

工本州水力発電開発計画

調査報告書

第一巻

昭和七年

電力株式会社

工本州水力発電開発計画 調査報告書 第一巻

709
43
HPN



ペルー共和国

エネ川水力発電開発計画

調査報告書

要約

JICA LIBRARY



1030345117

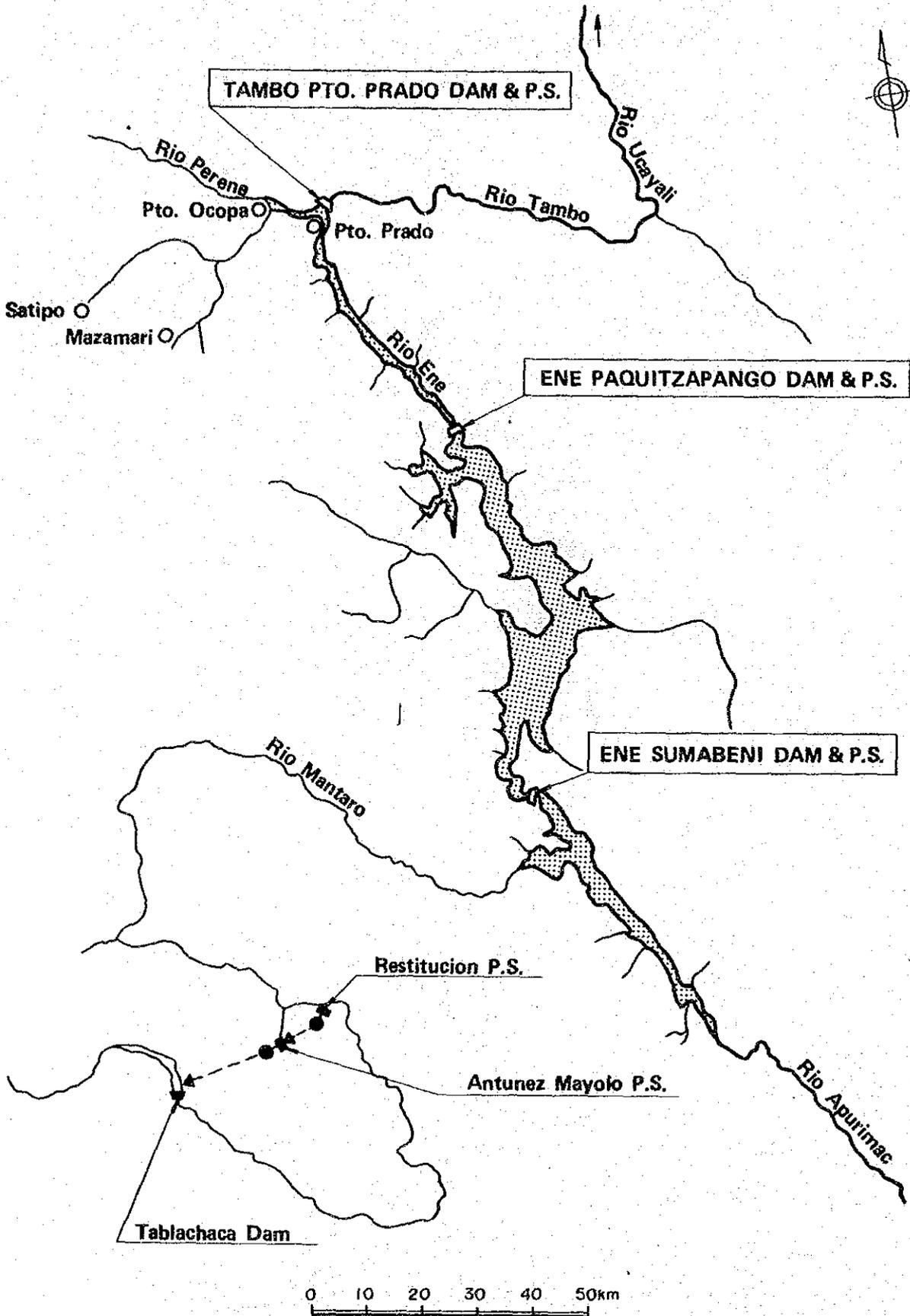
12451

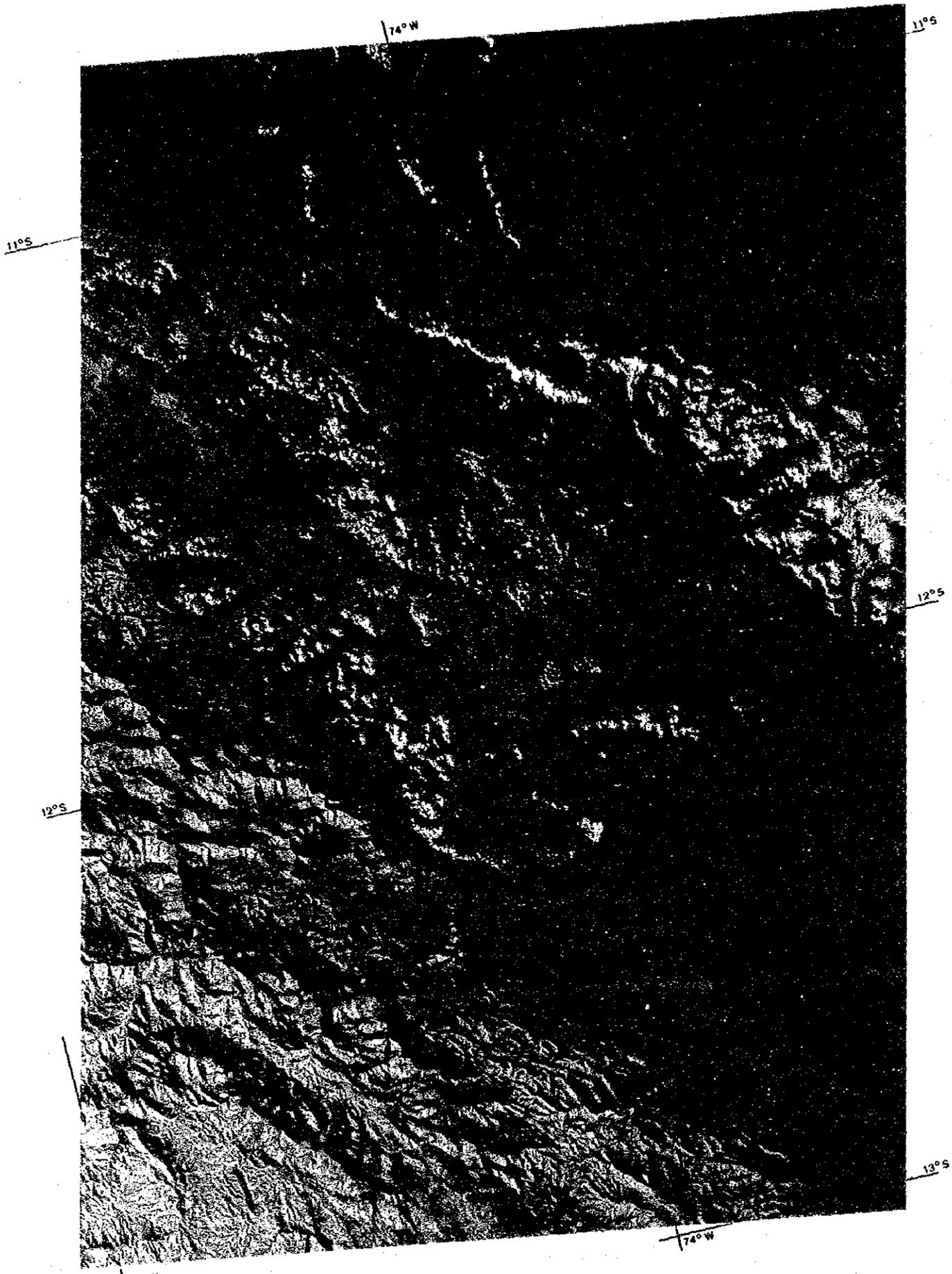
1985年12月

国際協力事業団

| | |
|---------------------|-----|
| 国際協力事業団 | |
| 受入 月日 '86. 2. 21 | 709 |
| 登録No. 12451 | 643 |
| | MPN |

