

El Chaparral Dam Site

A part of 1:100,000 Mapa Geologico de la Republica de El Salvador (1978)

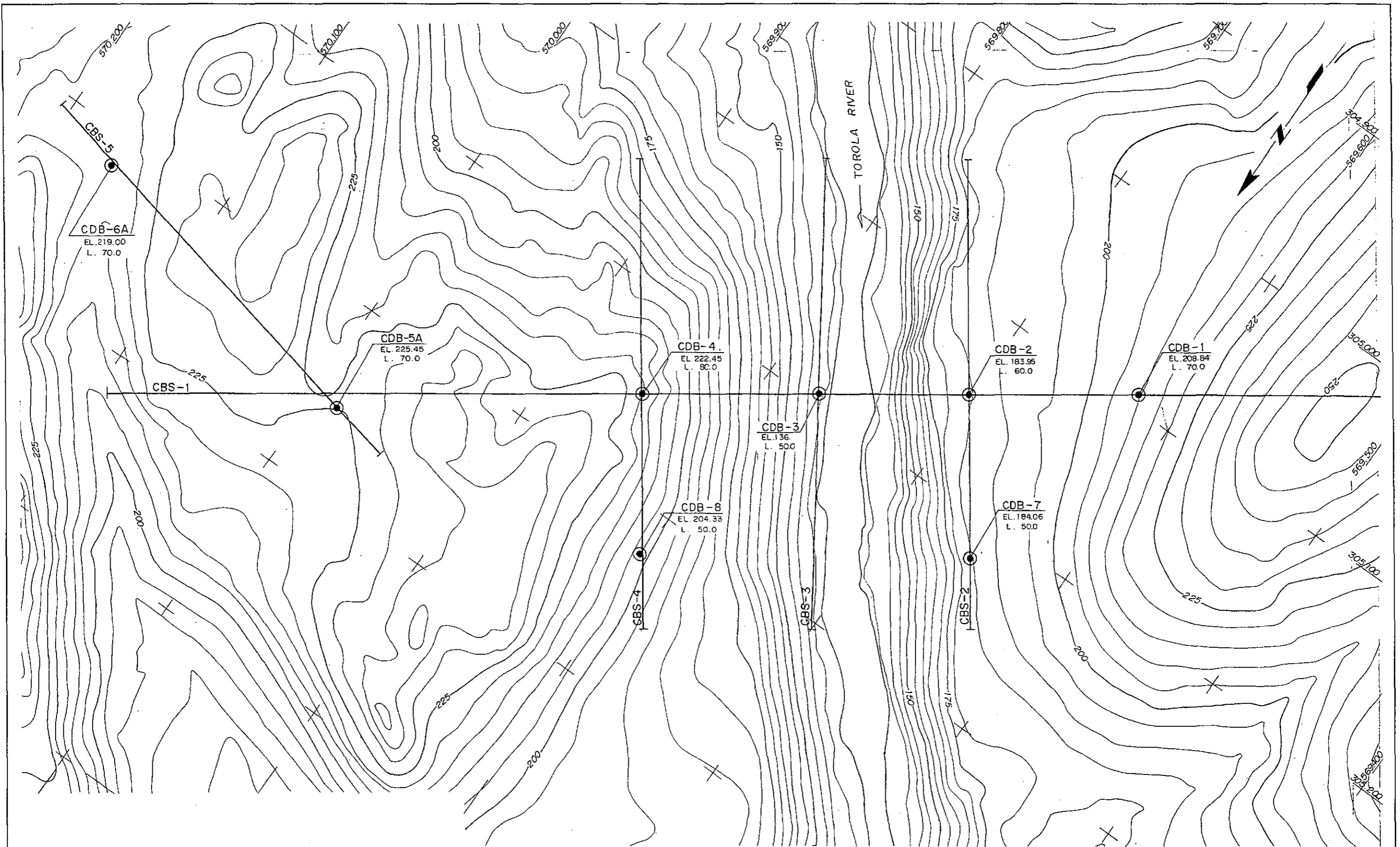
Cacahuatique Mountain \triangle

LEGEND



Terciario Tertiär	Pleistoceno Pleistozän	Formación CUSCATLÁN Folge	sl
		Formación BALSAMO Folge	b1
	Plioceno Pliozän	Formación CHALATENANGO Folge	
		Formación MORAZÁN Folge	
	Mioceno Miozän		
	Oligoceno Oligozän		
	Eoceno Eozän		
Paleoceno Paleozän			



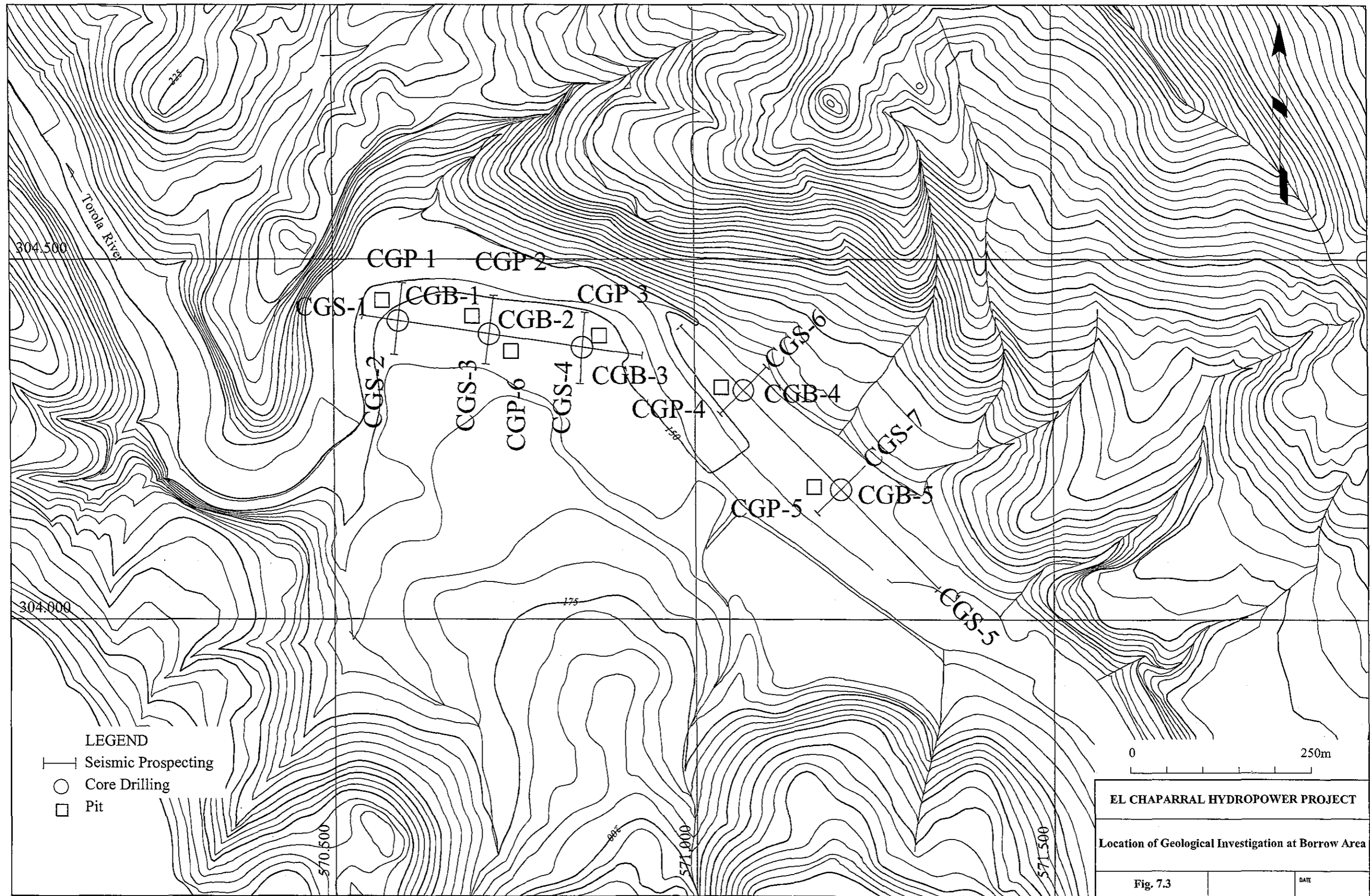
EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT	
GEOLOGICAL MAP OF PROJECT AREA	
Fig. 7.1	DATE

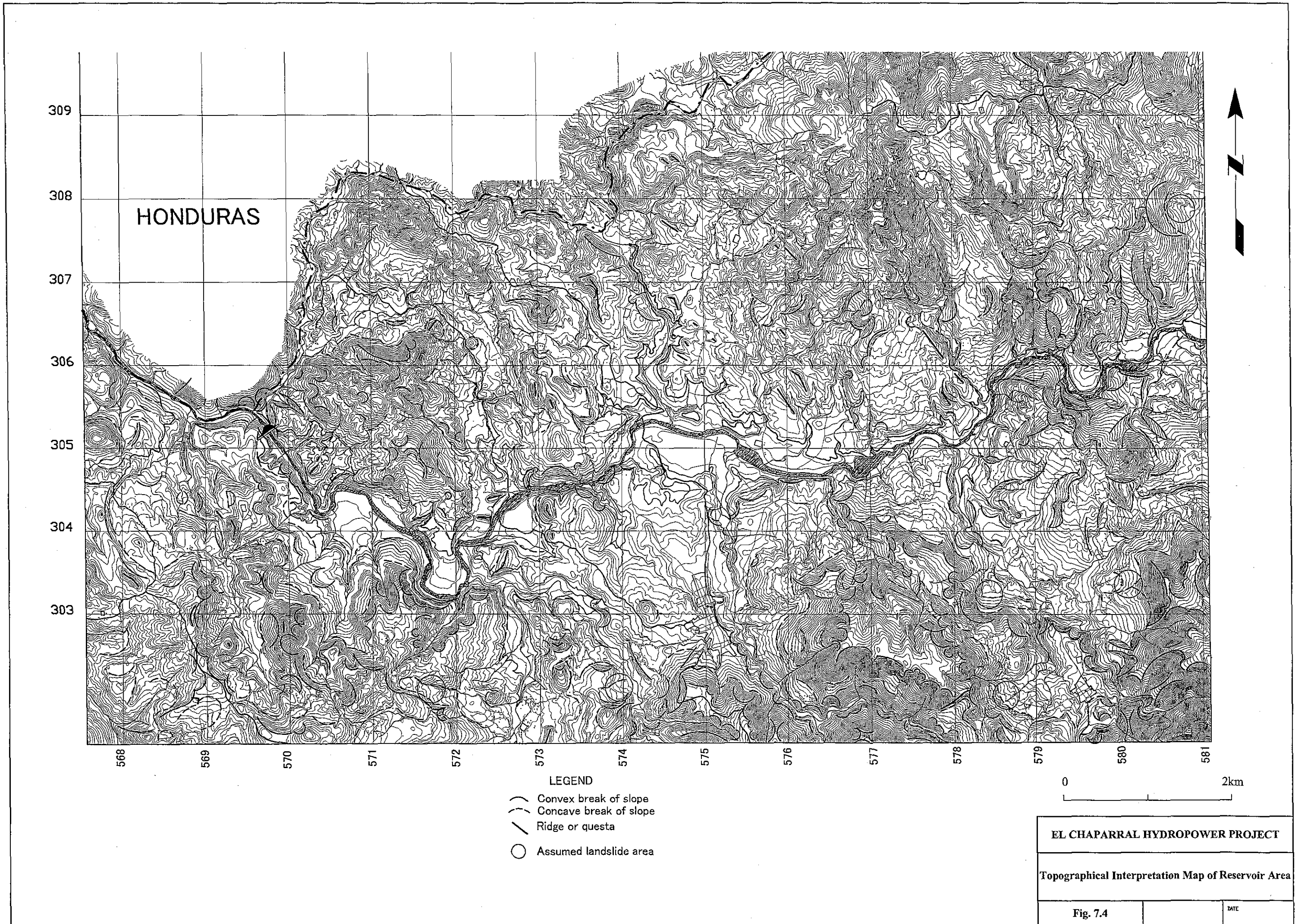


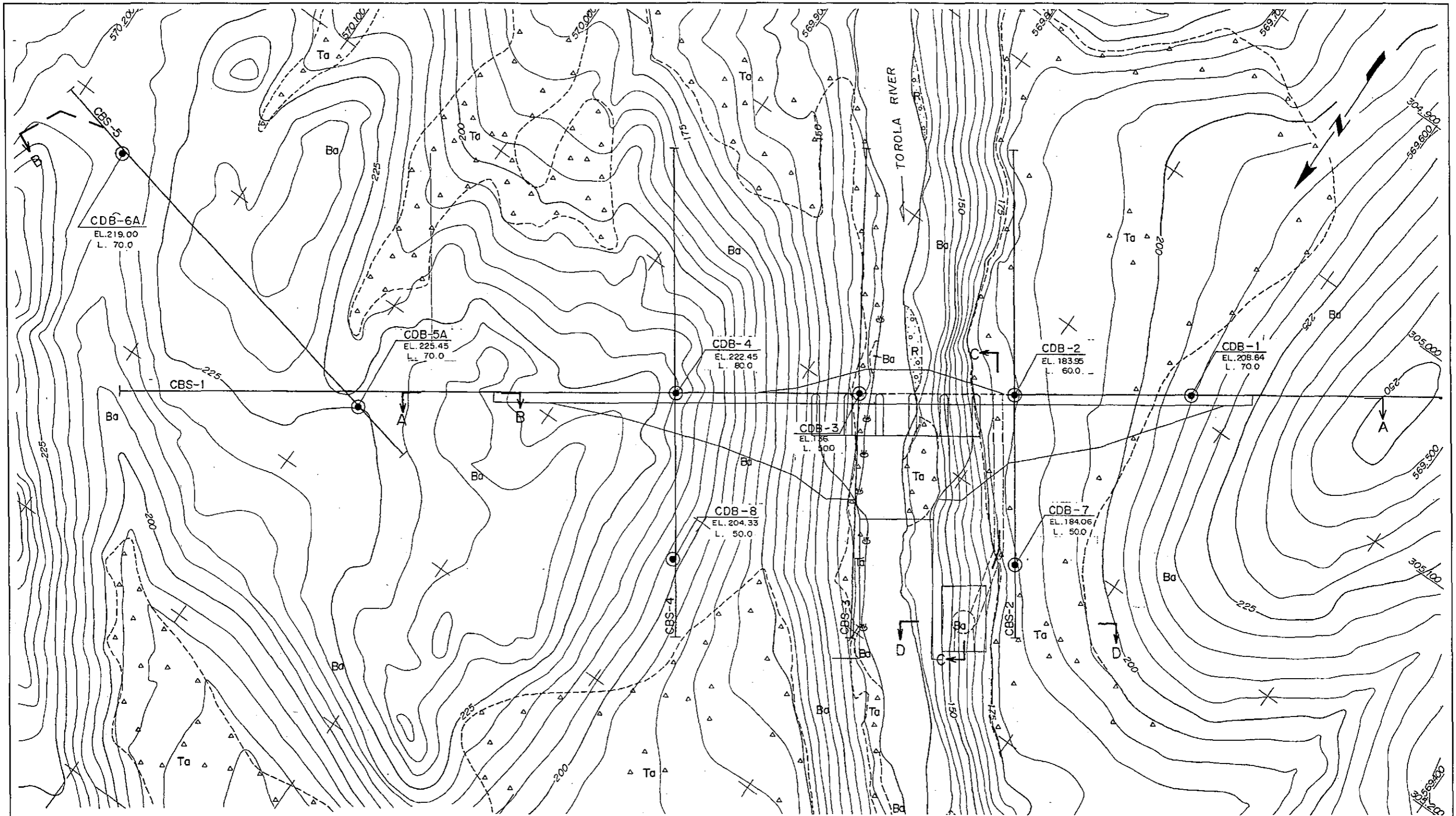
LEGEND

-  Seismic Prospecting Line
-  Core Boring
- EL. Elevation in m
- L. Length in m

EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT	
LOCATION OF GEOLOGICAL INVESTIGATION AT DAM SITE	
Fig. 7.2	DATE







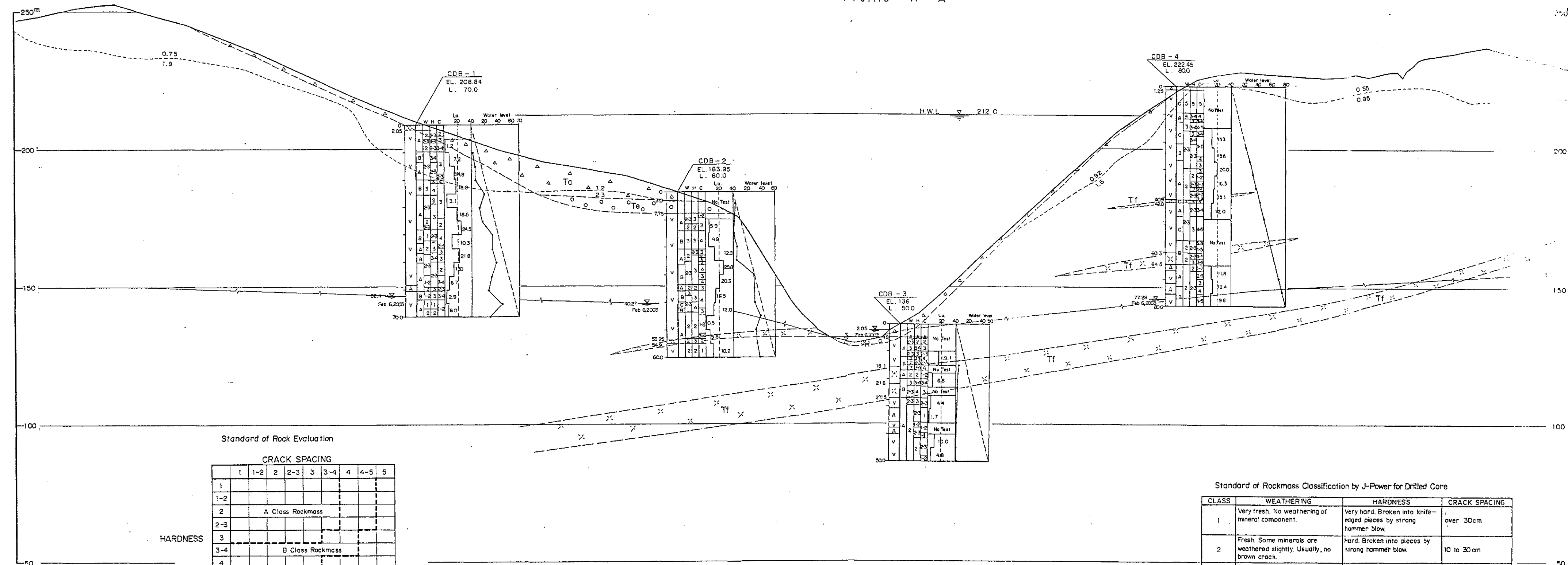
LEGEND

- Talus deposit and residual soil
- Recent river deposit
- Basalt
- Geologic boundary
- Seismic Prospecting Line
- Core Boring
EL. Elevation in m
L. Length in m
- Spring
- Location of Profile

