

コスタ・リカ共和国

ピリス水力発電開発計画
調査報告書

平成4年9月

国際協力事業団

コスタ・リカ共和国
ピリス水力発電開発計画
調査報告書

92・9
国際協力

605
643
MPN

調査
C-R (3)
92-149

コスタ・リカ共和国

ピリス水力発電開発計画

調査報告書

JICA LIBRARY



1101066171

24339

平成4年9月

国際協力事業団

国際協力事業団

24339

序 文

日本国政府は、コスタリカ共和国の要請に基づき、同国のピリス川流域で水力発電開発計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成元年11月から平成4年6月までの間、5回にわたり、電源開発㈱の高市 守氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、コスタリカ政府関係者と協議を行うとともに、対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

最後に、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成4年9月

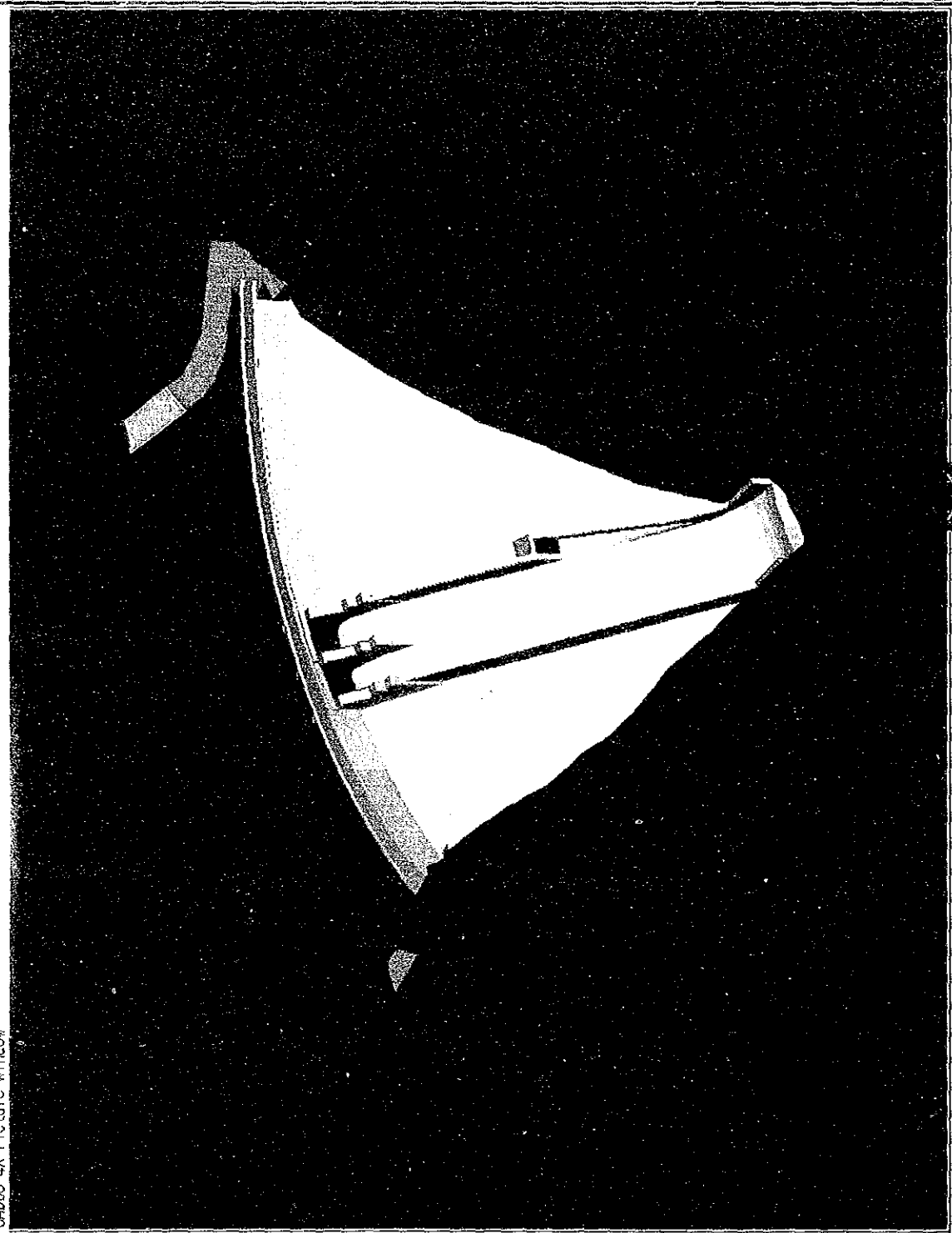
国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

