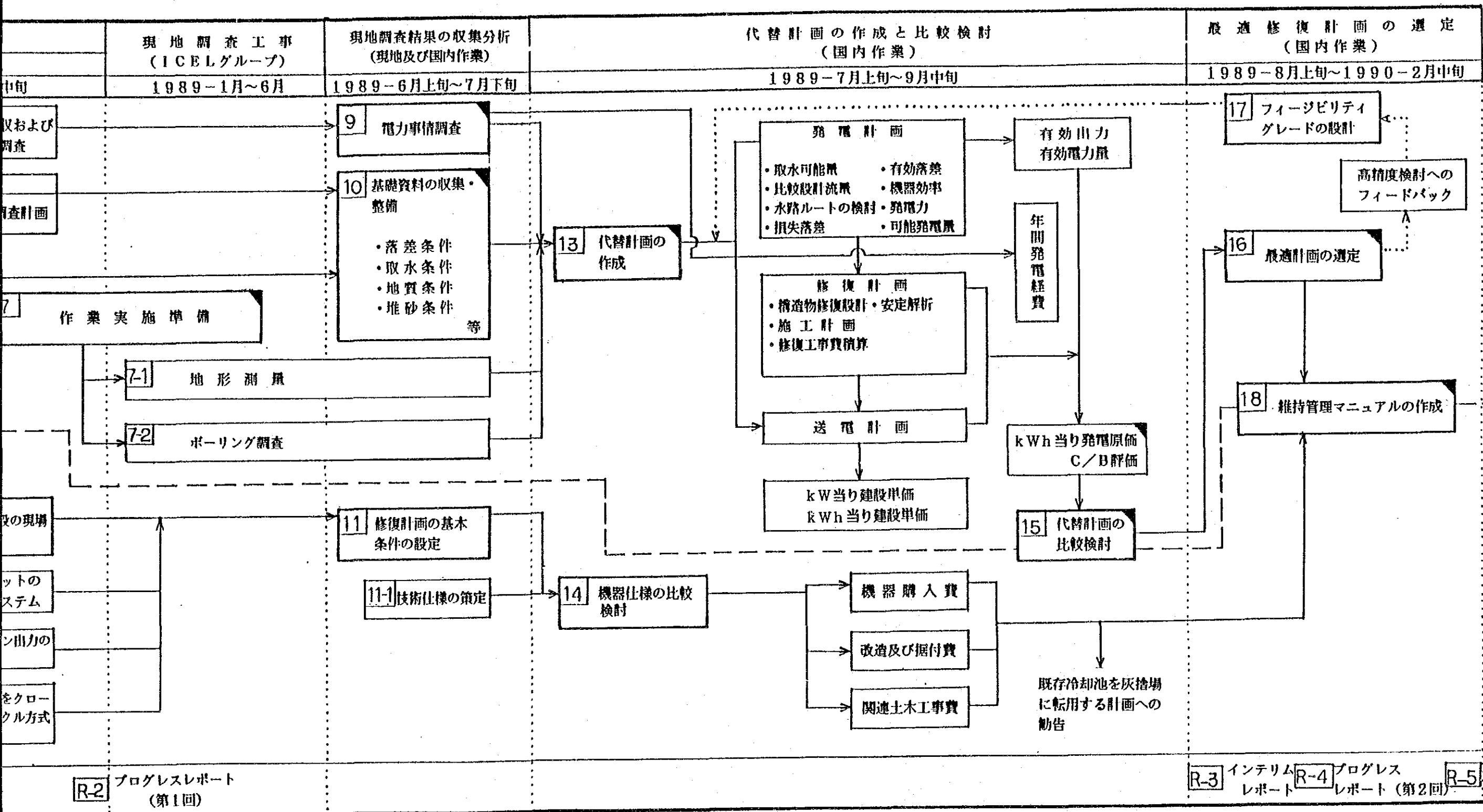


表-2.2 調査工程表

作業項目	1988				1989												1990				
	11	12	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
プロジェクト月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
1. 既存資料の検討・分析	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■																	
2. 現地踏査	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■																	
3. (1) 作業計画	■■■■	■■■■	■■■■	■■■■																	
(2) 作業準備				■■■■																	
(3) 地形測量				■■■■																	
(4) 航測図化				■■■■																	
(5) 地質調査				■■■■																	
(6) 資料収集				■■■■																	
4. 電力事情調査																					
5. 最適計画案の選定																					
6. フィージビリティ・グレード設計																					
7. 構造安定解析																					
8. 施工計画																					
9. 工事費積算																					
10. 経済・財務分析																					
11. 維持・管理マニュアル																					
報告書																					
1. インセプション・レポート				△																	
2. プログレス・レポート				①△																	
3. インテリム・レポート																					
4. ドラフト・ファイナル・レポート																					
5. ファイナル・レポート																					△

凡例： ■■■■ IICA現地作業, ■■■■■ ICEL現地作業, □ IICA国内作業, △ 報告書提出

第3章 ICELグループの電力事情

ICELグループは、ICELと、次に挙げる14県および1直轄区にある公営電力会社により構成されている。コロンビア国の電力セクターの中でのICELグループの位置づけを示すと付録-3の通りである。

表-3.1 ICELグループの公営電力会社と県名

No	公営電力会社略称	県名	備考
1	EADE	Antioquia	EPMを除く
2	EBSA	Boyaca	
3	CHRC	Caldas	
4	E. Caqueta	Caqueta	
5	CEDELCA	Cauca	
6	CELGAC	Cundinamarca	EEDを除く
7	E. Choco	Choco	
8	E. Huila	Huila	
9	EMSA	Meta	
10	CEDENAR	Nariño	
11	CENS	Norte de Santander	
12	EDEQ	Quindio	
13	ESSA	Santander	
14	ELECTROLIMA	Tolima	
15	EEASA	Comisario del Amazonas	

電力需要を把握するために電力量と最大電力の2つに着目すると、ICELグループの1989年における電力量は、コロンビア国の32,386GWhに対し、6,277GWh(19.3%)で、近年における電力量の年平均増加率は、1980年から1989年の10年間に於いて6.2%を示しており、コロンビア国全体の年平均増加率を上廻っている。

1989年におけるICELグループ最大電力1,185MWに対し、ICELグループ所有の発電設備容量は1,884MWであり、その中、ICEL自身の設備容量は852MW(45%)である。

ICELの1989年の需要への対応は、ICEL独自の電源と不足分は全国ネット網からの買電でカバーされている。

コロンビア全土では、全国の需要をカバーするに十分な設備容量を備えている。

ICELグループに所属する発電設備の中には、電力ネットワークに接続されていない小容量の自立電源(ディーゼル及び水力)が多く見受けられ、これら自立電源の大部分は、地方自治体はその保守・運用を行なっている。

コロンビア全土とICELの電力需要を表-3.2に示す。

表-3.2 コロンビア全国とICELの電力需要

年	総合システム		ICELグループ				
	需 要 (GWh)	最大需要 (MW)	需 要 (GWh)	最大需要 (MW)	有効設備容量 (MW)		
					独自電源	ISA**	合 計
1980	19,481	3,568	3,650	698	577	99	676
1981	19,519	3,404	3,677	637	577	136	713
1982	21,549	3,855	4,125	757	672	279	951
1983	23,073	4,040	4,313	830	702	279	981
1984	24,588	4,230	4,651	861	702	440	1,142
1985	25,739	4,436	5,055	920	852	468	1,320
1986	27,551	4,838	5,284	976	852	468	1,320
1987	29,493	5,150	5,675	1,086	852	985	1,837
1988	31,148	5,443	6,017	1,113	852	1,032	1,884
1989	32,386	5,698	6,277	1,185*	852	1,032	1,884