0 100m

EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT	
GEOLOGICAL PLAN OF DAM SITE	
Fig. 7.5	DATE

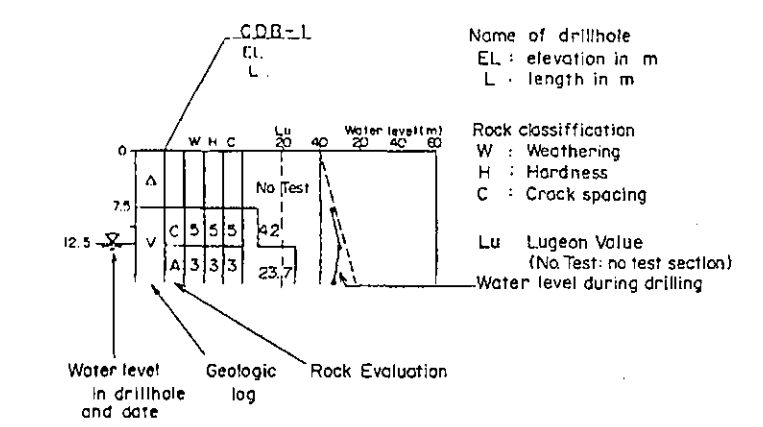
Profile A - A



LEGEND

- Talus deposits and residual soil
- Recent river deposit
- Terrace deposit
- Basalt
- Tuff
- Geologic boundary
- Ground water table
- Velocity layers and their velocity (km/sec)

(Log of Drillhole)



Standard of Rock Evaluation

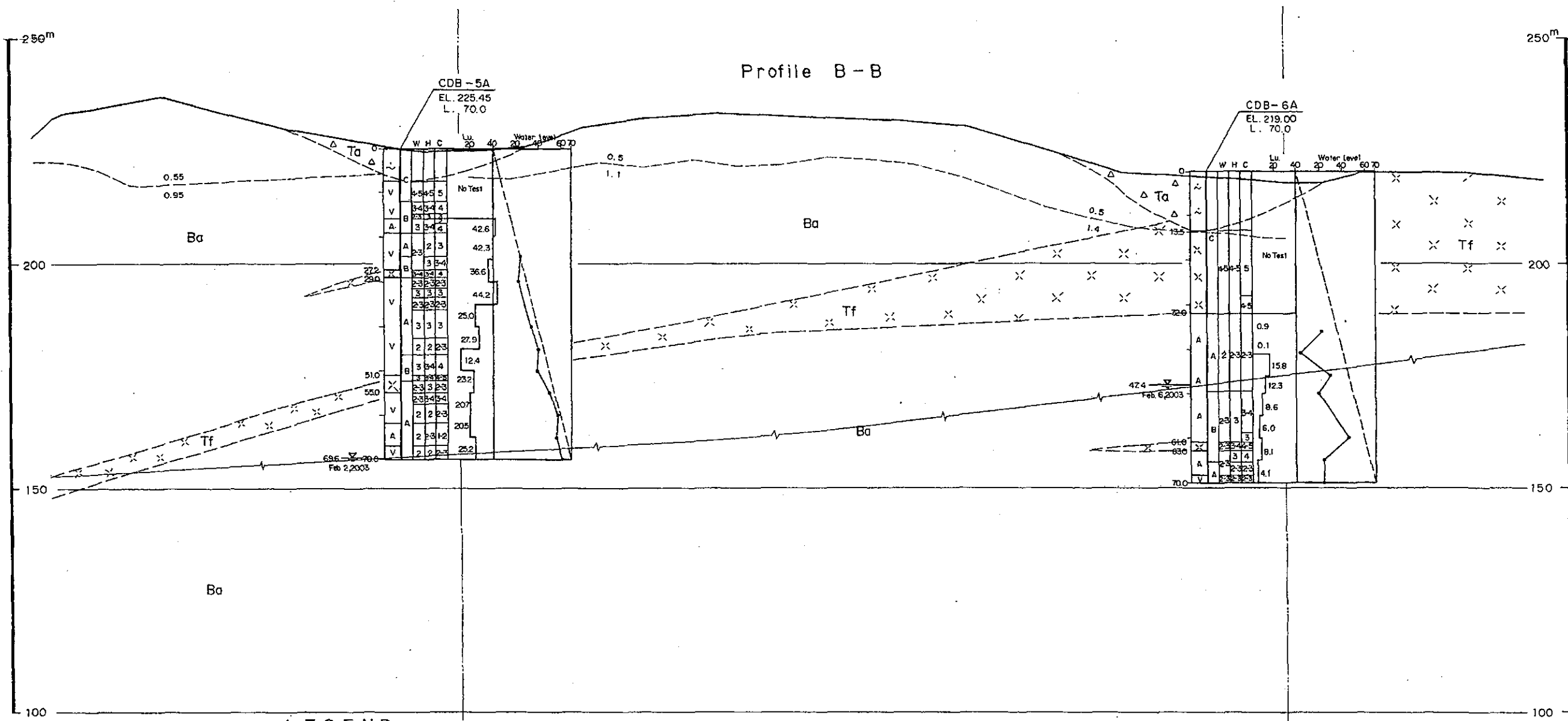
HARDNESS	CRACK SPACING				
	1	1-2	2-3	3-4	4-5
1					
1-2					
2	A Class Rockmass				
2-3					
3	B Class Rockmass				
3-4					
4	C Class Rockmass				
4-5					
5					

Standard of Rockmass Classification by J-Power for Drilled Core

CLASS	WEATHERING	HARDNESS	CRACK SPACING
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.	over 30cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually, no brown crack.	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	10 to 30 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered mineral.	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	5 to 10cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	Very brittle. Easily broken into pieces by slight hammer blow.	1 to 5cm
5	Strongly weathered. Most of minerals are weathered and altered to secondary minerals.	Soft. Able to dig with hammer.	under 1cm



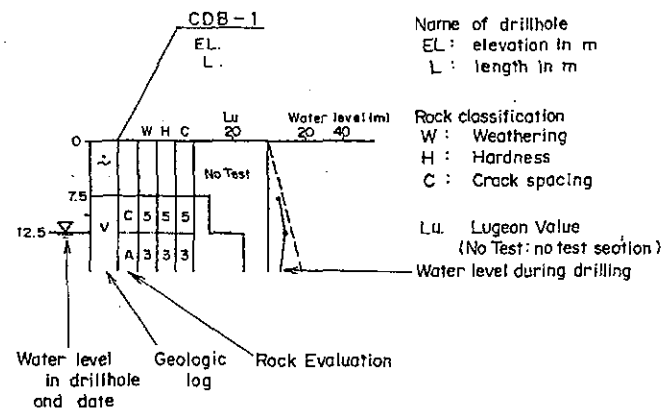
EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT
 GEOLOGICAL PROFILE OF DAM SITE
 Fig. 7.6



LEGEND

- Talus deposit and residual soil.
- Basalt
- Tuff
- Geologic boundary
- Groundwater table
- Velocity layers and their velocity (km/sec.)

(Log of Drillehole)



- Soils with few gravels
- Basalt
- Agglomeratic basalt
- Tuff
- Lapillil Tuff

Standard of Rockmass Classification by J-Power for Drilled Core

CLASS	WEATHERING	HARDNESS	CRACK SPACING
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.	over 30cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually, no brown crack.	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	10 to 30cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered mineral.	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	5 to 10cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	Very brittle. Easily broken into pieces by slight hammer blow.	1 to 5cm
5	Strongly weathered. Most of minerals are weathered and altered to secondary minerals.	Soft. Able to dig with hammer.	under 1cm

Standard of Rock Evaluation
CRACK SPACING

	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
1									
1-2									
2		A Class Rockmass							
2-3									
3									
3-4		B Class Rockmass							
4									
4-5		C Class Rockmass							
5									

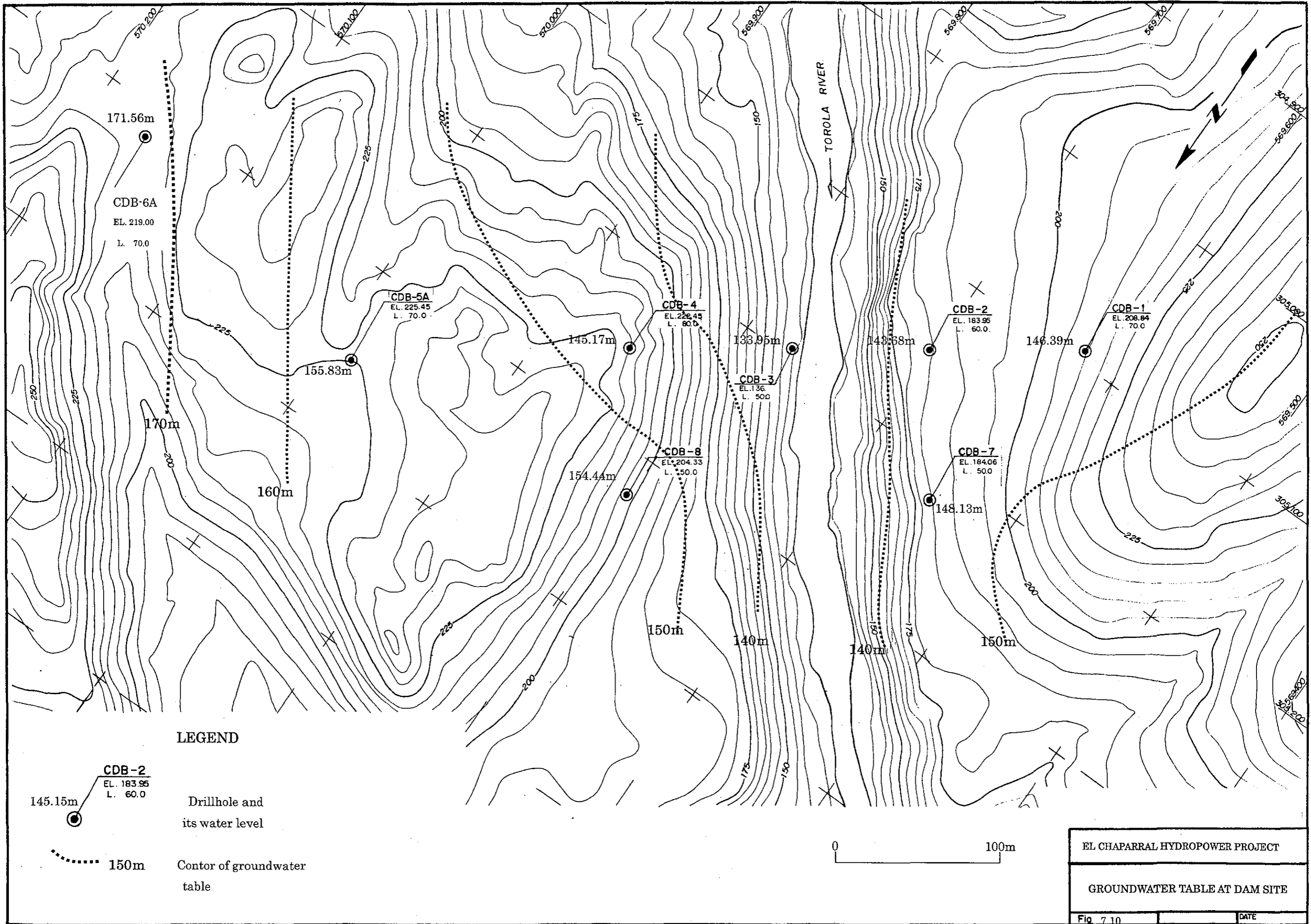
HARDNESS



EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT

GEOLOGICAL PROFILE OF THE RIGHT BANK

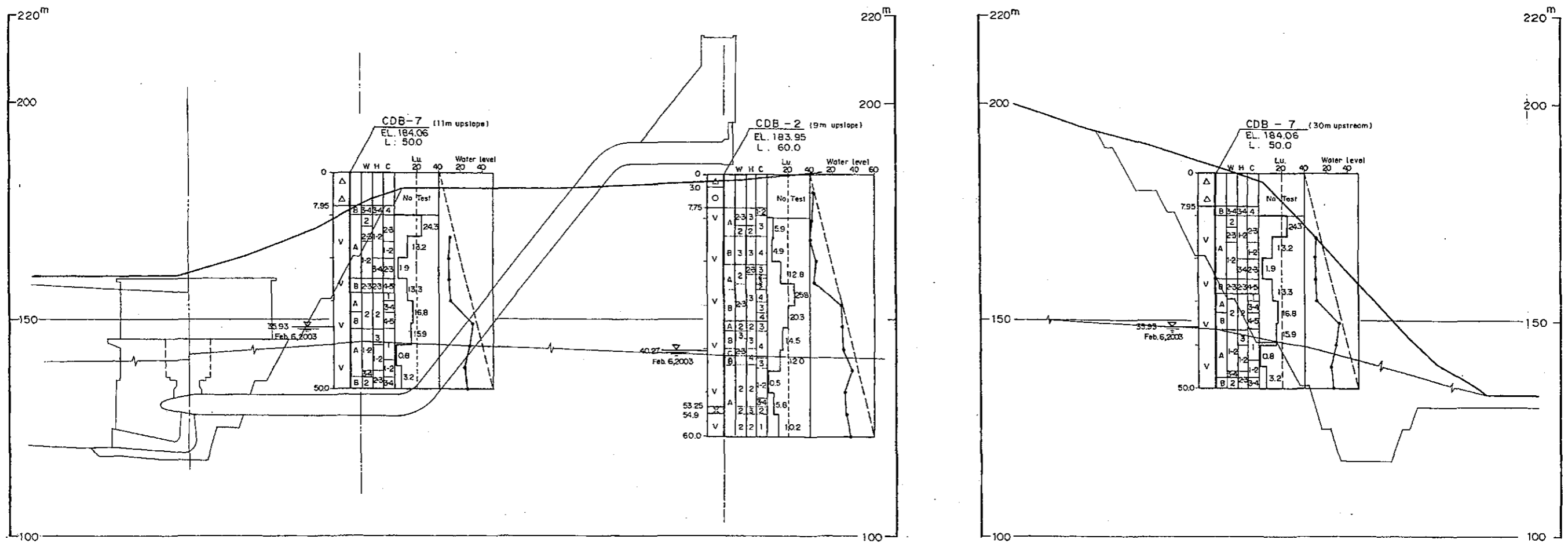
Fig. 7.7 DATE



EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT
 GROUNDWATER TABLE AT DAM SITE
 Fig 7 10 DATE

Profile C-C

Profile D-D



LEGEND

(Log of Drillehole)

Name of drillhole
 EL: elevation in m
 L: length in m

Rock classification
 W: Weathering
 H: Hardness
 C: Crack spacing

Lu: Lugeon Value
 (No Test: no test section)
 Water level during drilling

Soils with angular gravels (Δ)
Soils with round gravels (○)
Basalt (V)
Agglomeratic basalt (A)
Tuff (X)

Talus deposit and residual soil. (Δ/△/△)
Basalt (Ba)
Tuff (X/Tf/X)

Geologic boundary (dashed line)
 Groundwater table (solid line with 'x' marks)
 Velocity layers and their velocity (km/sec) (0.75, 1.9)

Water level in drillhole and date
 Geologic log
 Rock Evaluation

Standard of Rockmass Classification by J-Power for Drilled Core

CLASS	WEATHERING	HARDNESS	CRACK SPACING
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.	over 30cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually, no brown crack.	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	10 to 30cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered mineral.	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	5 to 10cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	Very brittle. Easily broken into pieces by slight hammer blow.	1 to 5cm
5	Strongly weathered. Most of minerals are weathered and altered to secondary minerals.	Soft. Able to dig with hammer.	under 1cm

Standard of Rock Evaluation

	CRACK SPACING				
	1	1-2	2	2-3	3
1					
1-2					
2	A Class Rockmass				
2-3					
3	B Class Rockmass				
3-4					
4	C Class Rockmass				
4-5					
5					



EL CHAPARRAL HYDROPOWER PROJECT

GEOLOGICAL PROFILE OF POWER STATION SITE

Fig. 7.12

DATE

8. 地震

目次

8.	地震	8-1
8.1	概要	8-1
8.2	地震活動性	8-1
8.2.1	エルサルバドル国周辺地域の地震活動	8-1
8.2.2	計画地点周辺域の歴史地震	8-3
8.3	地震危険度解析	8-6
8.3.1	確率論的手法に基づく地震危険度解析	8-6
8.3.2	ダム地点の最大加速度の推定	8-8
8.3.3	設計水平震度	8-14

8. 地震

8.1 概要

エルサルバドル国は環太平洋地震帯に位置し、世界でも有数の地震多発地帯である。同国は過去に多くの地震災害に見舞われているが、最近の主な地震災害を Table 8.1 に示す。計画地点はこのように地震活動度の高い地域にあるため、水力発電施設の設計においては、地震に対して十分な評価検討を行い、適切な配慮を計ることが肝要である。

本章では、主要な土木構造物であるダムを設計する際の、地震荷重を評価するための基本検討として、確率論的手法に基づく地震危険度解析を行い、計画地点における最大加速度値の推定及び設計震度の設定を行った。

Table 8.1 Recent Destructive Earthquakes in El Salvador

Date	EPICENTER	Magnitude	Damage
6 May, 1951	Jucuapa y Chinameca	6.2	400 dead
3 May, 1965	San Salvador	6.0	125 dead 4,000 houses destroyed
19 June, 1982	Pacific Ocean (Plate Subduction Zone)	7.0	8 dead
10 Oct, 1986	San Salvador	5.4	1,500 dead 60,000 houses destroyed
13 Jan, 2001	Pacific Ocean (Plate Subduction Zone)	7.6	944 dead 108,261 houses destroyed 445 landslides
13 Feb, 2001	San Vicente	6.7	315 dead 41,302 houses destroyed 71 landslides

Source Book : Cronología de sismos destructivos en El Salvador : Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG, El Salvador)

