

## 第5章 電力需要想定および供給計画



## 第5章 電力需要想定および供給計画

### 目 次

	頁
5.1 電力需要想定 .....	5-1
5.1.1 電力需要と経済成長の足取り .....	5-1
5.1.2 電力需要想定 .....	5-1
5.2 BNEBの電力供給計画 .....	5-2
5.3 El Cajon水力の最適増設計画 .....	5-3
5.3.1 各電源設備に対するコメント .....	5-3
5.3.2 電源開発計画に対するBNEBとの協議事項 .....	5-4
5.3.3 検討の諸条件 .....	5-7
5.3.4 電源開発計画のケース・スタディ .....	5-10
5.3.5 経済比較および感度分析 .....	5-10
5.3.6 El Cajon水力の増設時期 .....	5-12



### List of Tables

Table 5-1	Basic Data for Demand Forecast
Table 5-2	Energy Demand Forecast by ENEE
Table 5-3	Power Stations Existing and Planned by ENEE
Table 5-4	Demand and Supply Balance
Table 5-5	Conditions for Calculation
Table 5-6	Construction Cost
Table 5-7	Present Value of Annual Cost
Table 5-8	Planned Hydro-Power Projects
Table 5-9	Sensitivity Analysis

### List of Figures

Figure 5-1	Energy Demand Forecast by ENEE
Figure 5-2	Power Demand Forecast by ENEE
Figure 5-3	Past Records of Reservoir Operation
Figure 5-4	Demand and Supply Case 1 (1/3)
Figure 5-5	Demand and Supply Case 2 (2/3)
Figure 5-6	Demand and Supply Case 3 (3/3)



## 第5章 電力需要想定および供給計画

### 5.1 電力需要想定

#### 5.1.1 電力需要と経済成長の足取り

Honduras国全国の電力需要は1991年末現在、消費電力量1,585GWhであり、1981年の1.97倍となっている。又最大電力も377MWで1981年の2.22倍である。

Table 5-1 に1980～1991年間の最大電力、消費電力量の変化を示す。この間の経済成長を見てみると、80年～83年に石油価格の高騰、バナナ、木材等の輸出価格の低落、周辺国向けの輸出の落ち込みにより経済成長率が低下し、82年、83年にマイナス成長を記録した。84年には、コーヒー、バナナ等の輸出価格の上昇及びEl Cajonダム建設に伴う公共投資の増大により経済は再び回復し、84～86年には年平均3%の経済成長を達成した。さらに、87年には民間投資の増大、民間・公共支出の増大により4%を超える成長を遂げ、88年には3.8%の成長を遂げた。それ以降、世銀等の支援を受け少しずつであるが確実に成長し続けている。1991年のGDPは1980年の3.2倍の5,132百万レンピーラとなっている。Table 5-1 に電力需要の実績を示す。

#### 5.1.2 電力需要想定

ENEEは過去の電力需要実績より毎月毎の最大電力、電力量について需要別の積上げ方式に基づいて2010年までの需要予測を行っている。

それによれば1991年は1,585GWhの需要でその内訳は工業用36%、一般家庭用33%、商業用21%、公共用8%、その他2%である。2010年には4,758GWhまで需要が増加すると予測しており、その内訳は工業38%、一般家庭用32%、商業用20%、公共用8%、その他2%と予測している。

2010年の最大電力は1990年の2.6倍（年平均伸び率5.0%）、発生電力量は3.2倍年平均伸び率6.03%の伸びを考えている。

電力損失率については、1990年において23%を記録しているが、1997年までには設備の整備、更新等により、14%台まで低減することを期待し、予測している。

電化率に関しては現在、47%（約34万件）であるが、1997年までには明確な目標値はないものの60~70%台へ向上させたいとしている。具体的には、現在米州開発銀行の融資を受け、7都市で送配電網の整備を実施中である。

ENEEの需要想定に対し、マクロ的に検討した結果、ほぼENEEの需要想定は妥当なものと思われる。ENEEは新規の電源開発計画作成にもこれを用いており外国コンサルタントも同様にENEE作成の需要想定を妥当なものとして電力開発計画をたてている。本計画についても需要バランス計画においてはENEEの需要想定結果を採用することとした。

Table 5-2, Fig. 5-1, Fig. 5-2 にENEE作成の2010年迄の電力需要想定を示す。

## 5.2 ENEEの電力供給計画

1985年にEl Cajon水力発電所（292MW）が開発され、全設備容量は521.8MWとなった。その時点の最大電力は231MWであり、需要に対しあり余る程の供給力を持っていた。

この余剰電力は近隣国のNicaragua, Costa Rica及びPanamaへ輸出され、外貨獲得に大きく貢献してきた。このためENEEは今日まで新たに電源開発を行う必要がなかったこともあり、El Cajon水力発電所運開後は新たな電源開発についての積極的な対応はなかった。しかしながら、順調な国内需要の伸び、また最近の渇水によるEl Cajonダム水位の低下により輸出余力がなくなり、1991年2月にはPanamaへの輸出を打ち切る方針が出された。

一方、El Cajonの1号機が水車のトラブルにて長期停止（約1ヵ年）を余儀なくされ、他の発電所の点検停止も出来ず、運用面に多大な支障を来している。このため至近年の電力需要増に対応するため緊急にガスタービンの投入を考える等の対策を検討している。

具体的には1995年にガスタービン（50MW）を、更に1998年にもガスタービン（50MW）新設を計画している。2000年にはディーゼル（40MW）、Agua de la Reina水力発電所（57.7MW）の運転を計画している。更にEl Cajonの増設（73MW程度）もkW, kWhバランスを見つつ、出来るだけに早期に投入したい希望を持っている。

水力開発については上記の他にも有力な下記について調査を進行中である。

- Naranjito (136MW)
- Sico II (201MW)
- Raity R (250MW)

火力については、ガスタービン発電所、低速ディーゼル発電所、並びに地熱発電所の開発について調査中である。

BNBE作成の電源開発計画が順調に行われたとしても2000年にはkWおよびkWhとも不足するものと思われる。このため、BNBEは外国のコンサルタントに依頼して電力開発の種々のフィージビリティスタディーおよびマスタープランを実施中である。この計画が順調に進むと2000年時点の発電設備容量は1992年現在の1.4倍となり735.9MWとなる。

更にBNBEは2000年以後の電源開発計画についても現在検討中である。ENEEとしては今後火力中心で行くのか、国内資源を有効活用する水力発電にするかはまだ方針が固まっていない。この状況の下、El Cajon水力発電所の増設計画が検討された。

Table 5-3 にENEEの1990年～2010までの電源開発計画を示す。

### 5.3 El Cajon水力の最適増設計画

#### 5.3.1 各電源設備に対するコメント

##### (1) ガス・タービン

ガス・タービンは建設単価が比較的安価なうえ工事期間も短い。さらに運転時、負荷の変動に容易に追随することが出来るため緊急に開発出来る電源として適当である。経済性に関しては、一般的には年利用率が30%程度より低いピーク供給力として位置づけるとき他の電源より経済的であるといわれている。ENBEの電力供給上は当面、電力量の増加に対処出来る電源が求められていることからすれば、ガス・タービンの開発は得策でない。また平均発電単価からみても割高である。

しかしBNBEは当面の需給計画、早急な電源開発を迫られており、建設期間の短いガス・タービン50MWを1994年に運開することを決定したものである。

##### (2) ディーゼル火力

ディーゼル火力はBNBEの供給力としてこれまでも使われてきており、建設・運転・保守等にBNBEは十分習熟している電源である。

しかし、これから新設するのであれば、単機の出力増あるいは石炭火力・重油火力との比較について十分検討することがのぞまれる。その理由は建設単価はユニット容

量により大幅に変わるうえ、平均単価も石炭火力・重油火力のそれと匹敵しているからである。

### (3) 石炭火力

石炭火力は燃料としての石炭が最も容易に調達出来るうえ、価格も安定していることから今後のベース火力として最も推奨し得る電源である。

石炭火力の建設に際しては燃料調達（長期契約、調達先の多様化、輸送船など）、インフラストラクチャの設備、運転・保守員の研修・養成などエンジニアリング・スタディやファイナンスなど従来の手続の他にも時日を要する要因があり、これらを配慮する必要がある。

### (4) 重油火力

重油火力は石炭火力に比し、燃料のハンドリングが容易であり、インフラストラクチャの整備も比較的少なくて済み、発電単価も石炭火力と匹敵し得るため選択し得るオプションの1つである。問題はオイル価格の変動にどう対処するかであろう。

BNBBにとっては石炭、重油とも国産出来ない資源であるため、燃料購入に外貨を使うことは避けられない。

## 5.3.2 電源開発計画に対するENCCとの協議事項

### (1) 水 力

水力発電計画で調査の進んでいるものは次の通りである。

<u>プロジェクト名</u>	<u>認可出力</u>	<u>発電電力量</u>		<u>建設費（建中利子を除く）</u>
	(MW)	(GWh)年平均		Mil, US\$
Ague de la Reina	57.7	224	256	214
Naran Jito	136	332	541	448
Sico II (I)	103.4	397	477	500
(II)	201.0	391	488	569
El Cajon (2units)	146	-	-	110
Sico I	74.7	231	306	237

これら計画地点の中でNaranjitoおよびSico IIはそれぞれ有効容量 $950 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $1,090 \times 10^6 \text{ m}^3$ の貯水池を有する貯水池式発電所である。

すなわち、これら発電所の運用は調整式電源として位置づけられるものである。大きなダムを有するため単純な発電単価では他の火力電源のそれに比べてかなり割高となる。電力需給上ピークに対応する電力(kW)価値が正当に評価される時期に開発の妥当性が見い出せるものである。しかしBNEBの電力系統は2010年においても電力需要は約950MWであるのに対し、El Cajon水力発電所は292MWの調整力を有する大きな水力発電所である。この観点からNaranjitoおよびSico IIの2010年までの開発は時期早尚であるとした。

Sico IはSico IIと関連する開発地点であり、これも2010年まで開発はないものとした。

El Cajon水力は有効容量 $4,200 \times 10^6 \text{ m}^3$ の貯水池を有し、既設々備でプラントファクター52%で運転している。

現状でも年間を通じて貯水池への流量を調整出来るため、発電設備の増設により発電電力量の増加は期待できない。言い換えれば電力需給計画上kWのみが必要とされる電源構成となる時期の有無により増設計画の可能性が左右される。

前述の通り2010年まではピーク調整用電源は十分であるため、今後当分の間開発が必要とされる電源は電力量の需要増加に対応する電源であるベース供給電源である。

Agua de la Reina水力はEl Cajon水力の下流約3km地点に計画されたものであり、本計画単独では必ずしも経済性に優れているとはいいがたい。しかし本計画は上流El Cajon水力の変動する発電放流量を一定の流量に調整する、いわゆる逆調整式発電所としての機能が期待できる。

現時点では、El Cajon水力はベース電源としての発電機能を有しているため発電放流量の変動もそれ程大きくないが、将来ピーク対応電源としての機能が増すにつれて発電放流量の変動が大きくなると予想されるため、下流住民に対する安全あるいは河川敷の農地利用の面からも本計画の開発の必要性は大きくなるものと予想される。

BNEBもまた本計画の開発の必要性を認め、その時期について調査中である。

なお、El Cajon水力発電所の過去の運用で貯水池から溢水を生じた実績があるが、今後貯水池運用の改善により無効放流は生じないものとして本調査ではEl Cajon増設による二次電力量の増加はないこととした。El Cajon貯水池からの溢水実績を

Fig. -5-3 に示す。

既設Cañaverál、Rio Lindo水力はYojoa湖の水を利用する一貫した水路系の発電所であり、現状通り今後も定負荷運転すなわちベース供給発電を続けるものとした。

## (2) ガス・タービン

ENBBは50MWのガス・タービンをTegucigalpaのToncontin地点に1994年に運開させることを決定した。

これは、電力需給バランス上早急な電源開発が必要とされるための対応であり、次の新規ベース電源の開発までは需要電力量の増加に対処するため長い年間運転時間となることも予想される。しかし一般に経済性の点ではガス・タービンはプラント・ファクター30%を超える運転は不利であり、このガス・タービンを含めて十分なピーク対応電源を有することになるため、JICA調査団のスタディではガス・タービンの新たな開発は行わないこととした。

## (3) ディーゼル火力

ENBBはガス・タービンの次にディーゼル火力を開発する意向をもっている。単機出力は20MWであり、需給バランス上必要な台数を開発することとしている。

ディーゼル火力はベース火力として高いプラント・ファクターで運用されることになる。本スタディにおいてはプラント・ファクターを70%とすることとした。今後のベース火力としては経済性に優れる大容量火力が期待されるが、単機出力は電力系統の大きさとEl Cajon水力の単機出力の大きさからいって75MWが妥当であり、これが投入される時期は2000年移行となろう。すなわち、1994～2000年の期間のベース火力としての役割がディーゼル火力に期待される。

## (4) 重油火力・石炭火力・コンバインド・サイクル火力

大容量ベース火力としては、重油火力、石炭火力およびコンバインド・サイクル火力が考えられる。

この中でコンバインド・サイクル火力はスケールメリット追求による経済性の向上、ガス・タービンと蒸気火力との組合せによる熱効率の向上、あるいは段階開発が可能といった観点から選定される。

BNBE初の大容量火力として75～90MW程度の単機出力に対しこれを適用することは必ずしも得策ではないと考え、本調査の対象から外すこととした。

次に重油火力と石炭火力との比較においては、石炭火力は燃料としての石炭が輸入品となるため、その調達、あるいは社会資本の整備に十分な準備が必要なこと、また石炭の長期輸入契約のためには、大規模計画であることが望ましいこと、等から単機出力も極力大きくすることが望ましい。すなわち、最初の石炭火力は90MW 2台の発電計画とすることとし、90MWがほぼピーク需要の10%に相当する時期の2008年以降の運開を目標とする。すなわち、2001～2007年の期間は重油火力を開発するものとした。

その単機出力はEl Cajon水力の単機出力を考慮して75MWとする。この単機出力は上記期間の前半ではピーク需要の10%を超過するが事故対応としては予備力で対処するものとする。

### 5.3.3 検討の諸条件

#### (1) 発電電力、発電電力量

今後開発される電源の単機出力はガス・タービン50MW、ディーゼル火力20MW、重油火力75MW、石炭火力90MW、Agua de la Reina 57MW、El Cajon 73MW（既設機器と同一諸元とする）とした。需給バランスに適用する有効電力（Firm Power）および有効電力量（Firm Energy）については下記により求めた。

有効電力	一般に採用されている所内電力を考慮して算出した。
有効電力量	一般に採用されている所内電力量および年間利用率を考慮して算出した。Agua de la Reina水力の値については、フィージビリティスタディ報告書のSin tunnelのケースの値を利用した。 El Cajon水力の増設機の有効電力量はゼロとした。

(2) 予備力のとり方には種々の考え方があるが、1,000MW程度までの規模の電力系統に対しては、一般的に適用されている予備力のとり方は次の通りである。

- 1) 電力系統の中で最大の単機出力と2番目に大きな単機出力の合計出力相当分を予備力とする。
- 2) 電力系統の中で最大の単機出力と電力系統のピーク負荷の10%相当分を合計した出力相当分を予備力とする。
- 3) 電力系統のピーク負荷の15~30%の相当分の出力を予備力とする。

これらの3ケースでは1) 2) 3)の順に予備力の値は小さくなる。

ENBBの電力系統の中での最大単機出力は73MWと比較的大きいため、1)あるいは2)の考え方を採用すると予備力が大きくなり、経済性の点から好ましくないため、調査団は3)の考え方を採用し、その値については既設発電設備が水力主体に構成されていることを考慮して“15%”を採用した。

予備力の選定にあたっては、定期点検による電力供給力の低下および事故による電力供給力の低下、についても考慮しなければならない。

(a) 定期点検による電力供給力の低下

火力機器は長い点検期間を必要とする。定期点検期間を2年間に1回、1.5ヶ月と想定し2005年および2010年における月別ピーク電力想定値をベースに低負荷の時期に定期点検を行うものとして予備力を検討した。結果は年間を通じて少なくとも12%以上の予備力率を確保できることとなった。これにより上記予備力設定値15%は妥当であるといえる。

(b) 事故による電力供給力の低下

発電設備の長期に亘る事故停止は水力、火力両設備とも起こり得る。

しかしながら、本調査における目的は1992~2010年の期間においてBl Cajon水力の増設の必要性の時期を探ることであり、当該期間においては供給力の長期脱落は起こらないものと仮定した。

上記に基づき予備力の値はピーク負荷に対し15%相当出力とした。

(3) 金利および設備の耐用年

BNEBとの協議により次の通りとした。

金利	12%			
耐用年	ガス・タービン	15年	重油火力、石炭火力	25年
	ディーゼル火力	20年	水力	50年

(4) 建設費単価

火力については近年の実績を考慮して定め、水力についてはフィージビリティスタディ報告書の値を採用した。

ガス・タービン	50MW	US\$	750/kW
ディーゼル火力	20MW	US\$	1,500/kW
重油火力	75MW	US\$	1,200/kW
石炭火力	90MW	US\$	1,750/kW
Agua de la Reina	57MW	US\$	3,750/kW
El Cajon増設	73MW	US\$	750/kW

(5) 運転維持費

フィージビリティスタディレベルで一般に使われている値として、建設工事費に次の率を乗じて求めた。

ガス・タービン	4.5 %
ディーゼル火力・重油火力・石炭火力	5.0 %
水力	3.0 %

(6) 燃料費

燃料費については、変動要因が多く、特に将来の価格変動としてのエスカレーションには不確定要因が大きい。

本調査においても近年の各種フィージビリティスタディで設定された下記の値をベース値として採用し、感度分析としてこれらの値が50%増、100%増のケースについて試算を行った。

		燃料単価 (US\$/ton)		
	燃 料	ベース・ケース	50%価格増	100%価格増
ガス・タービン	ディーゼル油	239	358	478
ディーゼル火力	重 油	151	226	300
重 油 火 力	重 油	151	226	300
石 炭 火 力	石 炭	49	73	98

#### 5.3.4 電源開発計画のケース・スタディ

5.3.1～5.3.3で述べた諸条件を勘案して、ENEBの1992～2010の期間の電源開発計画として次の3ケースを策定した。

- Case 1    Agua de la Reinaを後年開発するケース  
          Agua de la Reinaを極力遅らせて開発する
- Case 2    Agua de la Reinaを早期に開発するケース
- Case 3    ディーゼル火力のみ開発していくケース

策定に当たっては各年間の需給バランスを充足するよう考慮した。すなわち、これらの開発計画を Table 5-4 および Fig. 5-4~6 に示す。

いずれの開発計画に対してもkW供給力のみが不足する場合には、Bl Cajon水力に5号機あるいは6号機を増設することによりkWおよびkWh双方に対し適正なバランスをとるよう考慮した。

#### 5.3.5 経済比較および感度分析

##### (1) 経済比較

経済比較は新規に開発される発電所の年経費について各発電所の運開年から2010年までの年経費について現在価値を求め、これを比較することとした。

その結果は次の通りである。

Case	年経費の現在価値 (Million US\$)
Case 1	521
Case 2	563
Case 3	514

Case 1 と Case 2 の比較において、約 8 % の差が生じたがその違いは Agua de la Reina 水力の投入の時期によるものであり、また大容量重油火力を Case 1 では極力早めている点がある。すなわち、Agua de la Reina 水力は経済性が乏しい上に需給バランス上寄与するところが他の電源より少ない。そのため、早期に開発を行うことによるメリットは生じてこない。

この結果、Agua de la Reina 水力は極力後年度開発とすることが望ましいといえる。Case 1 と Case 3 との比較でいえばその差は比率で約 1 % であり、経済性の点からいえば同等であるといえる。しかし Case 3 はきめ細かな需給バランスを最適化するために設けたケースであり、1,000MW クラスまで電力系統が拡大すれば電源多様化あるいは燃料多様化の観点からも現実的でなくこのケースは他のケースとの比較の点で意味がある。

この観点から Case 1 は経済性の点からもかなり良好であるということが出来よう。

## (2) 割引率の感度分析

割引率は本調査では 12% と設定したが、将来の国の経済活動の変化に対応し割引率を ± 3 % 変動させて (1) 項と同様に年経費の現在価値による比較を行った。

割引率 (%)	年経費の現在価値 (Million US\$)		
	Case 1	Case 2	Case 3
15	409	443	403
12 (Base Case)	521	563	514
9	675	722	653

この結果からは割引率の変化により、3 ケース間の経済性については基本ケースと変わらないといえる。

### (3) 燃料費の感度分析

経済性に最も大きな影響を与える要因の1つとして燃料費がある。ここでは、燃料価格のみがBase Caseとして定めた値に対し、一律に50%増、100%増になった時の新規電源の年経費の現在価値による比較を行った。

燃料価格	年経過の現在価値 (Million US\$)		
	Case 1	Case 2	Case 3
Base Case	521	563	514
50%増	640	678	627
100%増	684	719	664

この結果から燃料費の増嵩によっても3ケース間の経済性については基本ケースと変わらない。

言い替えば、新規水力地点としてはAgua de la Reina水力だけであり、これの与える影響が少ないことを意味している。

また、燃料価格が100%増になったとしても、ディーゼル火力、重油火力あるいは石炭火力の発電単価は10~11.5¢/kWhであり、他の水力計画地点の発電単価がこれ以上であることを考えればNaranjito、Sico II水力等の投入によるメリットは当分期待出来ないといえる。

