

国際協力事業団 (JICA)

グアテマラ共和国鉱山エネルギー省

グアテマラ共和国
アマティトラン地熱開発計画調査

ファイナルレポート
要約

JICA LIBRARY



J1166797191

2001年12月

西日本技術開発株式会社

鉱調資

J R

01-120

国際協力事業団（JICA）

グアテマラ共和国鉱山エネルギー省

グアテマラ共和国
アマティトラン地熱開発計画調査

ファイナルレポート
要約

2001年12月

西日本技術開発株式会社



1166797【9】

目次

1 調査概要	1- 1
1.1 背景	1- 1
1.2 調査目的	1- 1
1.3 プロジェクトの概要および各段階の作業内容	1- 1
1.3.1 調査の概要	1- 1
1.3.2 第4年次フィジビリティ調査段階（2001年度）の作業内容	1- 2
1.4 調査団員の構成	1- 2
1.5 謝辞	1- 3
2 既調査結果のまとめ	2.1- 1
2.1 電力事情	2.1- 1
2.1.1 グアテマラ電力事情の概要	2.1- 1
2.1.2 発電システム	2.1- 3
2.1.3 送電システム	2.1- 3
2.1.4 配電システム	2.1- 4
2.1.5 グアテマラ国内の電力需要予測	2.1- 4
2.1.6 政治・経済の最新動向	2.1- 4
2.1.7 政治情勢	2.1- 4
2.1.8 電気普及率の改善および電力需要の増大に対する対策	2.1- 4
2.1.9 グアテマラにおける電源開発の方法	2.1- 5
2.1.10 まとめ	2.1- 5
2.2 地球科学的調査	2.2- 1
2.2.1 地質調査	2.2- 1
2.2.2 地化学調査	2.2- 3
2.2.3 重力・磁気探査	2.2- 4
2.2.4 電磁探査	2.2- 5
2.3 調査井掘削結果	2.3- 1
2.3.1 調査井 AMJ-1 号井	2.3- 1
2.3.2 調査井 AMJ-2 号井	2.3- 3
2.4 坑井調査	2.4- 1
2.4.1 坑井地質	2.4- 1
2.4.2 坑井流体地化学	2.4- 2
2.4.3 坑井仕上げ前調査および仕上げ試験	2.4- 4

2.5	地熱系概念モデル	2.5-1
2.5.1	地質構造	2.5-1
2.5.2	熱源	2.5-3
2.5.3	地下温度分布	2.5-3
2.5.4	熱水系地化学モデル	2.5-4
2.5.5	地熱構造モデル	2.5-4
3	地熱開発計画の策定	3.1-1
3.1	地熱資源量評価	3.1-1
3.1.1	数値モデル	3.1-1
3.1.2	自然状態シミュレーション	3.1-1
3.1.3	ヒストリーマッチング	3.1-1
3.1.4	将来予測および地熱資源量	3.1-2
3.1.5	出力予想結果	3.1-3
3.2	地熱発電所建設計画	3.2-1
3.2.1	計画条件	3.2-1
3.2.2	地熱流体輸送・還元設備	3.2-1
3.2.3	発電設備	3.2-1
3.2.4	送電・変電設備	3.2-2
3.2.5	工事計画	3.2-3
3.2.6	工事費	3.2-3
3.3	環境影響調査	3.3-1
3.3.1	はじめに	3.3-1
3.3.2	発電所建設に向けた環境影響評価	3.3-1
3.3.3	今後のプロジェクト推進に当たっての推奨事項	3.3-4
3.4	経済・財務評価	3.4-1
3.4.1	プロジェクトの必要性	3.4-1
3.4.2	Least Cost Solution 経済性評価	3.4-1
3.4.3	財務評価	3.4-2
4	総合評価および提言	4-1
4.1	総合評価	4-1
4.2	提言	4-3
4.2.1	アマティトラン地熱地域の開発	4-3
4.2.2	発電所位置	4-3
4.2.3	環境	4-3
4.2.4	周辺地域の開発	4-4

図表目次

<図>

Fig. 2-1-1(a)	グアテマラ電力産業の組織	2.1-7
Fig. 2-1-1(b)	グアテマラ電力産業の市場構造	2.1-8
Fig. 2-1-2	エネルギーコストの日変化	2.1-9
Fig. 2-1-3	グアテマラ国内の電力供給システム	2.1-10
Fig. 2-1-4	グアテマラ国内の送電システム	2.1-11
Fig. 2-1-5	設備容量と電力需要の推移	2.1-22
Fig. 2-2-1	広域地質構造図	2.2-7
Fig. 2-2-2	アマティトラン地熱地域の地質層序	2.2-8
Fig. 2-2-3	地質構造図	2.2-9
Fig. 2-2-4	熱水系地化学モデル図	2.2-10
Fig. 2-2-5	土壌ガス調査による高透水性ゾーン集約図	2.2-11
Fig. 2-2-6	重力解析図	2.2-12
Fig. 2-2-7	磁気解析図	2.2-13
Fig. 2-2-8	浅部比抵抗構造解析図	2.2-14
Fig. 2-2-9	深部比抵抗構造解析図	2.2-15
Fig. 2-3-1	AMJ-1 号井坑井仕上げ図	2.3-6
Fig. 2-3-2	AMJ-2 号井坑井仕上げ図	2.3-7
Fig. 2-3-3	AMJ-1 号井掘削実績	2.3-8
Fig. 2-3-4	AMJ-2 号井掘削実績	2.3-9
Fig. 2-4-1	坑井 AMJ-1 の地質総合柱状図	2.4-9
Fig. 2-4-2	坑井 AMJ-2 の地質総合柱状図	2.4-10
Fig. 2-4-3	アマティトラン地熱地域の地質柱状対比図	2.4-11
Fig. 2-4-4	エンタルピー-CI 相関図	2.4-12
Fig. 2-4-5	坑井 AMJ-1 温度検層(1,700 m)	2.4-12
Fig. 2-4-6	坑井 AMJ-2 温度検層(1,700m)	2.4-14
Fig. 2-4-7	リッププレッシャー法試験設備	2.4-15
Fig. 2-4-8	坑井 AMJ-1 の第 1 回噴出試験の坑井特性	2.4-16
Fig. 2-4-9	坑井 AMJ-1 の第 2 回噴出試験の坑井特性	2.4-17
Fig. 2-4-10	坑井 AMJ-2 の第 1 回噴出試験の坑井特性	2.4-18
Fig. 2-4-11	坑井 AMJ-2 の第 2 回噴出試験の坑井特性	2.4-19
Fig. 2-5-1	地熱構造モデル(平面図)	2.5-6
Fig. 2-5-2	地熱構造モデル(A-A'断面図)	2.5-7
Fig. 2-5-3	地熱構造モデル(B-B'断面図)	2.5-8
Fig. 2-5-4	熱水系地化学モデル	2.5-9

