

## 3.2 電力需要予測

### 3.2.1 電力需要予測の目的

本調査における電力需要予測の目的は、ペルー国の中北部電力系統の将来需要を確認して Ene 川開発計画の適正な開発時期、開発規模を策定することである。

### 3.2.2 予測方針および方法

#### (1) 予測方針

前述の如く、南西部および南東部電力系統の需要は中北部電力系統に比べさほど大きくなく、また、中北部電力系統に属する地域に有力な水力開発地点が多くあること等から、21 世紀に入っても当分、中北部系統と南部系統が連系し電力融通する計画はない。Ene 川開発計画は、産業および人口の中心地域である Lima を中心とする中北部電力系統に連系されることとなろう。

従って、需要予測は中央部系統と 1988 年に連系を予定されている北部系統を含めた中北部電力系統全体に関して行うこととする。尚、本調査による需要予測結果と ELECTROPERU による予測とを比較して需要予測の検証を行うこととする。

#### (2) 予測方法

中北部電力系統の需要予測は、マクロ手法により Gross Regional Domestic Product (GRDP) の変化に対する電力需要の変化を予測する方法で以下の如く行う。

- まず、過去の電力消費の所得弾性値を GRDP 成長率および電力消費量伸び率（共に人口 1 人当たり）より求める。
- 第 2 に、将来の人口 1 人当たりの GRDP 成長率を高いケースと低いケースの 2 ケースに分けて想定する。
- 第 3 に、人口 1 人当たりの将来の電力消費量の伸び率を、想定した GRDP 成長率に上述の弾性値を乗ずることによって求める。
- 最後に、中北部電力系統に属する地域の電力消費量の伸び率を人口 1 人当たりの電力消費伸び率に人口伸び率を乗ずることによって求める。
- 最大負荷の予測は、上記電力需要を基に送電線損失率と年負荷率を考慮して求める。

なお、GRDP、消費電力量、人口、最大負荷、送電線損失率、年負荷率の実績および将来予測は、ペルー全土ではなく中北部電力系統に属する地域のデータを使用するものとする。

### 3.2.3 資料および情報

需要予測を行うに当たり、本調査で ELECTROPERU より入手した下記の資料を参考にした。

- Plan Maestro De Electricidad 1983, 1984
- Poblacion Por Sexo Estimada Al 30 De Junio De Cada Año Y Tasa De Crecimiento Geometrico Medio Anual De La Poblacion Total: 1950-1980, 1980-2025
- Producto Bruto Interno Por Clase De Actividad Economica Valores A Precios Constantes De 1973
- Producto Bruto Interno Por Habitante, Segun Departamentos Valores A Precios Constantes De 1973
- Producto Bruto Interno Por Departamentos Valores A Precios Constantes De 1973
- Tasa Real De Crecimiento Del Producto Bruto Interno Nacional, Periodo 1984-1993
- Oferta Y Demanda Global Valores A Precios Constantes De 1973
- Domésticos Y Poblacion, Sistema Centro-Norte (Interconectado)

#### 3.2.4 ELECTROPERUによる需要予測方法

ELECTROPERUは1983年にマスタープランを発表し、この中で中期および長期計画として今後10年後および25年後の電力市場調査、発電計画、送電計画、投資計画、資金調達について調査を行っており、引き続きこのレビューを実施している。

需要想定の方法は3つの需要種別、即ち一般電力需要、自家用発電設備を有する大規模電力需要、投資による新規需要に分類して行われており、さらにマクロ手法としてGDPと需要との相関を考慮してペルー国全体の需要想定も行われている。

##### (1) 一般電力需要

この電力需要の範疇には都市需要と小規模需要センターが含まれている。都市需要は、1981年の国勢調査結果による人口3万人以上の都市が対象であり、家庭用、商業用、工業用、街路灯、配電損失および最大需用の過去10年以上の統計資料をベースとし人口動向を考慮して予測を行う。

小規模需要センターは人口3万人未満の地域が対象であり、現在電力系統から電力供給を受けているセンター、近い将来電力系統に接続されるセンター、遠い将来電力系統に接続されるセンター、および将来とも電力系統と接続されないセンターの4つのカテゴリーに分け、各センターの地勢条件、人口、住宅数、需要家数等を考慮し予測を行う。

##### (2) 自家用発電設備を有する大規模需要

需要想定は生産と電力消費量の過去の実績をもとに、将来の工場拡張計画を考慮し予測を行う。

##### (3) 投資による新規需要

需要想定の方法は自家用発電設備の場合と同様である。

### 3.2.5 マクロ手法による需要予測

1982年以降ペルー国の経済活動は低迷を続け、非常に厳しい状況下であり国民総生産(GDP)も下落しているが、この傾向は1984年に入っても続いている。

需要予測を行う場合、将来の経済活動が回復し健全な経済成長が得られるという前提で予測を行うべきであるので、過去の実績諸データとして最近のものを使うことは適当ではないと考えられる。従って、本調査では経済が比較的安定成長した1981年までの諸データをもとに需要予測を行う。尚、所要データは将来中央部系統に連系を予定されている北部系統分を含めた中北部電力系統全体に属する地域のものを使用する。

#### (1) 1人当りのGRDP成長率

1972年から1981年間の1人当りGRDP成長率は年率0.6%と低い成長率に留まっている(Table 3-11)。

一方、ペルー国企画庁(Instituto Nacional de Planificacion, INP)予測による1984年以降1993年迄の国民総生産(GDP)の成長率は年率2.9%であり、これをもとに人口伸び率を考慮して得られる1人当りのGDP成長率は年率0.4%程度と推定される。

本調査では経済面の立ち直りが厳しい面も予測されるが、前記事項を考慮し、1人当りのGRDP成長率は高いケースとして1.0%、低いケースとして0.5%と予測した。

#### (2) 1人当りの電力消費量の伸び率

1972年における1人当りの電力消費量は417kWhで1981年には538kWhであり、この間の伸び率は年率2.9%であった(Table 3-11)。

将来の電力消費量の伸び率は、後述の(3)項で示されるGRDP弾性値を1人当りのGRDP伸び率に乗ずることによって求められる。1人当りの電力消費量の伸び率をTable 3-12に高いケースを、Table 3-13に低いケースを示す。

#### (3) 電力消費のGRDP弾性値

電力消費のGRDP弾性値は電力消費の変化をGRDPの変化で割ることによって求められる。Table 3-11に1人当り電力消費量のGRDP弾性値を示すが、1972年から1981年間の弾力性の平均は4.8であった。一般的に電力消費のGRDP弾性値は経済の発展に伴って下降する傾向にあり、ほとんどの先進国では1~2である。

本調査ではペルーと似たような経済・産業・人口構造の特徴を持つ一般的な傾向を考慮し、今後25年間のGRDP弾性値は1人当りのGRDP成長率が高い場合には4.0と予測した(Table 3-12)。

又、1人当りのGRDP成長率が低い場合の今後25年間のGRDP弾性値は5.0と予測した(Table 3-13)。

#### (4) 人口の動向

ペルー国統計局(Instituto Nacional de Estadística, INE)によるペルー全域の人

口増加予測データおよび過去の中北部電力系統に属する地域とペルー全域の人口比率の推移をもとに、中北部電力系統に属する地域の人口増加の予測を行った (Table 3-14)。

(5) 電力消費量の伸び

電力消費のGRDP弾性値、1人当りGRDPの成長率および人口増加率から電力消費量の伸びが求められるが、Table 3-12およびTable 3-13に1人当りのGRDP成長率の高いケースと低いケースについて各々示す。

(6) 最大負荷の伸び

最大負荷の伸びは上記で求められる電力消費量の伸びをもとに送電線による損失率と年負荷率を考慮して予測される。

(a) 送電線損失率

ELECTROPERUのマスタープランによると送電線損失率は5%と想定しているが、本調査では前記Table 3-8に示す如く中央部電力系統の1979年から1983年の実績平均値を採用し7%と想定した。。。

(b) 年負荷率

Table 3-15に示す通り、1975年から1983年の中央部電力系統の実績年負荷率の平均は67.9%であり、又、この期間における中北部電力系統全体の実績平均は66.9%となっている。一方、ELECTROPERUによる1984年以降2009年までの年負荷率の平均値は65.0%と予測され (Table 3-16)、また年負荷率はこの期間ほぼ一定と想定している。本調査では上述の実績およびELECTROPERUの予測値を参考として66.0%一定と想定した。

以上の送電線損失率および年負荷率を用い、得られた予測値を1人当りのGRDP成長率の高いケースと低いケースについて各々Table 3-17およびTable 3-18に示す。

### 3.2.6 検討結果

ELECTROPERUが行った需要予測結果と本調査による需要予測の比較をTable 3-19, Fig. 3-4 (電力消費量)およびTable 3-20, Fig. 3-5 (最大負荷)に示す。同図表より、ELECTROPERUの予測は本調査による1人当りのGRDP成長率の高いケース (1.0%)と低いケース (0.5%)の中間に位置しているが、これらの予測結果は下記の様に集約できる。

電力消費量の年平均伸び率予測結果 (%)

年	ペルー電力公社 (ELP)	J I C A	
		1人当りのGRDP成長率 (1.0%)	1人当りのGRDP成長率 (0.5%)
1984 ~ 1990	6.5 (6.1)	6.8 ( " )	5.3 ( " )
1990 ~ 1995	6.7 (6.5)	6.6 ( " )	5.1 ( " )
1995 ~ 2000	6.0 (5.9)	6.3 ( " )	4.8 ( " )
2000 ~ 2009	6.1 (6.2)	5.9 ( " )	4.4 ( " )
1984 ~ 2009 (25年間)	6.3 (6.2)	6.3 ( " )	4.8 ( " )

( ) : 最大負荷の年平均伸び率

本調査による予測のうち、GRDP成長率の高いケースの方がELECTROPERU予測と接近しているためGRDP成長率の高いケースとELECTROPERU予測値との比較を行うと、両者間に生じた差の要因は次の様に考えられる。

- (1) 1984年から1990年間の年平均伸び率は本調査結果の方が高くなっているが、これは本調査では1人当りのGRDPの成長率(1.0%/年)が多少高く予測しているのが原因である。
- (2) ELECTROPERUによると1990年から1995年間の年平均伸び率が1984年から、1990年の伸びに比べ高くなっているが、本調査では逆の傾向を示している。これはELECTROPERUの予測では1990年から1995年にかけてLimaの鉄道電化計画、Paramonga PVC計画、Paramongaの鉛精錬工場計画等の新規大型需要計画を考慮しているのが主因で、これらの需要を除けばこの間の電力消費量の年平均伸び率は6.3%となり、1984年から1990年の伸び率より低くなり本調査と同様の傾向を示すこととなる。
- (3) ELECTROPERUの予測では2000年から2009年までの年平均伸び率は1995年から2000年までの伸び率とほぼ同程度の高い率となっており本調査の予測と傾向が異っている。

この両者間の相違は、ELECTROPERUの予測では2000年から2009年にかけてLimaの鉄道電化増強計画、Cajamarcaの銅鉱山開発計画等の大型需要計画を考慮しているのが主因で、これらの需要を除けばこの間の電力消費量の年平均伸び率は5.9%となり、1995年から2000年の伸び率より低くなり本調査と同様の傾向を示すこととなる。

一方、1984年から2009年までの25年間の電力消費量の年平均伸び率はELECTROPERUおよび本調査によるGRDP成長率の高いケースの予測では6.3%であり、マクロ的にみればELECTROPERUと本調査の予測結果には大差がなく、ELECTROPERUの予測は妥当であると考えられる。従って、経済が順調に回復し安定成長が続けばELECTROPERU

の予測は本調査による1人当りのGRDP成長率の高いケースによる予測にひっ迫すると考えられる。尚、電力消費量の伸びは1人当りの電力消費量がある水準に達した後は緩かな伸び率に収斂するであろう。

一方、もし現在の厳しい経済状況が続き、経済成長が将来とも達成できない場合には電力消費量の伸びは本調査による1人当りのGRDP成長率の低いケースに近づき、純化したものとなるであろう。

Table 3-11 Historical Population, GRDP, Power Consumption and GRDP Elasticity of Power Consumption in Central-North System (GRDP Values at 1973 Price)

Year	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
GRDP (Million Soles)	315,926	332,580	359,631	377,522	383,172	378,092	373,662	388,245	406,255	422,305
Power Consumption (GWh) (Interconnectable Total)	4,378.6	4,603.2	4,931.6	5,162.3	5,269.3	5,548.4	5,742.4	6,171.4	6,676.7	7,160.2
Population (Million)	10.5	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	13.0	13.3
Per Capita GRDP (Soles)	30,088	31,082	32,694	33,409	33,032	31,772	30,379	30,813	31,250	31,752
Per Capita GRDP Growth Rate ① (%)	-	3.3	5.2	2.2	-1.1	-3.8	-4.4	1.4	1.4	1.6
Per Capita Power Consumption	417	430	448	457	454	466	467	490	514	538
Per Capita Power Consumption Growth Rate ② (%)	-	3.1	4.2	2.0	-0.7	2.6	0.2	4.9	4.9	4.7
Per Capita GRDP Elasticity of Power consumption ② / ①	-	0.9	0.8	0.9	4.8	-0.6	0	3.5	3.5	2.9

Table 3-12 Projection of Interconnectable Power Consumption Growth Rate  
in Central-North System

(1) High Case of per Capita GRDP Growth Rate

Year	Per Capita GRDP Growth Rate ① (%)	GRDP Elasticity of Power Consumption (Per Capita Bases) ②	Per Capita Power Consumption Growth Rate ③ (%)	Population Growth Rate ④ (%)	Power Consumption Growth Rate ⑤ (%)	Power Consumption ⑥ (GWh)
1984	1.0	4.0	4.0	2.8	6.91	7,689
85	"	"	"	2.7	6.81	8,213
86	"	"	"	"	"	8,772
87	"	"	"	"	"	9,369
88	"	"	"	"	"	10,007
89	"	"	"	"	"	10,689
90	"	"	"	2.6	6.70	11,405
91	"	"	"	"	"	12,169
92	"	"	"	"	"	12,985
93	"	"	"	2.5	6.60	13,842
94	"	"	"	"	"	14,755
95	"	"	"	2.4	6.50	15,714
96	"	"	"	"	"	16,736
97	"	"	"	2.2	6.29	17,788
98	"	"	"	"	"	18,907
99	"	"	"	2.1	6.18	20,076
2000	"	"	"	"	"	21,316
1	"	"	"	2.0	6.08	22,612
2	"	"	"	"	"	23,987
3	"	"	"	1.9	5.98	25,422
4	"	"	"	"	"	26,942
5	"	"	"	1.8	5.87	28,523
6	"	"	"	"	"	30,198
7	"	"	"	"	"	31,970
8	"	"	"	1.7	5.77	33,815
9	"	"	"	"	"	35,766

Note: ③ = ① x ②, ⑤ = ③ x ④  
Average Power Consumption Growth Rate from 1984 to 2009 : 6.3% p.a.

Table 3-13 Projection of Interconnectable Power Consumption Growth Rate in Central-North System

(2) Low Case of Per Capita GRDP Growth Rate

Year	Per Capita GRDP Growth Rate ① (%)	GRDP Elasticity of Power Consumption (Per Capita Bases) ②	Per Capita Power Consumption Growth Rate ③ (%)	Population Growth Rate ④ (%)	Power Consumption Growth Rate ⑤ (%)	Power Consumption ⑥ (GWh)
1984	0.5	5.0	2.5	2.8	5.37	7,578
85	"	"	"	2.7	5.27	7,978
86	"	"	"	"	"	8,398
87	"	"	"	"	"	8,841
88	"	"	"	"	"	9,307
89	"	"	"	"	"	9,797
90	"	"	"	2.6	5.17	10,304
91	"	"	"	"	"	10,837
92	"	"	"	"	"	11,397
93	"	"	"	2.5	5.06	11,974
94	"	"	"	"	"	12,580
95	"	"	"	2.4	4.96	13,203
96	"	"	"	"	"	13,858
97	"	"	"	2.2	4.76	14,518
98	"	"	"	"	"	15,209
99	"	"	"	2.1	4.65	15,916
2000	"	"	"	"	"	16,656
1	"	"	"	2.0	4.55	17,414
2	"	"	"	"	"	18,207
3	"	"	"	1.9	4.45	19,017
4	"	"	"	"	"	19,863
5	"	"	"	1.8	4.35	20,727
6	"	"	"	"	"	21,629
7	"	"	"	"	"	22,570
8	"	"	"	1.7	4.24	23,527
9	"	"	"	"	"	24,524

Note: ③ = ① x ②, ⑤ = ③ x ④  
Average Power Consumption Growth Rate from 1984 to 2009 : 4.8% p.a.

Table 3-14 Projected Population Growth in Areas  
Belonging to Central-North System  
including Interconnectable Parts in Future

Year	Entire Peru ①	Areas belonging to Central-North System ②	$\frac{②}{①}$ (%)	Growth Rate in Areas belonging to Central- North System (%)
1984	19,197,900	14,456,000	75.3	2.8
85	19,697,500	14,851,900	75.4	2.7
86	20,207,100	15,256,400	75.5	2.7
87	20,727,100	15,669,700	75.6	2.7
88	21,255,900	16,090,700	75.7	2.7
89	21,791,500	16,518,000	75.8	2.7
90	22,332,100	16,950,100	75.9	2.6
91	22,879,600	17,388,500	76.0	2.6
92	23,435,300	17,834,300	76.1	2.6
93	23,996,200	18,285,100	76.2	2.5
94	24,559,700	18,739,100	76.3	2.5
95	25,122,800	19,193,800	76.4	2.4
96	25,686,800	19,650,400	76.5	2.4
97	26,253,400	20,083,900	"	2.2
98	26,821,100	20,518,100	"	2.2
99	27,387,900	20,951,700	"	2.1
2000	27,952,100	21,383,400	"	2.1
1	28,514,200	21,813,400	"	2.0
2	29,075,300	22,242,600	"	2.0
3	29,634,800	22,670,600	"	1.9
4	30,192,100	23,097,000	"	1.9
5	30,746,400	23,521,000	"	1.8
6	31,298,300	23,943,200	"	1.8
7	31,848,100	24,363,800	"	1.8
8	32,395,200	24,782,300	"	1.7
9	32,939,000	25,198,300	"	1.7

Note: Population growth in areas belonging to Central-North System is estimated on the basis of predicted data of population growth in entire Peru issued by Instituto Nacional de Estadística (INE).

Table 3-15 Transition of Annual Load Factor

Year	Entire Central System **			Interconnected Central System		
	1 Energy Production (GWh)	2 Peak Demand (MW) *	Load Factor(%) 1 / 2 x 8760	1 Energy Production (GWh)	2 Peak Demand (MW) *	Load Factor(%) 1 / 2 x 8760
1975	4301.9	696.2	70.5	3128.1	517.9	68.9
1976	4439.2	741.7	68.3	3664.5	606.8	68.9
1977	4741.0	791.3	68.4	3924.8	641.3	69.9
1978	4853.4	847.8	65.4	3966.6	680.7	66.5
1979	5211.4	906.6	65.6	4202.6	720.3	66.6
1980	5600.9	964.2	66.3	5600.9	959.0	66.7
1981	6203.2	1061.1	66.7	6203.2	1055.6	67.1
1982	6497.1	1148.2	64.6	6497.1	1055.6	70.3
1983	6413.5	1101.5	66.5	6413.5	1101.5	66.5
Average			66.9			67.9

(Note) \* Diversity factor of 0.98 is considered  
 \*\* Excluding no interconnected part as of 1983

Table 3-16 Annual Load Factor Forecast  
 (Estimated values taken from Master Plan)

Year	Annual Load Factor (%)						
1984	63.3	1991	64.8	1998	65.7	2005	65.2
1985	63.9	1992	64.6	1999	65.8	2006	65.1
1986	64.3	1993	65.2	2000	65.7	2007	65.0
1987	64.7	1994	65.4	2001	65.5	2008	64.9
1988	64.6	1995	65.4	2002	65.6	2009	64.8
1989	64.7	1996	65.6	2003	65.5		
1990	64.6	1997	65.8	2004	65.3		

Table 3-17 Projection of Interconnectable Energy Production and Peak Power Demand in Central-North System

(1) High Case of Per Capita GRDP Growth Rate : 1.0%

Year	Power Consumption (GWh)	Transmission Line Losses (%)	Energy Production (GWh)	Annual Load Factor (%)	Peak Power Demand *
1984	7,689	7.0	8,268	66.0	1,430
85	8,213	"	8,831	"	1,527
86	8,772	"	9,432	"	1,631
87	9,369	"	10,074	"	1,742
88	10,007	"	10,760	"	1,861
89	10,689	"	11,494	"	1,988
90	11,405	"	12,263	"	2,121
91	12,169	"	13,085	"	2,263
92	12,985	"	13,962	"	2,415
93	13,842	"	14,884	"	2,574
94	14,755	"	15,866	"	2,744
95	15,714	"	16,897	"	2,923
96	16,736	"	17,996	"	3,113
97	17,788	"	19,127	"	3,308
98	18,907	"	20,330	"	3,516
99	20,076	"	21,587	"	3,734
2000	21,316	"	22,920	"	3,964
1	22,612	"	24,314	"	4,205
2	23,987	"	25,792	"	4,461
3	25,422	"	27,335	"	4,728
4	26,942	"	28,970	"	5,011
5	28,523	"	30,670	"	5,305
6	30,198	"	32,471	"	5,616
7	31,970	"	34,376	"	5,946
8	33,815	"	36,360	"	6,289
9	35,766	"	38,458	"	6,652

(Note) \* Transmission line losses of 7% are taken into account for peak power demand.

Table 3-18 Projection of Interconnectable Energy Production and Peak Power Demand in Central-North System

(2) Low case of per capita GRDP Growth Rate : 0.5%

Year	Power Consumption (GWh)	Transmission Line Losses (%)	Energy Production (GWh)	Annual Load Factor (%)	Peak Power Demand * (MW)
1984	7,578	7.0	8,148	66.0	1,409
85	7,978	"	8,578	"	1,484
86	8,398	"	9,030	"	1,562
87	8,841	"	9,506	"	1,644
88	9,307	"	10,008	"	1,731
89	9,797	"	10,534	"	1,822
90	10,304	"	11,080	"	1,916
91	10,837	"	11,653	"	2,016
92	11,397	"	12,255	"	2,120
93	11,974	"	12,875	"	2,227
94	12,580	"	13,527	"	2,340
95	13,203	"	14,197	"	2,456
96	13,858	"	14,901	"	2,577
97	14,518	"	15,611	"	2,700
98	15,209	"	16,354	"	2,829
99	15,916	"	17,114	"	2,960
2000	16,656	"	17,910	"	3,098
1	17,414	"	18,725	"	3,239
2	18,207	"	19,577	"	3,386
3	19,017	"	20,448	"	3,537
4	19,863	"	21,358	"	3,694
5	20,727	"	22,287	"	3,855
6	21,629	"	23,257	"	4,023
7	22,570	"	24,269	"	4,198
8	23,527	"	25,298	"	4,376
9	24,524	"	26,370	"	4,561

(Note) \* Transmission line losses of 7% are taken into account for peak power demand.

Table 3-19 Comparison of Projected Interconnectable Electric Power Consumption in Central-North System by ELECTROPERU and JICA

(Unit: GWh)			
Year	ELP Forecast	JICA Forecast (High Case of Per Capita GRDP Growth Rate: 1.0% )	JICA Forecast (Low Case of Per Capita GRDP Growth Rate: 0.5%)
1984	7,625	7,689	7,578
85	7,952	8,213	7,978
86	8,483	8,772	8,398
87	9,210	9,369	8,841
88	9,762	10,007	9,307
89	10,471	10,689	9,797
90	11,125	11,405	10,304
91	12,140	12,169	10,837
92	12,812	12,985	11,397
93	13,903	13,842	11,974
94	14,650	14,755	12,580
95	15,405	15,714	13,203
96	16,417	16,736	13,858
97	17,381	17,788	14,518
98	18,331	18,907	15,209
99	19,476	20,076	15,916
2000	20,587	21,316	16,656
1	21,838	22,612	17,414
2	23,161	23,987	18,207
3	24,569	25,422	19,017
4	26,058	26,942	19,863
5	27,641	28,523	20,727
6	29,318	30,198	21,629
7	31,101	31,970	22,570
8	32,993	33,815	23,527
2009	34,999	35,766	24,524
Average Growth Rate	6.3 %/p.a.	6.3 %/p.a.	4.8%/p.a.

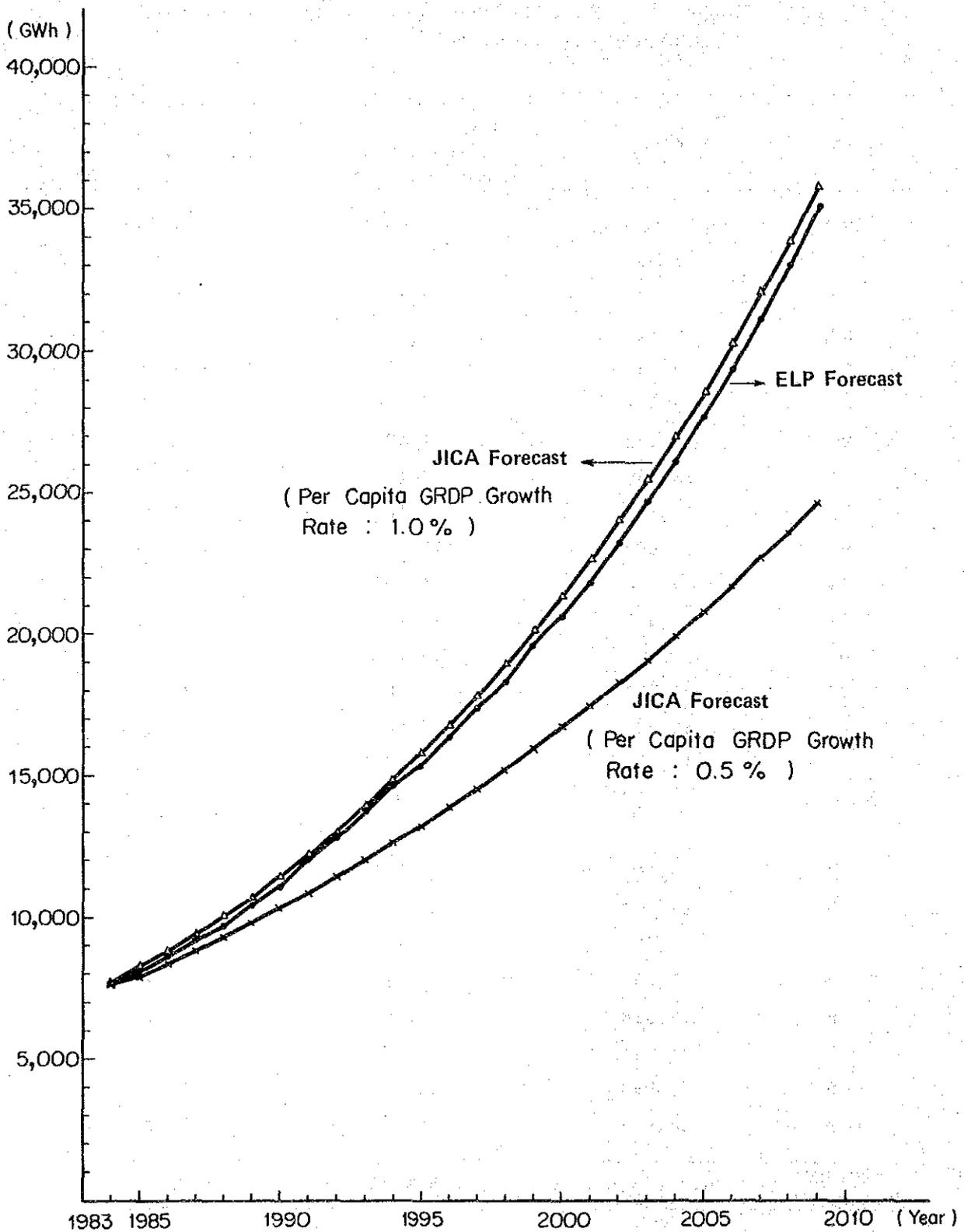


Fig. 3-4 Comparison of Projected Interconnectable Power Consumption in Central-North System by ELECTROPERU and JICA

Table 3-20 Comparison of Projected Interconnectable Peak Power Demand  
in Central-North System by ELECTROPERU and JICA

Year	ELP Forecast	(Unit: MW)	
		JICA Forecast (High Case of Per Capita GRDP Growth Rate: 1% )	JICA Forecast (Low Case of Per Capita GRDP Growth Rate: 0.5%)
1984	1,480	1,430	1,409
85	1,527	1,527	1,484
86	1,618	1,631	1,562
87	1,746	1,742	1,644
88	1,854	1,861	1,731
89	1,987	1,988	1,822
90	2,113	2,121	1,916
91	2,299	2,263	2,016
92	2,433	2,415	2,120
93	2,619	2,574	2,227
94	2,749	2,744	2,340
95	2,890	2,923	2,456
96	3,070	3,113	2,577
97	3,243	3,308	2,700
98	3,426	3,516	2,829
99	3,631	3,734	2,960
2000	3,846	3,964	3,098
1	4,090	4,205	3,239
2	4,335	4,461	3,386
3	4,606	4,728	3,537
4	4,898	5,011	3,694
5	5,208	5,305	3,855
6	5,529	5,616	4,023
7	5,874	5,946	4,198
8	6,239	6,289	4,376
2009	6,627	6,652	4,561
Average Growth Rate	6.1 % p.a.	6.3 % p.a.	4.8 % p.a.