#### 5.3.6 El Cajon水力の増設時期

これまでの検討の結果、El Cajon水力の増設時期については次の通りである。

	5号機	6号機
Case 1	2002	2006
Case 2	2004	2009
Case 3	2001	2006

すなわち、いずれのケースにおいても、5号機は2000年代前半に、6号機については2000年代後半に開発することが望ましいこととなった。したがって、7号機、8号機の開発時期は2010年以降となる。

JICA調査団は増設工事に際し土木工事を2台分または4台分同時に施工することが、技術的にも経済的にも妥当であると判断した。

しかし、発電機器に関しては5,6号機の同時開発は数年間過大な予備力を保有することになり、経済的ではない。

技術的にも、水圧管側は建屋内でバルクヘッドにより、放水路側はドラフトチューブ上部で止水することにより、後日発電機器のみを増設することが可能である。このため、5,6号機の開発は需給バランス上必要な時期に夫々に開発することとした。

Table 5-1 Basic Data for Demand Forecast

GDP, Population = Data of IMF

Year	GDP (Lempiras)		Energy (Generation)		Population		GDP/Capita		Energy/Capita	
	(Million)	Rate(%)	(GWh)	Rate(%)	(Thousand)	Rate(%)	Lempiras	Rate(%)	(KWh)	Rate(%)
1975	2,248	6.3	510.5	11.2	3,090	3.3	728	3.0	165	7.1
1976	2,696	19.9	560.3	9.8	3,200	3.6	843	15.8	175	6.1
1977	3,339	23.8	650.0	16.0	3,320	3.8	1,006	19.3	196	12.0
1978	3,798	13.7	691.4	6.4	3,440	3.6	1,104	9.7	201	2.6
1979	4,425	16.5	781.2	13.0	3,560	3.5	1,243	12.6	219	9.0
1980	5,085	15.0	899.2	15.1	3,670	3.7	1,379	10.9	245	11.9
1981	5,553	9.1	979.0	8.9	3,820	3.5	1,454	5.4	256	4.5
1982	5,762	3.8	1,037.1	5.9	3,960	3.7	1,455	-	262	2.3
1983	6,035	4.7	1,125.1	8.5	4,090	3.3	1,476	1.4	275	5.0
1984	6,462	7.1	1,183.7	5.2	4,230	3.4	1,528	3.5	280	1.8
1985	7,008	8.4	1,383.8	16.9	4,370	3.3	1,604	5.0	317	13.2
1986	7,596	8.4	1,459.6	5.5	4,510	3.2	1,684	4.9	324	2.2
1987	8,128	7.0	1,783.4	22.2	4,660	3.3	1,744	3.6	383	18.2
1988	8,937	9.9	1,938.9	8.7	4,800	3.0	1,862	6.8	404	5.5
1989	9,816	9.8	2,028.3	4.6	4,950	3.1	1,983	6.5	410	1.5
1990	11,923	21.5	1,972.0	-2.8	5,110	3.2	2,333	17.7	386	-5.9

Table 5-2 Energy Demand Forecast by ENEE

Year	High Case			Middle Case			Low Case		
	Energy	Power	L.f.	Energy	Power	L.f.	Energy	Power	L.f.
	(GWh)	(MW)	(%)	(GWh)	(MW)	(%)	(GWh)	(MW)	(%)
1991	2,105.9	381.6	63.0	2,058.6	385.3	61.0	1,917.9	358.9	61.0
1992	2,374.5	430.3	63.0	2,191.8	410.2	61.0	2,023.8	378.7	61.0
1993	2,583.1	467.3	63.1	2,267.4	417.5	62.0	2,107.1	388.0	62.0
1994	2,686.8	485.3	63.2	2,298.0	419.7	62.5	2,166.9	395.8	62.5
1995	2,808.0	506.4	63.3	2,379.3	431.1	63.0	2,261.7	409.8	63.0
1996	2,933.9	528.3	63.4	2,463.9	443.6	63.4	2,352.5	423.6	63.4
1997	3,065.5	551.1	63.5	2,565.8	461.3	63.5	2,449.7	440.4	63.5
1998	3,202.6	574.8	63.6	2,712.7	486.9	63.6	2,580.8	463.2	63.6
1999	3,366.2	603.2	63.7	2,874.1	515.1	63.7	2,719.4	487.3	63.7
2000	3,539.0	633.2	63.8	3,047.1	545.2	63.8	2,866.2	512.8	63.8
2001	3,720.2	664.6	63.9	3,232.2	577.4	63.9	3,021.4	539.8	63.9
2002	3,911.4	696.6	64.1	3,427.4	610.4	64.1	3,184.7	567.2	64.1
2003	4,112.6	730.1	64.3	3,636.7	645.6	64.3	3,358.6	596.3	64.3
2004	4,325.9	765.6	64.5	3,858.3	682.8	64.5	3,541.6	626.8	64.5
2005	4,556.9	804.0	64.7	4,094.8	722.5	64.7	3,736.2	659.2	64.7
2006	4,800.8	843.1	65.0	4,350.7	764.1	65.0	3,941.2	692.2	65.0
2007	5,060.0	885.9	65.2	4,620.5	809.0	65.2	4,157.9	728.0	65.2
2008	5,338.4	931.8	65.4	4,907.0	856.5	65.4	4,386.6	765.7	65.4
2009	5,632.0	980.1	65.6	5,211.2	906.8	65.6	4,627.8	805.3	65.6
2010	5,941.7	1,032.4	65.7	5,534.3	961.6	65.7	4,882.3	848.3	65.7

Table 5-3 Power Stations Existing and Planned by ENEE

EMPRESA NACIONAL DE ENERGIA ELECTRICA  
Dirección de Planificación y Control de Proyectos

DESCRIPCION DE CARACTERISTICAS DE LAS CENTRALES  
3 DE NOVIEMBRE DE 1992

	NOMBRE DE CENTRALES	POTENCIA (MW)		ENERGIA/ANO (Gwh)		ANO PUESTA /DISPONIBLE	
		INSTALADA	FIRME	FIRME	MEDIA		
EXISTENTE	HIDRO	CANAVERAL	28.5	26.7	186	216	1964
		RIO LINDO	80.0	73.1	571	624	1971/79
		EL NISPERO	22.5	21.8	34	67	1982
		EL CAJÓN	292.0	271.6	1,183	1,387	1985
			(423.0)	(393.2)	(1,974)		
	TERMICA	LA CEIBA	26.6	21.0	fp 0.7	128	1974
		I ALSTHOM	30.0	24.0	fp 0.7	147	1980
		II SULZER	30.0	24.0	fp 0.7	147	1984
			(86.6)	(69.0)		(422)	
		GRAN TOTAL	509.6	462.2	2,335		
FUTURA	HIDRO	AGUA DE LA REINA	57.7	57.0	223	255	flexible
				(tentativo)			
	TERMICA	TURBO GAS A1	50.0	47.5	fp 0.4	166	1994
		TURBO GAS A2	50.0	47.5	fp 0.4	166	flexible
		DIESEL LENTA A1	40.0	38.0	fp 0.7	233	flexible
DIESEL LENTA A2	40.0	38.0	fp 0.7	233	flexible		



Table 5-4 Demand and Supply Balance

Year	Demand			Case 1					Case 2					Case 3				
	Power (MW)	Required Power (MW)	Energy (GWh)	Late Development of La Reina					Early Development of La Reina					Development by Diesel				
				Power Station	Firm		Available		Power Station	Firm		Available		Power Station	Firm		Available	
					(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)		(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)		(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)
1990	364.7	419	1,917					462					462					462
91	385.3	443	2,059					462					462					462
92	410.2	472	2,192				2,362	462				2,362	462				2,362	462
93	417.5	480	2,267				2,362	462				2,362	462				2,362	462
94	419.7	483	2,298	GT1 (50)	172	47	2,534	509	GT1 (50)	172	47	2,534	509	GT1 (50)	172	47	2,534	509
95	431.1	496	2,379				2,534	509				2,534	509				2,534	509
96	443.6	510	2,464	D1 (20)	120	19	2,654	528	D1 (20)	120	19	2,654	528	D1 (20)	120	19	2,654	528
97	461.3	530	2,566	D2 (20)	120	19	2,774	547	D2 (20)	120	19	2,774	547	D2 (20)	120	19	2,774	547
98	486.9	560	2,713	D3 (20)	120	19	2,894	566	D3 (20)	120	19	2,894	566	D3 (20)	120	19	2,894	566
99	515.1	592	2,874	D4 (60)	360	57	3,126	602	D4 (60)	360	57	3,126	602	D4 (60)	360	57	3,126	602
2000	545.2	627	3,047	B1 (75)	432	70	3,558	672	D5 (40)	240	38	3,366	640	D5 (40)	240	38	3,366	640
01	577.4	664	3,232				3,558	672	La Reina (57)	223	57	3,589	697	El Cajón #5 (73)	-	68	3,366	708
02	610.4	702	3,427	El Cajón #5 (73)	-	68	3,558	740	B1 (75)	432	70	4,021	767	D6 (20)	120	19	3,486	727
03	645.6	742	3,637	B2 (75)	432	70	3,990	810				4,021	767	D7 (40)	240	38	3,726	765
04	682.8	785	3,858				3,990	810	El Cajón #5 (73)	-	68	4,021	835	D8 (40)	240	38	3,966	803
05	722.5	831	4,095	B3 (75)	432	70	4,275	856	B2 (75)	432	70	4,306	881	D9 (40)	240	38	4,206	841
06	764.1	879	4,351	El Cajón #6 (73)	-	68	4,275	924	B3 (75)	432	70	4,738	951	D10 (60) El Cajón #6 (73)	360 -	57 68	4,419	942
07	809.0	930	4,621	B4 (75)	432	70	4,707	994				4,738	951	D11 (40)	240	38	4,659	980
08	856.5	985	4,907	La Reina (57)	223	57	4,930	1,051	B4 (75)	432	70	5,170	1,021	D12 (40)	240	38	4,899	1,018
09	906.8	1,043	5,211	C1 (90)	508	83	5,291	1,063	El Cajón #6 (73) C1 (90)	- 508	68 83	5,359	1,101	La Reina (57) D13 (80)	223 480	57 76	5,283	1,080
2010	961.6	1,106	5,534	C2 (90)	508	83	5,627	1,146	C2 (90)	508	83	5,867	1,174	D14 (40)	240	38	5,523	1,114

To be retired  
 { la Ceiba in 1999  
 Cortes I in 2005  
 Cortes II }  
 GT1 in 2009





Table 5-5 Conditions for Calculation

		Gas Turbine	Diesel Thermal	Bunker Thermal	Coal Thermal
Unit Output	(MW)	50	20	75	90
Firm Power	(MW)	57	19	70	83
Plant Factor	(%)	40	70	70	70
Station Service	(%)	2	2	6	8
Available Energy	(GWh)	172	120	432	508
Fuel		Diesel Oil	Bunker C	Bunker C	Coal
Calorific Power	(kcal/kg)	10,200	9,900	9,900	6,000
Efficiency	(gen./send. %)	30/30	40/38	36/34	35/32.5
Consumed Factor	(kcal/kWh)	2,867	2,263	2,529	2,646
Fuel Cost	(\$/ton)	239	151	151	49
Fuel Cost	(\$/kWh)	0.0672	0.0345	0.0386	0.0216
Variable Cost	(M\$/year)	11.56	4.14	16.68	10.97
Life	(Year)	15	20	25	25
Construction Cost	(\$/kW)	750	1,500	1,200	1,750
Capital Cost	(\$/kW)	110.11	200.82	153.00	223.13
O&M Cost	(%)	4.5	5	5	5
O&M Cost	(\$/kW)	33.75	75.00	60.00	87.50
Fixed Cost	(\$/kW)	143.86	275.82	213.00	310.63
Fixed Cost	(M\$/year)	7.19	5.52	15.98	27.96
Annual Cost	(M\$/year)	18.75	9.66	32.66	38.93
Averaged Unit Cost	(¢/kWh)	@10.90	@8.05	@7.56	@7.66

Table 5-6 Construction Cost

(Unit: M\$)

Case 1 (Late Development of Agua de la Reina)		Case 2 (Early Development of Agua de la Reina)		Case 3 (Development by Diesel Thermal)	
GT1 (50)	37.5	GT1 (50)	37.5	GT1 (50)	37.5
D1 (20)	30	D1 (20)	30	D1 (20)	30
D2 (20)	30	D2 (20)	30	D2 (20)	30
D3 (20)	30	D3 (20)	30	D3 (20)	30
D4 (60)	90	D4 (60)	90	D4 (60)	90
B1 (75)	90	D5 (40)	60	D5 (40)	60
El Cajón #5 (73)	73	Agua de la Reina (57)	214.5	El Cajón #5 (73)	73
B2 (75)	90			D6 (20)	30
B3 (75)	90	B1 (75)	90	D7 (40)	60
El Cajón #6 (73)	36	El Cajón #5 (73)	73	D8 (40)	60
B4 (75)	90	B2 (75)	90	D9 (40)	60
Agua de la Reina (57)	214.5	B3 (75)	90	D10 (60)	90
		B4 (75)	90	El Cajón #6 (73)	36
C1 (90)	157.5	El Cajón #6 (73)	36	D11 (40)	60
C2 (90)	157.5	C1	157.5	D12 (40)	60
		C2	157.5	Agua de la Reina (57)	214.5
				D13 (80)	120
				D14 (40)	60
	1,216		1,276		1,201



Table 5-7 Present Value of Annual Cost

	Case 1 Late Development of La Reina					Case 2 Early Development of La Reina					Case 3 Development by Diesel Thermal				
	P.S.	Installed Capacity (MW)	Annual Cost (M\$)	PV at Commissioning Year (M\$)	PV at 1992 (M\$)	P.S.	Installed Capacity (MW)	Annual Cost (M\$)	PV at Commissioning Year (M\$)	PV at 1992 (M\$)	P.S.	Installed Capacity (MW)	Annual Cost (M\$)	PV at Commissioning Year (M\$)	PV at 1992 (M\$)
1991															
92															
93															
94	GT1	50	18.75	133.50	106.43	GT1	50	18.75	133.50	106.43	GT1	50	18.75	133.50	106.43
95															
96	D1	20	9.66	65.80	41.82	D1	20	9.66	65.80	41.82	D1	20	9.66	65.80	41.82
97	D2	20	9.66	64.02	36.33	D2	20	9.66	64.02	36.33	D2	20	9.66	64.02	36.33
98	D3	20	9.66	62.05	31.44	D3	20	9.66	62.05	31.44	D3	20	9.66	62.05	31.44
99	D4	60	28.98	179.52	81.21	D4	60	28.98	179.52	81.21	D4	60	28.98	179.52	81.21
2000	B1	75	32.66	193.93	78.32	D5	40	19.32	119.68	48.34	D5	40	19.32	114.72	46.33
01						La Reina	57	32.15	181.65	65.50	El Cajón #5	73	11.05	62.43	22.51
02	El Cajón #5	73	11.05	58.87	18.95	B1	75	32.66	174.01	56.03	D6	20	9.66	51.47	16.57
03	B2	75	32.66	162.25	46.64						D7	40	19.32	95.98	27.59
04						El Cajón #5	73	11.05	50.43	12.94	D8	40	19.32	88.17	22.63
05	B3	75	32.66	134.25	30.77	B2	75	32.66	134.25	30.77	D9	40	19.32	79.42	18.20
06	El Cajón #6	73	5.53	19.93	4.08	B3	75	32.66	117.72	24.09	D10 El Cajón #6	60 73	28.98 5.53	104.45 19.93	21.37 4.08
07	B4	75	32.66	99.21	18.13						D11	40	19.32	58.69	10.72
08	La Reina	57	32.15	77.21	12.59	B4	75	32.66	78.43	12.79	D12	40	19.32	46.40	7.57
09	C1	90	38.93	65.81	9.58	C1 El Cajón #6	90 73	38.93 5.53	65.81 9.35	9.58 1.36	D13 La Reina	80 57	38.64 32.15	65.32 54.35	9.51 7.92
2010	C2	90	38.93	34.76	4.52	C2	90	38.93	34.76	4.52	D14	40	19.32	17.25	2.24
Total		853			520.81		893			563.15		833			514.47
	GT1	50				GT1	50				GT1	50			
	E.C.	146				E.C.	46				E.C.	146			
	L.R.	57				L.R.	57				L.R.	57			
	B+C	480				B+C	480				D	560			
	D	120				D	160								





Table 5-8 Planned Hydro-Power Projects

		Agua de la Reina	El Cajón Amplification	Naranjito	Sico II
Installed Capacity	MW	57.7	73x2	136	201
Firm Energy	GWh	223.8	-	332	391.1
Average Energy	GWh	255.6	-	541	487.9
Construction Cost	M\$	214.5 (W/O IDC)	109 (W/IDC)	448 (W/O IDC)	568.6 (W/O IDC)
Life	Year	50	50	50	50
Fixed Cost	M\$	25.73	13.28	53.95	68.47
O&M Cost	M\$	6.42	3.30	13.44	17.06
Annual Cost	M\$	32.15	16.58	67.39	85.53
Unit Cost	c/kWh	@12.6	-	@12.5	@17.5

Table 5-9 Sensitivity Analysis

	Disc. Rate (%)	Fixed Cost (M\$)	Variable Cost (M\$)	Annual Cost (M\$)	Unit Price (c/kWh)	Fuel Cost (\$/ton)	Fixed Cost (M\$)	Fuel Cost (M\$)	Annual Cost (M\$)	Unit Price (c/kWh)
GT (50 MW)	15	8.10		19.66	@11.43	478		23.12	30.31	@17.62
	12	7.19	11.56	18.75	@10.90	358	7.19	17.31	24.50	@14.24
	9	6.34		17.90	@10.41	239		11.56	18.75	@10.90
D (75MW)	15	6.29		10.43	@8.69	300		8.23	13.75	@11.46
	12	5.52	4.14	9.66	@8.05	226	5.52	6.20	11.72	@9.77
	9	4.79		8.93	@9.44	151		4.14	9.66	@8.05
B (75MW)	15	18.42		35.10	@8.13	300		33.09	49.07	@11.36
	12	15.98	16.68	32.66	@7.56	226	15.98	24.93	40.91	@9.47
	9	13.66		30.34	@7.02	151		16.68	32.66	@7.56
C (90MW)	15	32.30		43.27	@8.52	98		21.95	49.91	@9.82
	12	27.96	10.97	38.93	@7.66	73	27.96	16.36	44.32	@8.72
	9	23.91		34.88	@6.87	49		10.97	38.92	@7.66
Agua de la Reina (57MW)	15	32.09		38.51	@17.27					
	12	25.73	6.42	32.15	@14.42					
	9	20.49		25.91	@11.62					
El Cajón (146MW)	15	16.50		19.86	-					
	12	13.28	3.30	16.58	-					
	9	10.06		13.36	-					