Fig. 3-1-1	アマテイトラン地熱貯留層数値モデルのブロック分割	3.1-4
Fig. 3-1-2	アマテイトラン地熱貯留層数値モデルの鉛直方向分割	3.1-5
Fig. 3-1-3	生産井 AMF-1 の噴出量変化とエンタルピーマッチング	3.1-6
Fig. 3-1-4	生産井 AMF-1 の出力変化	3.1-7
Fig. 3-1-5	生産井 AMF-2 の噴出量変化とエンタルピーマッチング	3.1-8
Fig. 3-1-6	生産井 AMF-2 の出力変化	3.1-9
Fig. 3-1-7	還元井 AMF-3 の還元量変化	3.1-10
Fig. 3-1-8	貯留層の開発シナリオ	3.1-11
Fig. 3-1-9	既存坑井および補充井の掘削ターゲット	3.1-12
Fig. 3-1-10	シナリオ 1: 20 MW 発電の場合の出力予測	3.1-13
Fig. 3-1-11	シナリオ 1: 各生産井の出力予測	3.1-14
Fig. 3-1-12	シナリオ 2: 20MW + 20 MW 発電の場合の出力予測	3.1-15
Fig. 3-1-13	シナリオ 2: 各生産井の出力予測(a)	3.1-16
Fig. 3-1-14	シナリオ 2: 各生産井の出力予測(b)	3.1-17
Fig. 3-1-15	シナリオ 3: 40 MW 発電の場合の出力予測	3.1-18
Fig. 3-1-16	シナリオ 3: 各生産井の出力予測(a)	3.1-19
Fig. 3-1-17	シナリオ 3: 各生産井の出力予測(b)	3.1-20
Fig. 3-2-1	蒸気・熱水配管ルート, 発電所建設地点 I (カルデラ外)	3.2-4
Fig. 3-2-2	蒸気・熱水配管ルート, 発電所建設地点 II (カルデラ内)	3.2-5
Fig. 3-2-3	建設地点 I (カルデラ外)の地熱流体輸送・還元設備の概念系統図	3.2-6
Fig. 3-2-4	建設地点 II (カルデラ内)の地熱流体輸送・還元設備の概念系統図	3.2-7
Fig. 3-2-5	発電所配置計画図	3.2-8
Fig. 3-2-6	主要配管系統の概念図	3.2-9
Fig. 3-2-7	所内単線結線図	3.2-10
Fig. 3-2-8	送電ルート	3.2-11
Fig. 3-2-9	送電系統図	3.2-12
Fig. 3-2-10	建設計画 (Case 1)	3.2-13
Fig. 3-2-11	建設計画 (Case 2)	3.2-14
Fig. 3-2-12	建設計画 (Case 3)	3.2-15

<表>

Table 1-1-1	作業実施工程	1-4
Table 2-1-1	2001年5月, Guatemala Sur 給電所での時間別平均電力スポット価格	2.1-13
Table 2-1-2	国内電力供給網(SNI)傘下の発電業者	2.1-14
Table 2-3-1	坑井 AMJ-1 の掘削時間分析	2.3-10
Table 2-3-2	坑井 AMJ-2 の掘削時間分析	2.3-11

Table 2-3-3	坑井 AMJ-1 の掘削設備	2.3-12
Table 2-3-4	坑井 AMJ-2 の掘削設備	2.3-13
Table 2-3-5	坑井 AMJ-1 の傾斜測定記録	2.3-14
Table 2-3-6	坑井 AMJ-2 の傾斜掘り実績	2.3-15
Table 2-3-7	坑井 AMJ-1 の逸水層記録	2.3-16
Table 2-3-8	坑井 AMJ-2 の逸水層記録	2.3-17
Table 2-3-9	坑井 AMJ-1 のハイドロフラクチャリング記録	2.3-18
Table 2-3-10	坑井 AMJ-2 のハイドロフラクチャリング記録	2.3-19
Table 2-3-11	坑井 AMJ-1 のセメンティング記録	2.3-20
Table 2-3-12	坑井 AMJ-2 のセメンティング記録	2.3-21
Table 2-3-13	坑井 AMJ-1 のビット記録	2.3-22
Table 2-3-14	坑井 AMJ-2 のビット記録	2.3-23
Table 2-3-15	坑井 AMJ-1 の使用機材一覧表	2.3-24
Table 2-3-16	坑井 AMJ-2 の使用機材一覧表	2.3-26
Table 2-4-1	熱水試料の化学・同位体分析結果表	2.4-20
Table 2-4-2	ガス試料の化学・同位体分析結果表	2.4-21
Table 2-4-3	坑井 AMJ-1 の坑井試験結果	2.4-22
Table 2-4-4	坑井 AMJ-2 の坑井試験結果	2.4-22
Table 3-1-1	数値モデルの岩石物性値	3.1-21
Table 3-2-1	工事費見積 (発電所建設地点 I (カルデラ外))	3.2-16
Table 3-2-2	工事費見積 (発電所建設地点 II (カルデラ内))	3.2-17
Table 3-3-1	総 H ₂ S 排出量と H ₂ S 濃度の他の地熱発電所との比較	3.3-6
Table 3-4-1	kW 建設単価と発電原価	3.4-1
Table 3-4-2	プロジェクトコスト	3.4-2
Table 3-4-3	融資条件	3.4-2
Table 3-4-4	財務的内部収益率	3.4-3
Table 3-4-5	累積利益	3.4-3

1. 調査概要

1.1 背景

1.2 調査目的

1.3 プロジェクトの概要および各段階の作業内容

1.4 調査団員の構成

1.5 謝辞

1 調査概要

1.1 背景

1997年9月、グアテマラ国政府は日本政府に対してアマティトラン地域の地熱資源量の広がり調査し、最適地熱発電計画を立案するための技術協力を要請することになった。1998年5月にはJICAとINDEの間で「グアテマラ国アマティトラン地域の地熱開発計画調査」に関する協定書が調印され、1998年9月にプロジェクトが開始された。

1.2 調査の目的

本件調査の目的は、アマティトラン地熱開発計画に係る最適計画策定のため、技術、経済、財務、組織、および環境の各方面からフィジビリティ評価を行い、併せて調査実施中に地熱発電計画調査に関する技術移転をINDEに対して実施することである。

1.3 プロジェクトの概要および各段階の作業内容

1.3.1 調査の概要

本件調査の基本計画の合意については、1998年5月18日、グアテマラ国、鉱山エネルギー省、およびグアテマラ電力公社（INDE）と国際協力事業団（JICA）との間で調印された協定書に基づいている。詳細調査内容は、1998年7月17に出されたTerm of Referenceの中で定義されている。