(Note): (1) Diversity factor of 0.98 is taken into account for peak power demand.

(2) Transmission line losses of 7% are taken into account for peak power demand.

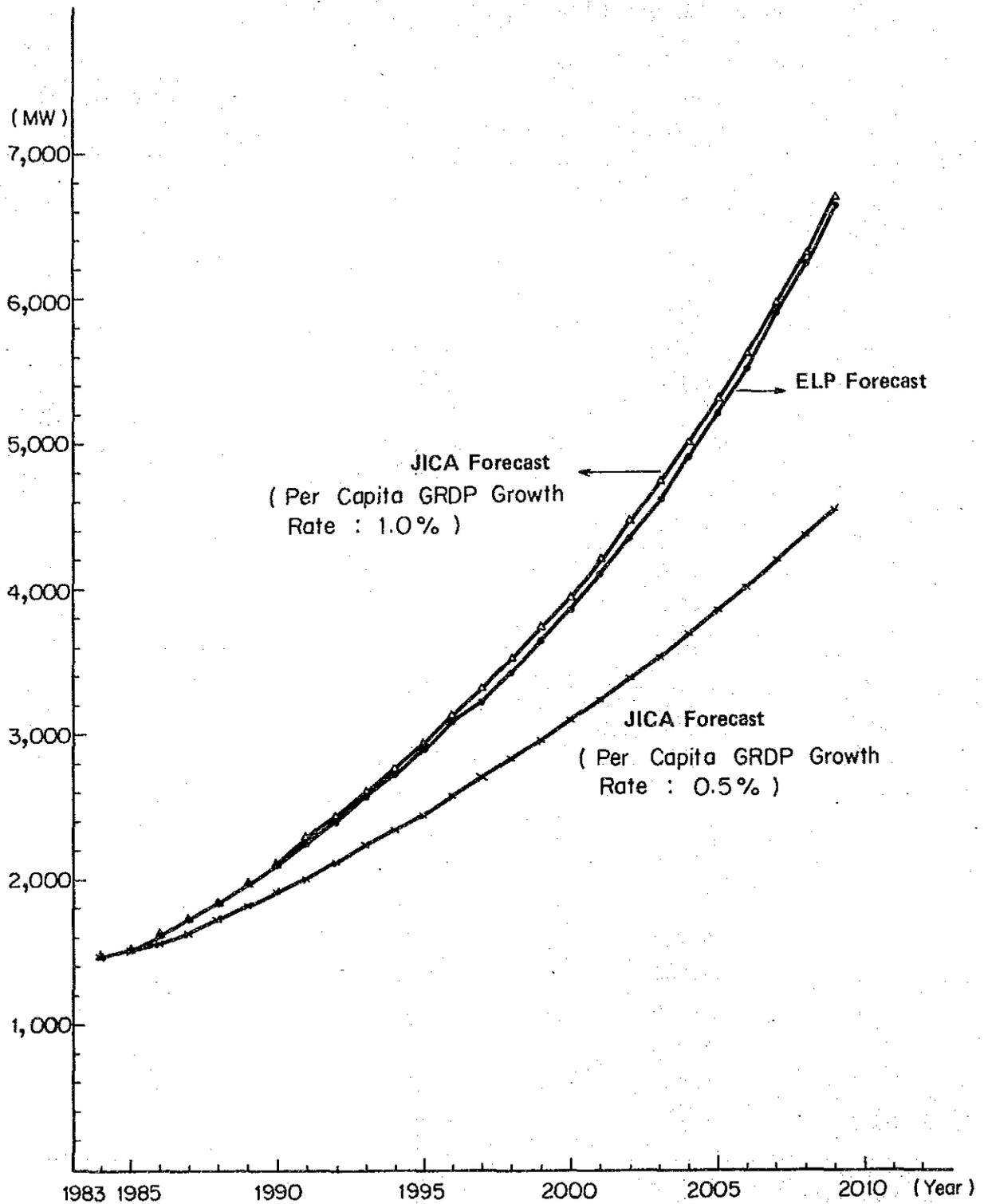


Fig. 3-5 Comparison of Projected Interconnectable Peak Power Demand in Central-North System by ELECTROPERU and JICA

### 3.3 電力需要供給バランス

#### 3.3.1 電力供給計画

ELECTROPERU のマスタープラン ( 1984 年 ) による電源開発計画を Table 3-21 および Table 3-22 に示すが、新規の発電計画としては大規模な水力発電計画を主体としており、火力発電所の新設は極力抑える予定である。

一方、今後の需要増に対応するため新規の電源開発計画のみならず、既連系の中央部電力系統と北部電力系統が連系され中北部電力系統を形成する予定であり、又、Centromin, Petro Peru 等の大口自家用発電設備とも順次連系し電源拡充計画を予定している。一例として、1988 年には北部電力系統に属する Chiclayo および Piura の火力発電所が中央部電力系統に連系され、1985 年には Centromin Peru 所有の Yaupi ( 108 MW ), Maipaso ( 54 MW ), Pachachaca ( 12 MW ), Oroya ( 9 MW ) の 4 水力発電所が中央部電力系統に連系される予定である。

#### 3.3.2 電力需要供給バランス

ELECTROPERU による電力需要予測と将来の電源開発計画の妥当性を検討するため、および Ene 川開発計画の開発時期および開発規模を想定するため、kW および kWh の両面から需要供給バランスを調査した。

尚、kW および kWh バランスを検討するに当り、各年毎に中北部電力系統へ連系されている kW および kWh 値を採用した。

##### (1) kW バランス

中北部電力系統における kW バランスの予測を Table 3-23 および Fig. 3-6 に示すが最大負荷の予測値は ELECTROPERU のデータに不等率 0.98 を考慮し、かつ送電線損失率として 7% を見込んだ。Table 3-23 に示す通り、1989 年から 1993 年までの予備率は少なめであるが、全体的にバランスがとれている。

尚、電力供給設備の容量については Table 3-21 を参照されたい。

##### (2) kWh バランス

kWh バランスの予測を Table 3-24 および Fig. 3-7 に示すが、電力消費量の予測値は ELECTROPERU の予測値に送電線損失率 7% を見込んだ。図表に示される通り kWh バランスはいかなる年においても良くバランスしている。

尚、発電電力量については Table 3-22 を参照されたい。













Table 3-23 Projection of kW Balance in Central-North System

Year	Installed Capacity (MW)	Guaranteed Capacity (MW)	Peak Power Demand (MW)	Marginal Supply Capability	
				(MW)	(%)
1983	1875	1462	1184	278	23.5
84	"	"	1225	237	19.3
85	2275	1784	1409	375	26.6
86	"	"	1495	289	19.3
87	"	"	1606	178	11.1
88	2467	1943	1790	153	8.5
89	2478	1953	1920	33	1.7
90	"	2102	2042	60	2.9
91	2612	2242	2220	22	1.0
92	2804	2431	2349	82	3.5
93	3018	2589	2529	60	2.4
94	3218	2789	2656	133	5.0
95	3346	2921	2795	126	4.5
96	3467	3056	2970	86	2.9
97	3739	3320	3200	120	3.8
98	4498	3931	3414	517	15.1
99	4440	3883	3618	265	7.3
2000	4785	4244	3832	412	10.8
1	"	"	4075	169	4.1
2	5179	4635	4319	316	7.3
3	5573	5017	4606	411	8.9
4	5759	5171	4898	273	5.6
5	6379	5687	5207	480	9.2
6	6737	6042	5529	513	9.3
7	7095	6422	5874	548	9.3
8	7453	6678	6239	439	7.0
9	7453	6678	6626	52	0.8

(Note): (1) Supply and demand (MW) show the interconnected values year by year.

(2) Diversity factor of 0.98 and transmission line losses of 7% are taken into account for peak power demand.

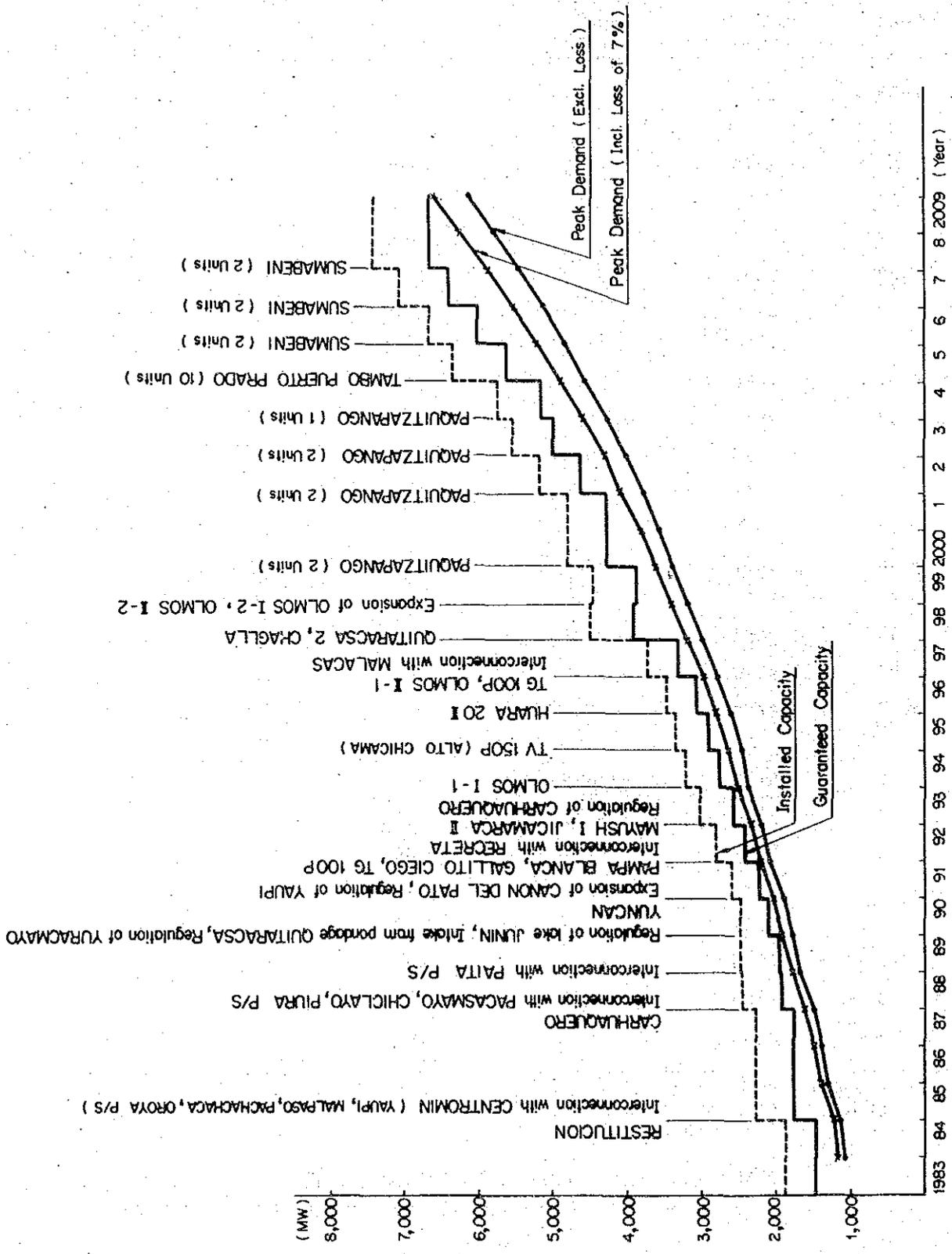


Fig. 3-6 Projection of kW Balance in Central-North System

Table 3-24 Projection of kWh Balance in Central-North System

Year	Energy Production (GWh)		Power Consumption (GWh)	Power Consumption (GWh)
	Average Year	Dry Year	(Excl. transmission line losses)	(Incl. transmission line losses of 7%)
1983	6414 (Actual)		5860	6301
84	9347	8428	6106	6566
85	12068	10918	7390	7946
86	"	"	7896	8490
87	"	"	8545	9188
88	12923	11609	9425	10134
89	12962	11648	10119	10881
90	13720	12396	10757	11567
91	14816	13408	11749	12633
92	16393	14892	12402	13335
93	17620	16135	13471	14485
94	18290	16580	14206	15275
95	19291	17581	14949	16074
96	20266	18368	15948	17148
97	21863	19922	17221	18517
98	26228	23107	18290	19667
99	26074	22953	19432	20895
2000	* 27137		20538	22084
1	* 28478		21785	23425
2	* 29895		23103	24842
3	* 31471		24569	26418
4	* 33033		26058	28019
5	* 34736		27641	29722
6	* 36539		29318	31525
7	* 38456		31101	33442
8	* 40490		32993	35476
9	* 42647		34999	37633

(Note) (1) Supply and demand (GWh) show the interconnected values year by year.

(2)\* Annual energy production by the Ene River Project is calculated by using hydrological data of past 32 years.

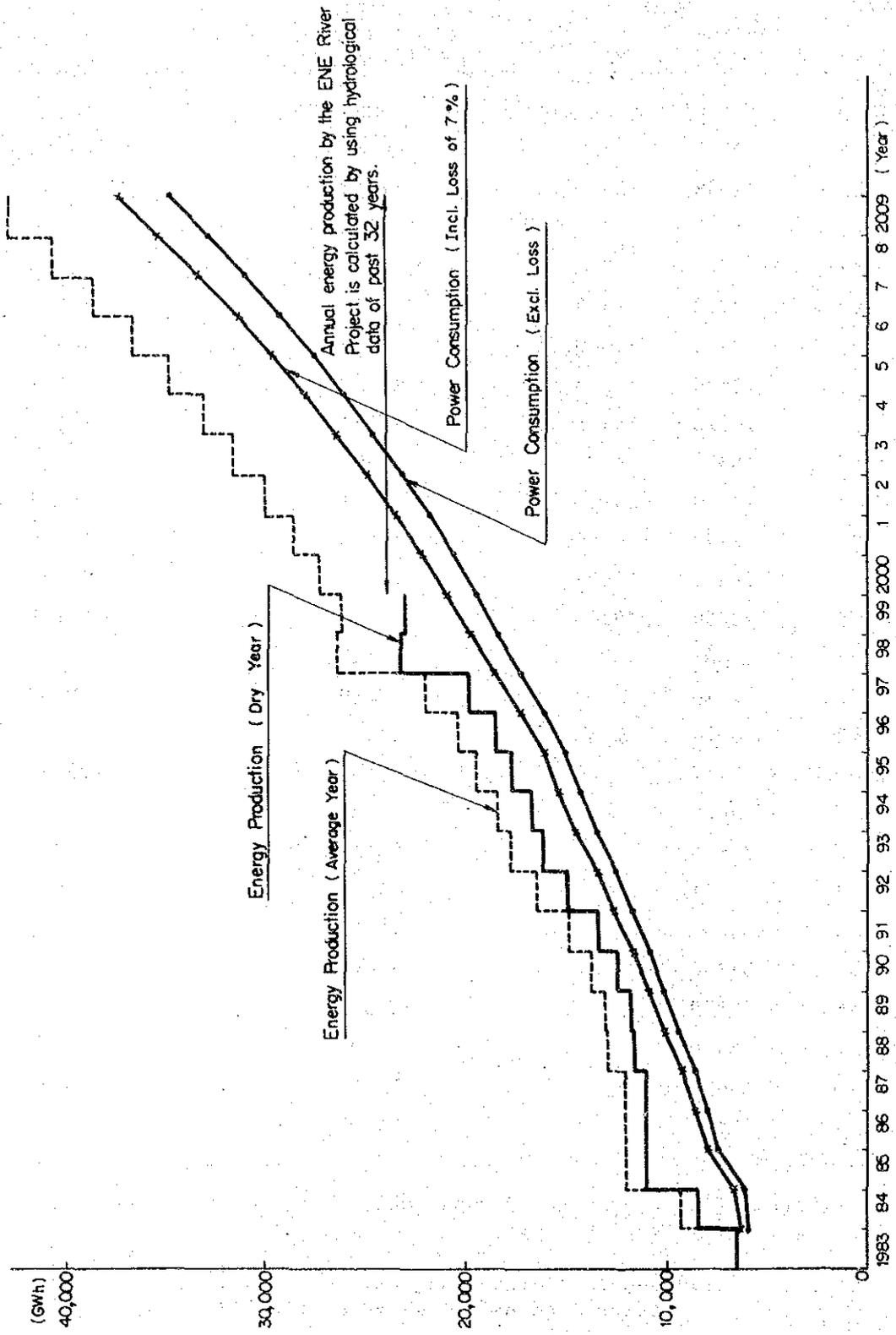


Fig. 3-7 Projection of kWh Balance in Central-North System

### 3.4 結 論

前述の通り、もし ELECTROPERU によって現在計画されている電源開発が計画通り推進されるとすれば、kW および kWh とも 1999 年までは需給バランスが確保できる。

しかしながら、2000 年には最大需要 3,832 MW に対して予備力が 21 MW となり予備率は 0.5 % となるので安定した電力供給は困難となる。この様な事態を避けるため 2000 年以降、適切な規模をもつ新たな電源開発計画の策定が必要となるであろう。

## 第4章 水 文





## 第4章 水 文

### 4.1 流域の一般気象概要

本計画流域は Andes 山脈の東側に位置し、流域面積約 13 万 km<sup>2</sup>を有する。流域は大きく分けると Ene 川の本流である Apurimac 川、支流の Mantaro 川および Perene 川から構成される。

これら河川は標高 4,000～5,000 m の Andes 山脈を源とし、広大な「山岳地帯」の流量を集め、「森林地帯」を北流する Ene 川本流に注ぐ。

流域内の気象は高標高部は「山岳気候区域」に属し、低標高部は「熱帯雨林気候区域」に属する。また、気象は一般的に乾期（5～10月）と雨期（11～4月）に分かれ、山岳気候は Cuzco や Pampas に代表されるように、年間雨量は 600～800 mm 程度と比較的少ない。平均気温は 10～14℃程度であるが、最低気温でみると7月には-2～-4℃程度とかなり低い。熱帯雨林気候は、Satipo に代表されるように高温多湿であり、年平均雨量は 1,000～2,000 mm と地域差も大きい。年平均気温も 24～25℃と高く、湿度も 75～80% と高い。

### 4.2 流域内の測水所および気象観測所

#### 4.2.1 測水所および観測期間

流域内の測水所は Fig. 4-1 に示すように、Mantaro 川に 4 ケ所、Apurimac 川に 4 ケ所、Perene および Pangoa 川に 3 ケ所、Ene 川と Perene 川との合流点直上流および直下流にそれぞれ 1 ケ所の合計 13 ケ所において日流量が観測されている。これらのうち、合流点直下流の Tambo 川の Santaro 測水所、合流点直上流 Ene 川の Ashaniga 測水所、Perene 川の Pto. Ocopa 測水所、Pangoa 川の Pangoa 測水所の 4 測水所には、水位観測小屋が設けられ、1 日 3 回（7時、12時、18時）の水位観測と月に数回の浮遊土砂の観測が行われている。また流量の実測は、月に 3～4 回 Pto. Ocopa の基地から舟で出かけて行われている。Pto. Ocopa の流量観測基地は自家発電、無線ラジオ等も設置され Lima との無線連絡もとれるようになっており、非常にしっかりとした観測体制、実施方法を有している。しかし、測水所には自記水位計が設置されていないため、高水位時に連続水位が観測されず、また大洪水が来るとしばらくは欠測になってしまう欠点がある。しかし、これらの 4 測水所の位置は、河川が直線になっており、流量観測地点としては適している。

各測水所における観測期間は、Table 4-1 に示すように Mantaro 流域等では、1960 年代前半より観測が始められているが、Pto. Ocopa 測水所および Pangoa 測水所では 1975 年より、Ashaniga 測水所では、1976 年 2 月中旬より、また Santaro 測水所では、1977 年より

観測が行われている。

#### 4.2.2 気象観測所および観測期間

流域内の気象観測所は Fig 4-2 に示す通りであるが、このうち、日雨量観測所は、図中◎  
○で示された 11ヶ所である。

日雨量の観測期間は、Table 4-2 に示すように、Huyao Huancayo, San Ramon および  
Cuzco (Kayra) の 3 観測所においては、途中欠測期間を含むものの 50 年の長期間にわたり、  
また、他観測所では、1960 年代より観測が開始されている。

月雨量は、Table 4-3(1)~(2)に示す 33 観測所で 20~40 年にわたって観測されている。

気温、湿度、蒸発量は、Kayra, Satipo, Huanuco, Pampas, La Mejorada および Pto.  
Ocopa の各観測所において、1964 年以降、Table 4-4~4-6 に示す期間観測されている。

#### 4.3 気温、相対湿度

気温および相対湿度は、Kayra (Cuzco), Satipo, Huanuco, Pampas, La Mejorada の 5ヶ所  
で観測されている。月別日最高、日最低、日平均気温を Table 4-7 および Fig 4-3(1)~(3)に示  
す。また月別の日平均相対湿度を Table 4-8 および Fig 4-4 に示す。

気温は、流域が広大なために地域によって 10℃以上の差がみられるが、経年変化は、月別  
平均気温で 2~4℃と小さい。日最低気温は、乾期なかばの 7 月に最低となり、Satipo にて  
13℃前後、Pampas では -3℃前後となる。一方、日最高気温は Fig 4-3(1)にあるような経年  
変化は、2~3℃と小さいが雨期の初めの 11 月に最大となり、Satipo で 34℃前後、Pampas  
では 20℃前後となる。また、雨期、乾期のはっきりしている Pampas, Kayra (Cuzco) では、  
日最大と日最低気温の較差が乾期では、約 22℃と非常に大きい。

湿度は、年降雨の少ない雨期、乾期のきわだった地域では 60~75%と一般に低く、乾期で  
は 60%前後になる。年間を通して降雨の多い Satipo では一年中 75~80%と流域の中では  
多湿である。ただし、降雨、気温の特徴が Kayra (Cuzco) と似ている Pampas では年を通して  
湿度が 75%以上と高いのが特記される。

#### 4.4 蒸 発

蒸発量は、Kayra, Satipo, Huanuco, Pampas, La Mejorada および Pto. Ocopa の 6 地点で  
観測されている。月別の平均蒸発量を Table 4-9 および Fig 4-5 に示す。ただし、Huanuco は  
Cerro de Pasco の北約 90 km に位置し流域外である。

一般的には、雨期、乾期の区別の明確な地域では、年間蒸発量は乾期において雨期より数 10  
mm 多い傾向を示している。年降雨量の多い Satipo (年間降雨 1,887 mm) では、年間蒸発量  
は 500 mm と少ないが、年降雨量の少ない Pampas (年間降雨 997 mm), Cuzco (年間降雨

662 mm) および Pto. Ocopa (年間降雨 997 mm) では、年間蒸発量がそれぞれ 1,580 mm, 946 mm, 1,161 mm と多い。

#### 4.5 降 雨

流域内の気象は、一般的に雨期と乾期は明確にわかれ、雨期は10～11月より始まり、翌年4月まで続き乾期は5月より始まり9～10月まで続く。流域の年雨量は地域により600～2,000 mm と大きくばらつくが、降雨は雨期の6ヶ月間に年雨量の70～90%が集中し、乾期の6ヶ月間に残りの10～30%が降る。年雨量の600～800 mm と少ない地域では、乾期においては月の数日間に雨が集中するため、無降雨の日が数週間連続することがある。

当流域は流域面積が約13万km<sup>2</sup>と広大なため、その降雨分布も地域によって600～2,000 mm と大きく変化する。Apurimac 川の中～上流域およびMantaro 川の中～上流域は、年雨量が600～800 mm 程度であるが、Perene 川流域およびApurimac 川、Mantaro 川の下流域は、Andes 山脈を除いて、熱帯雨林気候に属するため、年雨量も1,000～2,000 mm と地域差はあるが概して多い。

日雨量、月雨量データよりもとめた各雨量観測所の平均年雨量をもとにした Isohyetal Map を Fig 4-6 に示す。

Isohyetal Map をもとに、各流域の代表的雨量観測所として、Perene 川および雨量が800～2,000 mm と多い地域より San Ramon, Mantaro 川流域より Huyao-Huancayo, Apurimac 川の中～上流域より Cuzco を選び、ダム計画地点近傍の Pto. Ocopa, Satipo の観測所とともに、これら観測所の降雨経年パターンを Fig 4-7 および Table 4-10 に示す。

#### 4.6 流量の算定

##### 4.6.1 流量算定に使用する測水所

計画検討に用いるダム地点流入量の算定においてそのダム地点により近い測水所の実測流量を使用することは信頼性の高いダム地点流入量を算定するために望ましい。

流域内における測水所ならびに測定期間は Table 4-1 に示すとおりである。

本計画地点の最も近傍にあり使用可能な測水所は、Santaro, Ashaniga である。このためこれら2測水所を本計画の基準測水所とする。また、次項で述べる理由及び測定期間が短い(7～9年)ことから、これを補完するために、Perene 及び Pongoa 測水所及び比較的近傍にあり、又、流域面積も比較的大きい San Francisco 測水所を用いることとした。

上記以外の測水所のうち、La Angostura, Huasapama 及び Upamayo の3測水所は支流の上流部に設置されており、流域面積はダム計画地点の1～2%と小さいことから本計画検討に使用することは適当でない。

また、Pampas 及び Villene 測水所は、比較的流域面積は大きい以下の理由から使用されていない。すなわち、本 Project は広大な流域面積を有し、気象条件も異なることから単なる流域換算により求めることが出来ない。このため基準測水所への換算は、測水所間の相関解析による回帰式により求める必要がある。しかしながら、Pampas Villena 測水所と基準測水所の測定期間は相関式を求めるための十分な重複期間を有していない。

残る 3 測水所については次項に述べる理由から使用していない。

#### 4.6.2 流量資料の信頼性

(1) Santaro 測水所の 1977～1978 年の流量資料については、現地調査の時点で、その妥当性について検討する必要があることが指摘され、今回その検討を行った。Santaro 測水所 (C.A=126,422 km<sup>2</sup>) と上流 3 測水所 (Ashaniga, Perene, Pangoa, Total C.A=125,975 km<sup>2</sup>) の年間流入量を比較すると、Table 4-11 に示すとおり 1977～1978 年は 3 測水所合計流量の約 70% と小さく、それ以降は平均約 97% である。また、Ashaniga, San Francisco 測水所と比較しても、Fig 4-9 に示すとおり明らかに違った傾向を示している。このため 1977～1978 年については、3 測水所の合計流量により Santaro 測水所を補完することとする。