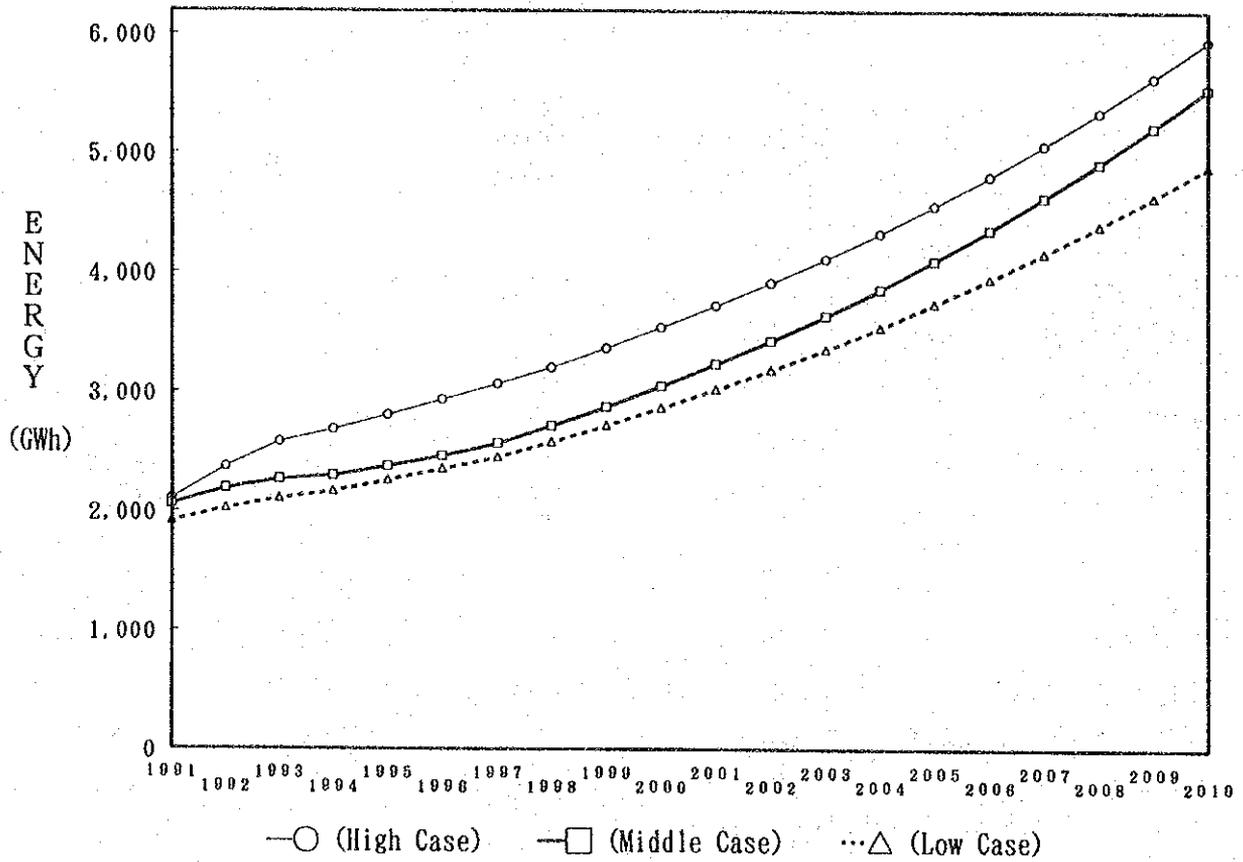


Figure 5-1 Energy Demand Forecast by ENEE

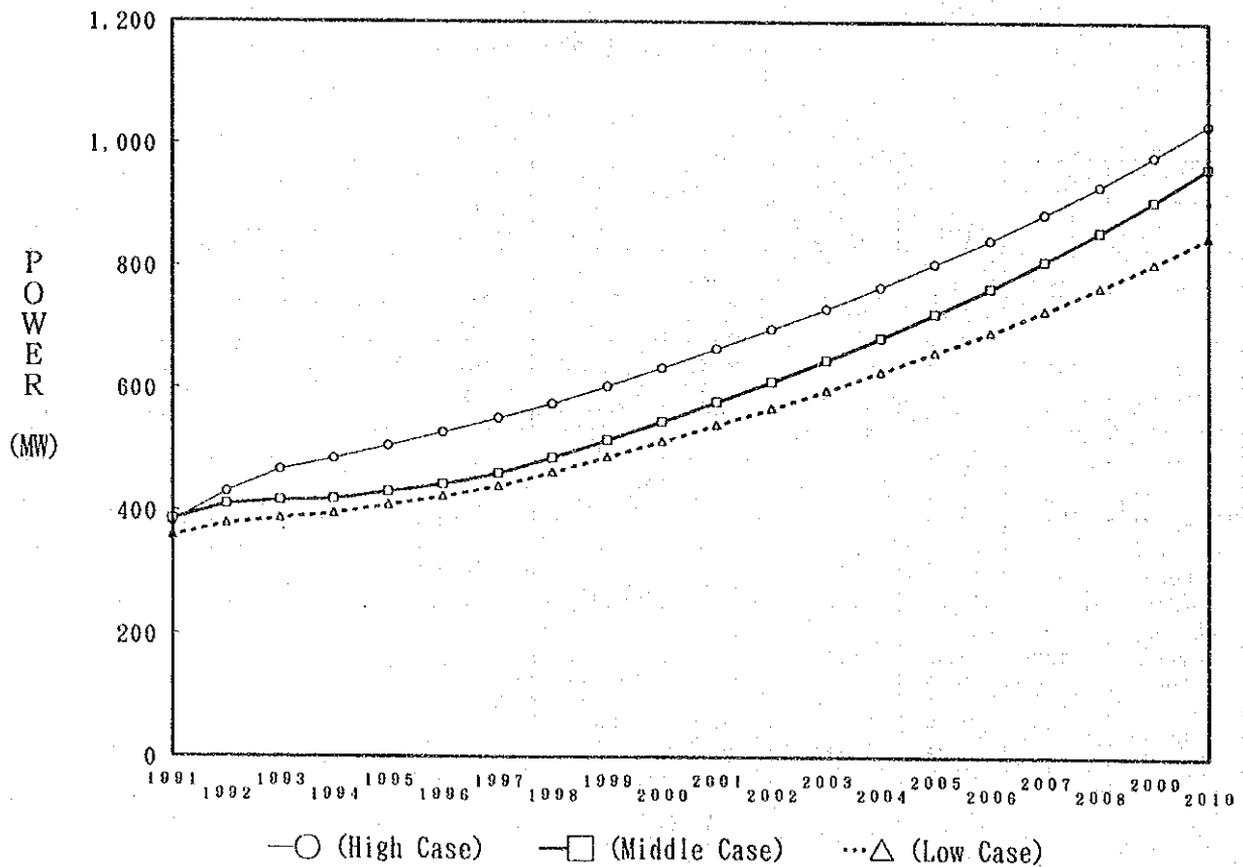


Figure 5-2 Power Demand Forecast by ENEE

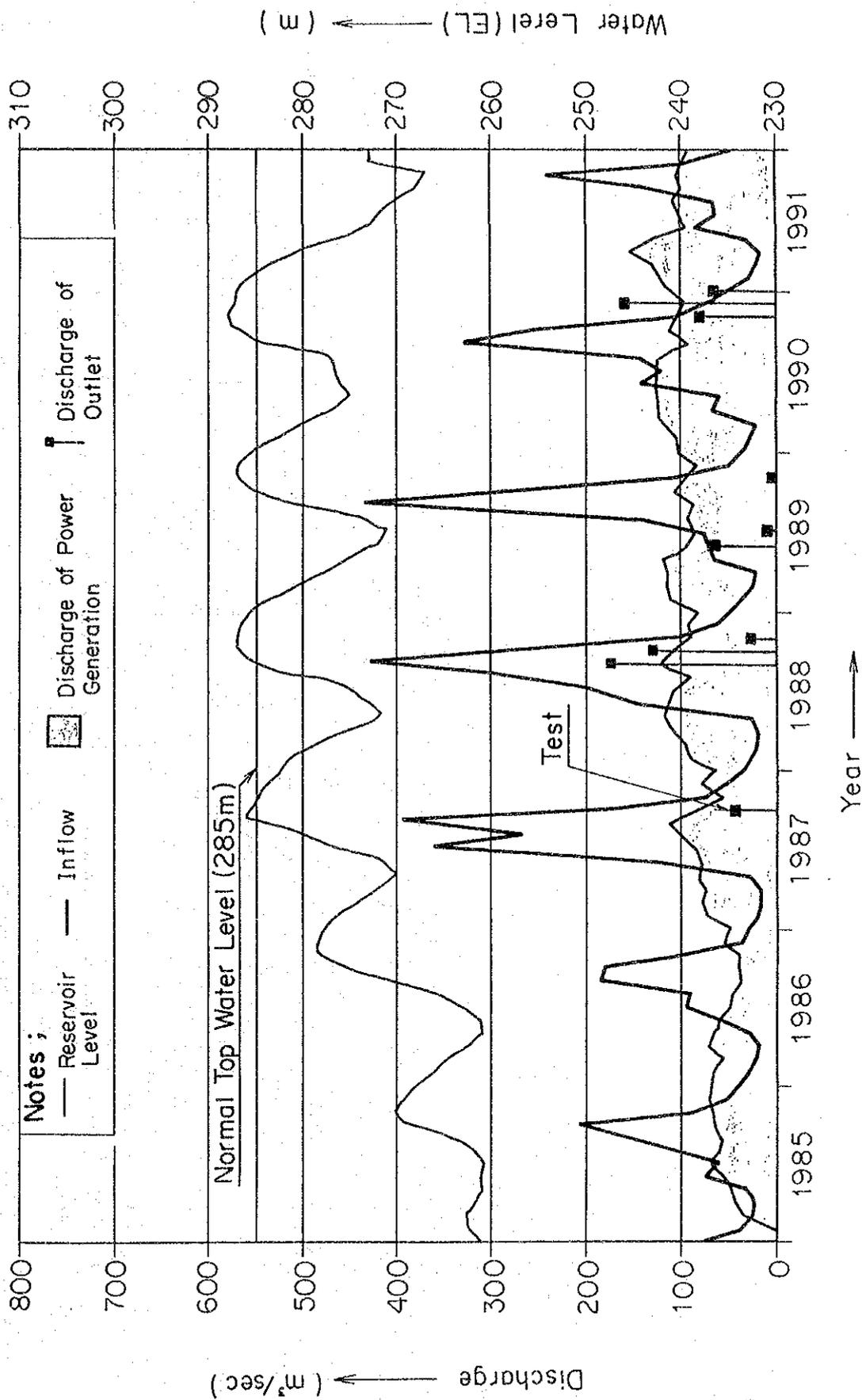


Figure 5-3 Past Records of Reservoir Operation

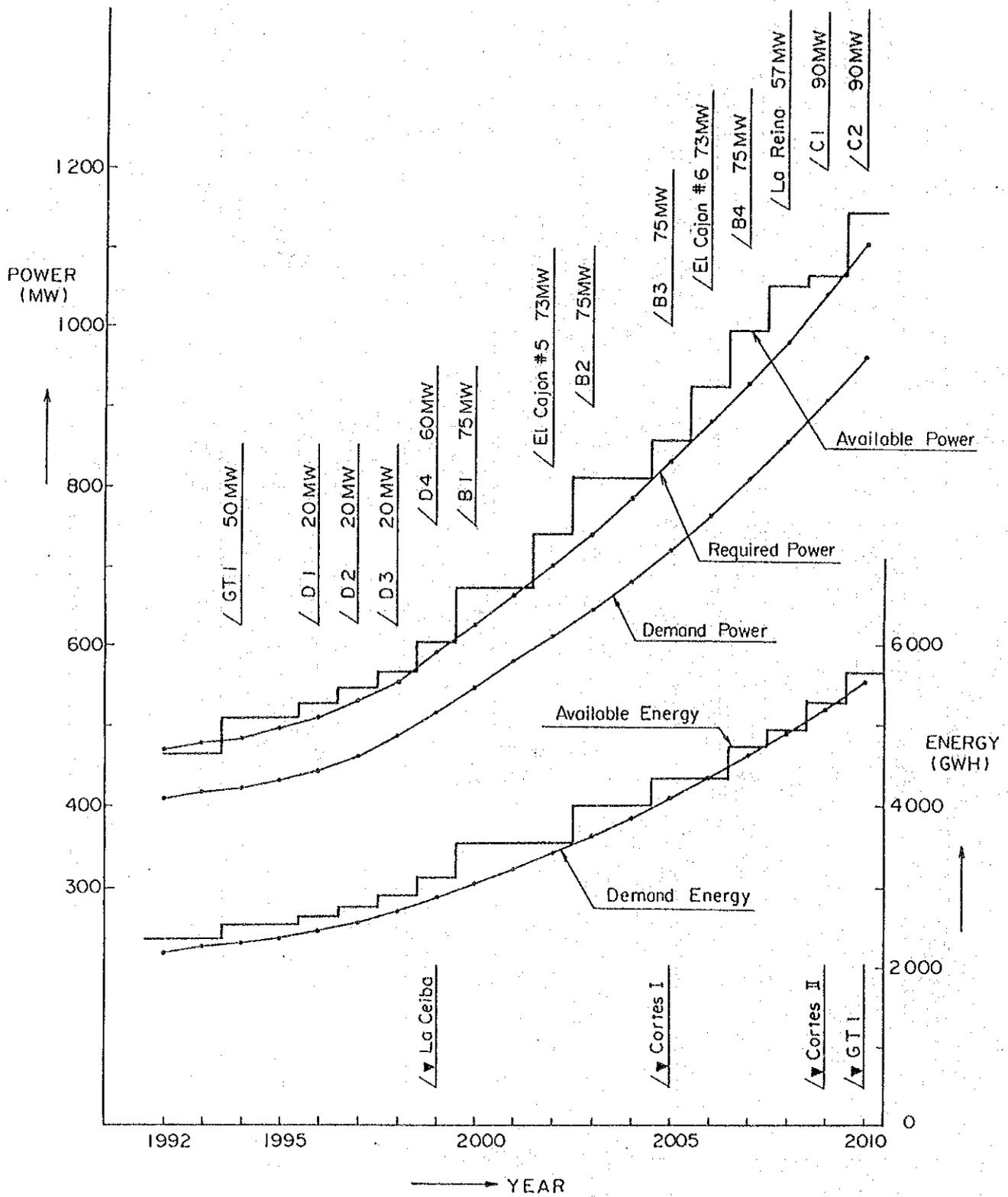


Figure 5-4 Demand and Supply Case 1 (1/3)

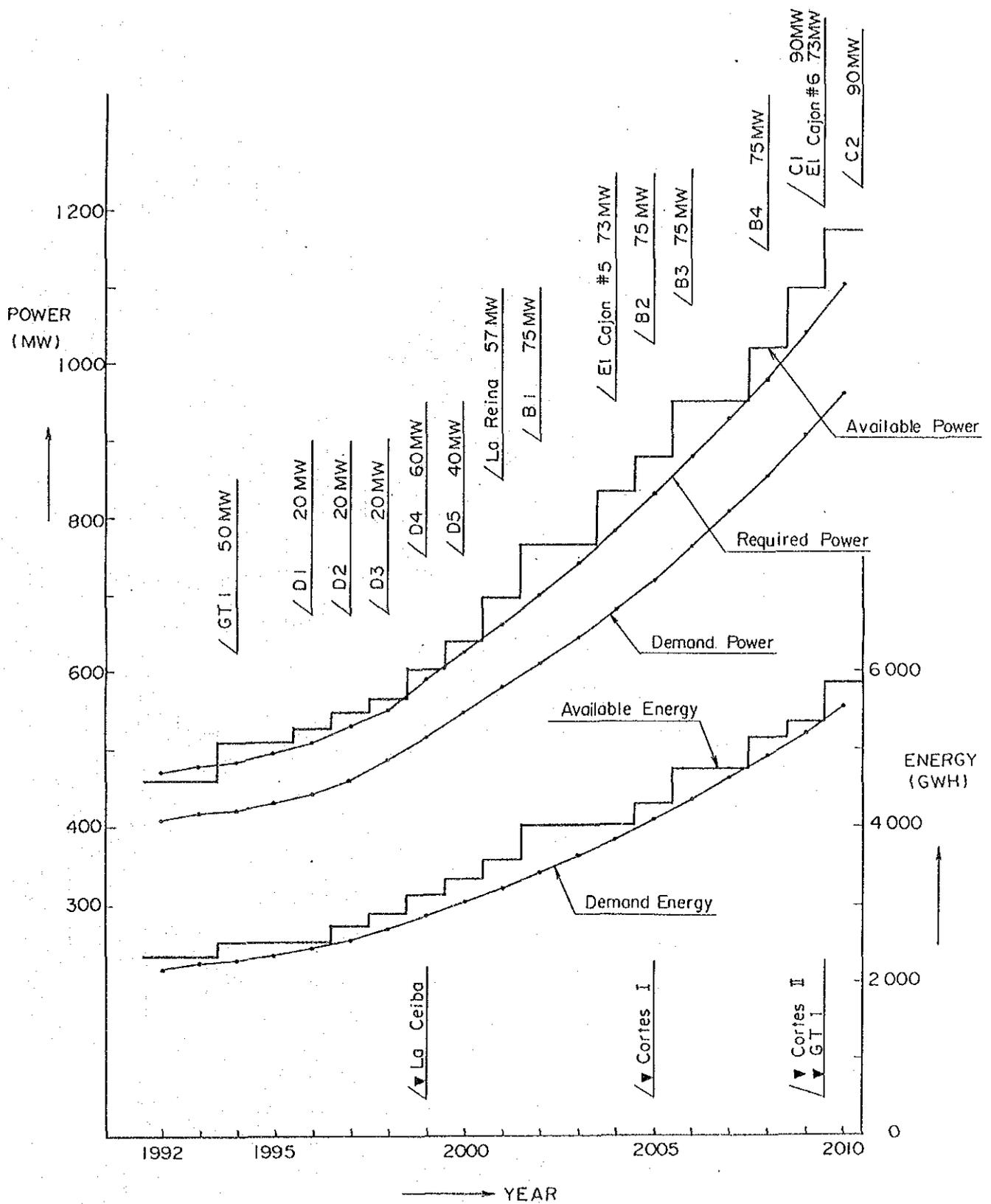


Figure 5-5 Demand and Supply Case 2 (2/3)

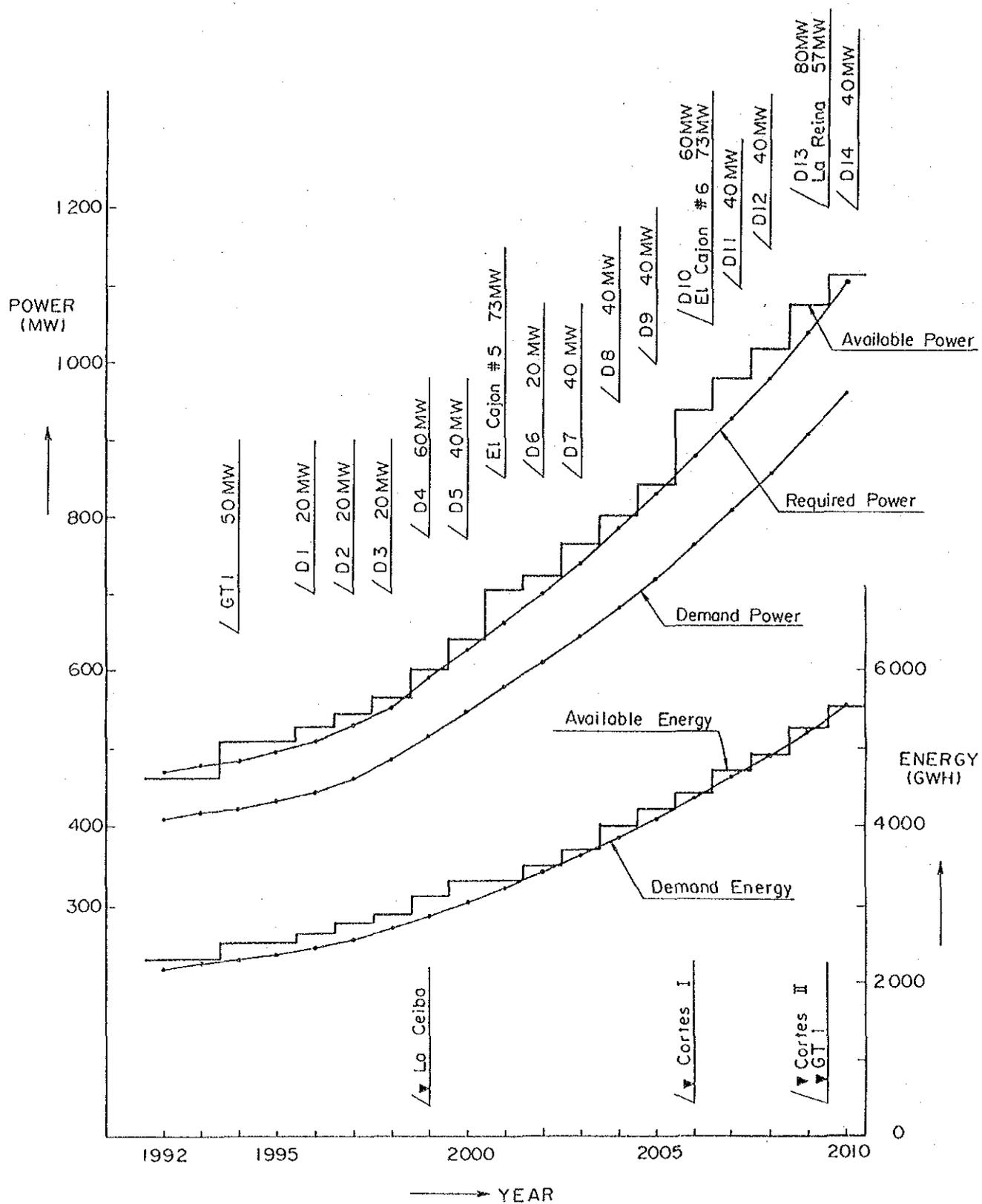


Figure 5-6 Demand and Supply Case 3 (3/3)

## 第 6 章 気象および水文



## 第6章 気象および水文

### 目 次

	頁
6.1 気象および水文の概要 .....	6-1
6.1.1 一般 .....	6-1
6.1.2 気象および流量観測資料 .....	6-1
6.1.3 気象、水文観測所の現地踏査 .....	6-2
6.1.4 気象および水文 .....	6-3
6.2 流 量 .....	6-4
6.2.1 一般 .....	6-4
6.2.2 流量資料の検証 .....	6-5
6.2.3 流量資料の補完 .....	6-5
6.3 洪水解析 .....	6-6
6.3.1 一般 .....	6-6
6.3.2 確率洪水量 .....	6-6
6.3.3 可能最大洪水量 .....	6-7



### List of Tables

Table 6-1	Measurement Period of Meteorological Data
Table 6-2	Monthly Precipitation in El Cajón Dam Basin
Table 6-3	Monthly Average Temperature in El Cajón Dam Basin
Table 6-4	Monthly Evaporation in El Cajón Dam Basin
Table 6-5	Monthly Average Runoff in El Cajón Dam Basin
Table 6-6	Monthly Average Runoff at El Cajón Gauging Station Compensated by Daily Runoff at Lagunetas Gauging Station
Table 6-7	Synthetic Monthly Average Runoff at El Cajón Gauging Station

### List of Figures

Figure 6-1	Location of River Runoff Gauging Stations
Figure 6-2	Measurement Period of Daily River Runoff
Figure 6-3	Location of Meteorological Gauging Stations and Isohyetal Map of El Cajón Dam Basin
Figure 6-4	Monthly Precipitation in El Cajón Dam Basin
Figure 6-5	Monthly Average Temperature in El Cajón Dam Basin
Figure 6-6	Monthly Evaporation at El Cajón Gauging Station
Figure 6-7	Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajón and Lagunetas Gauging Stations
Figure 6-8	Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajón and El Sarro Gauging Stations
Figure 6-9	Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajón and Guacamaya Gauging Stations
Figure 6-10	Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajón and Lagunetas Gauging Stations
Figure 6-11	Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajón and El Sarro Gauging Stations
Figure 6-12	Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajón and Guacamaya Gauging Stations
Figure 6-13	Correlation between Daily Runoff at El Cajón and Lagunetas Gauging Stations
Figure 6-14	Synthetic Annual Average Runoff at El Cajón Gauging Station
Figure 6-15	Precipitation and Hydrography of Hurricane "Fifi"