2本の調査井掘削を含む調査は、1998、1999、および2000年度の3年間で実施する予定であったが、第1年次調査を実施中に1999年度に1本、2本目を2000年度に掘削を延期するように作業工程を変更したため、調査期間は計4年間となった。

1. 第1年次調査：予備調査段階（1998年度）

- 1-1 国内準備作業（インセプションレポート作成、現地調査準備）
- 1-2 第1次現地調査（インセプションレポートの説明・協議・現地調査）
- 1-3 第1次国内作業（現地調査データ解析、地熱系モデル構築、プログレスレポート作成）
- 1-4 第2次現地調査（プログレスレポートの説明・協議、掘削地点の選定）

2. 第2年次調査：基礎調査段階（1999年度）

- 2-1 第2次国内作業（掘削仕様書作成、契約書（案）作成）
- 2-2 第3次現地調査（掘削再委託作業、垂直井掘削、坑井調査、坑井地質）
- 2-3 第3次国内作業（プログレスレポートNo.2の作成）

3. 第3年次調査：基礎調査段階（2000年度）

- 3-1 第4次現地調査（掘削再委託作業、No.1調査井の噴出試験・技術移転セミナーの

開催, No.2 調査井掘削, 坑井試験, No.1, No.2 調査井の噴出試験, No.2 調査井坑井地質, 環境影響調査)

3-2 第4次国内作業(調査結果解析, 環境影響分析, 資源量評価, 最適発電規模の検討, 発電所レイアウト基本方針, インテリムレポートの作成, セミナー開催準備)

3-3 第5次現地調査(インテリムレポートの説明・協議, 技術セミナー開催, 設計情報収集)

4. 第4年次調査: フィジビリティ調査段階(2001年度)

4-1 第5次国内作業(開発計画策定, フィジビリティ調査, ドラフトファイナルレポートの作成)

4-2 第6次現地調査(ドラフトファイナルレポートの説明・協議)

4-3 第6次国内作業(ファイナルレポートの作成)

1.3.2 第4年次フィジビリティ調査段階(2001年度)の作業内容

1. 第5次国内作業

- * 第5次現地調査の収集資料および貯留層挙動予測
- * 発電所概略設計
- * 発電所工事計画策定
- * 工事費積算
- * 環境影響評価
- * 経済・財務評価
- * 総合評価および提言
- * ドラフトファイナルレポートの作成

2. 第6次現地調査

グアテマラ側に送付したドラフトファイナルレポートについて説明・協議し、グアテマラ政府およびINDEからコメントを得た。

- * ドラフトファイナルレポートの説明・協議

3. 第6次国内作業

ドラフトファイナルレポートに対するグアテマラ側のコメントを受けて、必要により修正を行い、ファイナルレポートを作成した。

- * ファイナルレポートの作成

1.4 調査団員の構成

当該調査の日本, グアテマラ国双方のS/Wに基づく体制は以下の通りである。

- | | | |
|---------|---|-----------------------|
| 日本国側 | : | 国際協力事業団(JICA) |
| グアテマラ国側 | : | エネルギー・鉱山省, 電力公社(INDE) |

調査実施者は以下の通りである。

JICA チーム

団 長	藤野 敏雄
電 力 調 査	エンリケ リマ
貯 留 層 評 価	矢原 哲也
発 電 設 備 (電 気)	酒村 健治
発 電 設 備 (機 械)	山本 健
環 境 調 査	広渡 和緒
経 済 ・ 財 務 評 価	藤井 建次

INDE

General Manager	Ing. Julio Palma Ayala
Geochemist	Ing. Alfredo Roldan Manzo
Geologist	Ing. Victor Oritz Corzo
Civil engineer	Ing. Juan Torres Bernabes
Reservoir Engineer	Ing. Harold Cuevas

1.5 謝 辞

本件調査の実施に当たり、グアテマラ国のエネルギー鉱山省、電力公社 (INDE)、日本大使館、および JICA グアテマラ事務所の関係各位にはご支援ご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

Table 1-1-1 Activities Schedule
作業実施工程

Activities	2001 Fiscal Year											
	7	8	9	10	11	12	1					
3. Feasibility Study Stage												
(1) 5th Term of Services in Japan												
①Analysing of the collected data and forecasting of reservoir response	July. 2 July. 16											
②Conceptual Design of Power Plant	July. 2 July. 16											
③Construction Plan of Power Plan	July. 2 July. 16											
④Cost Estimation	July. 2 July. 16											
⑤Environment Impact Assessment	Aug. 1 Aug. 15											
⑥Economic and Financial Evaluation	Aug. 1 Aug. 30											
⑦Evaluation and Integration			Sep. 3 Sep. 17									
⑧Preparation for the Draft of the Final Report			Sep. 16 Sep. 30									
(2) 6th Term of Services in Guatemala												
①Explanation and Discussion about the Content of the Draft Report				Oct. 21 Oct. 29								
				△ → △ Draft								
(3) 6th Term of Services in Japan												
①Preparation of the Final Report											F/R	
											△ → △	

Legend : Work in Guatemala Work in Japan Report

2. 既調査結果のまとめ

2.1 電力事情

2.2 地球科学的調査

2.3 調査井掘削結果

2.4 坑井調査

2.5 地熱系概念モデル

2.1 電力事情

- 2.1.1 グアテマラ電力事情の概要
- 2.1.2 発電システム
- 2.1.3 送電システム
- 2.1.4 配電システム
- 2.1.5 グアテマラ国内の電力需要予測
- 2.1.6 政治・経済の最新動向
- 2.1.7 政治情勢
- 2.1.8 電気普及率の改善および電力需要の増大に対する対策
- 2.1.9 グアテマラにおける電源開発の方法
- 2.1.10 まとめ

2. 既調査結果のまとめ

2.1 電力事情

アマティトラン地熱プロジェクトの成功は、地熱資源の質・量に加え、次に掲げる4項目に依存する。

- ・ グアテマラ国および周辺諸国の電力産業の構造とその動向
- ・ 既設インフラストラクチャーと電力需要
- ・ 需要に対する政府の施策
- ・ 将来のエネルギー需要に見合う競合エネルギー（地熱エネルギーとその他のエネルギー）

2.1.1 グアテマラ電力事情の概要

1. 電力事業法

グアテマラ政府は、国内の電力事業に関する構造改革を実施するために、3つの法案を制定し、その結果、現在のような事業形態となった。まず、電力事業法（以下、「事業法」と略す）法令第93-96号が、グアテマラ電力産業の構造改革を目的に1996年11月15日に施行された。続いて、この事業法の運用方法に関する一連の法令第256-297号が1997年4月2日に施行された。これら2つの法令は、グアテマラ国内において発電、送電、配電事業を実施する公的機関や民間企業を対象とし、サービスの向上および消費者の保護を目的としている。3つ目の法令は、電力市場に関する一般規則で1998年6月1日に施行された。