* 確認された値

** ISA等の所有であるがICELの設備容量として計算される。

第4章 基礎資料の収集と整理結果

ICELのカウンターパートの協力を得て、F/Sに必要な資料、特に水力発電計画に必要な気象、水文、地形、地質、建設物価その他関連ある資料の収集につとめ、それ相応の成果を収めることが出来た。

収集した資料リストならびに入手した資料の整理・分析した結果等は各地点毎のF/S報告書(分冊)に収録してある。したがって、本報告書では、その概況の記述に留めてある。

4.1 水文資料

11地点の水力発電所の修復計画調査のために、河川流量資料を収集した測水所名を挙げると表-4.1の通りである。ICELグループで流量観測を実施している所は、CHECの San Cancio 水力発電所の Bocatoma 測水所だけで、他の測水所は HIMAT, CAR及びCVCで管理されている。

表-4.1に挙げた測水所の中で浮游土砂量の測定を行なっているのは、3地点だけである。

Caracoli地点 Nus川の Caramanta 測水所

La Vuelta地点 Andagueda川の Aguasal 測水所

Zaragoza地点 Surata川の Cafe Madrid 測水所

また、水質分析を行なっている測水所は次の1地点である。

Julio Bravo地点, Pasto川の Universidad 測水所

表-4.1 流量資料を入手した測水所

発電所名	測 水 所					流量資料 の 観 測 期 間	取 水 口 か ら の 距 離
	河川名	番 号	名 称	供用年月	管 理 者		
Caracoli	Nus	2308-716	Caramanta	73-07	HIMAT	75-85	上流5km
P. Guillermo	Suarez	3-60 ILMG	Garavito	未 確 認	CAR	77-86	上流5km
San Cancio	Chinchina	6-939	Bocatoma	79-12	CHBC	79-87	取 水 口
Intermedia	"	"	"	"	"	"	上流2.5km
Municipal	"	"	"	"	"	"	上流5.5km
Silvia	Piendamó	2602-709	Cortijo El	61-05	HIMAT	77-87	下流1.5km
	"	2602-710	Pte. Carretera	63-12	HIMAT	75-85	下流19km
Ovejas	Ovejas	2602-711	Abajo Tarabita	64-09	CVC	64-87	上流10km
	"	2602-728	Los Cambulos	81-07	CVC	82-86	上流1km
La Vuelta	Andagueda	1107-701	Aguasal	76-05	HIMAT	77-85	下流3km
Julio Bravo	Posto	5204-701	Universidad	70-08	HIMAT	72-86	上流6km
Zaragoza	Lebrija	2319-729	Cofe Madrid	68-12	HIMAT	75-85	下流8km
	Surata	—	—	未 確 認	CAMB S. A	82-87	下流1.9km
Lagunilla	Lagunilla	4-132	El Bosque	56-02	HIMAT	57-64	上流0.5km
	"	2125-708	Quinta Cobra	72-04	ELECT- RAGUAS	74-75	下流27km

4.1.1 流量資料の収集

F/Sの対象に選定された各水力発電所における流量資料は、少なくとも過去10年間の観測記録を入手することを前提に資料収集を実施した。しかしながら表-4.2に示すように過去10年間の完全な資料が入手できた地点は、

Caracoli 発電所に対する Caramanta 測水所			
P. Guillermo	"	Garavito	"
Silvia	"	Cortijo El 及び Ple. Carretera	"
Orejas	"	Abajo Tarabita	"
Julio Bravo	"	Universidad	"
Zaragoza	"	Cafe Madrid	"

の6地点だけである。

Chinchina 川の San Cancio 発電所の Bocatoma 測水所は1979年12月の設置であり、1987年までの8年間の観測記録が収集されている。しかしながら1984年に欠測日数が多いので、実質7年間分の流量資料である。

La Vuelta 発電所に対する Aguasal 測水所は、1976年6月に設立され、1986年まで10ヶ年間の観測記録が収集されたが、1980年から1984年までの5年間に欠測日数が多くあり、実質5年間分の流量資料である。

Lagunilla 発電所に対する Qunta Cobra 測水所は、1972年に設立されているが、3年後の1975年には廃止されている。その間の観測記録も欠測日数が多く不完全である。したがって本調査では、HIMATの前身である ELECTRAGUAS が所管していた El. Bosque 測水所（1956年2月設立）の1957年から1964年まで8年間の古い流量資料を収集した。

HIMATの測水所台帳によると、Zaragoza 発電所が位置する Surata 川流域には、Dep Vidrio 測水所 (No. 2319-747, 1981年5月設立) が登録されているが、HIMATからは流量資料が入手できなかった。その代わりとして Surata 川が合流する下流の Lebrija 川にある Cafe Madrid 測水所の流量資料が収集されている。

一方、Zaragoza 発電所の放水口の直下流にある Bucaramanga 浄水場の取水口で観測された流量資料（1982年～1988年の7年間）を BSSA を通じて入手したが、最初の5年間は欠測日数が多くて実質年間を通じて利用できる資料は2年間分だけである。

表-4.2 各測水所の観測記録と期間

No	Hydroelectric P.P	Code No	River	Name of Gauging Station	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		
1	Caracoli	2308-716	Nus	Caramanta																			* 07	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
2	P.Guillermo	3-60IIMG	Suarez	Garavito																						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	San Cancio	6-939	Chinchina	Bocatoma																																					
4	Intermedia	6-939	Chinchina	Bocatoma																																					
5	Municipal	6-939	Chinchina	Bocatoma																																					
6	Silvia	2602-709	Piendamó	Cortijo El																																					
		2602-710	Piendamó	Pte Carretera																																					
7	Ovejas	2602-711	Ovejas	Abajo Tarabita																																					
		2602-728	Ovejas	Camblos Los																																					
8	La Vuelta	1101-701	Andagueda	Aguasal																																					
9	Julio Bravo	5204-701	Pasto	Universidad																																					
10	Zaragoza	2319-729	Lebrija	Cafe Madrid																																					
		-----	Surata	Zaragoza																																					
11	Lagunilla	2325-708	Lagunilla	Quinta Cobra																																					
		4-132	Lagunilla	El Bosque																																					

Note * : Indicates The Instllation Date of Gauging Station.
 + : Indicates Years in Which Many Times of Observation Lack are Recognized.