000F 0000S M0111

000F 0000S M0111

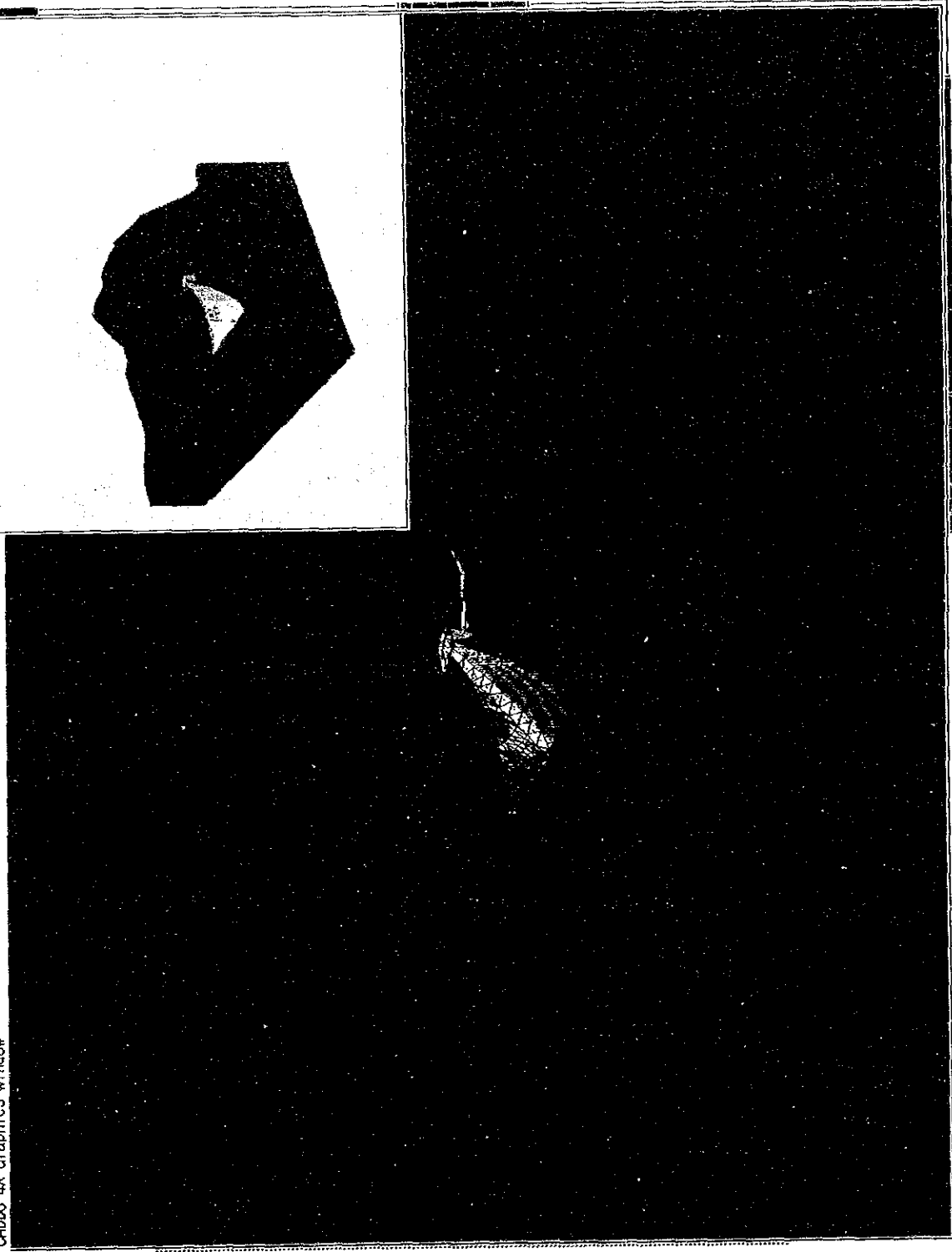
<< PICTURE >>
CADS 4X PICTURE WINDOW



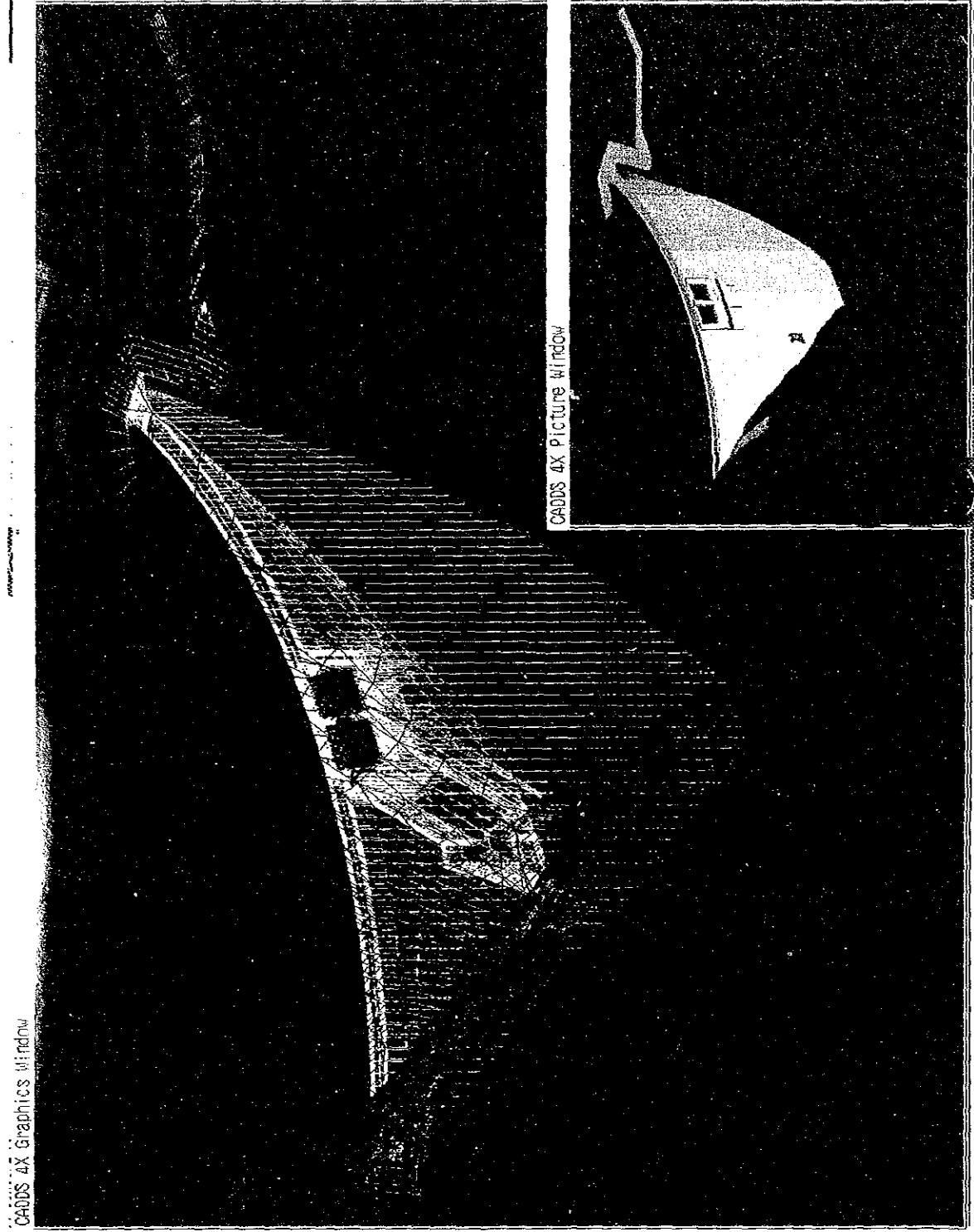
Downstream View of Dam [Drawn with CAD]

CADD5 4X Picture Window

CADD5 4X Graphics Window

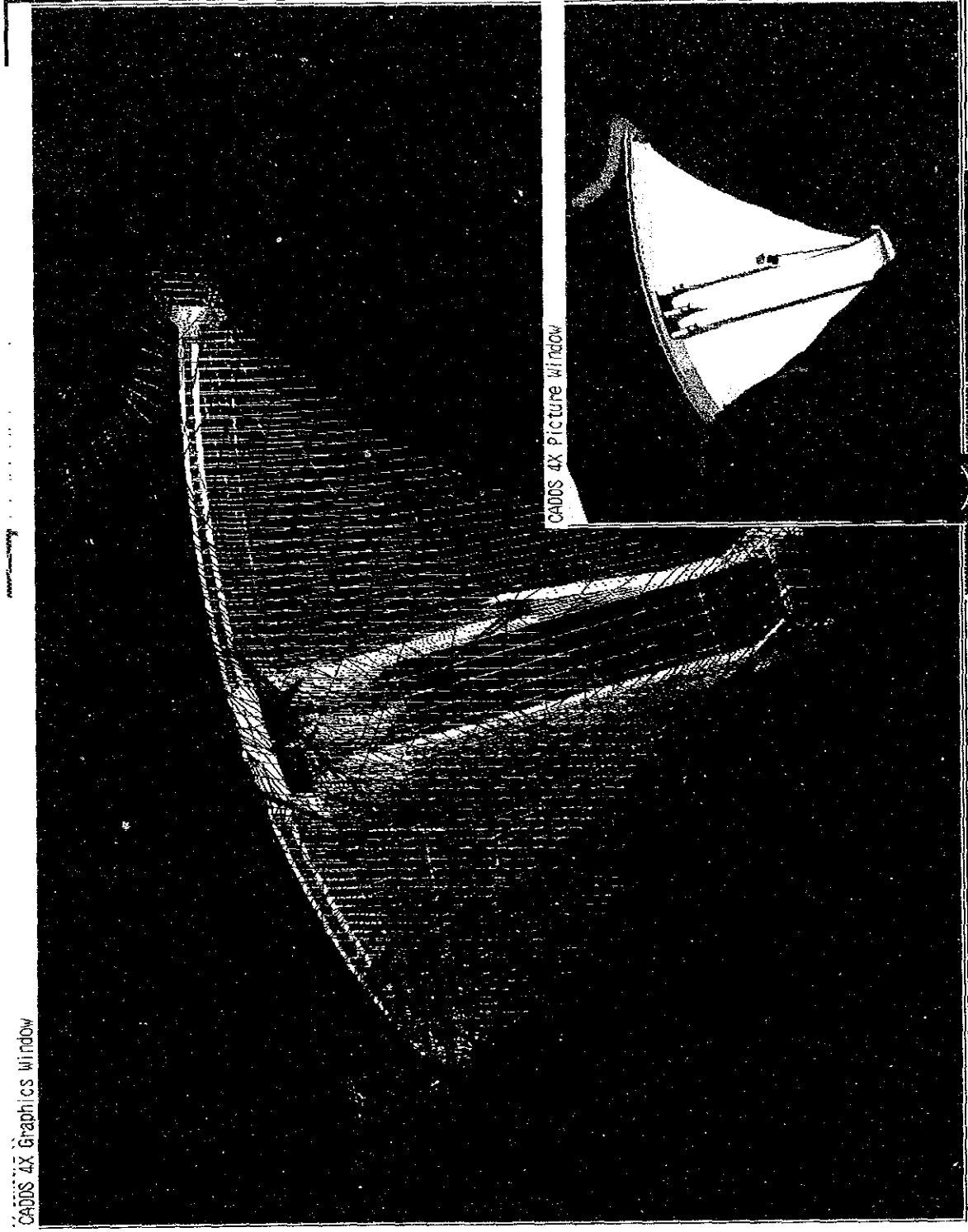


Bird Eye View of Dam [Drawn with CAD]

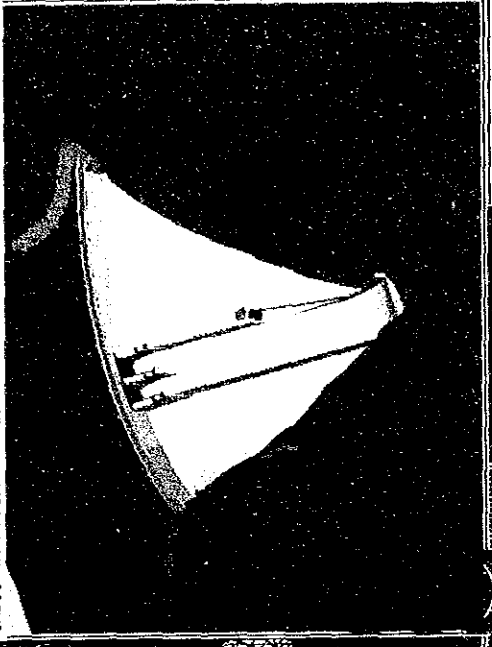


Upstream Wireframe View of Dam [Drawn with CAD]