## 第6章 気象および水文

### 6.1 気象および水文の概要

#### 6.1.1 一般

Honduras国は中米地峡に位置し、国土は南北よりも東西に長く伸びている。国土は北緯13°から16°付近に位置するので、一年の半分は北極およびアメリカ大陸北部および北東部で発生する寒冷前線や寒気団の影響を受け、残りの半分は赤道地帯と熱帯で発生する貿易風の熱帯収束帯および熱帯波動の影響を受けるほか、短期間ではあるが、バミューダ海高気圧の影響も受ける。

El Cajonダム地点は、大西洋に注ぐUlua川水系、Comayagua川の二大支流であるHumuya川とSulaco川の合流点の直下流に位置する。Humuya川は首都Tegucigalpa市西部の標高1,400~1,500mの山間部に発して北に流れてComayagua市の平野部に入り、さらに北流して渓谷部に入る。Sulaco川は、太平洋側に流れるCholuteca水系との境界である首都Tegucigalpa市北部の標高1,000m程度の山間部に発して渓谷を形成しながら北に流れ、その後西に向きを変えて両河川は合流する。両河川は途中まではほぼ平行して北向きに流れるが、その流域は標高1,000~2,000m以上の山脈によって区切られている。El Cajon貯水池流域の平均標高は約900mである。El Cajonダム地点における流域面積は8,220km<sup>2</sup>であるが、そのうちHumuya川が3,620km<sup>2</sup>、Sulaco川が4,600km<sup>2</sup>である。

#### 6.1.2 気象および流量観測資料

各測水所の位置を Fig. 6-1 に、観測期間を Fig. 6-2 に示す。El Cajon貯水池流域内で現在稼働中の測水所は15カ所ある。そのうち、BNBBにより管理されている測水所は5カ所、DSHC (Departamento de Servicios Hidrologicos y Climatologicos) により管理されている測水所は10カ所である。Fig. 6-2 の測水所のうち、Lagunetas, Piedra Parada, Los Naranjos, El Sarro, Los Encuentros, Sialeの6カ所の測水所は、El Cajon発電計画のフェージビリティスタディのために、1970年から1971年にかけてスイスのコンサルタントMotor-Columbus社により設置されたものである。な

お、図の測水所のうち、El Cajon, Piedra Parada, Los Naranjos, Agua Blancaの4カ所はEl Cajonダムの建設により貯水池内に水没している。また、Lagunetas測水所は、堆砂により測定に支障が出るようになったため、1993年1月～3月の間に上流のRemolinoダム計画地点に移設される予定であるとのことであった。

Fig. 6-3 に各気象観測所の位置を、Table 6-1 に観測項目、観測期間を示す。現在稼働中の気象観測所は流域内に30カ所あり、そのうち、SMN (Servicio Meteorologico Nacional) により管理されている気象観測所は4カ所、ENBEにより管理されている気象観測所は13カ所、DSHCにより管理されている気象観測所は13カ所である。観測所の多くは雨量計だけが設置されているだけで、雨量計も、自己記録式のもは少なく、大部分は雨量ます型のものである。雨量ます型の雨量計は、毎朝7時に観測員が測定しているとのことであった。これらの気象観測所のうち、Esquias, Las Flores, Marale, San Ignacio, Sulaco, Vallecilloの雨量観測所は、El Cajon発電計画のフィージビリティスタディにおいて、スイスのコンサルタントMotor-Columbus社により設置されたものである。

同じく Fig. 6-3 に年間降雨量の等雨量線図を示す。流域内ではYojoa湖の周辺と、Humuya川とSulaco川の流域の境界の山地で降雨量が多い傾向にある。

各気象観測所は流域内に偏りなく配置され、流域内の降雨特性を把握するのに不都合はないと思われる。

### 6.1.3 気象、水文観測所の現地踏査

第一回目の現地調査の際には、San Jeronimo, El Cajonの二カ所の気象観測所と、El Jicaroの測水所を現地踏査したが、気象観測所については、周囲は樹木が切り払われて観測に支障がないように配慮されていた。また、測水所については、観測井、スタッフゲージともにごみや枯れ葉が詰まって観測に支障を来すことはない様子で、観測機器も良好に維持されていた。

現地踏査の結果では、気象、水文観測は民間人に委託しており、観測結果を1か月に1回ENBE本部に郵送してもらっているとのことであった。

#### 6.1.4 気象および水文

Honduras国は熱帯と亜熱帯に属し、気候は、熱帯雨林気候と、熱帯サバンナ気候に属する。気温の年較差は小さく、相対湿度は高く、一年の気候は雨期と乾期にはっきりと分かれている。

##### (1) 降雨量

Humuya川およびSulaco川の流域は同国中央部の降雨量の多い高地に位置する。

雨の多い時期は5月から10月まで約6カ月続く。最も雨の多い月は、6月と9月であり、最も雨の少ない月は2月と3月である。年間平均降水量は、山脈の下部で1,600mmで、山脈の頂上および風上側斜面では2,000mm近くである。貯水池流域付近で最も降水量が多いのはYojoa湖の北東部で、年間降水量は約3,200mmに達する。

Table 6-2 に流域内の気象観測所の月平均降雨量、Fig.6-4 にEl Cajonと流域内で最も降雨量の多いSanta Elenaおよび最も少ないPlayitasの3つの観測所における平均月降雨量の変化を示す。El Cajon観測所の年間平均降雨量は約1,400mmで、年間の月降雨量の変化を見ると5月から10月までの雨期と11月から4月までの乾期にはっきりと分かれている。

##### (2) 気温

Table 6-3 に流域内の観測所における月平均気温を、Fig.6-5 にEl CajonおよびTegucigalpaにおける月平均気温の年変化を示す。El Cajon観測所における年平均気温は約26°Cである。Honduras国は熱帯と亜熱帯に位置するので気温の年変化はFig.6-5 に示すように小さい。1981年から1991年の平均値は、最も寒い12月、1月と最も暑い4月、5月との差でも約4～5°Cである。

##### (3) 蒸発

流域内の観測所における月間蒸発量を Table 6-4 に、El Cajon観測所における月間蒸発量の年変化を Fig.6-6 に示す。

一般に蒸発皿による蒸発量は河川や湖の表面における値よりも大きい傾向にあるので、Pan 係数を乗じて貯水池面からの蒸発量を算定する。当観測所ではClass A Pan

の場合に用いられる係数0.6~0.8の平均値0.7を適用した。

Table 6-4 より、貯水池からの蒸発量は、11年間の平均で約1,780mm/yearである。満水位における年間平均蒸発量を流量に換算すると、以下の式のようになる。

$$\begin{aligned} \text{流量に換算した年間平均蒸発量} &= 1.78 \times 94 \times 1,000^2 \times 0.7 / 365 / 86,400 \\ &= 3.71 \text{ (m}^3\text{/sec)} \end{aligned}$$

その結果、流量に換算した蒸発量は約3.7 (m<sup>3</sup>/sec) であり、1970~1983年の平均流量108m<sup>3</sup>/secの3.4%と、かなり大きな値になるので、後述の電力量計算においては貯水池からの蒸発を考慮した。

#### (4) 水 文

El Cajonダム地点付近のHumuya川およびSulaco川は深いV字谷を形成している。

Table 6-5 に流域内の測水所における月平均流量を示す。El Cajon測水所における年間の流出量は1966年から1984年までの平均で106.9m<sup>3</sup>/secである。流出量を流域面積100km<sup>2</sup>あたりに換算すると1.249m<sup>3</sup>/secであるが、その約40%は雨期の後半の9月と10月に流出する。

洪水については、El Cajon測水所で1966年に観測を開始して以来最大のものは1974年9月に同国を襲ったハリケーン"Fifi"によるもので、最大流量は3,600m<sup>3</sup>/secであったと推定されている。

## 6.2 流 量

### 6.2.1 一 般

El Cajonダム地点の流量は、ダム地点直下流のEl Cajon測水所において1966年から1984年までの19年間の日流量資料が整備されているので、当資料を基本として算出する。

### 6.2.2 流量資料の検証

El Cajon測水所の流量資料を検証するために、長期間にわたって流量資料がそろっており、しかも、El Cajon測水所の近くにあるLagunetas, El Sarro, Guacamaya測水所との間で月平均流量の相関関係を調べた。

Fig. 6-7~9 にダブルマスカーブによる検証結果を示すが、それぞれの地点における日流量の間には比較的高い相関関係が認められる。よって、当測水所における流量記録は妥当であるといえる。また、El Cajon測水所とこれらの3つの測水所で月平均流量を用いて回帰分析を行った結果を Fig. 6-10~12 に示す。

### 6.2.3 流量資料の補完

El Cajon測水所の日流量資料の欠測部分を補完するために、近傍の測水所の日流量資料を利用する。6.2.2の回帰分析の結果より、最も相関係数の大きいLagunetas測水所の流量資料を採用した。

両測水所の流量資料のうち観測期間が重複している1970年から1982年までの13年間の日流量資料を用いて12月から5月までの渇水期と6月から11月までの豊水期に分けて欠測データを補完した。豊水期と渇水期それぞれの流量の補完式は以下のとおりである。

$$\text{渇水期} : Q_E = 0.47 \times Q_L + 6.99$$

$$\text{豊水期} : Q_E = 0.86 \times Q_L - 9.96$$

ここに、

$Q_E$  : El Cajon 測水所における日流量 (m<sup>3</sup>/sec)

$Q_L$  : Lagunetas 測水所における日流量 (m<sup>3</sup>/sec)

渇水期、豊水期の日流量の相関関係を Fig. 6-13 に示す。

Table 6-6 に補完された1970~1982年の月平均流量を示す。

補完された1970~1982年の流量に対して、マルコフ過程に基づくMatalasのデータジェネレーションと呼ばれる手法を用いて50年間の月平均流量を推定した結果、50年間の平均流量は、109.5 m<sup>3</sup>/secと算定された。算定結果を Table 6-7 に、各年の平均流量の変化を Fig. 6-14 に示す。

スイスのコンサルタントMotor-Columbus社によるフィージビリティスタディでは、1966年から1971年の6年間の流量資料を基に、標準偏差と歪度を出してモンテカルロ法を用い、50年間の月流量を算定している。その結果によると、El Cajon測水所における50年間の平均月流量は、 $140.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。その後、スタディの見直しを行い、フィージビリティスタディの後の期間に測定された流量資料を追加して同様の手法により50年間の月流量を算定した。1972年と73年が渇水年であったので、平均日流量は $110.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ と下方修正されている。

1970年から1982年までの13年間の補完された流量を用いて算出した50年間の平均月流量 $109.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ と、Motor-Columbus社の算出した月平均流量 $110.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ はほぼ等しい値となっている。

### 6.3 洪水解析

#### 6.3.1 一般

本スタディは、水力発電所の新設計画ではなく、既設の発電所の増設計画であり、ダムおよび貯水池の改造や諸元の変更はともなわない。したがって、洪水解析については既存のスタディの解析方法のレビューにとどめておき、新たに洪水流量の算定は行わない。

1974年9月に同国を襲ったハリケーン "Fifi" の際の洪水流量は、El Cajon測水所に設置してあった自己記録式水位計が冠水したため、最大洪水流量は観測されていない。したがって、ドイツのコンサルタントLahmeyer社のフィージビリティスタディでは雨量記録を基にした流出解析により洪水流量を間接的に求めている。雨量強度およびハイドログラフをFig. 6-15に示す。

#### 6.3.2 確率洪水量

スイスのコンサルタントMotor-Columbus社によるフィージビリティスタディでは、スタディ実施当時は確率洪水量を算出するのに十分な期間の流量資料がなかったため、雨量資料を基に単位流量図を作成し、確率洪水量を算出している。当スタディでは、1,000年確率の雨が流域内のAgua Caliente, Comayagua, El Cajon, El Coyolar, Talangaの観測所地点において同時に発生するという仮定に基づき、72時間の降雨持続

で流域全体に対する可能最大降雨量 (PMP) を算定している。算定された降雨量に対して、透水、蒸発散による減少および植生による流出の遅延を考慮して単位流量図を作成し、確率洪水量を算出している。Fig. 6-15の雨量強度分布によると、強い雨は約72時間持続しており、降雨持続時間の設定は妥当であると思われる。

その後、ドイツのコンサルタントLahmeyer社の行ったフィージビリティスタディでは、ハリケーン“Fifi”による流域の降雨量分布を基に96時間の降雨持続で流域全体に対する可能最大降雨量 (PMP) を算定している。

### 6.3.3 可能最大洪水量

スイスのコンサルタントMotor-Columbus社によるフィージビリティスタディでは、1,000年確率洪水量を基に、ロシアの規格に従って確率統計に関する係数を考慮して、可能最大洪水量を17,300 m<sup>3</sup>/secと算出している。

その後、同社によってスタディの見直しが行われ、1974年に同国を襲ったハリケーン“Fifi”による降雨を基に可能最大洪水量を22,800 m<sup>3</sup>/secとしているが、コンサルティングボードによるスタディで再度見直しを行い、14,300 m<sup>3</sup>/secと算定している。

ドイツのコンサルタントLahmeyer社によるフィージビリティスタディでは、可能最大降水量を基に、可能最大洪水量を14,600 m<sup>3</sup>/secと算出している。

Table 6-1 Measurement Period of Meteorological Data

Station	Latitude	Longitude	Elev. (m)	Measurement Period				
				Precipitation	Temperature	Evaporation	R. Humidity	Dew Point
Tegucigalpa	14°03'31"N	87°13'10"W	1,000	1938-91	1951-90	--	1944-90	--
El Cajon	15°01'02"N	87°45'19"W	250	1965-91	1981-91	1981-91	1981-91	1981-91
Victoria	14°56'07"N	87°23'22"W	360	1966-89	1968-89	1968-89	1970-89	1983-89
El Taladro*	14°27'00"N	87°43'00"W	630	1958-70	1959-71	1958-69	--	--
Flores	14°17'30"N	87°34'06"W	620	1944-89	1958-89	1957-89	1974-89	1983-89
Lamani	14°09'00"N	87°37'00"W	650	1956-89	--	--	--	--
El Coyolar	14°19'00"N	87°30'39"W	800	1958-89	1963-89	1958-89	1972-89	1983-89
Comayagua*	14°25'00"N	87°34'00"W	579	1943-74	1956-71	--	--	--
Agua Caliente	14°40'00"N	87°18'00"W	555	1954-89	--	--	--	--
Santa Clara	14°26'38"N	87°17'00"W	740	1967-89	1967-89	1967-89	1971-89	1983-89
Talanga	14°23'00"N	87°06'00"W	806	1952-70	--	--	--	--
El Horno*	14°24'00"N	87°28'00"W	1,500	1969-74	--	--	--	--
La Paz*	14°19'00"N	87°40'30"W	667	1943-56	--	--	--	--
Pico Solo	14°46'30"N	88°00'42"W	660	1956-91	--	--	--	--
La Ermita	14°28'00"N	87°04'05"W	760	1969-89	1969-89	1970-89	1969-89	1983-89
Agua Caliente	14°40'39"N	87°17'25"W	560	1969-89	1969-89	1970-89	1969-89	1983-89
Playitas	14°25'25"N	87°42'06"W	595	1970-90	1970-89	1970-89	1970-89	1983-89
Santa Elena	14°53'34"N	87°55'15"W	640	1966-91	1971-91	1971-91	1971-91	1971-91
Yure	14°58'34"N	87°44'23"W	300	1971-84	1971-84	1971-84	1971-84	1971-84
San Jeronimo	14°37'33"N	87°36'15"W	440	1971-90	1971-91	1971-91	1971-91	1971-91
San Nicolas	14°42'51"N	87°20'30"W	600	1968-89	--	--	--	--
Las Botijas	14°21'49"N	87°24'55"W	1,480	1969-89	--	--	--	--
La Laguna	14°25'00"N	87°45'22"W	1,180	1970-89	--	--	--	--
Potrillo de la Mora	14°25'05"N	87°46'02"W	1,380	1970-89	--	--	--	--
Turule	14°14'00"N	87°51'00"W	1,060	1969-77	--	--	--	--

Table 6-2 Monthly Precipitation in El Cajon Dam Basin

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
TEGUCIGALPA	8.5	5.4	9.2	84.5	146.1	158.3	82.4	91.2	178.4	124.7	39.2	12.8	891
EL CAJON	34.0	29.8	17.2	32.2	117.2	234.2	229.6	220.3	240.3	140.5	74.4	55.1	1,421
VICTORIA	17.5	16.2	14.9	47.4	158.6	208.1	169.3	192.8	232.1	154.8	52.1	22.8	1,287
EL TALADRO	8.1	16.8	10.4	26.8	147.5	161.6	115.0	108.6	230.1	109.9	22.0	16.8	978
FLORES	2.8	6.8	8.2	83.0	130.1	173.0	103.5	132.4	175.3	100.7	22.0	6.9	895
LAMANI	8.9	11.0	9.9	39.4	170.1	253.7	167.9	181.3	323.5	171.4	33.8	9.5	1,380
EL COYOLAR	3.3	6.5	7.9	39.2	138.6	180.8	70.7	102.7	188.2	126.3	36.6	10.0	911
COMAYAGUA	10.0	10.8	18.7	33.5	109.5	175.1	120.0	160.3	196.8	143.8	32.5	16.1	1,033
AGUA CALIENTE	23.5	17.2	21.4	44.7	152.2	216.0	166.8	149.2	203.8	122.2	61.7	30.5	1,249
SANTA CLARA	25.7	22.7	20.9	59.7	158.0	214.0	122.9	149.9	205.8	221.1	76.5	47.6	1,325
TALANGA	28.6	16.5	20.9	82.0	182.6	149.5	105.0	88.8	149.4	141.5	75.3	49.8	1,056
EL HORNO	7.7	7.7	0.9	42.1	121.0	117.8	89.7	144.6	203.4	197.3	65.7	13.7	1,013
LA PAZ	4.1	7.0	3.0	25.8	120.6	188.4	153.4	118.3	206.4	124.8	28.0	8.8	989
PITO SOLO	168.1	93.7	70.0	89.0	202.0	363.3	418.2	458.6	427.7	387.9	230.4	179.6	3,089
LA ERMITA	16.5	14.7	16.7	40.6	125.7	135.0	80.3	103.3	158.6	171.8	65.7	30.9	960
AGUA CALIENTE	14.6	11.1	17.7	52.2	166.9	227.2	168.4	169.8	212.3	157.8	53.7	26.0	1,278
PLAYITAS	9.4	6.4	6.4	44.8	105.0	162.2	102.1	121.2	180.4	105.0	35.4	13.1	891
SANTA ELENA	119.0	93.7	70.6	107.6	213.7	440.3	378.5	463.4	439.1	333.8	195.6	175.4	3,032
YURE	26.3	31.4	7.7	32.9	147.5	256.6	217.6	263.8	215.2	136.9	65.8	36.8	1,438
SAN JERONIMO	28.2	22.2	13.0	56.7	172.2	231.0	182.1	235.8	307.9	243.3	83.1	41.7	1,618
SAN NICOLAS	20.9	16.0	12.9	68.0	173.8	251.5	194.7	185.1	238.8	169.4	50.9	21.6	1,402
LAS BOTIJAS	54.1	18.5	13.2	44.9	169.9	170.1	129.3	136.2	188.7	151.6	73.3	50.7	1,210
LA LAGUNA	23.7	8.8	7.9	50.7	149.3	196.7	149.5	172.3	193.7	165.7	47.3	30.4	1,196
PORTILLO DE LA MORA	56.2	44.8	20.8	54.8	186.1	292.8	258.2	231.5	307.1	217.4	122.5	86.9	1,879
TUTULE	26.2	22.7	4.5	60.2	210.3	264.6	143.7	176.6	252.6	196.7	73.2	38.7	1,470
SULACO	10.0	9.1	8.8	44.7	123.9	181.9	148.3	162.1	187.2	126.6	47.2	15.3	1,065
VALLECILLO	46.6	21.1	39.0	101.6	203.3	266.8	222.5	268.2	320.4	271.0	101.2	65.2	1,927
ESQUIAS	21.0	13.2	11.7	47.9	151.9	248.2	205.5	200.2	254.4	146.2	58.9	24.1	1,393
SAN IGNACIO	23.6	17.1	12.8	31.7	123.0	142.8	114.6	128.0	176.3	206.3	66.1	40.6	1,083
MARALE	14.7	12.2	11.1	34.9	118.7	179.9	132.2	151.6	225.1	134.0	51.2	22.2	1,108
PALMITAL	189.0	84.5	47.2	114.2	237.1	395.2	372.3	374.2	387.6	299.7	202.2	208.5	2,912
SANTA FE DE TEGUCIGALPA	56.3	29.8	30.7	43.9	156.7	334.3	316.2	319.4	305.9	220.1	122.2	64.8	2,000
TALANGA	22.9	29.9	21.7	33.1	146.0	156.9	117.1	98.0	167.7	137.5	55.5	43.0	1,029
PUEBLO NUEVO	46.7	20.5	7.6	45.3	127.4	370.4	320.0	292.2	289.0	205.0	122.2	46.7	1,893

(unit : mm)

Table 6-3 Monthly Average Temperature in El Cajon Dam Basin

(unit : °C)