事業法は、以下の二つの基本的原則に基づき、電力事業全てを包括している。

- ・ 電力施設の建設および操業の自由
- ・ 市場における公平な競争原理に基づいた電力単価の自由設定

グアテマラ国鉱山エネルギー省は、電力産業における施策およびその監督の権限を所有している。電力事業を行う企業に対する統制や監督を目的に、事業法によって国家電力エネルギー評議会（CNEE）が設立された。また、全電力市場を調整し、一般的な運用面全般の管理を実施する機関として、事業法およびその関連法規に従って、全国電気卸売事業会（Administrador del Mercado Mayorista, AMM）が設立された。これらの電力関係の組織図を Fig. 2-1-1(a) に示す。

2. 国家電力エネルギー評議会(CNEE)

国家電力エネルギー評議会(CNEE)の業務は、グアテマラ国内の電気エネルギー事業の内、発電、送電、配電、および商業用電力分野において、いかなる企業でも自由かつ公平に参加できるような環境を確保することである。CNEEの基本的役割は以下のとおりである。

3. 全国電気卸売事業会(AMM)

事業法第44条において、非営利団体である全国電気卸売事業会(AMM)が設立された。そ

の基本的役割は以下のとおりである。

- ・ 国家電力供給網(SNI)に連結されている全発電所の給電調整, 外国への電力輸出および輸入の調整, 最低コストで電力供給を保障するための国内送電網の監視
- ・ 送配電業務を行う事業者間の自由契約の確保
- ・ 短期・条件付きマーケットに対する電気供給契約スキームの作成
- ・ グアテマラ全土への電力供給の保障

全国電気卸売事業会(AMM)は、以下に示す7つの電気事業者(政府系および民間企業)の代表者から構成されている。

- ・ 10MW以上の発電能力を有する事業者
- ・ 10MW以上の送電能力を有する事業者
- ・ 20,000人以上の顧客を有する配電事業者
- ・ 10MW以上の発電設備契約を有するブローカー
- ・ 100kW以上の大規模ユーザー
- ・ 10MW以上の電気輸入業者
- ・ 10MW以上の電気輸出業者

4. 電力マーケットの運営

グアテマラにおける電力マーケットの特徴の一つは、「電力を取り扱う権利」と「売買する電力量」とが異なることである。これは、法律上、電力事業において発電・送電・配電の3事業に分割されており、電力販売業者またはブローカーとして認可されているからである。法律上では、売買契約を通して、最低10MW以上を取り扱うこと条件としている。それ故、発電会社は法律で認可されている「電力を取り扱う権利」を有する電力販売業者またはブローカーと発電設備を供給する契約を結び、その契約とは別に、電力量を売買する契約に基づき、他の電力業者や顧客に電気を売ることができる(Fig. 2-1-1(b)参照)。

「電力を取り扱う権利」は、火力発電に対しては1ヶ月当たり10~12\$/MW、水力発電に対しては1ヶ月当たり15~18\$/MWの範囲に設定してある。これらの価格は、割引率10%で、8年間で投下資本が回収できるように設定されている。支払猶予期間は、火力発電では1年、水力発電では3年である。地熱発電に対する条件は決められていないが、水力発電に対する条件がその他の再生可能なエネルギーに適用されるものと考えられる。

電力販売業者やブローカーは、電力卸売市場や個別業者との電気購買契約(PPA)を通して、\$/kWh単価で電気を購入する。INDEと個別発電会社との間でかつて契約されていた電気購買契約(PPA)およびエネルギー処理委託契約(ECA)は、Take or Pay方式の「電力を取り扱う権利」と「売買する電力量」の両方を購入する契約であった。このTake or Pay方式の契約は、もはや使用されなくなり、「売買する電力量」は需要に基づいて販売されることになった。

電力卸売市場では、発電業者は自由競争によって電力価格を設定することになっている。発電業者は、AMMに対して毎週、計画供給量および予想される変動価格を提供し、AMMは

この提供された資料に基づき、週間給電プログラムを作成する。

このプログラムの実施においては、価格(発電会社からの変動価格)は毎時間変更され、発電所はその時間毎に最低コストから最大コストまでの範囲で供給する。Fig. 2-1-2 に給電プラントからの変動様式を図示する。Table 2-1-1 には、2001年5月に Guatemala Sur 変電所でのスポットマーケットにおける時間毎の平均電力価格を示している。

電力マーケットの運営について、以下の「法的に制約された市場」と「制約の無い自由市場」に分けて説明する。

a. 制約の無い自由市場

発電業者は、「電力を取り扱う権利」と「売買する電力量」の両方について、大口消費者(消費量 100kW 以上)と交渉することができる。契約は個別に行われ、政府はその条件については何ら関与しない。電力価格は、通常 US\$ 0.020/kWh と廉価である。

b. 法的に制約された市場

本市場は、地方自治体や政府のような消費量 100kW 以下の顧客向けである。CNEE は電力価格(顧客への kWh 当たりの販売価格)を監視し、電力税を設定している。電力価格は、燃料コストを顧客に対して転嫁した方法で設定される。

グアテマラ政府は、INDE を通して「法的に制約された市場」に補助金(Social Tariff)を出している。消費者に対する補助金なしの価格は 1.19 Q/ kWh (交換レート@7.85 Q/\$ の場合: 0.15\$/kWh)であり、一方、補助金対象の価格は 0.78 Q/kWh (同一レートの場合: 0.094 \$/kWh)であった。

5. 電力の取り扱いおよびその他付帯サービス

電力卸売市場が効果的にフル操業を行うために、効率的な電力の取引や付帯サービスが必要である。これらの業務から、以下の3つの電力マーケットが生まれた。

- ・スポットマーケット
- ・限定された契約条件に基づいたマーケット
- ・デビエーションマーケット

2.1.2 発電システム

グアテマラにおける発電業者は、全ての公的企業と民間企業からなり、INDE は公的企業を代表する。民間企業は、エネルギー処理委託契約(ECA)を通して INDE と契約している企業、その他の電気供給業者と電気購買契約(PPA)を結んでいる企業、独立系商業プラントを操業している企業である。Fig. 2-1-2 にグアテマラ国内の発電業者とその他代理店との内部関係を示している。Table 2-1-2 には、発電業務に携わっている企業の詳細が示されている。

2.1.3 送電システム

送電システムは、グアテマラ国政府の直轄である。INDE はグアテマラ国内の送電を一手に引き受ける子会社 Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica(ETCEE)を傘下に持