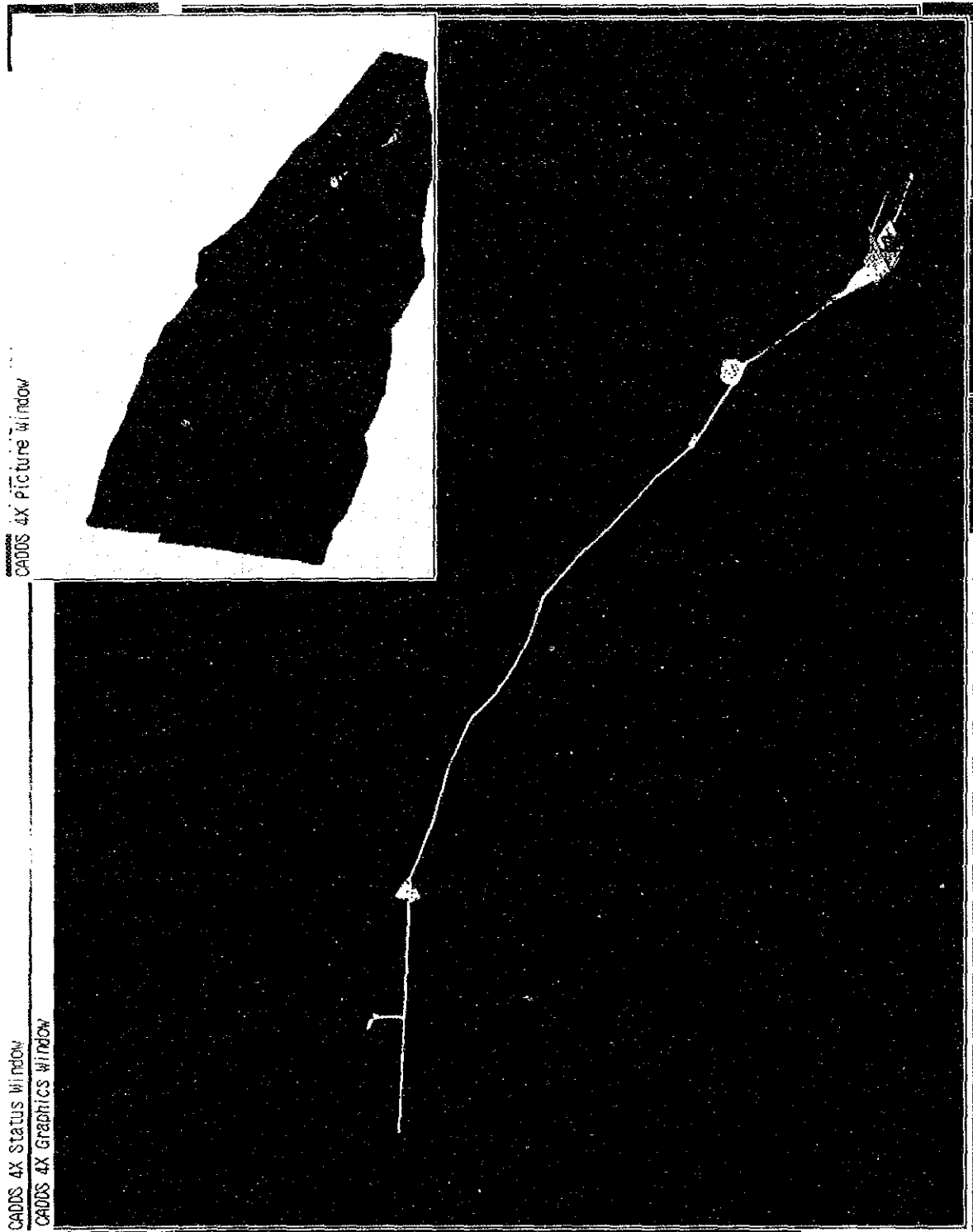
CADD 4X Graphics Window



CADD 4X Picture Window



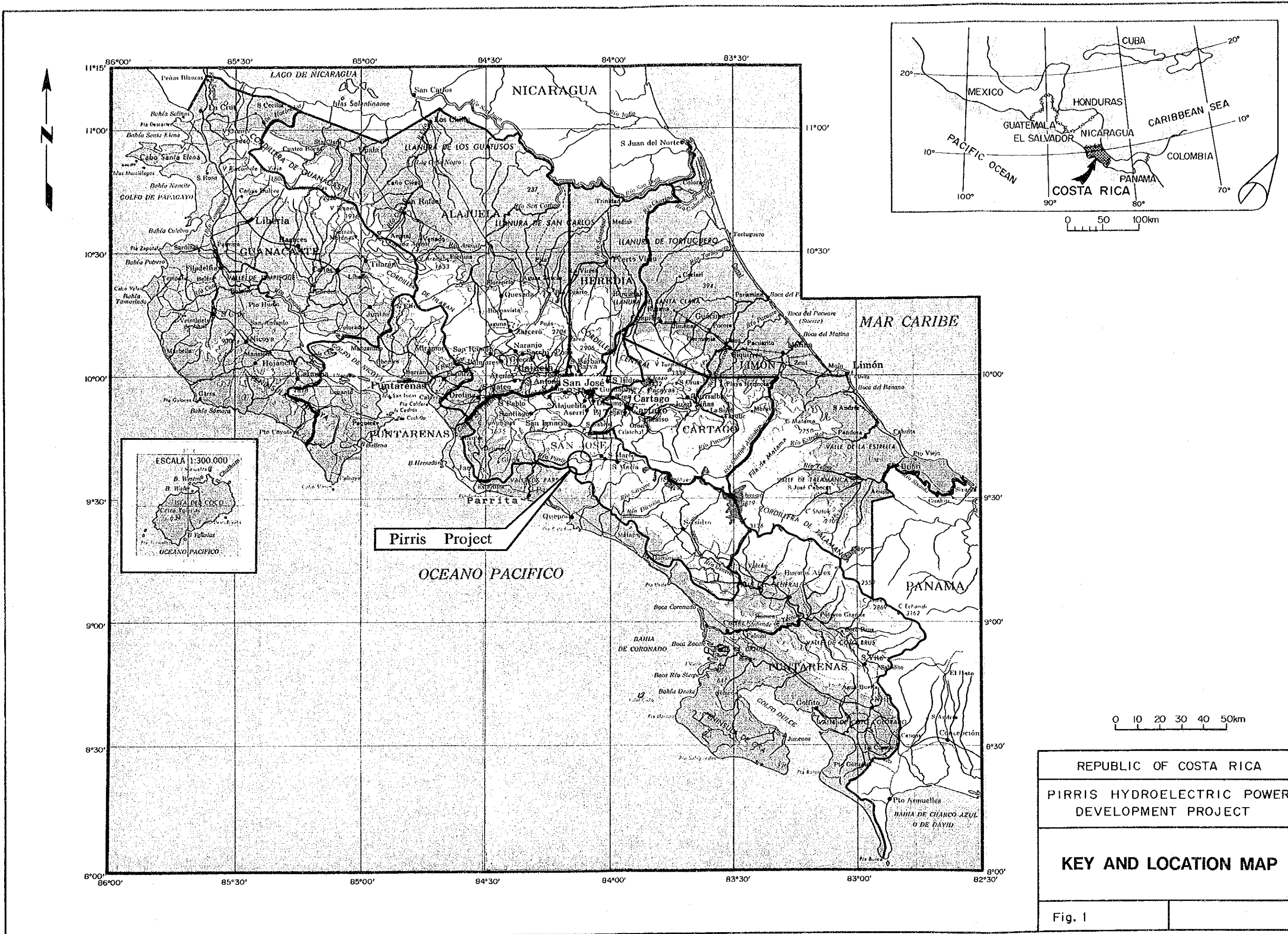
Downstream Wireframe View of Dam [Drawn with CAD]