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Avg.
TEGUCIGALPA TONCONTIN	19.4	20.3	22.0	23.3	23.4	22.5	22.0	22.3	22.1	21.4	20.3	19.5	21.5
EL CAJON	24.1	25.2	27.2	28.5	29.2	27.9	26.6	26.8	27.0	25.6	24.8	24.4	26.4
VICTORIA	23.4	24.4	27.1	28.3	28.7	27.1	26.3	26.4	26.3	25.4	24.2	23.3	25.9
EL TALADRO	23.1	23.8	25.2	26.3	26.6	25.5	25.4	25.4	25.0	23.7	23.1	22.5	24.6
FLORES	22.2	23.1	24.8	25.8	25.9	25.0	24.8	24.9	24.5	23.9	22.9	22.4	24.2
EL COYOLAR	21.4	22.5	24.6	25.7	25.7	24.4	24.4	24.5	23.7	22.8	21.9	21.2	23.6
COMAYAGUA	22.2	22.7	24.4	25.6	26.5	25.4	25.3	25.7	25.2	24.8	23.5	23.3	24.5
SANTA CLARA	20.9	22.0	24.0	25.4	25.4	24.1	23.7	23.7	23.5	22.8	21.7	20.7	23.2
LA ERMITA	20.8	22.0	24.3	25.7	26.0	24.4	23.6	24.0	23.9	23.1	22.0	20.9	23.4
AGUA CALIENTE	22.8	23.7	26.1	27.3	27.5	25.9	25.0	25.2	25.3	24.4	23.6	22.7	25.0
PLAYITAS	22.7	23.8	26.1	27.1	27.1	26.0	25.4	25.5	25.0	24.2	23.3	22.9	24.9
SANTA ELENA	19.7	20.5	22.3	23.4	24.3	23.5	22.8	22.8	23.1	21.7	20.6	19.9	22.0
YURE	24.6	25.4	27.9	29.2	29.7	28.3	27.2	27.3	27.5	26.5	25.5	24.8	27.0
SAN JERONIMO	22.6	23.5	25.7	27.3	27.6	26.6	25.6	25.9	25.8	24.8	24.1	22.9	25.2
VALLECILLO	19.5	18.5	20.9	23.0	23.6	22.8	22.2	22.6	22.3	21.4	21.2	18.9	21.4
MARALE	22.2	22.3	24.2	26.5	26.2	25.3	24.5	24.8	24.8	23.3	23.0	21.1	24.0

Table 6-4 Monthly Evaporation in El Cajon Dam Basin

(unit : mm)

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
EL CAJON	102	131	186	193	202	171	157	165	146	123	103	98	1,778
VICTORIA	97	108	169	176	179	140	132	138	108	98	82	85	1,513
EL TALADRO	132	146	198	193	188	161	147	173	130	119	123	103	1,813
FLORES	149	177	228	215	183	143	158	160	133	132	118	137	1,933
EL COYLAR	135	146	202	193	169	130	156	151	119	108	103	114	1,726
SANTA CLARA	89	110	169	172	160	121	117	124	115	110	85	76	1,449
LA ERMITA	129	143	217	229	198	158	149	157	145	129	109	114	1,882
AGUA CALIENTE	94	113	175	178	170	131	124	127	115	100	84	78	1,490
PLAYITAS	149	167	229	223	205	145	163	167	138	127	114	130	1,955
SANTA ELENA	86	99	143	144	144	145	146	148	141	110	82	80	1,468
YURE	117	142	204	195	192	160	159	162	139	132	106	110	1,819
SAN JERONIMO	112	138	203	192	182	161	139	144	129	109	93	94	1,696
VALLECILLO	80	77	160	168	147	110	120	150	110	97	85	70	1,374
MARALE	105	124	207	218	210	172	162	187	153	119	105	114	1,877

Table 6-5 Monthly Average Runoff in El Cajon Dam Basin

(unit : m<sup>3</sup>/sec)

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Avg
LAS HIGUERAS	1.34	1.10	0.87	1.21	5.98	20.82	9.57	11.20	25.52	24.91	6.57	2.26	9.37
LA ENCANTADA	4.11	2.90	2.15	2.45	11.64	33.93	20.05	25.02	61.09	44.63	20.10	6.22	19.52
<u>EL CAJON</u>	<u>38.86</u>	<u>29.59</u>	<u>24.03</u>	<u>22.60</u>	<u>52.81</u>	<u>174.10</u>	<u>131.20</u>	<u>146.66</u>	<u>265.04</u>	<u>296.56</u>	<u>145.77</u>	<u>58.33</u>	<u>115.46</u>
GUACAMAYA	9.30	6.72	4.74	4.85	12.37	59.40	36.32	43.85	91.06	75.81	30.84	14.76	32.50
LAGUNETAS	68.98	62.02	52.62	44.33	65.74	168.06	138.15	172.51	234.31	240.24	119.62	94.14	121.73
PIEDRA PARADA	14.27	10.08	6.81	6.94	19.76	84.68	46.25	65.55	81.39	111.76	33.45	23.00	42.00
LAS VEGAS	2.11	1.60	1.25	1.03	1.26	3.78	4.54	5.09	10.49	7.38	5.15	3.13	3.90
SANTA CLARA	0.70	0.54	0.42	0.36	0.57	1.93	1.68	1.57	2.30	2.84	1.38	1.30	1.30
EL SARRO	16.13	12.64	9.96	11.83	22.10	78.67	55.86	63.36	114.91	103.01	42.53	24.04	46.25
LOS NARANJOS	21.35	16.99	12.62	12.58	24.36	72.35	55.67	68.09	126.94	157.78	88.56	30.45	57.31
SIALE	1.43	1.19	0.95	1.35	5.03	5.38	3.02	3.97	7.76	9.81	4.21	1.91	3.83
EL JICARO	16.12	12.38	9.15	8.50	17.55	49.07	68.64	77.24	106.35	70.07	41.35	21.81	41.52
AGUA CALIENTE	9.69	7.77	6.10	6.45	12.25	42.02	29.99	33.72	55.43	65.31	29.34	14.59	26.05
LOS ENCUENTROS	11.30	8.51	6.08	8.06	16.65	48.21	35.12	40.28	66.15	88.75	37.48	18.00	32.05
EL DESMONTE	0.89	0.74	0.60	0.57	0.58	1.84	1.34	1.31	2.07	2.03	1.58	1.23	1.23
AGUA BLANCA	3.42	3.40	2.30	2.17	3.25	6.45	7.29	11.85	10.91	12.23	4.83	5.12	6.10
SAN NICOLAS	0.72	0.66	0.61	0.58	1.29	5.98	5.08	5.03	8.66	7.02	2.09	1.03	3.31
TALANGUITA	0.42	0.29	0.19	0.15	0.72	3.84	0.99	1.68	8.84	5.13	1.69	0.77	2.06
MARAGUA	2.73	2.34	1.34	0.97	1.77	4.82	10.53	13.76	16.73	14.82	8.38	4.98	6.93

Table 6-6 Monthly Average Runoff at El Cajon Gauging Station  
Compensated by Daily Runoff at Lagunitas Gauging Station

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Aug.
1970	42.84	39.68	30.49	27.98	36.41	99.43	261.55	351.11	429.30	410.48	178.87	90.81	166.58
1971	54.00	37.82	25.57	21.07	37.69	53.79	69.10	174.66	235.40	254.65	86.68	45.51	91.33
1972	32.08	25.36	20.21	21.55	34.89	51.11	52.57	108.81	150.82	218.45	78.69	41.52	69.67
1973	28.35	25.83	17.53	18.50	50.26	109.67	101.27	115.98	149.13	203.45	76.62	36.54	77.76
1974	26.62	20.73	18.43	19.27	41.05	87.59	105.05	115.61	475.33	343.94	73.46	35.56	113.55
1975	29.45	22.89	17.71	14.24	23.19	76.61	23.71	47.55	363.16	378.42	395.93	75.72	122.38
1976	54.50	39.88	24.11	31.49	36.26	471.30	141.46	121.69	120.55	224.54	94.55	74.63	119.58
1977	41.42	32.19	23.71	21.97	48.86	220.36	81.61	107.54	106.55	79.81	74.87	43.61	73.54
1978	34.40	31.09	20.86	20.95	56.15	102.69	175.62	136.83	210.32	161.15	80.49	67.35	91.49
1979	35.75	24.40	21.30	29.23	40.49	235.50	196.72	197.22	296.17	382.00	125.39	60.77	137.08
1980	39.45	27.11	21.69	20.55	25.98	179.36	119.90	131.26	225.39	208.54	146.71	57.04	100.25
1981	37.29	30.78	23.16	18.99	19.85	239.23	161.04	354.01	440.42	228.73	87.65	56.65	141.48
1982	36.03	28.32	23.97	18.99	80.02	197.54	123.32	143.83	183.31	199.09	101.20	55.60	99.27
AVG	37.86	29.70	22.21	21.91	40.85	163.40	124.07	162.01	260.45	253.33	123.16	57.02	108.00

Table 6-7 Synthetic Monthly Average Runoff at El Cajon Gauging Station

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Avg.
1	41.57	31.28	20.95	23.39	8.49	240.29	53.48	74.33	384.95	281.64	252.23	65.81	123.20
2	40.79	36.10	21.93	28.31	33.01	148.72	225.84	175.88	284.03	178.78	103.89	50.04	107.80
3	35.59	31.43	24.81	28.31	61.41	265.20	92.56	202.49	304.11	210.88	108.30	56.55	118.47
4	37.35	28.30	18.19	22.05	37.83	324.74	217.19	227.42	208.87	283.77	124.08	40.14	130.58
5	28.29	25.18	20.50	29.81	37.26	90.96	136.61	160.87	101.93	177.40	71.45	39.80	67.63
6	29.02	22.50	20.22	26.49	28.32	90.96	136.61	160.87	101.93	241.73	25.94	58.50	86.98
7	38.42	32.98	24.81	19.82	35.39	45.12	55.59	115.00	375.52	226.89	114.67	62.09	91.38
8	36.28	37.86	23.88	22.86	51.44	103.21	74.06	85.68	203.29	241.25	66.76	78.37	85.41
9	45.54	35.71	26.58	23.82	34.49	117.23	60.14	131.88	195.96	241.05	155.65	43.70	93.14
10	32.36	24.11	21.18	17.59	62.53	246.31	60.47	162.26	240.84	216.85	163.97	53.64	108.66
11	36.74	27.50	21.13	21.41	27.49	192.58	182.24	178.54	323.34	301.14	151.35	56.17	126.64
12	36.09	28.72	23.28	23.62	46.92	183.00	211.24	271.46	266.55	270.07	151.19	44.87	126.76
13	30.45	28.60	22.91	22.39	53.36	126.83	159.28	123.62	513.33	295.33	284.92	57.25	127.46
14	37.56	28.21	22.59	24.51	51.85	108.64	117.23	152.89	148.40	292.52	94.07	47.14	96.53
15	30.48	24.81	17.42	18.82	60.36	108.64	117.23	106.17	144.84	257.72	88.43	72.52	37.34
16	44.72	32.24	21.66	14.50	27.18	154.72	65.76	30.77	192.43	177.51	72.21	46.43	73.63
17	31.96	23.79	17.50	14.50	27.18	154.72	65.76	30.77	192.43	283.77	139.41	66.60	87.93
18	44.96	33.03	25.97	23.22	66.46	136.38	136.38	117.47	285.76	220.82	148.89	82.72	98.27
19	51.10	38.83	26.97	27.31	21.69	181.79	132.63	103.53	313.62	231.97	103.46	70.19	108.64
20	45.00	35.92	25.97	31.30	47.52	166.45	49.79	45.76	88.62	145.49	67.97	64.38	87.85
21	48.83	35.28	23.77	31.64	53.87	235.75	166.55	350.52	410.08	310.87	212.57	39.33	159.48
22	28.88	21.82	19.35	14.95	23.98	192.53	86.53	92.41	156.31	113.82	3.23	63.52	66.10
23	28.35	22.19	11.71	19.78	42.32	257.90	88.98	81.52	91.79	168.80	115.35	63.52	79.59
24	38.26	31.15	21.75	17.60	40.34	305.46	209.47	247.00	311.87	258.48	184.14	48.09	142.80
25	31.41	28.94	24.78	28.49	53.18	30.25	32.49	14.12	288.04	274.00	11.15	57.50	139.45
26	40.67	29.36	23.33	28.79	67.86	389.57	212.44	283.71	343.92	298.80	141.36	69.85	160.81
27	44.70	38.42	20.87	28.10	22.11	67.69	66.53	78.99	237.55	303.22	137.89	72.13	97.77
28	44.68	32.75	20.75	19.66	33.23	109.46	92.60	138.65	100.59	148.26	65.77	20.55	73.92
29	19.81	14.62	13.86	17.75	32.04	174.29	90.78	95.56	244.52	246.61	91.32	44.26	89.70
30	31.88	23.70	13.94	22.52	72.29	118.12	235.77	205.01	225.60	215.38	42.27	45.89	104.03
31	28.25	21.27	18.48	18.88	63.33	448.89	197.87	232.56	245.07	232.02	23.30	57.18	139.35
32	39.35	31.41	25.57	18.33	20.43	83.08	224.74	254.87	296.12	282.46	155.61	52.95	115.41
33	31.62	25.21	17.57	17.32	46.56	43.66	160.47	200.67	237.76	263.88	170.87	41.38	106.38
34	31.04	19.15	20.93	18.69	29.60	103.99	64.16	158.14	156.95	177.77	42.85	37.71	71.75
35	30.02	23.61	15.27	15.58	56.98	235.01	191.27	237.89	320.90	380.74	42.85	76.87	111.52
36	46.64	33.68	24.87	22.86	27.49	66.36	81.39	128.30	320.90	294.27	232.57	87.13	110.83
37	53.15	46.86	29.09	28.78	39.51	188.92	181.59	298.51	313.71	252.53	61.48	58.97	128.34
38	34.30	23.39	20.42	19.11	39.27	40.73	39.48	130.07	466.01	493.06	255.08	65.89	132.90
39	38.96	29.20	20.71	19.56	11.22	280.56	89.92	115.35	399.93	263.27	5.53	57.77	107.68
40	36.79	29.81	26.27	32.34	40.92	122.53	120.29	162.93	404.78	348.03	193.59	55.01	140.99
41	40.85	33.16	26.27	17.67	28.38	117.67	111.93	201.29	238.29	339.11	277.22	59.78	117.55
42	38.21	25.77	21.22	16.06	64.18	93.02	101.81	207.12	205.20	295.59	106.47	60.16	120.90
43	39.23	31.93	25.35	26.27	41.07	192.93	164.42	186.16	249.91	294.39	188.81	57.99	133.20
44	28.25	31.78	20.67	21.95	31.85	424.67	223.64	148.45	220.40	135.95	67.79	37.29	116.89
45	36.37	23.04	18.41	17.02	28.92	104.54	104.62	105.10	279.18	283.29	206.15	58.55	114.60
46	41.18	33.09	25.18	21.21	67.45	102.25	82.37	86.68	151.00	177.90	42.41	25.37	69.76
47	24.16	23.47	20.64	27.34	13.99	371.58	94.44	200.63	283.29	289.83	238.09	61.02	137.36
48	41.78	31.83	24.03	22.11	50.53	271.32	198.63	205.59	236.20	199.87	83.55	59.46	119.24
49	40.17	38.06	22.32	25.56	36.67	129.18	134.65	192.04	376.03	373.22	140.84	48.10	129.74
50	34.55	27.70	22.63	21.67	58.00	194.46	152.36	217.03	487.88	364.57	224.29	92.22	158.11
Avg	36.63	29.34	21.87	22.15	41.24	170.55	126.74	157.00	261.97	257.10	132.25	56.37	109.45

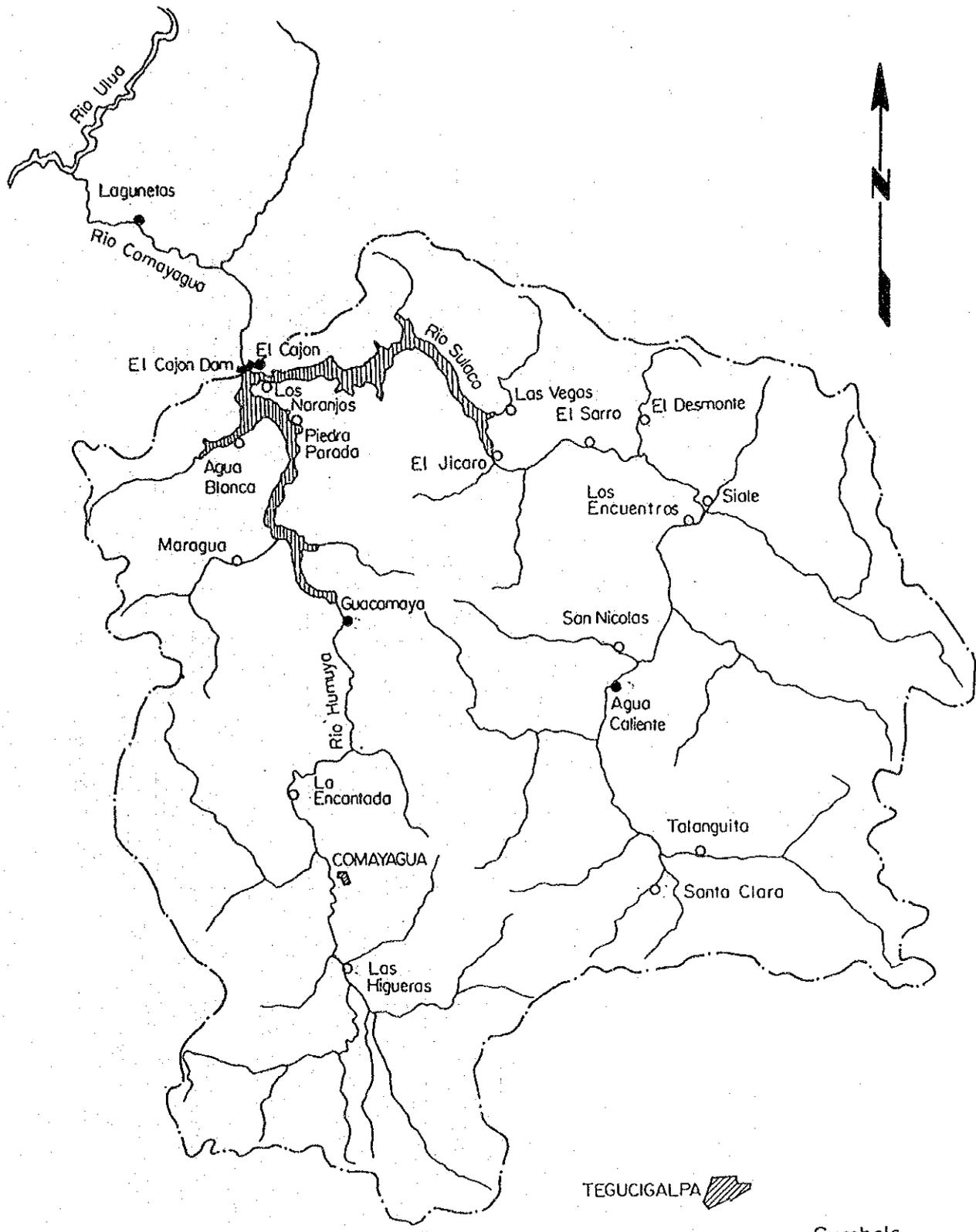
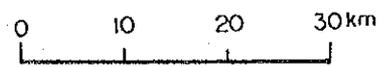