(2) San Francisco, Pongor, Chulec, 及び Stuart 測水所について、基準測水所として選定した Ashaniga 及び Santaro 測水所との月相関解析を行った。解析結果は Fig 4-9 (1)～(8) に示すように、San Francisco 測水所の相関係数は 0.967 と高い値を示しており、基準測水所を補完することが可能と判断される。

しかしながら Stuart 及び Chulec の係数は 0.776～0.697 と低く信頼性の高い換算流量を得ることは難しいものと判断される。

また、Pongor 測水所との月相関係数は 0.831 と比較的高い値を示しているが、この測水所は Mantaro 発電所の減水区間に位置することから、この測水所を使用することは適当でない。

#### 4.6.3 流量算定期間

基準測水所に選定した Ashaniga 及び Santaro 測水所の実測流量は 1976 年 3 月から 1983 年 9 月までの約 7 年間である。

また、前項で検討した San Francisco 測水所の換算流量を加えた測水所の流量データにもとづく流量算定期間は 1972～1982 年の 11 年間である。

このため、本計画の検討において上記流量算定期間で妥当か否かを判断するため、既存雨量観測所資料 (1931～1982 年) をもとに、移動平均法 (5 年及び 10 年) 及び Power Spectral 法により、水文の周期性を検討した。

検討結果は Fig 4-10, 4-11 に示すように、水文周期はほぼ 10～15 年程度の周期性を有している。また、周期性は顕著ではないが、長期的には 30 年程度の周期があることが想定される。

以上の検討結果から、本計画の流量計算期間は 1951～1982 年の 32 ケ年間とすれば充分である。

#### 4.6.4 流量の算定方法

本計画の流量算定期間は前項において 1951～1982 年の 32 ケ年としたが、本計画の最も近傍にあり信頼のできる Santaro, Ashaniga 測水所の実測流量は 1977 年 1 月～1982 年 12 月までの 6 年間である。

このため、1972 年 1 月～1976 年 12 月の 5 ケ年間は San Francisco 測水所の流量を用いて基準測水所に選定した Santaro, Ashaniga 測水所地点流量を求めることとする。

1951 年 1 月～1971 年 12 月の 21 ケ年については、流域内の降雨観測資料をもとに、現在その有効性が広く世界に認められ、数多く利用されている流出解析の一手法であるタンクモデル法を用いて求めることとする。

##### (1) San Francisco 測水所による基準測水所流量の補完

San Francisco 測水所流量から Santaro 及び Ashaniga 測水所への換算は、月別相関解析によって求めた回帰式によって求める。なお、San Francisco 測水所の欠測部分については次項で述べるタンクモデル法により補完することとした。

$$Q_{ST} = 1.53 Q_{SF} + 1003.11$$

$$Q_{AS} = 1.29 Q_{SF} + 504.16$$

ここに  $Q_{ST}$  : Santaro 測水所換算流量

$Q_{AS}$  : Ashaniga 測水所換算流量

$Q_{SF}$  : San Francisco 測水所実測流量

##### (2) タンクモデル法による基準測水所流量の補完

タンクモデル法は、雨量から流量を求める流出計算法で、日雨量、日流量とも存在する期間に、流域の流出機構をモデル化した流出孔と浸透孔を有するタンクの構造を Simulation により最適化し、日雨量より日流量を推定する手法である。

Fig 4-12 及び Fig 4-13 は、流域の流出機構をモデル化して表現したものである。この手法は原理的には極めて簡単であるが、降雨と流量との間に介在する、流出の遅れ（降雨の終わった後も流出量が徐々に低減しながら継続する）、損失雨量（流域にある程度以下の降雨があっても河川流量が増加しないような状態での降雨）、蒸発時の要素が複雑に組合されて、実際の河川の流量が組立てられている。

このため、本解析は実測流量と計算流量のハイドログラフを比較検討し、試行錯誤的に

定数項を変化させ、くり返し計算を行うことにより行われる。

なお、本計算に用いた流域の分割、代表雨量、蒸発散量等については、主として以下のとおりである。

(a) 流域の分割

本計画地点の流域は広大なため、Fig 4-6に示す Isohyetal Mapをもとに降雨特性を考慮し、Fig 4-12に示すように流域を4分割した。

分割された各流域の面積はTable 4-12のとおりである。

(b) 代表雨量観測所の選定

各分割された流域の代表雨量観測所としては、(i)観測期間が長いこと、(ii)各流域の平均降雨量に近い年平均雨量であること、を考慮してCuzco 観測所 (Aを代表)、Huyao-Huancayo 観測所 (Bを代表)、San Ramon 観測所 (CおよびDを代表)を、それぞれ選定した。

(c) 代表雨量観測所の雨量の欠測補填

Cuzco, Huyao-Huancayo および San Ramon の各観測所の観測期間は、1930年代より長期にわたっているが、途中かなりの欠測期間を含む。

このため、代表雨量観測所の欠測補填は相関係数の高い観測所間の相関式に従い、各日雨量データを相関の高い順に利用した。

各観測所間の月雨量の相関をTable 4-13に、また、欠測補填に用いられた観測所の分布と相関係数をFig 4-15に、相関度をFig 4-16(1)~(10)に示す。

(d) 流域代表雨量の算定

Santaro および Ashanunga 基準点上流域内の代表雨量は流域内の降雨特性を考慮し、次式により各代表雨量観測所の補正を行ったのち各流域面積の加重平均により求める。

$$R = \frac{\sum_1^n R_n \cdot A_n \cdot \alpha_n}{A}$$

ここに、R : Santaro 又は Ashanunga 基準点の流域内の代表雨量

A : Santaro 又は Ashanunga 基準点の流域面積 (の合計)

$R_n$  : 各分割流域内の代表観測所の降雨量

$A_n$  : 各分割流域の流域面積

$\alpha_n$  : 各分割流域内の平均雨量と代表観測所の降雨量との補正係数で次式による。

$$\alpha_n = \frac{\sum_1^m a_m (\gamma_m + \gamma_{m+1}) / 2}{A_n} / R_n$$

ここに、

$a_m$  : Isohyetal Map の相隣る等雨量線により囲まれる部分の面積

$r_m$  : 等雨量線の値

(e) 雨量及び蒸発散量の取扱い

流域に降る雨は、前項で求めた流域代表雨量を入力として、タンクモデルの上段に投入する。

蒸発散量については、流域代表雨量を求めたのと同様に、3流域から Cuzco (Kayra) (流域Aを代表)、Pampas (流域Bを代表)、Satipo (流域CおよびDを代表)を代表蒸発量観測所として選び、その流域比より流域平均蒸発量 Table 4-14 を求め、日流量の実測期間より求めた平均年間蒸発散量 Table 4-15 が Santaro, Ashaniga においてそれぞれ 492 mm, 493 mm になるように係数をそれぞれ 0.522 (=492/943), 0.480 (=493/1,028) を乗じて用いることとする。

タンクモデル法の解析に用いる月別日平均蒸発散量を Table 4-16 に示す。

(f) モデル決定のためのシミュレーション

1) Santaro

タンクモデルにより、年単位で実測流量のある期間(1977~1982年)を通してタンクモデルの各定数決定のためのシミュレーションを行った。数10回の試行の後最適モデルとして採用した Santaro 流域のタンクモデルを Fig. 4-17 に示す。また、実測流量との最終的な検証結果は Appendix に示す。

実測流量と計算流量は、全体的によく合っているが、特に乾期においてよく一致している。また、平均年流出率を比較すると、Table 4-17 に示すように実測流量、計算流量はそれぞれ 53.7, 52.3 % と、平均年間総流出量が一致していることがわかる。

2) Ashaniga

Ashaniga 流域は、Perene 川流域を除いて、Santaro 流域に一致 (Santaro 流域の 85%) しているので、Santaro 流域のタンクモデルを基本に定数の試算を行った。

1977~1981年の流量をもとに、10数回の試行のうち Fig. 4-18 に示すモデルを最良モデルとして採用した。なお、実測流量との最終的な検証結果を、Appendix に示す。

実測流量と計算流量は、全体的によく合っているが、特に乾期においてよく一致している。また、平均年流出率を比較すると、Table 4-18 に示すように実測流量、計算流量はそれぞれ 49.2, 49.6 % と、平均年間総流出量が一致していることがわかる。

#### 4.6.5 ダム地点への流入量

ダムサイトへの流入量は、4.6.4.で求められた、基準測水所の流量を基に流域面積を考慮して以下のように算出した。

すなわち、Ashaniga 測水所より上流に位置するダムサイトの流入量は Ashaniga 測水所から流域面積比により求めた。

Tambo Puerto Prado については、Santaro 測水所流量をそのままダム地点流入量とした。各ダム地点の流入量を Table 4-19~22 に示す。

#### 4.6.6 貯水池水面からの蒸発散の推定と流入量の補正

ダム築造により、貯水池が存在するようになった場合、その貯水池でおおわれる地域は、現状の樹木等による蒸発散から、貯水池水面からのまったくの蒸発に変わる。そこでこの変化に伴う利用可能水量の変化を検討する必要がある。

現状の樹木からの蒸発散の推定は、Thornthwaite 法、Blaney and Criddle 法の 2 法により行われた。基本式を以下に示す。

(Thornthwaite Method)

$$Et = 16 \left( \frac{10 t_i}{TE} \right)^a$$

ここに、 $a = (6.75 \times 10^{-7} J^3) - (7.71 \times 10^{-5} J^2) + (1.79 \times 10^{-2} J) + 0.49$

$$TE = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{t_i}{5} \right)^{1.514}$$

$t_i$  = mean monthly temperature in °C

$Et$  = Evapotranspiration for a month (mm/month)

(Blaney-Criddle Method)

$$Et = k \cdot p [45.72 t_i + 812.8]$$

ここに、 $k$  = annual, seasonal or monthly consumptive-use coefficient

corresponding to kind of flora

$p$  = percent of day time hours of the year, divided by 100

$t$  = mean monthly temperature in °C

なお、上述の計算に必要な月平均気温は、Table 4-7より Satipo での値を、また、Blaney-Criddle Method での  $p$  の値は南緯 11° の値、 $k$  は、植生による係数として、0.80 を与える。

計算結果は Table 4-23 に示すとおり、年間蒸発散量は約 1,150 ~ 1,320 mm と推定される。一方貯水池からの蒸発は、ダム地点の近傍に位置する Pto. Ocopa 観測所の実測記録 (Class A pan による) をもとに推定する。Pto. Ocopa の実測記録による年間蒸発量は約 1,160 mm で、上述の蒸発散量とほぼ同一である。

一般的に、湖面蒸発は - Pan による実測値の 70 % 程度であるので、蒸発散量が蒸発量を上廻ることとなる。

しかしながら、蒸発散量推定は定量的な確証を与えるものでないため、貯水池への流入量の補正は安全側にみて考慮しないこととする。

#### 4.7 堆 砂

浮遊土砂量の測定は、Santaro および Ashaniga 測水所において、月数回 1980～83 年にわたって行われている。この流量 [  $\text{m}^3/\text{s}$  ] と 1  $\ell$  あたりの浮遊土砂 [  $\text{gr}/\ell$  ] との関係は、Fig 4-19 (1)～(2)に示すように、流量の増大に伴って単位浮遊土砂量が増えており、洪水になると流出土砂量が増大することがうかがえる。

この図より最小 2 乗法により回帰式を求め、各ダム地点の年平均流量に対応する浮遊土砂量を算定すると、0.7～0.6  $\text{gr}/\ell$  程度である。

一方、堆砂の Trap efficiency は、流入量と、貯水池の比により異なるが、これを Brune's Trap Efficiency Curve (Fig. 4.20) より求めると 90～98 % 程度となる。

実際の堆砂では掃流砂が考慮されなければならない。諸レポートを参考に掃流砂は体積比で浮遊土砂量の 20 % を考慮することにする。隣接の Marañon 川流域の計画中のダムの比堆砂量の推定においても、同様に浮遊土砂量の 20 % を掃流砂としている。

また、浮遊砂が貯水池に堆砂したあとの単位堆積重量としては、 $w = 1.30 \text{ g}/\text{cm}^3$  を用いた。

各ダム地点の比堆砂量の計算結果を、Table 4-24 に示す。

従って、本計画検討に用いる比堆砂量は、Tambo Puerto Prado 地点を  $380 \text{ m}^3/\text{year}/\text{km}^2$ 、それ以外については  $300 \text{ m}^3/\text{year}/\text{km}^2$  を採用することとする。

#### 4.8 洪水流出解析

##### 4.8.1 確率解析

###### (1) 日平均流量と日最大流量の相関解析

Santaro および Ashaniga の測水所では、1日に3回(7時、12時、18時)の水位観測が行われている。期間は、実測日流量の観測期間に対応しているが、今回 1980 年以降の 1日3回の観測記録は得られなかった。また、Santaro 測水所においては、4.6.2. 流量資料の信頼性の項で指摘したように、1978 年以前のデータは、信頼性にかけるため用いないこととした。

洪水の確率解析にあたっては、その確率年を 100 年以上と長期間にわたってとる場合、その解析のための母集団は、大きいのが望ましい。Santaro および Ashaniga 測水所では、1日3回の観測記録より日最大値として使用できるのは、Santaro で 1979 年の 1 年間、

また Aahaninga では 1976 年～1979 年の 4 年間であり、確率解析を行うためには十分とはいえない。

したがって、上記の 1 日 3 回の観測期間の日平均と日最大の相関解析により、日流量解析によって得られた 1931 年～1976 年の推定日流量、また 1980 年以降の実測の日平均流量より、日最大流量を推定し、長期間にわたるデータをもとに確率解析を行う必要がある。

Santaro および Ashaniga の日最大流量と日平均流量の相関を求めると、Fig 4-21～4-22 に示すように、Santaro においては約 8%，また Ashaniga においては約 5% 日最大が日平均を上回る傾向をつかむことができる。

## (2) 確率解析の手法

確率解析の手法としては、一般的に広く用いられている対数正規分布の Thomas 法および最大、最小値の解析に用いられる極値分布の Gumbel 法および Gumbel-Chow 法の 3 手法を用い検討を行う。

これらの分布関数の基本式は次に示す通りである。

### (a) 正規分布 (Thomas 法)

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{\infty} e^{-x^2/2} dx, \quad u = g(P)$$

ただし、

$$y = -\ln \{ 4P(1-P) \}$$

$$u = \left\{ y \left( 2.0611786 - \frac{5.7262204}{y + 11.640595} \right) \right\}^{0.5}$$

### (b) 極値分布 (Gumbel 法)

$$P = 1 - \exp(-e^{-y})$$

ただし、

$$y = a(x - x_0) \text{ or } x = x_0 + \frac{1}{a} y \quad a, x_0 > 0, -\infty < x < \infty$$

Gumbel-Chow 法では

$$y = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \{ r + \ln(1-P) \} \quad r = 0.57721$$

(オイラーの定数)

正規分布は一般に月平均流量から年最大、最小値の水文量の分布に経験的に適合することが知られており、また極値分布は、本来任意の分布形を持つ母集団から得られた資料群の最大値または最小値の分布形として理論的に導かれるもので、日、時間等の比較的短時間単位の水文要素の各年最大値、最小値試料の解析に多く適用される。

解析に用いる試料としては、前項(1)で行われた相関解析により得られる 1931～1983

年（実測を含む）の年最大流量を基本とする。しかし、年最大では、実測年最大流量（実測日平均流量からの推定値を含む）が1976～1983年の8年間あり、100年以上の確率解析には、母集団としては十分ではないが、確率分布の形状を検討の上比較検討に用いるものとする。

なお、一般的にダム計画等にこれらの手法が応用される時、プロットがFig. 4-23のようになる場合計画上の安全性を考慮して上位のプロット位置を重視して線を引くドッグレッグ（Dog leg）法が用いられるので適宜使用する。

### (3) 年最大流量の確率解析

(1)で得られた日平均流量と日最大流量の相関により年最大流量を求めると Santaro, Ashaniga において、Table 4-25 (1), (2) のようになる。これらの年最大流量をもとに Tomas, Gumbel および Gumbel-Chow 法により、1931～1983年と1976～1983年にわたって解析した結果を、Table 4-2 (1), (2) および Fig. 4-24 (1)～(6), Fig. 4-25 (1)～(6) に示す。

1931～1983年の年最大流量解析では、Ashaniga において上位8点の分布傾向が他と違った傾向を示しているためドッグレッグさせている。また、1976～1983年の実測流量データに基づく年最大流量解析では、分布に際立った特異点も見られず分布状態は自然である。

設計洪水量となる10,000年確率流量をそれぞれの基準点で比較してみると、各分布関数の違いにより2,000～7,000 m<sup>3</sup>/s の違いがみられる。また、母集団の大きさの違いにより Santaro で4,000～10,000 m<sup>3</sup>/s, Ashaniga で約4,000 m<sup>3</sup>/s, 1976～1983年の実測流量データに基づく確率流量が、1931～1983年の推定および実測流量データに基づく確率流量を上回っている。この母集団の大きさの違いによる確率流量の差は、確かに母集団が大きくなれば、その最大値と最小値の幅は大きくなっているが、パラッキの割合（図中での最小2乗法により引いた直線の傾き）は、試料数の少ない方が大きいので、そのためであられたものと思われる。

#### 4.6.2 包絡線による推定

隣接流域の Marañon 川流域その他の既設ダムの設計洪水量（Table 4-27）をもとに作成した比流量包絡線 Fig. 4-26 により推定する。これらのダムは、すべて10,000年確率流量である。

この包絡線をもとに、Tambo Puerto Prado (C.A.=126,100 km<sup>2</sup>) および Ene Paquitzapango (C.A.=104,500 km<sup>2</sup>) の計画洪水量を推定すると、それぞれ、32,000 m<sup>3</sup>/s および 28,000 m<sup>3</sup>/s となる。

#### 4.8.3 合理式による推定

合理式はピーク流量算定のための簡便式で次式により与えられる。

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r \cdot A$$

ここに、

Q : ピーク流量 ( m<sup>3</sup>/sec )

f : 流出係数

r : 洪水到達時間中の平均雨量強度 ( mm/hr )

A : 流域面積 ( km<sup>2</sup> )

合理式は、貯留減少を考慮しないため一般に流域面積が大きくなると貯留効果のため合理式の線型の仮定が成立しにくくなるが、設計洪水量のオーダー的チェックとして、他の手法による設計洪水量の値の検証に用いる。

流出係数は、流域が山地河川に属するので  $f = 0.8$  を適用する。洪水到達時間は、次式によって計算する。

$$t = L/w$$

$$w = 72 (H/L) \quad (\text{km/hr})$$

ここに、

t : 洪水到達時間 ( hr )

w : 洪水到達速度 ( km/hr )

L : 常時河谷をなす最上流点より推定しようとする点の間の水平距離 ( km )

H : 同上の落差 ( km )

上式にしたがい Santaro, Ashaniga の洪水到達時間を求めると約 7 日となる。

( Table. 4-25, 4-28 )

降雨強度  $r$  は、洪水到達時間中 ( 7 日間 ) の平均降雨強度であるので、Santaro, Ashaniga 流域において、年最大 7 日間降雨の確率解析を行った。Table 4-29 に、各確率年ごとの 7 日間降雨および、合理式による確率洪水量を示す。10,000 年確率の 7 日間降雨に対応する洪水流量は、Santaro で 33,000 m<sup>3</sup>/s, Ashaniga で 30,000 m<sup>3</sup>/s である。

#### 4.8.4 設計洪水量

前述の 3 手法により求めた値を Table 4-30 に示す。この結果 1931 ~ 1983 年のデータによる確率解析結果が最も小さい。1976 ~ 1983 年の実測流量データによる解析は母集団が小さすぎて信頼性に欠けるし、合理式は簡便式であるためそのまま適用しがたい。

従って設計洪水量としては、以上の結果を勘案の上、少なくとも包絡線による推定値を満足することを原則とする。

結局 Tambo Puerto Prado および Ene Paquitzapango におけるピーク設計洪水量は次の値とする。

Tambo Puerto Prado	37,200 m <sup>3</sup> /s
Ene Paquitzapango	28,400 m <sup>3</sup> /s

なお、Ene Cutivireni 地点の流域面積は Ene Paquitzapango 地点の 94 % と近似していることから設計洪水量はこれと同じ値を用いることとし、Ene Samabeni 地点では流域比換算して、25,900 m<sup>3</sup>/s とする。













Table 4-4 Observatory Station and Existing Monthly Max, Min, Mean Temperature Data

Station	Coordinates		Elevation																					
	Lat.	Long.		'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84
Kayra	13°25'	71°52'	3,219																					
Satipo	11°15'	74°42'	656																					
Huanuco	9°56'	76°14'	1,894																					
Pampas	12°23'	74°52'	3,260																					
La Mejorada	12°32'	74°56'	2,820																					

Table 4-5 Observatory Station and Existing Monthly Relative Humidity Data

Station	Coordinates		Elevation																					
	Lat.	Long.		'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84
Kayra	13°25'	71°52'	3,219																					
Satipo	11°15'	74°42'	656																					
Huanuco	9°56'	76°52'	1,894																					
Pampas	12°23'	74°52'	3,260																					
La Mejorada	12°32'	74°56'	2,820																					

Table 4-6 Observatory Station and Existing Monthly Evaporation Data

Station	Coordinates		Elevation (m)	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	
	Lat.	Long.																							
Kayra	13°25'	71°52'	3,219																						
Satipo	11°51'	74°42'	656																						
Huanuco	9°56'	76°14'	1,894																						
Pampas	12°23'	74°52'	3,260																						
La Mejorada	12°32'	74°56'	2,820																						
Pto. Ocopa	11°10'	74°20'	320																						





Table 4-7 Average Monthly Max, Min, Mean Temperature

Station		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Period
Kayra	Max.	19.8	19.8	20.1	20.8	20.7	20.4	20.3	20.9	20.9	21.6	21.7	20.5	'30 - '49
	Min.	7.2	7.3	6.7	4.2	1.2	0.8	1.6	0.5	3.7	5.5	6.1	6.6	'64 - '67
	Mean	12.8	12.7	12.7	12.1	10.8	9.7	9.5	10.8	12.3	13.4	13.6	13.3	'69 - '70 '71 - '83
Satipo	Max.	33.2	32.9	33.2	34.2	33.8	32.9	33.0	33.8	34.3	34.2	34.4	33.5	'64 - '76
	Min.	16.3	16.1	15.8	15.6	14.5	14.0	13.1	13.6	14.6	15.2	15.6	15.6	
	Mean	25.0	24.8	25.0	25.0	24.8	24.0	23.4	24.2	24.8	25.3	25.6	25.2	
Huanuco	Max.	25.5	25.1	25.6	26.3	26.5	26.1	25.6	26.1	26.1	26.4	26.5	25.7	'64 - '77
	Min.	14.5	14.4	14.2	13.8	12.7	11.5	10.7	11.9	13.2	13.7	14.5	14.3	
	Mean	19.6	19.2	19.3	19.6	19.5	18.9	18.3	19.1	19.5	20.0	20.4	19.8	
Pampas	Max.	19.4	18.5	18.4	19.1	19.1	19.2	19.4	19.6	20.5	19.6	20.0	19.7	'66 - '71
	Min.	3.1	2.7	2.9	0.3	-2.2	-3.3	-3.4	-2.7	-0.2	0.7	1.7	2.1	'77 - '82
	Mean	12.1	11.9	11.8	11.8	11.1	10.5	10.4	10.7	11.1	11.7	12.0	12.0	
Mejorada	Max.	26.8	26.5	25.7	26.8	26.3	26.4	25.6	26.5	26.8	27.5	28.4	27.1	'66 - '71
	Min.	6.9	7.5	7.4	6.3	5.7	4.8	4.3	4.7	5.6	6.0	6.3	6.8	'77 - '82
	Mean	17.0	16.6	16.5	17.0	16.7	16.3	15.9	16.6	16.9	17.3	17.8	17.3	

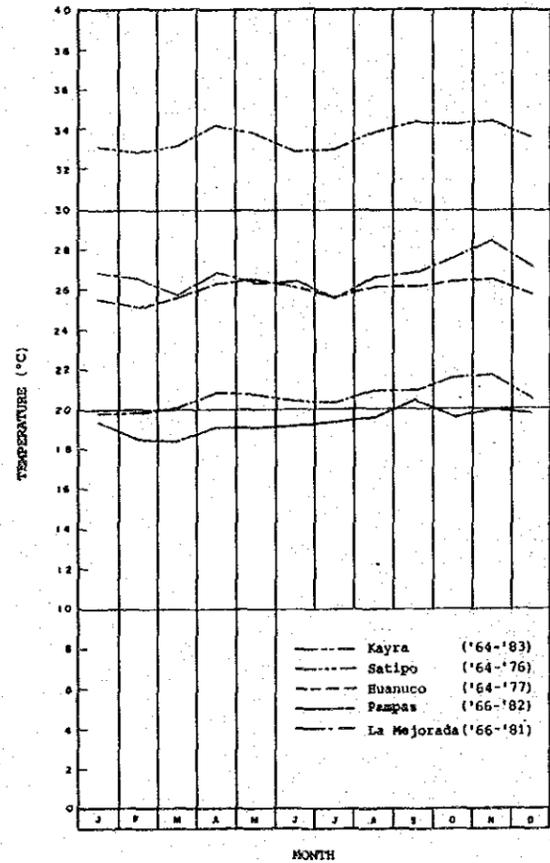


Fig. 4-3(1) Average of Monthly Max. Temperature

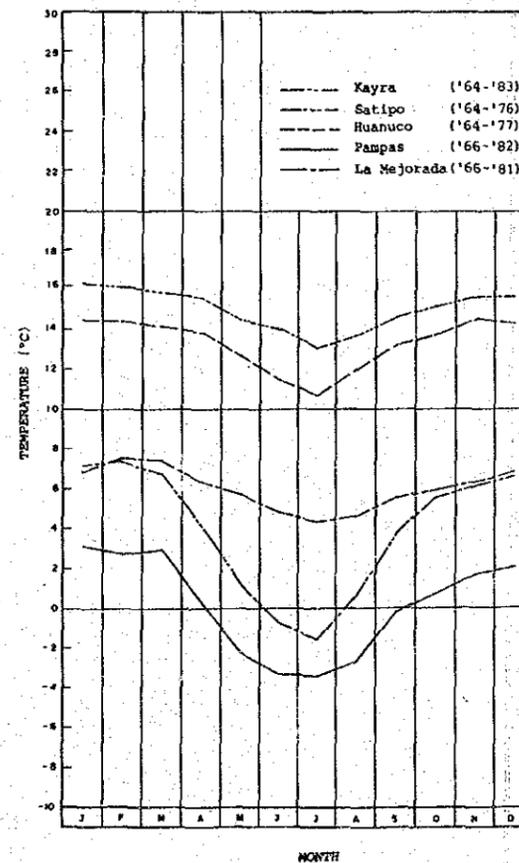


Fig. 4-3(2) Average of Monthly Min. Temperature

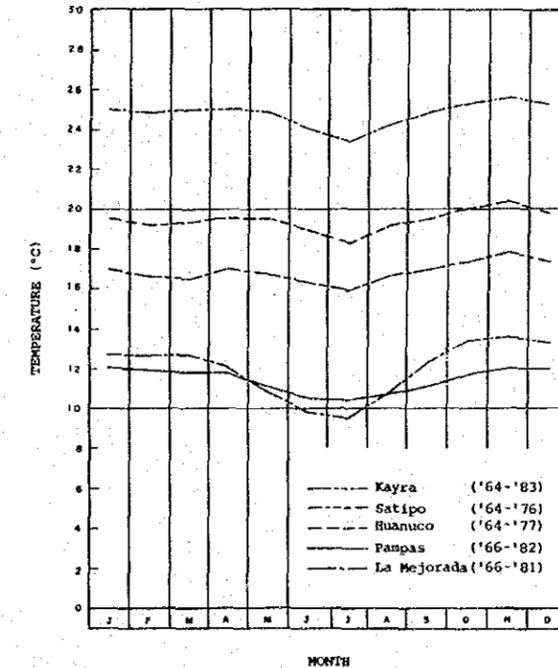


Fig. 4-3(3) Average of Monthly Mean Temperature



Table 4-8 Average of Monthly Relative Humidity

(1)