4.1.2 各測水所の流況

(1) 流況曲線の作成

河川の流況曲線は同一地点であっても年によってバラツキを生じるものである。したがって、ある地点の代表的な流況曲線を作成するにあたっては、次にあげるような色々な方法が提案されている。

(a) パラレル法

1年 365日間の毎日の平均流量を大きい順に並べて各年の流況曲線を描き、それらの平均をとる方法。

(b) 標準年法

各年の流況曲線を描き、その中で平均的であると思われる年の流況曲線を選んで、これを標準年流況曲線とする方法。

(c) シリーズ法

1日平均流量を15年にわたって大きさの順に並べて、1年の曲線のよ
うに横軸だけ修正する方法。

(d) 曲線そう入法

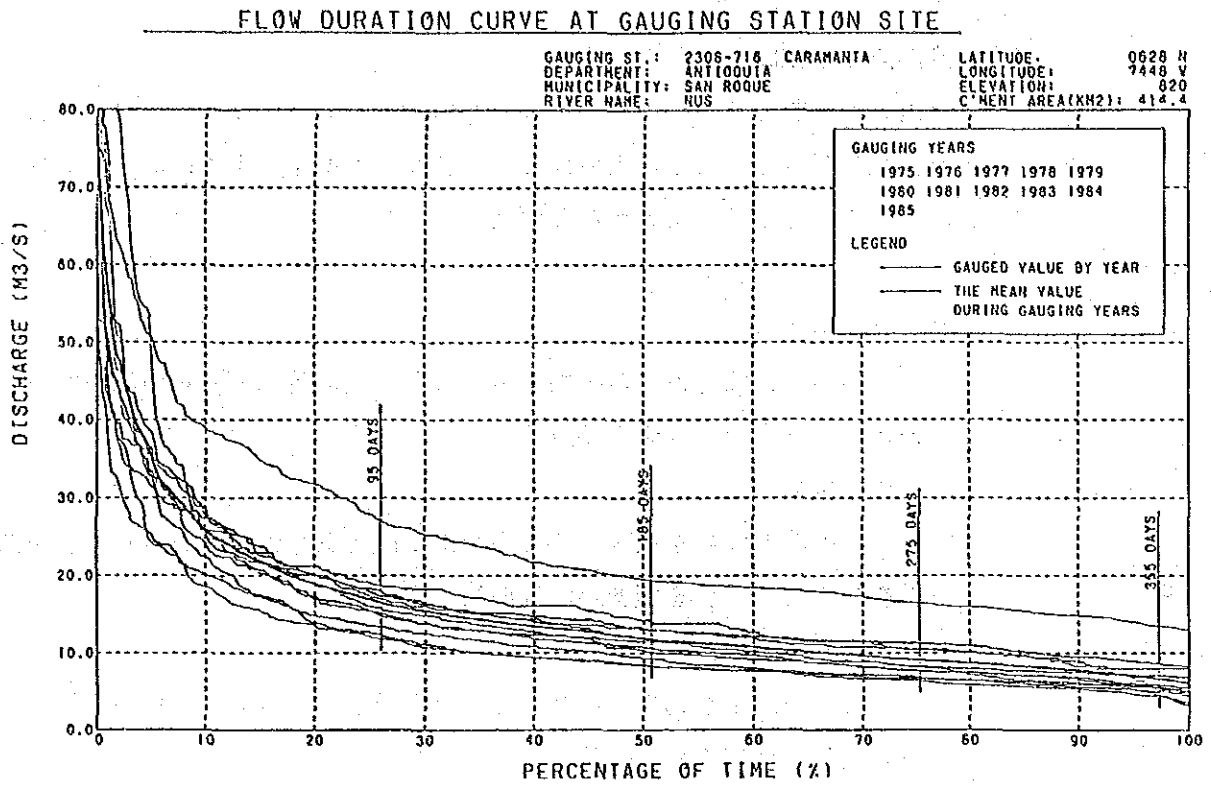
流量要覧から長年間（少なくとも最近10箇年間またはそれ以上）にわたる濁水量，低水量，平水量，豊水量の平均値を算出し、これをプロットし、それらを適当な曲線で結んで流況曲線とする方法。

本調査では最も汎用化されている (a)パラレル法を用いて測水所地点の代表的な流況曲線を作成している。流況曲線の作成に当っては、欠測日のある観測年を除外してある。又、これら流況曲線は横軸に日数を%で表わし、縦軸に日平均流量 (m^3/s) を示している。

(2) 各測水所における流況曲線

表-4.1 に挙げた各測水所の年間観測流量資料から流況曲線を求めて、その代表的な形状を示すと次の通りである。

① Caracoli発電所のCaramanta測水所



② P. Guillermo発電所のGaravito測水所

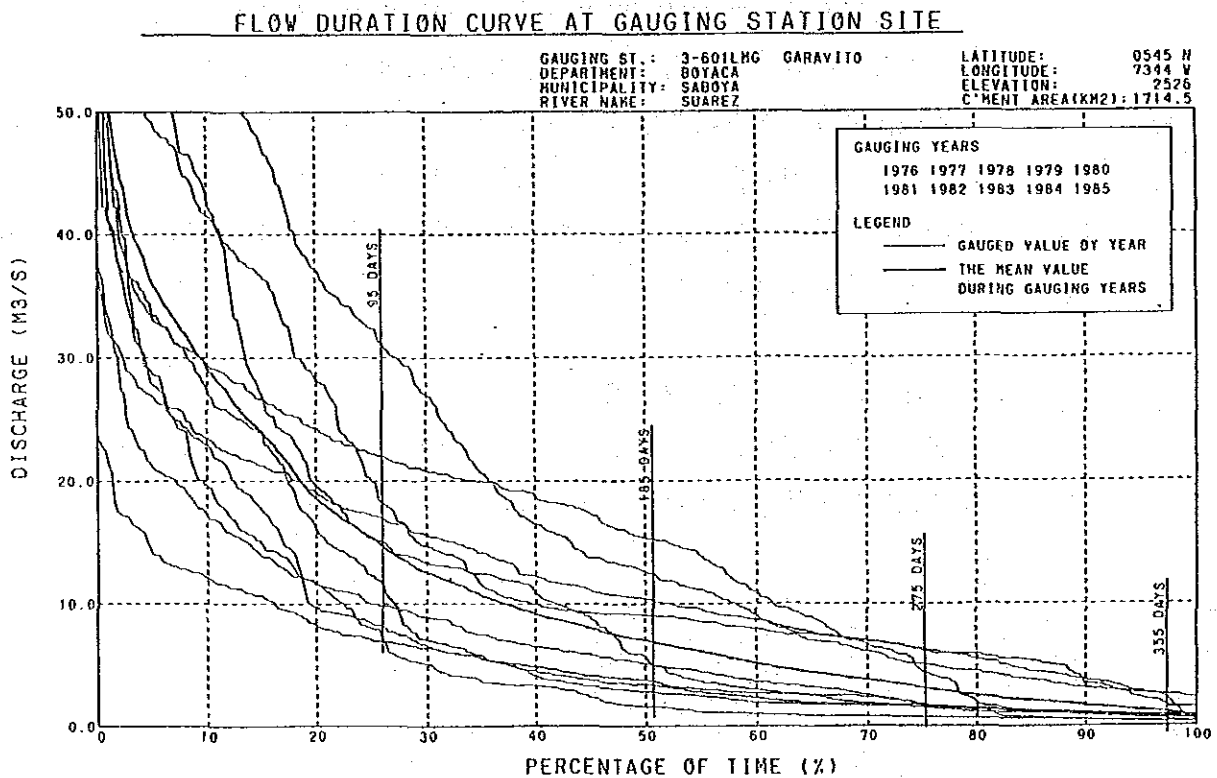
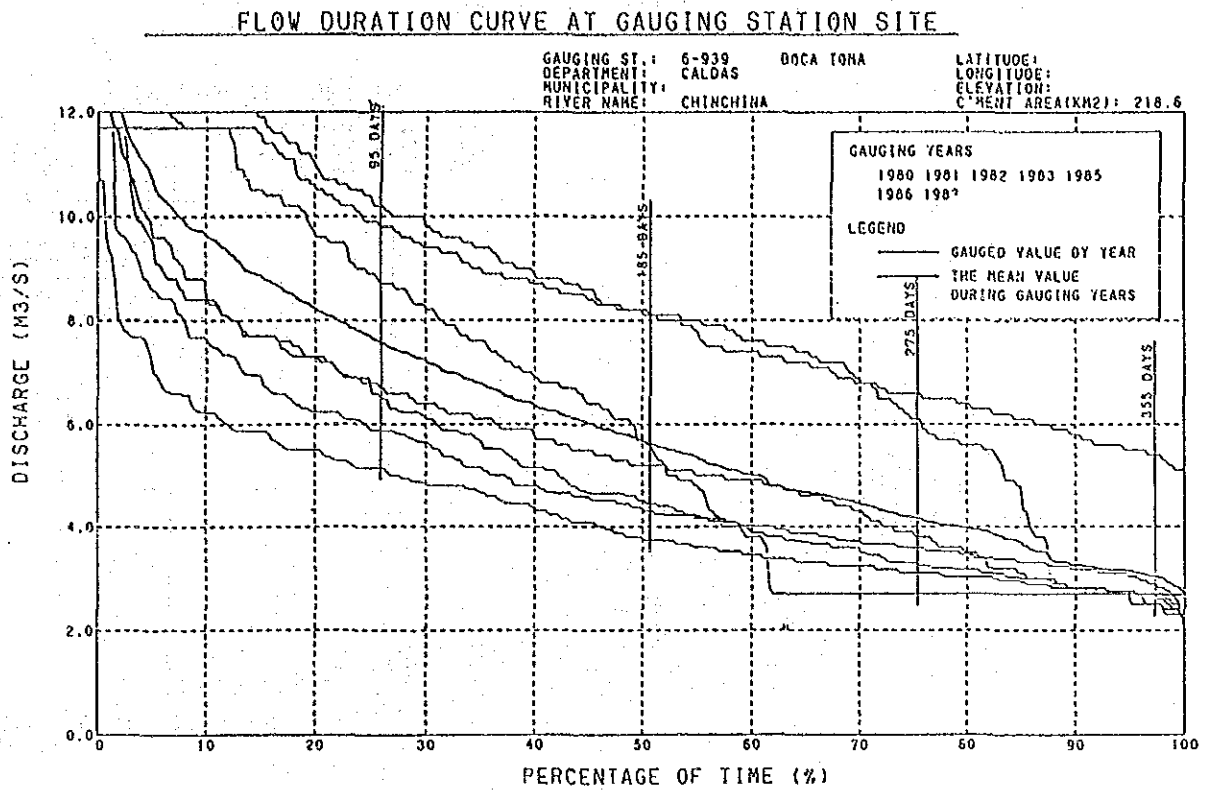