Figure 6-1 Location of River Runoff Gauging Station

- Symbols
- Water Level Gauge
  - Hydrological Station





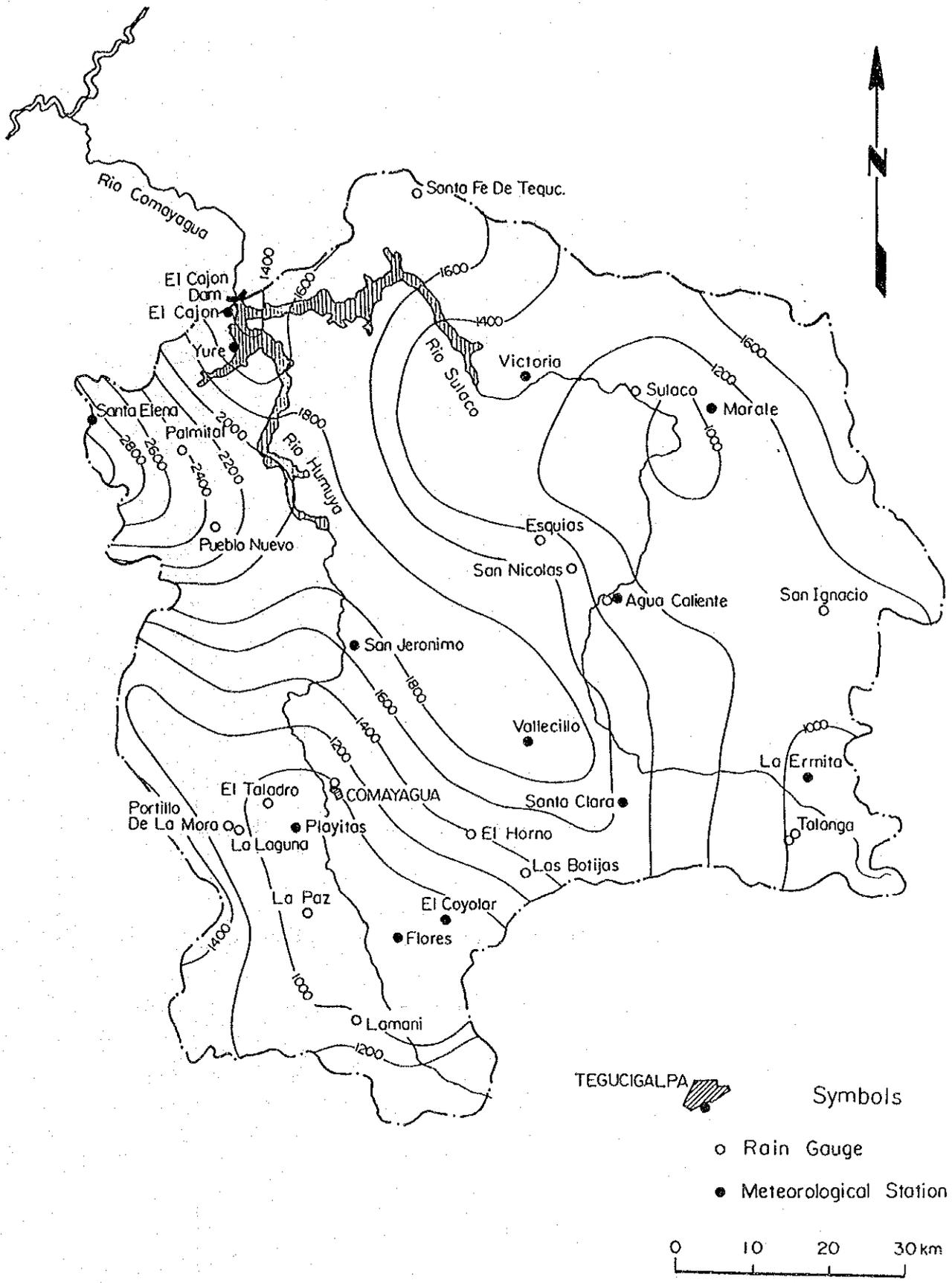


Figure 6-3 Location of Meteorological Gauging Stations and Isohyetal Map of El Cajon Dam Basin

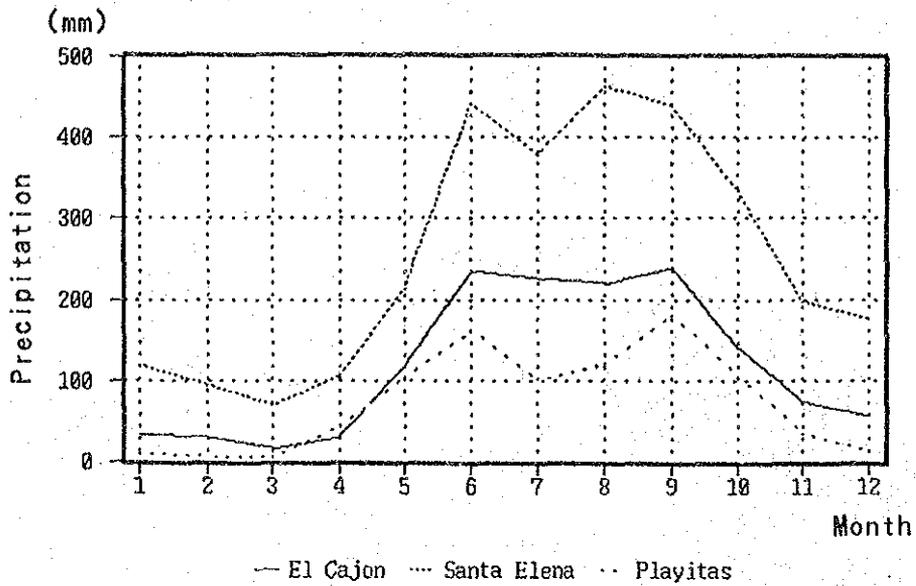


Figure 6-4 Monthly Precipitation in El Cajon Dam Basin

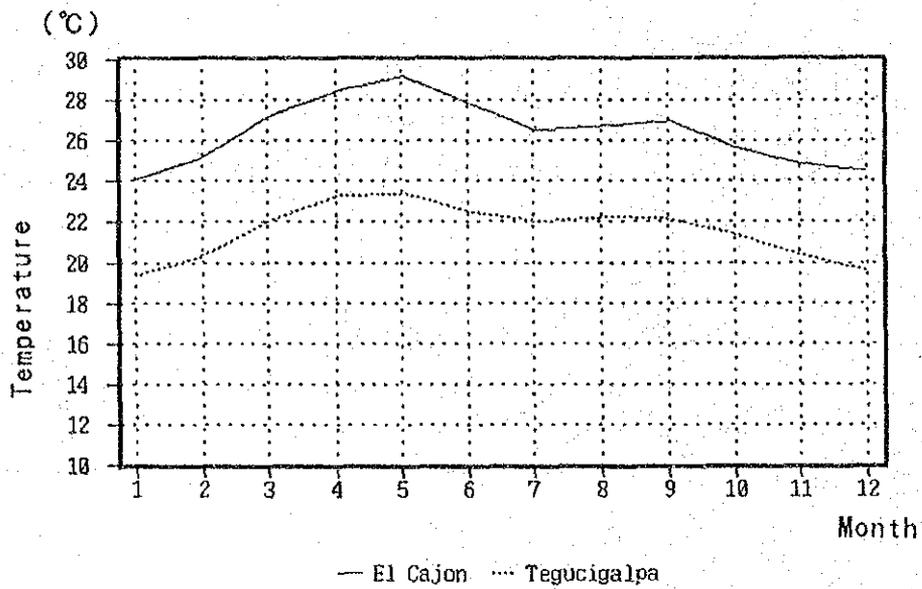


Figure 6-5 Monthly Average Temperature in El Cajon Dam Basin

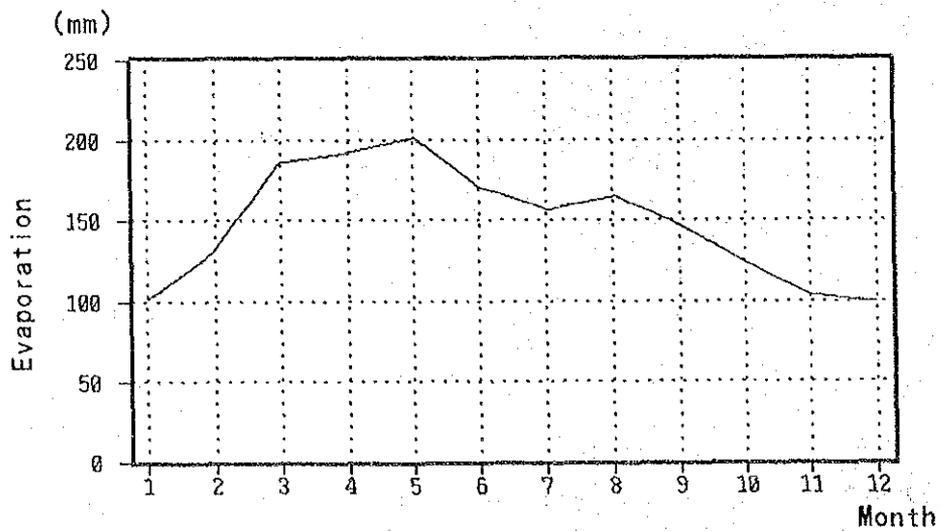


Figure 6-6 Monthly Evaporation at El Cajon Gauging Station

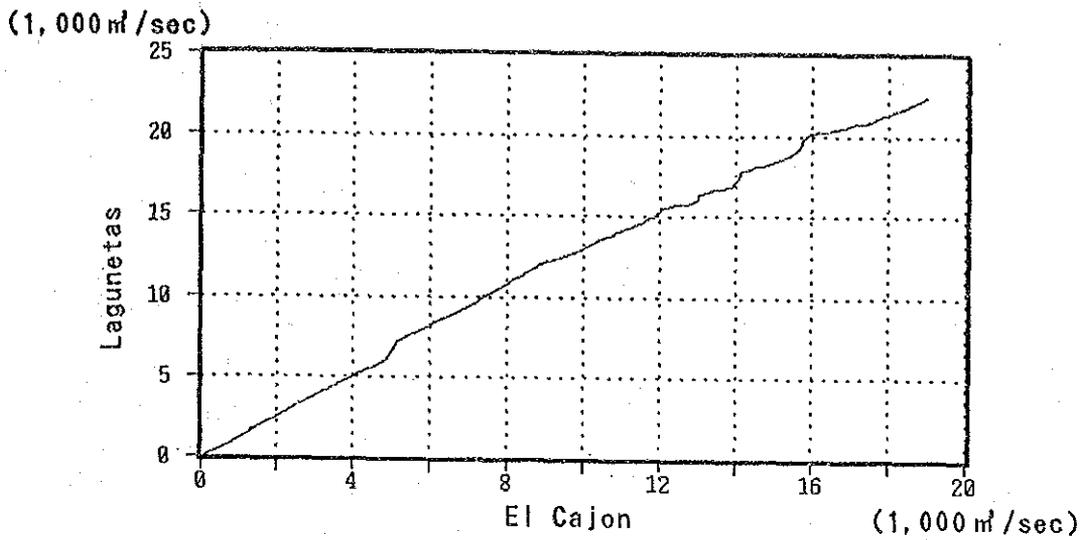


Figure 6-7 Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajon and Lagunetas Gauging Stations

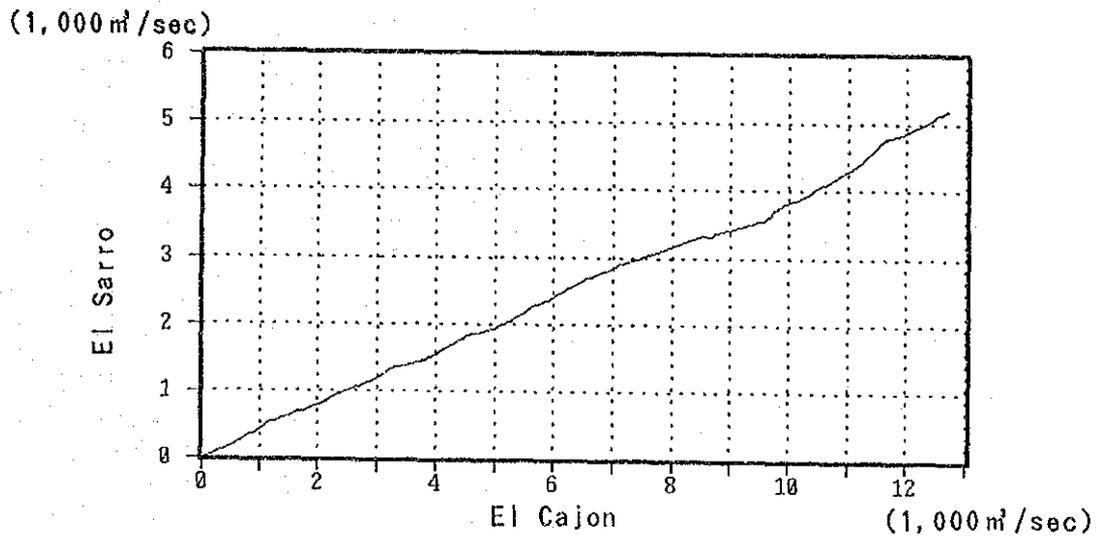


Figure 6-8 Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajon and El Sarro Gauging Stations

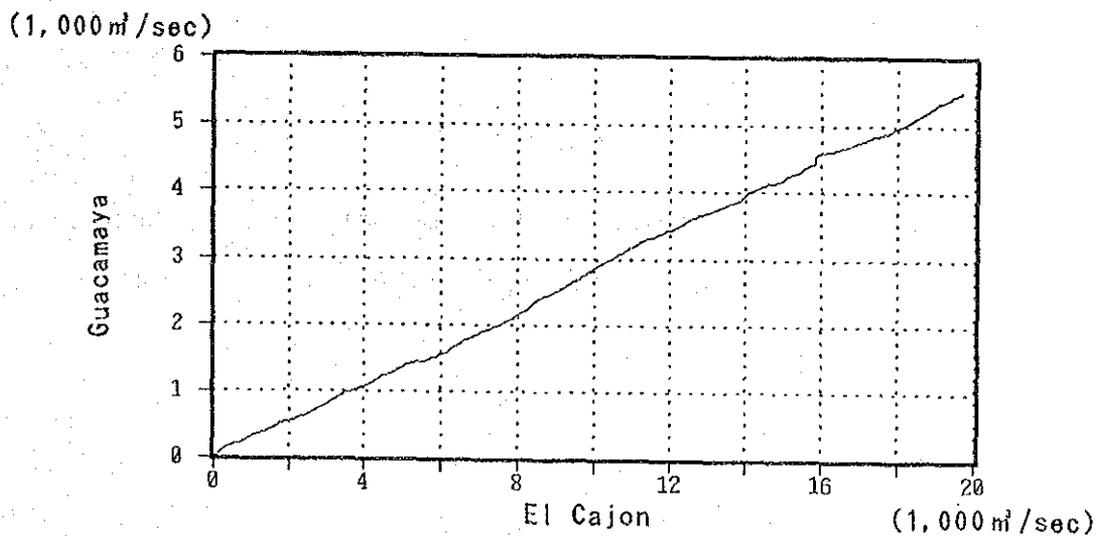


Figure 6-9 Double Mass Curve of Monthly Average Runoff at El Cajon and Guacamaya Gauging Stations

R= 0.968

COUNT= 77

6801 -

8512

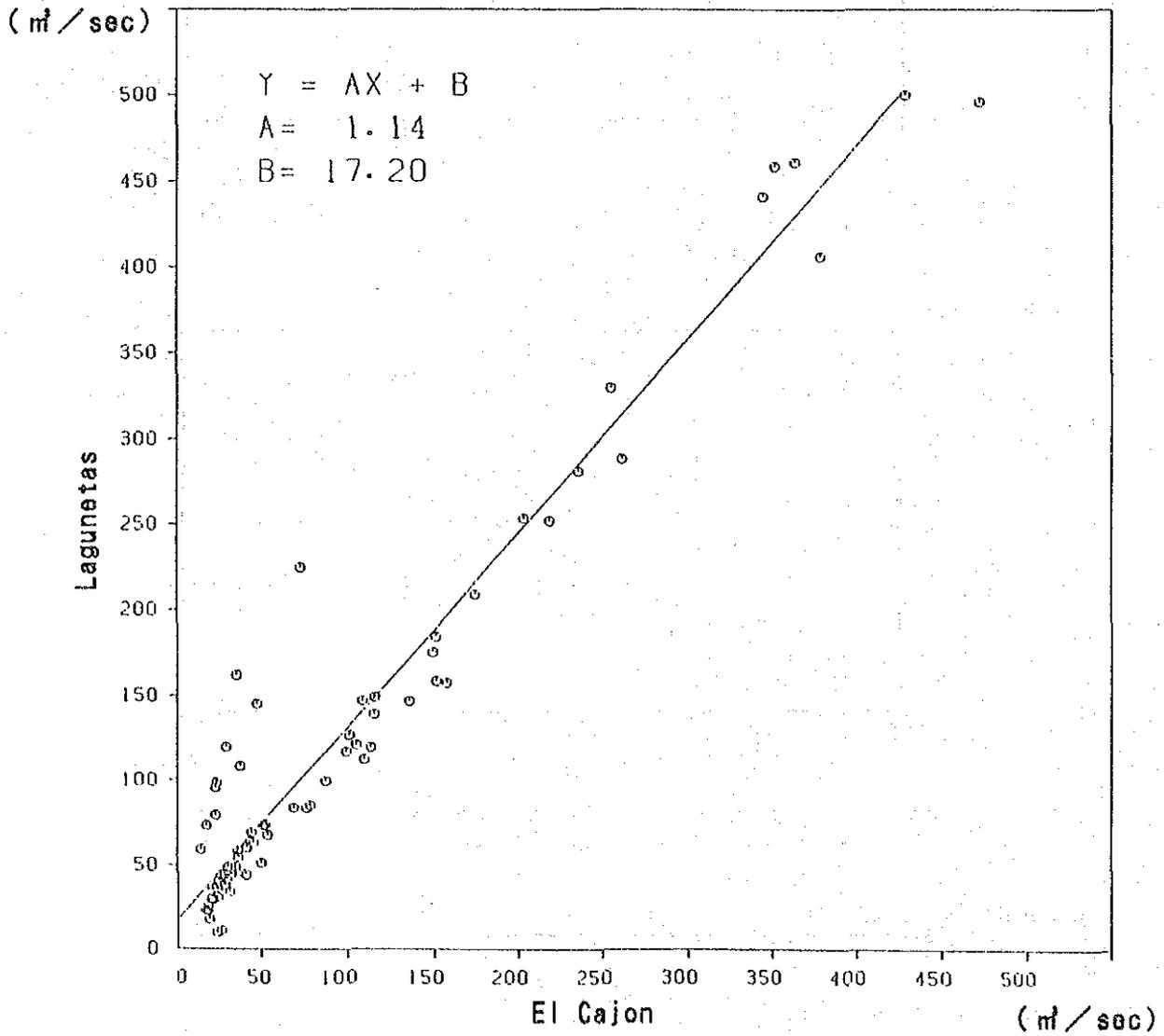


Figure 6-10 Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajon and Lagunetas Gauging Stations

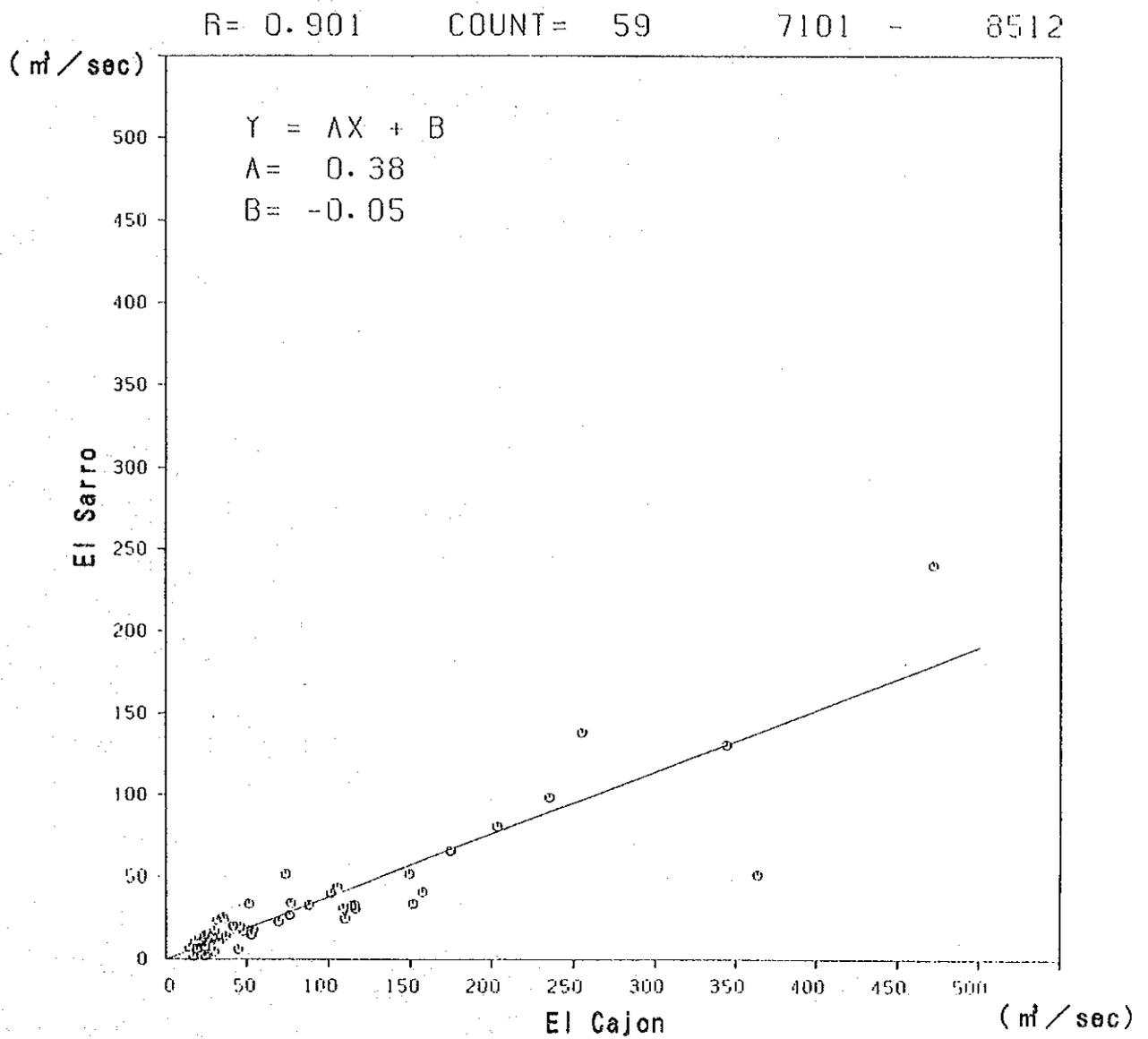


Figure 6-11 Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajon and El Sarro Gauging Stations