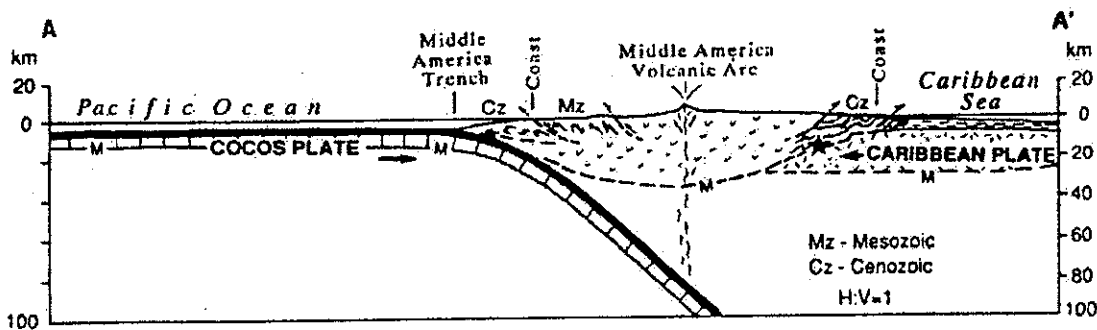
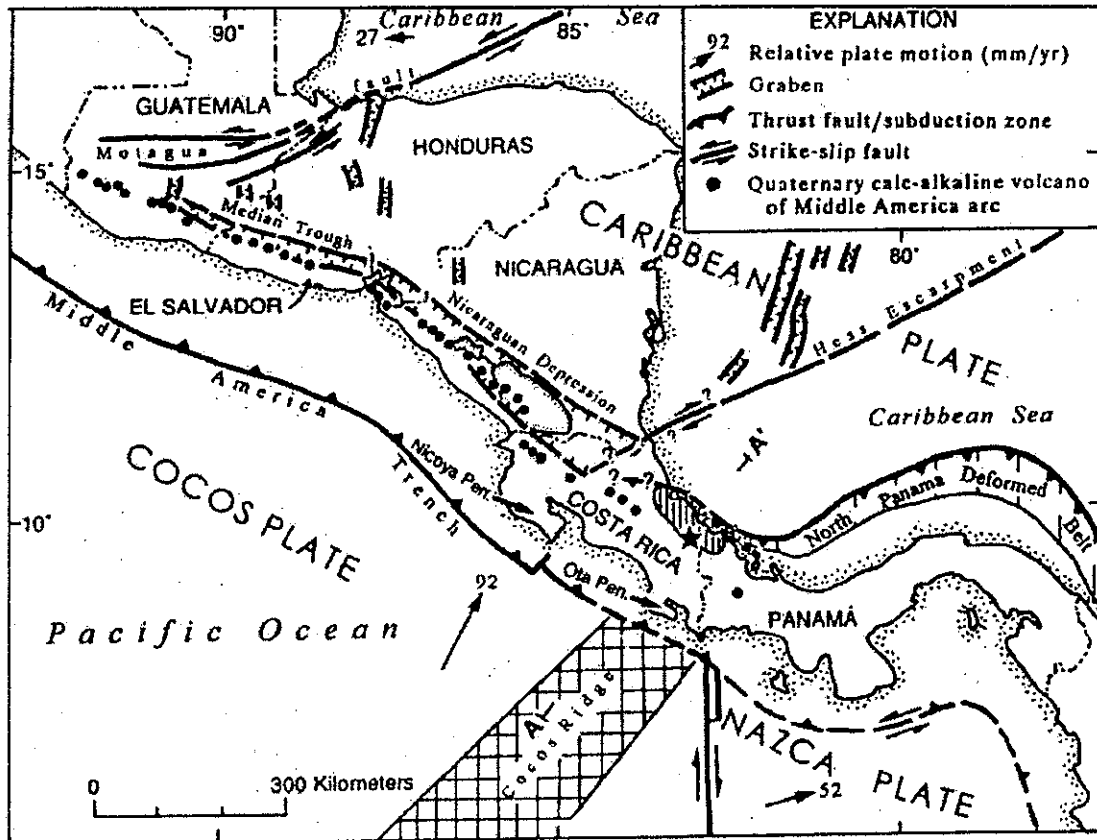
8.2 地震活動性

8.2.1 エルサルバドル国周辺地域の地震活動

エルサルバドル国南方の太平洋近海には、海岸線と平行に中央アメリカ海溝がある。この海溝はココスプレートとカリビアンプレートとの境界であり、この境界でココスプレートは南西から北東の方向に 92 mm/year と比較的大きな移動速度で、急角度に沈み込んでいる (Fig.8.1)。このプレートの沈み込む動きが多くの地震を発生させる第一の原因であり、これにより大規模地震 (マグニチュード 8 以上) が発生する可能性が生じる。(2001 年 1 月 13 日に発生した地震がこのタイプである。)

エルサルバドル国を東西に活火山帯が走っているが、この火山活動もプレートの沈み込みが原因となって引き起こされているものと考えられる。またこの沈み込みによって、中

中央アメリカ海溝の陸側の地殻が二次的に動いた結果、地溝や断層ができており、この動きが地震を発生させる第二の原因となっている。この原因による地震は、上記の地震よりはエネルギー規模の小さなもの（マグニチュード 6.5 以下の地震）であるが、震源が浅く陸地でも発生することから、局所的には大きな揺れが起こり大被害をもたらす場合もある。

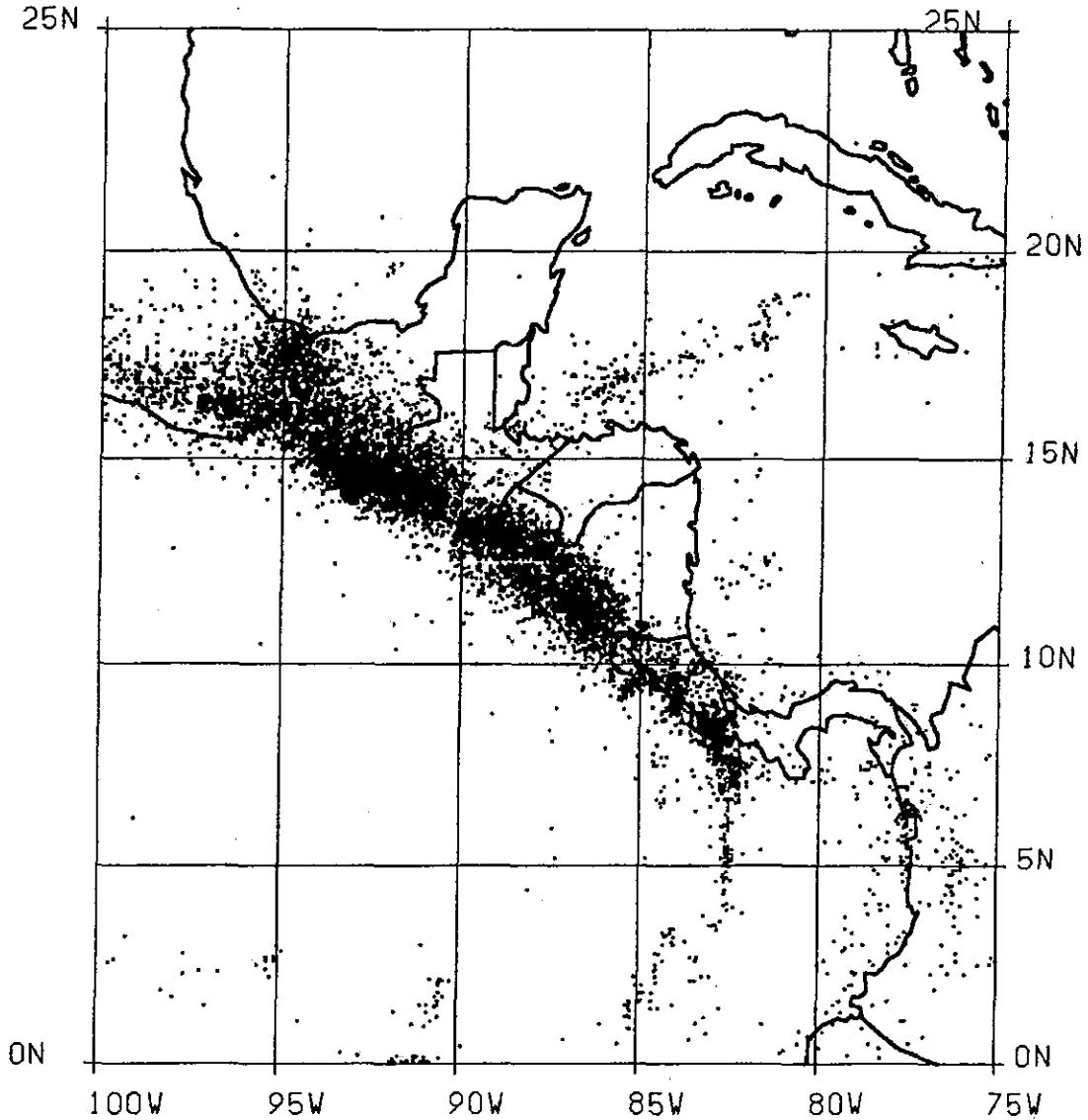


Source Book : The January 13, 2001 Off the Coast of El Salvador Earthquake:
Japan Society of Civil Engineers (JSCE)

Fig.8.1 Seismo-Tectonics in Central-South America

8.2.2 計画地点周辺域の歴史地震

米国のデータベース (U.S.Department of the Interior, U.S.Geological Survey(USGS)、National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)) から得られた過去 100 年間に計画地点から半径 1,000 km 以内で発生した地震の震央を、Fig.8.2 に示す。



Source Book : U.S.Department of the Interior, U.S.Geological Survey(USGS), National Oceanic & Atmospheric Administration(NOAA)

Fig.8.2 Epicenters of Historical Earthquakes around EL Salvador (1902-2002)

図から明らかなように、プレート境界及びその陸地側で地震が発生していることが解る。この内、計画地点から半径 200 km 以内で発生したマグニチュード 6.0 以上の地震の一覧を Table 8.2 に示す。この内、最大のマグニチュードを記録した地震は 1915 年 9 月 7 日に発生した $M_b = 7.5$ ・深さ 80 km ・震央距離 71 km である。

また、近年において最も大きな被害をもたらした 2001 年の地震は、1 月 13 日に発生した $M_b=7.4$ ・深さ 60 km・震央距離 97 km 及び 2 月 13 日に発生した $M_b=6.7$ ・深さ 10 km・震央距離 66 km である。計画地点に最も近い位置で発生した地震は $M_b=6.3$ ・深さ 182 km・震央距離 41 km であるが、震源からの震源距離が最も近いのは、2001 年 5 月 8 日に発生した地震で、 $M_b=6.1$ ・震源距離 56 km である。

Table 8.2 Historical Earthquakes around the Project Site

($D \leq 200$ km, D: epicentral distance, magnitude ≥ 6.0)

Year	Month	Day	LONG	LAT	Magnitude	Epicentral Distance (km)	Depth (km)
1915	9	7	-89.00	14.00	7.5	71.3	80
1921	3	28	-87.50	12.50	7.1	177.4	30
1926	2	8	-89.00	13.00	7.0	118.8	30
1931	2	7	-87.00	13.00	6.1	175.5	100
1931	8	25	-89.50	12.50	6.0	195.8	30
1932	5	22	-90.00	14.20	6.3	181.5	80
1932	6	20	-89.00	12.50	6.3	166.7	80
1934	3	7	-87.70	13.20	6.4	102.2	30
1934	12	3	-88.70	15.00	6.4	130.7	30
1939	7	8	-88.00	12.50	6.0	156.1	90
1939	12	26	-88.20	13.20	6.3	75.7	75
1941	11	16	-88.50	13.20	6.1	75.5	80
1944	10	2	-89.70	14.50	6.6	161.4	160
1946	6	24	-89.00	14.70	6.3	115.5	260
1951	5	6	-87.80	13.00	6.6	113.3	30
1951	5	6	-87.80	13.00	6.4	113.3	96
1951	5	7	-87.80	13.00	6.3	113.3	30
1951	8	2	-87.80	13.00	6.1	113.3	33
1951	8	3	-87.80	13.00	6.3	113.3	33
1951	8	3	-87.80	13.00	6.0	113.3	33
1954	2	19	-87.50	12.50	6.7	177.4	30
1955	4	4	-87.00	13.00	6.4	175.5	30
1955	4	26	-89.50	13.50	6.6	130.3	60
1958	6	27	-88.50	13.00	6.3	97.3	60
1959	5	3	-87.50	12.50	6.0	177.4	100
1961	4	12	-88.90	13.20	6.2	94.5	122
1961	5	23	-87.30	12.70	6.6	172.5	138
1976	2	4	-89.10	15.32	7.2	179.3	5
1976	2	8	-88.47	15.57	6.0	188.4	5
1978	5	31	-87.17	12.77	6.5	177.3	76

Year	Month	Day	LONG	LAT	Magnitude	Epicentral Distance (km)	Depth (km)
1978	12	6	-89.63	13.15	6.4	159.4	33
1982	1	12	-87.58	13.17	6.4	113.8	6
1982	6	19	-89.33	13.32	7.0	122.1	81
1982	7	2	-89.28	13.07	6.2	134.2	64
1983	7	18	-87.18	12.67	6.0	183.8	86
1985	10	12	-89.72	13.15	6.2	167.2	41
1986	10	10	-89.12	13.83	6.0	82.4	7
1993	6	12	-87.53	13.25	6.2	112.0	217
1995	5	21	-87.93	12.13	6.0	197.2	51
1995	6	14	-88.37	12.13	6.7	191.9	25
1996	7	22	-88.72	13.08	6.0	95.2	61
1996	12	10	-88.93	12.52	6.0	162.1	33
1996	12	14	-88.78	12.73	6.1	133.8	33
1996	12	17	-88.92	12.47	6.0	166.5	33
1996	12	19	-89.97	13.05	6.0	196.9	33
1997	5	15	-89.78	14.47	6.0	168.0	274
1997	8	24	-89.58	13.55	6.0	137.3	139
1997	11	9	-88.82	13.85	6.6	50.0	176
1997	12	18	-88.73	13.83	6.3	41.1	182
1999	4	3	-87.63	13.17	6.3	109.9	38
2001	1	13	-88.67	13.05	7.4	96.6	60
2001	1	14	-88.58	13.12	6.1	86.7	48
2001	1	15	-88.78	13.18	6.0	88.8	67
2001	1	15	-88.58	13.08	6.2	90.2	74
2001	1	16	-88.60	13.02	6.1	97.8	44
2001	1	16	-88.70	12.98	6.1	104.8	62
2001	1	25	-88.88	12.92	6.0	119.8	33
2001	2	2	-88.97	12.82	6.1	133.9	54
2001	2	7	-88.93	13.22	6.2	95.4	63
2001	2	13	-88.93	13.67	6.7	66.4	10
2001	2	17	-88.92	13.07	6.0	107.6	33
2001	2	28	-88.83	13.28	6.3	82.8	65
2001	3	16	-88.70	13.13	6.2	89.4	48
2001	3	18	-87.40	12.53	6.1	180.3	95
2001	3	29	-88.93	13.08	6.2	107.1	33
2001	5	8	-88.78	13.60	6.1	55.0	10
2001	7	7	-87.52	12.43	6.0	182.8	79
2001	9	18	-88.77	12.98	6.0	107.6	62

8.3 地震危険度解析

8.3.1 確率論的手法に基づく地震危険度解析

(1) 解析概要

ここでは、確率論的手法により過去の地震資料から、計画地点における最大加速度を推定し、統計処理した上で任意の再現期間の最大地震加速度を求めた。さらに、求めた確率加速度からダムの安定計算等の設計に用いる設計震度を設定した。

一方、他の地震危険度評価手法として確定論的手法がある。これは地震活動度、活断層の分布、地殻変動等に基づき、将来発生するであろう地震の断層モデルを設定し、地下構造を考慮した上で、対象地点で想定される地震動を数値解析的に推定する方法である。この方法は、解析に必要な条件設定が的確に行える場合には合理的な結果を得ることが可能であるが、断層諸元の推定、地下構造の推定等が難しい場合が多く、一般的な手法とはなっていない。これに対して確率論的手法は地震資料が十分に得られる場合には信頼性もあり、現在用いられる一般的な手法である。このため本検討では確率論的手法で解析を実施した。

(2) 地震データ

検討に用いた既往地震のデータは、前述した米国のデータベース (U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey (USGS)、National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)) が長期間のデータとして整備されているため、これを利用した。

このデータは 1902 年～2002 年の間に、計画地点から半径 1,000 km 以内で発生し、記録された 9,357 個の地震記録であり、各年の地震記録数は Table 8.3 のようになっている。なお、計画地点の位置は西経 88°21'16"、北緯 13°52'03" であり、またマグニチュード、計画地点からの震央距離の分布を Table 8.4 に示す。

検討に用いたデータは震央範囲 1,000 km 以内のものとしたが、地震による最大加速度の減衰特性から評価対象として妥当であると思われる。またデータ数も得られている発生地震数、規模の状況からみて、確率論的手法による基本データとして適切であると思われる。

Table 8.3 Annual Number of Earthquakes during 1902 to 2002

($D \leq 1,000\text{km}$, D: epicentral distance)

YEAR	N	SUM OF N	YEAR	N	SUM OF N
1902	4	4	1957	16	277
1904	2	6	1958	11	288
1907	1	7	1959	22	310
1909	1	8	1960	12	322
1910	2	10	1961	18	340
1911	1	11	1962	12	352
1912	2	13	1963	119	471
1913	1	14	1964	197	668
1914	2	16	1965	203	871
1915	2	18	1966	209	1080
1916	7	25	1967	184	1264
1917	1	26	1968	127	1391
1919	4	30	1969	106	1497
1920	1	31	1970	167	1664
1921	4	35	1971	86	1750
1924	2	37	1972	112	1862
1925	2	39	1973	100	1962
1926	6	45	1974	118	2080
1928	6	51	1975	108	2188
1929	1	52	1976	136	2324
1931	17	69	1977	98	2422
1932	7	76	1978	155	2577
1933	9	85	1979	160	2737
1934	14	99	1980	135	2872
1935	5	104	1981	102	2974
1936	2	106	1982	174	3148
1937	9	115	1983	177	3325
1938	1	116	1984	148	3473
1939	11	127	1985	169	3642
1940	4	131	1986	147	3789
1941	10	141	1987	176	3965
1942	7	148	1988	207	4172
1943	5	153	1989	142	4314
1944	5	158	1990	166	4480
1945	4	162	1991	212	4692
1946	9	171	1992	369	5061
1947	3	174	1993	422	5483
1948	3	177	1994	215	5698
1949	3	180	1995	278	5976
1950	12	192	1996	319	6295
1951	14	206	1997	345	6640
1952	12	218	1998	474	7114
1953	7	225	1999	498	7612
1954	13	238	2000	525	8137
1955	11	249	2001	627	8764
1956	12	261	2002	593	9357

Table 8.4 Distribution of Magnitude and Epicentral Distance during 1902 to 2002

	0<=D<50	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<700	<800	<1000	1000<=	TOTAL
0<M<3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<3.5	1	0	3	12	8	9	10	9	13	15	0	80
<4.0	6	22	59	100	107	91	88	65	64	97	0	699
<4.5	22	105	400	432	392	333	297	186	157	226	0	2550
<5.0	17	72	393	464	439	333	276	224	234	497	0	2949
<5.5	10	51	166	185	212	233	235	226	319	471	0	2108
<6.0	0	7	59	61	77	67	41	44	41	60	0	457
<6.5	1	13	31	39	63	49	26	27	9	55	0	313
<7.0	1	1	8	19	28	10	12	15	16	28	0	138
<7.5	0	3	4	7	4	8	7	2	1	19	0	55
<8.0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	2	0	8
8.0<=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	58	274	1123	1323	1330	1133	994	798	854	1470	0	9357

D : EPICENTRAL DISTANCE (KM)

M : MAGNITUDE

8.3.2 ダム地点の最大加速度の推定

(1) 最大加速度解析

地震データから計画地点における各地震によって生じた最大加速度を推定するために、マグニチュードと距離減衰から最大加速度を計算する下記の5つの式を用いた。これらは実測データの解析から導かれた式であり、この他にも多数提案されているが、堅岩上で得られたデータに基づいた経験式であり、ダム計画地点の基礎岩盤の応答推定に適していると考えられる式を選定した。