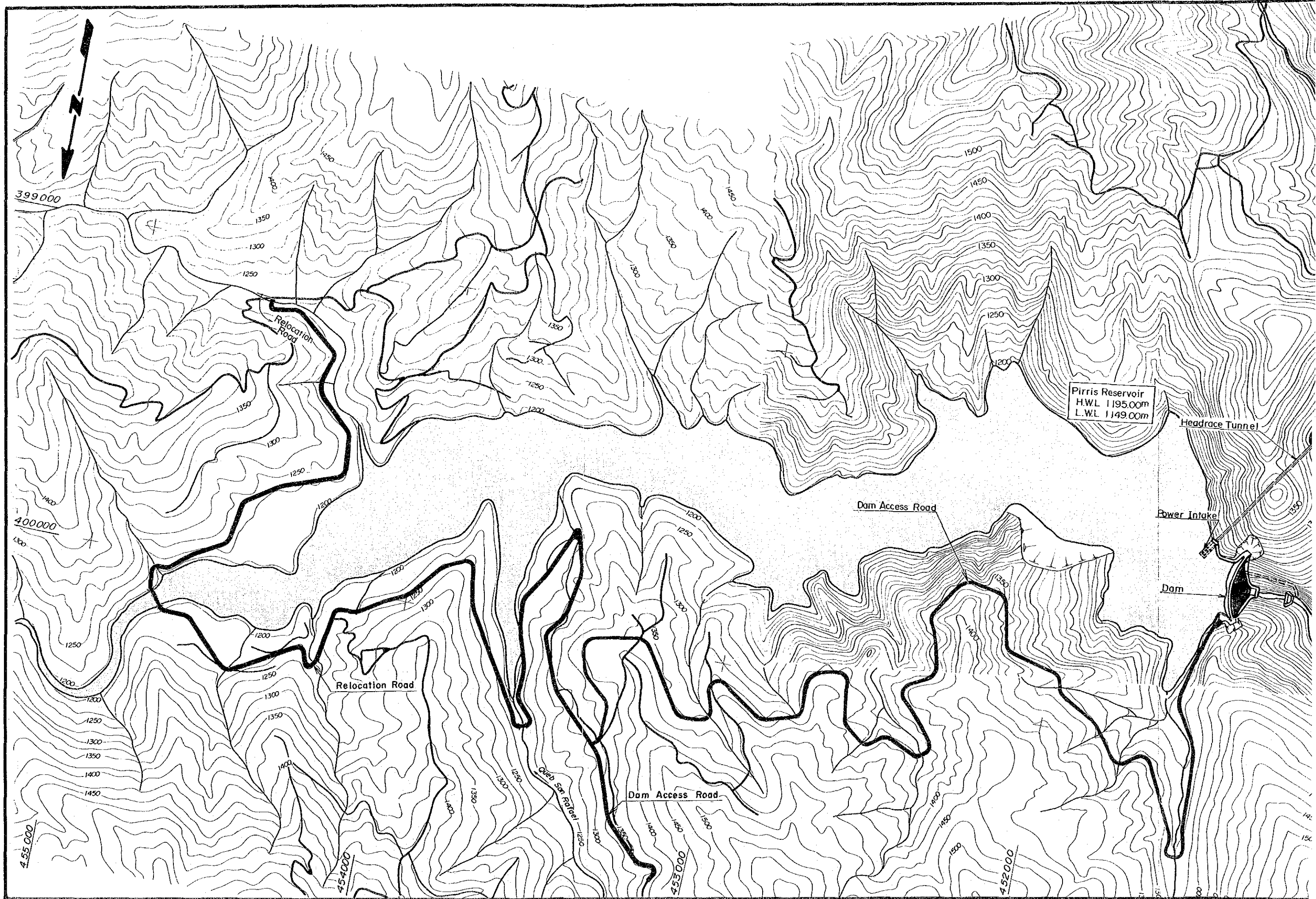


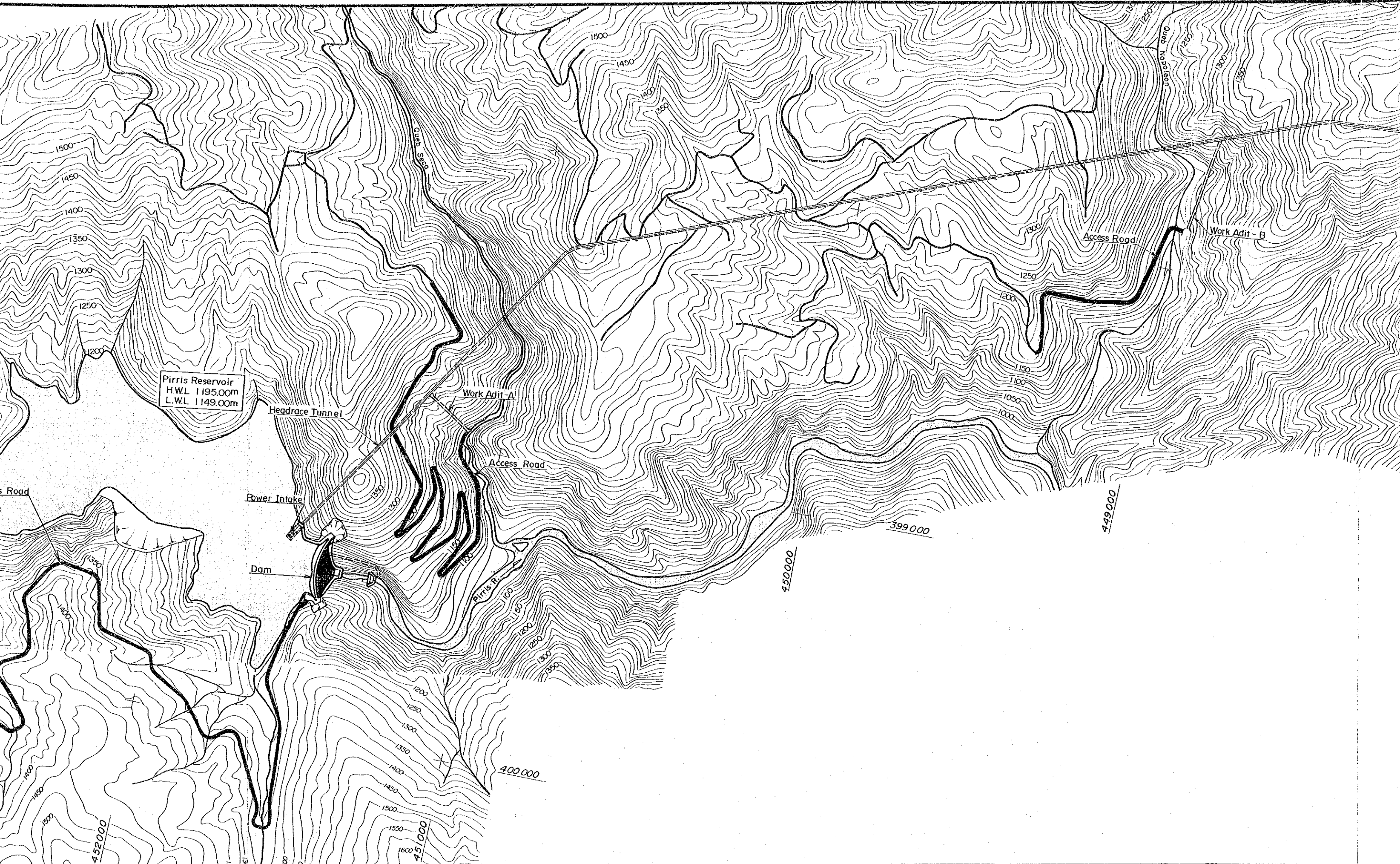
Bird Eye View of Penstock and Powerhouse [Drawn with CAD]

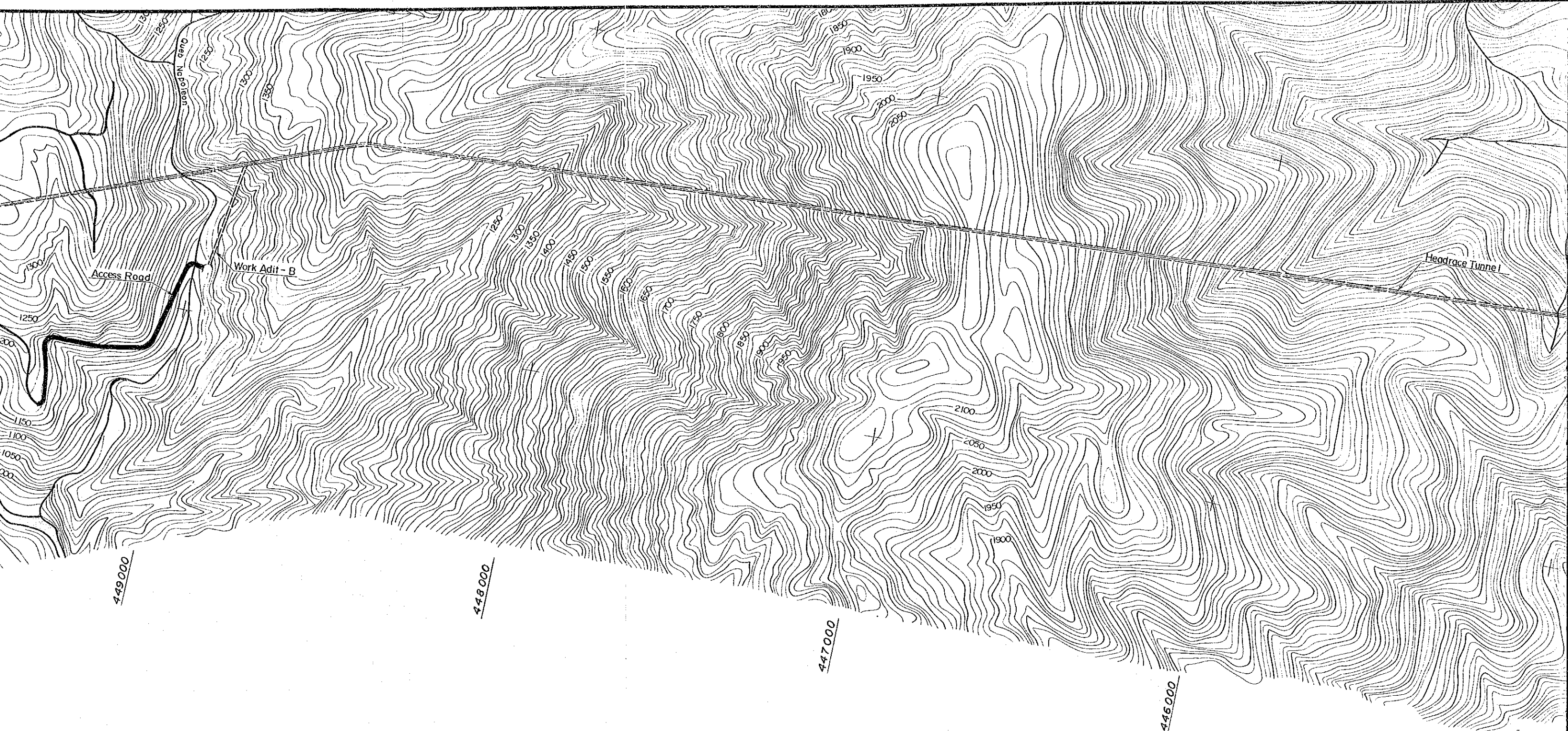


Pirris Dam Site
(Looking from the upstream side)









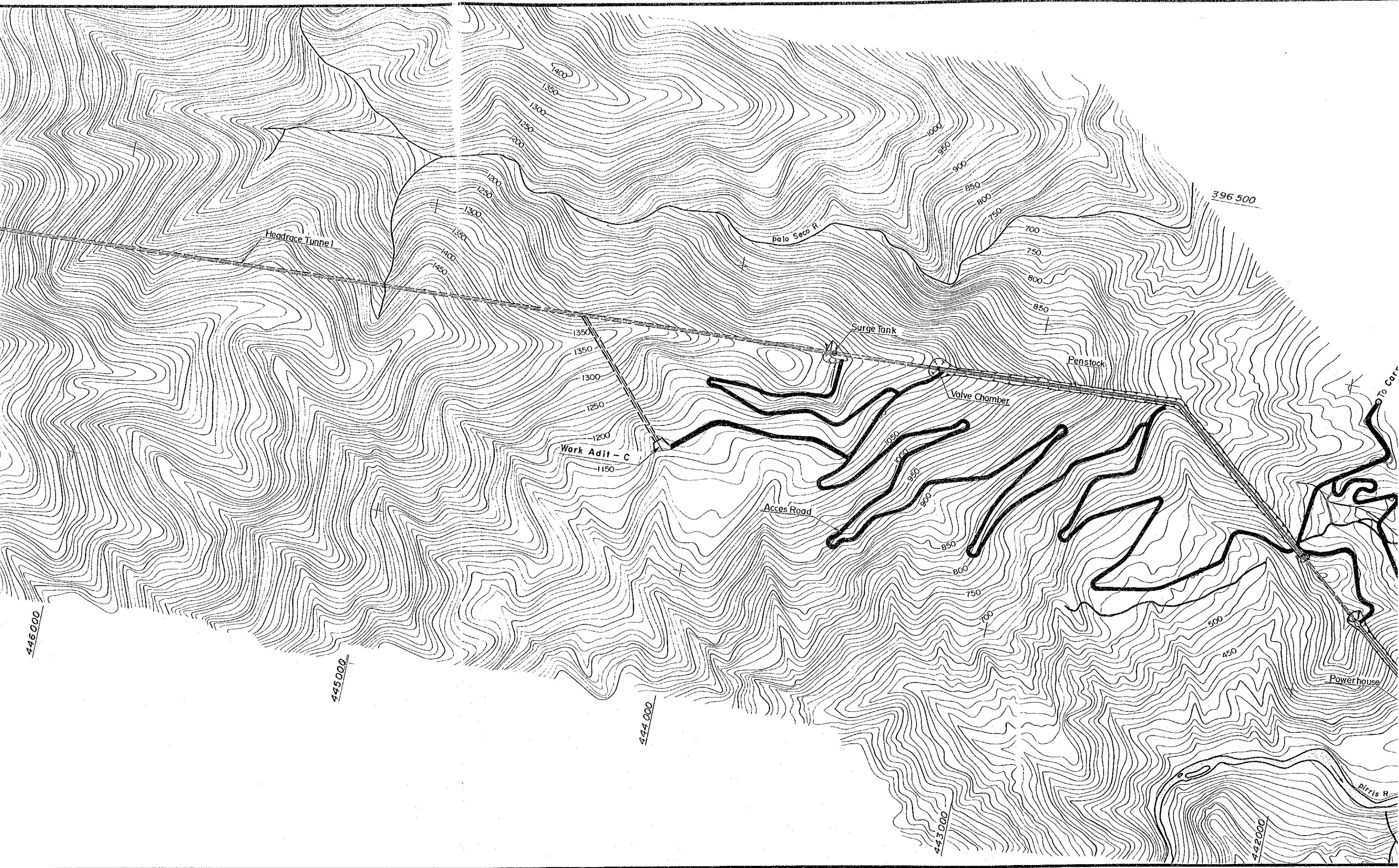
449 000

448 000

447 000

446 000

445 000



Headrace Tunnel

Palo Seco R.

Surge Tank

Penstock

Valve Chamber

Work Adit - c

Access Road

Powerhouse

Birris R.