つ。また、EEGSA は、独自の送電システムを所有し、中部グアテマラに供給している (Fig. 2-1-3 参照)。

2.1.4 配電システム

EEGSA が民営化され、配電会社と発電会社に分離されて以降、グアテマラ国内の配電システムが変更された。旧 EEGSA の設備の内、発電設備は米国の Constellation に、配電設備の資産はスペインの IBERDROLA に売却された。新しい EEGSA は首都グアテマラシティとその周辺地域に配電している。INDE が所有する配電設備資産と担当エリアは、スペインの Union Fenosa に売却された。Union Fenosa の担当エリアは、西部地域と東部地域に分割されている (Fig. 2-1-4 参照)。

2.1.5 グアテマラ国内の電力需要予測

グアテマラは、電力セクターの設備容量において、中央アメリカ諸国の中でも最も高い成長率を示す国の一つである。その特徴は、民営化を推し進めてきたことにある。最近は、政治的・経済的な不安定および化石燃料の価格変動から、その成長率はややスローダウンしてきた感もあるが、全体的には、成長を続けている。Fig. 2-1-5 に 2000 年までの設備容量の増加率を示す。

2.1.6 政治・経済の最新動向

Frente Republicano Guatemalteco (FRG) 党のアルフォンソ・ポルティエーヨ大統領は、2000 年 1 月中旬に所信表明を行い、国家の歳出低減のために、ある程度の増税などが必要であるとして議会に提案した。その対策として、民営化を進めることによる経費節減および収益増大を図る予算が容認された。最近の数ヶ月間においては、低金利、物価上昇のコントロール、国内通貨の安定強化などいくつかの経済指標は改善されてきている。

2.1.7 政治情勢

現在の段階は第 5 次民政段階であり、これまでの継続的な開発により、民間からの投資も容易になってきている。このような状況および内戦の終結により、資本も集まりつつある。

また、電気事業法の適用および政府の今後の見通しにより、新規インフラストラクチャーの整備に対する資本が集まってきている。特に、1991 年からは、ビルや店舗の建設、道路の建設に対しての資本の増加は顕著である。この継続的な発展に伴い、さらに高度な電気事業におけるインフラストラクチャーの整備が急務となっている。

2.1.8 電力普及率の改善および電力需要の増大に対する対策

1. 地方電化

グアテマラ政府は 2004 年度までに 90%、2006 年度までに 96%の電力普及率向上を目的としている。

2. 再生可能な資源の活用

季節発電設備による発電能力の今日の伸びは、主に化石燃料を用いた設備に対する個人事業者の投資に依存している。化石燃料から発電される電力設備によって、50%以上の需要が満たされている。この化石燃料は、比較的廉価で、迅速な設備建設には適しているが、エネルギーのベストミックスの点で、アンバランスな状態を示している。グアテマラは燃料において、過度に輸入に依存している。予測した経済成長率を維持するためには、この依存率を減少させ、自国内の資源の活用を促進させる必要がある。

鉱山エネルギー省は、会計・財務・管理上の運用を進めるために、法案を準備しており、本レポート作成時点現在、国会での討議を待っている。

全ての天然資源はグアテマラ国の資産であるが、鉱山エネルギー省の認可のもと、一時的にその資源の所有・開発する権利（鉱業権）が事業法によって私企業または公的企業に付与される。地熱発電の場合には、野外調査を目的とした調査範囲は最大 10,000 km² まで、その内、約 100 km² が開発対象範囲（最大）となる。私企業に対しては、5MW 以下の発電事業であれば、特別な鉱区設定はない。また、事業法では、私企業／公的企業に対して地熱資源評価のために、最大1年間の猶予が与えられている。

2.1.9 グアテマラにおける電源開発の方法

1. 地熱発電分野

グアテマラは地熱エネルギー資源が豊富であり、アマティトラン地域以外にも、サンマルコス、スニールⅠ、スニールⅡ、トトニカパン、アティトラン、ミチャトヤバレー、パレンシア、テクアンプロ、モユタ、ラグナレタナ地域（北から南へ）が存在し、国家として必要十分なエネルギーを供給できる程である。これらの地域は、活発な火山活動や地質構造テクトニクスに基づいた断裂と関連している。税優遇法(Fiscal Incentives Law)が制定されれば、20～50MW 発電規模の地熱発電は競争力があり、将来の電力需要増に寄与するものと思われる。

2. 地熱発電以外の分野

民間投資会社のうち数社は、小規模から中規模の水力発電を目指した事業を展開している。しかしながら、この種の発電事業は、水理的な循環に大きく依存しているため、発電稼働率は極めて低い。

天然ガスは、グアテマラにおいて地熱発電と最も競合する資源である。最近まで、メキシコから天然ガスパイプラインを敷設する計画があった。しかし、メキシコや米国の政治・経済情勢を考慮すると、グアテマラ国内での発電事業としては、地熱発電と競合するものとは考えられない。

2.1.10 まとめ

1. グアテマラ電力産業の変化の特徴は、電力事業の再編成によって、独占化を排除し、民間

業者の参入が可能となったことである。

2. 民主的な制度はまだ始まったばかりであるが、政治的に安定していることから、民間企業や公的企業が市場に参入するものと思われる。
3. グアテマラにおいてはこれまでも多くの投資が行われており、その経験と自信が電力産業だけでなく、その他の産業においても民間の参入を許してきている。
4. グアテマラ政府は、持株会社 INDE の送電部門関連会社および発電部門関連会社が売却されるまで、これらの関連会社を通して、電力産業をコントロールするものと思われる。
5. 遠隔地にまで国内電力供給網を構築するように電力監督官庁が決定すれば、さらに電力需要は増大し、高需要シナリオによって予測されたレベルにまで達成する可能性がある。
6. グアテマラ電力卸売市場のこれまでの実績(1KWh 当たり US\$0.02 から US\$0.10) からすると、この電力価格は、国際レベルの内部収益率(IRR)をもたらず投資を生む可能性がある。
7. 地熱発電のような再生可能資源を用いた 50MW 以下の小規模発電の場合には、電気卸売市場への競争力のある参入は難しいかもしれない。しかし、税優遇法が制定されれば、十分競争力のある投資案件となる可能性がある。
8. 電力供給の隙間を埋める代替エネルギーとして、地熱発電は再生可能な資源を利用する最適な方法である。
9. 米国の Constellation 社が所有する Laguna 火力発電所の発電コストは、1kWh 当たり US\$0.10 以上であった。さらに、アマティトラン湖に対する環境問題のマイナス面も抱えていた。
10. INDE から DEOCSA や DEORSA を購入したスペイン系 Unión Fenosa 社は、240MW の「電力を取り扱う権利」(契約期間：2003 年 12 月まで)を所有している。同社は、さらに、140MW の追加権利も既に確保しており、アマティトラン地熱開発から生じる電力を購入することにも関心を示す可能性がある。
11. 今後どのような需要シナリオであっても、20MW あるいは 50MW の地熱発電所がアマティトラン地域に建設されれば、ベースロードとして、容易に送電グリッドに連結することができる。