GENERAL VIEW OF MASTER PLAN OF
ENE RIVER HYDROELECTRIC DEVELOPMENT



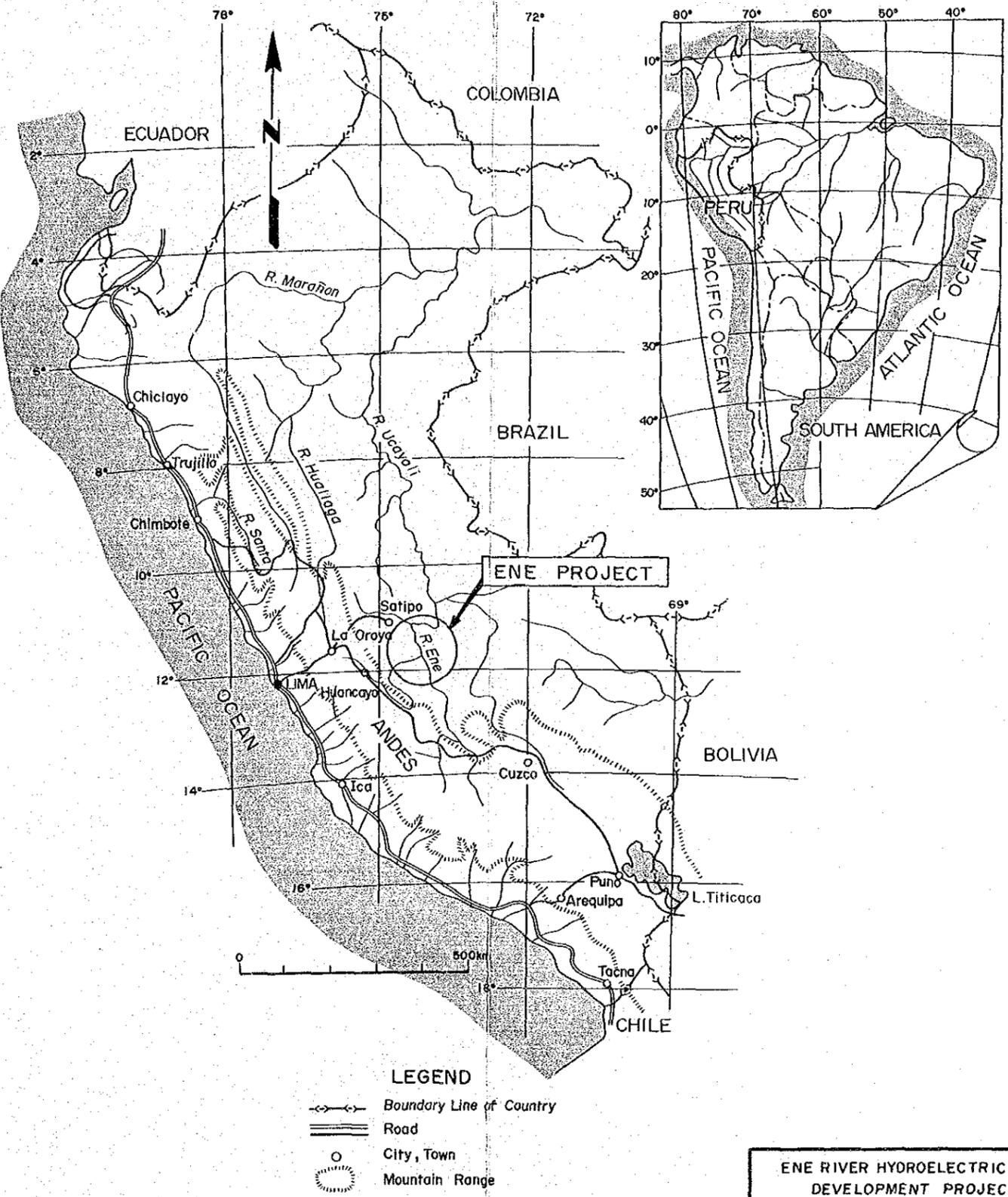
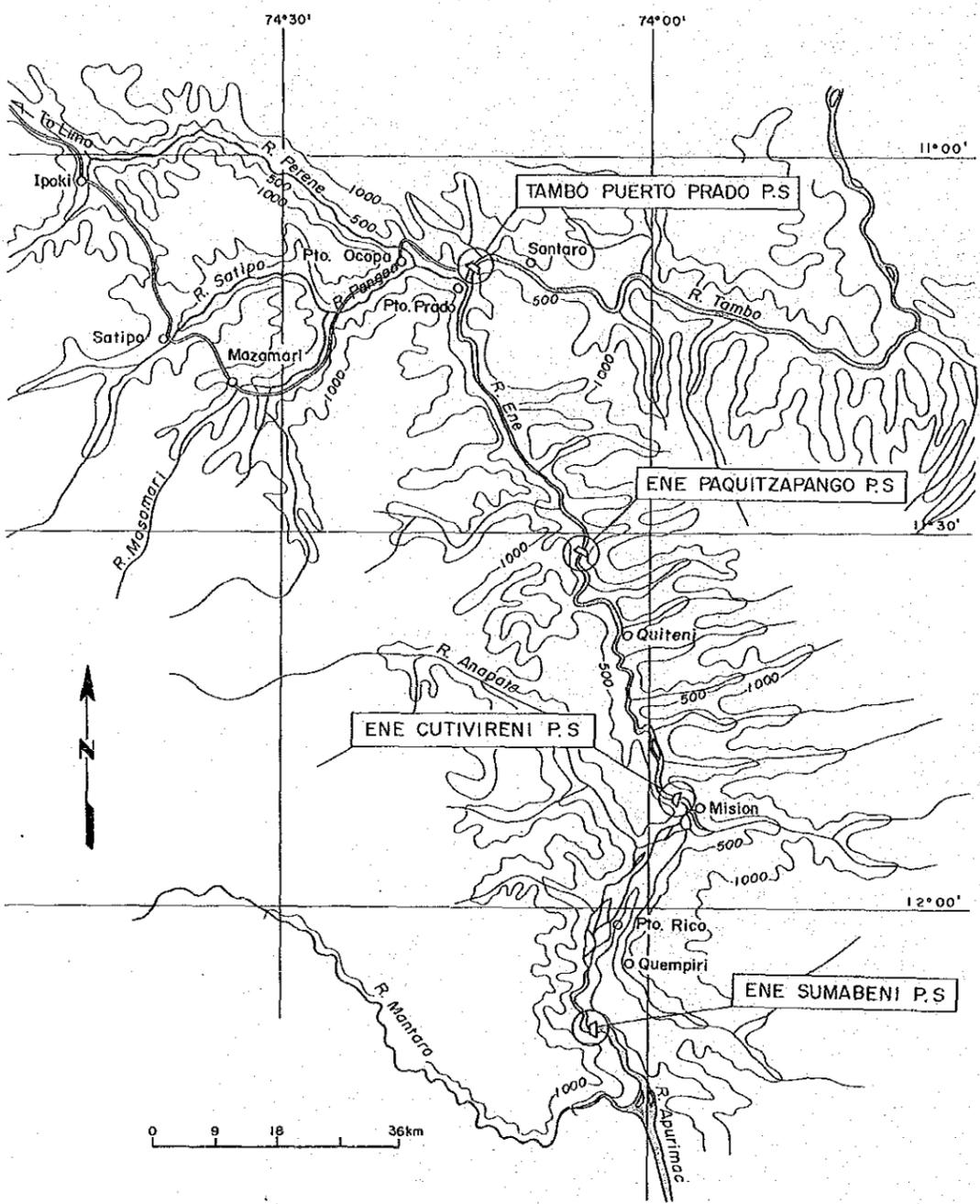
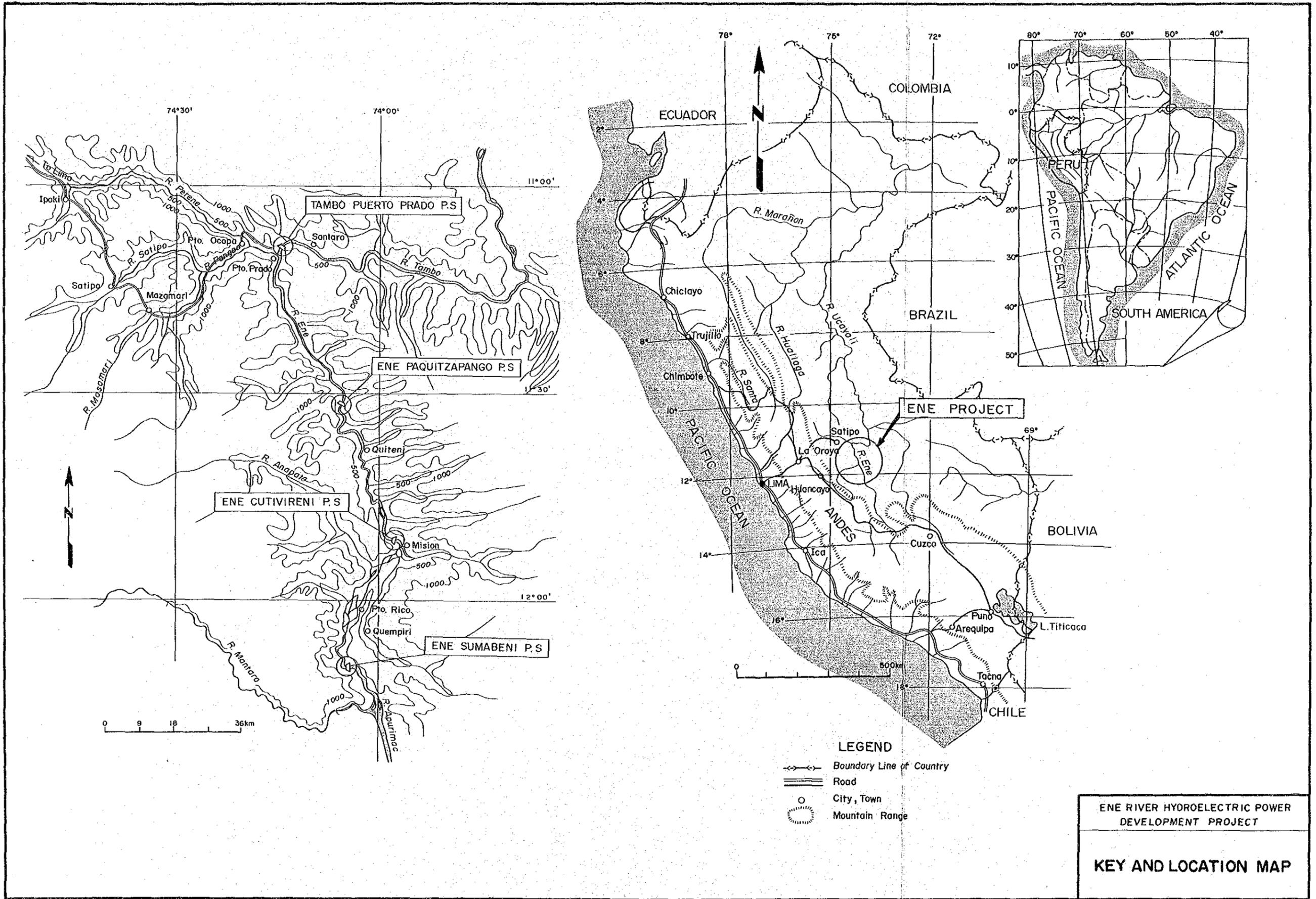


(LANDSAT FALSE-COLOR IMAGE)

GENERAL VIEW OF MASTER PLAN OF ENE RIVER HYDROELECTRIC DEVELOPMENT



(LANDSAT FALSE-COLOR IMAGE)



ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT

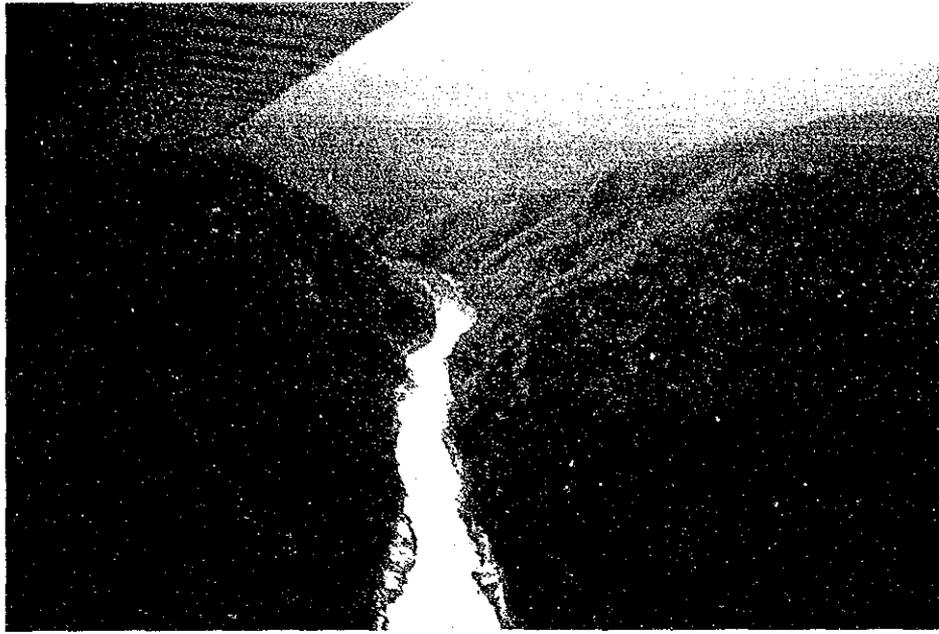
KEY AND LOCATION MAP



**Tambo Puerto Prado Dam Site
Viewed from Upstream**



**Tambo Puerto Prado Dam Site
Viewed from Upstream toward Downstream**



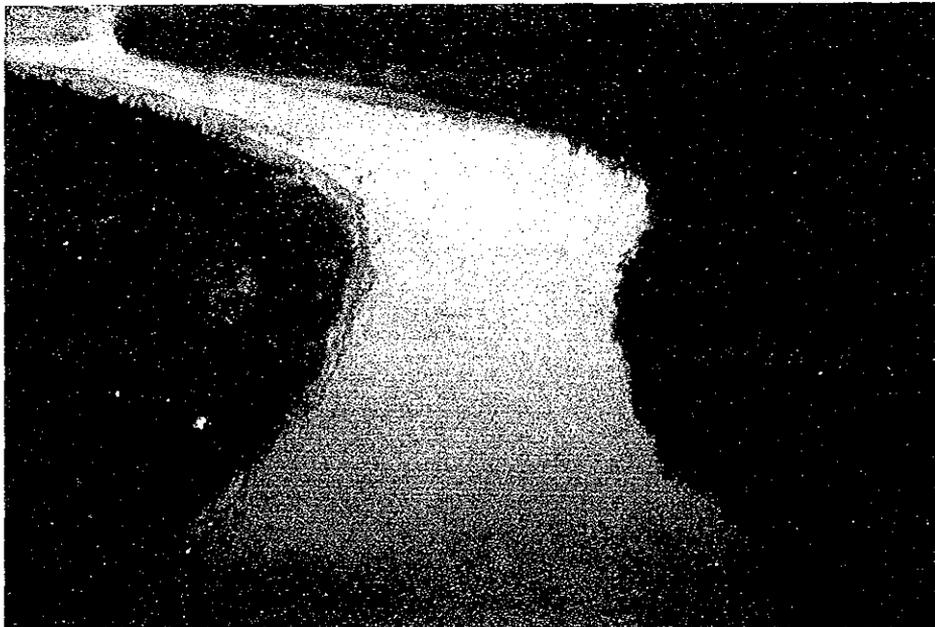
**Ene Paquizapango Dam Site
Viewed from Upstream**



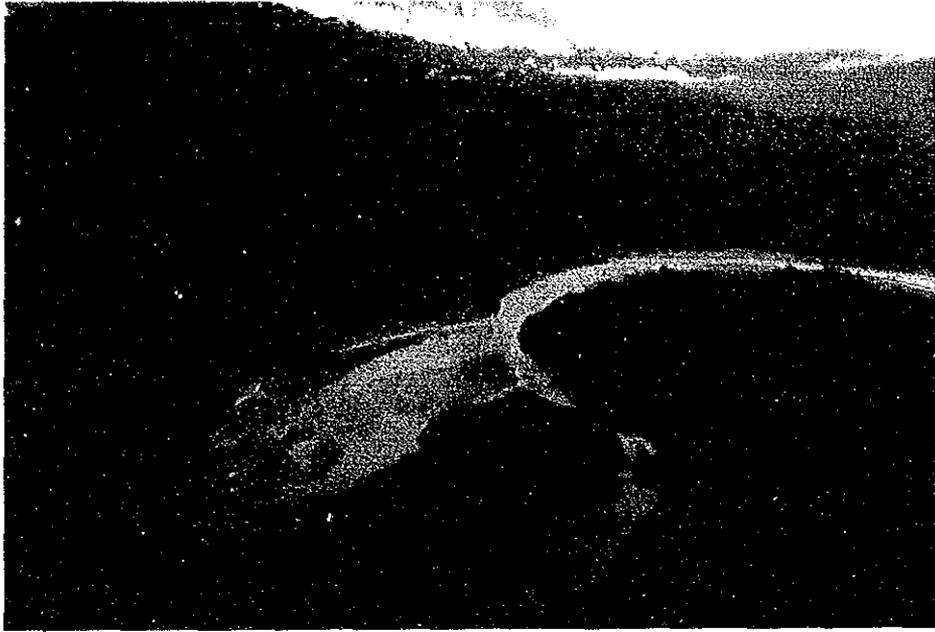
**Ene Paquizapango Dam Site
Viewed from the Dam Site toward Upstream**



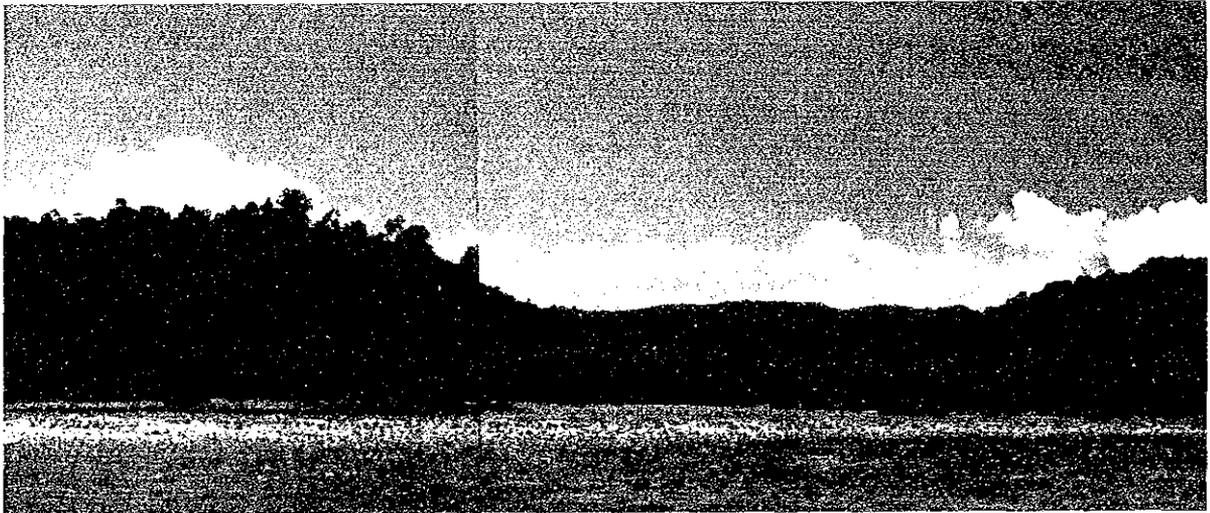
Ene Cutivireni Dam Site
Viewed from Upstream



Ene Cutivireni Dam Site
Viewed from Upstream toward Downstream



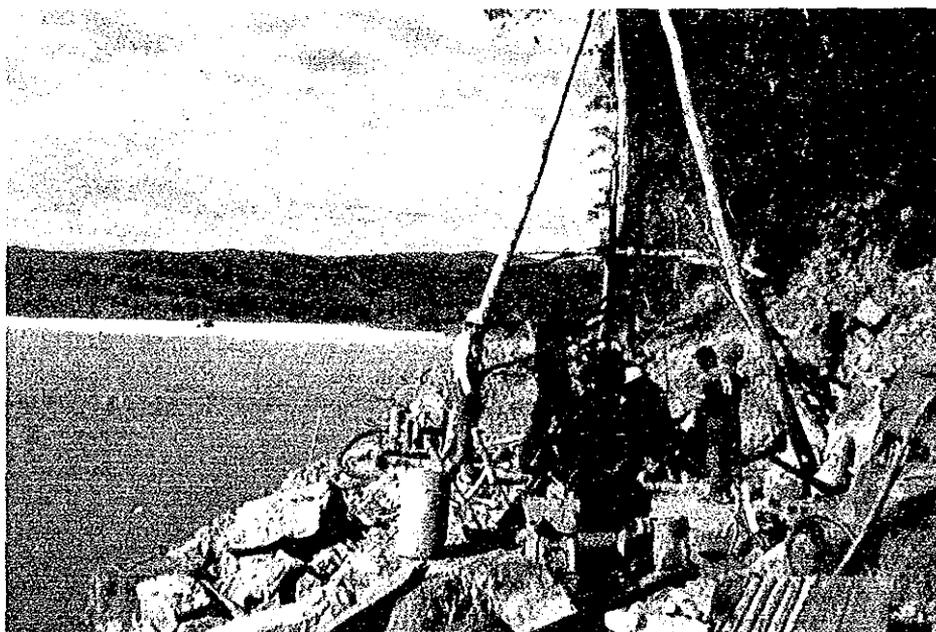
**Ene Sumabeni Dam Site
Viewed from Upstream**



**Ene Sumabeni Dam Site
Viewed from Downstream toward Upstream**



Boring Work at Ene Paquizapango Dam Site



Boring Work at Tambo Puerto Prado Dam Site



**Geophysical Exploratory Work
at Ene Paquizapango Dam Site**



**Geophysical Exploratory Work
at Tambo Puerto Prado Dam Site**

目 次

| | |
|---------------------------------|----|
| 第1章 結論と勧告 | 1 |
| 1.1 結 論 | 1 |
| 1.2 勧 告 | 5 |
| 第2章 基本計画 (Master Plan)の概要 | 6 |
| 2.1 Master Plan の概要 | 6 |
| 2.1.1 発電計画 | 6 |
| 2.1.2 送変電計画 | 7 |
| 2.1.3 概略工事費 | 8 |
| 2.2 開発時期および開発順位 | 9 |
| 2.2.1 開発時期 | 9 |
| 2.2.2 開発順位 | 9 |
| 2.3 経済性の評価 | 10 |
| 第3章 電力需要および供給 | 19 |
| 3.1 電力系統 | 19 |
| 3.2 電力需要予測 | 21 |
| 3.2.1 予測方針および方法 | 21 |
| 3.2.2 検討結果 | 22 |
| 3.3 電力需要供給バランス | 22 |
| 3.4 結 論 | 23 |
| 第4章 開発計画 | 32 |
| 4.1 一 般 | 32 |
| 4.2 ダムサイト | 32 |
| 4.3 計画の検討法 | 32 |
| 4.3.1 検討手法 | 32 |
| 4.3.2 検討条件 | 33 |

| | | |
|-------|------------------|----|
| 4.4 | 開発計画の検討 | 35 |
| 4.4.1 | 単独開発計画案の検討 | 35 |
| 4.4.2 | 複数ダムによる一貫開発計画の検討 | 36 |
| 4.5 | 最適一貫開発計画案 | 37 |
| 4.6 | 経済解析 | 39 |
| 4.6.1 | 前提条件 | 39 |
| 4.6.2 | 検討結果 | 39 |
| 第5章 | 送変電計画 | 59 |
| 5.1 | 目的 | 59 |
| 5.2 | 送変電計画の検討 | 59 |
| 5.3 | 検討結果 | 60 |
| 5.3.1 | 送電設備 | 60 |
| 5.3.2 | 変電設備 | 60 |
| 5.3.3 | 概算工事費 | 60 |
| 5.3.4 | 今後の問題点 | 61 |
| 5.4 | 系統計算 | 61 |
| 5.4.1 | 計算の前提条件 | 61 |
| 5.4.2 | 計算結果 | 61 |