446.000

445.000

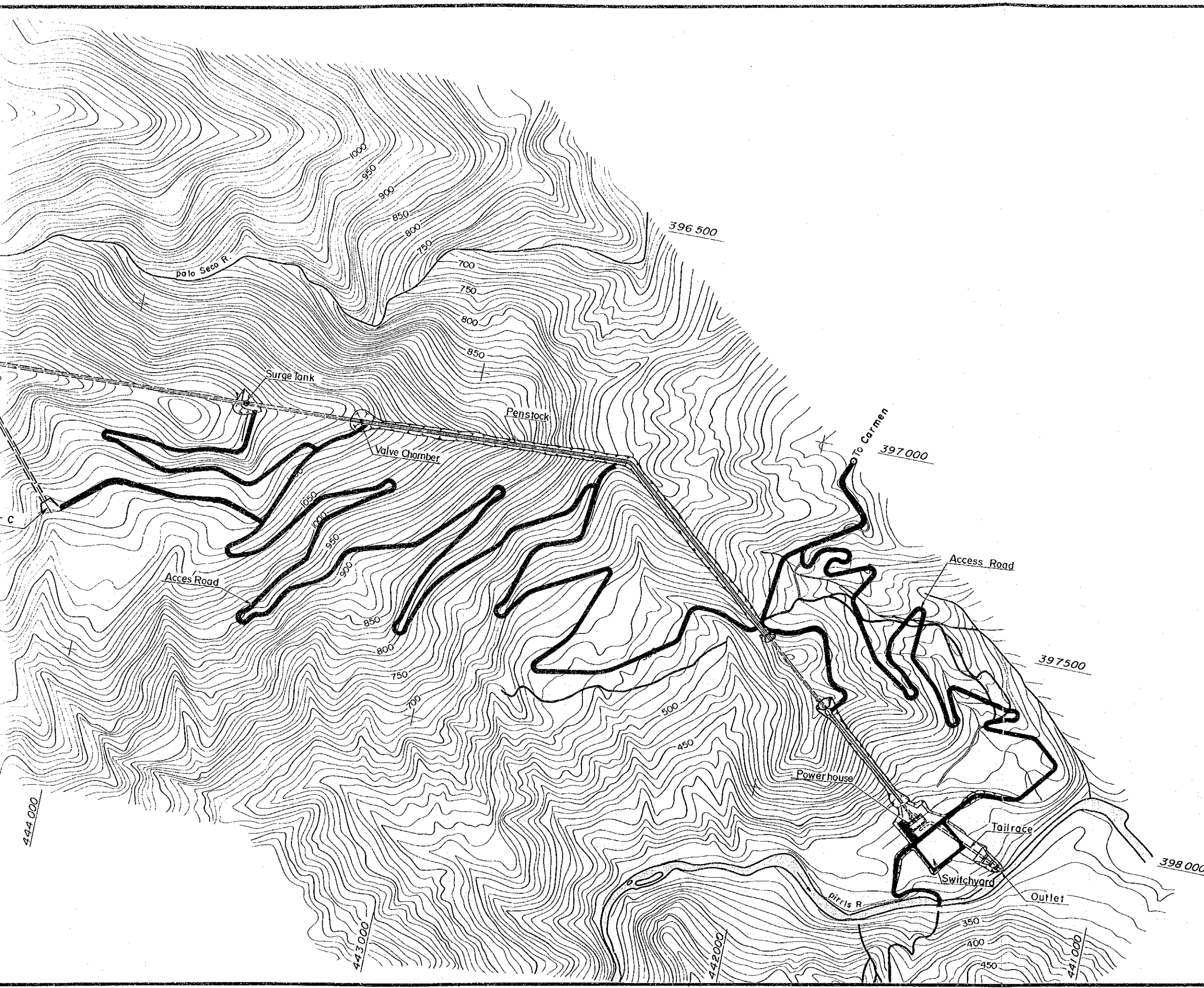
444.000

443.000

442.000

396.500

To Carr



REPUBLIC OF COSTA RICA	
PIRRIS HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT	
GENERAL PLAN	
Fig. 1 - 1	DATE:

目 次

	頁
要 約	
結論と勧告	
第 1 章 序 論	
1. 1 経 緯	1 - 1
1. 2 業務内容および現地調査	1 - 2
1. 3 既存の調査と報告書	1 - 13
1. 4 開発基本構想と調査工事計画	1 - 14
1. 4. 1 開発基本構想	1 - 14
1. 4. 2 調査工事計画	1 - 14
1. 5 基礎資料	1 - 20
第 2 章 コスタ・リカ共和国の一般事情	
2. 1 地 理	2 - 1
2. 2 気 候	2 - 1
2. 3 人 口	2 - 3
2. 4 経 済	2 - 3
2. 5 エネルギー資源	2 - 8
2. 6 運輸・通信	2 - 9
第 3 章 計画地域の一般概況	
3. 1 計画地域の一般概況	3 - 1
3. 1. 1 自然概況	3 - 1
3. 1. 2 社会環境	3 - 3
3. 2 水資源開発計画	3 - 4

第4章	電気事業の現状	
4.1	電力の現状	4-1
4.2	電気事業者	4-6
4.3	電力供給設備の現状	4-8
4.4	電力需要供給の現状	4-10
第5章	電力需要想定および供給計画	
5.1	電力需要想定	5-1
5.1.1	電力需要と経済成長の足どり	5-1
5.1.2	ICEが実施した電力需要想定	5-1
5.1.3	マクロ手法による電力需要想定	5-2
5.1.4	将来の負荷パターンの予測	5-9
5.2	需要供給計画	5-9
5.2.1	電源開発計画	5-9
5.2.2	需要供給バランス	5-10
5.2.3	ICEの供給計画	5-11
5.3	最適電力開発計画	5-12
第6章	気象および水文	
6.1	気象および水文の概要	6-1
6.1.1	一般	6-1
6.1.2	気象および流量観測資料	6-1
6.1.3	計画地点流域の気象および水文	6-1
6.2	計画地点の流量	6-2
6.2.1	Pirrisダム計画地点流量の算定に用いる流量資料	6-2
6.2.2	流量資料の補完	6-2
6.2.3	流量資料の検証	6-3
6.2.4	Pirrisダム計画地点流量の算定	6-3
6.3	貯水池面からの蒸発量	6-4
6.3.1	蒸発量の算定に用いる資料	6-4

6.3.2	貯水池面蒸発量の算定	6-4
6.4	貯水池の堆砂量	6-5
6.4.1	堆砂量の算定に用いる資料	6-5
6.4.2	貯水池に堆積する土砂量(重量)の算定	6-6
6.4.3	貯水池の堆砂容量の算定	6-7
6.5	洪水解析	6-26
6.5.1	概要	6-26
6.5.2	洪水量の算定に用いる資料	6-26
6.5.3	計画地点の確率洪水量	6-28
6.5.4	可能最大洪水量(PMF)	6-28

第7章 地質および材料

7.1	緒言	7-1
7.2	地質調査概要	7-2
7.2.1	既往資料収集	7-2
7.2.2	現地踏査	7-2
7.2.3	地質調査工事	7-3
7.3	広域地質	7-7
7.3.1	地形概要	7-7
7.3.2	地質概要	7-7
7.4	貯水池の地質	7-12
7.4.1	地形	7-12
7.4.2	地質	7-12
7.4.3	水理地質	7-14
7.4.4	土木地質的評価	7-14
7.5	ダム地点の地質	7-16
7.5.1	緒言	7-16
7.5.2	上流ダム地点	7-16
7.5.3	下流ダム地点	7-20
7.5.4	岩盤分類	7-26

7.6	水路ルートおよび発電所地点の地質	7-29
7.6.1	取水口地点	7-29
7.6.2	導水路トンネルルート	7-29
7.6.3	調圧水槽地点および水圧管路ルート	7-35
7.6.4	発電所および放水路地点	7-37
7.7	ダム地点の原位置岩盤試験	7-59
7.7.1	緒言	7-59
7.7.2	平板載荷試験	7-59
7.7.3	試験の結果と評価	7-60
7.8	ダムおよび発電所地点の物理探査	7-67
7.8.1	緒言	7-67
7.8.2	調査位置の選定	7-67
7.8.3	調査方法	7-67
7.8.4	調査の結果と評価	7-69
7.9	建設材料	7-80
7.9.1	建設材料および試験	7-80
7.9.2	コンクリート骨材	7-80
7.9.3	ロック材料	7-82
7.9.4	土質材料	7-82
7.10	ボーリング・コア試験	7-90

第8章 地震

8.1	Costa Rica国の地震概説	8-1
8.1.1	概要	8-1
8.1.2	Costa Rica国周辺地域の地震活動性	8-2
8.2	Pirris地点における最大加速度の推定と設計震度	8-4
8.2.1	Pirris地点周辺域の歴史地震	8-4
8.2.2	確率論的手法に基づく地震危険度解析	8-7
8.2.3	Pirrisダム地点で想定される最大加速度値	8-18
8.2.4	設計水平震度	8-19

8.3	あとがき	8-20
第9章 開発計画		
9.1	既存開発計画および開発規模のレビュー	9-1
9.1.1	上流域における上水道取水計画	9-1
9.1.2	段階開発計画と開発基本構想	9-2
9.1.3	需要形態と開発規模	9-9
9.2	開発計画の比較検討(第1次検討)	9-13
9.2.1	代替案の選定	9-13
9.2.2	開発計画の比較検討	9-16
9.3	開発計画の比較検討(第2次検討)	9-44
9.3.1	検討の基本条件	9-44
9.3.2	ダム地点とダムタイプの決定	9-45
9.3.3	開発規模の検討	9-46
9.3.4	最大使用水量とピーク時間の検討	9-46
9.3.5	主機台数の検討	9-47
9.3.6	最適開発計画	9-49
第10章 送電計画および系統解析		
10.1	送電システムの概要	10-1
10.2	送電線ルート	10-1
10.3	開閉所地点	10-2
10.4	変電所地点	10-2
10.5	Pirris計画の送電計画	10-2
10.5.1	前提条件	10-2
10.5.2	送電電圧と回線数	10-3
10.6	ICEシステムの系統解析	10-3
10.6.1	電力汐流計算	10-4
10.6.2	短絡容量	10-4
10.6.3	安定度	10-4