Observatory Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Period
Kayra	73.0	74.9	75.1	71.4	67.1	63.1	63.5	61.1	61.3	61.1	63.1	67.2	'64 - '70 '71 - '76
Satipo	78.8	79.7	78.4	78.2	78.0	78.8	77.5	75.5	75.4	77.1	75.9	77.5	'64 - '76
Huanuco	64.9	68.2	67.8	67.0	64.0	63.8	62.7	61.9	63.7	63.7	64.8	66.8	'64 - '77
Pampas	79.0	83.0	80.5	79.8	78.1	76.2	77.4	76.9	76.0	75.2	74.5	76.2	'69 - '70 '77 - '82
Mejorada	69.4	70.5	67.6	65.6	61.3	59.4	58.6	58.2	59.5	59.2	61.0	62.4	'66 - '70 '77 - '82

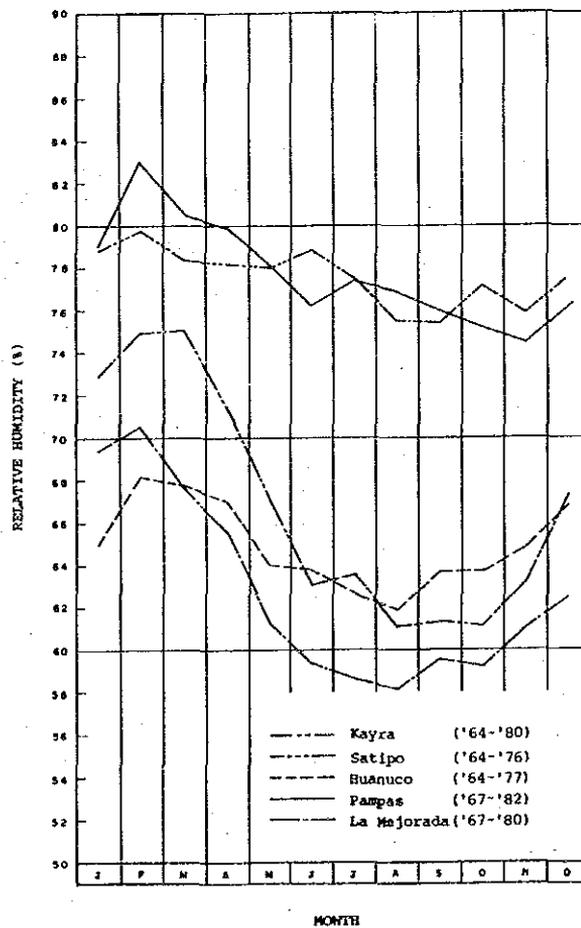


Fig. 4-4 Average of Monthly Relative Humidity

Table 4-9 Average of Monthly Total Evaporation

Observatory Station	(mm/month)												Total	Period
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
Kayra (Cusco)	61.4	54.5	61.2	68.7	79.9	88.3	95.9	98.0	79.4	95.0	84.3	72.0	939	'66 - '84
Satipo	36.6	32.3	34.3	41.4	40.9	38.1	41.1	40.1	43.5	27.2	41.7	36.5	454	'64 - '82
Ilanuco	97.7	82.4	78.7	99.3	117.8	118.0	130.3	138.6	133.1	129.5	114.3	109.1	1351	'65 - '82
Pampas	143.0	119.3	121.7	130.2	134.7	127.0	131.8	138.1	138.6	129.7	130.8	135.3	1580	'77 - '82
La Mejorada	135.2	105.8	115.9	124.5	136.6	125.5	125.1	137.2	137.7	146.3	133.8	143.4	1567	'77 - '82
Pto. Ocopa	80.6	75.8	86.7	96.8	102.8	95.3	83.7	15.0	105.8	123.8	100.8	99.4	1161	'76 - '84

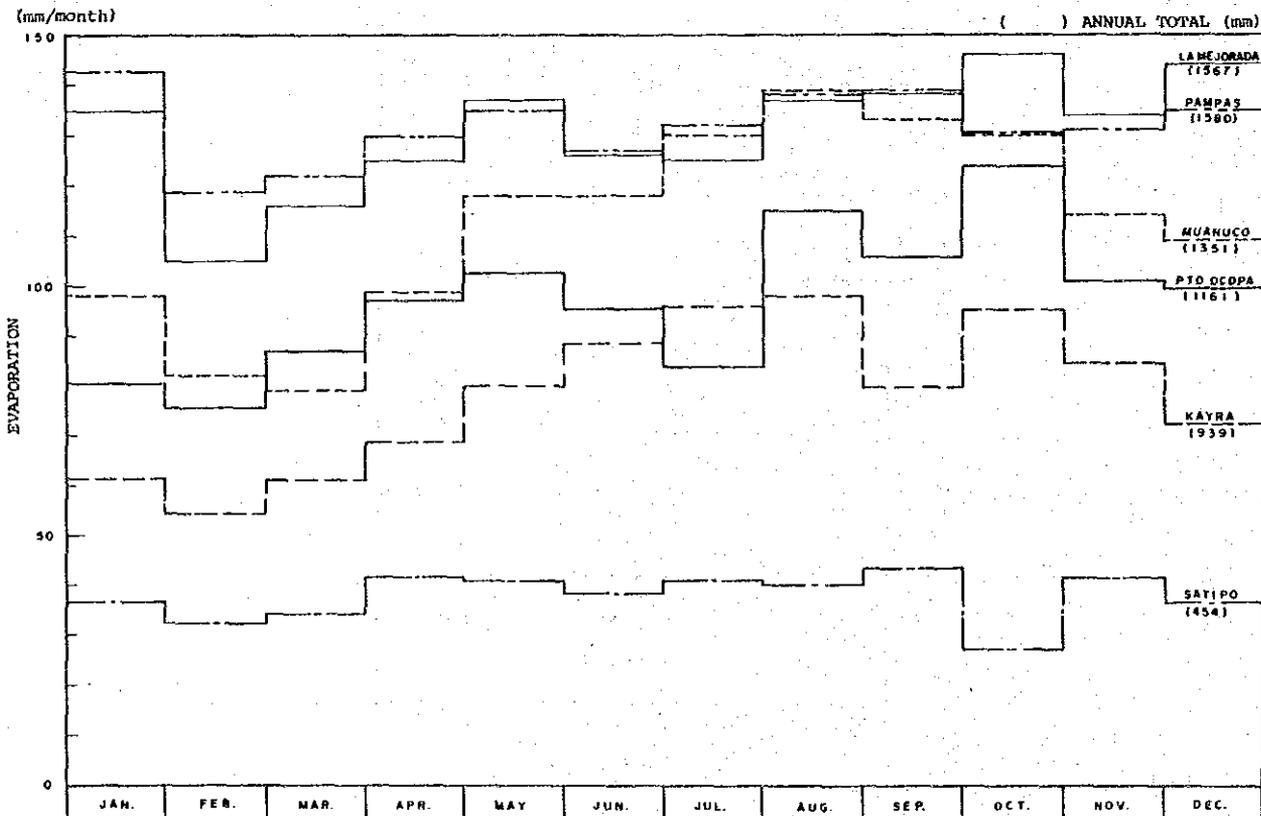


Fig. 4-5 Average of Monthly Total Evaporation



Table 4-10 Annual Rainfall Pattern (Average of Monthly Total Rainfall)

Observatory Station	(mm/month)												Total	Period
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
Cuzco	141.5	124.0	100.0	34.8	7.1	3.0	2.9	6.3	22.6	45.7	66.8	102.1	662	'44 - '84
Huayacahuacayo	123.8	117.6	114.7	55.4	22.4	7.7	6.9	16.1	44.6	66.6	70.7	93.1	734	'31 - '82
San Ramón	245.5	258.2	255.8	201.5	136.3	89.7	76.9	87.6	133.1	184.1	148.5	226.5	1990	'41 - '79
Pto. Ocopa	150.7	138.1	120.6	55.0	42.0	31.8	24.8	33.8	49.6	79.3	100.5	147.4	977	'65 - '84
Satipo	244.3	220.1	205.7	118.9	114.0	62.9	52.0	75.1	120.7	167.7	169.8	220.0	1887	'64 - '80

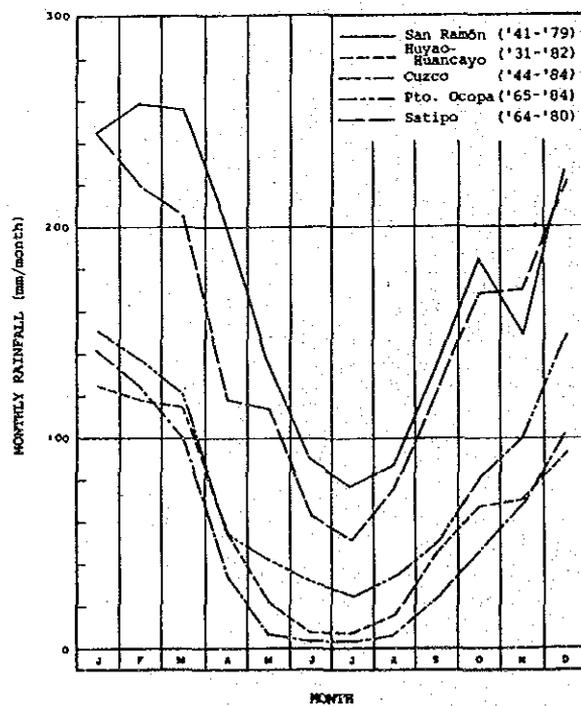


Fig. 4-7 Annual Rainfall Pattern (Average of Monthly Total Rainfall)

Table 4-11 Comparison of Annual Total Discharge  
Between Santaro and Three G.S. Total

( x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/Year)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982
A Santaro	52,280	50,184	60,727	58,238	83,590	87,301
B Three Stations' Total	71,816	70,629	64,923	59,457	86,373	-
A/B x 100 (%)	73	71	94	98	97	-

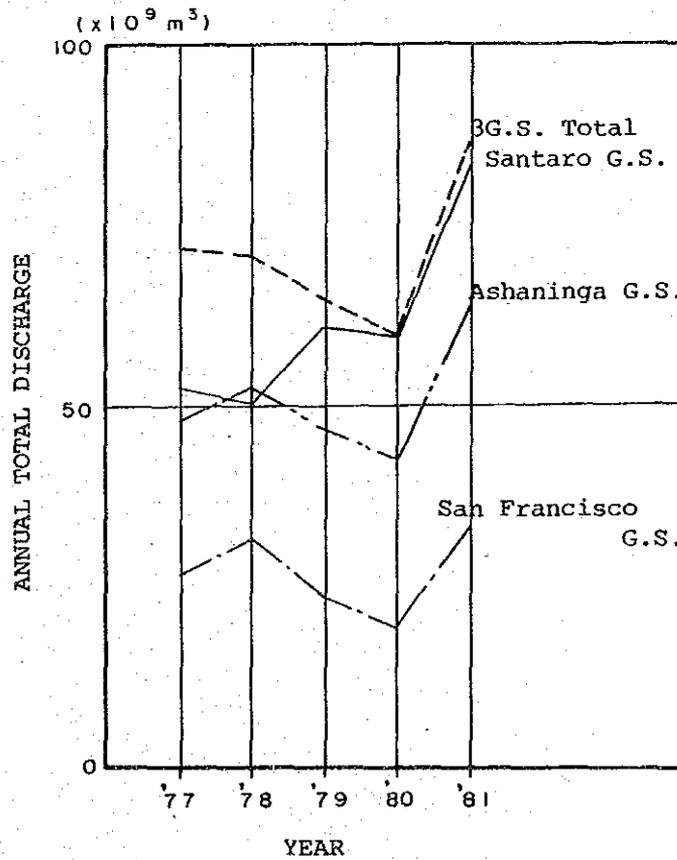


Fig. 4-8 Annual Total Discharge





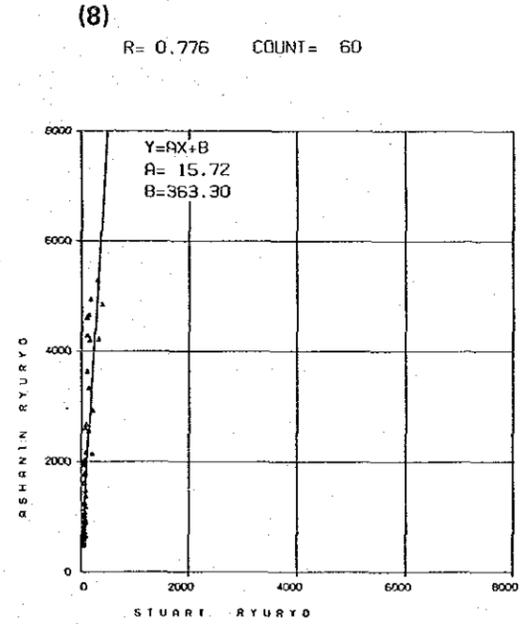
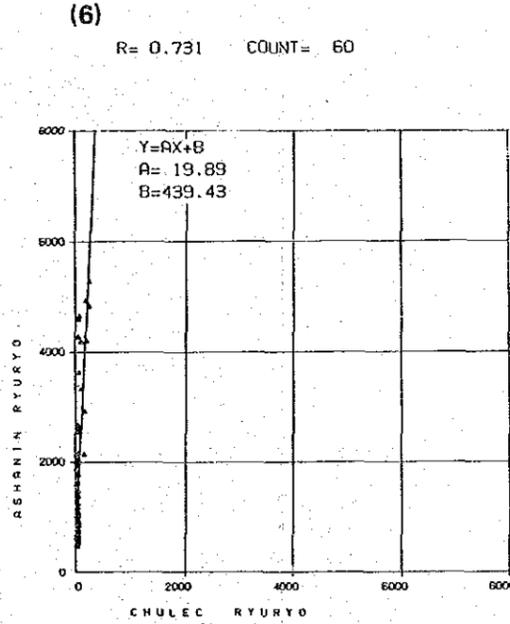
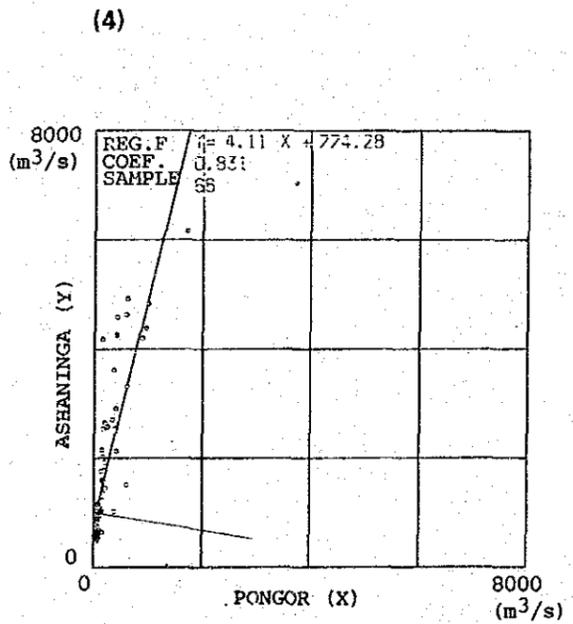
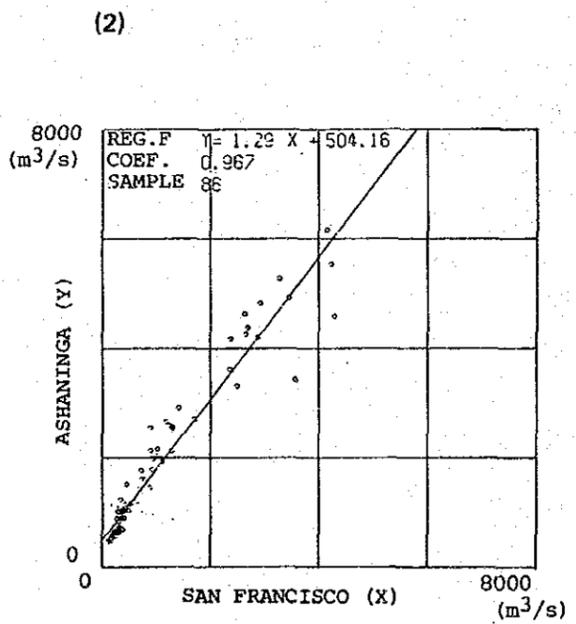
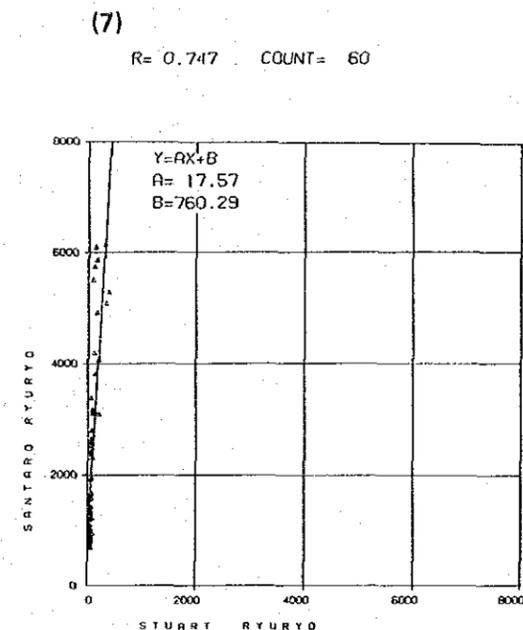
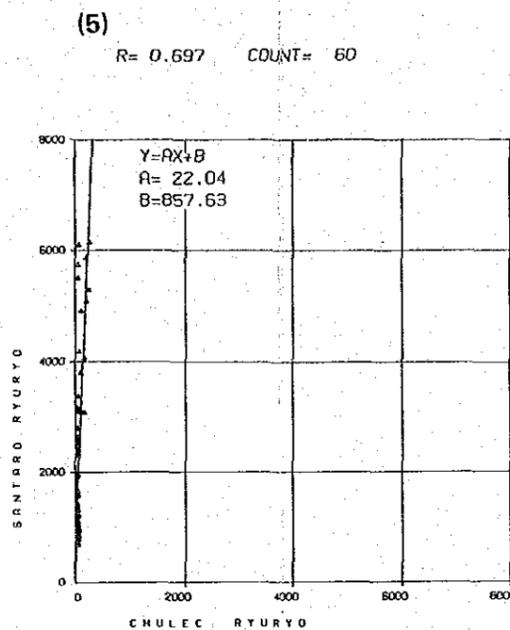
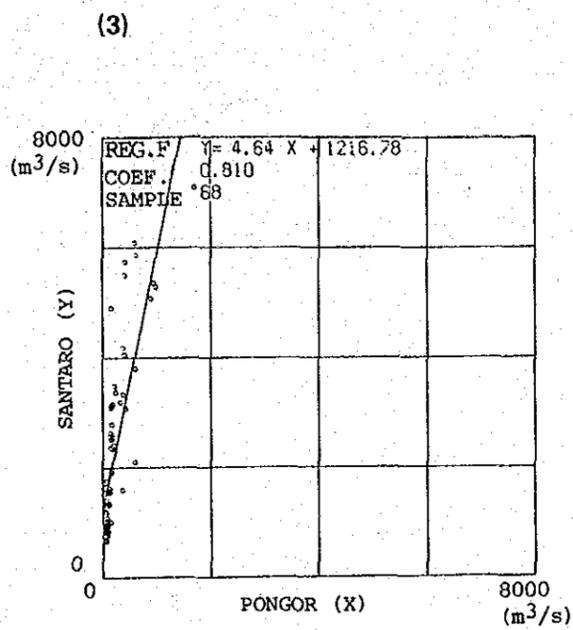
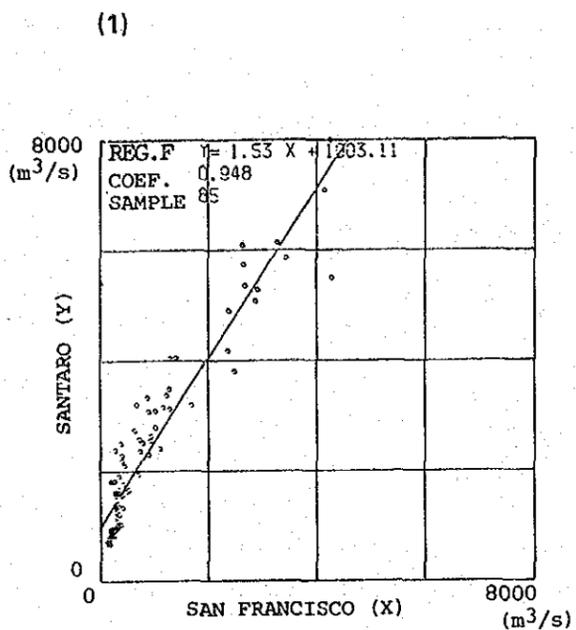


Fig. 4-9(1)~(8) Monthly Run-off Correlation



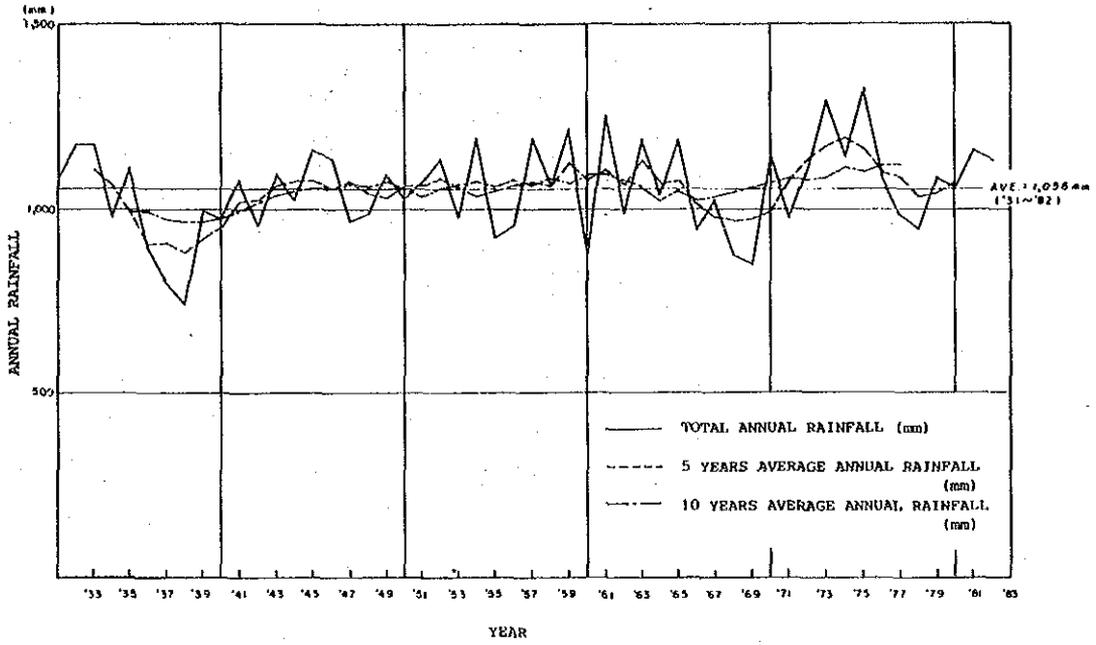


Fig. 4-10 Moving Average Analysis

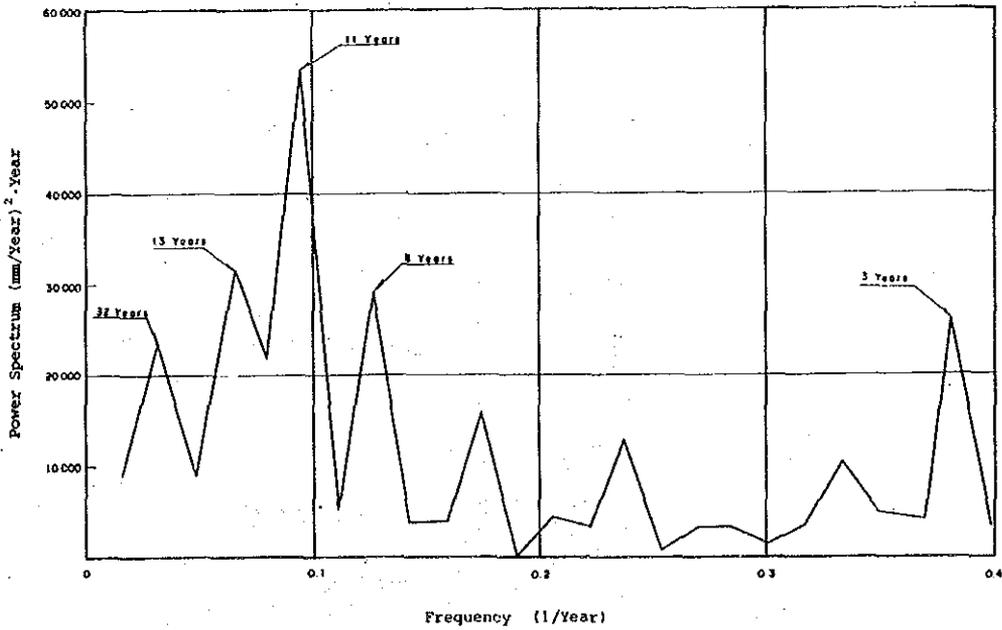


Fig. 4-11 Power Spectrum Analysis (Cycle of Annual Rainfall)