第1章 結論と勧告

第1章 結論と勧告

1.1 結論

- (1) ELECTROPERU の電力需要予測 (1984年) によると、今後25年間の電力消費量の年平均伸び率は 6.3%となっている。

今回JICA調査団は、国民総生産 (GRDP) の成長率を用いたマクロ的手法によりペルー中北部系統の需要予測についての検証を実施した。

ペルーの経済成長は近年低迷しているものの、長期的には今後順調に回復するものと想定され、この観点からするとELECTROPERU による需要想定はほぼ妥当なものと判断される。

- (2) ペルー中北部系統の電力需要が、このような伸び率で推移すると、1999年には送電端で3,618MW、20,895GWh となり、1984年の電力需要に対し、それぞれ2,393MW (3.0倍)、14,329GWh (3.2倍) 増加するものと推定される。

この増分需要に対する供給力については、ELECTROPERU は現在建設中又は建設を計画中のProject により確保することが可能である。

しかしながら、1999年～2009年までの増分需要3,008MW、16,738GWhについては、供給力が不足することとなる。この増分需要をまかなう新規電源を確保するため、新しいProject の整備拡充を図る必要がある。

今回調査検討を実施した Ene川の水力開発地点はその有力な候補地点の1つと判断される。

- (3) かかる見地からJICA調査団は、Tambo川上流部およびPerene川下流部を含む Ene川流域全般に亘り、計画 (ダム) 可能地点を選定する為の広範囲な調査を行った結果、最終的にTambo Puerto Prado、Ene Paquitzapango、Ene CutivireniおよびEne Sumabeniの4ヶ地点が検討するに値する地点であることを確認した。なお、これ以外のいくつかの地点については技術的および経済的に開発候補地点として不相当と判断した。

(4) LANDSAT imagesならびに航空写真による地質解析により上記4地点を含む Ene川流域およびその周辺地域全体の地形、地質特性をマクロ的に把握した結果、上記各計画地点とも、地形、地質（貯水池の保水性等）上から、各計画自体を否定するような致命的欠陥は無いことがほぼ確認された。

(5) 選定された4ヶ地点各々についての調査およびStudyの結果、確認された各地点の特性は次の通りである。

(a) Tambo Puerto Prado地点

地質基盤は古生代ないし中生代に属する石灰岩、砂岩、頁岩および石灰質碎屑岩で構成されている。岩質は一般に堅硬、ち密であり石灰岩ないし石灰質碎屑岩のカルスト現象はそれ程著しいものではなく、ダム基礎部の透水性を極端に低下させるおそれは無いと判断される。地形的には広い河谷と比較的急な両岸斜面よりなり、その河床堆積物の厚さは深いところで50~60mあるいはこれ以上あることが確認された。

以上の地形、地質的条件を有する本地点は、中規模以下のダム計画についてはコンクリートダムを、また、大規模ダム計画の場合はフィルタイプダムを採用するのが適当であると判断される。

(b) Ene Paquitzapango 地点

地形的にはV字形をなす峡谷部にあり、その基盤は古生代から中生代の石灰岩、砂岩および石灰質碎屑岩類から成る。これ等の岩石は岩質的に堅硬、ち密である。本地点の石灰岩をはじめその他の石灰質岩石は、溶食等のカルスト現象はそれ程著しいものではなく、ダム基礎部の透水性を極端に低下させるおそれはない。

河床部は多少の砂礫があるが、その厚さは局部的には可成り深い部分も存在するかもしれないが平均的には20m内外であると考えられる。

本地点は高いダムの計画が可能であり、高さ170m程度内外までは十分な基礎処理を行うことにより築造可能と判断する。

地形、地質的条件からダムの形式としてはコンクリートダムの方がフィルタイプダムより経済的となろう。

(c) Ene Cutivireni地点

地形的には両岸の山体はなだらかで、地質基盤は泥岩ないしは砂岩等の第三紀層からなり、河床部の砂礫堆積物の厚さは相当厚いものと推定される。

かかる地形、地質的条件から、貯水池容量も小規模なものとなり、経済性も得られない地点であると判断する。

(d) Ene Sumabeni地点

両岸の地形はやや急となるが、河床の堆積砂礫は可成り厚く、従って、全体的に河中の広い地形となっている。その地質基盤は古生代に属する石灰岩、頁岩などから成る。

以上の地形および地質から、本地点は大規模のダム計画により一応の経済性が得られるものと判断されるが、今後、なお調査を行って確認する必要がある。

(6) 前項までの調査結果を踏まえ、Tambo川上流部およびPerene川下流部を含むEne川全体の水力開発計画の最適開発計画案を策定する為のStudyを行った結果、下記の結論を得た。

(a) Ene川水力発電計画におけるOptimumな開発計画はEne Paquitzapango, Tambo Puerto Prado (low dam)およびEne Sumabeniの3地点の組合せからなる開発計画案である。

(b) 3発電所の合計設備出力および、合計年間可能発生電力量はそれぞれ3,073MW, 24,820GWhである。また送電線を含めた総建設費は $6,262 \times 10^6$ US\$となる。

(c) 3地点の総合の経済性は代替火力(石炭)との比較において $(B/C) = 1.27$, NPV $(B-C) = 1,147 \times 10^6$ US\$である。また、段階開発における耐用年数間均等化発電原価(需要端)はkWh当り49.0millとなる。

なお、ペルー国の国民経済的視点からの位置付を把握するため、概略の経済費用を用いて経済的内部収益率(EIRR)を試算した。その結果、ペルーの平均的売電価

格48.5mill/kWhに対するEIRRは14.4%である。

また、今回見積られた工事費が±10%変動した場合、売電価格48.5mill/kWhに対するEIRRはそれぞれ13.4%、15.5%となる。

3地点のうち最も経済性の高い計画はEne Paquitzapango 地点である。

本地点の経済性は、代替火力との比較において $(B/C) = 1.76$ 、 $NPV(B-C) = 1,545 \times 10^6 \text{US\$}$ である。

また、均等化発電原価（需要端）はkWh 当り36.9millである。

売電価格48.5mill/kWhに対する経済的内部収益率（EIRR）は18.1%であり、工事費が±10%変動した場合のEIRRはそれぞれ17.1%、19.2%となる。

(7) 開発順位としては最も経済性の高いEne Paquitzapango 計画を最初に建設し、前項(2)に述べた需給バランスを確保するため、2,000年に一部運転開始せしめる。続いて Tambo Puerto Prado計画を建設、最後にEne Sumabeni計画を開発する。

(8) Ene Paquitzapango およびTambo Puerto Prado両発電所用の送電線はSan Ramon に計画する中間開閉所を経由して北部中央電力系統の中心地であるLima市内系統に連系する。Ene Sumabeni発電所用の送電線は別ルートにより同じくLimaの既設電力系統に連系する。

(9) 本Master Plan Study における送電線の規模は電圧 500KV、410mm² ACSR 4 導体を採用した。また、この設備規模における全系統について安定の検討を行った結果、本送電線計画が系統的に安定であるとの結論を得た。

(10) Ene川水力発電計画の実施に伴う Ene川流域の自然、社会環境に与える影響について概略的な見通しを把握するため、Primitive な調査を実施した結果、基本的に本計画の開発を阻害するような大きな環境上の問題は無く、逆に、ダム、発電所等の建設がこの地域の発展に大きく貢献し、さらに諸々の施策を講ずることにより、現在よりもより良い自然、社会環境を作り出すことが可能になるものと判断される。

1.2 勸告

- (1) Ene川水力発電のMaster Plan の内、第1開発順位であるEne Paquitzapango 計画について、開発規模および詳細な開発時期の検討を含めた技術面、経済面および環境面からの開発可能性調査を早急に実施することを勧告する。
- (2) Ene Paquitzapango 計画の技術的および経済的可能性調査の実施に当り、本計画地点をCover する航空写真地形図 (S=1/5,000, 1/2,000) の作成、ダム地点のAdit、およびdrill hole等による基礎地盤の性状を把握するための地質調査、ならびに岩盤試験、および材料調査等必要な諸調査を実施することを勧告する。
- (3) Ene sumabeni地点については、今回地質調査工事が実施出来なかったこともあり、将来可能なる時期に地質調査 (弾性波地質調査およびボーリング等) を実施し、基礎地盤、河床堆積厚等の確認を行うことを勧告する。

第2章 基本計画(Master plan)の概要

第2章 基本計画 (Master Plan)の概要

Ene川水力発電計画のMaster Plan 作成のため、今回実施した現地踏査、地質調査工事、1/25,000地形図の作成、ならびに、収集した諸資料をもとに、Tambo川上流部およびPerene川を含む Ene川全域の一貫開発計画としてのMaster Plan がJICA調査団により取まとめられた。その概要を以下に示す。

2.1 Master Planの概要

2.1.1 発電計画

選定されたMaster Plan はEne Paquitzapango 計画を中心に、その下流部の Tambo Puerto Prado(low dam) 計画および上流部のEne Sumabeni計画を含めた3計画から成る Ene川一貫開発計画である。

この各々の計画の概要は下記の通りである。なお、計画諸元をTable 2-1に、また General LayoutをFig. 2-1に示す。

Ene Paquitzapango 計画；

Ene Paquitzapango 地点に高さ 165mのConcrete gravityダムを築造し、HWL455mとLWL423mの間で得られる有効貯水容量 $10,600 \times 10^6 \text{ m}^3$ により流入量を貯留調整し、最大使用水量 $1,540 \text{ m}^3/\text{s}$ と有効落差 103mをもって、最大出力 1,379MW(197MW×7 unit)、年間発生電力量10,960GWh の発電を行う。

Tambo Puerto Prado計画；

Tambo Puerto Prado地点に高さ 110m、HWL335mのConcrete gravityダムを築造し、最大使用水量 $2,400 \text{ m}^3/\text{s}$ と有効落差30mをもって、最大出力620MW(62MW×10unit)、年間発生電力量4,870GWhの発電を行う。

Ene Sumabeni計画；

Ene Sumabeni地点に、高さ 160mのRockfillダムを築造し、HWL555mとLWL517mの間で得られる有効貯水容量 $6,900 \times 10^6 \text{ m}^3$ により流入量を貯留調整し、最大使用水量 $1,302 \text{ m}^3/\text{s}$ と有効落差95mをもって最大出力 1,074MW(179MW×6 unit)、年間発生電力量 8,9

90GWh (下流増を含む) の発電を行う。

3発電所の合計最大出力は3,073MW、合計年間発生電力量は24,820GWhである。

2.1.2 送変電計画

本Master Plan に於ける各計画により発生する電力は、首都Limaを中心とする中北部電力系統に送電されることとなるが、この為の送変電計画の概要は次の通りである。

送電線

Ene Paquitzapango — San Ramon S.Y.