10.7	経済性の検討	10-5
10.8	結 論	10-5
第11章 フィージビリティ設計		
11.1	概 要	11-1
11.2	ダムおよび付属構造物	11-1
11.2.1	Pirrisダム	11-1
11.2.2	洪水吐	11-3
11.2.3	放流路	11-3
11.2.4	河 流 処 理	11-3
11.3	水路及び発電所	11-6
11.3.1	取水口	11-6
11.3.2	導水路トンネル	11-8
11.3.3	調圧水槽	11-12
11.3.4	水圧管路	11-16
11.3.5	発電所および屋外開閉所	11-22
11.3.6	放水路	11-23
11.4	電気機器	11-24
11.4.1	主要機器の選定	11-24
11.4.2	Pirris発電所の主要機器	11-25
11.4.3	設備概要	11-26
11.5	送電線	11-30
11.5.1	送電線ルート	11-30
11.5.2	送電線々種と鉄塔の仕様	11-30
第12章 工事計画および工事費		
12.1	工事計画および工事工程	12-1
12.1.1	基本的条件	12-1
12.1.2	工事計画および工事工程	12-8
12.2	工事費	12-20

12.2.1 基本事項	12-20
12.2.2 工事費	12-27

第13章 環境に対する影響および補償

13.1 総合評価	13-1
13.2 調査方法と計画概要	13-2
13.2.1 緒言	13-2
13.2.2 調査方法	13-2
13.2.3 発電計画の概要	13-3
13.3 環境の現況	13-6
13.3.1 自然保護	13-6
13.3.2 自然景観	13-9
13.3.3 気象	13-17
13.3.4 地形、地質	13-19
13.3.5 土壌	13-26
13.3.6 植生	13-33
13.3.7 動物	13-49
13.3.8 水生生物	13-54
13.3.9 水質	13-55
13.3.10 騒音	13-63
13.3.11 振動	13-63
13.3.12 地域社会	13-63
13.3.13 交通、公共施設	13-68
13.3.14 土地利用	13-71
13.3.15 水系利用	13-78
13.3.16 公衆衛生	13-78
13.3.17 エネルギー	13-80
13.3.18 文化財、レクリエーション	13-80
13.4 環境保全対策並びに環境影響評価	13-82
13.4.1 運転開始後に関する事項	13-82

13.4.2	工事中に関する事項	13-98
13.5	モニタリング	13-102
13.5.1	運転開始後に関する事項	13-102
13.5.2	工事中に関する事項	13-103
13.6	補償	13-104
第14章 経済・財務評価		
14.1	経済評価	14-1
14.1.1	経済評価の方法	14-1
14.1.2	本計画の経済的費用	14-4
14.1.3	代替火力設備の諸元および経済的費用	14-4
14.1.4	本計画の経済評価	14-14
14.2	財務評価	14-17
14.2.1	財務評価の方法	14-17
14.2.2	本計画の財務的費用および便益	14-17
14.2.3	本計画の財務評価	14-19
14.3	感度分析	14-19
第15章 融資返済計画		
15.1	基本的考察	15-1
15.2	所要資金	15-1
15.3	収入および費用	15-1
15.4	返済計画	15-2
第16章 今後の調査		
16.1	地形測量	16-1
16.2	地質調査	16-2
16.2.1	詳細な地質ならびに土木地質踏査	16-2
16.2.2	コアボーリング	16-2
16.2.3	試験坑調査	16-4

16.2.4 弾性波探査	16-4
16.3 材料調査	16-5
16.4 水文観測	16-5
16.4.1 発電所地点に於けるゲーシングステーションの設置	16-5
16.4.2 ダム地点に於ける水温、気温観測	16-5

要 約

要 約

本報告書は1989年から1992年に亘り、日本政府の技術協力により国際協力事業団（JICA）が実施したCosta Rica共和国のPirris水力発電開発計画のフィージビリティ調査の結果をとりまとめたものである。

この報告書はJICAより日本国外務省を通じて政府機関であるCosta Rica電力公社（ICE）に提出されるものである。

フィージビリティ調査の検討結果を要約すると以下に述べる通りである。

(1) 本計画の特性

本報告書で述べられているPirris水力発電開発計画とは、ダム、水路、発電所等からなる発電計画とPirris発電所からEscazu変電所入口までの送電計画よりなる。

Pirris川水系はPirris川、Grande de Candelaria川および本流より成り、流域面積約1,275km²、年間流量約2,179×10⁶m³（推定）および全長約85kmを有する河川である。Pirris川本流にはPirris計画の下流にParrita計画があり、Grande de Candelaria川にはLa Ceiba計画とEl Rey計画がある。

また、上記の2つの川の合流点の下流にBijagual計画がある。Pirris計画はこれら計画の中で、本流の最も大きな落差を利用する発電単独の計画であり、他の計画とは切り放して開発することができる。またPirris計画は立地条件および豊富な流量と地点特性に恵まれた大きな落差を利用した水力発電計画であり、早期に開発が期待される。

上記の通り、本計画の下流には2つの発電計画があり、本計画によって行なわれる流量調節は将来これら下流の発電所の利用効率を高めることができる。一方、水系一貫で考えると、本計画の発電放流に対して、最下流のBijagual計画が逆調整の役割を果たすこととなる。

(2) 開発の必要性

Costa Rica共和国の1991年1月現在における電力設備は997.6MWで水力発電設備（747.3MW）と火力発電設備（250.3MW）との比率は約75：25である。一方、Costa Ricaは1982年からNicaragua、1983年からHonduras、1986年からPanamaとそれぞれ電力

融通を行なっている。

最近（1987年～1990年）はHondurasからの電力輸入が目立っている。1990年にはHondurasから約260GWhを輸入し、Panamaに約121GWhを輸出している。将来も上記4ヶ国の電力融通は続けられるものと考えられる。

将来の電力需要想定（1991年～2010年）としてICEが行った想定結果とマクロ手法による想定結果を示すと以下の通りである。

	I C E の 想 定 値 (1990年 8 月 現 在)		マ ク ロ 手 法 想 定 値	
	(GWh)	(MW)	(GWh)	(MW)
1 9 9 1	3,878	744	3,887	740
1 9 9 5	4,852	933	4,990	949
2 0 0 0	6,550	1,261	6,632	1,262
2 0 0 5	8,561	1,644	8,591	1,635
2 0 1 0	10,649	2,031	10,863	2,067

これらの電力需要に対処するために、Sandillal水力（32MW）が1993年に、Toro I水力（24MW）が1994年に、Toro II水力（66MW）が1995年に運転を開始する予定になっている。一方、Angostura水力（177MW）が至近年に着工すべく準備中である。またMiravalles I地熱（55MW）が1994年に、Miravalles II地熱（55MW）が1995年に運転開始を目途として建設中である。

物理的な開発スケジュールから考えてPirris水力の運転開始は2001年頃と考えられる。この時期は電力需要供給計画からもAngostura水力に続く水力発電設備としてPirris水力（128MW）の運転開始が望まれる。

(3) 気象および水文

Pirris計画地点の位置するPirris川流域は、①温暖多雨気候（Clima templado lluvioso）、②熱帯雨緑林気候（Clima tropical lluvioso y seco）と③熱帯雨林気候（Clima tropical lluvioso）に分けられる。

本計画地域は①および③の地域にある。本計画の中心であるダム計画地点は、①の地域にあって流域面積約250km²、平均年降雨量2,600mm、年間平均気温は約18℃である。

Pirris計画に係る気象および水文資料の解析によって得られたPirrisダム計画地点の気象および水文諸量を以下に示す。

・平均年間降雨量	: 2,600 mm
・年間流入量	: $351.61 \times 10^6 \text{ m}^3$
・年平均流量	: $11.10 \text{ m}^3/\text{sec}$
・浮流砂量	: $373 \text{ ton/year/km}^2$
・計画堆砂量	: $4.29 \times 10^6 \text{ m}^3$
・年間貯水池面蒸発量	: 1,309mm
・年間平均気温	: 18 °C
・既往最大洪水量	: $710 \text{ m}^3/\text{sec}$ (at No.2604)
・10年確率洪水量	: $560 \text{ m}^3/\text{sec}$
・可能最大洪水量(PMF)	: $1,670 \text{ m}^3/\text{sec}$

(4) 地質および材料

① 実施された地質調査などの種目

本計画のフィージビリティ調査の為に実施された地質調査等の種目としては、地質踏査、空中写真判読、コアボーリング（ルジオンテスト、孔内水位測定を含む）、調査横坑、テストピット、弾性波探査、および原位置岩盤試験・室内試験などがある。これらの数量、判明した結果などを要約すると次の通りである。

地質踏査は、ダム地点のほぼ全域、貯水池・水路トンネル・水圧管路・発電所地点の一部について、また、空中写真判読は計画地域のほぼ全域をそれぞれ対象に実施された。これらを実施したことにより計画地域並びに各主要構造物地点の地形、地質概要を把握することができた。

コアボーリングおよびルジオンテストは、上流ダム地点で3孔、全長150m、ルジオンテスト22回、下流ダム地点で4孔、全長290m、ルジオンテスト43回、および水圧管路・発電所地点で2孔、全長55mである。また、これら全ての孔で地下水位がチェックされた。これらの調査、テストなどにより、各地点の表層堆積物、基盤岩の地質状態、地質工学的性状、地下水の状況などが確認された。

調査横坑は、上流ダム地点左岸で1坑、長さ50m、下流ダム地点の両岸に1坑ずつ、長さ、各50mがそれぞれ掘削された。これら横坑により各ダム地点の基礎岩盤の性状が直接観察された。

テストピットは貯水池地域右岸側の土質材料調査地点で3ピット、全長15mが掘削された。これらピットにより調査対象となった崖錐堆積物、風化残留土などの分布、性状が明らかにされた。

弾性波探査は、上流ダム地点で6測線、全長1,648.0m、下流ダム地点で6測線、全長1,594.6m、水圧管路・発電所地点で6測線、全長4,824mの地表探査が、また、上下流ダム地点の全横坑で3測線、全長150mの坑内探査がそれぞれ実施された。これらの探査により、両ダム地点の基盤岩表面部の緩みの状態、水圧管路ルート沿い尾根部岩盤の風化状態、発電所地点の段丘堆積物の分布状況などに関するデータを入手することができた。

原位置岩盤試験としては、コンクリートタイプのダムが計画された下流ダム地点の兩岸の横坑内で平板載荷試験がそれぞれ3点ずつ2ヵ所、計6地点で実施され、ダム基礎岩盤の各種弾性係数が求められた（原位置岩盤試験結果については後述）。