図-4.1-(1) 各測水所における流況曲線

③ San Cancio, Intermedia及びMunicipal発電所のBocaloma(San Cancio) 測水所



④ Silvia発電所のCorlizo El 測水所

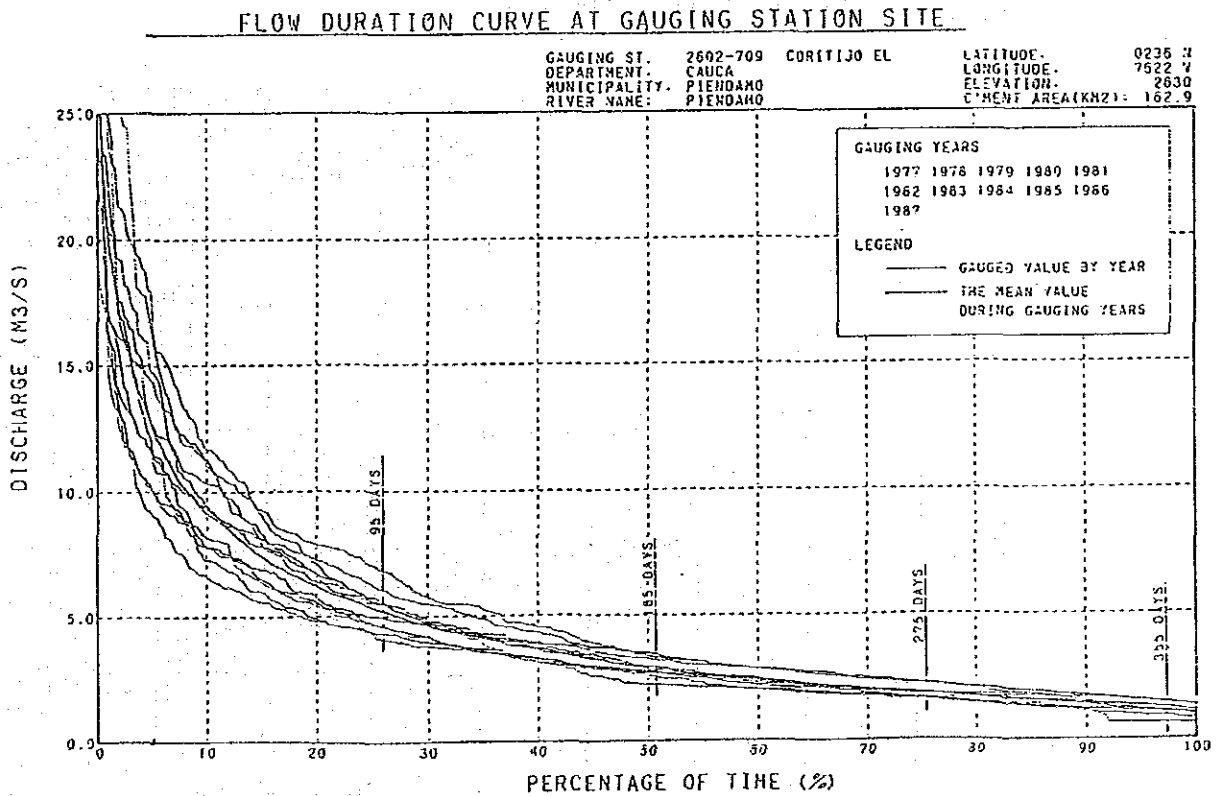
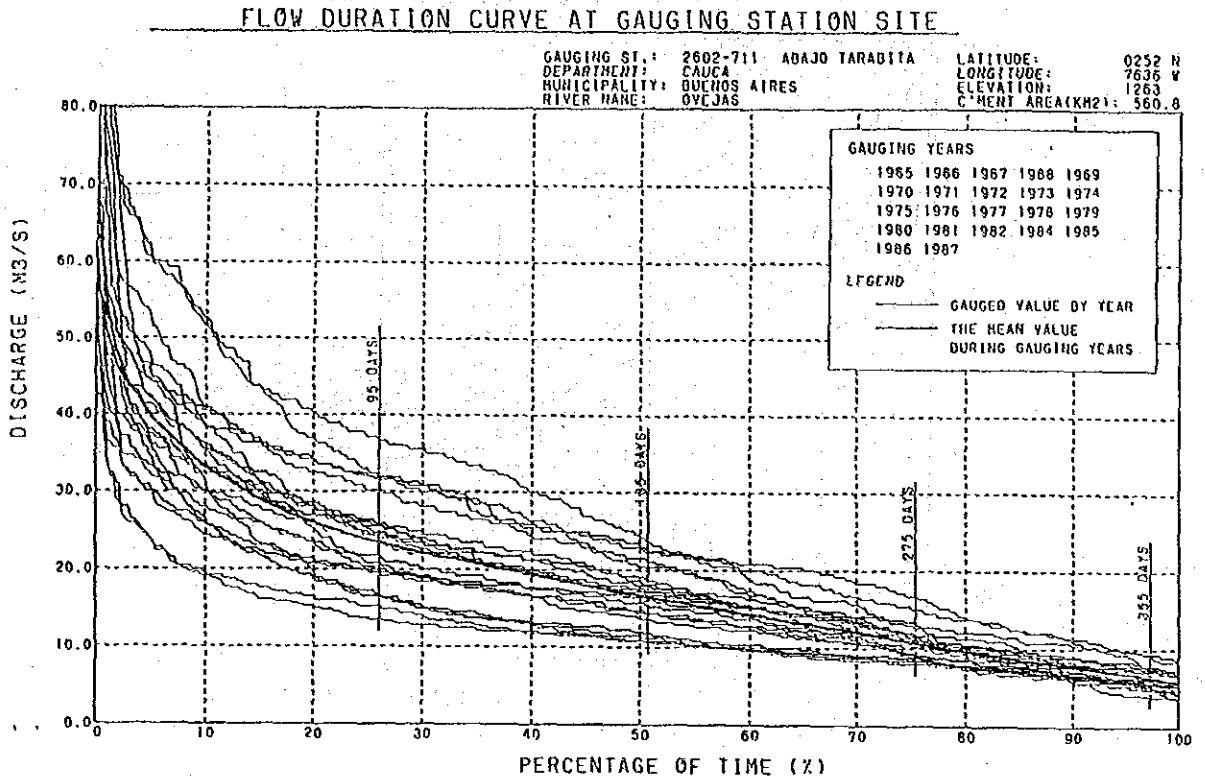