設 備 500KV — 1cct

亘 長 約 210km

2ルート (1ルートはTambo Puerto Prado経由)

San Ramon S.Y. — Lima (Zapallal S.S., San Juan S.S.)

設 備 500KV — 1cct

亘 長 約 260km

2ルート

Sumabeni — San Juan S.S.

設 備 500KV — 1cct

亘 長 約 380km

1ルート

Zapallal S.S. — San Juan S.S.

設 備 500KV — 1cct

亘 長 約 55 km

1ルート

変電設備

San Ramon S.Y.

500KV 送電線 4 cct の引出、引込および開閉所設備の新設

Zapallal S.S. (Lima)

500KV 送電線 2 cct の引込設備、および500KV 変電所設備の新設

San Juan S.S. (Lima)

500KV 送電線 3 cct の引込設備、および500KV 変電所設備の新設

2.1.3 概略工事費

Master Plan stage における各計画の概略の工事費は、以下の通りである。

Approximate Estimated Construction Cost (unit ; 10⁶ US\$)

| | Generating Facility | Transmission Line | Total |
|--------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| Ene Paquitzapango | 1,626 (1,616) | 436 (436) | 2,062 (2,052) |
| Tambo Puerto Prado | 1,488 (1,488) | 12 (12) | 1,500 (1,500) |
| Ene Sumabeni | 2,476 (2,469) | 224 (224) | 2,700 (2,693) |
| Total | 5,590 (5,573) | 672 (672) | 6,262 (6,245) |

() はOne-Stage 開発の場合

2.2 開発時期および開発順位

2.2.1 開発時期

前記Master Plan の各計画地点の開発時期は、ペルー中北部電力系統の1999年以降の増加需要をまかなうよう開発を進めるのが適当と考えられる。

即ち、1999年までの増加需要に対しては、既に計画されている諸計画地点で充足されるが、これ以降の増加需要に対し、仮に8%程度の余裕を見込むと供給力の不足は、2000年 260MW、2005年 1,740MWまた2009年には 3,300MWに達し、この供給力不足をまかなう為に新規電源の開発が必要となる。Ene川計画は、この増加需要を充足する電源として順次開発して行くことが望まれるものである。

2.2.2 開発順位

選定されたMaster Plan の3計画地点の開発順位について、技術的および経済性の面から検討を行った。その結果、最も経済性が高く且つ、技術的にも問題の少ない Ene Paquitzapango 地点をまず最初に開発する。続いて、Ene Paquitzapango 計画により、その効用が発揮されるTambo Puerto Prado計画を開発することとし、最後にEne Sumabeni 計画を開発する。

開発順位

| | |
|--------|--------------------------------|
| 第1開発順位 | Ene Paquitzapango 計画 (1,379MW) |
| 第2開発順位 | Tambo Puerto Prado計画 (620MW) |
| 第3開発順位 | Ene Sumabeni 計画 (1,074MW) |

また、各計画の発電機unitは系統の電力需要の伸びに合わせ、順次計画的にinstallして行くこととする。即ち、まず2000年にEne Paquitzapango の1号機および2号機の2 unitを設定し、その後順次unit数を増し、2008年にEne Sumabeniの最終2 unitをinstallすることにより、この一貫開発計画による3発電所が全て運転開始する。

2.3 経済性の評価

第1次経済評価

Master Plan 作成の段階における各Alternative Schemeの比較検討ならびに、開発規模の概略study 等においては、代替火力 (coal) を想定し、これとの比較において便益 (B) および経費 (C) によるB/CおよびB-C評価を行うと共に、あわせて当該水力発電計画の耐用年間均等化発電原価により経済性の評価を行なった。

選定されたMaster Plan の経済性は、次の通りである。

各計画の経済性 (Stage 開発)

| 計 画 | B/C | B-C | 耐用年間均等化発電原価 |
|----------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| | | (10 ⁶ US\$) | (mill/kWh) |
| Ene Paquitzapango | 1.76 (2.09) | 1,545 (2,325) | 36.9 mill/kWh (25.3) |
| Tambo Puerto Prado * | 1.19 (1.22) | 291 (345) | 52.8 (41.4) |
| Ene Sumabeni | 1.12 (1.22) | 342 (625) | 54.4 (42.7) |
| total | 1.27 (1.45) | 1,147 (2,914) | 49.0 (36.2) |

*Ene Paquitzapango 完成後

() はOne-Stage 開発の場合

第2次経済評価

以上の第一次経済評価により選定された最適一貫開発計画および最優先開発計画 Ene Paquitzapango 計画について、これらの計画の実施効果を国家全体の経済政策の中で評価するための一助として、経済的内部収益率 (EIRR) を試算し、概略の経済解析を試みた。

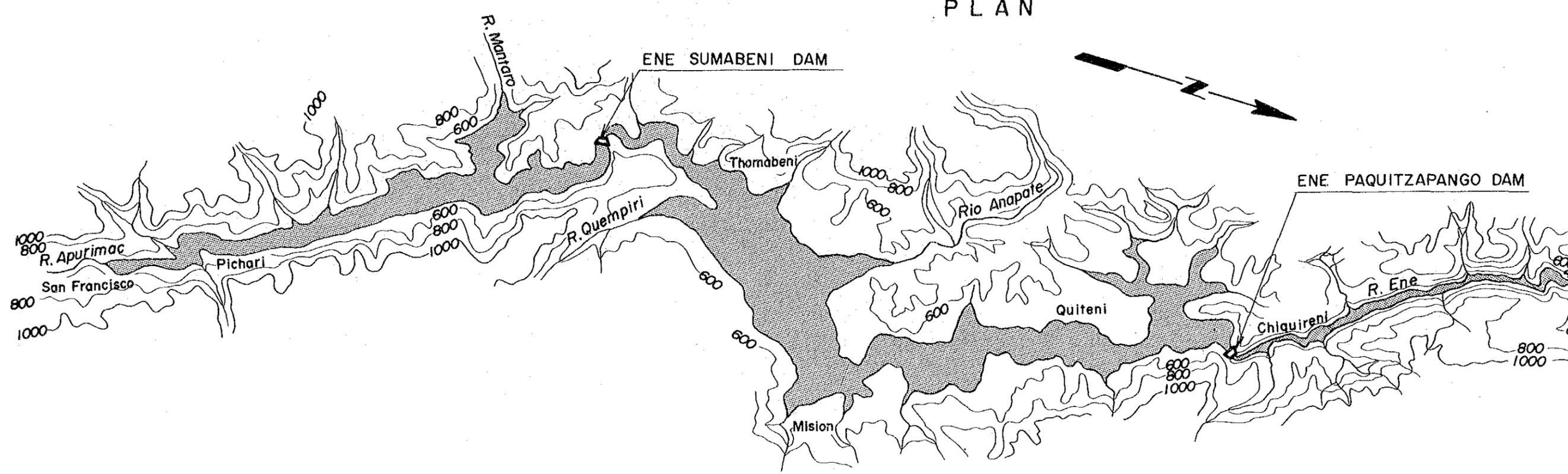
試算に際しては、第一次経済評価で用いた市場価格に基づく工事費に所定の修正を加え、経済価格による工事費とするとともに、便益についてはLima市における電気料金 (48.5mill/kwh) をその単価に用いた。

計算の結果、経済的内部収益率 (EIRR) は Ene川全体の最適一貫開発計画について14.4%、最優先開発計画Ene Paquitzapango については18.1%となり充分経済性のある計画であると言える。

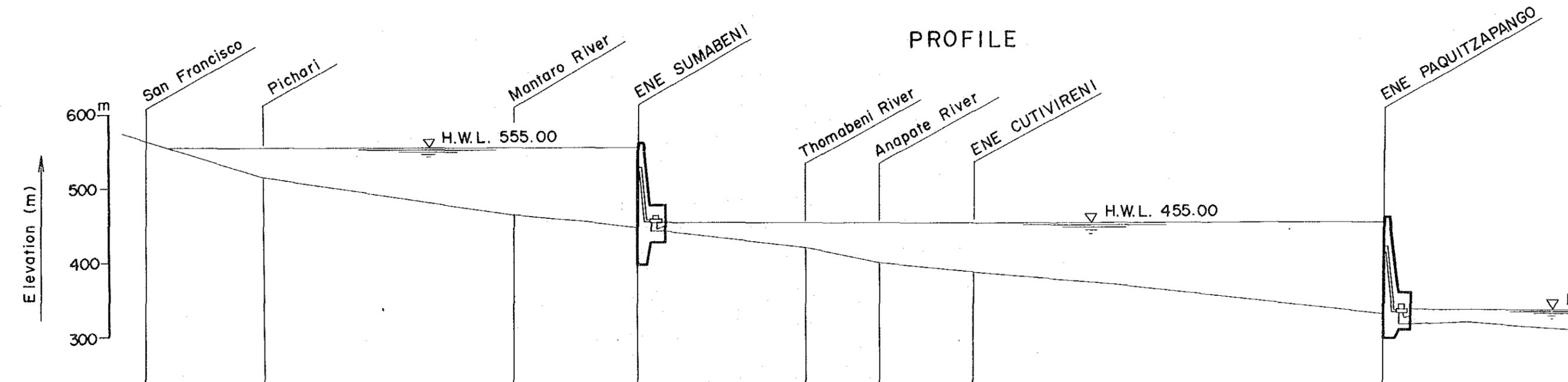
Table 2-1 General Feature of the Optimum Scheme

| Item | Unit | Ene Paquitzapango | Tambo Pto. Prado | Ene Sumabeni |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|--------------|
| STREAM FLOW | | | | |
| Catchment Area | Km ² | 104,500 | 126,100 | 98,290 |
| Average Annual Runoff | 10 ⁶ m ³ | 52,500 | 75,730 | 49,380 |
| RESERVOIR | | | | |
| Normal High Water level | m | 455 | 335 | 555 |
| Total Storage Capacity | 10 ⁶ m ³ | 17,000 | 600 | 12,000 |
| Sedimentation Level | m | 406 | - | 500 |
| Low Water Level | m | 423 | - | 517 |
| Available Draw Down | m | 32 | - | 38 |
| Effective Storage Capacity | 10 ⁶ m ³ | 10,600 | - | 6,900 |
| DAM | | | | |
| Type | - | Gravity | Gravity | Rockfill |
| Height | m | 165 | 110 | 160 |
| Volume | 10 ⁶ m ³ | 2.2 | 1.3 | 31.0 |
| POWER GENERATING | | | | |
| Normal Intake Level | m | 441 | 335 | 538 |
| Tail Water Level | m | 336 | 302 | 441 |
| Normal Effective Head | m | 103 | 30 | 95 |
| Firm Discharge | m ³ /sec | 1,157 | 1,631 | 978 |
| Maximum Discharge | m ³ /sec | 1,540 | 2,400 | 1,302 |
| Installed Capacity | MW | 1,379 | 620 | 1,074 |
| Number of Units | - | 7 | 10 | 6 |