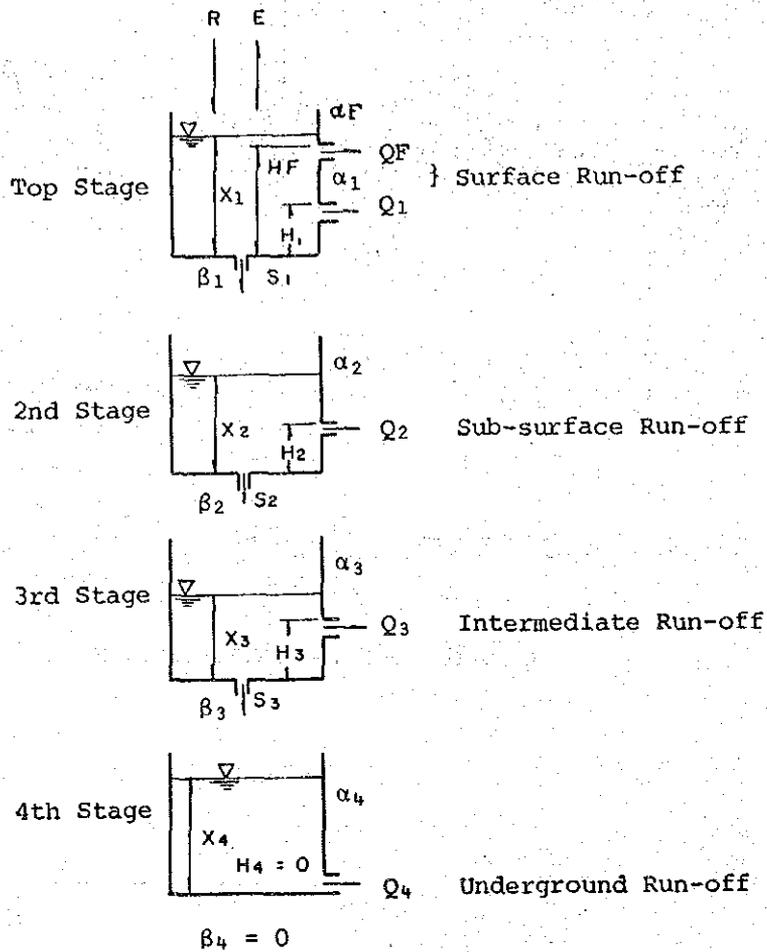


Fig. 4-12 4 Stage Tank Model

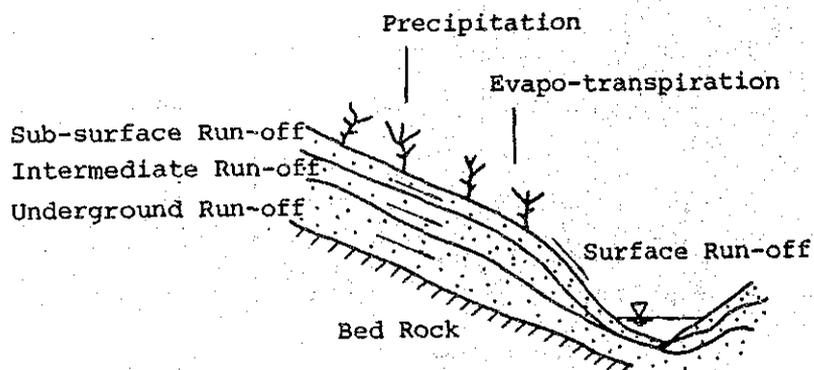


Fig. 4-13 Run-off Model in Basin

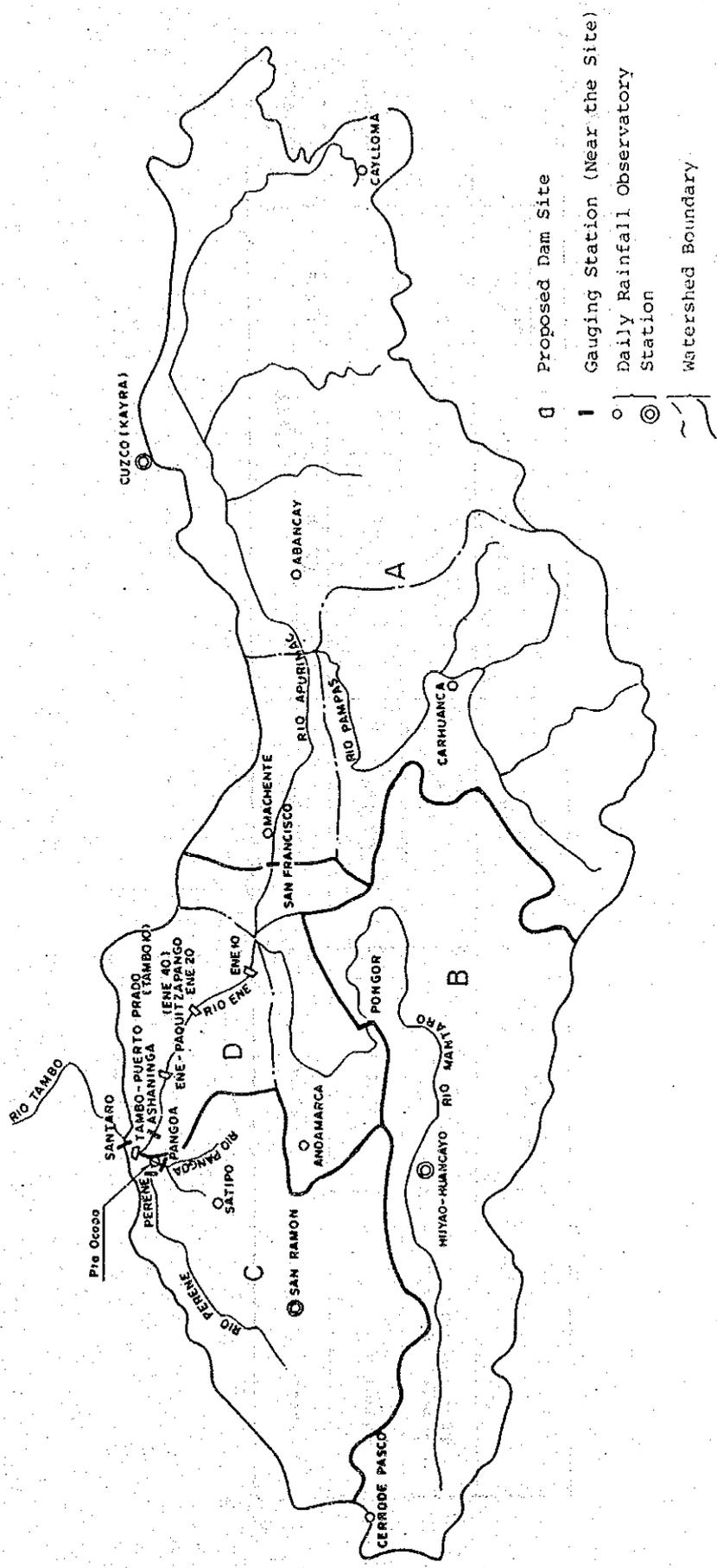


Fig. 4-14 Division of the Santaro Basin

Table 4-12 Division of the Basin

(Km<sup>2</sup>)

	A	B	C	D	Total
	San Francisco Upstream	Pongor Upstream	Perene, Pangoa Upstream	Rest of A,B,C	
Representative Rainfall Station	Cuzco	Huayc-Huancayo	San Ramón		
Ashaninka	63,000	27,790		16,990	107,780
Santaro	63,000	27,790	18,195	17,437	126,422
			36,632		

Table 4-13 Monthly Rainfall Correlation

$$Y = A X + B$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AND	CAY	CAR	HUA	ABA	CUZ	MAC	SAN	CER	PTO	SAT
COR. COEF.	.795	.789	.669	.652	.650	.649	.558	.517	.516	.455
REG. (A)	.558	.602	.694	.687	.575	.259	.278	.382	.462	.242
REG. (B)	5.30	.94	-3.48	7.47	8.86	-8.21	-7.95	6.83	6.88	3.67
SAMPLE	165	161	169	152	168	148	158	102	133	157
PTO	CUZ	SAT	ABA	CAY	CER	HUA	MAC	CAR	SAN	AND
COR. COEF.	.732	.707	.699	.698	.696	.632	.601	.590	.554	.516
REG. (A)	.800	.427	.831	.530	.430	.790	.246	.497	.313	.576
REG. (B)	36.05	11.60	33.11	39.58	26.35	32.40	24.47	40.65	20.94	50.23
SAMPLE	183	155	148	136	105	174	121	134	138	133
HUA	CAY	CAR	ABA	CUZ	MAC	SAN	AND	PTO	CER	SAT
COR. COEF.	.813	.768	.749	.720	.710	.687	.669	.632	.630	.612
REG. (A)	.549	.577	.764	.592	.263	.340	.645	.506	.344	.319
REG. (B)	28.68	26.99	25.64	28.09	13.70	3.65	37.80	20.31	25.89	15.77
SAMPLE	188	174	178	223	162	189	169	174	143	186
CER	PTO	CAY	HUA	SAT	CUZ	SAN	CAR	ABA	MAC	AND
COR. COEF.	.696	.635	.630	.627	.627	.573	.568	.521	.518	.517
REG. (A)	1.127	.634	1.155	.512	.969	.444	.594	.925	.284	.698
REG. (B)	37.68	55.98	36.21	29.34	56.34	20.78	58.13	65.42	42.58	69.96
SAMPLE	105	116	143	118	152	118	105	110	104	102
SAT	PTO	CUZ	CER	ABA	HUA	MAC	SAN	CAY	CAR	AND
COR. COEF.	.707	.665	.627	.618	.612	.557	.556	.535	.501	.455
REG. (A)	1.170	1.094	.770	1.233	1.174	.401	.535	.676	.728	.857
REG. (B)	60.08	84.32	66.59	90.79	74.24	70.08	52.35	102.57	98.65	115.52
SAMPLE	155	190	118	177	186	155	169	167	164	157
SAN	HUA	CUZ	CAR	CAY	MAC	CER	AND	SAT	PTO	ABA
COR. COEF.	.687	.651	.632	.630	.612	.573	.558	.556	.554	.549
REG. (A)	1.392	1.068	.952	.865	.485	.739	1.120	.577	.977	1.123
REG. (B)	84.67	107.39	110.27	118.35	83.70	95.59	127.94	87.99	97.81	117.81
SAMPLE	189	186	161	175	151	118	158	169	138	160
CAR	CAY	AND	HUA	ABA	MAC	CUZ	SAN	PTO	CER	SAT
COR. COEF.	.833	.789	.768	.743	.739	.717	.632	.590	.568	.501
REG. (A)	.759	1.036	1.023	.970	.362	.827	.419	.700	.543	.344
REG. (B)	16.76	23.59	-1.14	16.14	-3.71	18.29	-7.88	13.87	13.18	13.10
SAMPLE	172	161	174	158	161	172	161	134	105	164
MAC	CAR	CAY	ABA	HUA	AND	CUZ	SAN	PTO	SAT	CER
COR. COEF.	.739	.732	.720	.710	.649	.641	.612	.601	.557	.518
REG. (A)	1.506	1.351	1.978	1.914	1.629	1.487	.773	1.469	.772	.946
REG. (B)	90.57	103.64	95.52	66.76	121.22	104.91	47.59	86.79	72.29	94.97
SAMPLE	161	161	151	162	148	160	151	121	155	104
ABA	CAY	CUZ	HUA	CAR	MAC	PTO	AND	SAT	SAN	CER
COR. COEF.	.848	.760	.749	.743	.720	.699	.652	.618	.549	.521
REG. (A)	.563	.651	.735	.568	.262	.588	.619	.309	.269	.293
REG. (B)	12.88	12.34	2.46	12.64	-2.77	5.11	23.68	.76	.69	12.00
SAMPLE	162	181	178	158	151	148	152	177	160	110
CAY	ABA	CAR	CUZ	HUA	AND	MAC	PTO	CER	SAN	SAT
COR. COEF.	.848	.833	.825	.813	.795	.732	.698	.635	.630	.535
REG. (A)	1.278	.915	1.041	1.203	1.133	.397	.919	.636	.459	.424
REG. (B)	1.31	4.21	6.09	-12.58	17.42	-12.08	-2.94	.71	-16.65	.99
SAMPLE	162	172	186	188	165	161	136	116	175	167
CUZ	CAY	ABA	PTO	HUA	CAR	SAT	SAN	AND	MAC	CER
COR. COEF.	.825	.760	.732	.720	.717	.665	.651	.650	.641	.627
REG. (A)	.653	.888	.670	.877	.621	.404	.397	.734	.276	.406
REG. (B)	14.09	11.88	1.21	3.58	15.81	-3.18	-9.97	26.12	3.13	13.87
SAMPLE	186	181	183	223	172	190	186	168	160	152

AND: Andamarca, PTO: Pto. Ocopa, HUA: Huyao-Huancayo, CER: Cerro de Pasco, SAT: Satipo, SAN: San Ramón, CAR: Carhuanca, MAC: Machente, ABA: Abancay, CAY: Caylloma, CUZ: Cuzco





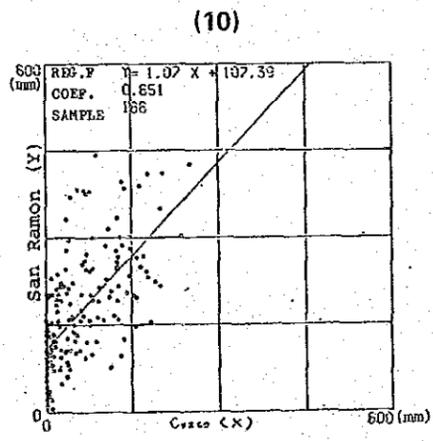
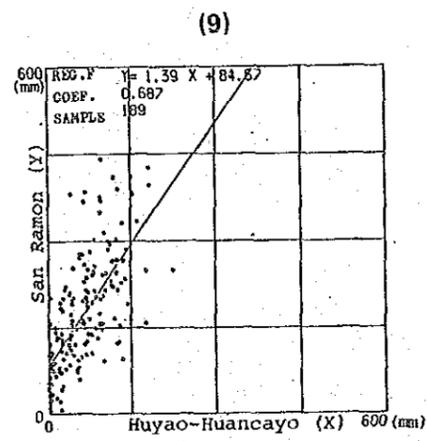
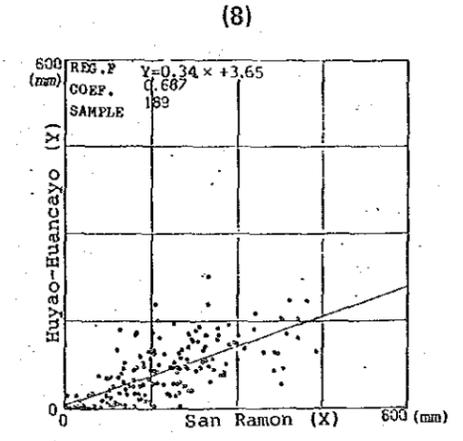
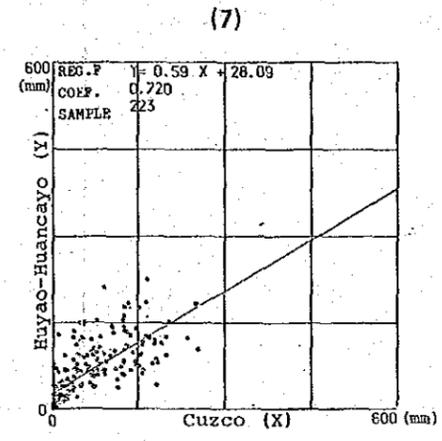
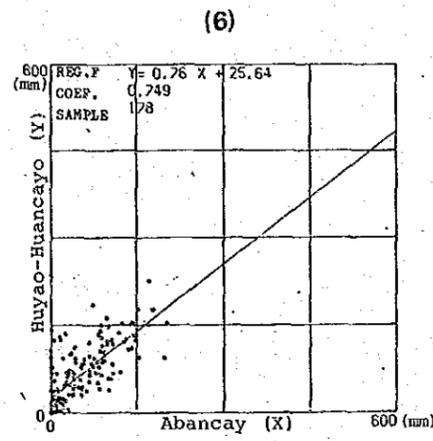
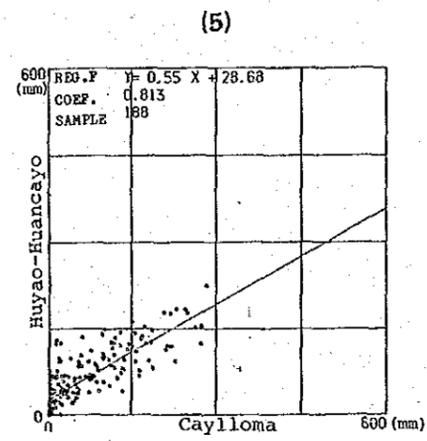
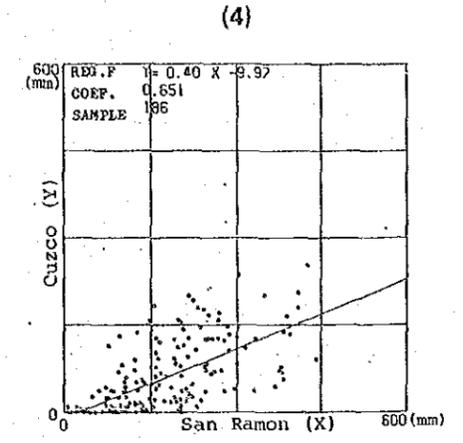
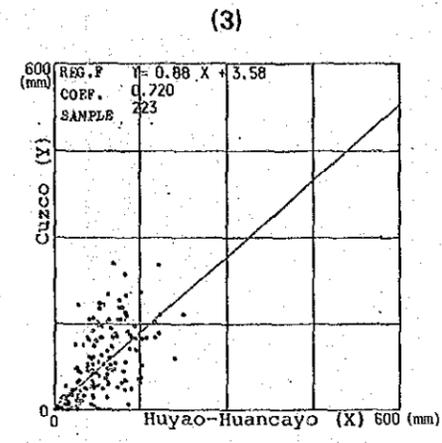
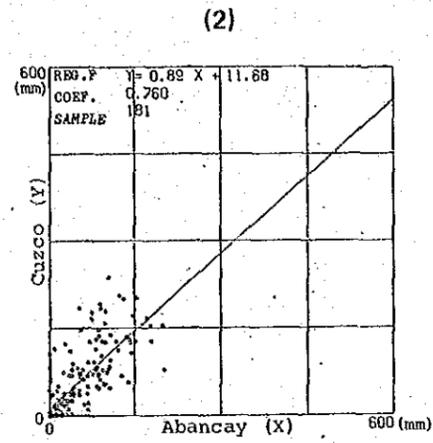
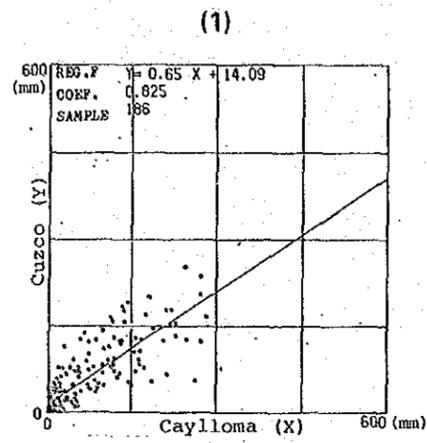


Fig. 4-16(1)~(10) Monthly Rainfall Correlation



Table 4-14 Representative Evaporation in Basin

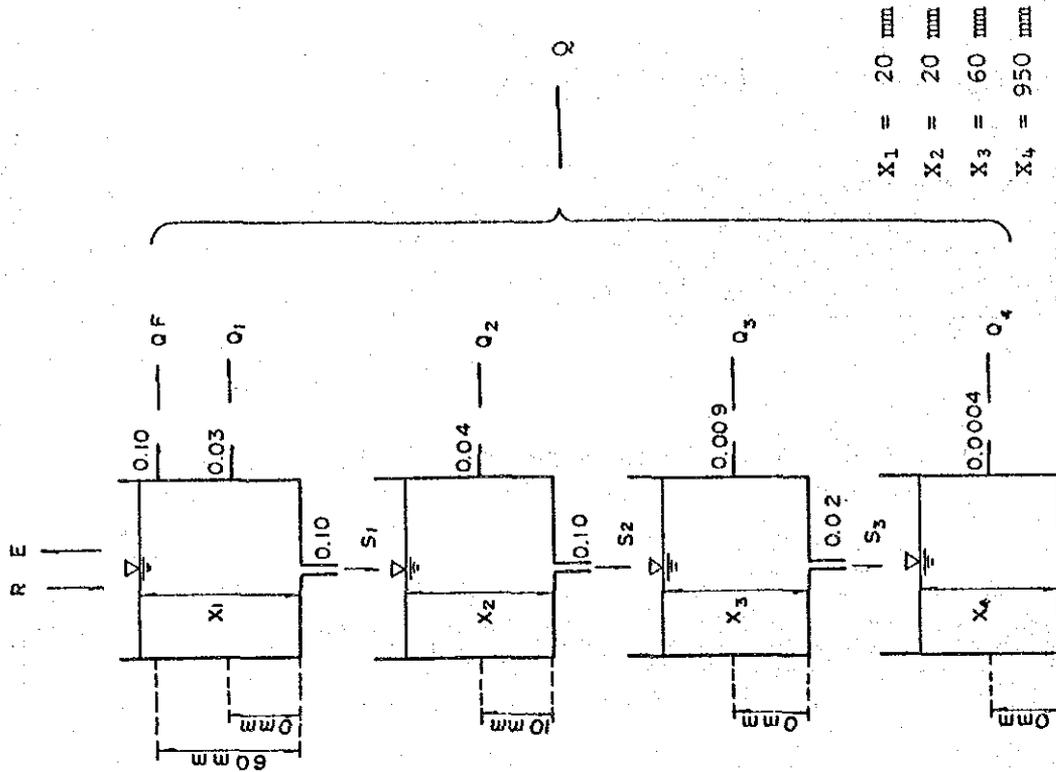
													(mm/month)
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
Santaro	72.4	62.4	67.0	74.5	80.9	82.6	88.3	90.5	82.3	83.5	82.6	76.0	943
Ashaninga	78.6	67.8	72.6	80.3	87.8	90.9	96.4	99.2	89.0	93.3	89.6	82.8	1028

Table 4-15 Annual Evapotranspiration in Basin

							(mm/Year)
	Santaro			Ashaninga			
	Annual Run-off	Annual Rainfall	Annual Evapo-transpiration	Annual Run-off	Annual Rainfall	Annual Evapo-transpiration	
1977	568.1	987	419	466.6	911	444	
1978	558.7	951	393	487.2	875	390	
1979	480.4	1084	604	434.7	1013	579	
1980	460.7	1060	606	396.5	981	590	
1981	661.2	1158	497	597.9	1072	479	
1982	690.6	1132	441				
Average	570.0	1062	492	476.6	970	493	

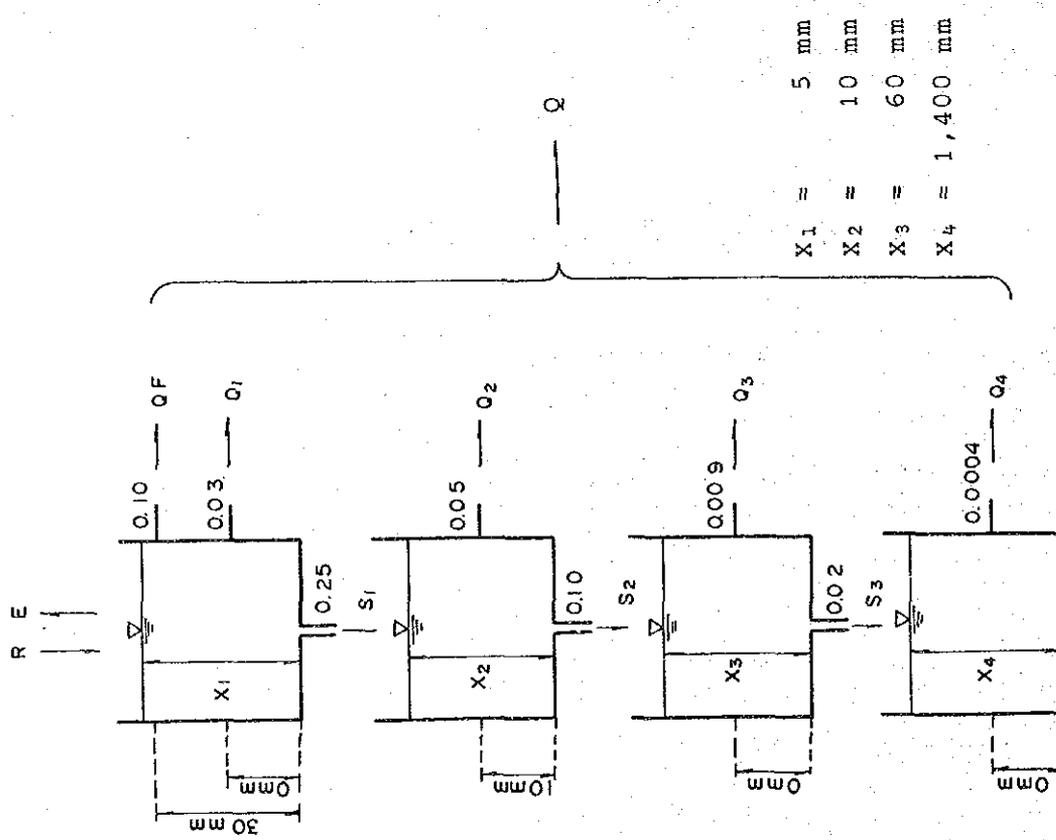
Table 4-16 Daily Evapotranspiration in Basin

													(mm/day)
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Santaro	1.22	1.16	1.12	1.30	1.36	1.44	1.48	1.52	1.43	1.41	1.44	1.28	
Ashaninga	1.22	1.16	1.12	1.28	1.36	1.45	1.49	1.53	1.42	1.44	1.43	1.28	



$X_1 = 20 \text{ mm}$   
 $X_2 = 20 \text{ mm}$   
 $X_3 = 60 \text{ mm}$   
 $X_4 = 950 \text{ mm}$

Fig. 4-18 Adopted Tank Model for the Ashananga Basin



$X_1 = 5 \text{ mm}$   
 $X_2 = 10 \text{ mm}$   
 $X_3 = 60 \text{ mm}$   
 $X_4 = 1,400 \text{ mm}$

Fig. 4-17 Adopted Tank Model for the Santaro Basin

Table 4-17 Annual Hydrological Value of Tank Model, Santaro

\*\* TANK MODEL SIMULATION NO.1 \*\* (C.A.=126422 KM2)  
(ANNUAL HYDROLOGICAL VALUE OF TANK MODEL)

YEAR	RAIN-FALL (MM)	EVAPORATION RATIO (MM)	DISCHARGE OBSERVED (MM)	DISCHARGE CALC. (MM)	RUNOFF OBSERVED (MM)	COEFF. OF CORR. (C.C.)	REMAINDER OF TOP (MM)	REMAINDER OF EACH TANK (MM)	3RD (MM)	4TH (MM)	ACCU-RACY	OBSERV-ATION-DAY (DAY)
1977	986.7	491.8	568.0	524.3	57.57	53.14	1.4	5.8	46.8	1391.4	0.162	365
1978	950.5	491.8	558.6	476.1	58.77	50.10	14.6	29.4	64.8	1319.0	0.258	365
1979	1083.7	491.8	480.3	556.3	44.32	51.34	28.0	32.8	59.3	1343.0	0.336	365
1980	1060.2	493.0	460.6	569.3	43.45	53.70	3.0	10.3	50.7	1396.8	0.320	366
1981	1158.1	491.8	661.2	598.5	57.09	51.68	5.6	21.8	71.6	1429.4	0.254	365
1982	1131.7	491.8	690.5	607.5	61.02	53.68	1.4	9.2	60.3	1489.7	0.194	365
AVR.	1061.8	492.0	569.9	555.4	53.70	52.27	9.0	18.2	58.9	1394.9	0.254	365

NOTE: ACCURACY=Σ((QO-QC)/QO1/N

QO=OBSERVED DISCHARGE  
QC=CALCULATED DISCHARGE

Table 4-18 Annual Hydrological Value of Tank Model, Ashaniga

\*\* TANK MODEL SIMULATION NO.2 \*\* (C.A.=107780 KM2)  
(ANNUAL HYDROLOGICAL VALUE OF TANK MODEL)

YEAR	RAIN-FALL (MM)	EVAPORATION RATIO (MM)	DISCHARGE OBSERVED (MM)	DISCHARGE CALC. (MM)	RUNOFF OBSERVED (MM)	COEFF. OF CORR. (C.C.)	REMAINDER OF TOP (MM)	REMAINDER OF EACH TANK (MM)	3RD (MM)	4TH (MM)	ACCU-RACY	OBSERV-ATION-DAY (DAY)
1977	910.9	492.5	466.6	470.0	51.22	51.60	3.3	8.0	40.8	946.1	0.223	365
1978	875.2	492.5	487.2	407.9	55.67	46.61	33.5	22.6	54.9	861.9	0.319	365
1979	1012.8	492.5	434.7	488.2	42.92	48.20	56.3	22.8	48.9	876.8	0.409	365
1980	981.2	493.7	396.5	511.6	40.41	52.15	7.3	10.2	42.6	920.5	0.334	366
1981	1072.3	492.5	597.9	530.9	55.76	49.51	19.7	20.7	59.4	929.6	0.277	365
AVR.	970.4	492.7	476.6	481.7	49.20	49.61	24.0	16.8	49.3	907.0	0.312	365