室内試験としては、コンクリート骨材12試料、ロック材2試料、土質材28試料をそれぞれ対象に必要な試験が行われた。また、ダム基礎岩盤の物理的性質、力学的性状を知る為、上下流ダム地点から採取されたボーリングコア28試料により各種室内試験が行われた。

② 地 質

本計画地域はCosta Ricaのはぼ中央部で太平洋に注ぐParrita川の支流Pirris川の流域に位置する。本流域は一般に急峻な斜面の多い壮年期の地形を示す山岳地にあり、地域内の河川、沢の多くは各所でV字谷、急流をなしている。

本計画地域の地質は中生代ジュラ紀から第四紀更新世にかけての火成岩と堆積岩からなる基盤岩類のそれらを部分的に覆う第四紀の未固結堆積物からなる。この火成岩は主として塩基性岩類からなり、それらはダム地点付近から発電所地点にかけてはPirris川の主として右岸側に、また、局部的には左岸側にも分布する。一方、堆積岩類は貯水池地域の大部分およびトンネルルートの大半の区間に分布している。なお、本計画地域内では、これら火成岩類は堆積岩類によって不整合に覆われるか、所によっては両者は断層で接している。

第四紀の未固結堆積物は河床堆積物および斜面表面を部分的に覆う崩積性堆積物が主体をなすが、いずれも部分的な分布に限られている。

貯水池地域は、主にTerraba Formation (Oligocene-Pleistocene) に属する堆積岩類が分布しているが、これまでの調査により、その保水性、周縁斜面の安定性、堆砂などについては特に問題が無いことが判明している。

ダム地点はPirris川の中流域の標高1,500mから2,000m弱の山頂をもつ山間地に位置する。ダム地点は上流地点と下流地点の2地点が比較検討された。地形的に、上流地点はV字谷をなす下流地点と比較して谷幅は広がっている。ダム地点の河床標高は上流地点で約1,100m、下流地点で1,080m～1,090mである。

ダム地点の地質は、上流地点ではTerraba Formationに属するとされる、部分的に頁岩、シルト岩、礫岩を挟在する砂岩から、また、下流地点ではオフィオライト質岩類を主体とするNicoya Complexに属するとされるDolerite-Basaltから、それぞれなっている。

両ダム地点の基礎部の地質工学的性状については、これまでの調査結果では、両地点とも、表層堆積物の分布は少なく、ともにダム基礎部表面の大部分に基盤岩が露出しているが、それら岩盤表面部は多かれ少なかれ緩んでおり、かつ、両岸山体部での地下水位面もやや低いものの、ダム地点としての適性をもっていることが判明している。

取水口から発電所に至る水路系構造物はいずれもPirris川の左岸側に計画されている。これら水路系ルートは全て山岳地帯を通過する。

導水路トンネルルートは、その前半区間では標高1,400m前後の山体中を通過し、途中数カ所で比較的大きな沢と立体的に交差するが、その後半区間では山頂標高2,150mの大きな一つの山体の下を通る。トンネルの被りは前半区間では約45m～約360mであり、後半区間では約100m(調圧水槽付近)～約1,000mである。

本ルート地域にはルート前半区間で火成岩類となる以外は主として堆積岩類が分布し、トンネルは少なくとも大小5～6条の断層と交差するものと予想される。

本トンネルの地質工学的性状については、これまでの調査により、トンネルの被りが100m以下となる区間(約450m間)および断層との交差部付近では岩質の劣化ないしは地下水の湧水、所によっては、山はね、地温の上昇などの可能性があるものの、

トンネル計画に致命的な影響を及ぼすような、固結度の低い地層の分布、広範囲にわたるカルスト性岩石の分布、活火山作用などは無いことが判明している。今後更にトンネルに対する調査精度の向上をはかる必要は当然あるものの、現在のトンネル技術レベルを勘案すれば、上記のトンネルに対する不都合な条件も克服が可能と考えられる。

調圧水槽地点はWNW方向に延びる尾根地形上の標高1,240m付近に、水圧管路ルートはWNWから途中NW方向に屈曲する尾根沿いに、発電所地点はPirris川左岸沿いに形成された標高330m～340mの段丘面上に、それぞれ位置する。

調圧水槽地点から水圧管路ルートの上半区間にはシルト岩、砂岩などからなる堆積岩類が、水圧管路ルートの下半区間から発電所地点までにはDolerite-Basaltを主体とする塩基性岩類が、それぞれ分布する。

これらの構造物はこの付近に認められる地回り地形を選けて計画されており、これまでの調査結果では地質工学的な面からその計画の変更を迫るような要因は無いと考えられる。

③ 材 料

本計画の建設材料のうち、最も重要なものはダムの築堤材であるが、ダム地点として上流地点が選ばれた場合にはフィルダムが、下流地点の場合にはコンクリートダムが考えられる。

ロック材料およびフィルター材料としては、下流ダム地点およびその周辺部に分布するDolerite-Basaltが室内試験の結果、質的には良好であり、また、量的にも問題はない。

土質材料としては、上流ダム地点から約1.5km上流右岸斜面上の表土および崖錐堆積物が質的にも量的にも使用することが可能である。

ダム地点近傍でコンクリート骨材の対象となるものとしては、河床砂礫か基盤岩類のうちのDolerite-Basaltか砂岩である。これまでの調査、試験結果では、上流ダム地点付近一帯に分布する砂岩がその対象となる。その砂岩については、これまでの調査および室内試験の結果では質的、量的に採取可能である。この砂岩については、今後人工採石に関する試験が必要である。

なお、この砂岩以外には、ダムの仮排水路トンネル、導水路トンネルなどの掘削ズリのDolerite-Basaltの一部がコンクリート骨材に転用できる可能性がある。

(5) 原位置岩盤試験

原位置岩盤試験としては、コンクリートタイプのダムが計画される下流ダム地点の兩岸の横坑内で平板載荷試験がそれぞれ3点ずつ2ヶ所、計6地点で実施された。これらの試験結果を要約すると次の通りである。

下流地点左岸の横坑LA-1では、試験ヶ所は下流地点の岩盤状態としてはかなり良好な部分に相当しているが、そこでの弾性係数は28,000~31,000kg/cm²、割線弾性係数は38,000~42,000kg/cm²、接線弾性係数は42,000~48,000kg/cm²との結果が求められた。

他方、右岸の横坑LA-2では試験ヶ所の岩盤状態はこの横坑内では最良部であったが、左岸側のそれに比較すればやや劣っており、それが試験結果にも反映し、そこでの弾性係数は12,000~30,000kg/cm²、割線弾性係数は30,000~43,000kg/cm²、接線弾性係数は36,000~48,000kg/cm²との結果が求められた。

上記の試験結果は下流ダム地点で計画中のコンクリートタイプのダム基礎として十分な支持力があることを示していると言えよう。

(6) 地震

Costa Rica国の太平洋側地域は、CocosプレートがCaribbeanプレートの下に沈み込むプレート境界となっており、このプレート境界では過去に数多くの地震が発生している。Pirris川流域をカバーするPirris川計画地点から半径200km以内で、マグニチュード5.5以上の地震が1904年以後において約50回も発生している。

水力発電施設の耐震設計を実施する際の必須の基本条件である、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、ダム地点における最大加速度値の推定および設計震度の評価を実施した。

この地震危険度評価では、米国の国立地球物理データセンターのNOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 地震データファイルにより提供された地震データを利用した。Pirris計画地点から半径1,000km以内に発生した地震は、1900年から1991年までの期間に5,191回を数えた。

検討の結果、Pirrisダム地点の設計水平地盤震度を以下の通り設定することとした。

フィルタイプダム	0.15
コンクリート重力ダム	0.15
コンクリートアーチダム	0.30

ダムの最適形状・最適断面の決定、およびダムの地震時安定性に関する基本的評価検討は、通常、震度法により実施される。震度法で用いるべき設計震度は、計画地点で想定される地震動の最大加速度に変換係数を考慮して評価する。しかし、変換係数の大きさは、想定される地震動の周波数特性、耐震設計の対象となる地盤およびダムの動的特性に依存するため、詳細設計のステップで、動的解析によるダムの耐震安定性の確認を実施することが望まれる。動的解析と静的解析の比較により、設計震度の妥当性を評価することができる。

(7) 環境評価

① 調査方法

環境影響評価は、世界銀行、国際協力事業団等のマニュアル、ガイドライン等を参考に、既存または新たに入手した資料から、環境の現況と計画地域の特殊性を把握し、環境上重要な事項、環境影響の大きいと考えられる項目を抽出し、現地踏査を実施した。調査にはCosta Rica国の国立大学等の中立的な機関の協力を得て、調査、評価が公正なものとなるよう配慮した。また、本調査は資料収集、現地調査等ICEの協力により実施した。

② 計画地点周辺の自然保護

Pirris川流域には主として水資源の水質、水量の維持を目的とする水源保護区が4ヶ所、保護森林が1ヶ所、原住民保護区が2ヶ所指定されているが、これらは計画地点から離れたところにある。

③ 植生

貯水池により水没する地域は牧草地および耕作地として利用されており森林はないことから、貯水池が周辺の自然植生に与える影響はない。

④ 動物

計画地点周辺は大きな森林がなく植生が貧弱であることから、動物相も極めて貧弱である。貯水池はPirrls川に沿って約1.10kmを水没させるが、この中に森林は含まれていない。貯水池は陸生動物の生息基盤のごく一部を消滅させる代わりに、年間を通じて水辺を提供することになる。湖岸は新たな生息環境となり得るが、斜面勾配、水位変動の大きさを考えると、動物の生息状況にそれほど大きな変化はないと思われる。

⑤ 水質

(a) 現況

計画地点におけるPirrls川水質は、コーヒー工場から投棄される有機物による汚染が進んでおり、一部の地域では悪臭が発生するほど水質が悪化している。また、上流のコーヒー畑から流出する肥料、牧場から排出される家畜の糞尿が水質汚濁を増長させる原因となっている。また、水質はコーヒーの収穫、加工時期と重なる乾期に最悪となり、雨期にかなり改善されるのが大きな特徴である。