1) Proposed by C. Oliveira

$$\log A = 3.09 + 0.347 M - 2.0 \log (R + 25)$$

2) Proposed by R. K. McGuire

$$\log A = 2.674 + 0.278 M - 1.301 \log (R + 25)$$

3) Proposed by L. Esteva and E. Rosenblueth

$$\log A = 2.041 + 0.347 M - 1.6 \log (R)$$

4) Proposed by Katayama

$$\log A = 2.308 + 0.411 M - 1.637 \log (R + 30)$$

5) Proposed by Okamoto

$$\log (A/640) = (\Delta + 40) (-7.6 + 1.724 M - 0.1036 M^2) / 100$$

A : 最大加速度 Acceleration value (gal)

M : マグニチュード Magnitude

Δ : 震央距離 Epicentral distance (km)

R : 震源距離 Hypocentral distance (km)

これら5つの式を用いて全ての対象地震について最大加速度を求めた。この内、各年毎に求められた最大加速度値を Table 8.5 に示す。

Table 8.5 Annual Maximum Acceleration during 1902 to 2002 (gal)

Year	Attenuation model				
	Oliveira	McGuire	Esteva	KATAYAMA	OKAMOTO
1902	6.07	37.80	6.17	24.56	19.05
1904	0.80	10.13	1.12	4.76	0.05
1907	3.18	22.85	3.27	11.84	6.05
1909	0.78	9.09	0.99	3.72	0.06
1910	1.18	12.27	1.44	5.62	0.33
1911	0.32	4.93	0.46	1.68	0.00
1912	1.92	15.96	2.06	7.29	1.38
1913	0.57	6.99	0.71	2.49	0.01
1914	1.22	12.56	1.49	5.79	0.48
1915	27.76	98.62	24.47	76.51	175.52
1916	4.49	29.47	4.53	16.86	12.89
1917	0.47	6.79	0.68	2.73	0.00
1919	4.39	27.20	4.22	14.04	13.37
1920	0.81	8.58	0.93	3.12	0.04
1921	8.52	43.69	7.88	26.59	34.03
1924	0.66	8.10	0.85	3.19	0.02
1925	1.42	13.06	1.59	5.66	0.72
1926	14.82	61.65	13.13	39.67	66.14
1928	0.51	7.12	0.72	2.85	0.01
1929	0.24	3.85	0.33	1.15	0.00
1931	3.17	20.43	2.99	8.93	6.23
1932	4.22	26.18	3.97	13.60	11.45
1933	1.08	10.00	1.15	3.64	0.10
1934	12.21	50.98	10.76	28.80	46.89
1935	1.53	14.31	1.77	6.68	0.78
1936	0.94	9.16	1.03	3.27	0.06
1937	1.40	11.77	1.43	4.42	0.34
1938	0.27	4.02	0.35	1.16	0.00
1939	10.74	46.01	9.46	24.75	64.19
1940	1.89	15.72	2.02	7.12	1.52
1941	8.97	40.16	7.91	20.42	53.46
1942	6.05	37.73	6.15	24.50	19.05
1943	1.91	15.85	2.04	7.20	1.52
1944	3.77	24.21	3.64	11.88	20.86
1945	4.97	29.52	4.72	15.53	13.04
1946	2.51	18.57	2.54	8.56	29.09
1947	2.89	21.47	3.01	10.96	8.81
1948	0.61	7.69	0.80	2.99	0.02
1949	1.29	11.59	1.38	4.54	0.34
1950	2.66	19.11	2.65	8.97	2.96
1951	11.87	51.05	10.50	29.64	47.26
1952	4.02	24.74	3.79	11.90	7.54
1953	3.52	22.26	3.32	10.19	5.15
1954	6.09	33.39	5.63	17.87	18.25
1955	8.46	40.95	7.60	22.66	35.39
1956	3.74	25.58	3.79	13.74	8.78
1957	1.47	12.63	1.55	5.06	0.83
1958	9.58	42.72	8.46	22.62	41.83
1959	4.71	25.73	4.24	11.45	8.15
1960	1.37	11.17	1.35	4.34	0.29
1961	5.42	29.22	4.91	14.04	39.71
1962	2.88	17.94	2.63	6.97	2.44
1963	2.26	13.16	1.99	4.27	3.08
1964	3.47	19.68	3.12	8.11	10.28
1965	3.84	20.44	3.39	7.57	3.53
1966	6.93	25.98	7.26	10.20	50.35
1967	4.73	21.27	4.30	6.90	8.92
1968	18.94	52.44	28.48	19.74	51.79
1969	8.35	30.78	8.42	10.68	24.80
1970	2.94	17.38	2.63	6.91	27.18
1971	4.67	24.07	4.12	9.71	24.37
1972	7.80	33.63	6.91	14.55	25.07
1973	2.31	14.71	2.09	5.07	2.87
1974	9.63	40.65	8.49	19.75	36.21
1975	3.13	16.64	2.75	5.37	2.20
1976	12.72	47.66	13.20	30.22	81.36
1977	6.66	29.62	5.90	12.06	41.88
1978	5.85	31.48	5.33	15.92	15.54
1979	5.28	23.96	4.71	11.24	10.25
1980	4.23	26.48	4.07	13.52	9.28
1981	4.61	21.30	4.15	7.69	6.69
1982	11.23	51.67	10.85	32.14	65.11
1983	2.86	18.81	2.70	7.92	3.90
1984	3.87	20.07	3.41	7.28	25.97
1985	7.14	29.52	6.50	11.51	16.48
1986	12.50	48.93	11.07	25.26	37.73
1987	10.36	37.62	10.00	14.89	40.24
1988	3.47	18.83	3.07	8.29	3.97
1989	4.12	22.20	3.66	8.80	6.69
1990	4.91	25.63	4.36	10.93	7.62
1991	6.45	26.03	6.14	8.80	13.91
1992	4.48	28.97	4.46	16.18	12.40
1993	3.55	21.40	3.26	9.13	28.54
1994	7.30	30.06	6.65	12.08	17.82
1995	5.27	30.33	4.94	15.83	13.89
1996	7.98	36.81	7.04	18.09	30.71
1997	6.04	31.12	6.22	16.19	138.55
1998	5.02	26.42	4.47	11.59	16.12
1999	11.55	44.41	10.37	22.11	36.62
2000	5.80	29.03	5.14	13.00	14.90
2001	35.15	93.29	90.12	66.34	125.66
2002	6.69	27.03	6.65	10.71	16.11

206

(2) 統計解析

(1)で求めた過去の加速度値から確率関数を推定し、加速度と再現期間の関係が求められた。

確率関数の推定はガンベル極値統計論を適用して求める。ガンベル極値統計論は、今回対象としている地震によってある地点に生じる最大加速度のように、確率変数の原分布が未知であっても適用することができ、条件が満たされれば地震の発生頻度及び再来周期を予測評価することができる。

任意の地点における地震動の最大振幅には上限があると考えられることから、確率変数に上限があることが仮定条件となっている第3漸近分布を用いて確率関数を推定する。第3漸近分布式は、次式のように表される。

$$P_n(x) = \exp \left[\left\{ -\frac{(W-x)}{(W-U)} \right\}^k \right]$$

x : ランダムな確率変数 ($x = \log A_{max}$)

A_{max} : 最大地震振幅

W : 最大振幅の上限

U : 特性最大値

K : 形状係数

各最大加速度推定式によって求められた最大加速度と再現期間をプロットし求めた確率関数を描いた図を Fig.8.3～8.7 に示す。漸近線は通常のもので、推定値が入力歴史データを下回ることがないよう最大データ値を通るようにしたものとの2つを求めた。最大データ値を通る漸近線の値が大きくなることからこの値を検討に用いた。

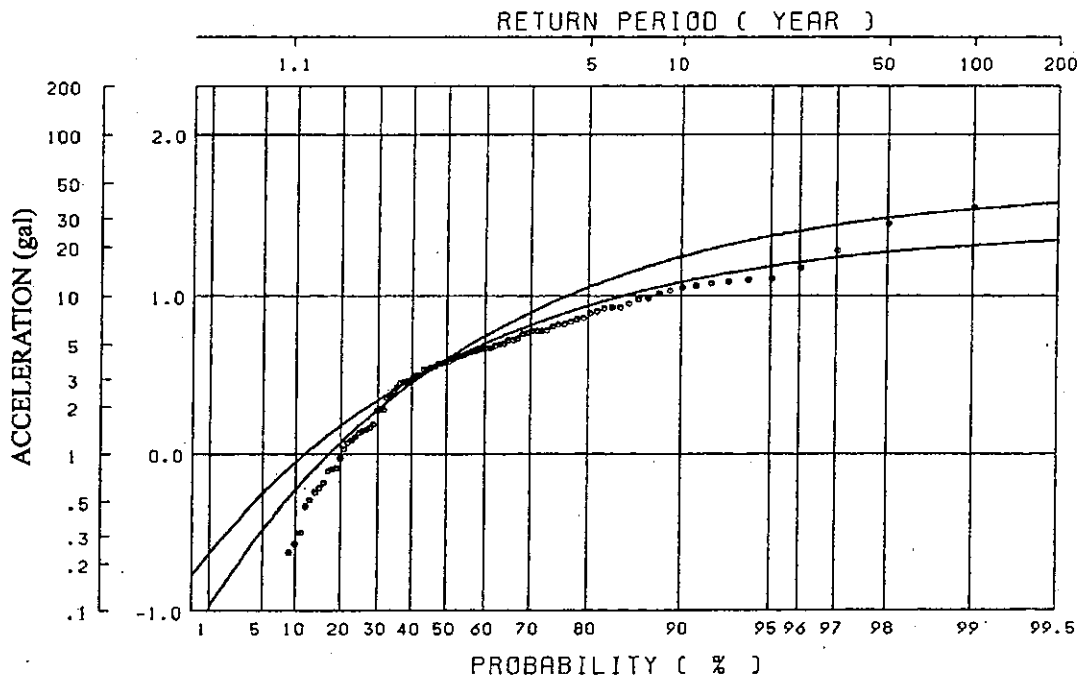


Fig.8.3 Return Period for Maximum Acceleration calculated by equation of C.Oliveira

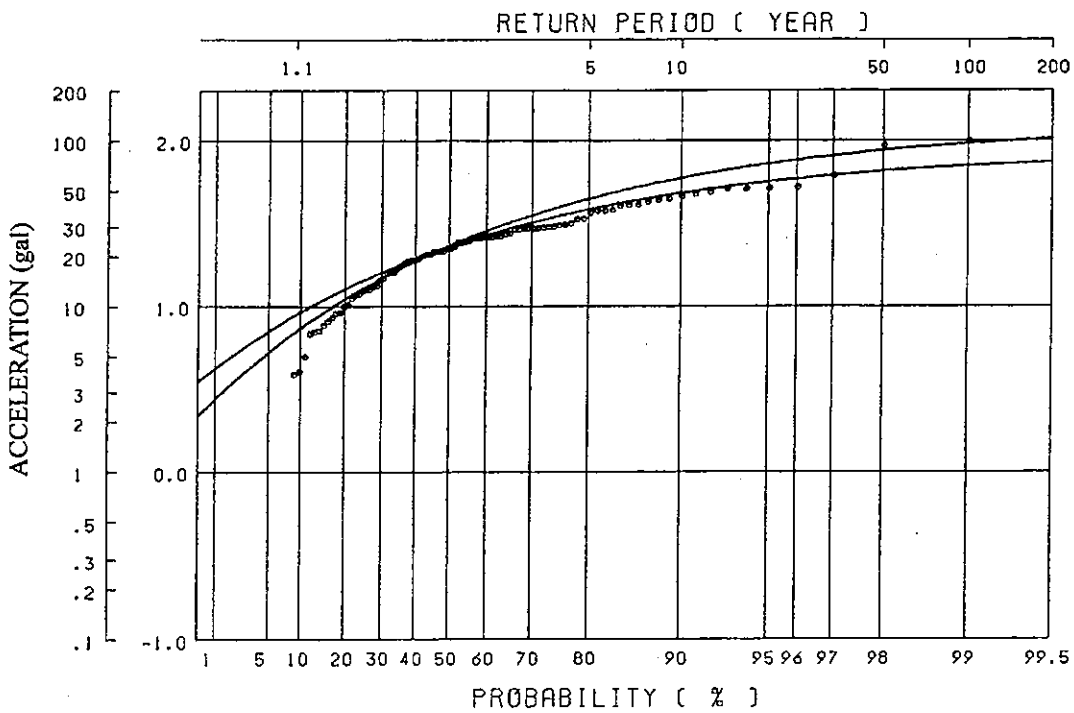


Fig.8.4 Return Period for Maximum Acceleration calculated by equation of P.K.McGuire

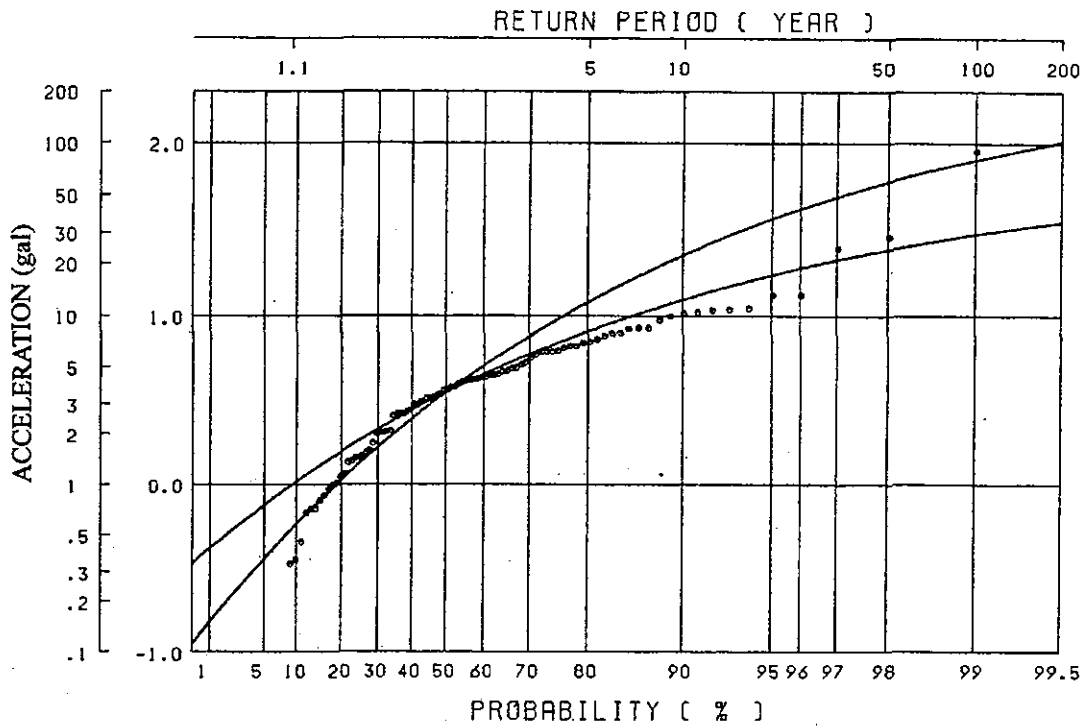


Fig.8.5 Return Period for Maximum Acceleration calculated by equation of L.Esteva and E.Rosenblueth

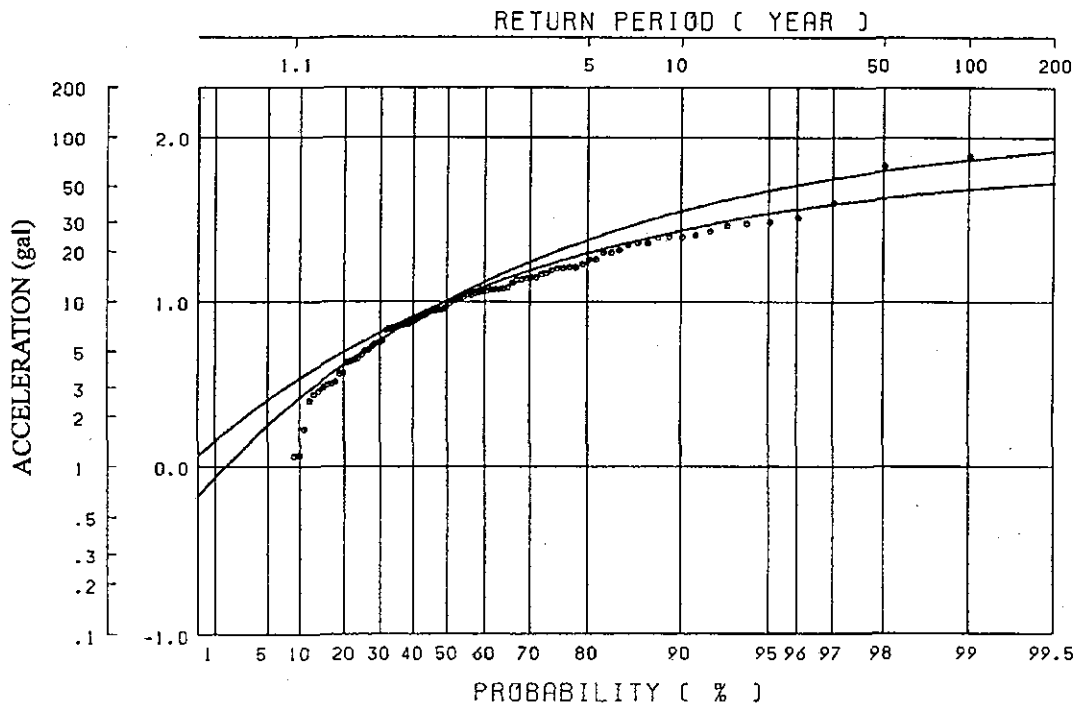
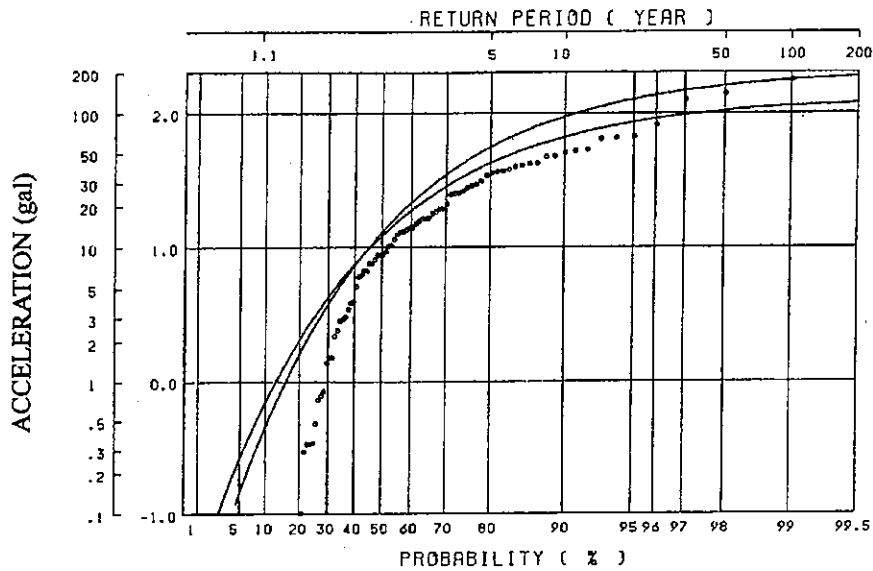