図-4.1-(2) 各測水所における流況曲線

⑤ Ovejas発電所の Abajo Tarabita 測水所



⑥ La Vuelta発電所の Aguasal 測水所

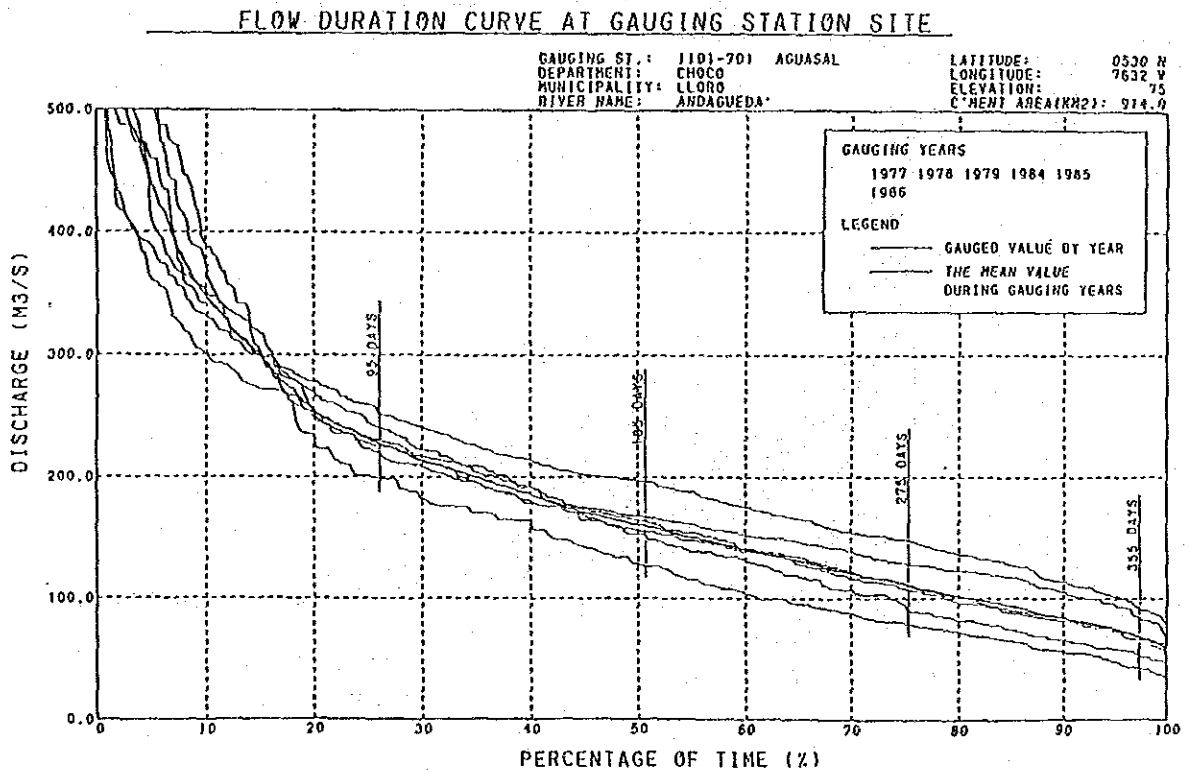
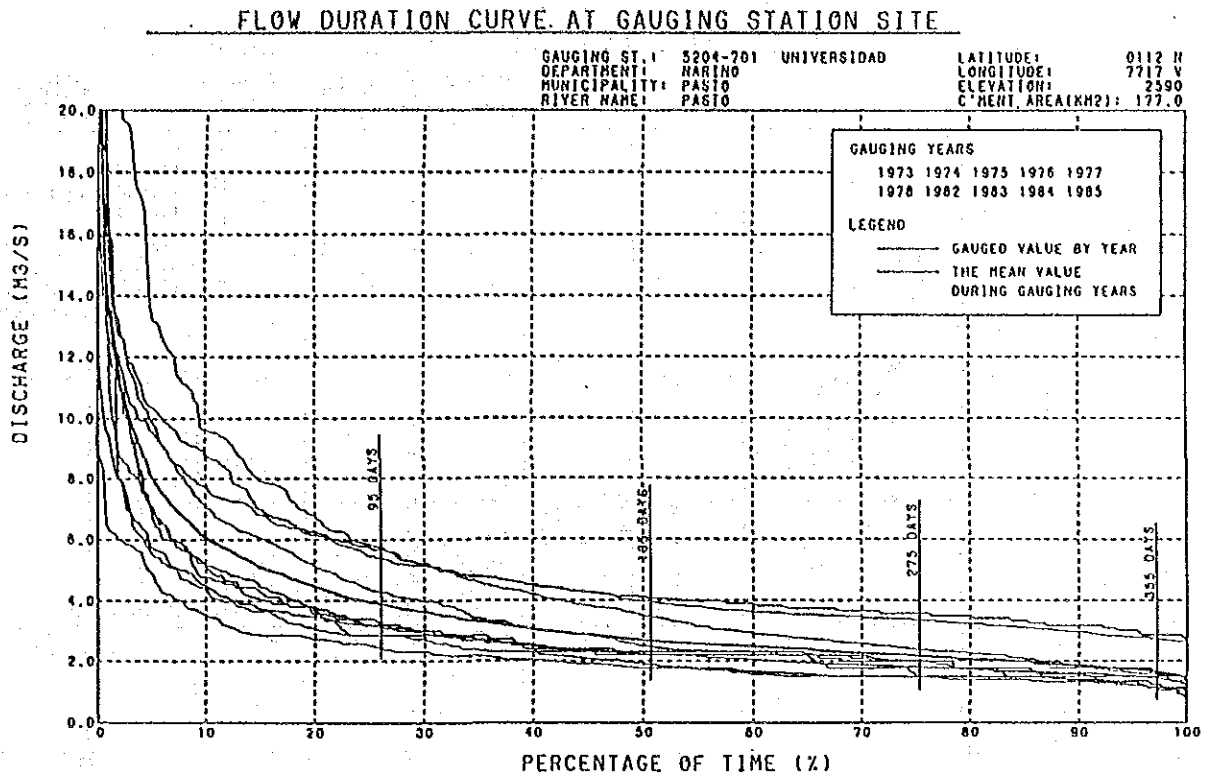