Fig.2-1-1(a) Structure of the Guatemalan Electric Sector
 ガアテマラ電力産業の組織

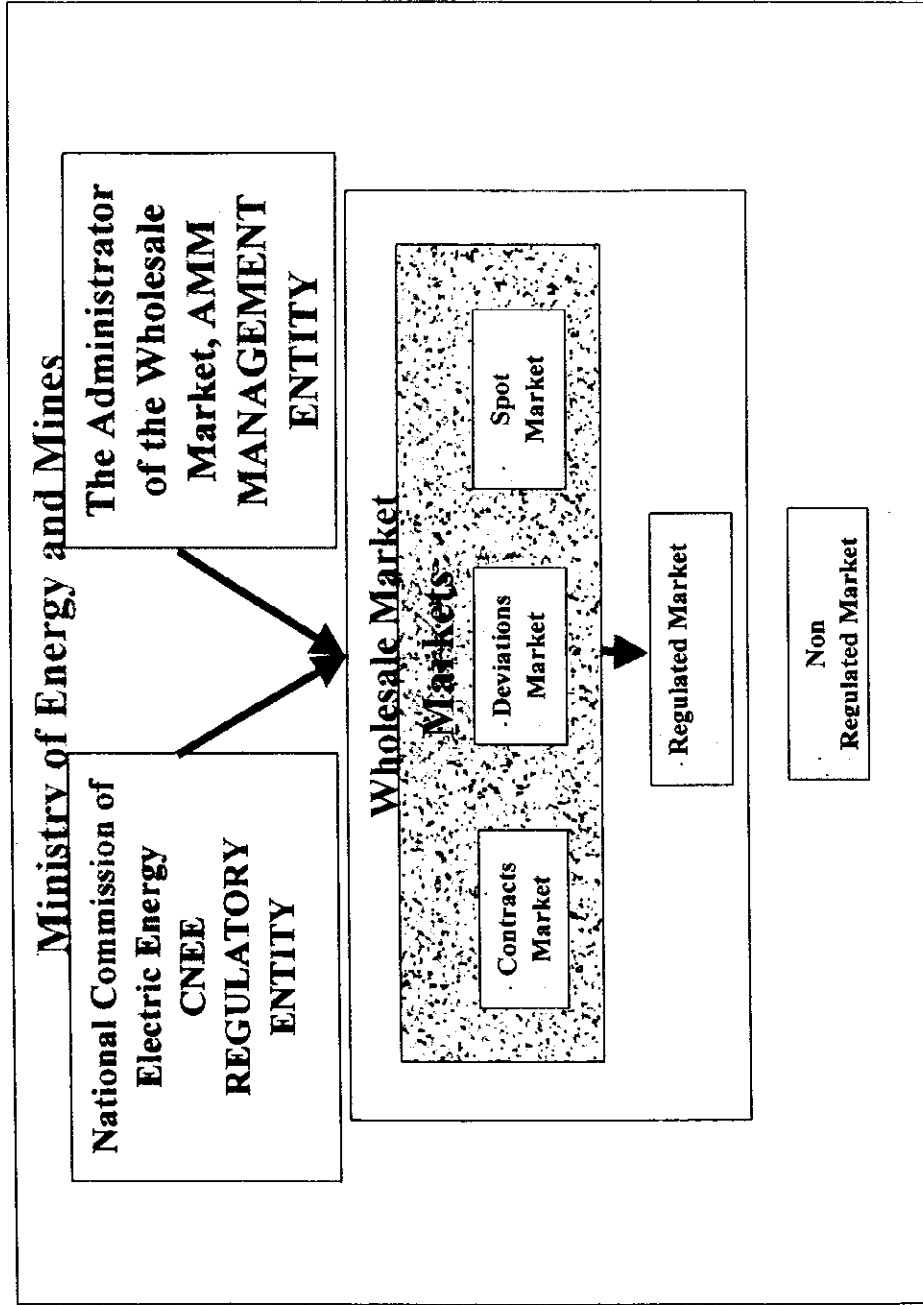


Fig. 2-1-1(b) Markets of the Guatemalan Power Sector
 ガアテマラ電力産業の市場構造