Fig.8.6 Return Period for Maximum Acceleration calculated by equation of T.Katayama



$$S: LC6(A/640) = (D+40) \{ -7.6 + 1.724M - 0.1036M^{**2} \} / 100$$

(S.OKAMOTO)

Fig.8.7 Return Period for Maximum Acceleration calculated by equation of S.Okamoto

(3) 設計最大加速度

以上の検討によって求めた各再現期間に対する計画地点における最大加速度を Table 8.6 に示す。各最大加速度推定式によって値のばらつきがかなりあることがわかる。

Table 8.6 Maximum Accelerations for Eight Return Periods
[The asymptotic line passing the average value]

Attenuation Model	Return Period (Year)							
	50	100	150	200	300	500	1000	10000
①Oliveira	18.58	20.51	21.44	22.01	22.72	23.46	24.23	25.60
②McGuire	65.66	70.85	73.37	74.95	76.92	79.00	81.25	85.47
③Esteva	24.23	29.64	32.77	34.96	37.97	41.61	46.21	58.31
④KATAYAMA	42.53	48.15	51.09	53.02	55.51	58.31	61.53	68.46
⑤OKAMOTO	103.77	112.94	116.86	119.13	121.72	124.18	126.48	129.64

[The asymptotic line passing the value of the greatest data]

Attenuation Model	Return Period (Year)							
	50	100	150	200	300	500	1000	10000
①Oliveira	30.14	34.25	36.27	37.53	39.09	40.73	42.48	45.61
②McGuire	87.55	96.38	100.73	103.47	106.90	110.57	114.55	122.12
③Esteva	60.03	80.81	93.72	103.09	116.44	133.26	155.54	219.14
④KATAYAMA	62.46	73.06	78.73	82.49	87.43	93.02	99.54	113.89
⑤OKAMOTO	159.36	176.01	183.19	187.36	192.14	196.71	200.99	206.89

各式はそれぞれ実測値から導かれたものであるため、採用された測定地点の地盤条件により推定された加速度は異なる。本検討では計画地点周辺の地震活動が活発であることを考慮すれば、得られた結果を包絡する値を採用することが適切であると思われ、設計に用いる加速度を 220 gal とした。

8.3.3 設計水平震度

設計に用いる震度と地震動の地盤に発生する最大加速度との関係は一般に次式で表せる。

$$K_h = R \times (A_{max} / 980)$$

K_h : 設計水平震度

R : 変換係数

A_{max} : 地震動の最大加速度

この式で求められる震度は実効震度あるいは等価震度と呼ばれるもので、地震動によって生じる構造物内の応力が、動的な解析をした場合と静的な解析をした場合と等価となるように設定されるものである。日本では変換係数につき、下記の式が提案されている。

$$K_h = (0.40 \sim 0.60) \times (A_{max} / 980)$$

変換係数の値は地震動の周波数特性、対象地盤等によって変わるため、これらの特性を検討して採用する値を決めることとなる。本計画地点は地震多発帯の近傍に位置することから、最も得られる震度が大きくなり安全側となる 0.6 を変換係数として採用し、設計水平震度の計算値 0.135 から安全をみて 0.15 とした。

FS レベルの設計では、静的な震度法により設計が行われた。実施設計時点では、地盤及びダムなどの動的特性等を考慮し、動的解析により静的解析結果を確認することが望ましい。

9. 開発計画

目次

9.	開発計画	9-1
9.1	既存開発計画のレビュー	9-1
9.1.1	プレFS 調査(Phase1A)	9-1
9.1.2	プレFS 調査(Phase 1B)	9-2
9.2	開発計画代替案の比較検討	9-3
9.2.1	開発計画案の選定	9-3
9.2.2	開発計画案の比較検討	9-5
9.3	開発計画案の選択	9-11
9.3.1	開発計画案の選択	9-11

9. 開発計画

9.1 既存開発計画のレビュー

9.1.1 プレ FS 調査 (Phase 1A)

CEL では、①競争力のある持続可能な水力資源利用により電力需要の伸びに応えること、②水力発電により石油消費量抑制に寄与すること、③トロラ川の未利用水力発電資源を有効利用することを目的として、1997年12月から1999年3月にかけて、自己資金でプレ FS 調査 (by HARZA 社) を実施した。

プレ FS 調査は Phase 1A 及び Phase 1B に分かれて実施され、Phase 1A ではトロラ川水系全体に対する水力発電計画の開発スキームを構成する個別プロジェクトの計画検討が行われた。

(1) 計画地点の地点特性

まず最初にトロラ川流域において7ヶ所のダムサイト (エルチャパラル、カロリーナ、ラオンダ、ラスマリアス、セロパンド、ラスメサス、マロマ) が選定され、これらに対する発電計画比較検討により、各計画地点での地点特性が調査された。7ヶ所のダムサイトはそれぞれ谷幅が比較的狭く、ダム軸の一次選定として妥当なものである。

個々の地点の発電方式は基本的にダム式とされ、異なるダム高に対する経済性比較を行うと共に、地点によってはダム水路式に対する計画検討が行われた。Fig.9.1 は計画位置図を示し、Table 9.1 に各発電計画諸元比較を示す。各発電諸元における満水位標高は、各ダムサイト位置の設置標高を基に遊休落差を生じないように設定されており、基本的に妥当なものである。しかしながら、エルチャパラルとカロリーナ地点については、満水位が標高 212 m 程度以上の場合には湛水範囲がホンジュラス国の領域に入るため、同表における満水位 255 m のケースは全て不適切な検討ケースである。

なお、セロパンド地点については経済性が他地点と比較して悪く、さらに立地環境的にもインパクトも大きいと判断されることから、この時点で計画地点候補から外されたが、この選択は妥当なものである。

(2) 開発スキームの構築

トロラ川調査区間 (L=58 km、高低差 327 m) に対する開発スキームとしては、ダム高約 100 m の3ヶ所のダムによるスキームと、ダム高約 80 m の4ヶ所のダムによるスキームとが考えられる。スキームを構成する計画地点としては、上記でその地点特性をチェックした各計画地点をそれぞれ組み合わせてスキームが構成された。スキームを構成するに当り考慮された点は次の通りである。

- 1) エルチャパラルに比較して、カロリーナの経済性が優れていたことから、エルチャパラルはスキームから外された。(Phase 1B では、エルチャパラルの落差が当初より 10 m 大きく利用できることが判明し、経済性が向上したことからスキームの構成対象地点として加えられた)

- 2) ラオンダの高い満水位(352 m)のケースは、大規模な住民移転を伴うとともに、オシカラ周辺部の既設道路を大幅に付け替える必要があることから、スキームから外された。
- 3) ラスメサスの高い満水位(456 m)のケースは、経済性が悪く、スキームから外された。

Fig.9.2 は各スキームの計画位置図を示し、Table 9.2 に各発電計画諸元比較を示す。スキーム 2 及びスキーム 4 に示す、マロマ地点のトンネルによるダム水路式案は、ラスメサス地点上流部の立地環境面の問題点を解消するためのものであり、妥当なものである。

以上から、Phase 1A で提案された 4 つのスキームは、カロリーナ地点の満水位を 212 m 程度にまでしか上げられないことから、基本的にスキーム 1 及び 2 のみが Phase 1A の検討結果であると言える。

9.1.2 プレ FS 調査(Phase 1B)

(1) 開発スキームの再構築

Phase 1A に引き続いて Phase 1B において、提案された開発スキームの見直しを行った。Phase 1B の目的は、次のステップ(FS 調査)で検討すべき計画地点を抽出することにある。この場合、電力量計算、工事費等の算定精度を上げるとともに、その後に行われた地形・地質・社会環境調査結果を加えて、調査精度の向上が図られた。また、ラスクルセスが新規地点として追加された。同地点はマロマ地点の上流部に位置し、マロマ地点の立地環境面の問題点を緩和させる目的で選定されたものである。

検討対象地点としては Phase 1A 段階の開発スキームで検討された 5 地点(カロリーナ、ラオンダ、ラスマリアス、ラスメサス、マロマ)に加えて、エルチャパラル、ラスクルセスが加えられた。Table 9.3 は各計画地点の発電諸元をまとめたものである。この場合、各発電諸元は各ダム・発電所が独立して計画されたものであり、当該地点の上流計画の影響は考慮されていない。また、Table 9.4 は各地点に対する社会環境等の環境に対するインパクトの度合いを指数で表し、これを比較したものである。

Table 9.5 において最終的に開発スキームとして抽出された計画地点は、これまでの知見を基に選定されたものである。各計画地点の諸元設定をするに当たり考慮された点は次の通りである。

- 1) エルチャパラル地点は、経済性も良く、環境に対するインパクトも他地点よりも小さいことから、有望な候補地点としたことは妥当である。
- 2) カロリーナ地点もまた、経済性が良いが、上述したように満水位を 212 m 程度までしか上げられず、Table 9.3 で示されている経済性は確保できないと思われることから、開発の可能性は小さく、候補地点として取り上げなかったことは妥当である。

- 3) ラオンダ地点も比較的経済性が良く、満水位を 285 m に設定した場合には、オシカラ周辺の既設道路を付替える必要もなく、環境に対するインパクトも比較的小さいことから、有望な候補地点としたことは妥当である。
- 4) ラスマリアス地点は経済性が悪く、候補地点としなかったことは妥当である。
- 5) ラスメサス地点は、環境に対するインパクトが大きく、経済性もさほど良いとは言えない。しかしながら、トロラ川上流部において、開発するとしたら最も可能性のある地点であり、将来の上流部開発のキープロジェクトとして候補地点としたのは妥当である。
- 6) マロマ地点の経済性はさほど良いとは言えず、ダム下流の立地環境面を緩和する目的で検討されたダム水路式案でも経済性が好転はしていない。加えてマロマダムによる水没による立地環境面のインパクトは大きい。しかしながら、この地点のダム運用は、下流地点に対する影響が大きく重要なプロジェクト地点であることから、マロマ地点を上流部の将来開発地点として残すのは妥当である。
- 7) 一方、これを緩和する目的で上流部に設置されたラスクルセス地点は経済性が悪く、開発スキームから外された。

以上、Phase 1A、1B で検討されてきたように、トロラ川流域の水力開発は大きく下流域(エルチャパラル、カロリーナ、ラオンダおよびラスマリアス)と上流域(ラスメサス、マロマおよびラスクルセス)に区分される。現段階の両者の評価は、経済性および立地環境面の両面から下流域の開発を先行すべきであるという、プレ FS 調査の結論は妥当なものである。Table 9.5 および Fig.9.2 に最終的に提案された開発スキームを示す。

9.2 開発計画代替案の比較検討

9.2.1 開発計画案の選定

プレ FS 調査で提案された開発スキームに基づき、トロラ川の開発計画を再検討した。検討対象地点は Table 9.5 に示すように、下流からエルチャパラル、ラオンダ、ラスメサス、マロマ計画地点がそれぞれ提案されたが、現段階では立地環境面から、上流域の至近年における開発は困難であることから、検討対象を下流域の開発のみに絞った。

よって、FS 調査では開発計画案としてエルチャパラル、ラオンダ計画地点を選定した。開発スキームとしては、まず、各計画地点の単独開発を行った場合の検討を行い、それぞれの計画案の経済性に関する特性を把握した上で、二つの計画地点を階段上に二段開発した場合の、開発スキームについての可能性について検討した。

(1) 開発スキーム

1) 単独開発

- a) 発電方式は河川流量を季節的に調整できる貯水池を持ち、発電所がダム直下に設置されるダム式・貯水池式が適切であると思われる。

b) 河川勾配が緩いため、ダム水路式等の水路により導水して落差を得る方式は考慮しなかった。

2) 二段開発

a) 二段開発は、ラオンダ（ダム式・貯水池式）とエルチャパラル地点（ダム式・貯水池式）を組み合わせるものである。

b) 二段開発の基本的考え方は下流のダムが、上流からの調整された河川流量を受け、さらに残流域に相当する河川流量を調整する点である。

(2) 開発計画地点

1) エルチャパラル計画

エルチャパラル計画は、トロラ川において計画されているプロジェクトの内、最下流の地点であり、レンパ川の合流点より約 20 km 上流に位置する。ダム地点下流からレンパ川の合流点までの区間はホンジュラス国との国境となっており、プレ FS 調査時の計画では、国境より約 300 m 上流の位置にコンクリート重力ダムを設置し、ダム左岸直下に発電所が計画された。同地点は地形的には狭窄部であり、上流部は谷幅が急に広がることから、FS 調査においても同レイアウトを基本的に踏襲した。

ダム地点の谷地形は河床幅が約 30 m で、両岸が急斜面の渓谷を成すが、高標高部では緩傾斜の段丘となっており、ダム形状は左右岸のウイング部の堤頂長が大きくなる。ダム満水位の設定においては、貯水池湛水範囲をエルサルバドル国領域内に限定する必要から、上限満水位は EL.212 m とした。

2) ラオンダ計画

ラオンダ計画は、エルチャパラルダムの上流約 15 km の貯水池背水端に計画されている地点である。プレ FS 調査時の計画では、同地点にコンクリート重力ダムを設置し、ダム左岸直下に発電所が計画された。ダム地点の谷地形は河床幅が約 50 m で、左右岸の斜面勾配は緩く、なだらかな形状をしていることからダム堤頂長およびダム体積が大きくなる。代替ダム地点としては、上流約 1.5 km の地点に比較的谷幅の狭い地点があり、FS 調査ではプレ FS 調査時のダム地点に加えて、上流ダム軸案の可能性についても検討を行った。上流ダム地点の谷地形は比較的急峻で、特に右岸は急斜面になっている。また、左岸には鞍部（標高 280 m 部）があり、満水位が高い場合には副ダムを設置する必要がある。Fig 9.3 にエルチャパラルダム、ラオンダダムおよび上流案の位置図を示し、Fig.9.4 にラオンダダム概略比較図を示す。

開発計画案の選定に際して、両ダム軸の比較検討を行った。検討方法は、それぞれのダム軸において同じ発電諸元（満水位（HWL）=275 m）、最大使用水量 80 m³/s）に対する経済性の比較を行った。比較検討結果を Table 9.6 に示す。同表から、上流ダム軸案は工事費が約 3%減るが、有効落差の減に伴い電力量が減少した結果、経済性で劣ることがわかった。ここで、設定した発電諸元は後述する「9.2.2 開発計画案の比較検討」で、最も良い経済性を与えるものに対して比較を行った。

よって、検討対象とする開発計画案としてプレ FS 調査で提案されたエルチャパラル、ラオンダ地点を選定することにする。

9.2.2 開発計画案の比較検討

(1) 基本事項

1) 地形図

プレ FS 調査では、1/50,000 および 1/10,000 図が使用され発電計画検討が行われた。一方、FS 調査では第一次現地調査時（2001 年 6 月）に収集された新しい 1/25,000 図（2001 年作成）に加えて、既存航空写真に基づき 1/5,000 地形図が国内再委託（2001 年 8 月）により作成され、開発計画案の比較検討に用いられた。

なお、「第 11 章フィージビリティ設計」においては、現地再委託により作成された 1/1,000 地形図および河川横断測量図を用いて、エルチャパラル計画に対するフィージビリティ設計が行われた。なお、ラオンダ計画については 1/5,000 地形図に基づいて、概略設計が行われた。

2) 地質調査結果

地形測量と同じく、エルチャパラル計画に対しては現地再委託によりボーリング等、地質調査が実施され、調査結果がフィージビリティ設計に反映されている。

3) 流域面積

流域面積は 1/50,000 図を使用して新たに、測定した。

4) 貯水容量曲線

上記 1/5,000 地形図を用いて、新たに作成した。Fig.9.5～9.6 は、エルチャパラルおよびラオンダ地点の貯水池容量曲線図を示す。

5) 流量資料

a) 低水流量

ダム地点流量の基になる河川流量は、オシカラ測水所で測水された流量資料に基づきダム地点流量（1942～2000 年の月平均流量データ）が算定された。また、保証流量は貯水池のマスカーブ運用を行い、その 95%確率保証値とした。

b) 洪水流量

低水流量と同様に、上記測水所で観測された高水流量を基に、確率洪水量の計算を行い、1 年確率洪水量をダム河流処理対象流量（コンクリート重力ダム）とした。また、ダム洪水吐設計洪水量は PMF 洪水量とした。

c) 蒸発量

トロラ川流域で観測された PAN による月別蒸発散量および月別可能蒸発散量により、貯水池水面からの蒸発量を求め、電力量計算に用いた。

6) 貯水池運用計画

a) 貯水池運用の基本的考え方

オシカラ測水所の年平均流入量は $30.0 \text{ m}^3/\text{s}$ で、5 月～10 月の雨期に年間流入量の約 90%が流入し、年間の変動幅は非常に大きい。従って、発電への有効利用を図る

ためには、貯水池容量を使用して、河川流量を季節的に調整する必要がある。貯水池の運用操作ルールは次の点を考慮して設定した。

- 豊水期の出水を貯留して渇水期に補給し、保証流量をできるだけ大きくする。
- 貯水池の無効溢水をできるだけ小さくするよう運用する。
- 長期にわたり安定した出力を確保し、かつ発生電力量が大きくなるよう運用する。

b) 運用ルール

貯水池の運用ルールは、運用の基本的考え方に基づいて、Dynamic Program Method (DP 法)を用いて、発生電力量が最大となるよう作成された。DP 法は、多段決定過程を解く数学的手法である動的計画法(Dynamic Programming)を貯水池の運用ルール作成に適用したものであり、与えられた拘束条件(貯水池容量、流入量等)の基で、評価関数を極値化(ある時刻の貯水池水位から計算終了時水位までの累積発電量を最大化)するような制御ベクトル(ある時刻の貯水池水位における放流量)を最適性の原理に基づいて決定するものである。(Appendix 9.7 参照)

c) 電力量計算

発生電力量は、上記で作成されたルールカーブに基づき、貯水池運用を行った結果求められた発電放流量・貯水池水位等により求められた。Fig.9.7 に電力量計算の手順、Fig.9.8 にルールカーブによる貯水池運用方法を示す。また、以下にその他の発電諸元設定方法を示す。

- 必要ピーク時間 : 需給バランスにおいて、電力需要ピーク時に水力に要求される運転時間であり、 $T_p = 3 \sim 4$ 時間と仮定した。
- 最大使用水量 : 最大使用水量は、需給上求められる必要ピーク時間内にピーク化した時の発電に使用される最大流量であり、最適規模検討において、複数の最大使用水量を設定し、比較検討を行った。
- 損失落差 : 摩擦損失ロス(水圧管路等)にその他ロスを加えた。
- 保証尖頭出力 : 事故の場合を除き、当該発電所に要求される必要ピーク時間に使用し得る出力とし、年間の 95%保証値とした。
- 基準取水位 : 最大出力時の基準となる取水位と定義し、満水位より利用水深の 1/3 だけ低い水位とした。この場合、基準取水位より高い水位の時は使用水量を絞って、出力を一定に保つ。