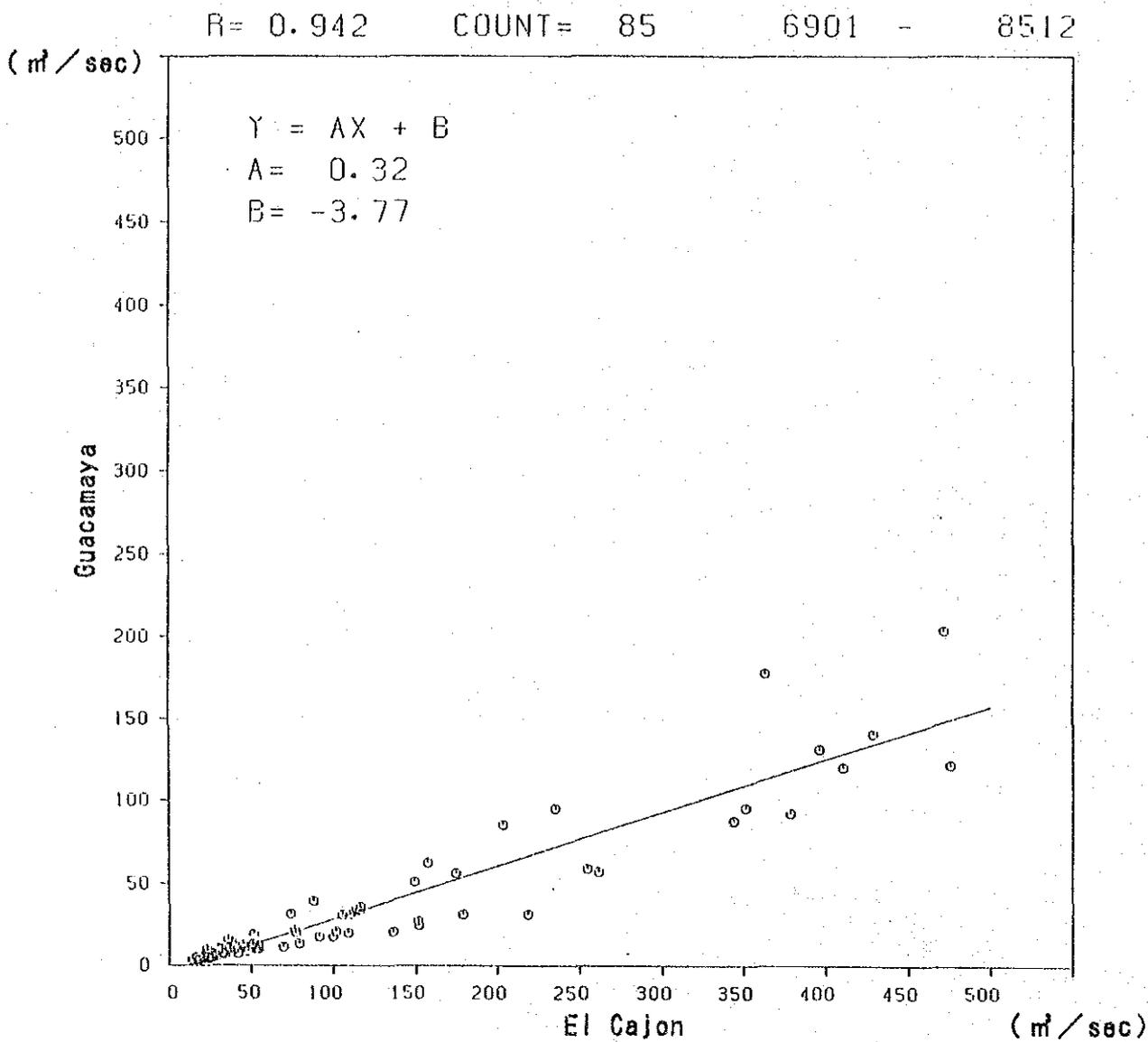
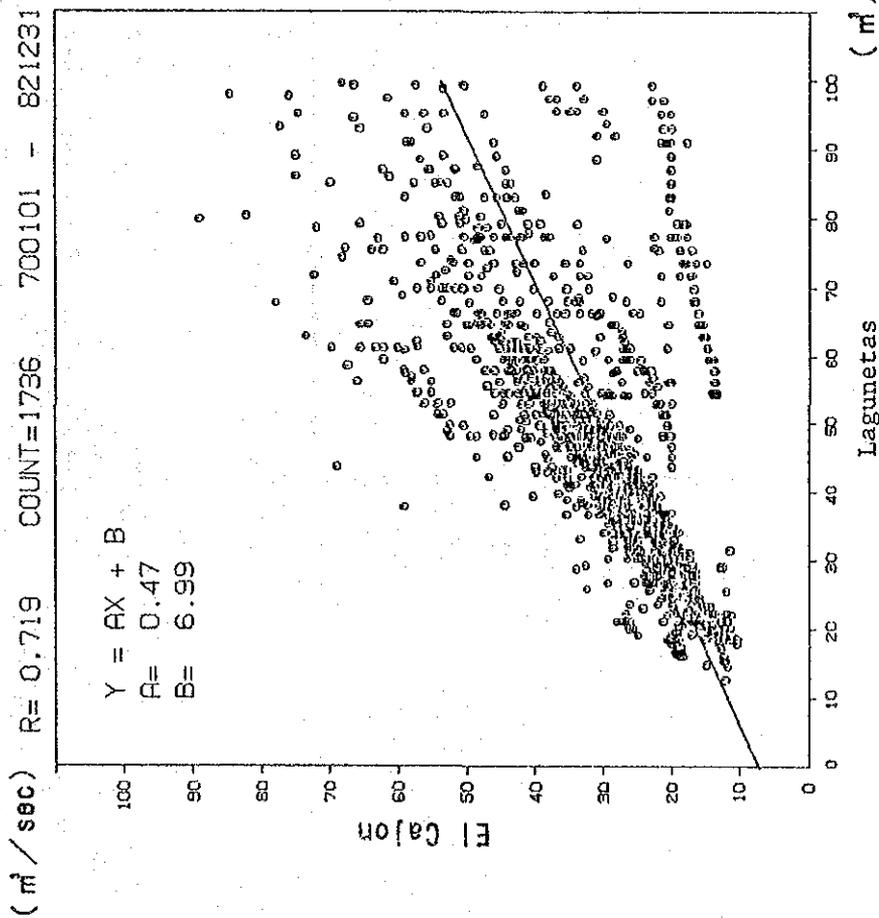


Figure 6-12 Correlation between Monthly Average Runoff at El Cajon and Guacamaya Gauging Stations

Dry Season



Wet Season

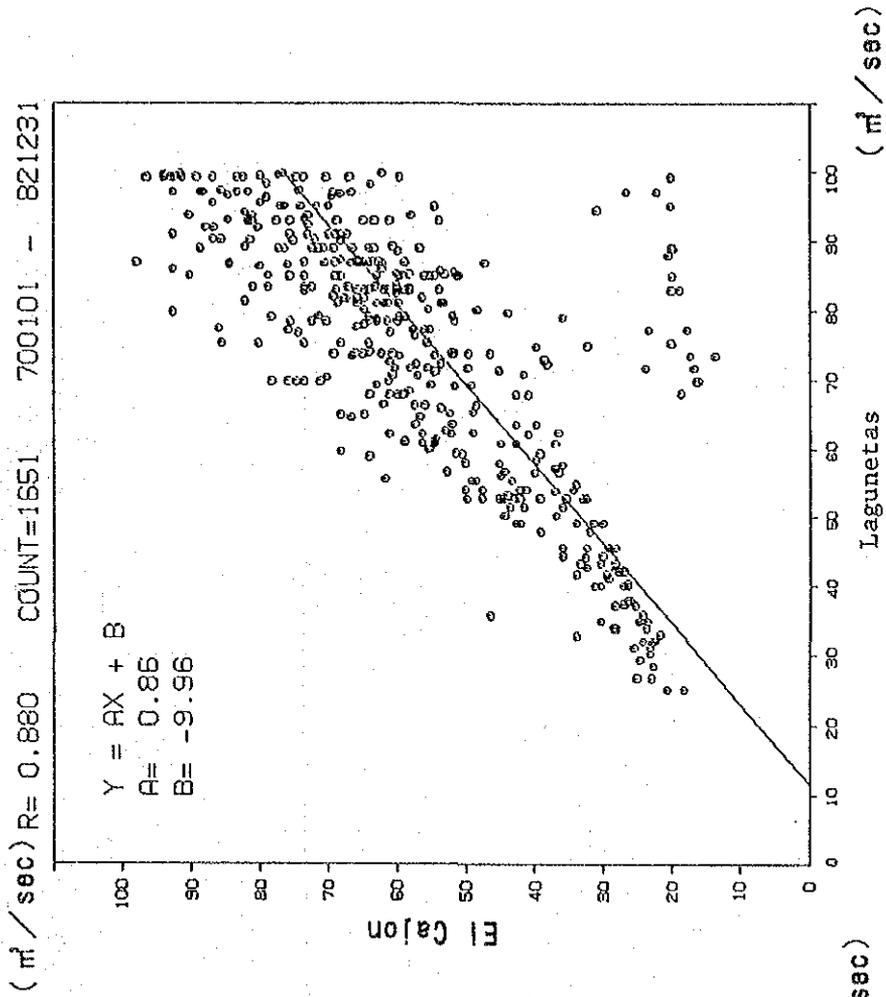


Figure 6-13 Correlation between Daily Runoff at El Cajon and

Lagunetas Gauging Stations

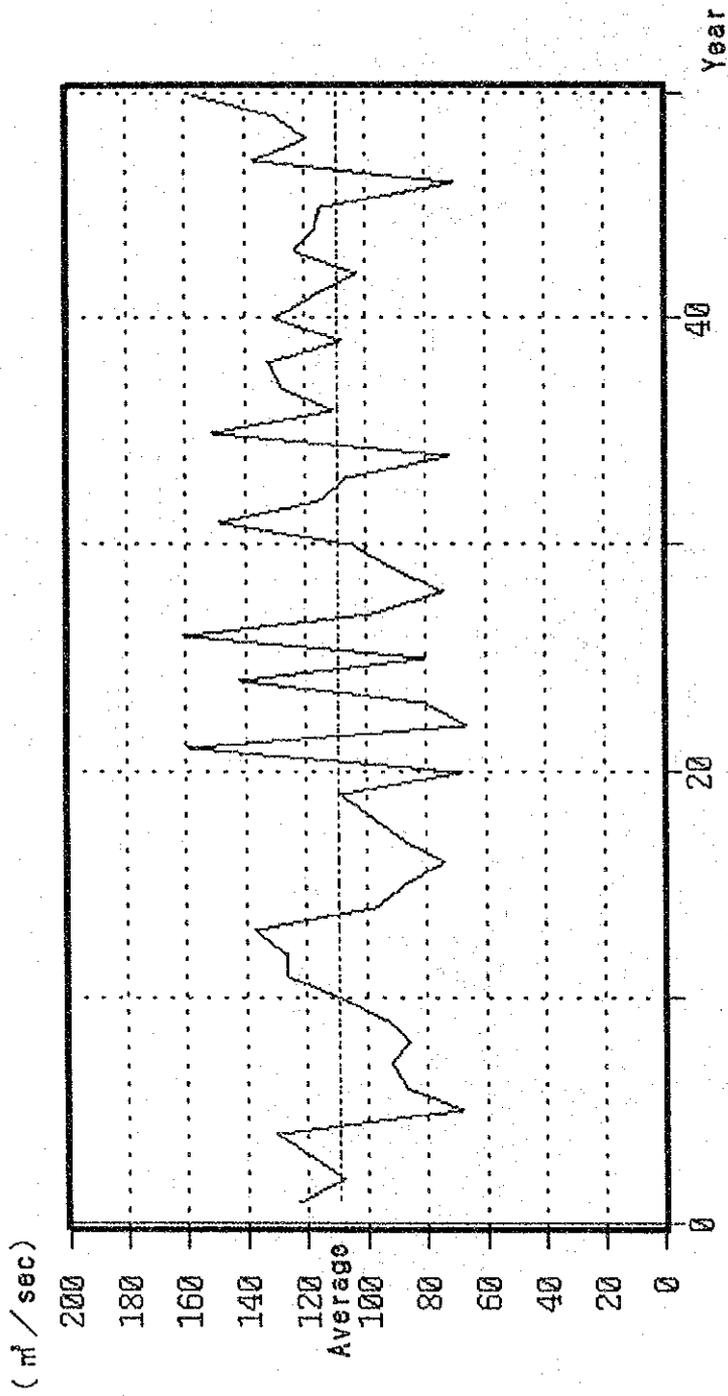


Figure 6-14 Synthetic Annual Average Runoff at El Cajon Gauging Station

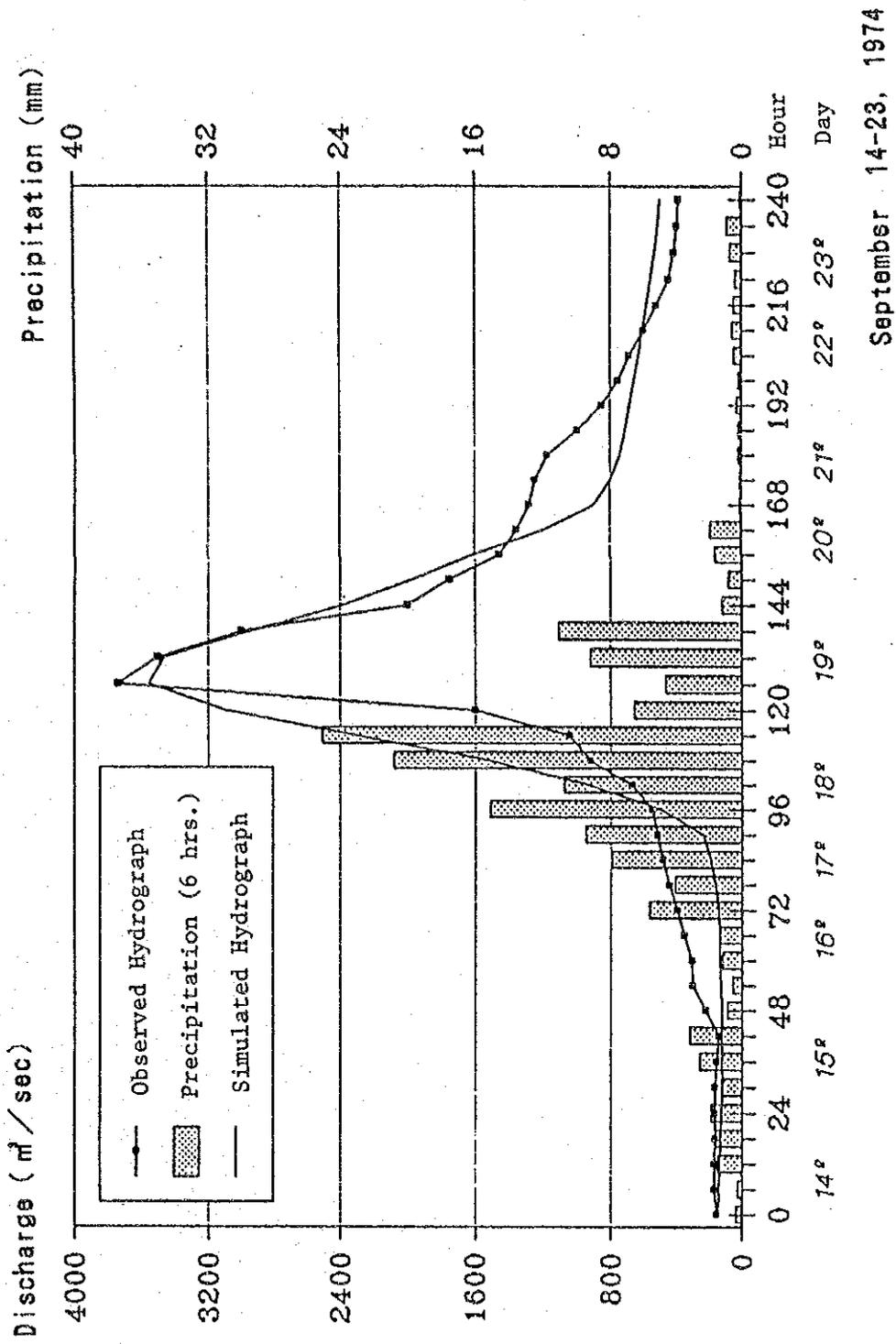


Figure 6-15 Precipitation and Hydrograph of Hurricane "Fifi"



# 第 7 章 地 質



## 第7章 地 質

### 目 次

	頁
7.1 緒 言 .....	7-1
7.2 地質概要 .....	7-1
7.2.1 地 形 .....	7-1
7.2.2 地質概要 .....	7-1
7.3 地質調査の概要 .....	7-2
7.3.1 資料収集 .....	7-2
7.3.2 現地調査 .....	7-2
7.3.3 調査結果の整理、解析 .....	7-3
7.4 増設計画地域の地質 .....	7-3
7.5 構造物地点の地質 .....	7-5
7.5.1 水圧管路 .....	7-5
7.5.2 発電所 .....	7-6
7.5.3 放水路トンネル .....	7-9
7.5.4 放水口 .....	7-10



### List of Tables

Table 7-1	Stratigraphy Around El Cajón Area
Table 7-2	Data Obtained
Table 7-3	List of Drillhole
Table 7-4	List of Adit
Table 7-5	List of Existing Excavation

### List of Figures

Figure 7-1	Geological Map Around El Cajón Project Area
Figure 7-2	Geology (Plan of Project Area)
Figure 7-3	Geology (Profile of Water Way)
Figure 7-4	Geology (Log of Drillhole)
Figure 7-5	Geology (Compiled Plan of Existing Excavation)



## 第7章 地 質

### 7.1 緒 言

El Cajon増設計画地点の地質状態を把握し、設計、施工に役立てるために、地質資料の収集、解析、および現地調査を行った。

増設する水路系や発電所は既設の構造物に隣接して予定されており、それらの施工によって判明した地質や、地質工学的な情報を整理し把握しておくことが肝要である。この観点に重きをおいて、地質データを取りまとめた。

### 7.2 地質概要

#### 7.2.1 地 形

増設計画地点はHumuya川のSulaco川との合流点の約2 km下流に位置している。付近は標高600~1,100mの山地であり、山頂部あるいは山腹が平坦ないし緩傾斜面となっている所が多い。El Cajon貯水池の満水位は285mであり、周辺の斜面は急傾斜である。El Cajonダム下流のHumuya川の河床は標高約100m、谷はダム下流約15kmにわたりV字谷を成している。特にダム下流の約500mの区間は峡谷を成している。増設構造物はダム下流左岸の急峻な斜面の地下に予定されている。

#### 7.2.2 地質概要

El Cajon計画地点周辺には主に白亜紀のYojoa層群と、これを不整合に覆う第三紀ないし第四紀の火山岩類が分布する。(Fig. 7-1, Table 7-1 参照)

Yojoa層群はCantarranas層、Atima石灰岩、Guare層から構成されている。Cantarranas層は粘土質マールから、Atima石灰岩は石灰岩から、Guare層は石灰岩とマールからそれぞれ構成されている。Cantarranas層はラグーンおよびサンゴ礁内側、Atima石灰岩はサンゴ礁本体、Guare層はサンゴ礁外洋側で形成された。増設計画地点にはAtima石灰岩が分布する。これはダムサイト付近の峡谷に露出している。

一般にAtima石灰岩は灰褐色から暗褐色を呈し、風化すると明灰色になり、貝化石や微化石を多く含む。チャートを含む部分やドロマイト化した部分がある。

火山岩類は貯水池周辺地域に広く分布する。ダムサイト付近では火山岩類は石灰岩を覆って分布し峡谷の上流端および下流では河床に露出し、峡谷中央部では中～高標高部に分布する。

火山岩類は主に安山岩質の溶岩、凝灰岩、集塊岩より構成され、赤、赤褐色あるいは緑色を呈する。

既設の構造物のうちダム、地下発電所および水路の殆どの区間および原石山はAtima石灰岩を基礎岩盤としている。また、増設構造物のすべてはこの石灰岩中に予定されている。

### 7.3 地質調査の概要

今回の調査においては資料収集、現地調査およびデータの整理、解析を実施した。

#### 7.3.1 資料収集

El Cajon地点に関連して収集した地質関係の資料をTable 7-2に示す。資料収集はBNEEのカウンターパートの全面的な協力により、数多くの有用な資料を収集することができた。増設地点の検討上重要な施工時の地質や地山挙動に関しても工事記録およびその別冊資料等を入手することができた。

#### 7.3.2 現地調査

現地調査は1992年6月から7月にかけて次の地点について実施した。

- 既設構造物地点
  - ・ ダム : 両岸アバット、下流河床部
  - ・ 地下発電所 : 本体、搬入路  
Santa Barbara トンネル
  - ・ 原石山

#### ■ 増設構造物地点

- ・地下発電所
  - ・放水路
  - ・放水口：右岸からの観察
- } Santa Barbara トンネル

ダム地点に関してはダム天端、および下流河床よりその基礎岩盤の状態を観察した。地下発電所地点周辺については、本体、搬入路以外に、巻立てされていないSanta Barbaraトンネルに入坑し、地質スケッチを作成した。その他、ダム下流左岸の原石山地点の調査も実施した。

#### 7.3.3 調査結果の整理、解析

増設計画に関連する調査工事、および既往掘削はTable 7-3, 7-4および7-5に示すとおりである。

収集資料のうち、ボーリングデータについては増設計画に関連するものを簡易柱状図に整理した。(Fig. 7-4, 7-5 参照) また、横坑や、既設構造物地点の掘削時の地質記録は平面図に整理した。(Appendix Fig. 1~2 参照) また、各レポートに示されている調査施工段階の問題点や対策についても各構造物について整理した。