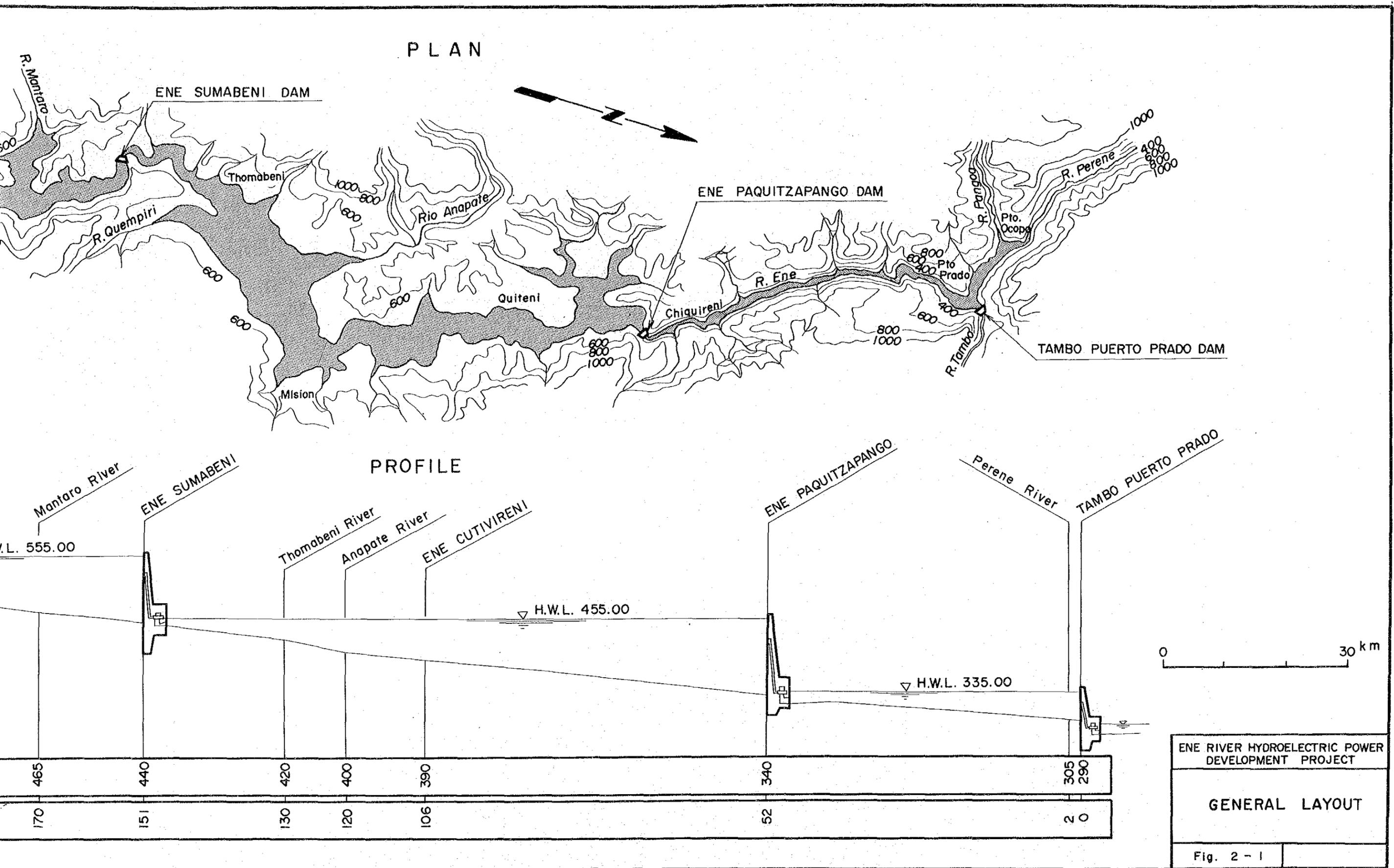
PLAN

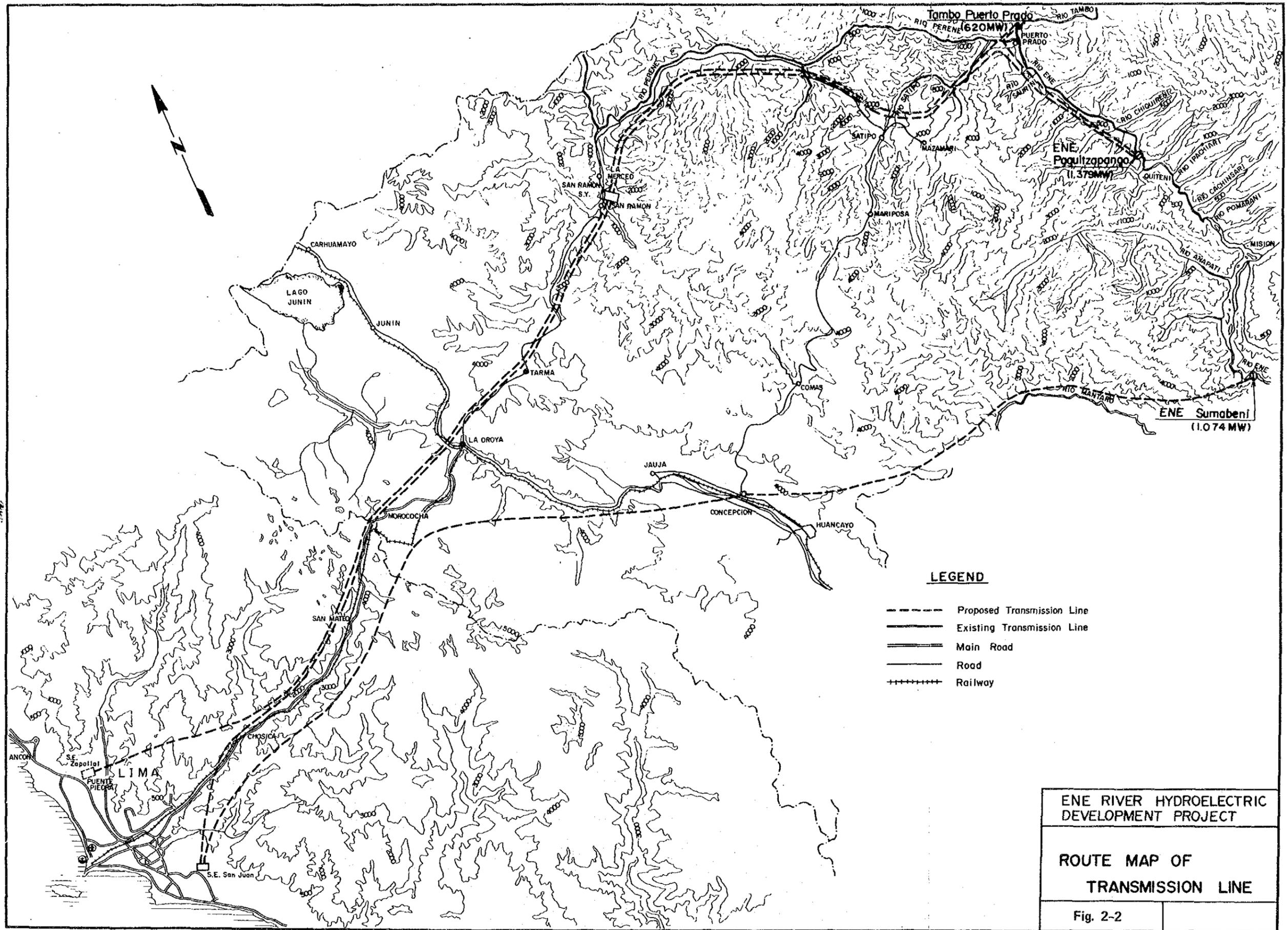


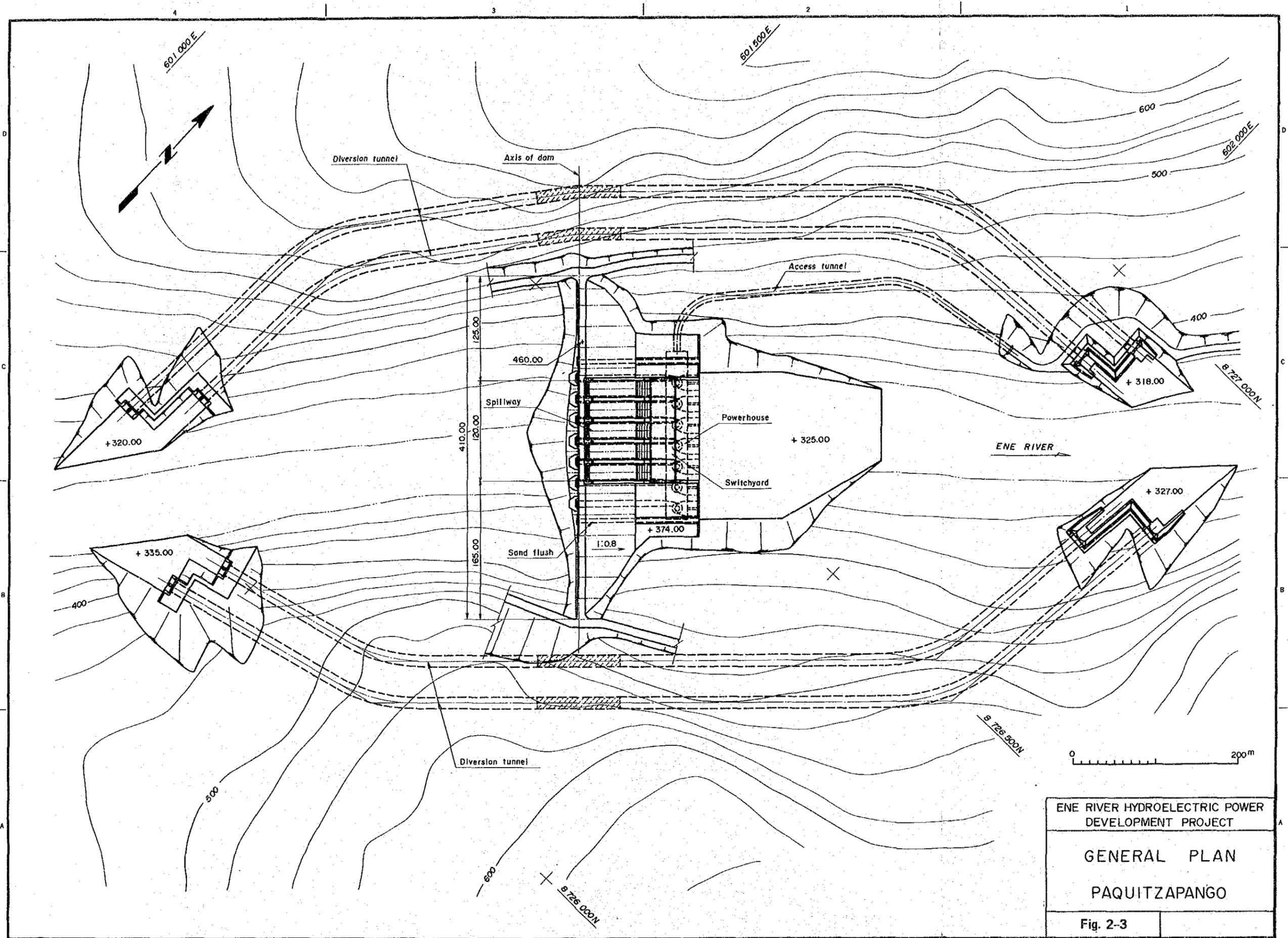
PROFILE



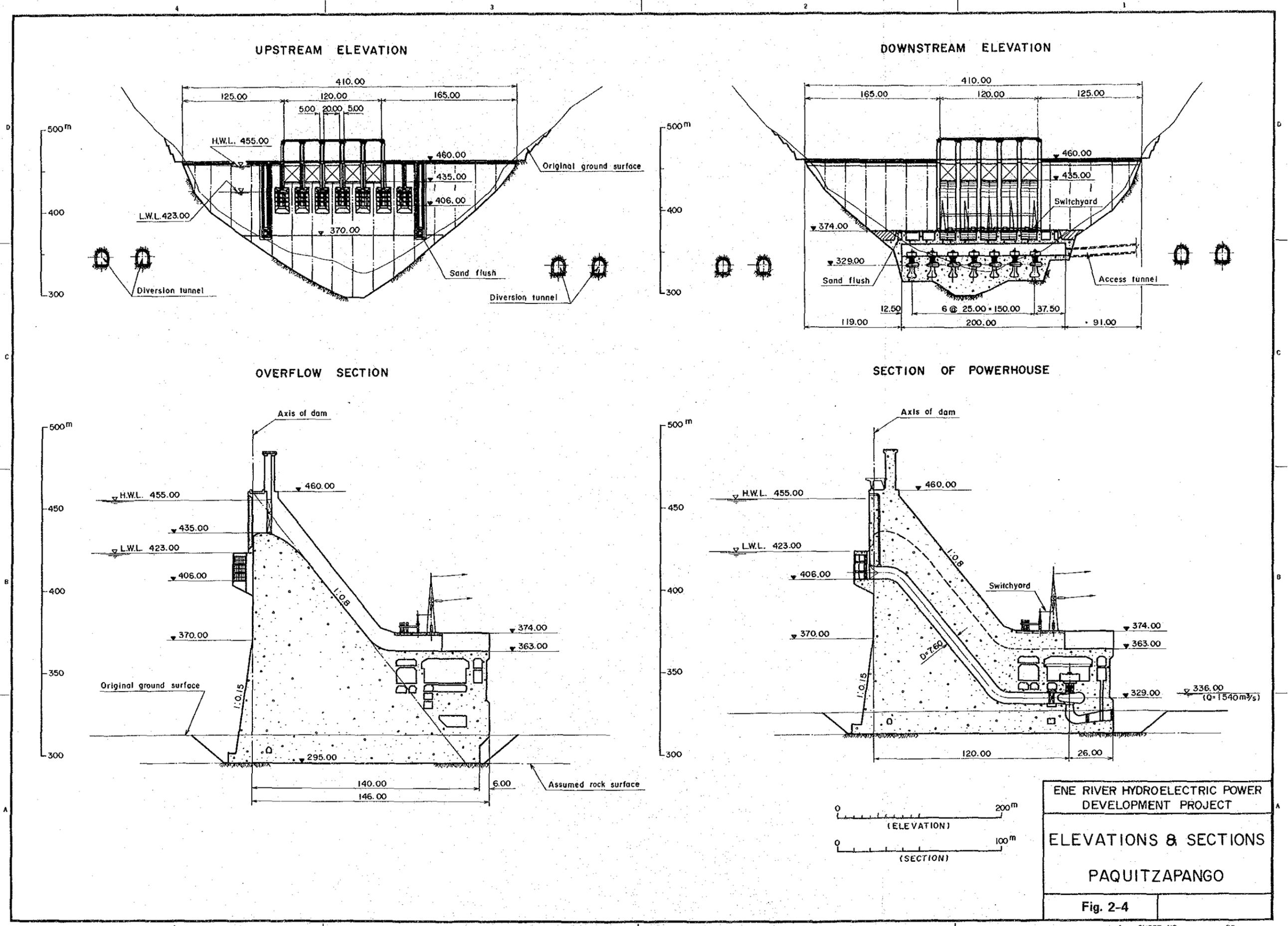
| | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Elevation (m) | 565 | 515 | 465 | 440 | 420 | 400 | 390 | 340 |