(2) 比較検討方法

1) 発電規模の検討

- a) 発電計画検討における最大使用水量は、需給上求められる必要ピーク時間(3~4時間)内にピーク化した時の最大流量であり、最適規模検討において、複数の最大使用水量を設定し、比較検討を行った。なお、貯水池運用の結果、溢水量が大きくなる場合には最大使用水量を増加し、発電計画の経済性向上を図った。

- b) ダム高は、複数の満水位(HWL)に対して堆砂容量を考慮した上で、有効容量をそれぞれ設定し、経済性の比較検討を行った。
- c) ダムより河川維持流量(2 m³/s)を常時放流する。放流方法は水圧管路終端部より分岐し、末端に設置された小水車を経由してダム直下に放流される。なお、小水車による発生電力量は当該発電所の電力量としてカウントした。
- d) エルチャパラルダムまたはラオンダダムの貯水池運用により、下流に位置する既設キンセデセプティンブレ発電所の流入量の流況が改善され、同発電所の発生電力量が増加する。増加電力量は当該発電所の下流増としてカウントした。

上記に基づき、最大使用水量と満水位の組み合わせによる複数の比較ケースを設定して、発電規模の検討を行った。

2) 経済性比較法

計画代替案の比較検討は、便益・費用法(Benefit Cost method : BC Method)により行う事とし、トロラ川の水力発電計画が無い場合に建設されるであろう標準的な代替火力発電所を代替施設と考え、その費用をもって便益と見なし、水力の年経費との比較で経済性を比較する手法を用いた。

代替火力としては、ディーゼル発電(Motor)を代替施設として考え、水力設備のプロジェクトライフ(50年)の均等化年経費(C)と、それと等価の能力を有する代替火力の均等化年経費(B)とから求まる、便益・費用比率(B/C)、年間超過便益(B-C)を基本的な指標とした。また、kWh当たりのエネルギーコスト(発電原価)をB/C、B-Cに加えてその他の指標とした。なお、本計画では発電した電力は約43kmの送電線により既設キンセデセプティンブレ変電所に送電することになっており、同地点に代替火力を建設することと仮定し、比較ポイントとした。

a) 年経費(C)

トロラ計画の均等化年経費は減価償却、金利および運転維持費の合計とし、建設費に年経費率を乗じて得ることとした。

$$\text{年経費(C)} = \text{減価償却} + \text{金利} + \text{運転維持費} = \text{年経費率} \times \text{建設費}$$

$$\text{減価償却費} + \text{金利} = \text{建設費} \times \text{資本回収係数}$$

$$\text{資本回収係数} = i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$$

n : 耐用年数	土木設備	50年	0.1009
	水力機器	35年	0.1037
	電気機器	35年	0.1037

i : 割引率 10%

運転維持費(建設費に対する比率)

土木設備	0.5%
水力機器	1.5%
電気機器	1.5%

よって、各々の設備の年経費率は以下のようなになる。

土木設備 10.6 %

水力機器 11.9 %

電気機器 11.9 %

水力機器+電気機器の総工事費に対する割合を 25%と仮定すると、平均年経費率は 10.9%となる。従って、年経費(C) = 10.9% × 建設費

b) 便益(B)

本計画の便益(B)は、代替火力発電所の固定費(減価償却、金利および運転維持費)と可変費(燃料費および運転維持費)の合計とし、Table 9.7 に示す kW 価値、kWh 価値を算出した。

便益計算に用いる出力および電力量は以下に示す条件で求め、各々有効出力、有効電力量と定義した。

有効出力 : 保証尖頭出力から所内率 0.3%、事故率 0.3%、補修率 2.0%及び送電ロス率 3.3%を差引いたものとした。

有効出力 = $(1-0.003) \times (1-0.003) \times (1-0.02) \times (1-0.033) \times$ 保証尖頭出力

有効電力量 : 年間平均発生電力量から所内率 0.3%および送電ロス率 1.9%を差引いたものとした。

有効電力量 = $(1-0.003) \times (1-0.019) \times$ 年間平均発生電力量

従って、水力の便益(B)は次のように表される。

$$B = \text{有効出力} \times \text{kW 価値} + \text{有効電力量} \times \text{kWh 価値}$$

$$= \text{有効出力} \times 171.0 \text{ \$/kW} + \text{有効電力量} \times 0.046 \text{ \$/kWh}$$

(3) 比較検討ケース

上記比較検討方法に基づいて代替案の作成を行った。下表は検討ケースの一覧表である。

(La Honda Project by Single Development Scheme)

Type	HWL=295 m			HWL= 285m			HWL= 275 m		
	Dam type /Reservoir type			Dam type /Reservoir type			Dam type /Reservoir type		
Ve (10 ⁶ m ³)	304	300	292	200	196	188	117	114	106
Hd (m)	103.0			93.0			83.0		
Vdam concrete(m ³)	1,195,000			899,000			654,000		
Q _i (m ³ /s)	18.5	18.3	17.8	14.1	13.9	13.4	8.8	8.6	8.1
T _p (hr)	4			4			4		
Q _{max} (m ³ /s)	90	120	150	70	100	130	50	80	110
H _e (m)	83.0	83.0	84.0	76.0	76.0	77.0	69.0	69.0	70.0
P _{max} (MW)	66.1	88.1	111.5	47.1	67.2	88.5	30.5	48.8	68.1

(El Chaparral Project by Single Development Scheme)

	HWL=212 m			HWL=204 m			HWL=198 m		
Type	Dam type /Reservoir type			Dam type /Reservoir type			Dam type /Reservoir type		
Ve (10 ⁶ m ³)	111	106	96	54	50	40	31	23	19
Hd (m)	87.5			79.5			73.5		
Vdam concrete(m ³)	370,000			264,000			205,000		
Qf (m ³ /s)	8.9	8.6	8.0	4.9	4.5	3.8	3.0	2.3	2.0
Tp (hr)	4			4			4		
Qmax (m ³ /s)	70	100	130	50	80	120	20	40	60
He (m)	71.8	72.8	72.8	66.8	66.8	67.8	61.8	61.8	62.8
Pmax (MW)	44.5	64.4	83.7	29.5	47.3	72.0	10.9	21.9	33.3

(La Honda—El Chaparral Project by Joint Development Scheme)

	La Honda	El Chaparral
	HWL=275 m	HWL=212 m
Type	Dam type /Reservoir type	Dam type /Reservoir type
Ve (10 ⁶ m ³)	114	106
Hd (m)	83.0	87.5
Qf (m ³ /s)	8.6	11.3
Tp (hr)	4	4
Qmax (m ³ /s)	80	100
He (m)	69.0	72.8
Pmax (MW)	48.8	64.4

(4) 比較検討結果

比較検討結果を Table 9.8～9.10 および Fig.9.9～9.10 に示すとともに、検討結果をまとめると下記に示す通りである。

(単独開発)

1) ラオンダ計画

- ラオンダ地点においては、ダム地点の左右岸斜面が緩傾斜となっており、各比較ケースとも、ダムコンクリート数量が非常に多くなっている。従って、ダム高が高いケースほど総工事費が高くなっており、発電経済性を悪化させている原因となっている。
- 一方、発電便益はダム高を高くしてもさほど増加せず、ダム高が低いケース (HWL 275 m) が最も発電原価が安く、US\$ 0.08/kWh 台になっている。しかしながら、開発可能な限界単価を US\$ 0.06~0.07/kWh とすれば、約 20%程度の工事費を低減する必要があり、開発の可能性はかなり低い。併せて、B/C、B-C の値も低く、代替火力との比較において開発に対する優先度が低くなっている。

2) エルチャパラル計画

- エルチャパラル地点においては、ダム地点の地形が比較的急峻であり、ダム高を大きくすることによる総工事費の増加はあまり大きくない。
- 一方、貯水池有効容量はラオンダ地点と比較してあまり大きくないことから、ダム高を高くしないと発電便益は増大しない。満水位が最も高いケース (HWL 212 m、 $Q_{max}=100 \text{ m}^3/\text{s}$) は、発電原価が US\$ 0.065/kWh 程度となっており、現行の電力卸売市場の実績取引単価 US\$ 0.06~0.07/kWh に対して、十分競争力のある経済性を有していると思われる。しかしながら、 $B/C=1.01$ 、 $B-C=US\$ 0.16 \times 10^6$ となっており、代替火力に対して開発の優先度が有るとは言えない。
- この原因としては、乾期における河川流量が非常に小さく、貯水池からの補給量を加えても、必要ピーク時間に対する発電使用水量を大きくすることが出来ないことによるものである。結果として、保証尖頭出力が小さく、kW 便益が小さくなっている。

(二段開発)

- ラオンダ地点 (HWL=275 m) およびエルチャパラル地点 (HWL=212 m) を組み合わせて、二段開発を行った場合の検討を行った。この場合、下流エルチャパラルダムの堆砂量はラオンダダムでの堆砂量を控除するとともに、下流ダムの流入量は上流ラオンダダムの調整後の流量を残流域の河川流量と合わせたものとした。
- Table 9.10 に示すように、エルチャパラル計画の電力量は、上流ラオンダダムからの調整された放流水により、電力量および保証尖頭出力が増加したことにより、経済性が上昇した。
- しかしながら、ラオンダ計画単独の経済性は悪く、両地点を組み合わせた合成の経済性は発電原価 US\$ 0.077/kWh、 $B/C=0.88$ 、 $B-C=US\$ -3.94 \times 10^6$ 程度にしかならず、両地点を同時に開発することは困難であると思われる。

(必要ピーク時間の変更)

上記検討結果に基づき、必要ピーク時間の変更を行った。ピーク時間は需給バランスにおいて水力に要求される運転時間 (3~4 時間) であり、4 時間が用いられた。ここでは、上記検討で選定された最適規模に対する発電諸元に対してピーク時間のみを 3 時間とした場合の経済性比較結果を Table 9.11 に示す。

ピーク時間を変更することにより、kW が増加した結果、発電原価 US\$ 0.065/kWh、 $B/C=1.14$ 、 $B-C=US\$ 2.10 \times 10^6$ 程度まで経済性を確保することができた。

9.3 開発計画案の選択

9.3.1 開発計画案の選択

以上述べた、ラオンダおよびエルチャパラル地点に対する開発計画案（単独開発、二段開発等）の比較検討結果に基づき、開発計画案の選択を行った。

- ラオンダ地点は下流計画であるエルチャパラル地点に対して、貯水池で調整された放流水を供給するトロラ川下流部におけるキーププロジェクトである。しかしながら、ラオンダ計画単独の経済性は悪く、また下流エルチャパラル計画と二段開発を行った場合の合成経済性も現行での開発レベルには達していないと思われる。
- 一方、エルチャパラル計画の満水位を上限まで上げた場合の経済性は、必要ピーク時間を3時間にすることにより、開発レベルをクリアしており、経済的に開発の可能性が高いと思われる。

よって、開発計画案としてはエルチャパラル計画を単独で開発し、ラオンダ計画は将来地点として温存することを提案する。

Table 9.1 Project Features of Torola River (Phase 1A)

Project	HWL (m)	TWL (m)	Pmax (MW)	Energy (GWh/year)	Construction Cost(10 ⁶ \$)	B/C	Remark
El Chaparral							
Dam type	202	141	43	175	103.8	1.3	
Dam type	255	141	80	352	210.9	1.28	
Carolina							
Dam type	202	150	36	149	77.7	1.47	
Dam type	202	141	42	176	89.1	1.5	riverbed excavation
Dam & waterway	202	141	41	169	126.3	1.04	tunnel
Dam type	255	150	72	310	165.8	1.43	
Dam type	255	141	79	338	177.5	1.46	riverbed excavation
Dam & waterway	255	141	77	331	214.5	1.19	tunnel
La Honda							
Dam type	285	202	50	205	146.6	1.09	
Dam type	352	202	90	407	406.4	0.77	
Las Marias							
Dam type	285	255	16	67	44.5	1.17	
Dam type	352	255	51	226	135.9	1.27	
Cerro Pando							
Dam type	352	285	31	128	115.1	0.87	
Las Mesas							
Dam type	352	290	20	84	61.1	1.07	
Dam type	456	290	55	247	372.3	0.52	
Maroma							
Dam type	456	352	33	145	107.8	1.04	
Dam & waterway	456	285	54	235	155	1.17	tunnel

Table 9.2 Project Features of Development Scheme (Phase 1A)

Scheme	HWL (m)	TWL (m)	Pmax (MW)	Pf (MW)	Energy (GWh/year)	Ve (10 ⁶ m ³)	Construction Cost(10 ⁶ \$)	B/C	Area (km ²)	Resettled Houses
Scheme 1										
Carolina	202	141	49.8	43.2	188.4	54	89.1	1.5	4.23	2
La Honda	285	202	60.1	49.7	222	251	146.6	1.09	12.38	24
Las Mesas	352	290	24.6	21.5	94.4	43	61.1	1.07	2.72	3
Maroma	456	352	40	31	144.9	278	107.8	1.04	10.14	86
			174.5	145.4	649.7	626	404.6	1.23	29.47	115
Scheme 2										
Carolina	202	141	49.8	42.6	188.7	54	89.1	1.5	4.23	2
La Honda	285	202	60.1	48.4	221.5	251	146.6	1.09	12.38	24
Maroma (tunnel)	456	285	61.2	51.1	234.7	278	155	1.17	10.14	86
			171.1	142.1	644.9	583	390.7	1.27	26.75	112
Scheme 3										
Carolina	255	141	93.6	95.8	361.4	450	177.5	1.46	17.29	44
Las Marias	352	255	62.2	57	234.9	464	135.9	1.27	18.19	94
Maroma	456	352	40	31	144.9	278	107.8	1.04	10.14	86
			195.8	183.8	741.2	1192	421.2	1.34	45.62	224
Scheme 4										
Carolina	255	141	93.6	80.6	352.7	450	177.5	1.46	17.29	44
Las Marias	285	255	19.2	15.2	72.6	23	44.5	1.17	0.95	4
Maroma (tunnel)	456	285	61.2	51.1	234.7	278	155	1.17	10.14	86
			174	146.9	660	751	377	1.34	28.38	134

Table 9.3 Project Features of Torola River (Phase 1B)

Project	HWL (m)	TWL (m)	Pmax (MW)	Energy (GWh/year)	Construction Cost(10 ⁶ \$)	B/C
El Chaparral	202	133	58.8	205.6	92.5	1.61
Carolina	240	152	76.3	267.6	118	1.64
La Honda	285	204	59.6	207.8	130.7	1.18
Las Marias	285	257	19.7	55.2	65.5	0.64
Las Mesas	352	292	30.2	105	81.4	0.97
Maroma	456	352	42.7	148.4	100.2	1.1
Las Cruces	456	394	24.4	85.1	78.7	0.82

Table 9.4 Environmental Features of Projects (Phase 1B)

Project	Biological Impact Index	Social & Economical Impact	Physical Impact Index	Total of Index	Index/kWh	Evaluation
El Chaparral	26	55	18	99	0.48	very good
Carolina	27	80	23	132	0.49	very good
La Honda	28	66	24	118	0.57	good
Las Marias	21	32	12	65	1.2	very bad
Las Mesas	24	58	14	96	0.91	regular
Maroma	29	112	28	169	1.14	bad
Las Cruces	23	42	16	81	0.95	regular

Table 9.5 Project Features of Development Scheme (Phase 1B)

Project	HWL (m)	TWL (m)	Pmax (MW)	Energy (GWh/year)	Construction Cost (10 ⁶ \$)	A (km ²)	Relocated People (people)
El Chaparral	202	133	59	206 (223*)	92.5	8.2	210
La Honda	285	204	60	208 (221*)	129	11.6	195
Las Mesas	352	292	30	105 (107*)	81	2.7	190
Maroma	456	352	43	148 (148*)	98.7	10.1	600

* : Energy that considered the upstream projects operation

Table 9.6 Comparison Study of La Honda and Upstream Alternative

Case		La Honda	Upstream Alternative
Catchment Area	km ²	1,065	1,059
High Water Level HWL	EL m	275	275
Low Water Level LWL	EL m	254	257
Drawdown Depth Hd	EL m	21	18
Normal Water Level NWL	EL m	268	269
Sedimentation Level SL	EL m	244	247
Tail Water Level TWL	EL m	198	204
Penstock Diameter (V=5m/s)	m	4.5	4.5
Gross Storage Capacity Vg	10 ⁶ m ³	182	156
Effective Storage Capacity Ve	10 ⁶ m ³	114	91
Peaking Time	hr	4	4
Firm Discharge Qf without EMF 2m ³ /s	m ³ /s	8.6	7.1
Maximum Discharge Qmax	m ³ /s	80.0	80.0
Gross Head Hg	m	70.0	65.0
Effective Head He	m	69.0	64.0
Installed Capacity P1max (main)	MW	48.8	45.3
Installed Capacity P2max (sub)	MW	1.3	1.2
Pmax=P1max+P2max	MW	50.1	46.5
Dependable Capacity Pf1 (main)	MW	24.6	0.0
Dependable Capacity Pf2 (sub)	MW	0.9	0.9
Pf=Pf1+Pf2	MW	25.5	0.9
Annual Average Inflow	10 ⁶ m ³	1,300.6	1,293.3
Annual Average Power Discharge	10 ⁶ m ³	1,030.5	1,016.0
Annual Average Overflow	10 ⁶ m ³	203.9	214.6
Annual Average Energy E1 (main)	GWh	179.5	163.6
Annual Average Energy E2 (sub)	GWh	9.9	7.9
Annual Average Energy E3 (15Sep)	GWh	2.0	2.0
E=E1+E2+E3	GWh	191.3	173.5
Plant Factor	%	44	43
Project Cost	10 ⁶ \$	157.6	152.2
Energy cost per kw	\$/kW	3,143	3,273
Energy cost per kwh	\$/kWh	0.092	0.098
B/C		0.74	0.48
B-C	10 ⁶ \$	-4.46	-8.64

EMF : Ecological Minimum Flow

Table 9.7 Alternative Thermal Power Plant for Comparison Study

Item	Unit	Diesel (Motor)
Installed Capacity	MW	10 × 6
Annual Usage	hr	3500 (pf=40%)
Capital Cost	\$/kW	1000
O&M Cost (Fixed)	\$/kW/year	25
O&M Cost (Variable)	\$/kWh	0.0055
Fuel Cost (Bunker C)	\$/kWh	0.0387
Discount Rate	%	10
Service Life	Year	20
Construction Period	Year	2
Capital Recovery Factor		0.1175

Annual Cost		Fixed Cost	Variable Cost
Capital Recovery	10 ⁶ \$	7.05 ^{*1}	0
O&M Cost	10 ⁶ \$	1.50 ^{*2}	1.16 ^{*3}
Fuel Cost	10 ⁶ \$	0	8.13 ^{*4}
Total	10 ⁶ \$	8.55	9.29

Annual Cost at Receiving End		
kW Cost	\$/kW	171.0 ^{*5}
kWh Cost	\$/kWh	0.046 ^{*6}