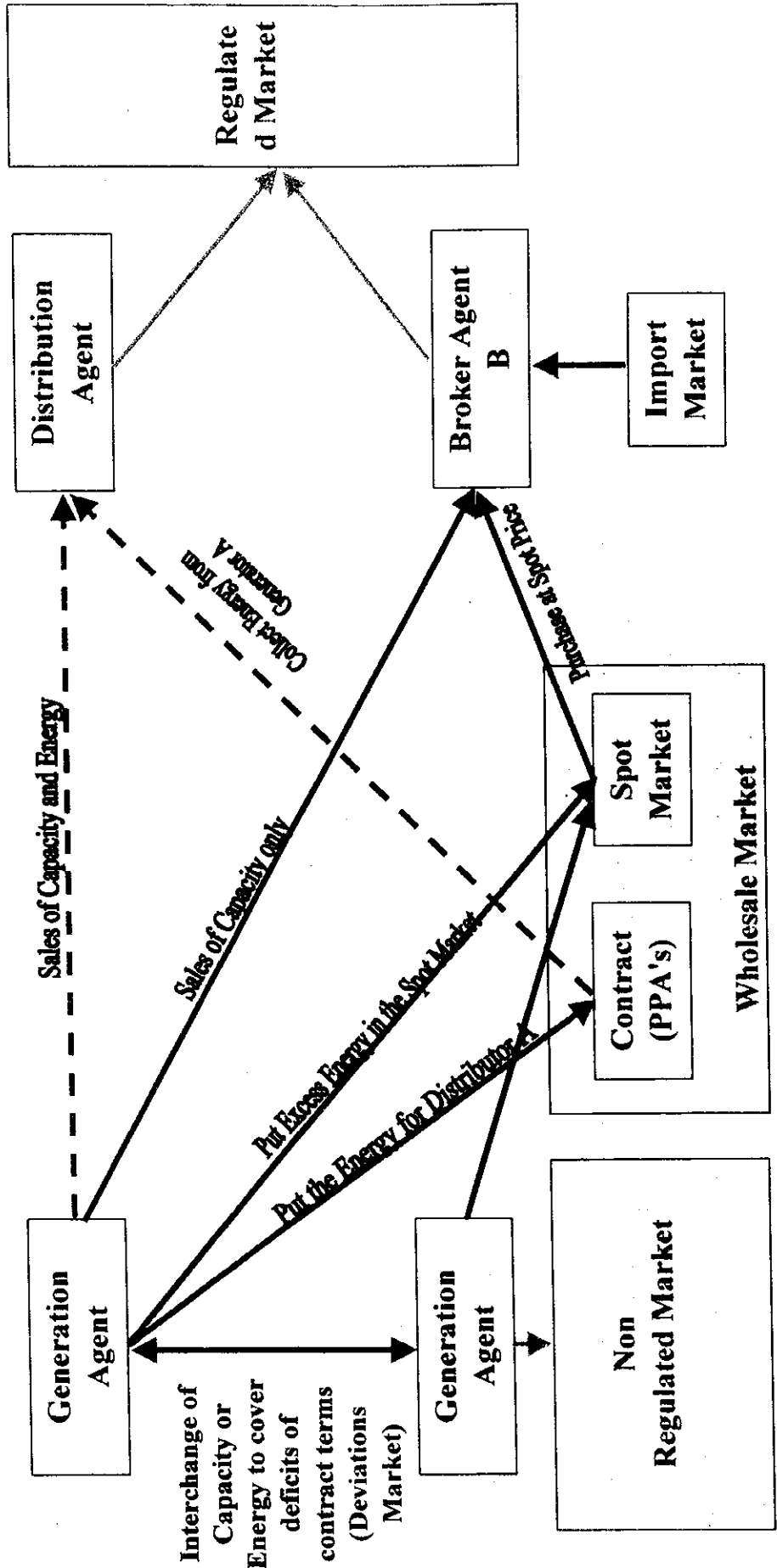


Fig. 2-1-2 Daily piling of energy costs
エネルギーコストの日変化

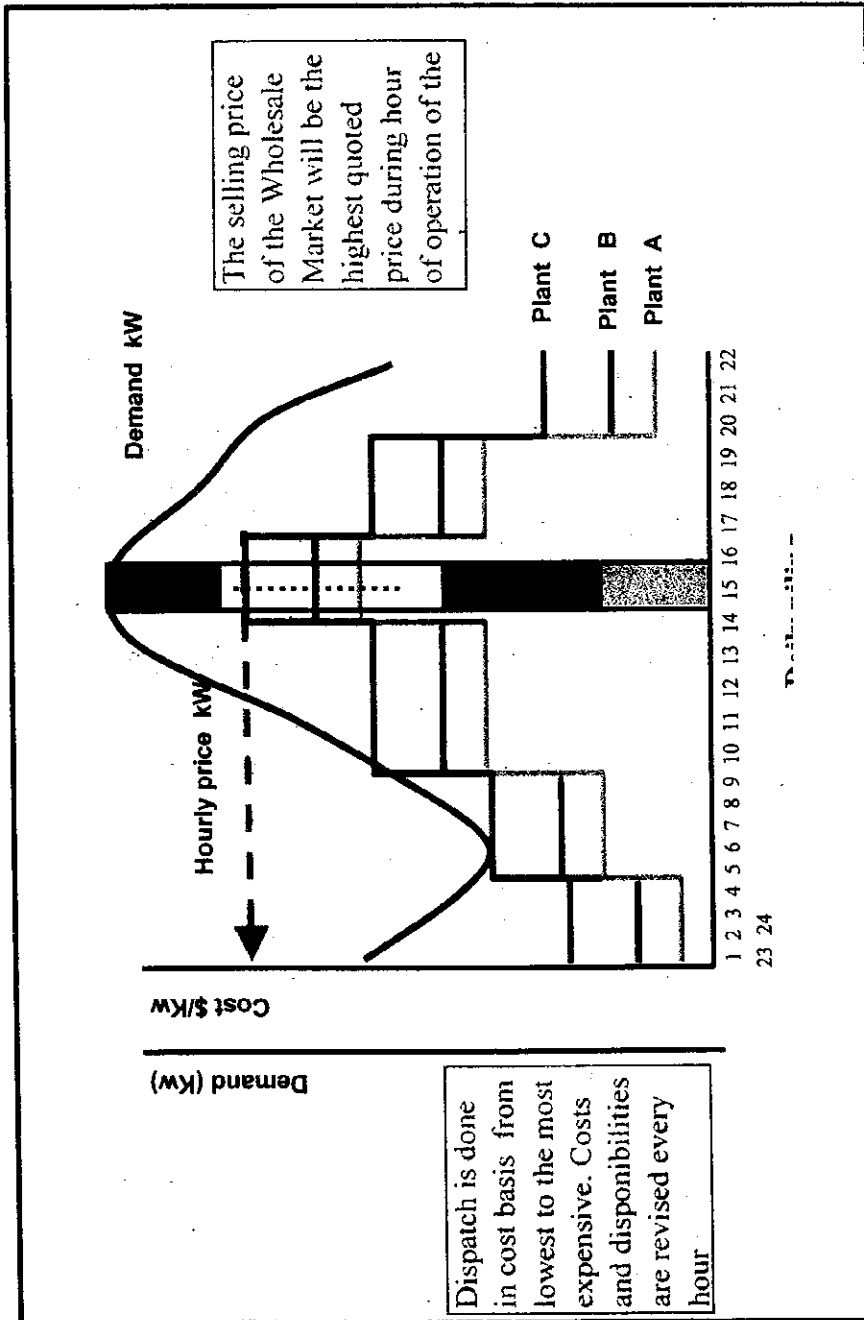


Fig.2-1-3 Structure of the Electricity Supply in Guatemala