(b) 貯水池の水質変化

ダムの建設に伴う貯水池の出現は、これまでの浄化プロセスを大きく変えることは明らかである。貯水池の形状はすり鉢型で深く、水の年交換回数も10回程度とあまり多くない。計画地点は気温が年間を通じて一定であることから、季節的な水温差による貯水池内の鉛直方向の水流が起こりにくい。

このような貯水池では、ダム近傍の湖底に有機物が堆積すると、有機物の腐敗ともなっており下層の水は無酸素状態になる。さらに有機物は嫌気的狀態で分解を続け、還元作用によりメタン、アンモニア、硫化水素等の有害ガスが発生することが予想される。

Pirrls川の水質は現在では窒素が2.4ppm、磷が8.2ppmと高い値にある。湖が富栄養化する目安は窒素が0.3ppm、磷0.015ppmとされており、Pirrls川の水質は現在でも非常に高い値にあり、貯水池は富栄養化すると考えられる。

貯水池の水質は、流域から多量の有機物、栄養塩類が流入するため将来かなり悪化するものと推定される。しかし、汚濁負荷率からみると、コーヒー廃棄物起源のものが窒素では62%、磷では87%を占めていることから、コーヒー廃棄物の削減が水質汚濁防止対策上最も有効と考えられる。

⑥ 水系利用

Pirrls川の利水はすべて貯水池上流で行われていることから、発電所がこれに与える影響はない。これらの利水施設は大部分がコーヒー加工工場であり、利用した水はすべてPirrls川に戻されている。

Pirrls川では漁業は行われていない。また、漁業権の設定もなされていない。

⑦ 土地利用

本計画が周辺の土地利用に最も大きな影響を与えるのは貯水による土地の水没である。コーヒー農園と放牧地の合計約1.10km²が水没することになるが、これらは地域のコーヒー農園、放牧地のほんのわずかであり、周辺の土地利用に与える影響はない。

⑧ 地域社会

本計画は近傍の村落から数km以上離れた位置にあり、建設工事中に一時的に雇用および消費の拡大が予想されるものの、地域の社会生活とは直接大きな関わりはない。発電所は少人数の専門家が運転、管理することから地域に多数の雇用の機会を与えることはない。

なお、発電所の設置により周辺の道路が整備され、地域の交通事情は改善される。

⑨ 文化財、レクリエーション

本計画地点では、保護すべき考古学的または史学的に重要な文化財の調査は現在行われていない。

計画地点周辺のPirrls川では、レクリエーション活動は全く行われていない。また周辺の地域でも観光、レクリエーション的な活動は何も行われていない。

⑩ モニタリング

環境の現況および環境に与える影響の評価に基づけば、本計画の実施による周辺の環境への影響のうち、水質がもっとも大きな問題であると考えられる。これについては諸対策の効果の確認あるいは、対策にフィードバックさせるための環境モニタリングが必要となる。環境のモニタリングは発電所の運転開始後及び工事中について実施する必要がある。

① 補償

貯水池予定地域には、移転すべき4軒の家屋および一本の吊り橋がある。家屋についてはICEは代替地を購入し与える。吊り橋については架け替え、迂回道路、フェリー等の代替手段のいずれかをとるが、最終的にはプロジェクト費用に加えなければならない。

プロジェクトに必要な補償費用は8,400万コロンである。また、この金額には吊り橋の掛け替え費用を合計しなければならない。正確な補償費用はプロジェクトの実施段階において、ICEが購入予定地の評価見積りを行い、地主等と交渉の後決定される。

(8) 最適開発計画の概要

① 計画概要

Pirris計画の概要を述べると以下の通りである。

本計画は首都San Joseより南に約30kmの中央部高原地帯に位置する。Parrita川（Pirris川）の支流Grande de Candelaria川とPirris川の合流点より上流約30kmの地点に高さ120m、体積390,000m³のコンクリートアーチ重力式ダムを築造し、総貯水容量37.5×10⁶m³、有効容量30.6×10⁶m³を得る。この貯水池により平均年間流入量351.6×10⁶m³を調整する。ダム直上流の左岸に設ける取水口により、最大使用水量18m³/secを取水し、延長約8.7kmの導水路トンネルおよび延長約2.6kmの水圧鉄管を経て、左岸に設ける発電所に導水し、最大出力128MWおよび年間発生電力量609.3×10⁶kWhを得る。Pirris発電所により発電される電力は230V送電線によりEscazu変電所まで送電される。

② 工事費および経済評価

本計画の総建設費はUS\$218,915,500であり、建設に必要な期間は約5年である。発電端におけるkWおよびkWh当りの建設費はそれぞれUS\$1,599.0およびUS\$0.336である。

また、送電端（Escazu変電所入口）におけるkWおよびkWh当りの建設費はそれぞれUS\$1,710.3およびUS\$0.359である。

本計画の発電原価はEscazu変電所入口で0.0255US\$/kWhである。

火力を代替発電設備とした場合の本計画の純現在価値（B-C）および便益・費用比率（B/C）はそれぞれUS\$64,216,000および1.47である。また本計画の財務的内部収

益率（FIRR）および経済的内部収益率（EIRR）はそれぞれ12.02%および12.85%である。

(9) 工事工程および工事費

① 工事工程

本計画の運開年を2001年とすると概略下記のスケジュールで着工準備を行う必要がある。

<u>Period</u>	<u>Item</u>
Dec. 1989 - Sep. 1992	Feasibility Study
Oct. 1991 - Apr. 1993	Further Investigation Works
Oct. 1992 - Sep. 1994	Final Design
June 1992 - Dec. 1992	Request of ICE to MIDEPLAN
Oct. 1993 - Sep. 1994	Finance Formalities
Sep. 1994 - Sep. 1995	Approval of Congress
Oct. 1994 - Apr. 1996	Bidding and Award of Contract for Construction
May 1996 - Apr. 2001	Construction

本計画の建設工事は工事規模、構造物の配置、準備工事等考慮して検討した結果、約5年の工期を必要とすると考えられる。

② 工事費

本計画の工事費は現時点で期待される技術水準による設計、施工方法および材料・製品を適用するものとした。さらに計画地点の地質条件、地形条件および工事規模等を考慮して積算した。積算時点は1991年1月現在とした。（内外貨の交換レートは1 US\$=105colonesとした。）

工事費はUS\$218,915,500であり、その内外貨の内訳は以下の通りである。

内 貨 : US\$ 85,880,300

外 貨 : US\$ 133,035,200

Pirris水力発電計画概要

項 目	単 位	内 容
河 川 名		Pirris川
流 域 面 積	km ²	250.8
年 間 流 入 量	10 ⁶ m ³	351.6
設 計 洪 水 量	m ³ /sec	1,670
貯 水 池		
満 水 位	m	1,195.00
低 水 位	"	1,149.00
利 用 水 深	"	46.00
堆 砂 位	"	1,140.00
総 貯 水 容 量	10 ⁶ m ³	37.47
有 効 貯 水 容 量	"	30.59
湛 水 面 積	km ²	1.23
仮 排 水 路		
設 計 洪 水 量	m ³ /sec	560
型 式		トンネル（馬蹄型）
条 数		1
内 径	m	6.50
敷 標 高（呑口）	m	1,086.00
延 長	"	330.00
ダ ム		
型 式		コンクリートアーチ・グラビティ式
天 端 標 高	m	1,197.50
堤 頂 長	"	225.00
堤 頂 幅	"	6.00
堤 高	"	120.00

項 目	単 位	内 容
堤 体 積	m ³	387.000
洪 水 吐		
設 計 洪 水 量	m ³ /sec	1.670
洪 水 吐 容 量	"	1.706
型 式		越流型ラジアルゲート調節式
越 流 頂 標 高	m	1.184.00
越 流 幅	"	11.50 × 2 門
放 流 設 備		
放 流 容 量	m ³ /sec	75.0 (最大)
型 式		ダム内流量ゲート調節式
寸 法	m × m	標準断面 幅 1.70 × 高 1.85
呑 口 ・ 中 心 標 高	m	1.135.00
取 水 口		
型 式		鉄筋コンクリート傾斜式
取 水 口 数		1
最 大 取 水 量	m ³ /sec	18.00
呑 口 敷 標 高	m	1,142.00
寸 法	m × m	幅 8.50 × 高さ 55.00
専 水 路 ト ン ネ ル		
条 数		1
最 大 流 量	m ³ /sec	18.00
内 径	m	2.80
延 長	"	8,686.32
調 圧 水 槽		
型 式		制水口式

項 目	単 位	内 容
寸 法	m	高さ 15.00 + 88.50 = 103.55
“	“	径 10.00 , 5.00
“	“	ポート径 1.20
最高上昇水位	m	1.207.54
最低下降水位	“	1.115.91
水 圧 管 路		
型 式		明り式 (1部トンネル埋設部)
最 大 流 量	m ³ /s	18.00
内 径	m	主管 2.80 ~ 2.10
“	“	枝管 1.00
延 長	“	主管 2,601.43
“	“	枝管 22.91 × 2 = 45.82
発 電 所		
型 式		鉄筋コンクリート半地下式
寸 法	m	幅 24.50×長さ 45.00×高さ 32.60
水車中心標高	“	304.50
最 大 出 力	MW	128
放水路トンネル		
型 式		コンクリートボックスカルバート、無圧式
最 大 流 量	m ³ /sec	18.00
内 径	m	主管 3.30 枝管 3.20
延 長	m	主管 265.48
	“	枝管 25.00 × 2 = 50.00

項 目	単 位	内 容
放 水 口		
型 式		鉄筋コンクリート
最 大 流 量	m ³ /sec	18.00
寸 法	m	幅 3.30 × 高さ 3.30
吐 出 部 標 高	m	298.50
発 電 設 備		
基 準 取 水 位	m	1.179.70
基 準 放 水 位	m	304.50 (水車センター)
総 落 差	m	875.20
基 準 有 効 落 差	m	830.70
最 大 使 用 水 量	m ³ /sec	18.00
単 機 出 力	MW	64
台 数	台	2
設 備 出 力	MW	128
水 車		
型 式	-	立軸ペルトン水車
台 数	台	2
基 準 出 力	MW	65
回 転 速 度	rpm	720
発 電 機		
型 式	-	三相交流周期発電機
台 数	台	2
出 力	MVA	71
電 圧	kV	13.8
周 波 数	Hz	60