Adjustment Factor for kW & kWh		Diesel		Hydro Power	
		kW	kWh	kW	kWh
Transmission Loss Rate	%	0.0	0.0	3.3	1.9
Station Service Rate	%	5.0	5.0	0.3	0.3
Forced Outage Rate	%	10.0	-	0.3	
Scheduled Outage Rate	%	8.0	-	2.0	

kW adjustment factor = $(1-0.033) \times (1-0.003) \times (1-0.003) \times (1-0.02) / ((1-0.05) \times (1-0.1) \times (1-0.08)) = 1.20$

kWh adjustment factor = $(1-0.019) \times (1-0.003) / (1-0.05) = 1.03$

*1 : $60000 \times 1000 \times 0.1175 = 7.05 \times 10^6$

*2 : $60000 \times 25 = 1.50 \times 10^6$

*3 : $60000 \times 3500 \times 0.0055 = 1.16 \times 10^6$

*4 : $60000 \times 3500 \times 0.0387 = 8.13 \times 10^6$

*5 : $8.55 \times 10^6 / (60000 / 1.20) = 171.0$

*6 : $9.29 \times 10^6 / (60000 \times 3500 / 1.03) = 0.046$

Table 9.8 Scale Examination of El Chaparral Project by Single Development Scheme

Case		CH1-1	CH1-2	CH1-3	CH2-1	CH2-2	CH2-3	CH3-1	CH3-2	CH3-3
High Water Level	HWL	212	212	212	204	204	204	198	198	198
Low Water Level	LWL	195	196	198	194	195	197	191	193	194
Drawdown Depth	Hd	17	16	14	10	9	7	7	5	4
Normal Water Level	NWL	206	207	207	201	201	202	196	196	197
Sedimentation Level	SL	185	185	185	185	185	185	185	185	185
Tail Water Level	TWL	133	133	133	133	133	133	133	133	133
Penstock Dia	(V=5m/s)	4.2	5.0	5.8	3.6	4.5	5.5	2.3	3.2	3.9
Gross Storage Capacity	Vg	189	189	189	128	128	128	93	93	93
Effective Storage Capacity	Ve	111	106	96	54	50	40	31	23	19
Peaking Time		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Firm Discharge Qf without 2m ³ /s		8.9	8.6	8.0	4.9	4.5	3.8	3.0	2.3	2.0
Maximum Discharge Qmax		70	100	130	50	80	120	20	40	60
Gross Head	Hg	73.0	74.0	74.0	68.0	68.0	69.0	63.0	63.0	64.0
Effective Head	He	71.8	72.8	72.8	66.8	66.8	67.8	61.8	61.8	62.8
Installed Capacity P1max (main)		44.5	64.4	83.7	29.5	47.3	72.0	10.9	21.9	33.3
Installed Capacity P2max (sub)		1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1
Pmax=P1max+P2max		45.8	65.7	85.1	30.8	48.5	73.2	12.0	23.0	34.4
Dependable Capacity Pfl (main)		29.3	26.6	21.5	14.6	10.8	0.0	5.5	4.1	0.0
Dependable Capacity Pfl2 (sub)		1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
Pf=Pfl+Pfl2		30.4	27.7	22.6	15.6	11.9	1.1	6.5	5.1	1.0
Annual Average Inflow		1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1
Annual Average Power Discharge		1065.9	1226.9	1304.7	844.0	1088.4	1303.1	419.6	697.9	921.6
Annual Average Overflow		355.4	194.9	117.7	578.4	334.0	153.0	1003.6	726.0	513.1
Annual Average Energy E1 (main)		190.2	219.7	235.9	139.0	178.9	210.4	64.9	107.0	140.2
Annual Average Energy E2 (sub)		10.5	10.6	10.7	9.8	9.9	10.0	9.1	9.3	9.4
Annual Average Energy E3 (15Sep)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
E=E1+E2+E3		202.7	232.3	248.6	150.8	190.7	222.4	76.0	118.3	151.6
Plant Factor		51	40	33	56	45	35	72	59	50
Project Cost		128.5	135.3	142.2	110.3	117.0	125.7	95.8	100.1	104.3
Energy cost per kw		2806	2059	1672	3586	2413	1717	7958	4356	3029
Energy cost per kwh		0.071	0.065	0.064	0.081	0.068	0.063	0.140	0.094	0.077
B/C		1.00	1.01	0.96	0.77	0.82	0.74	0.43	0.56	0.61
B-C		0.00	0.16	-0.67	-2.72	-2.26	-3.51	-5.98	-4.76	-4.38

Table 9.9 Scale Examination of La Honda Project by Single Development Scheme

Case	LH1-1	LH1-2	LH1-3	LH2-1	LH2-2	LH2-3	LH3-1	LH3-2	LH3-3
High Water Level	EL m	295	295	285	285	285	275	275	275
Low Water Level	EL m	255	256	254	255	257	253	254	256
Drawdown Depth	Hd	40	39	31	30	28	22	21	19
Normal Water Level	NWL	282	282	275	275	276	268	268	269
Sedimentation Level	SL	244	244	244	244	244	244	244	244
Tail Water Level	TWL	198	198	198	198	198	198	198	198
Penstock Dia (V=5m/s)	m	5	6	4	5	6	4	5	5
Gross Storage Capacity	Vg	376	376	268	268	268	182	182	182
Effective Storage Capacity	Ve	304	300	200	196	188	117	114	106
Peaking Time	hr	4	4	4	4	4	4	4	4
Firm Discharge Qf without 2m ³ /s	m ³ /s	19	18	18	14	13	9	9	8
Maximum Discharge	Qmax	90	120	150	70	100	50	80	110
Gross Head	Hg	84	84	85	77	77	70	70	71
Effective Head	He	83	83	84	76	76	69	69	70
Installed Capacity P1max (main)	MW	66	88	111	47	67	31	49	68
Installed Capacity P2max (sub)	MW	2	2	2	1	1	1	1	1
Pmax=P1max+P2max	MW	68	90	113	49	69	32	50	69
Dependable Capacity Pfl (main)	MW	36	37	36	29	32	22	25	25
Dependable Capacity Pfl2 (sub)	MW	1	1	1	1	1	1	1	1
PF=Pfl+Pfl2	MW	37	38	37	30	33	23	26	26
Annual Average Inflow	10 ⁶ m ³	1301	1301	1301	1301	1301	1301	1301	1301
Annual Average Power Discharge	10 ⁶ m ³	1124	1158	1193	1014	1164	839	1031	1120
Annual Average Overflow	10 ⁶ m ³	108	75	40	219	70	395	204	114
Annual Average Energy E1 (main)	GWh	239	251	258	195	230	145	179	199
Annual Average Energy E2 (sub)	GWh	11	12	12	11	11	10	10	10
Annual Average Energy E3 (15Sep)	GWh	2	2	2	2	2	2	2	2
E=E1+E2+E3	GWh	252	264	272	208	243	156	191	211
Plant Factor	%	43	34	27	49	38	56	44	35
Project Cost	10 ⁶ \$	217.7	224.5	231.6	182.2	188.8	151.2	157.6	164.2
Energy cost per kw	\$/kw	3213	2501	2047	3753	2748	4749	3143	2364
Energy cost per kwh	\$/kwh	0.096	0.095	0.095	0.098	0.091	0.108	0.092	0.087
B/C		0.73	0.73	0.72	0.71	0.75	0.65	0.74	0.76
B-C	10 ⁶ \$	-6.39	-6.51	-7.08	-5.68	-5.10	-5.75	-4.46	-4.23

Table 9.10 Joint Development of La Honda and El Chaparral

Case		La Honda	Chaparral	Combined	
High Water Level	HWL	EL m	275	212	
Low Water Level	LWL	EL m	254	196	
Drawdown Depth	Hd	EL m	21	16	
Normal Water Level	NWL	EL m	268	207	
Sedimentation Level	SL	EL m	244	161	
Tail Water Level	TWL	EL m	198	133	
Penstock Dia	(V=5m/s)	m	4.5	5	
Gross Storage Capacity	Vg	10 ⁶ m ³	182	189	
Effective Storage Capacity	Ve	10 ⁶ m ³	114	106	
Peaking Time		hr	4	4	
Firm Discharge Qf without 2m ³ /s		m ³ /s	8.6	11.3	
Maximum Discharge	Qmax	m ³ /s	80	100	
Gross Head	Hg	m	70.0	74.0	
Effective Head	He	m	69.0	72.8	
Installed Capacity P1max (main)		MW	48.8	64.4	113.2
Installed Capacity P2max (sub)		MW	0.0	1.3	1.3
Pmax=P1max+P2max		MW	48.8	65.7	114.5
Dependable Capacity Pf1 (main)		MW	24.6	29.2	53.8
Dependable Capacity Pf2 (sub)		MW	0.0	1.1	1.1
Pf=Pf1+Pf2		MW	24.6	30.3	54.9
Annual Average Inflow		10 ⁶ m ³	1300.6	1502.7	
Annual Average Power Discharge		10 ⁶ m ³	1030.5	1271.1	
Annual Average Overflow		10 ⁶ m ³	203.9	547.0	
Annual Average Energy E1 (main)		GWh	179.5	229.0	408.5
Annual Average Energy E2 (sub)		GWh	0.0	10.6	10.6
Annual Average Energy E3 (15Sep)		GWh	2.0	2.0	4.0
E=E1+E2+E3		GWh	181.5	241.6	423.1
Plant Factor		%	42	42	
Project Cost		10 ⁶ \$	156.6	135.3	292.0
Energy cost per kw		\$/kW	3207	2060	2549
Energy cost per kwh		\$/kWh	0.096	0.062	0.077
B/C			0.71	1.07	0.88
B-C		10 ⁶ \$	-4.94	1.00	-3.94

Table 9.11 El Chaparral Project Comparison of Peaking Time

Case		CH1-1	CH1-2	CH1-3	CH1-1	CH1-2	CH1-3
Peaking Time	hr	4 hr	4 hr	4 hr	3 hr	3 hr	3 hr
High Water Level	HWL	EL m	212	212	212	212	212
Low Water Level	LWL	EL m	195	196	198	195	198
Drawdown Depth	Hd	EL m	17	16	14	17	14
Normal Water Level	NWL	EL m	206	207	207	206	207
Sedimentation Level	SL	EL m	185	185	185	185	185
Tail Water Level	TWL	EL m	133	133	133	133	133
Penstock Dia (V=5m/s)		m	4.2	5.0	5.8	4.2	5.0
Gross Storage Capacity	Vg	10 ⁶ m ³	189	189	189	189	189
Effective Storage Capacity	Ve	10 ⁶ m ³	111	106	96	111	106
Peaking Time	hr		4	4	4	3	3
Firm Discharge Qf without 2m ³ /s		m ³ /s	8.9	8.6	8.0	8.9	8.6
Maximum Discharge	Qmax	m ³ /s	70	100	130	70	100
Gross Head	Hg	m	73.0	74.0	74.0	73.0	74.0
Effective Head	He	m	71.8	72.8	72.8	71.8	72.8
Installed Capacity P1max (main)		MW	44.5	64.4	83.7	44.5	64.4
Installed Capacity P2max (sub)		MW	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Pmax=P1max+P2max		MW	45.8	65.7	85.1	45.8	65.7
Dependable Capacity Pf1 (main)		MW	29.3	26.6	21.5	35.9	38.4
Dependable Capacity Pf2 (sub)		MW	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Pf=Pf1+Pf2		MW	30.4	27.7	22.6	37.0	39.5
Annual Average Inflow		10 ⁶ m ³	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1	1489.1
Annual Average Power Discharge		10 ⁶ m ³	1065.9	1226.9	1304.7	1065.9	1226.9
Annual Average Overflow		10 ⁶ m ³	355.4	194.9	117.7	355.4	194.9
Annual Average Energy E1 (main)		GWh	190.2	219.7	235.9	190.6	220.6
Annual Average Energy E2 (sub)		GWh	10.5	10.6	10.7	10.5	10.6
Annual Average Energy E3 (15Sep)		GWh	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
E=E1+E2+E3		GWh	202.7	232.3	248.6	203.1	233.2
Plant Factor		%	51	40	33	51	40
Project Cost		10 ⁶ \$	128.5	135.3	142.2	128.5	135.3
Energy cost per kw		\$/kW	2806	2059	1672	2806	2059
Energy cost per kwh		\$/kWh	0.071	0.065	0.064	0.071	0.065
B/C			1.00	1.01	0.96	1.08	1.14
B-C		10 ⁶ \$	0.00	0.16	-0.67	1.08	2.10

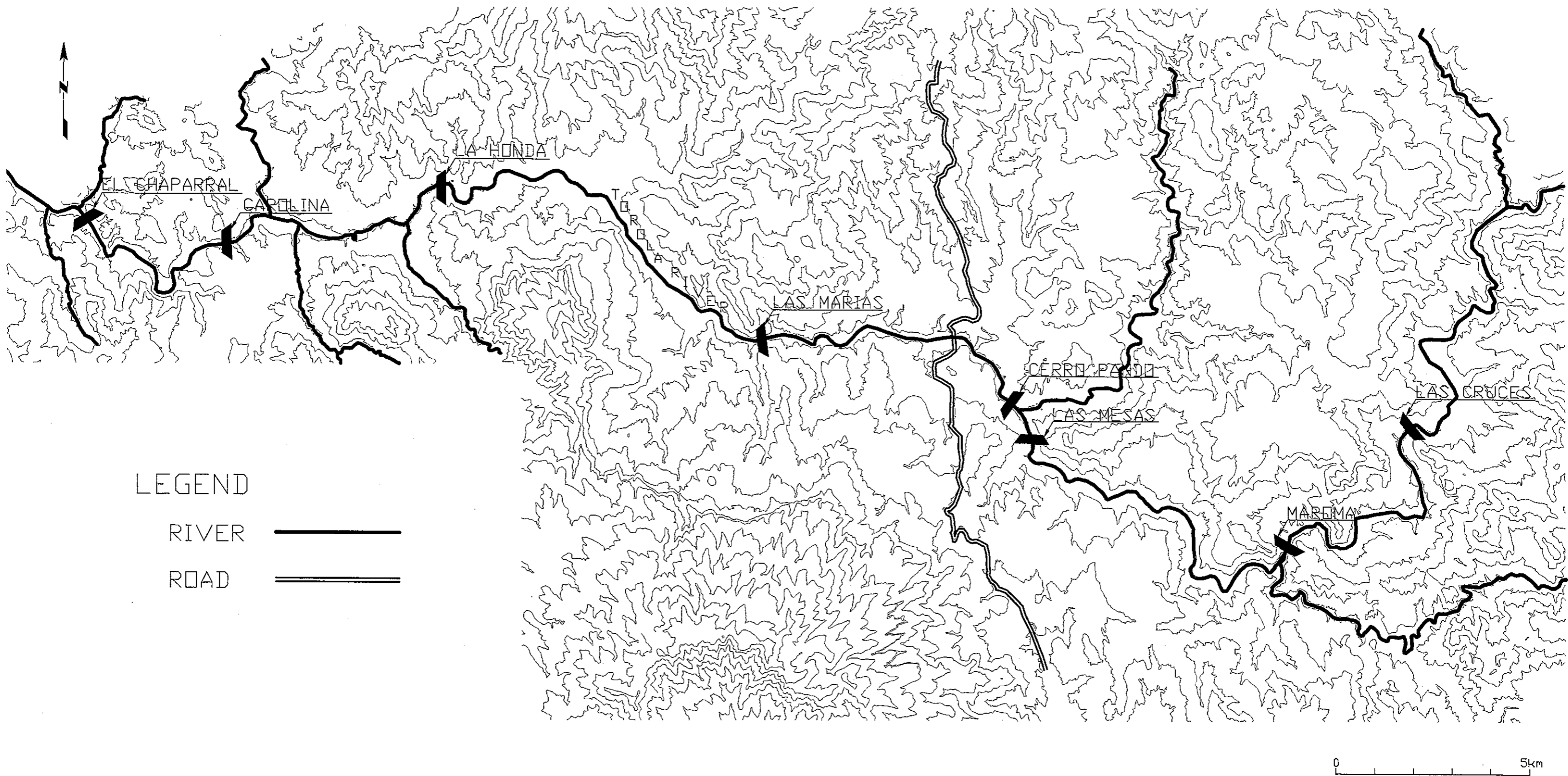
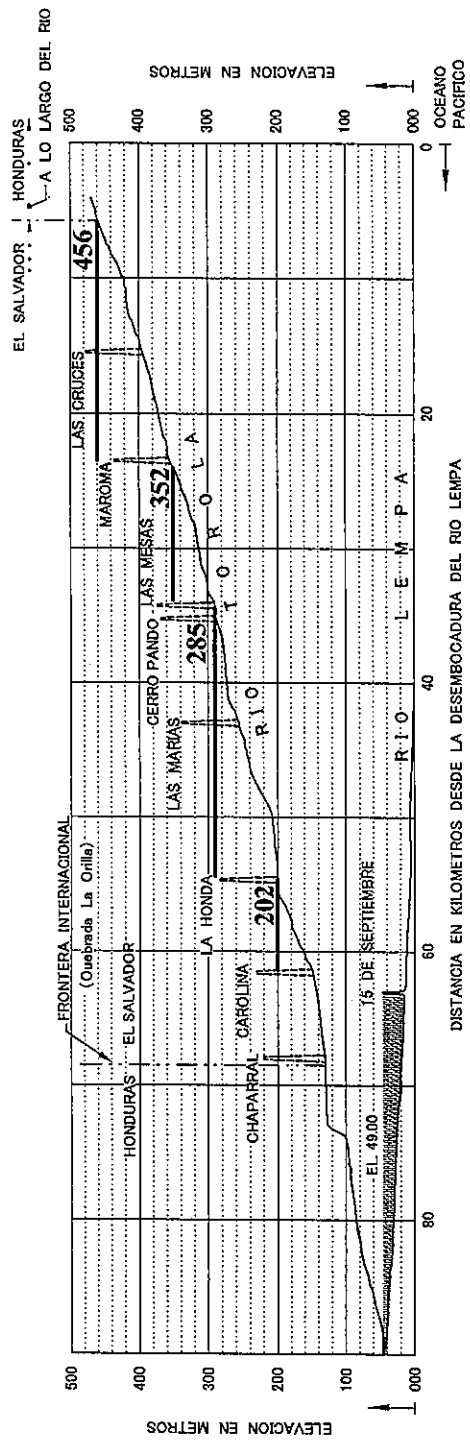
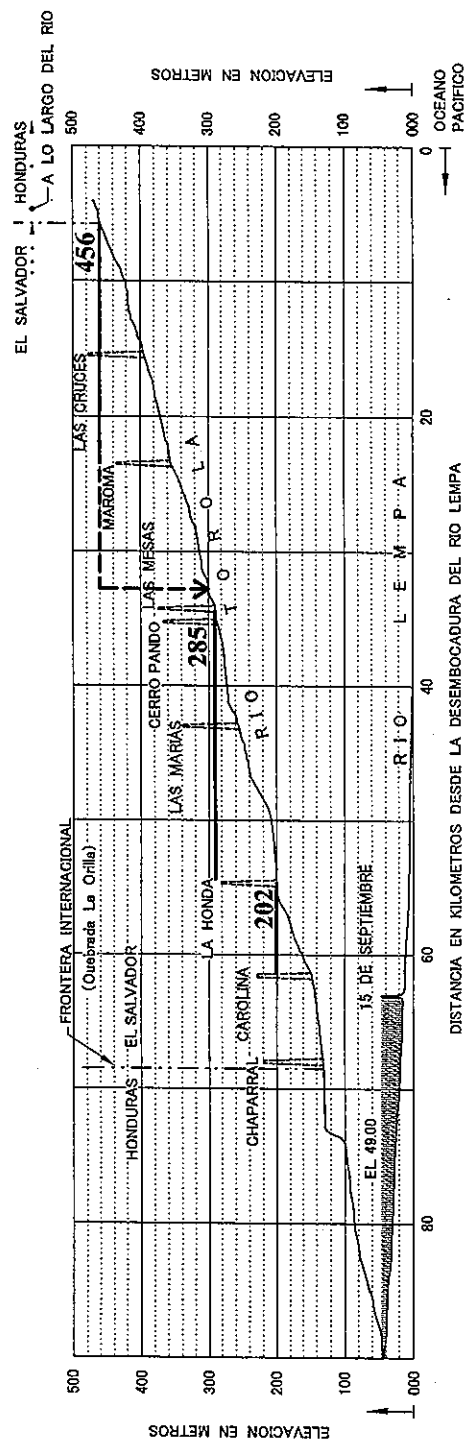