NOTE: ACCURACY=Σ((QO-QC)/QO1/N

QO=OBSERVED DISCHARGE  
QC=CALCULATED DISCHARGE

Table 4-19(1) Monthly Runoff at Tambo Pto. Prado Dam Site

C.A.=126100 KM2 (M3/SEC-DAY)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	109244	127904	112127	67290	47182	34170	30039	29171	28830	40114	97890	94767	818728
1952	145917	108228	147808	86460	68572	62550	38316	31496	34170	36735	64680	77841	902773
1953	50654	101332	104129	88470	51460	41730	33263	30659	32790	63457	65340	80445	743729
1954	96038	80556	131254	75060	69037	47100	33790	30225	43680	88102	94350	98518	887710
1955	102517	118748	122946	82890	56234	38490	34007	32240	31980	41013	34770	60357	756192
1956	99634	162429	95015	67260	46252	31980	34472	31744	42840	44578	46740	41261	744205
1957	80104	127596	135780	95880	62961	47610	36704	32829	46170	66154	72630	65720	870138
1958	121706	120344	119567	79350	62837	43140	33015	32643	33990	67177	60420	67053	841242
1959	77314	145068	190557	102450	71672	51000	38254	35092	34470	59892	48630	87668	942067
1960	84599	95381	73005	61710	47089	32340	31465	34503	34530	52576	77490	67332	692020
1961	147684	158732	132835	106080	86707	46830	33480	32364	33540	40052	50550	123659	992513
1962	95511	118312	151900	80430	60264	38010	33263	31310	31530	44082	58560	77345	818517
1963	190464	166628	163122	86130	53134	34470	33263	31651	34200	38595	57090	98828	987575
1964	116777	113747	151156	85290	53723	35310	32581	37572	42210	66712	62610	53320	851028
1965	76415	136344	155279	90120	58993	35580	32333	33294	66540	62992	54840	116684	917414
1966	124031	113316	123039	56340	56544	34620	31341	30318	36810	59520	51036	85715	802624
1967	94581	101612	171709	81300	51832	35250	34689	32426	32070	44976	47400	72974	820819
1968	92535	109852	86645	71910	38006	29520	40703	32457	29160	46345	49170	58001	684304
1969	66216	91140	81902	78240	40858	31710	29481	28396	-28950	33976	33270	88939	633078
1970	128805	112392	94736	102960	59768	34230	30442	29326	39660	45446	45990	86211	809966
1971	117242	171976	286998	159030	53630	43050	35185	41664	37680	39432	38940	48081	1072908
1972	144088	164430	207762	137640	55707	43410	40734	38440	39780	41354	40650	60636	1014631
1973	135067	181020	227633	203220	169539	100770	43023	35557	37110	39060	48600	71424	1312023
1974	197904	124656	160301	107430	55521	37350	35309	49631	53490	43276	42870	51440	959198
1975	76911	134204	209064	79530	60016	48960	42459	40672	38910	43524	47040	69719	890989
1976	192789	186644	252061	121590	85033	65520	50406	49941	96390	52049	54810	71021	1278251
1977	78275	160888	188914	77490	48546	31110	30256	26102	28470	31651	69210	60326	831238
1978	170655	142408	125829	76770	50716	32940	26133	21235	27330	29450	40440	73532	817438
1979	75051	106652	163990	92490	49166	29250	26443	24366	23520	27466	35760	48670	702824
1980	81902	97991	129735	83880	60486	25080	21173	21452	21600	50158	41280	59396	674133
1981	99293	198492	166253	104700	54808	40050	27311	32054	28080	49755	63240	103447	967483
1982	181877	171948	152179	93900	51584	36690	28954	29760	28620	44020	94930	95976	1010458
T O T A L	3651800	4246990	4815230	2983290	1917877	1319820	1102267	1050590	1199100	1553689	1791240	2416326	28048219
A V E	114118	132718	150475	93227	59933	41244	34445	32830	37471	48552	55976	75510	876506

Table 4-19(2) Daily Average of Monthly Runoff at Tambo Pto. Prado Dam Site

C.A.=126100 KM2 (M3/SEC)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	3524	4568	3617	2243	1522	1139	969	941	961	1294	3263	3057	27098
1952	4707	3732	4768	2882	2212	2085	1236	1016	1139	1185	2156	2511	29629
1953	1634	3619	3359	2949	1660	1391	1073	989	1093	2047	2178	2595	24587
1954	3098	2877	4234	2502	2227	1570	1090	975	1456	2842	3145	3178	29194
1955	3307	4241	3966	2763	1814	1283	1097	1040	1066	1323	1159	1947	25006
1956	3214	5601	3065	2242	1492	1066	1112	1024	1428	1438	1558	1331	24571
1957	2584	4557	4380	3196	2031	1587	1184	1059	1539	2134	2421	2120	28792
1958	3926	4298	3857	2645	2027	1438	1065	1053	1133	2167	2014	2163	27786
1959	2494	5181	6147	3415	2312	1700	1234	1132	1149	1932	1621	2828	31145
1960	2729	3289	2355	2057	1519	1078	1015	1113	1451	1696	2583	2172	22757
1961	4764	5669	4285	3536	2797	1561	1080	1044	1118	1292	1685	3989	32820
1962	3081	4154	4900	2681	1944	1267	1073	1010	1051	1422	1952	2495	27030
1963	6144	5951	5262	2871	1714	1149	1073	1021	1140	1245	1903	3188	32661
1964	3767	3923	4876	2843	1733	1177	1051	1212	1407	2152	2087	1720	27948
1965	2465	4798	5009	3004	1186	1903	1186	1074	2218	2032	1828	3764	30324
1966	4001	4047	3969	1878	1824	1154	1011	978	1227	1920	1701	2765	26475
1967	3051	3629	5539	2710	1672	1175	1119	1046	1069	2096	1580	2354	27040
1968	2985	3788	2795	2397	1226	984	1313	1047	972	1495	1639	1871	22512
1969	2136	3255	2642	2608	1318	1057	951	916	965	1096	1109	2869	20922
1970	4155	4014	3056	3432	1928	1141	982	946	1322	1466	1533	2781	26756
1971	3782	6142	9258	5301	1730	1435	1135	1344	1256	1272	1298	1551	35504
1972	4648	5670	6702	4588	1797	1447	1314	1240	1326	1334	1355	1936	33377
1973	4357	6465	7343	6774	5469	3359	2033	1147	1237	1260	1620	2304	43368
1974	6384	4452	5171	3581	1791	1243	1139	1601	1783	1396	1429	1660	31632
1975	2481	4793	6744	2651	1936	1632	1369	1732	1297	1404	1568	2249	29436
1976	6219	6436	8131	4053	2743	2184	1626	1611	3213	1679	1827	2291	42013
1977	2525	5746	6094	2583	1566	1037	976	842	949	1021	2307	1946	27592
1978	5505	5086	4059	2559	2636	1098	843	685	911	950	1348	2372	27052
1979	2421	3809	5290	3083	1586	975	853	786	784	886	1192	1570	23235
1980	2642	3379	4185	2796	1306	836	683	692	720	1618	1376	1916	22149
1981	3203	7089	5363	3490	1768	1335	881	1034	936	1605	2108	3337	32149
1982	5867	6141	4909	3130	1664	1223	934	960	954	1420	3165	3096	33463
T O T A L	117800	150399	155330	99443	61867	43994	35557	33890	39970	50119	59708	77946	926023
A V E	3681	4699	4854	3107	1933	1374	1111	1059	1249	1566	1865	2435	28938

Table 4-20(1) Monthly Runoff at Ene Paquitzapango Dam Site

C.A.=104500 KM2 (M3/SEC-DAY)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	89311	97776	86769	47580	31992	19200	16089	15345	15870	24087	66510	55707	566236
1952	101587	78677	115785	66300	42377	43110	21700	17236	20220	22723	41100	56823	627638
1953	33263	45240	72788	59220	34906	26250	18693	17236	19860	39184	44700	54653	485993
1954	46185	57288	95139	53370	47058	29850	18352	16647	25560	58683	67140	73780	609052
1955	84506	85988	93000	57690	35464	20910	18600	17949	18720	24831	20280	37727	515665
1956	71920	133226	74307	46920	27311	17040	19871	17019	24330	24397	27060	25761	509162
1957	49910	86072	108314	74910	42842	26520	18414	17546	27840	40362	46260	40579	579569
1958	85901	90300	88381	51900	37603	23750	17918	17391	19140	42873	38910	45911	559958
1959	56854	108612	156116	74250	48329	30480	21359	18941	20020	40982	32130	59427	668300
1960	59923	71195	53444	44010	29450	17880	17794	19344	19530	29977	49800	47151	459698
1961	104346	125356	107043	70860	57381	28200	18600	18910	19440	22568	31380	89466	693550
1962	74121	83580	113615	62760	40083	22200	18693	17484	18390	27962	42840	49972	571700
1963	140182	138152	138074	68520	34627	19500	18755	18011	21270	23684	42450	75888	739113
1964	96441	92191	116328	64440	34224	19740	18383	20367	24390	42191	43500	37789	607984
1965	54715	107128	129332	73020	40486	20640	18538	18476	36060	42625	34410	88381	663811
1966	93620	88144	102114	38340	53790	19380	17918	17143	22050	40703	34050	55707	562959
1967	63984	71344	127627	60840	31279	19140	19840	18724	19770	43183	30720	54033	560484
1968	58375	71978	61070	43800	21111	16470	24862	18569	15870	25079	28620	34875	420677
1969	49166	68600	66030	50250	22847	16650	18771	15066	15780	19158	18720	61473	420511
1970	94705	89964	70370	69120	36394	17340	15779	14911	22620	22258	23820	57164	534445
1971	85622	131404	224409	120120	33666	25320	18569	23870	20940	22072	21990	29140	757122
1972	107601	124874	159650	102660	35340	25620	23126	21235	22650	23591	23370	39370	709087
1973	100223	138768	175925	156270	128402	72510	41323	18879	19530	21731	29880	48174	951615
1974	151590	92680	127260	75600	33356	20250	18693	30380	33900	25172	25170	31868	661419
1975	52700	100492	160704	55140	38905	30150	24490	23064	21930	25389	28590	46810	608364
1976	147405	143057	166687	61890	36270	27090	20894	20057	41430	21824	20430	30442	737476
1977	48298	115948	139655	51540	30597	20190	19406	17236	17970	19530	42810	41199	564379
1978	138105	114128	87606	52110	31310	21510	14880	17460	19189	26280	48422	589290	589290
1979	58001	90132	145390	62220	32457	19020	16771	16027	15180	16554	22680	31341	525773
1980	59861	73080	108903	59190	25296	16170	14229	14694	14010	30938	25710	37448	479529
1981	81654	167440	131874	74700	34751	26190	16771	20429	17280	30814	44430	76787	723120
1982	148273	143332	125860	74010	35216	26100	19623	15952	18090	28644	77610	64945	781295
T O T A L	2708346	3246146	3723069	2123550	1225120	784350	629114	592658	687900	942958	1153350	1628213	19444774
A V E	84635	101442	116345	66360	38285	24510	19659	18520	21496	29467	36042	50881	607649

Table 4-20(2) Daily Average of Monthly Runoff at Ene Paquitzapango Dam Site

C.A.=104500 KM2 (M3/SEC)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	2881	3492	2799	1586	1032	640	519	495	529	777	2217	1797	18764
1952	3277	2713	3735	2210	1367	1437	700	556	674	733	1370	1833	20605
1953	1073	2330	2348	1974	1126	875	603	556	662	1264	1490	1763	16064
1954	2135	2046	3069	1779	1518	995	592	537	852	1893	2238	2380	20034
1955	2726	3071	3000	1923	1144	697	600	579	624	801	676	1217	17058
1956	2320	4594	2397	1564	881	568	641	549	811	787	902	831	16845
1957	1610	3074	3494	2497	1382	884	594	566	928	1302	1542	1309	19182
1958	2771	3225	2851	1730	1213	791	578	561	638	1383	1297	1481	18519
1959	1834	3879	5036	2475	1559	1016	689	611	694	1322	1071	1917	22103
1960	1933	2455	1724	1467	950	596	574	624	651	967	1660	1521	15122
1961	3366	4477	3453	2362	1851	940	600	610	648	728	1046	2886	22967
1962	2391	2985	3665	2092	1293	740	603	564	613	902	1428	1612	18888
1963	4522	4934	4454	2284	1117	650	605	581	709	764	1415	2448	24483
1964	3111	3179	3688	2148	1104	658	593	657	813	1361	1450	1219	19981
1965	1765	3826	4172	2434	1306	688	598	596	1202	1375	1147	2851	21960
1966	3020	3148	3294	1278	1090	666	578	553	735	1313	1135	1797	18587
1967	2064	2548	4117	2028	1009	638	640	604	659	1393	1024	1743	18467
1968	1883	2482	1970	1440	681	549	802	599	529	809	954	1125	13843
1969	1584	2450	2130	1675	737	555	541	486	526	618	624	1983	13911
1970	3055	3213	2270	2304	1174	578	509	481	754	718	794	1844	17494
1971	2762	4693	7239	4004	1086	844	599	770	698	712	733	940	20580
1972	3471	4306	5150	3422	1140	854	746	685	755	761	779	1270	23339
1973	3233	4956	5675	5209	4142	2417	1333	609	651	701	996	1554	31476
1974	4890	3310	3960	2520	1076	875	603	980	1130	812	839	1028	21823
1975	1700	3589	5184	1838	1255	1005	790	744	731	819	953	1510	20118
1976	4755	4933	3377	2063	1170	903	674	647	1381	704	681	982	24270
1977	1558	4141	4505	1718	987	873	626	556	599	630	1427	1329	18749
1978	4455	4076	2826	1737	1010	717	590	480	582	619	876	1562	19530
1979	1871	3219	4690	2074	1047	634	541	517	506	534	756	1011	17400
1980	1931	2520	3513	1973	816	539	459	474	467	998	857	1208	15755
1981	2634	5980	4254	2490	1121	873	541	659	576	994	1481	2477	24080
1982	4783	5119	4060	2467	1136	870	633	632	603	924	2587	2095	25909
T O T A L	87366	114963	120099	70785	39520	26145	20294	19118	22930	30418	38445	52523	642806
A V E	2730	3592	3753	2212	1235	817	634	597	716	950	1201	1641	20081

Table 4-21(1) Monthly Runoff at Ene Cutivireni Dam Site

C.A=102100 KM<sup>2</sup> (M<sup>3</sup>/SEC-DAY)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	87265	95536	84785	46500	31248	18780	15717	14973	15510	23529	64980	54405	553228
1952	99262	76850	113150	64770	41416	42120	21204	16833	19770	22196	40170	55521	613262
1953	32519	63756	71114	57840	34100	25650	18259	16833	19410	38285	43680	53413	474859
1954	64666	55972	92969	52140	45973	29160	17949	16244	24990	57319	65580	72075	595037
1955	82553	84000	90892	56370	36658	20430	18197	17515	18300	24242	19830	36859	503846
1956	70246	130181	72602	45840	26691	16650	19406	16616	23760	23839	26430	25172	497433
1957	48763	84084	105803	73200	41881	25890	17980	17143	27210	39463	45210	39649	566276
1958	83948	88228	86366	50700	36735	23190	17484	16988	18690	41912	38010	44857	547108
1959	55552	106120	152551	72540	47213	29790	20863	18507	20340	40052	31410	58063	653001
1960	58558	69542	52204	42990	28768	17460	17391	18879	19110	29295	48660	46066	448924
1961	101959	122472	104594	69210	56079	27540	18197	18476	18990	22072	30660	87420	677669
1962	72416	81648	110980	61320	39153	21690	19259	17081	17970	27342	41850	48825	558534
1963	136958	134988	134912	66930	33852	19050	18321	17608	20790	23126	41460	74152	722147
1964	94209	90074	111693	62970	33449	19290	17980	19902	23850	41230	42480	36921	594048
1965	53475	104644	126356	71340	39556	20160	18104	18042	35220	41633	33600	86366	648516
1966	91450	86100	99789	37440	33015	18930	17484	16740	21540	39773	33270	54436	549967
1967	62494	49270	124682	59430	30566	18690	19375	18290	19320	42191	30000	52793	547553
1968	57009	70325	59644	42780	20615	16080	24304	18135	15480	24521	27960	34069	410922
1969	48050	67032	64511	49110	22320	18290	16368	14725	15420	18693	18270	60078	410867
1970	92535	87892	68758	47530	35557	16950	15438	14570	22110	21731	23280	55862	522213
1971	85669	128380	219263	117360	32891	24750	18135	23312	20460	21545	21480	28458	739703
1972	105121	122003	155992	100290	34534	25050	22568	20770	22140	25064	22830	38471	692833
1973	97898	135604	171895	152700	125457	70860	40393	18445	19080	21235	29190	47089	929846
1974	148118	90552	119939	73860	32612	19770	18259	29698	33120	24614	26170	31124	646236
1975	51491	98196	157015	53880	38006	29440	23932	22537	21420	24800	27930	45725	594392
1976	144026	139780	162874	60480	35435	26460	20429	19592	40470	21328	19980	29729	720581
1977	47182	113288	136431	50340	29884	19740	18972	16833	17550	19065	41820	40238	551343
1978	134943	111524	85591	50910	30597	21030	17887	14539	17040	18755	25680	47306	575802
1979	56668	88060	142073	60780	31682	18860	16399	15655	14820	14182	22170	30628	513717
1980	58497	71398	108423	57840	24738	15810	13888	14353	13480	30225	25110	36580	448542
1981	79794	163604	128867	72990	33976	25590	16368	19964	16890	30101	43410	75051	706605
1982	144863	140028	122946	72300	34410	25500	19189	19158	17670	27993	75840	63457	763354
T O T A L	2644160	3171601	3637664	2074680	1197065	766410	614699	578956	672120	921351	1126800	1590858	18998364
A V E	82692	99112	113677	64833	37408	23950	19209	18092	21003	28792	35212	49714	593698

Table 4-21(2) Daily Average of Monthly Runoff at Ene Cutivireni Dam Site

C.A=102100 KM<sup>2</sup> (M<sup>3</sup>/SEC)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	2815	3412	2735	1550	1008	626	507	483	517	759	2166	1755	18333
1952	3202	2650	3650	2159	1336	1404	684	543	659	716	1339	1791	20133
1953	1049	2277	2294	1928	1100	855	589	543	647	1235	1456	1723	15696
1954	2086	1999	2999	1738	1483	972	579	524	833	1849	2186	2325	19573
1955	2663	3000	2932	1879	1118	681	587	565	610	782	661	1189	16667
1956	2266	4489	2342	1528	861	555	626	536	792	769	881	812	16457
1957	1573	3003	3413	2440	1351	863	580	553	907	1273	1507	1279	18742
1958	2708	3151	2786	1690	1185	773	564	548	623	1352	1267	1447	18094
1959	1792	3790	4921	2418	1523	993	673	597	678	1292	1047	1873	21597
1960	1889	2398	1684	1433	928	582	561	609	637	945	1622	1486	14774
1961	3289	4374	3374	2307	1809	918	587	596	633	712	1022	2820	22441
1962	2336	2916	3580	2044	1263	723	589	551	599	882	1395	1575	18453
1963	4418	4821	4352	2231	1092	635	591	568	693	746	1382	2392	23921
1964	3039	3106	3603	2099	1079	643	580	642	795	1330	1416	1191	19523
1965	1725	3738	4076	2378	1276	672	584	582	1174	1343	1120	2786	21454
1966	2950	3075	3219	1248	1065	631	564	540	718	1283	1109	1756	18158
1967	2016	2490	4022	1981	986	623	625	590	644	1361	1000	1703	18041
1968	1839	2425	1924	1426	665	536	784	585	516	791	932	1099	13522
1969	1550	2394	2081	1637	720	543	528	475	514	603	609	1938	13592
1970	2985	3139	2218	2251	1147	565	498	470	737	701	776	1802	17289
1971	2699	4585	7073	3912	1061	825	585	752	682	695	718	918	24503
1972	3391	4207	5032	3343	1114	835	728	670	738	744	761	1241	22804
1973	3158	4843	5545	5090	4047	2362	1303	595	636	685	973	1519	30756
1974	4778	3234	3869	2462	1052	659	589	958	1104	794	819	1004	21322
1975	1661	3507	5065	1796	1226	982	772	727	714	800	931	1475	19656
1976	4646	4820	5254	2016	1143	882	659	632	1349	688	666	959	23714
1977	1522	4046	4401	1678	964	658	612	543	585	615	1394	1298	18316
1978	4353	3983	2761	1697	987	701	577	449	568	605	856	1526	19083
1979	1828	3145	4583	2026	1022	620	529	505	494	522	739	988	17001
1980	1887	2462	3433	1928	798	527	448	463	456	975	857	1180	15394
1981	2574	5843	4157	2433	1096	853	528	644	563	971	1447	2421	23530
1982	4673	5001	3966	2410	1110	850	619	618	589	903	2528	2047	25314
T O T A L	85360	112323	117344	69156	38615	25547	19829	18676	22404	29721	37560	51318	627853
A V E	2667	3510	3667	2161	1206	798	619	583	700	928	1173	1603	19620

Table 4-22(1) Monthly Runoff at Ene Sumabeni Dam Site

C.A= 98290 KM2 (M3/SEC-DAY)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	84010	91980	81623	44760	30101	18060	15128	14415	14940	22661	62550	52390	532618
1952	95573	73979	108903	62340	39866	40560	20398	16213	19020	21359	38670	53444	590325
1953	31279	61376	68479	55710	32829	24490	17577	16213	18660	36859	42060	51398	457130
1954	62248	53872	89497	50190	44268	28080	17267	15655	24060	55180	63150	69378	572845
1955	79484	80864	87482	54270	33354	19480	17515	16864	17610	23343	19080	35495	485043
1956	67642	125309	69874	44130	25668	16020	18693	15996	22890	22940	25440	24211	478813
1957	46934	80948	101866	70470	40300	24930	17298	16492	26190	37975	43530	38192	545125
1958	80817	84924	83142	48810	35371	22320	16833	16337	18000	40331	36600	43183	526668
1959	53475	102172	146847	69840	45444	28680	20088	17825	19590	38564	30240	55893	628660
1960	56389	66961	50282	41370	27683	16830	16740	18197	18390	28179	46830	44330	432181
1961	98146	117908	100688	66630	53971	26520	17515	17794	18270	21235	29520	84165	652362
1962	69719	78596	106857	59040	37496	20880	17577	16430	17310	26319	40290	46996	537710
1963	131843	129948	129859	64440	32581	18360	17639	16957	20010	22258	39930	71393	695218
1964	90706	86710	107539	60630	32209	18570	17298	19158	22950	39680	40920	35557	571927
1965	51460	100744	121644	68670	38068	19410	17422	17360	33900	40083	32340	83142	624243
1966	88040	82880	96038	36060	31806	18210	16833	16120	20730	38285	32040	52390	529432
1967	40171	67114	120032	57210	29419	18000	18662	17608	18600	40641	28890	50809	527158
1968	54901	62686	57443	41190	19871	15480	23405	17453	14910	23591	26940	32798	395668
1969	46252	64540	62124	47280	21514	15660	15748	14198	14850	18011	17610	57815	395602
1970	89094	84614	66216	65010	36224	16320	14849	14012	21270	20925	22410	53754	502700
1971	80538	123592	211079	112980	31651	23820	17484	22444	19710	20739	20670	27404	712111
1972	101215	117450	150164	96540	33232	24090	21731	19995	21300	22196	21960	37045	666918
1973	94240	130536	165478	147000	120776	68190	38874	17763	18360	20429	28110	45322	895078
1974	142600	87164	115444	71100	31372	19050	17577	28582	31840	23684	23670	29977	622080
1975	49569	94528	151156	51870	36580	28380	23033	21669	20640	23901	26880	44020	572226
1976	138632	134560	156798	58230	36100	25500	19634	18848	38970	20522	19230	28444	693688
1977	45446	109060	131347	48480	28768	18990	18259	16213	16890	18352	40260	38750	530815
1978	129921	107352	82398	49020	29450	20220	17205	14012	16410	18042	24720	45539	554289
1979	54560	84784	136772	58500	30504	17910	15779	15097	14280	15562	21330	29481	494559
1980	56296	68730	102455	55680	23808	19210	13392	13826	13170	29078	24180	35216	451041
1981	76818	157500	124062	70260	32705	24660	15779	19220	16260	28985	41790	26220	680269
1982	139469	134820	118358	69600	33139	24540	18476	18445	17010	26939	72990	61101	734887
T O T A L	2547487	3053205	3501946	1997310	1152332	737820	591728	557411	647010	886848	1084830	1531462	18289389
A V E	79608	95412	109435	62415	36010	23056	18491	17419	20219	27714	33900	47858	571543

Table 4-22(2) Daily Average of Monthly Runoff at Ene Sumabeni Dam Site

C.A= 98290 KM2 (M3/SEC)

	< JAN >	< FEB >	< MAR >	< APR >	< MAY >	< JUN >	< JUL >	< AUG >	< SEP >	< OCT >	< NOV >	< DEC >	<TOTAL>
1951	2710	3285	2633	1492	971	602	488	465	498	731	2085	1690	17650
1952	3083	2551	3513	2078	1286	1352	658	523	634	689	1289	1724	19380
1953	1009	2192	2209	1857	1059	823	567	523	622	1189	1402	1658	15110
1954	2008	1924	2887	1673	1428	936	557	505	802	1780	2105	2238	18843
1955	2564	2888	2822	1809	1076	656	565	544	587	753	636	1145	16045
1956	2182	4321	2254	1471	828	534	603	516	763	740	848	781	15841
1957	1514	2891	3286	2349	1300	831	558	552	873	1225	1451	1232	18042
1958	2607	3033	2682	1627	1141	744	543	527	600	1301	1220	1393	17418
1959	1725	3649	4737	2328	1466	956	648	575	653	1244	1008	1803	20792
1960	1819	2309	1622	1379	893	561	540	587	613	909	1561	1430	14223
1961	3166	4211	3248	2221	1741	884	565	574	609	685	984	2715	21603
1962	2249	2807	3447	1968	1216	696	567	530	577	849	1343	1516	17765
1963	4253	4641	4189	2148	1051	612	569	547	667	718	1331	2303	23029
1964	2926	2990	3469	2021	1039	619	558	618	765	1280	1364	1147	18796
1965	1660	3598	3924	2289	1228	647	562	560	1130	1293	1078	2682	20651
1966	2840	2960	3098	1202	1026	607	543	520	691	1235	1068	1690	17480
1967	1941	2397	3872	1907	949	600	602	568	620	1311	963	1639	17369
1968	1771	2334	1853	1373	641	516	755	563	497	761	898	1058	13020
1969	1492	2305	2004	1576	694	522	508	458	495	581	587	1865	13087
1970	2874	3022	2136	2167	1104	544	479	452	709	675	747	1734	16643
1971	2598	4414	6809	3766	1021	794	564	724	657	669	689	884	23589
1972	3265	4050	4844	3218	1072	803	701	645	710	716	732	1195	21951
1973	3040	4662	5338	4900	3896	2273	1254	573	612	659	937	1462	29606
1974	4600	3113	3724	2370	1012	635	567	922	1062	764	789	967	20525
1975	1599	3376	4876	1729	1180	946	743	699	888	771	896	1420	18923
1976	4472	4640	5058	1941	1100	850	634	608	1299	662	641	924	22829
1977	1466	3895	4237	1616	928	633	589	523	563	592	1342	1250	17634
1978	4191	3834	2658	1634	950	674	555	452	547	582	824	1669	18370
1979	1760	3028	4412	1950	984	597	509	487	476	502	711	951	16367
1980	1816	2370	3305	1856	768	507	432	446	439	938	806	1136	14819
1981	2478	5625	4002	2342	1055	822	509	620	542	935	1393	2330	22653
1982	4499	4815	3818	2320	1069	818	596	595	567	869	2433	1971	24370
T O T A L	82177	108130	112966	66577	37172	24594	19088	17981	21567	28608	36161	49402	604423
A V E	2568	3379	3530	2080	1161	768	596	561	673	894	1130	1543	18888