これらに基づいて、既設構造物地点の地質、土木地質について検討した。

#### 7.4 増設計画地域の地質

El Cajon増設計画地域(既設のダム、発電所地点付近)の地質をFig. 7-2, 7-3に示す。

El Cajon増設計画地域はHumuya川によって形成された峡谷に位置し、谷の深さは約500m、河床の標高は約100m、貯水池の満水位は285mである。両岸の斜面は傾斜70°以上に達する部分が標高約300mまで達している。それより上の斜面の傾斜やや緩く(50°以下)となる。増設計画地域の構造物はダム下流左岸の山体内に予定されている。

この峡谷は周辺は火山岩類により覆われているが、峡谷内部にAtima石灰岩が分布している。増設構造物はAtima石灰岩中に予定されている。

Atima石灰岩は非常に厚く、その層厚は700m以上である。この石灰岩は下から順に次のように4つに区分される。

塊状石灰岩：

この石灰岩は厚さ400m以上で、層理面は認められないか、あったとしてもその間隔は数m以上である。

チャート含有石灰岩：

この石灰岩は厚さ45～50mで、黒色のチャートノジュールを含んでいる。層理が発達し、その間隔は0.5～3mである。

層状石灰岩：

この石灰岩は厚さ100～120mで、層理面が露頭でよく識別でき、その間隔は0.2～2mである。この石灰岩は貝化石を多く含む。

ドロマイト質石灰岩：

この石灰岩はAtima石灰岩の最上位に位置し、厚さは140mで、層理面は明瞭でその間隔は約5mである。

火山岩類は不整合でAtima石灰岩を覆い、石英安山岩ないし安山岩質の溶岩より構成されている。

表層堆積物には河床堆積物、段丘堆積物および斜面堆積物がある。

石灰岩の層理面は一様に北北西に傾斜し、峡谷南部（上流部）で15～20°を示し、峡谷北部（下流部）に向かって傾斜を増し35°に達する。この部分は全体として1つの背斜の北翼を形成している。火山岩類は石灰岩を不整合に覆い、その層理面は南へ20°～30°傾斜している。

石灰岩は鉛直あるいはそれに近い傾斜の数条の断層で切られている。これらの断層のうち重要なものは、南北ないし北北西—南南東の方向で、峡谷にはほぼ平行している。次に重要なものは東西性のものであるが数は少ない。増設計画地域における最も重要な断層はIV断層でほぼ鉛直で北北西—南南東方向に伸びている。

これらの断層はボーリングや踏査で認められ、既設構造物の掘削時にその性状が確認されている。断層の破碎幅は変化があり最大15mに達して、殆どの場合方解石や粘土で充填されて溶食が認められる。

断層の外に、岩盤には不連続面が認められる。これらのうち最も目立つのは、上述の断層に平行（すなわち峡谷に平行）するものである。

Atima石灰岩は岩盤力学的に良好な岩盤を構成しており、これにアーチダム基礎が置かれ、またこの中に地下発電所の大規模空洞が施工された。しかし、他方この石灰岩はカルスト化を受け、透水性が大きくなっているため、既設プロジェクトのフィージビリティ調査段階で、貯水池の保水性の検討が必要とされた。また、ダム基礎においては広範囲にわたりグラウトが実施されている。

## 7.5 構造物地点の地質

増設計画の各構造物のレイアウトは、既設構造物の詳細設計のときに既にその概略が決められていた。その後、既設構造物が問題なく完成し、地質もほぼ着工前の予想通りであり、また、保守段階での問題も発生していない。したがって、既設構造物に隣接してレイアウトされる増設構造物の設計に際しては、既設構造物の施工によって確認された地質状態と、施工時の地山の挙動を整理した情報が重要であると思われる。また、既設構造物の完成および運転開始に伴う地山の条件変化（特にダム湛水に伴う地下水の状態変化）に注意する必要がある。これらの点に留意し、以下に各構造物地点の地質および土木地質について述べる。

### 7.5.1 水圧管路

増設水圧管路は既設水圧管路の上方に予定されている。増設水圧管路予定地点付近にはほかにボーリングS4, SC-4, SC-6および横坑G-1がある。

増設水圧管路は、塊状石灰岩の中に予定されており、そこでの層理面は北西に10-18°傾斜している。

既設水圧管路の方向は、増設計画地域で最大の断層であるIV断層の方向と一致している。水圧管路Aには断層IVの支断層が全区間にわたり出現した。そのため既設水圧管路は割れ目が発達し、部分的に風化し、カルスト化された岩盤に位置している。断層IVはしかしながら破碎幅0.5~1mで粘土を伴う部分は数ヶ所に過ぎなかった。この断層は、幸い、掘削の際大きな問題とはならず鋼製支保は不要であった。カルスト空洞は慎重に

洗われ、コンクリートで充填されグラウトがなされている。

水圧鉄管は内・外圧の全てに耐えるように設計されており、鉄筋コンクリート巻立ての場合に必要とされるような岩盤に対する詳細な調査はなされていない。

マニホールドの地質状態は良好であったが、層理面により余掘りが出た。踏査前の数箇所から温泉が湧出したが、大きな問題とはならなかった。現在この湧水は地下発からポンプで排出されるか、自流でHumuya川に排水されている。

増設地点の地質はここに述べたように既設地点とほぼ同じと思われる。しかし、既設の構造物（特に地下発）と接近する区間においては、その施工により岩盤がゆるんでい  
る可能性があり注意が必要になろう。水圧管路の岩盤は既設の地下発のそれに比べてやや悪くなっている  
ので、この地点の岩盤の力学的性状については後述の地下発電所地点のデータを割引いて適用する  
必要がある。増設構造物の施工に際しては、工事に伴う振動の既設構造物への影響に特に注意する  
必要がある。

## 7.5.2 発電所

### (1) 地 質

増設発電所地点は既設発電所の下流に接続される予定である。この位置にはボーリング (SC-8, 10, 15) と、調査坑 (GC-2, 3, 4, 5) に加えて、既設発電所の搬入路と作業坑 (Santa Barbaraトンネル) がある。

発電所地点付近は、塊状石灰岩が分布している。主要な断層 (IV断層) はHumuya川に平行に約150mの距離を保って走っている。

地下発電所の位置選定に際しては次のような地質条件を満たすべく考慮された。

- 地下発電所の空洞は計画地点において最も良好な岩盤を成している塊状石灰岩中に設けること。
- 地下発電所は層理面と高角度で交わるように向きを決めること。
- 地下発電所は既知の断層と接しないよう配置すること。
- 十分な被りのある岩盤中に設置すること。また川からできるだけ離れ、しかもIV断層から安全距離を保った位置にすること。

既設発電所はこれらの地質条件をみたした地点として被り約120m、川から約90m、

断層IVから約20m離れた位置に掘削された。その地質状態は次のとおりである。

空洞全体は塊状石灰岩中に位置する。岩盤は弾性的であり、均質、堅硬であった。この石灰岩は0.5～1 m<sup>2</sup>の面積の板状に割れ易かった。

断層IVは南北方向に走り、搬入路、水圧管路のマニホールおよびグラウトギャラリーで確認された。この断層は地下発電所空洞本体の掘削時の安定に全く影響がなかった。空洞は4つの地層面と交叉した。これらの地層面は北西に25°傾斜している。

主要な割れ目系の方向は南北方向で、空洞の長軸方向に一致し、それ以外に空洞に直交し南へ急傾斜するものがあった。南北方向の割れ目系にはカルスト化が認められ、カルスト化した割れ目沿いは湿った粘土に充填されていた。カルスト化をうけた割れ目からは、雨期末期（11月）に激しい滴水が認められた。

空洞の方向はさまざまな条件、特にIV断層から安全距離に保つとする条件を満すように選定された。空洞の位置はIV断層を避けているが、側壁は割れ目系に平行で空洞安定上は不利となっている。

増設発電所地点の岩盤は調査坑やボーリングおよびSanta Barbaraトンネルの地質から判断して、上述したように既設発電所地点と同様に良好であると思われる。

## (2) 土地質

発電所地点の石灰岩の地質工学的性状は既設発電所のUpdated P/S報告書（1978年）に次のように報告されている。

一軸圧縮強度	:	1330～2030 kgf/cm <sup>2</sup>
静弾性係数	:	9.8～10.5×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>
単位体積重量	:	2.7 g/cm <sup>3</sup>
コア採取率	:	80～100 %
RQD	:	81～96 %
割れ目頻度	:	1～4本/m 粘土を挟在するものは稀

既設発電所地点の岩盤は概して良好である。しかし、掘削時に何らかの対策上を必要とした箇所があった。それらを地質要素毎に示すと次のとおりである。

## 節 理

- アーチ部で南-北方向の鉛直の割れ目が密に分布する個所ではロックボルトを増加して補強された。
- 岩盤は微少割れ目が散在し、除荷により側壁に平行に板状に割れた。しかし、このような現象は側壁の表面付近に限られ、長さ3mの岩盤変位計はそのような地山の挙動を示さなかった。

## 層理面

- 層理面が4つ認められた。それらの方向はアーチの安定に不利なものであったが、岩盤の崩落は発生しなかった。
- 1号マニホールドに至るトンネルのすぐ上で、粘土を伴う層理面が出現した。この不安定箇所は除去されて、コンクリートで置き換えられた。層理面があるがための同様な処置はタービン間に残された岩盤ブロックに対しても実施された。

## カルスト

- カルスト空隙はしばしば粘土で充填されており、充填物は洗い出され、コンクリートが充填された。
- アーチの幅1-1.5mのカルスト空洞はほぼ南北に伸び、西に70°傾斜しており、ロックボルトを増加して補強された。
- 中央南側の標高85m（空洞底部付近）を掘削中、小規模なカルスト孔が見つかり、6本のボーリング孔とボアホールテレビ観察が実施された。  
1本のボーリング孔において1-2ℓ/secの湧水が確認された。そのため、タービン下にカルスト孔が他にも伏在する可能性に配慮し、床の浮き上り防止のため、4つのタービンの床板を深く岩盤にアンカーする対策工が実施された。

## 地下水

- マニホールドの掘削中、空洞下部のEL. 95~85mで温泉が湧出した。この温泉は互いに連結した通路から湧出し、その量は1ℓ/sec以下であった。粘土や方

解石の沈澱がないことおよび温度から、この温泉は形成途上の深いカルストが存在していることを示している。

- 1984年8月貯水池の初期湛水途中の45ℓ/secの湧出があり、地下発の立坑にポンプで送られている。この湧水は貯水池の水位増加に伴ったものである。

増設地点の岩盤も既設地点と同様に概して良好であるが、これらの地質要素による上述のような掘削時の現象は増設地点の設計、施工に参考になる。注意すべきはカルストと地下水である。

これらのうち地下水の状態は既設地点の掘削時と異なると思われる。既設地点の掘削時、ダムや放水口地点の河床はバイパスで転流されて水がない状態であったが、増設地点の掘削はダムが湛水され、発電ののち放水口から出た水が約105mに水位を保って流れている状態になされることになろう。

既設発電所北端部の排水用の立坑に地下発電所周辺の水が集められているが、その量は増加傾向にある。ダム基礎から発電所への湧水を減らすために現在、追加グラウトがENBEにより準備されている。このように、地下発電所地点の水位は既設地点の掘削時より上昇していることは確実であり、増設地点の掘削時にはより多くの湧水が発生する可能性が大きい。増設構造物の特に山側の排水やグラウトに留意すべきである。

### 7.5.3 放水路トンネル

増設地点は既設地点の約50m下流に位置する。既設地点に関連する情報はボーリング(SC-1)、調査坑(GG-1)、排水トンネルおよびSanta Barbaraトンネルがある。(Table 7-3, 7-4, 7-5参照)。既設地点における地質は次のとおり。

既設地点は塊状石灰岩中にある。

既設トンネルの岩盤は非常に良好であった。岩盤は放水口近くまで堅硬で、掘削中顕著な節理は認められなかった。ここでも温泉が湧出したが大きな問題とはならなかった。

増設地点もこれとほぼ同じで岩盤は良好な状態と思われるが、Santa Barbaraトンネルで確認される破碎幅1mの断層(Ⅱ断層又はその分岐断層、北北西-南南東に伸びている)が放水口手前約20mの位置に出現すると予想される。

掘削時河川水位が下げられない場合は、多量の湧水が発生する恐れがある。左岸河床

付近で実施されたボーリングSC-1（孔長30m）ではカルスト化部分が多く、透水試験で圧力が上昇しない区間も多く、透水性が高いことを示している。

#### 7.5.4 放水口

増設地点には塊状石灰岩が分布する。増設地点には調査工事は実施されていないが、対岸からの観察では層理面はなく、北北西－南南東に伸び鉛直な節理が認められる。風化は軽微であるが表層の数mは節理沿いにゆるんでいる可能性がある。しかし、既設の放水口や調査坑の坑口等に大きな崩落の跡はなく、若干の補強は必要なものの増設地点の斜面安定の確保は容易と思われる。

Table 7-1 Stratigraphy Around El Cajón Area

Age	Stratigraphic Classification		Lithology
Quaternary	Volcanic Rocks		
Tertiary			andesitic lava, tuff and agglomerate
Cretaceous	Yojoa Group	Guare Formation	thin bedded limestone and marl
		Atima Limestone	thick bedded limestone
		Cantarranas Formation	clayey marl

Table 7-2 Data Obtained

1.	Feasibility Study vol. 1 Synopsis and Conclusions	Dec. 1973	Motor Columbus
2.	Feasibility Study vol. 6 Geology and Geotechnics	Dec. 1972	Motor Columbus
3.	Estudio de Factibilidad vol. 6A Perfiles Geológicos de las Perforaciones y Galerías de Sondeo	Dec. 1972	Motor Columbus
4.	Condiciones Hidrogeológicas en el Sitio de la Presa y de la Central Subterránea	Apr. 1978	Motor Columbus
5.	Investigaciones en el Sitio de la Central Subterránea	Feb. 1978	Motor Columbus
6.	Investigaciones Geológicas y Geotectónicas 1976/1977 Informe Final Folletos No. 4 Estructura Geológica y Sismicidad del Área de Proyecto (En Inglés)	Jun. 1978	Motor Columbus
7.	Seismic Hazard Analysis of Honduras	Aug. 1979	A.S. Kireni- djian et al
8.	Power Station and Dam vol. 5 Geological and Geotechnical Information	Apr. 1979	Motor Columbus
9.	Report of the Concrete Arch		Motor Columbus
10.	Mesured and Predicted Behavior of the El Cajón Underground Powerhouse, Honduras	Sep. 1983	P Jewitt
11.	Civil Works, First Annual Safety Evaluation Report June 1984 - May 1985	1985	ENEE/Motor Columbus
12.	Informe Final de Construcción	Set. 1986	Motor Columbus
13.	Annex of Chapter 13 of Informe Final de Construcción	Sep. 1986	Motor Columbus
14.	Mapa Geológico de Honduras (scale 1:500,000)	1991	Instituto Geográfico Nacional

Table 7-3 List of Drillhole

Name	Elevation	Length	Direction/ Inclination		Amplification Site
SC-1	119.61	30.00	-	-90°	Tailrace Tunnel
SC-2	119.54	40.16	N75°E	-45°	"
SC-3	119.54	40.51	-	-90	Power Station
SC-4	119.54	40.32	S75°W	-45°	Pressure Shaft
SC-5	120.82	60.40	S75°W	0°	"
SC-6	122.38	39.86	-	+90°	Power Station
SC-8	122.92	40.06	-	+90°	"
SC-10	120.36	29.50	N15°W	0°	"
SC-11	120.69	20.14	S75°W	+5°	"
SC-12	120.62	20.18	S75°W	+5°	"
SC-15	119.72	40.45	-	-90°	"
S-3	316.50	110.00	S81°W	-45°	Pressure Shaft
S-4	209.70	171.00	S81°W	-45°	"
S-11	306.70	110.00	S81°W	-45°	"

Table 7 - 4 List of Adit

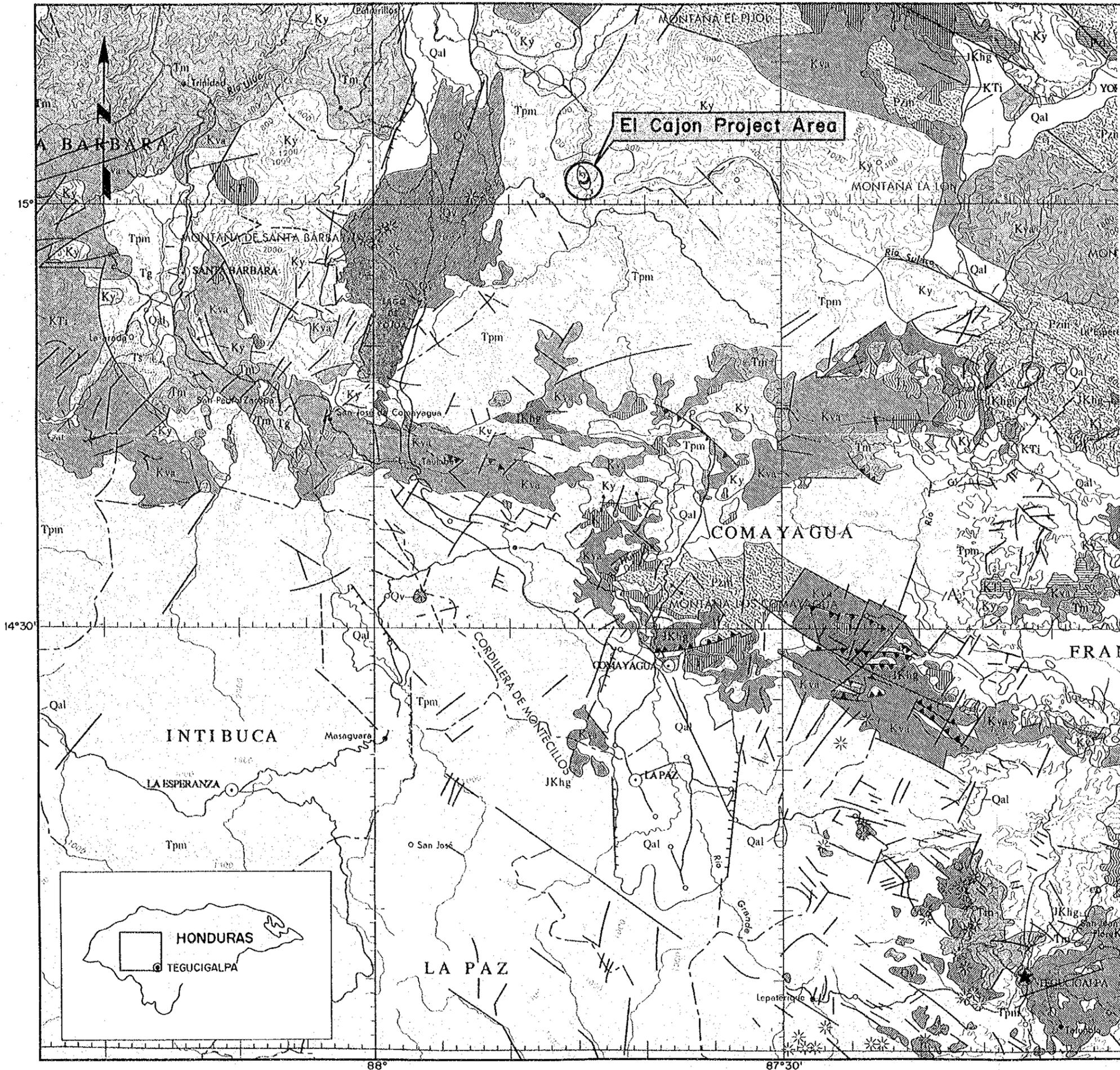
Name	Elevation (m)	Length	Direction	Amplification Site
G-1	209.70	112.50	S88°W	Pressure Shaft
GC-1	119.61	95.50	S75°W	Power Station Tailrace Tunnel
2	119.54	70.00	N15°W	Power Station
3	119.72	24.60	N75°E	"
4	119.72	18.50	N15°W	"
5	119.72	25.00	S75°W	"
6	119.54	50.00	S15°E	"
9	119.47	24.70	S75°W	Pressure Shaft

Table 7-5 List of Existing Excavation

Name	Amplification Site
• Pressure Shaft	• Pressure Shaft
• Power Station	• Power Station
• Access Tunnel	• Pressure Shaft
• Water Cooling Reservoir	• Tailrace Tunnel
• Drainage Tunnel	• Tailrace Tunnel
• Santa Barbara Tunnel	• Power Station Tailrace Tunnel
• Tailrace Tunnel	• Tailrace Tunnel







**STRATIGRAPHIC UNITS**

Quaternary	Qal	:Recent Sediments
	Qv	:Volcanic Rocks
Tertiary	Tg	Gracias Formation :Continental Sedimentary Rocks
	Tpm	Padre Miguel Group :Volcanic Rocks
	Ts	Subinial Formation :Red Beds
	Tm	Metagalpa Formation :Volcanic Rocks
Cretaceous	Kag	Valle de Angeles Group :Red Beds
	Ky	Yojoa Group :Calcareous Marine Sedimentary R.
Jura.	JKhg	Hondulus Group :Sedimentary Rocks
Paleoz.	Pzm	Cacaguapa Schist :Metamorphic Complex
		Intrusive Rocks of Various Ages

REPUBLIC OF HONDURAS  
 AMPLIFICATION PROJECT OF  
 EL CAJON HYDROELECTRIC POWER PLANT  
**Geological Map Around  
 El Cajon Project Area**  
 Figure 7-1