Fig. 9.1 Projects in Torola River (Phase 1A -Phase 1B)

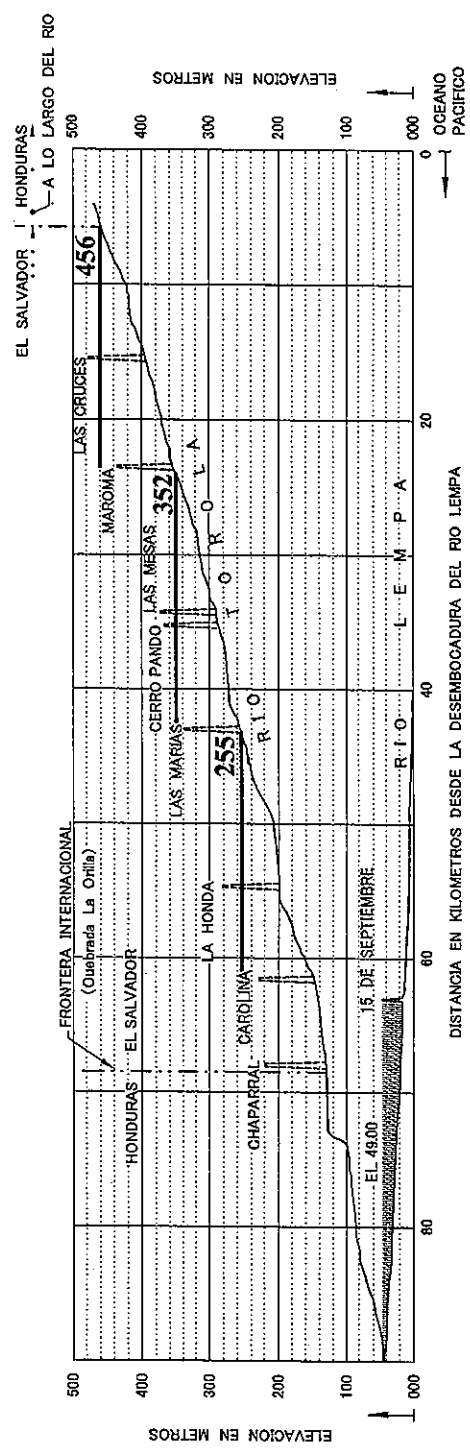
**Phase 1A
(Scheme 1)**



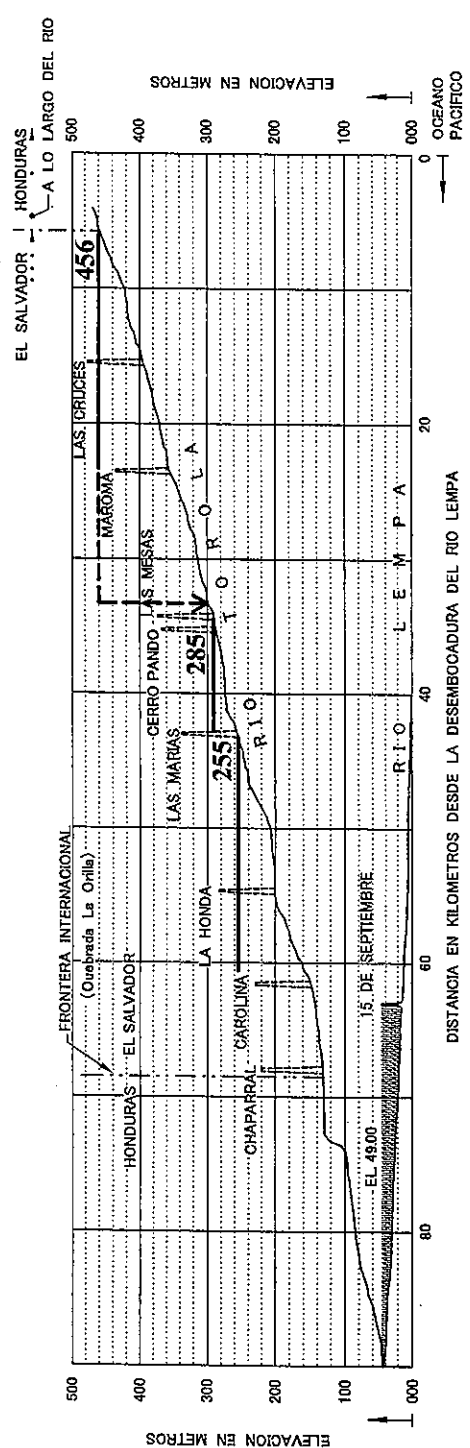
(Scheme 2)



(Scheme 3)



(Scheme 4)



**Phase 1B
(Proposed Scheme)**

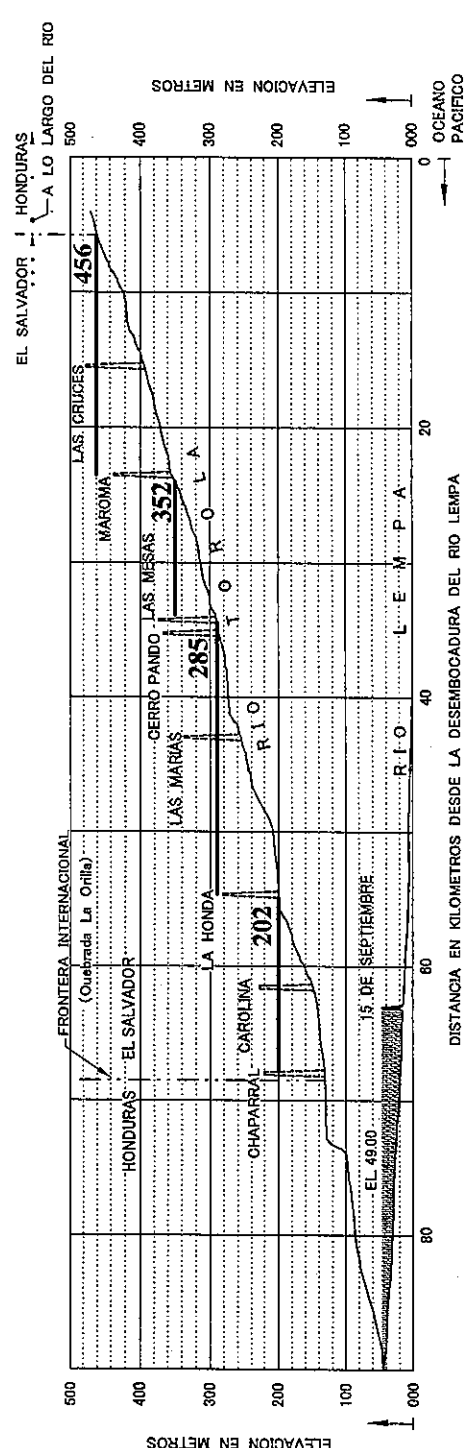


Fig. 9.2 Development Scheme in Torola River (Phase 1A, Phase 1B)

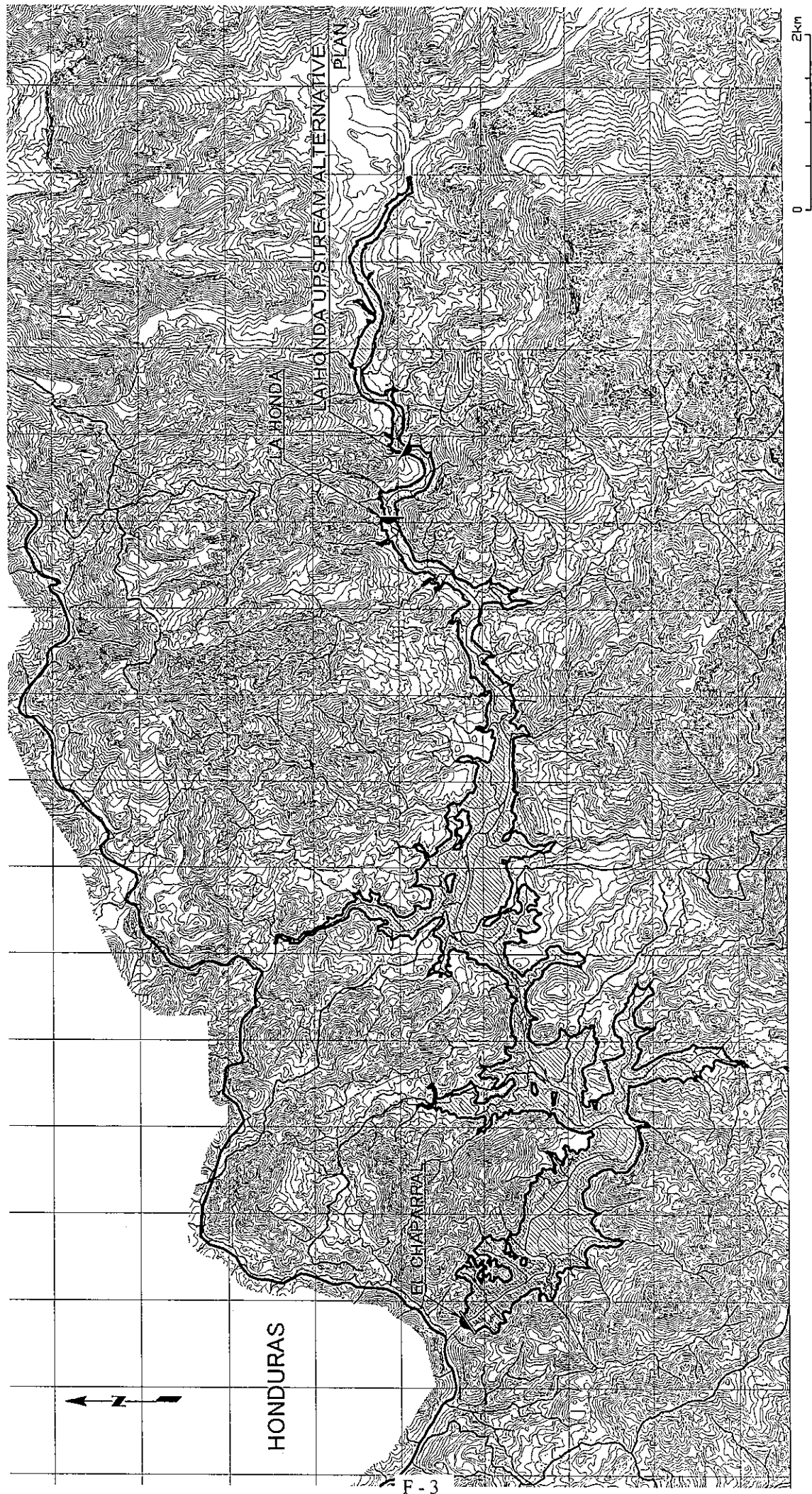
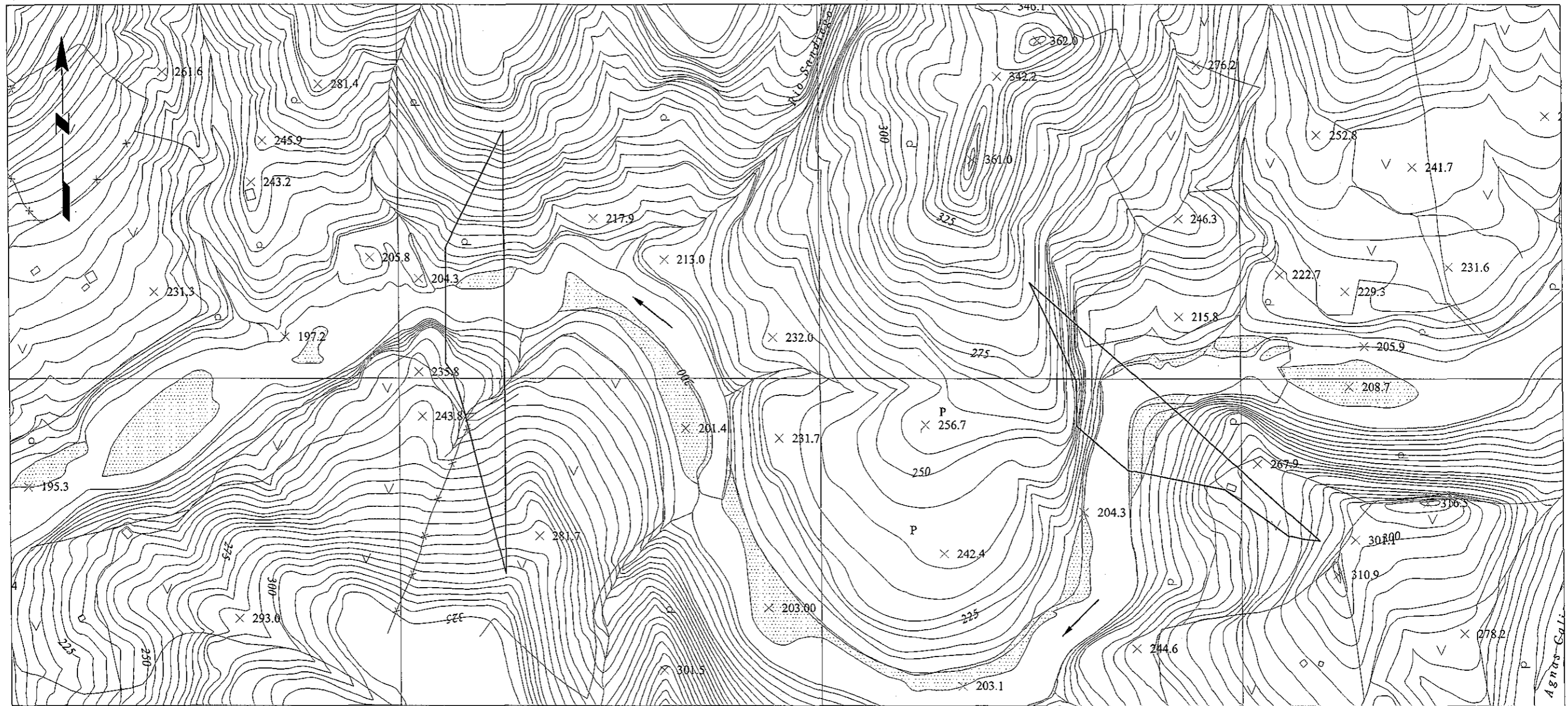


Fig. 9.3 Location of El Chaparral and La Honda Development Plan

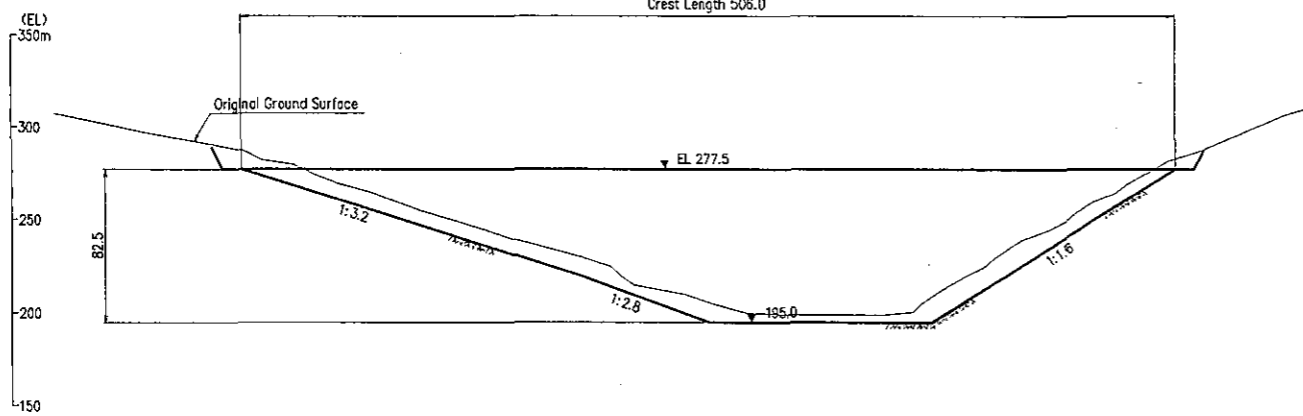
PLAN



0 100 200m

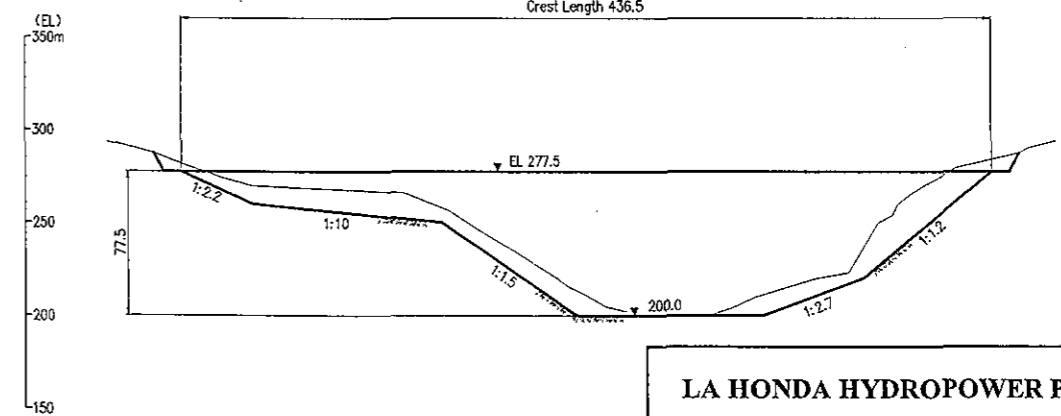
LA HONDA

Crest Length 506.0



LA HONDA UPSTREAM ALTERNATIVE

Crest Length 436.5



LA HONDA HYDROPOWER PROJECT

UPSTREAM ALTERNATIVE DAM

Fig. 9.4

DATE