Table 4-23 Estimation of Water Loss due to Evapotranspiration

(mm)

	Method	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual Total
Estimated Evapotranspiration	Thorntwaite	112.9	110.0	112.9	112.9	111.0	99.1	91.5	101.8	110.0	117.2	121.7	115.8	1317
	Blanny-Ciiddle	139.3	122.9	133.5	126.4	126.9	119.5	122.0	126.7	127.2	136.0	135.8	140.4	1157
Estimated Evaporation	Observed Evaporation x 0.7	56.4	53.1	60.1	67.8	72.0	66.7	58.6	80.5	74.1	86.7	70.6	69.6	817

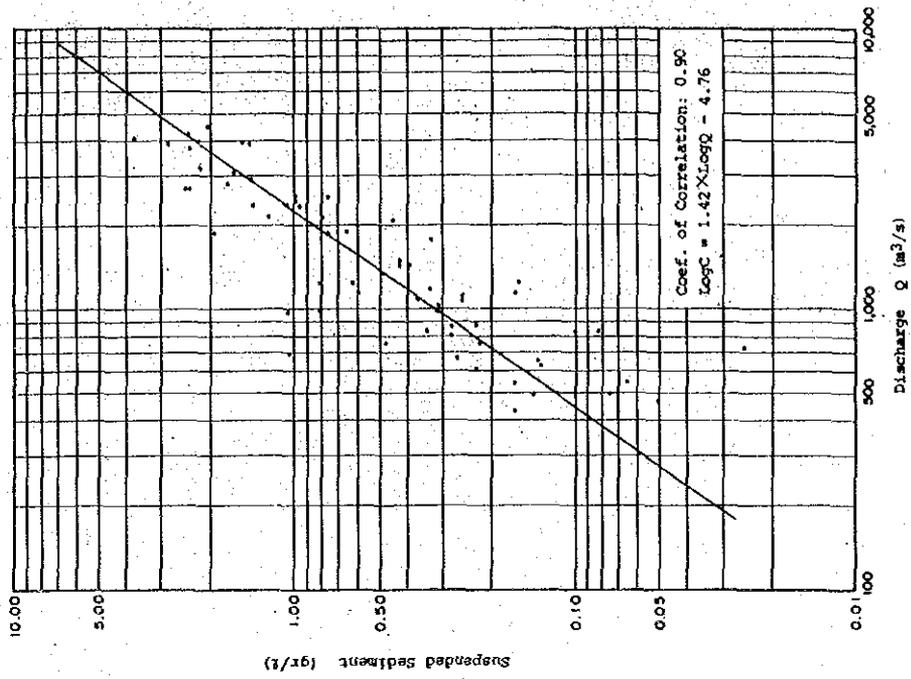


Fig. 4-19(2) Relation between Discharge and Suspended Sediment at Ashaniga

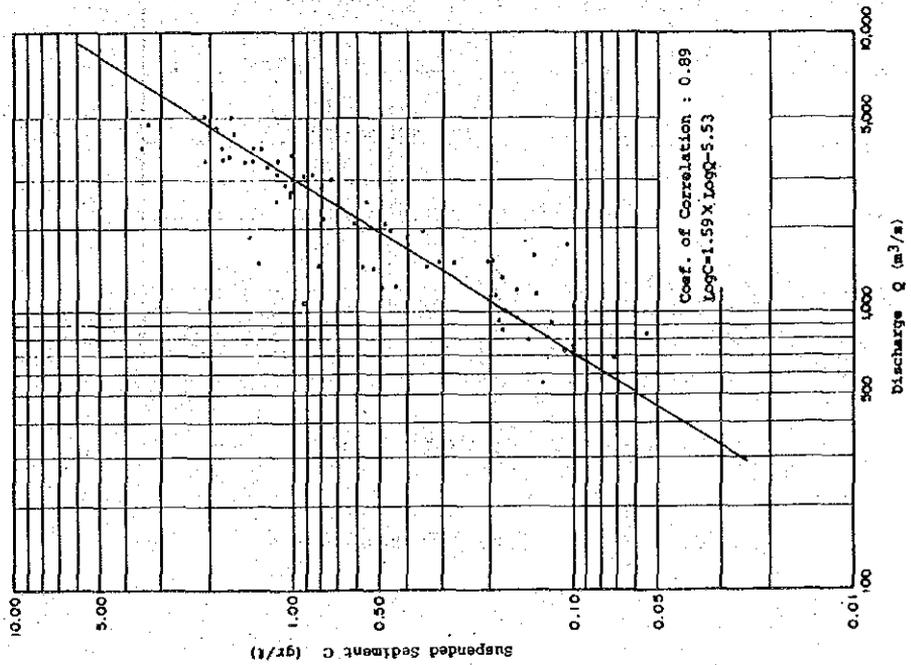


Fig. 4-19(1) Relation between Discharge and Suspended Sediment at Santaro

Table 4-24 Annual Sedimentation per Unit Drainage Area

Project Name	Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Gross Storage Capacity Q (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Annual Inflow C (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	$f=Q/C$	Trap Efficiency E (%)	Suspended Load A (gr/l)	Annual Sedimentation (20% as Bed Load) $A \times 10^{-3} \times C \times E \times 1.2 / 1.3$ (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /year)	Annual Sedimentation per Unit Drainage Area (m <sup>3</sup> /year/km <sup>2</sup> )
TAMBO PUERTO PRADO	126,000	10,800 ~ 24,200	75,730	0.14 ~ 0.32	91 ~ 96	0.699	44.466 ~ 46.009	353 ~ 372
ENE PAQUITZAPANGO	104,500	13,000 ~ 22,000	52,500	0.25 ~ 0.42	95 ~ 98	0.644	29.879 ~ 30.823	286 ~ 295
CUTIVIRENI	102,100	7,500	51,300	0.15	92	0.633	27.577	270
SUMABENI	98,200	6,300 ~ 12,000	49,380	0.13 ~ 0.24	90 ~ 95	0.600	24.614 ~ 25.981	250 ~ 264

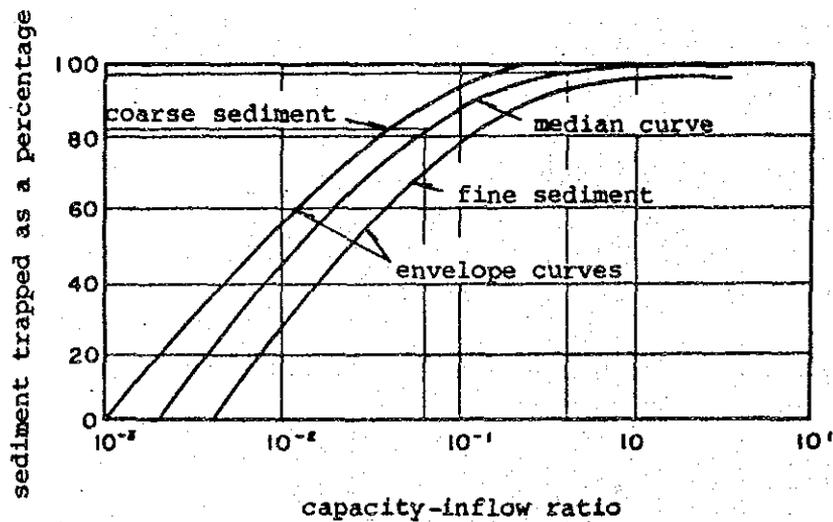


Fig. 4-20 Brune's Trap Efficiency Curve

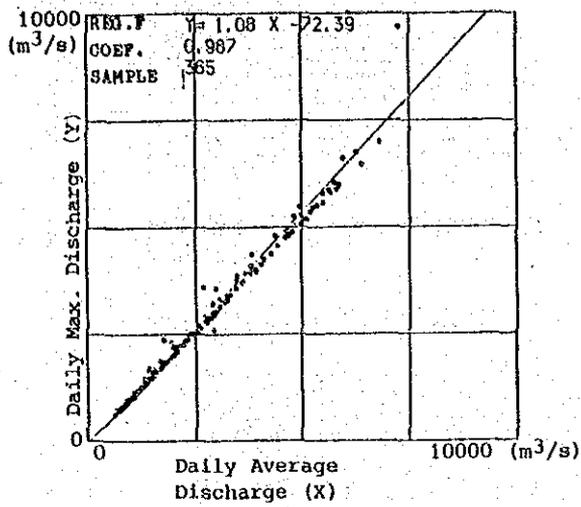


Fig. 4-21 Daily Discharge Correlation (Santaro)

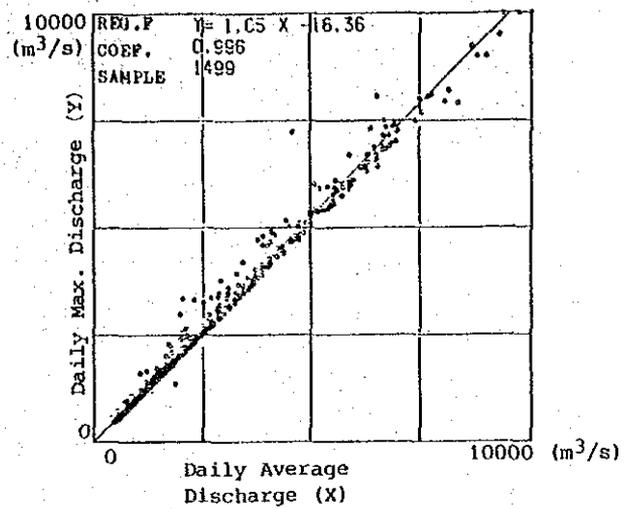


Fig. 4-22 Daily Discharge Correlation (Ashaninga)

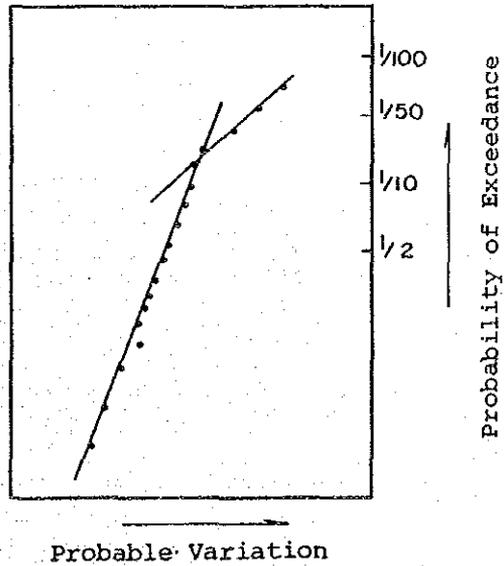


Fig. 4-23 Dog Leg Method



**Table 4-26(1) Probable Flood Analysis at Santaro**

Data from 1931 to 1983				Data from 1976 to 1983 (Observed)			
Recurrence Interval (1/Year)	Thomas (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel-Chow (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel (m <sup>3</sup> /s)	Recurrence Interval (1/Year)	Thomas (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel-Chow (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel (m <sup>3</sup> /s)
1/ 2	8182	8171	8157	1/ 2	10311	10342	10278
1/ 5	10767	10587	10393	1/ 5	13788	13541	12809
1/ 10	12430	12106	11874	1/ 10	16053	15660	14485
1/ 20	13995	13720	13295	1/ 20	18201	17691	16092
1/ 50	15990	15706	15133	1/ 50	20959	20321	18173
1/ 100	17474	17194	16511	1/ 100	23024	22292	19732
1/ 200	18951	18676	17884	1/ 200	25090	24256	21285
1/ 500	20911	20632	19695	1/ 500	27845	26847	23334
1/ 1000	22406	22110	21063	1/ 1000	29958	28805	24883
1/10000	27512	27019	25609	1/10000	37232	35306	30026

**Table 4-26(2) Probable Flood Analysis at Ashananga**

Data from 1931 to 1983 (Dog Leg)				Data from 1976 to 1983 (Observed)			
Recurrence Interval (1/Year)	Thomas (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel-Chow (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel (m <sup>3</sup> /s)	Recurrence Interval (1/Year)	Thomas (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel-Chow (m <sup>3</sup> /s)	Gumbel (m <sup>3</sup> /s)
1/ 2	5346	5177	5905	1/ 2	8051	8064	8006
1/ 5	7591	7551	7758	1/ 5	10704	10666	10104
1/ 10	9120	9124	8985	1/ 10	12424	12389	11492
1/ 20	10611	10632	10162	1/ 20	14051	14041	12824
1/ 50	12579	12584	11685	1/ 50	16135	16180	14548
1/ 100	14089	14047	12827	1/ 100	17692	17783	15840
1/ 200	15628	15505	13964	1/ 200	19247	19380	17127
1/ 500	17721	17428	15464	1/ 500	21316	21487	18825
1/ 1000	19356	18882	16599	1/ 1000	22900	23079	20109
1/10000	25159	23708	20364	1/10000	28337	28367	24371

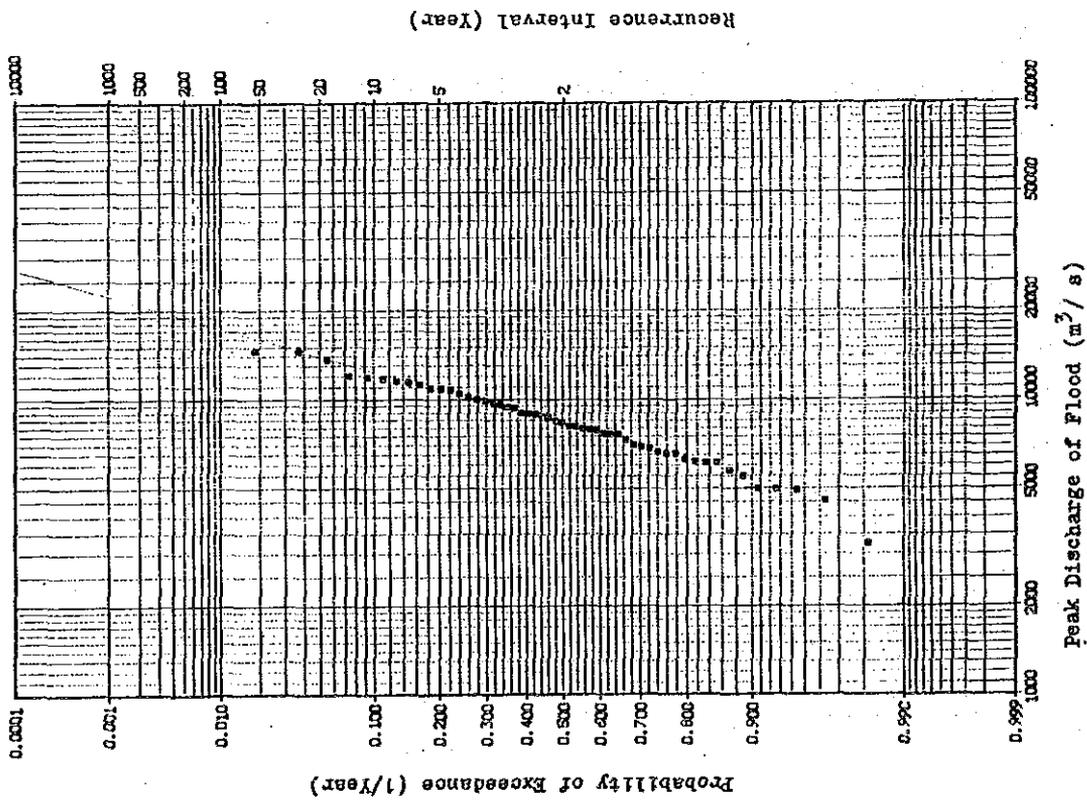


Fig. 4-24(1) Thomas Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1931 - 1983)

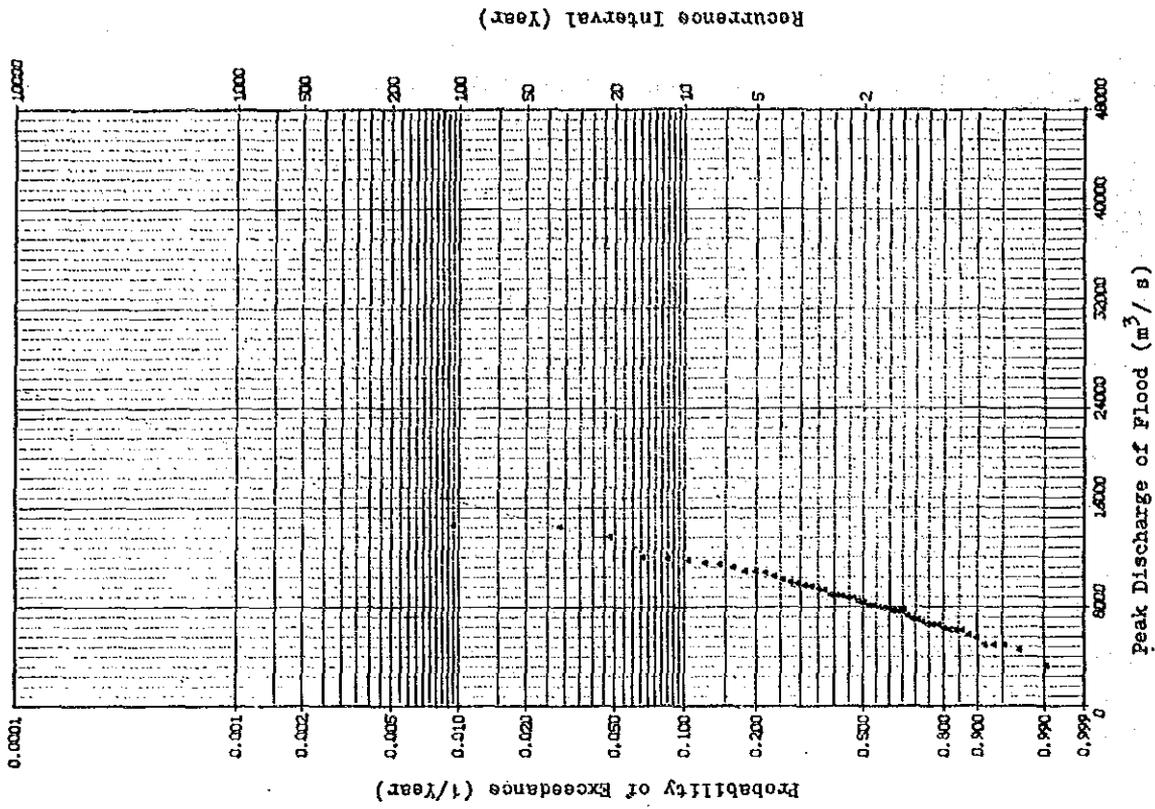


Fig. 4-24(2) Gumbel Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1931 - 1983)

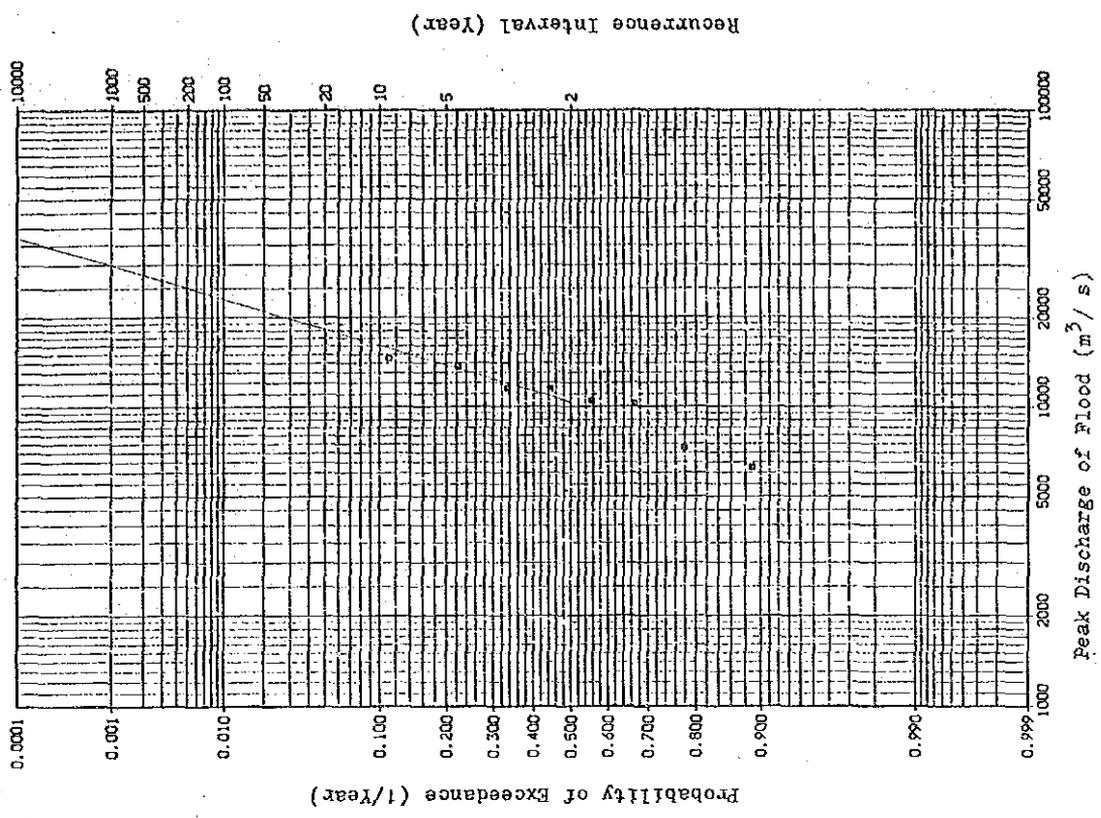


Fig. 4-24(4) Thomas Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1976 - 1983)

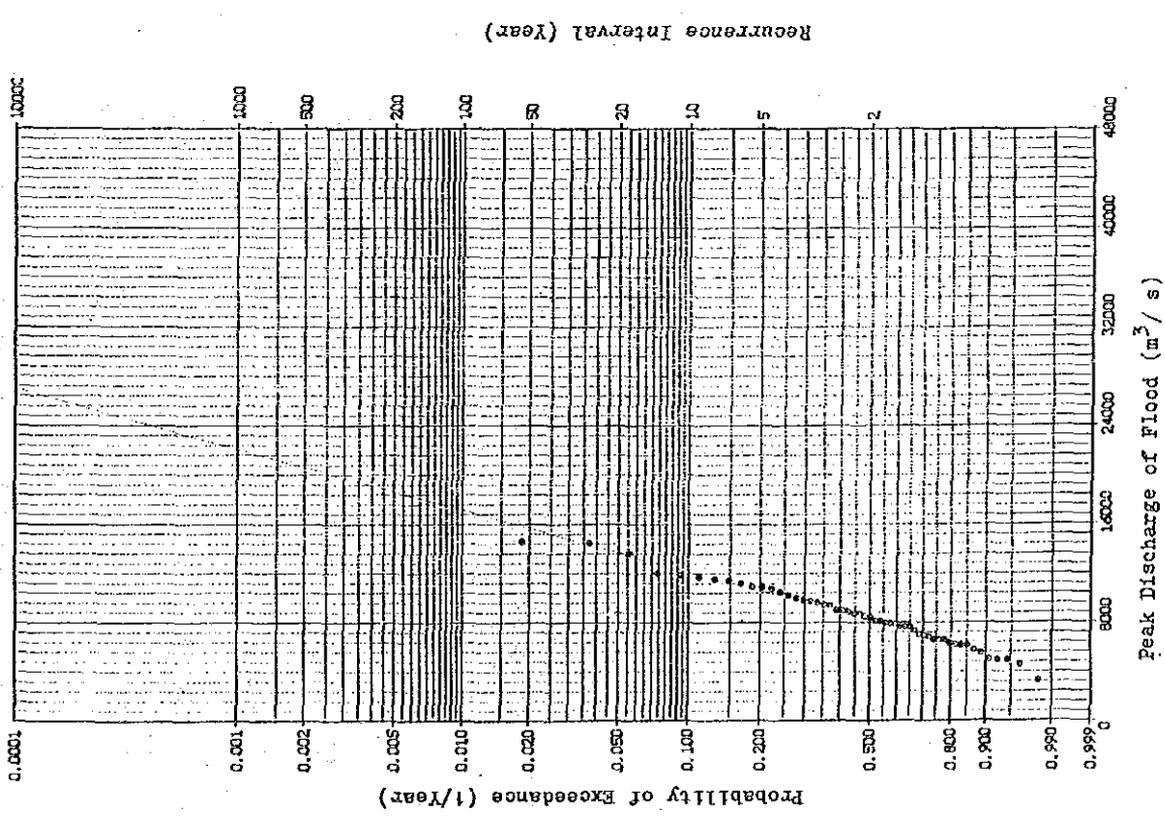


Fig. 4-24(3) Gumbel-Chow Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1931 - 1983)

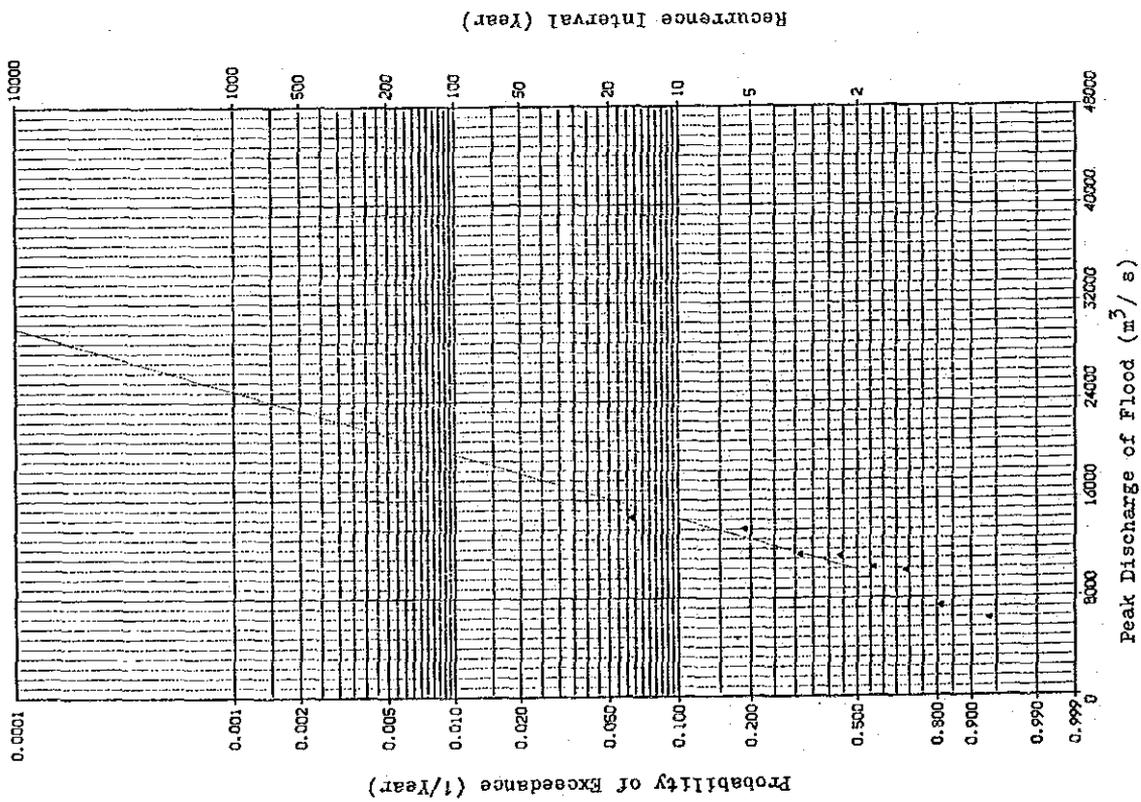


Fig. 4-24(5) Gumbel Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1976 - 1983)