図-4.1-(3) 各測水所における流況曲線

⑦ Julio Bravo発電所のUniversidad測水所



⑧ Zaragoza発電所のCafe Madrid測水所

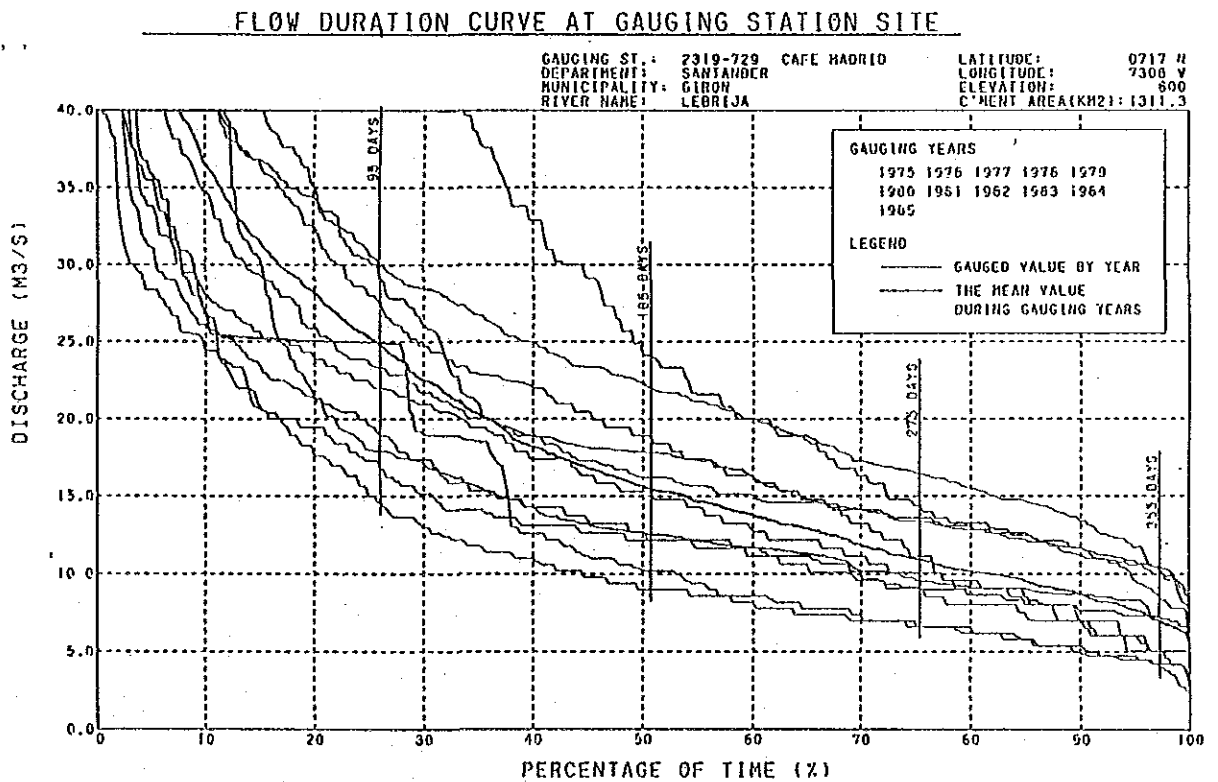


図-4.1-(4) 各測水所における流況曲線

⑨ Lagunilla発電所のEl Bosque測水所

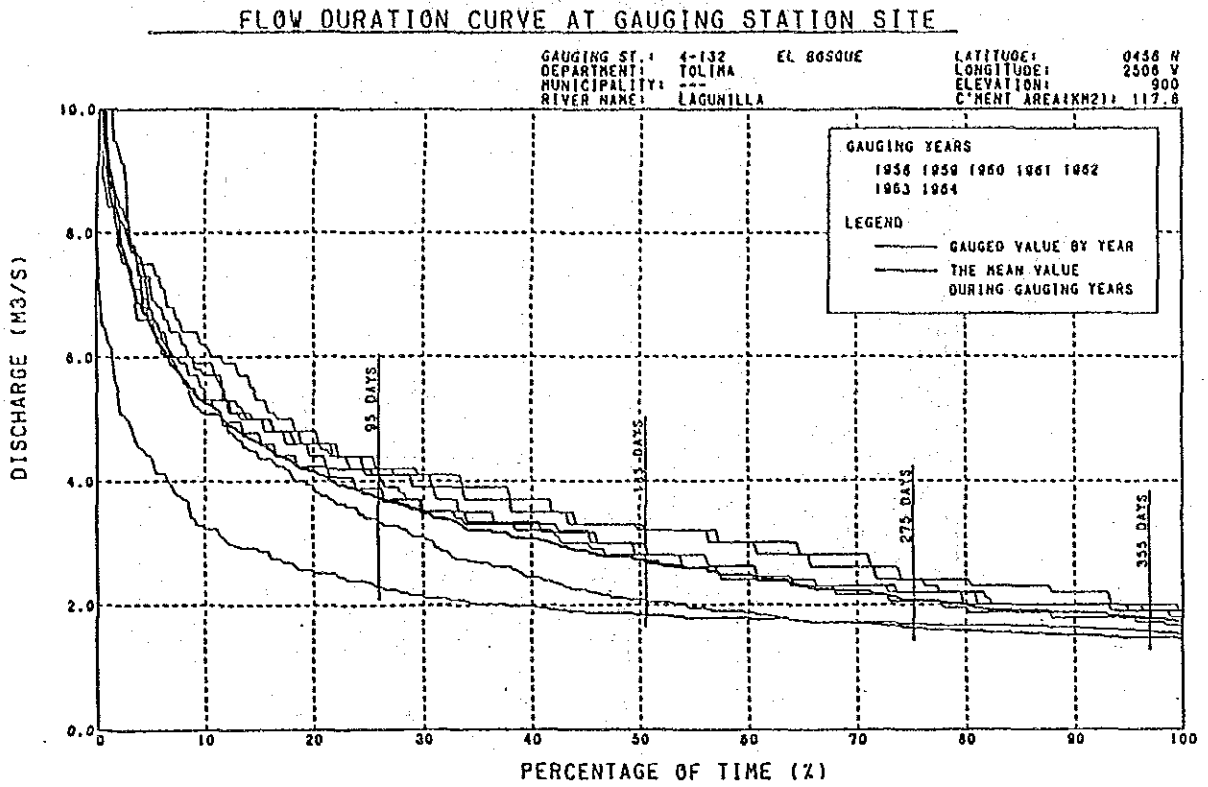


図-4.1-(5) 各測水所における流況曲線

4.1.3 各測水所の位置および流域面積に関する照合

各測水所の現位置確認のために測水所台帳に示されていた緯度及び経度の値を用いてコロンビア国土地理院（略称 IGAC）発行の地形図（縮尺 1:100,000, 或いは 1:400,000）にプロットすると、次の5つの測水所で位置的なずれ、特に緯度の誤差が大きく認められた。