| Distance from Tambo Pto. Prado (Km) | 220 | 204 | 170 | 151 | 130 | 120 | 106 | 52 |







| | |
|---|--|
| ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT | |
| GENERAL PLAN | |
| PAQUITZAPANGO | |
| Fig. 2-3 | |

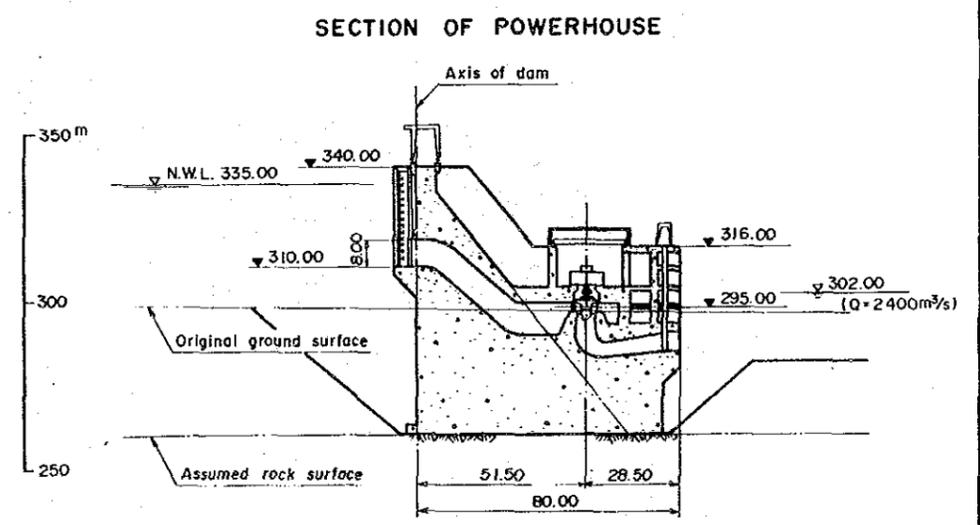
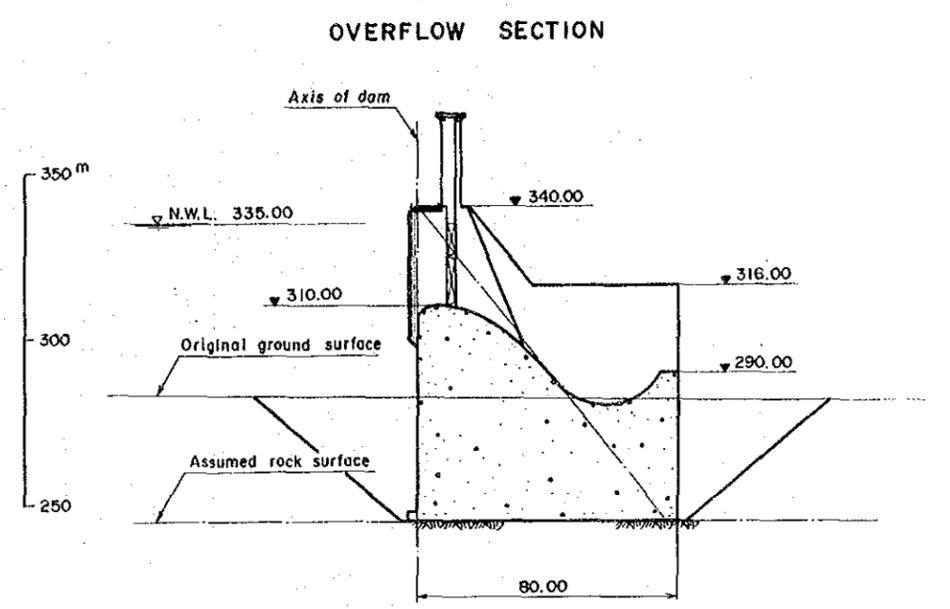
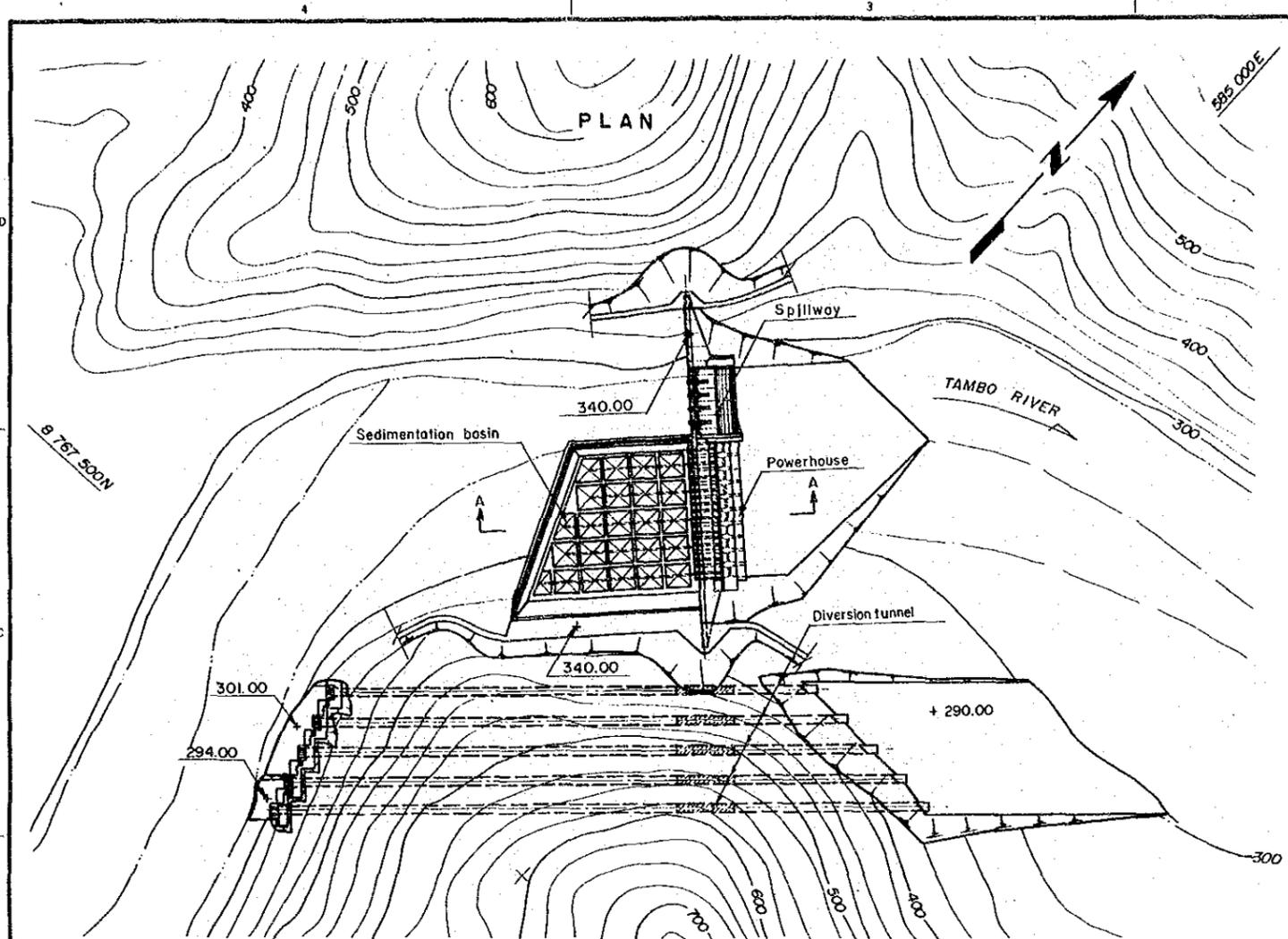


ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT

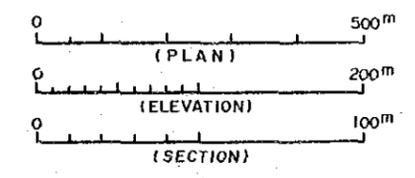
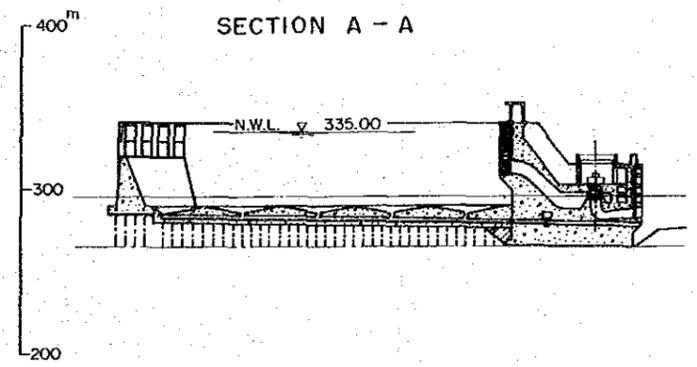
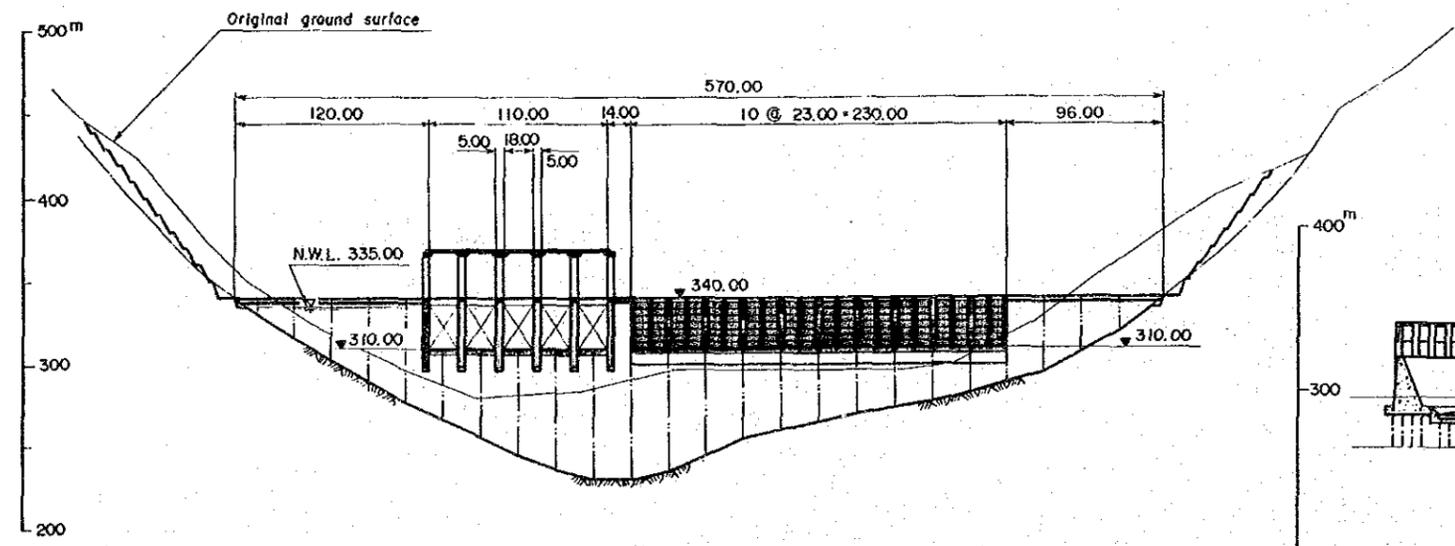
ELEVATIONS & SECTIONS

PAQUITZAPANGO

Fig. 2-4



UPSTREAM ELEVATION

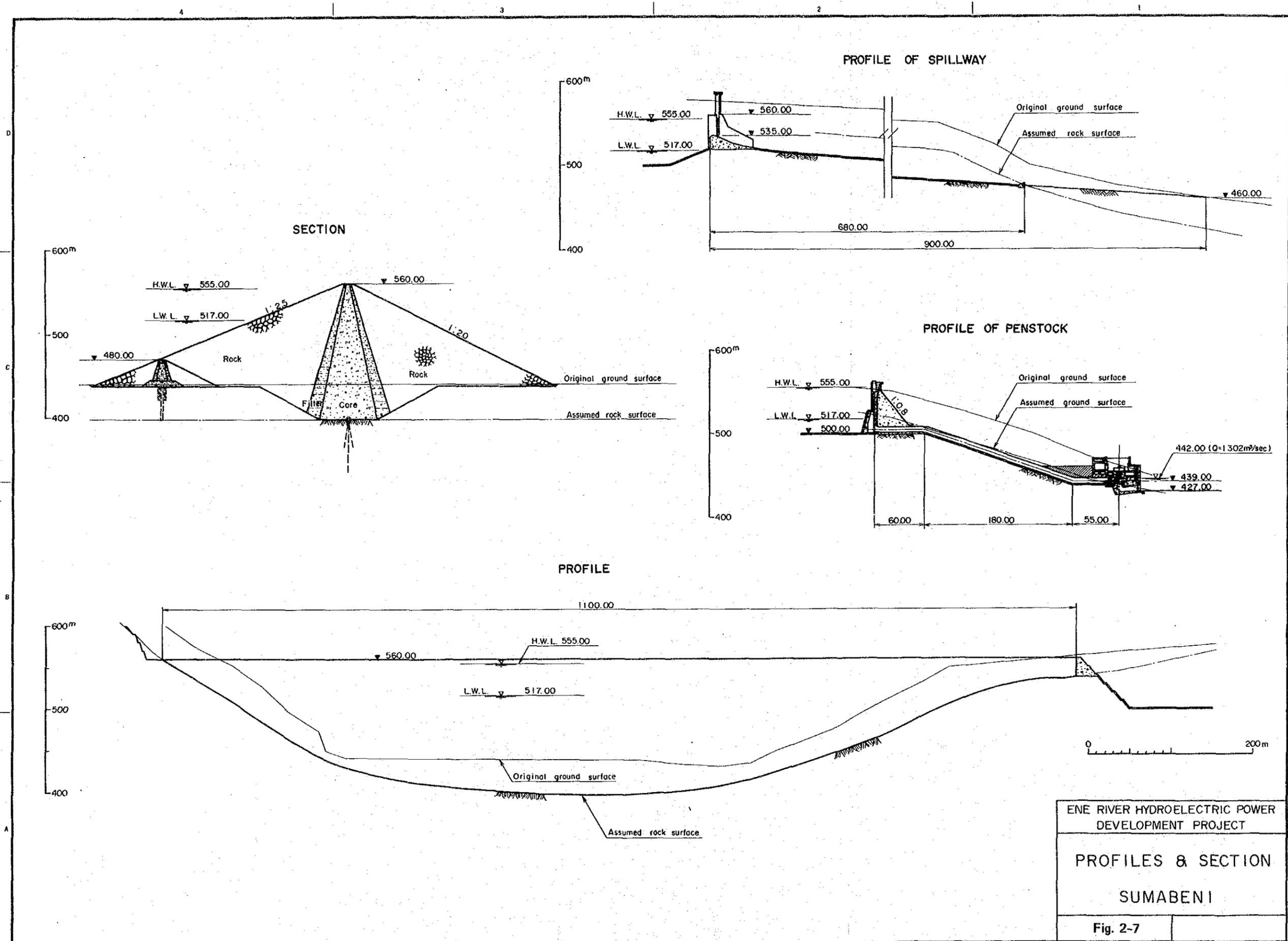


ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT

GENERAL LAYOUT

PTO. PRADO N.W.L. 335

Fig. 2-5



| | |
|---|--|
| ENE RIVER HYDROELECTRIC POWER DEVELOPMENT PROJECT | |
| PROFILES & SECTION | |
| SUMABENI | |
| Fig. 2-7 | |