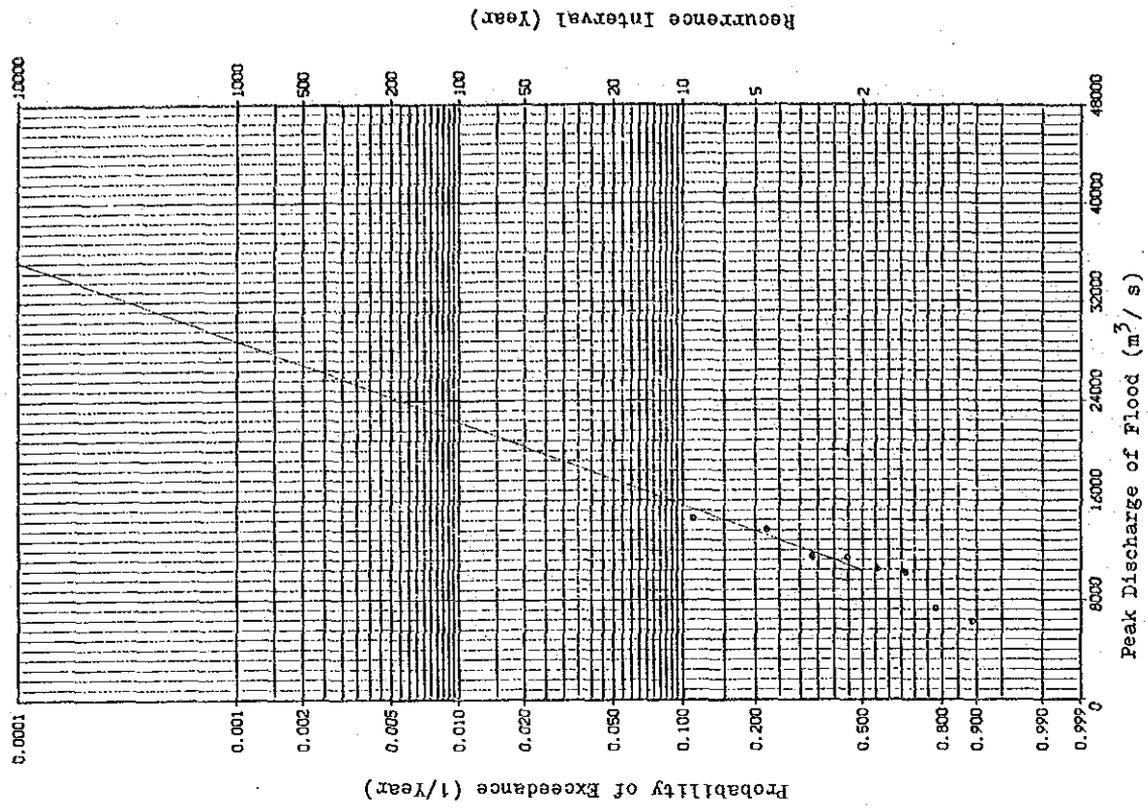


Fig. 4-24(6) Gumbel-Chow Distribution of Annual Peak Discharge  
Santaro (1976 - 1983)

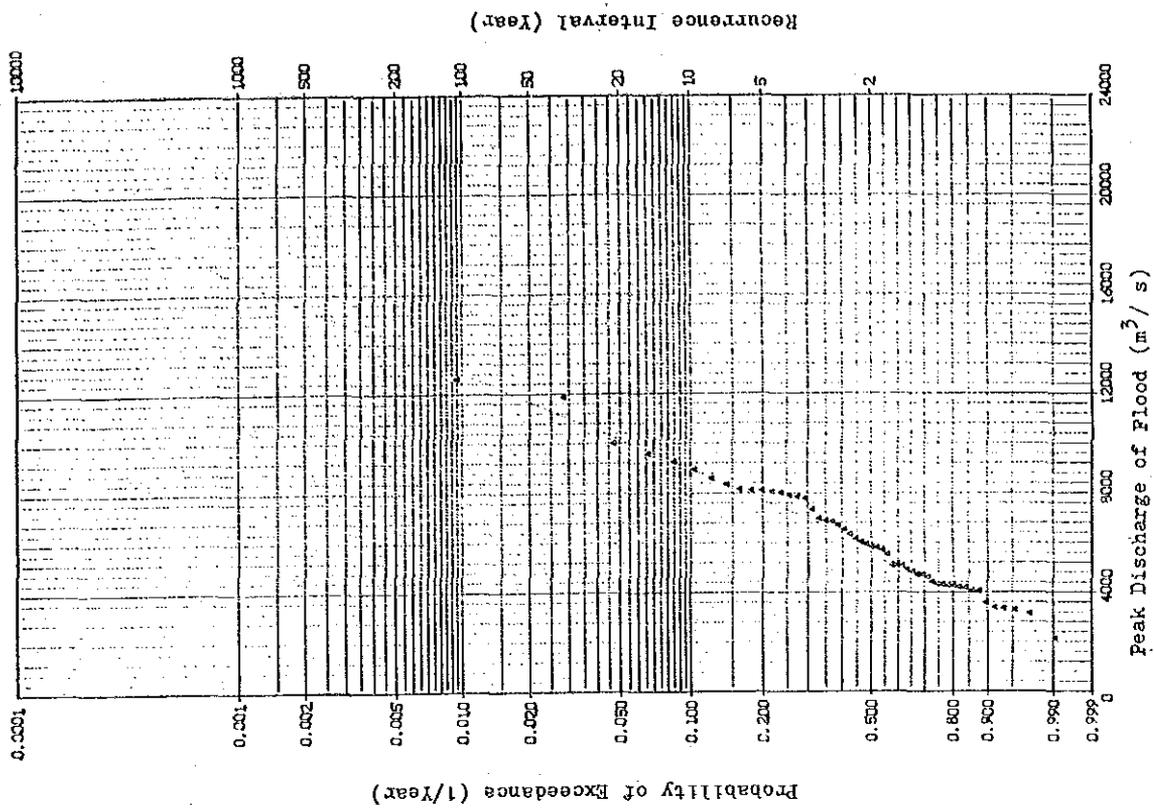


Fig. 4-25(2) Gumbel Distribution of Annual Peak Discharge  
Ashaniga (1931 - 1983)

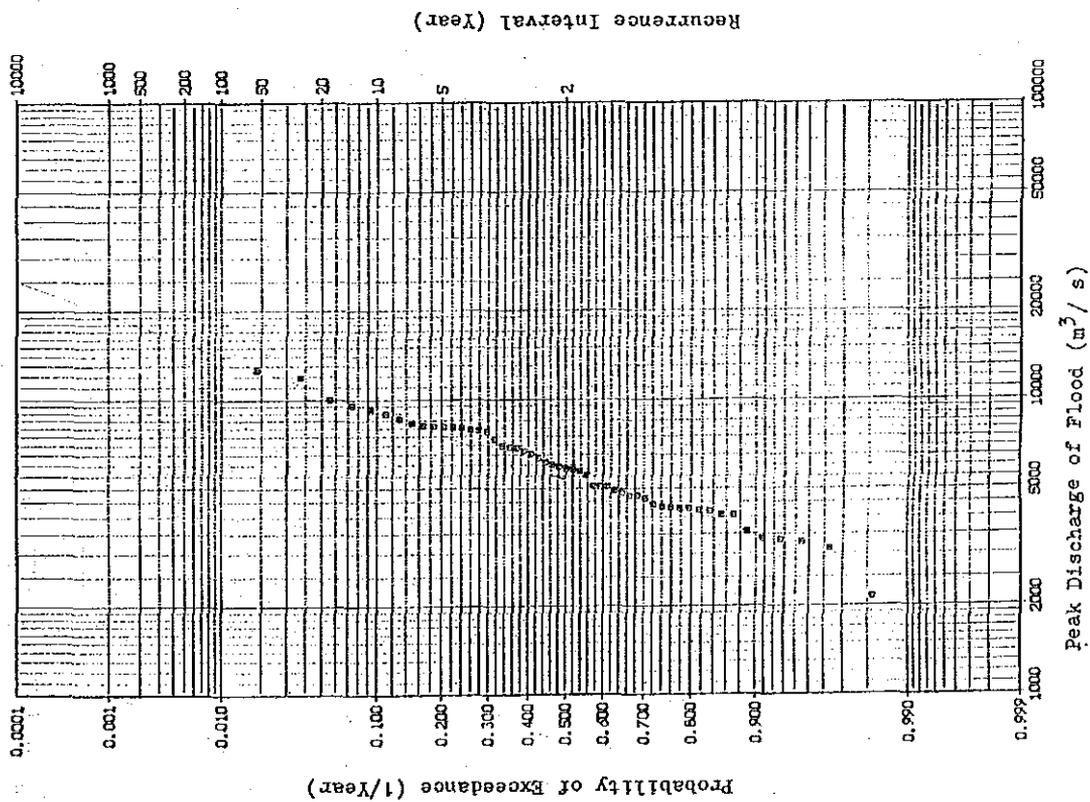


Fig. 4-25(1) Thomas Distribution of Annual Peak Discharge  
Ashaniga (1931 - 1983)

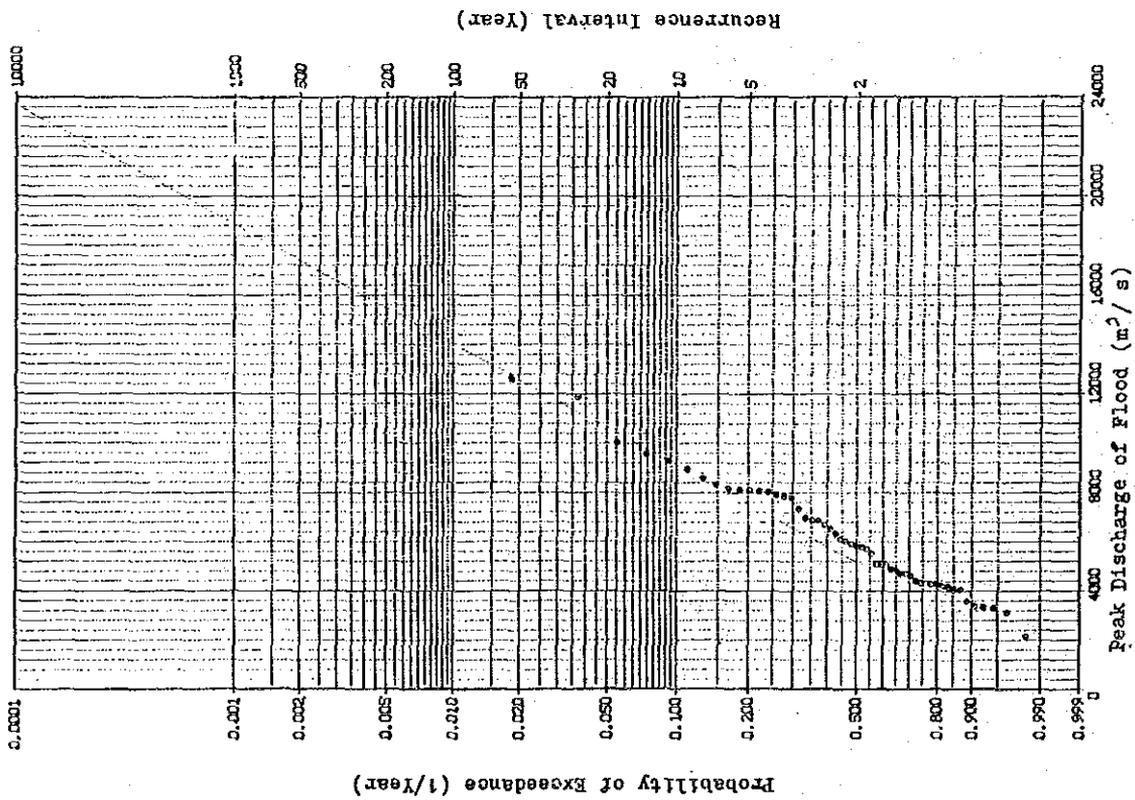


Fig. 4-25(3) Gumbel-Chow Distribution of Annual Peak Discharge  
Ashananga (1931 - 1983)

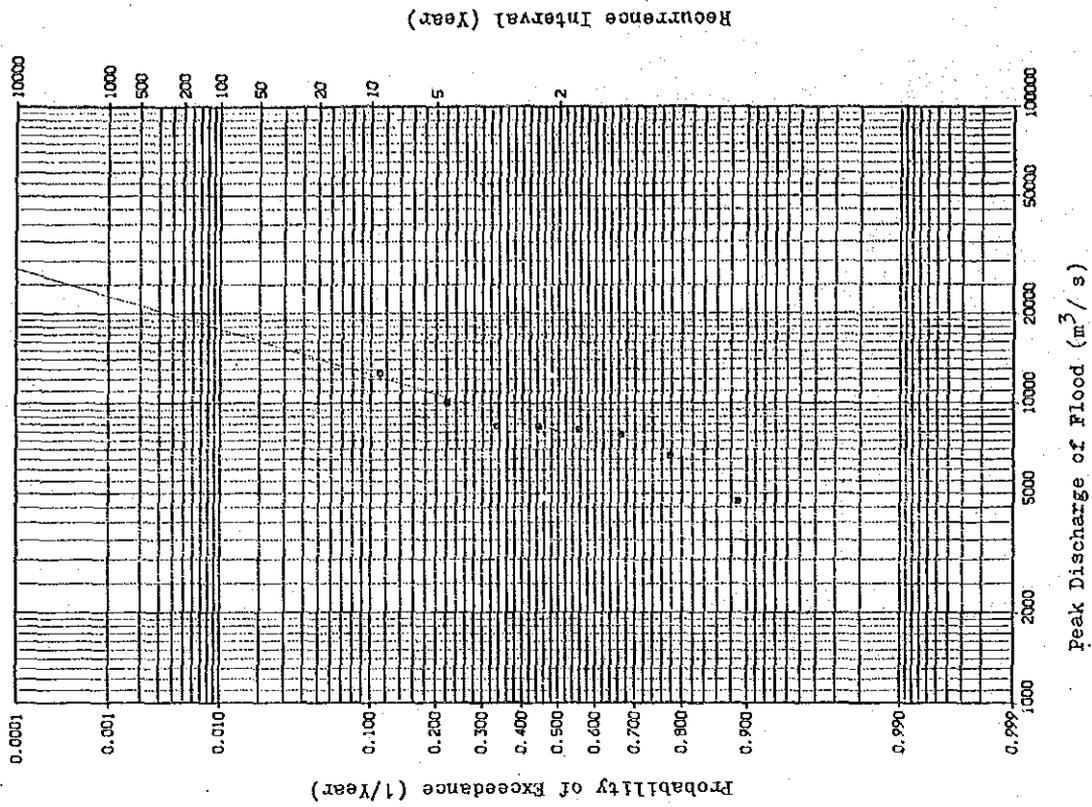


Fig. 4-25(4) Thomas Distribution of Annual Peak Discharge  
Ashananga (1976 - 1983)

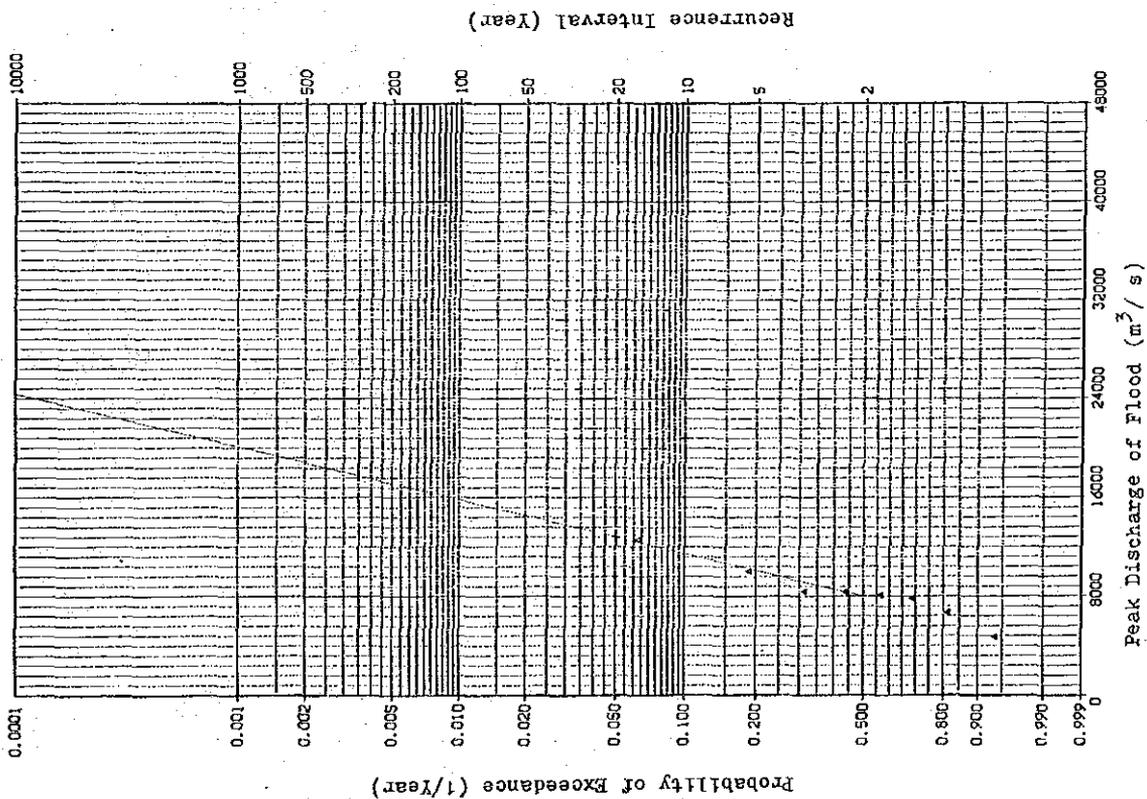


Fig. 4-25(5) Gumbel Distribution of Annual Peak Discharge Ashananga (1976 - 1983)

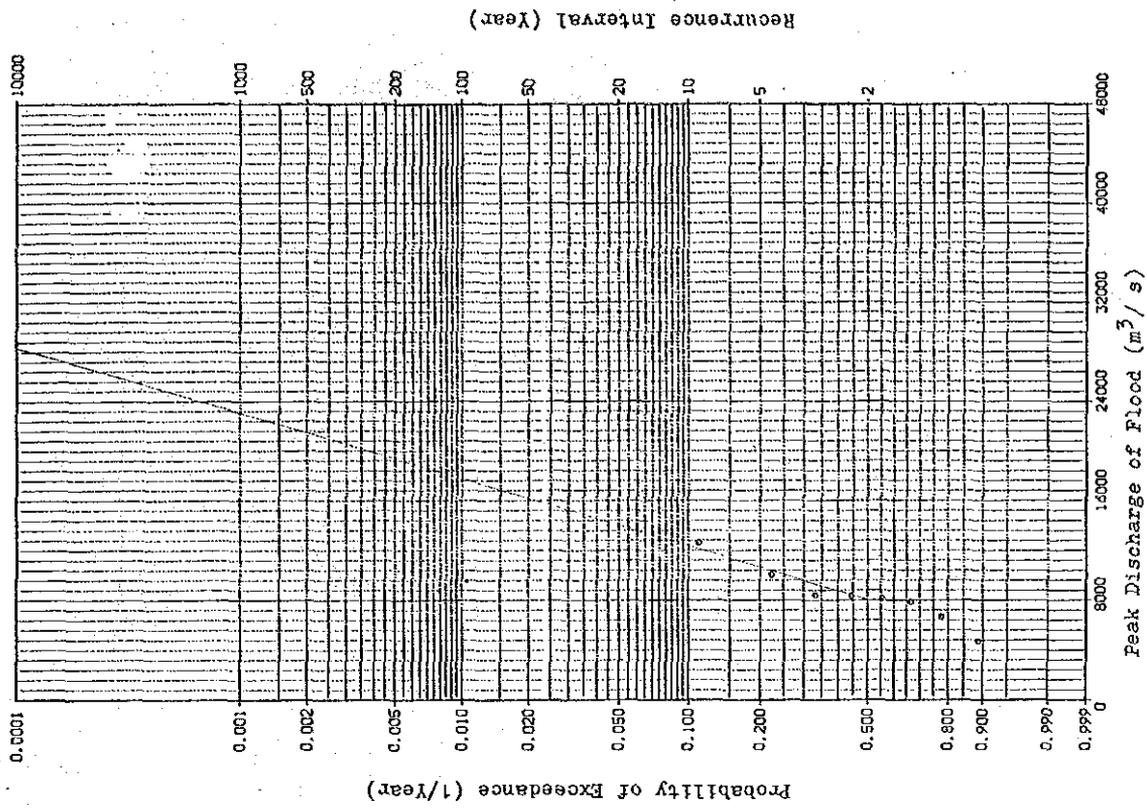
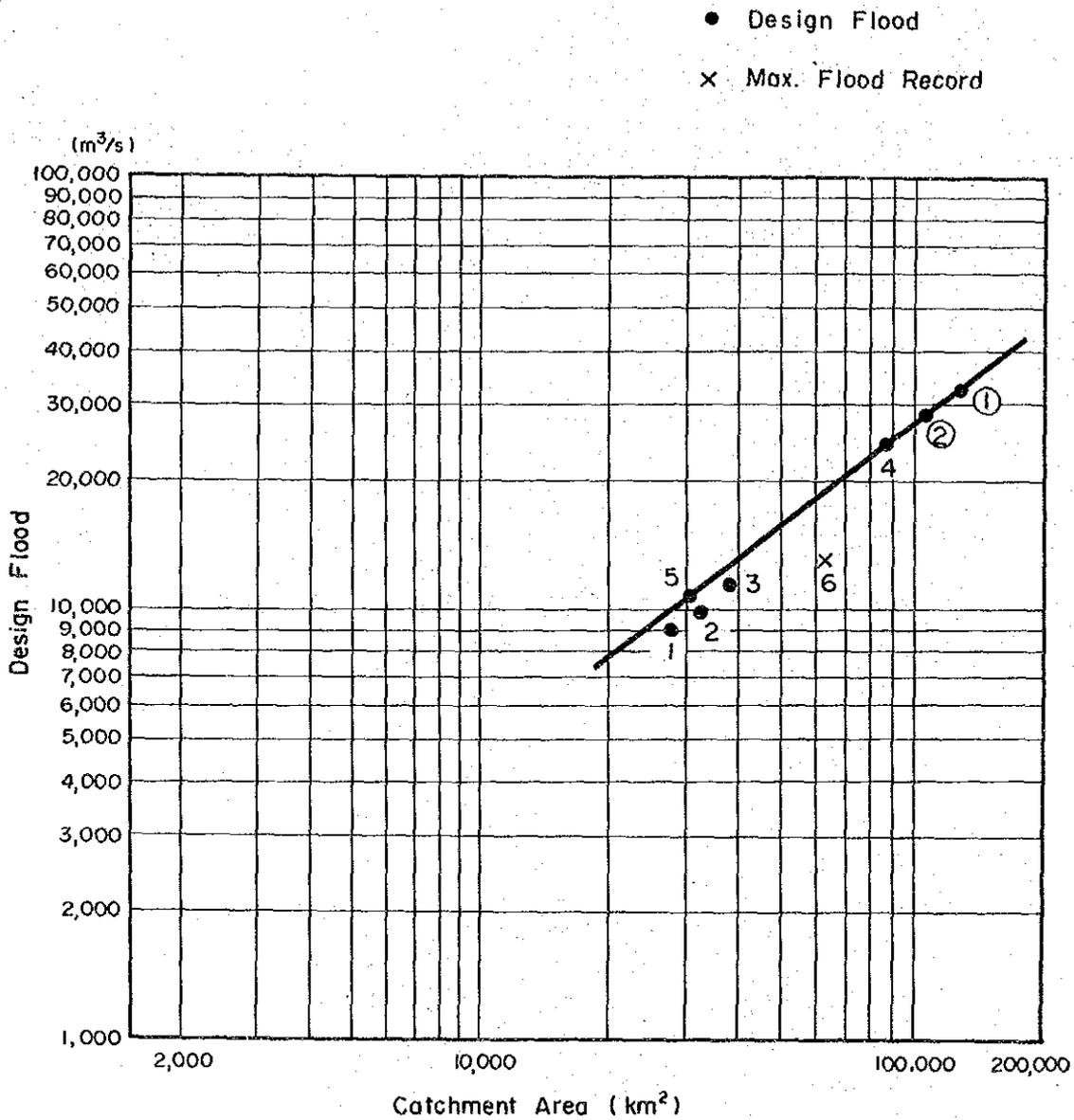


Fig. 4-25(6) Gumbel-Chow Distribution of Annual Peak Discharge Ashananga (1976 - 1983)



- |                          |                           |                      |                            |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. ● Balsas ( Peru )     | 8,900 (m <sup>3</sup> /s) | ① Tambo Puerto Prado | 32,000 (m <sup>3</sup> /s) |
| 2. ● Chadin ( )          | 9,950                     | ② Ene Paquitzapango  | 28,000                     |
| 3. ● Cumba ( )           | 11,500                    |                      |                            |
| 4. ● Capivara ( Brazil ) | 24,500                    |                      |                            |
| 5. ● Foz Do Areia ( )    | 11,000                    |                      |                            |
| 6. × Estereito ( )       | 13,000                    |                      |                            |

Fig. 4-26 Design Flood Envelope Curve (10,000 years)

Table 4-27 Design Flood at Existing Dam

Project Name (Country)	Type *	Design Flood ( $m^3/s$ )	Catchment Area ( $km^2$ )	Return Period (Year)
Balsas (Peru)	R	8,900	29,050	10,000
Chadin (Peru)	R	9,950	33,300	"
Cumba (Peru)	R	11,500	38,800	"
Capivara (Brazil)	E	24,500	85,000	"
Foz Do Areia (Brazil)	R	11,000	29,800	"
Estereito (Brazil)	R	13,000	62,140	"

\* R: Rockfill Dam, E: Earthfill Dam

Table 4-28 Time of Flood Concentration (Rational Formula)

	L (Km)	H (Km)	w (Km/hr)	t (day)
Santaro	700	5.275	3.8	7.6
Ashaninga	690	5.257	3.9	7.5

Table 4-29 Peak Discharge Based on Rational Formula

(1/Year) Recurrence Interval	Santaro			Ashaniga		
	(mm) Probable Rainfall	(mm/hr) Rainfall Intensity	(m <sup>3</sup> /s) Peak Discharge	(mm) Probable Rainfall	(mm/hr) Rainfall Intensity	(m <sup>3</sup> /s) Peak Discharge
1/2	79	0.4702	13,000	79	0.4702	11,000
1/5	94	0.5595	16,000	96	0.5714	14,000
1/10	104	0.6190	17,000	106	0.6310	15,000
1/20	113	0.6726	19,000	116	0.6905	17,000
1/50	126	0.7500	21,000	129	0.7679	18,000
1/100	136	0.8095	23,000	140	0.8333	20,000
1/200	145	0.8631	24,000	150	0.8929	21,000
1/500	157	0.9345	26,000	163	0.9702	23,000
1/1000	167	0.9940	28,000	173	1.0298	25,000
1/10000	198	1.1786	33,000	207	1.2321	30,000

Table 4-30 Comparison of Design Flood

(m<sup>3</sup>/s)

Method Project Site	Run-off Probability Analysis		Envelope Curve	Rational Formula	Adopted
	'31 - '83	'76 - '83			
Tambo Puerto Prado	27,500	37,200	32,000	33,000	37,200
Ene Paquitzapango	25,200	28,400	28,000	30,000	28,400

Note: Run-off Probability Analysis and Rational Formula are based on 10,000 year recurrence interval.