- Nus川のCaramanta測水所
- Piendamoc川のCortijo El測水所
- Ovejas川のLos Cambulos測水所
- Pasto川のUniversidad測水所
- Lagunilla川のEl. Bosque測水所

各測水所の流域面積にも大きな誤差の発生が懸念されたので、IGAC発行の地形図を用いて照合を行なった。その結果、測水所の台帳に記載してある流域面積とJICA調査団の計測値との間に大きな差異を生じた測水所は、表-4.3に示す通りCaramantaとEl. Bosqueの測水所である。なお、Choco県のAndagueda川に在るAguasal測水所では緯度・経度には大きなズレは認められなかったが、その流域面積に大きな差異が認められた。

他方において、修復対象に挙げられた水力発電所の取水口地点における集水面積の記録がないので、JICA調査団がIGAC発行の地形図を用いて、それぞれ計測を行なっている。したがって取水口地点における流量および流況曲線を算定するためにはその整合性を保つ必要があるので測水所の流域面積は、JICA調査団による計測値を採用することとした。

表-4.3 各測水所の流域面積の照合結果

No	River	Gauging Station		Catchment Area (Km ²)			
		No	Name	** (A) Original	(B) Measured	Scale of Topographic Map	Difference (A)-(B)
*1	Nus	2308-716	Caramanta	320	414.4	1:100,000	-94.4
*2	Piendamó	2602-709	Cortijo El	180	162.9	1:400,000	17.1
*3	Ovejas	2602-728	Camblos Los	No Info	851.9	1:400,000	----
*4	Andagueda	1101-701	Aguasal	1030	914.0	1:500,000	-116.0
*5	Pasto	5204-701	Universidad	177	178.8	1:100,000	-11.8
*6	Lagunilla	4-132	El Bosque	155	117.6	1:100,000	-37.4

** : Original Data Informed by HIMAT , CHEC , CVC , CAR .

* : There is no Discrepancy Between the Existing Spot and the Point Shown in Latitude and Longitude.

4.2 地形地質資料

F/S対象地点の地形・地質に関する資料としてはIGACが所有或いは発行している航空写真や地形図、各電力会社が保有している竣工図面集や補修工事のための測量図面、本調査のために実施した地形測量およびボーリングによる地質調査の成果品に大別することができる。

ICELのカウンターパートの協力の下に入手した地形および地質に関する資料の収集状況を地点別に示すと表-4.4の通りである。

4.2.1 地形資料

Caldas県のChinchina川水系のSan Cancio, Intermedia及びMunicipalの一連の3発電所では縮尺1/2500、Tolima県のLagunilla川Lagunilla発電所では縮尺1/5000の航空写真測量図面が作成されている。

Boyaca電力会社所有のP. Guillermo発電所およびChoco県のChoco貴金属株式会社 (Metales Preciosos Del Choco S.A.) が所管するLa Vuelta発電所にはほぼ完全な竣工図書が保存されていて便利である。ただ竣工図面や古い補修計画図面では座標軸及び基準面標高をそれぞれ独自に設けてあるので、現状との整合性がとり難い欠点がある。

本F/Sで実施した地形測量では作業期間および費用の制約もあって、構造物の周辺地形まで十分にカバーし得なかった地点も生じた。しかしながら今回の測量での最大の欠点は、現場監理技術者不在のために、技術仕様の統一化が徹底しなかったことである。

4.2.2 地質資料

Termopaipa及びLa Vuelta発電所を除いてボーリングによる地質調査が各電力会社の監理のもとに実施され報告書が作成されている。

今回の地質調査は、作業期間の制約ならびに費用の節約という拘束もあって最少限の調査範囲に限定された。

今回のF/Sにおいて提出された地質調査報告書を列挙すると次の通りである。

Caracoli発電所: Perforaciones planta electrica Municipio de Caracoli, 1989, Tecnisuelos.

P. Guillermo 発電所: Estudio de suelos micro central hidroelectrica Puente Guillermo, 1989, Lopez Hermanos Ltda.

表-4.4 各F/S対象地点別地形・地質資料の収集状況

発電所別	資料別	航空写真	航空写真測量図	IGAC発行の地形図			既存設計図書		本F/Sで実施した現地調査工事	
							竣功図面	補修工専用図面	地形測量図 S=1:200	ボーリング調査結果
	Termopaipa	△	×	△	○	△	○	○	×	×
水力発電所	Caracoli	○	×	○	○	△	○	×	○	3孔, 延 27m
	P. Guillermo	○	×	○	○	△	○	×	○	3孔, 延38.5m
	San Cancio	○	○	○	○	△	○	○	○	ピット 6坑 延深さ 9m
	Intermedia	○	○	○	○	△	○	○	○	ピット 2坑 延深さ 3.1m
	Municipal	○	○	○	○	△	○	○	○	ピット 2坑 延深さ 5m
	Silvia	○	×	○	○	△	×	○	○	4孔, 延 49m
	Ovejas	○	×	○	○	△	×	○	○	4孔, 延 40m
	La Vuelta	○	×	○	○	△	○	×	○	×
	Julio Bravo	○	×	○	○	△	×	○	○	4孔, 延44m
	Zaragoza	○	×	○	○	△	×	○	○	4孔, 延36.5m
Lagunilla	○	○	○	○	○	×	×	○	4孔, 延55m	

(凡例) ○ : 収集済み
 △ : 未収集
 × : 資料なし

Silvia及びOvejas発電所: Informe de resultados de perforaciones y ensayos de suelos para las Pequeñas centrales hidroeléctricas de Silvia y Ovejas, 1989, Estudio De Suelos Ltda.

Julio Bravo 発電所: Informe de resultados de perforaciones y ensayos de suelos para la pequeña central hidroeléctrica de Julio Bravo en Past, 1989, Estudio De Suelos Ltda.

Zaragoza 発電所: Optimización planta de Zaragoza de la electrificadora de Santander, 1989, Ingeniería de Suelos Ltda.

Lagunilla 発電所: Estudio de geología nueva planta Lagunilla perforaciones exploraciones, 1989, Consultoria Colombiana S. A.

4.3 建設物価資料

コロンビア国内の土工工事に関する建設物価については、CAMACOL (Camara Colombiana De La Construccion) が1ヶ月に1回の頻度で各県毎に発刊している「Catalogo De Precios De Materiales De Construccion」がある。しかしながらこの発刊物はコロンビア国内の全県で発行されている訳ではない。したがって本F/Sの実施に当っては、CAMACOL刊行の建設物価版ではなくて、各電力会社が社内資料として汎用している建設工事単価評を使用することとした(表-4.5参照)。

表-4.5 建設工事単価表

	UNIT	EADE	CHEC	CEDELCA		E. CHOCO	CEDENAR	ESSA	ELECTROLIMA
				SILVIA	OVEJAS				
		NOV./88	FEB./89	JUN./89	JUN./89	MAR./89	JUN./89	APR./89	MAY/89
1. EARTH WORK (EARTH)	p/m ³	2,400	2,925	700	800	2,950	990	2,500	1,100
2. EARTH WORK (ROCK)	p/m ³		3,965				1,900		2,800
3. CONCRETE WORK (MASS CON.)	p/m ³	-	-	-	-	24,000	-	-	-
4. CONCRETE WORK (STRUCTURAL)	p/m ³	26,300	27,625	34,000	40,000	26,800	20,500	15,600	17,900
5. REINFORCING BAR	p/t	354,000	454,000	350,000	360,000	447,500	300,000	320,000	215,000
6. GATE	p/t	1,682,000	500,000	1,310,000	1,420,000	1,100,000	1,100,000	1,100,000	480,000
7. SCREEN	p/t	1,682,000	5,000,000	804,195	874,125	1,000,000	1,000,000	1,000,000	650,000
8. PENSTOCK	p/t	1,000,000	1,000,000	1,250,000	1,250,000	-	815,000	1,260,000	420,000
9. POWER HOUSE (REPAIR)	p/m ²	-	10,000	-	-	-	-	-	-
10. POWER HOUSE (NEW CONST.)	p/m ²	-	40,000	47,000	55,000	50,000	50,000	50,000	50,000
11. CYCLOPEAN CONCRETE	p/m ³	-	14,000	17,000	20,000	-	-	8,000	9,000
12. DEMOLITION CONCRETE	p/m ³	13,000	14,000	17,000	20,000	-	-	8,000	9,000
13. STEEL PIPE	p/t	-	-	-	1,250,000	-	-	-	-
14. GABION	p/m ³	-	-	8,800	-	-	-	-	-
15. TUNNEL EXCAVATION	p/m ³	-	-	-	-	-	-	-	19,600
16. TUNNEL CONCRETE	p/m ³	-	-	-	-	-	-	-	25,000

第5章 Termopaipaの修復計画

プレF/Sと今回のF/Sで入手した資料及び現地踏査にて確認したデータを併せて、改修計画の検討を行った結果の要約を示すと次の通りである。

5.1 #2号ユニットの出力増加計画 (66MW→74MW)

タービン本体の部品 (タービンローター、ブレード、ノズル、ダイヤフラム等) 及び給水加熱器 (No.1 LP, No.2 LP, 及びNo.4 HP) を新品に取替えることによりタービン出力を66MWから74MWに増加する。

そのためには、先づ改修の実施に先立ち既設タービンの運転記録、メンテナンス記録等の最新のタービン本体に関するデータにもとづいて、既設タービンメーカーと共同で現状分析の精密調査を行なう必要がある。

既設 #2 ボイラーの蒸気発生量ピークで300T/H、連続最大284T/Hであるので、タービン出力を 8MW増加するに必要な蒸気量285.85T/Hは、ボイラーのピーク容量で満たすことができる。しかし最大連続容量では1.85T/H不足するので連続運転の場合は 8MW増加は望めない。

従って、タービン改修の実施に先立ち、既設ボイラー本体及び付属設備の運転記録、メンテナンス記録等の最新のデータを基に既設ボイラーメーカーともボイラーの性能に関しての打ち合わせを行なう必要がある。

概算修復費は1989年9月の見積基準で 885百万円 (6.3×10^6 US\$, 140円/\$換算) と見積られる。増加出力 1kW当りの改造費は 111千円 (790US\$)、改造後の増加電力量に対する発電原価は20mills/kWhである。

5.2 #2号ユニットの計装方式の変換計画

本変換計画は、#2ユニットの信頼性向上及び運転・保守の容易性を確保する為、空気式計装の一部を電子計算機を使用した電気式に改修するものである。

メーカー選定に際しては、部品の互換性、信頼性、取扱い要領及びメンテナンス等を考慮して既設 #3ユニットの計装システムと同一メーカーとすることが望ましい。この変換計画の実施に当っては、既設 #2ユニットの各計測点位置を明確に示した図面を完備しておく必要がある。

これに要する改修費用は、1989年9月の積算基準で 805百万円 (5.8×10^6 US\$) と見積られる。

運転経費は現状のままで維持できるので、発電原価に対する負担増は0.28円/kWh (1.9mills/kWh) である。

5.3 冷却方式の変換計画

本変換計画は、冷却池を用いた現在の冷却水の冷却システムを新たに冷却塔を設置して、冷却水を循環させる冷却システムに変更することによって冷却効率の向上を計る改造工事である。改造の対象は #1 ユニットから #3 ユニットまで全ユニットである。

循環式冷却システムの設計条件は下記とした。

- 冷却塔容量

#1 ユニット用	7,000 m ³ /H
#2 ユニット用	13,000 m ³ /H
#3 ユニット用	13,000 m ³ /H
- 冷却水温度

冷却塔入口	: 35°C
冷却塔出口	: 27°C
- 外気温度 (湿球温度) 13°C
- 冷却水昇圧ポンプの概略仕様

	(容量) × (揚程)
#1 ユニット用	7,000 m ³ /H × 20m
#2 ユニット用	13,000 m ³ /H × 20m
#3 ユニット用	13,000 m ³ /H × 20m
- 循環する冷却水の水質改善の為に薬液注入装置を設置する。

冷却方式変換に伴う改造費を1989年9月の積算基準にもとづいて積算すると、次のように合計 2,071百万円 (US\$ 14.8×10⁶) と見積られる。本冷却方式の改造工事が発電原価に与える負担増は 0.7円/kWh (4.9mills/kWh) である。

冷却システム改造工事費 (金額単位: 百万円)

機 器 費		土 建 工 事 費	計
(外貨分)	(現地貨分)	(現地貨分)	
1127	690	154	2,071

本冷却システムの変換計画の実現に向けては、次のような確認と検討が必要である。

- ① 冷却塔設置計画スペースは、Chicamocha川に近い地点なので十分な地耐力が得られるか否か、事前に地盤調査を行ない確認すること。
- ② 既設埋設物の調査・確認を行ない、もし、埋設物がある場合は、既設を改造するか又は、新設部分の設計変更を検討すること。

5.4 環境問題とその対策

現在問題視されている環境への悪影響としては、集塵器のない #1ユニットに起因する煤煙と、Chicamocha川への石炭灰の流出があげられる。

#1ユニットの煤煙防止のため、新たに電気集塵器を設置するには、既設ボイラー周りのスペース問題にからんで既設の煙突を撤去し、新たに煙突を築造する等の大々的な改造工事を伴うので実現性に乏しい。

石炭灰の流出問題は、下流域の都市に多大な影響を及ぼすので、既存灰捨場の護岸工事、新しい灰捨場の適地調達等、早急な対応が必要となって来る。既設ならびに現在使用中の灰捨場から、石炭灰の流失を防止する対策としては、極めて汎用的な方法ではあるが次のような案が挙げられる。

- ① Chicamocha川の両岸に流出防止用壁を設置する。
- ② 灰捨場内の雨水は場内に沓過槽、沈殿槽を設けて浄化した後、Chicamocha川に排出する。
- ③ 2号灰捨場と山の間には、山側からの雨水を処理する為の適切な排水路等を設ける。
- ④ 灰捨場からの風による灰の飛散防止策として、灰を土又は砂で覆いそこに芝生や樹木などを植える。