 グアテマラ国内の電力供給システム

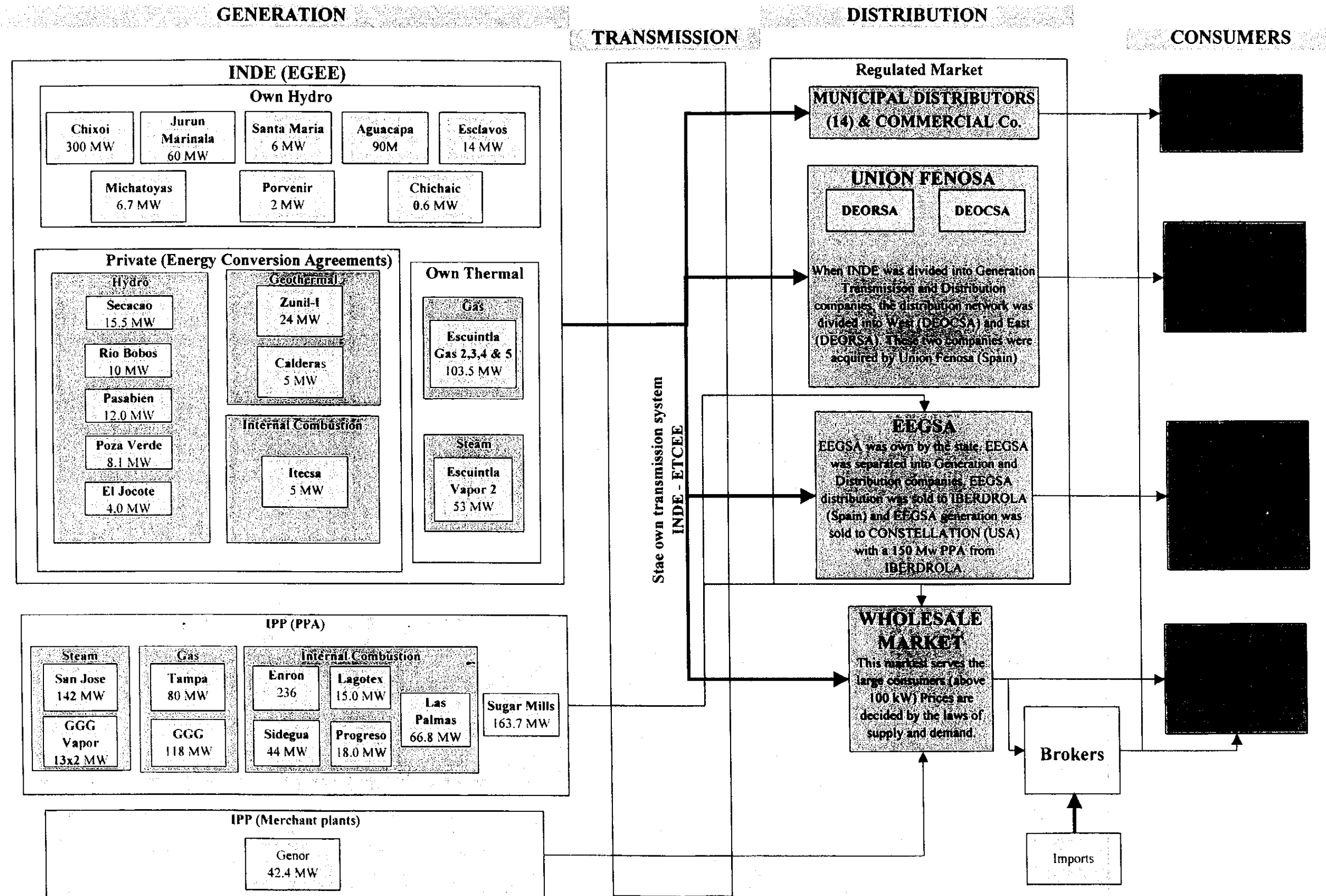
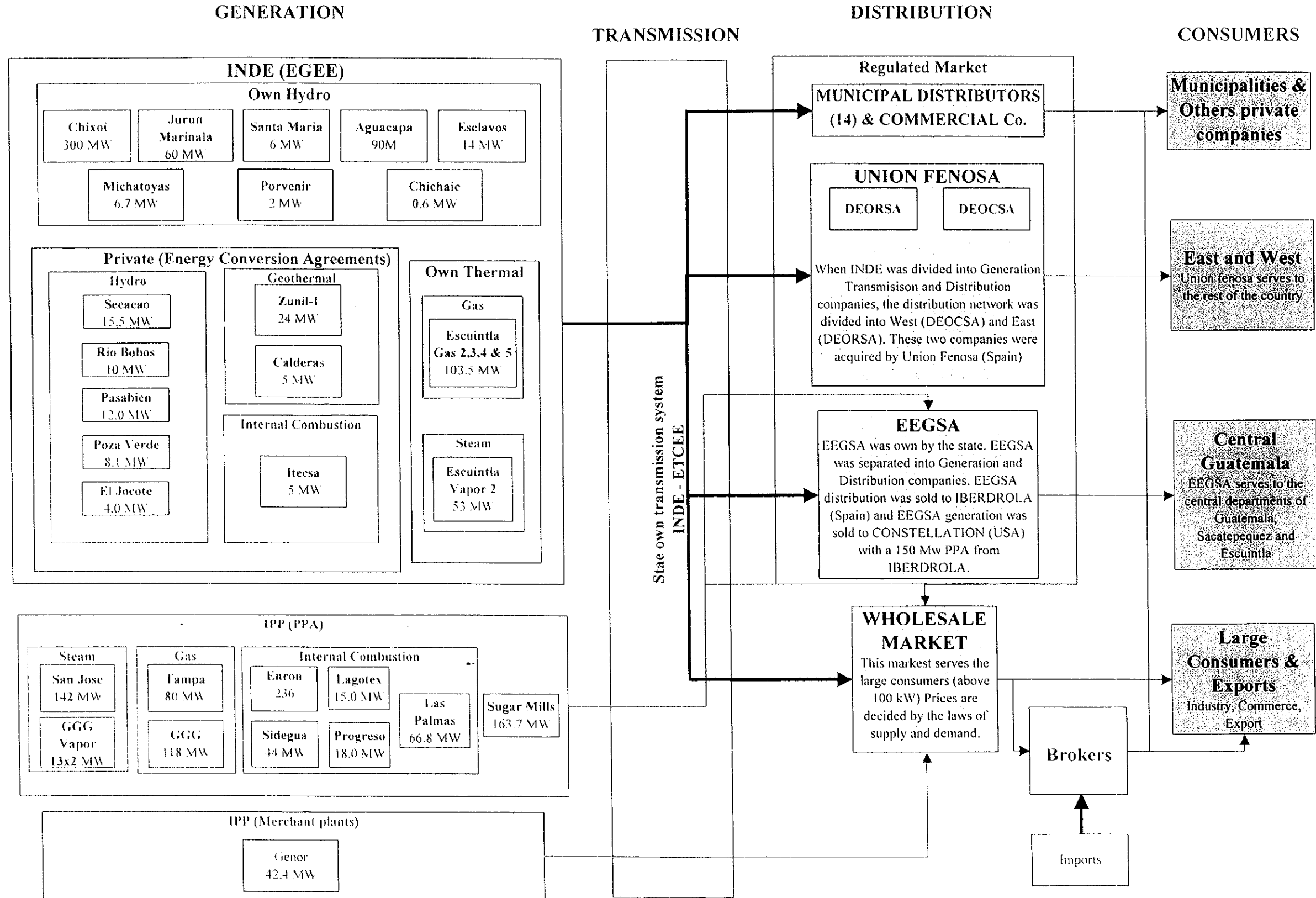


Fig.2-1-3 Structure of the Electricity Supply in Guatemala
 グアテマラ国内の電力供給システム



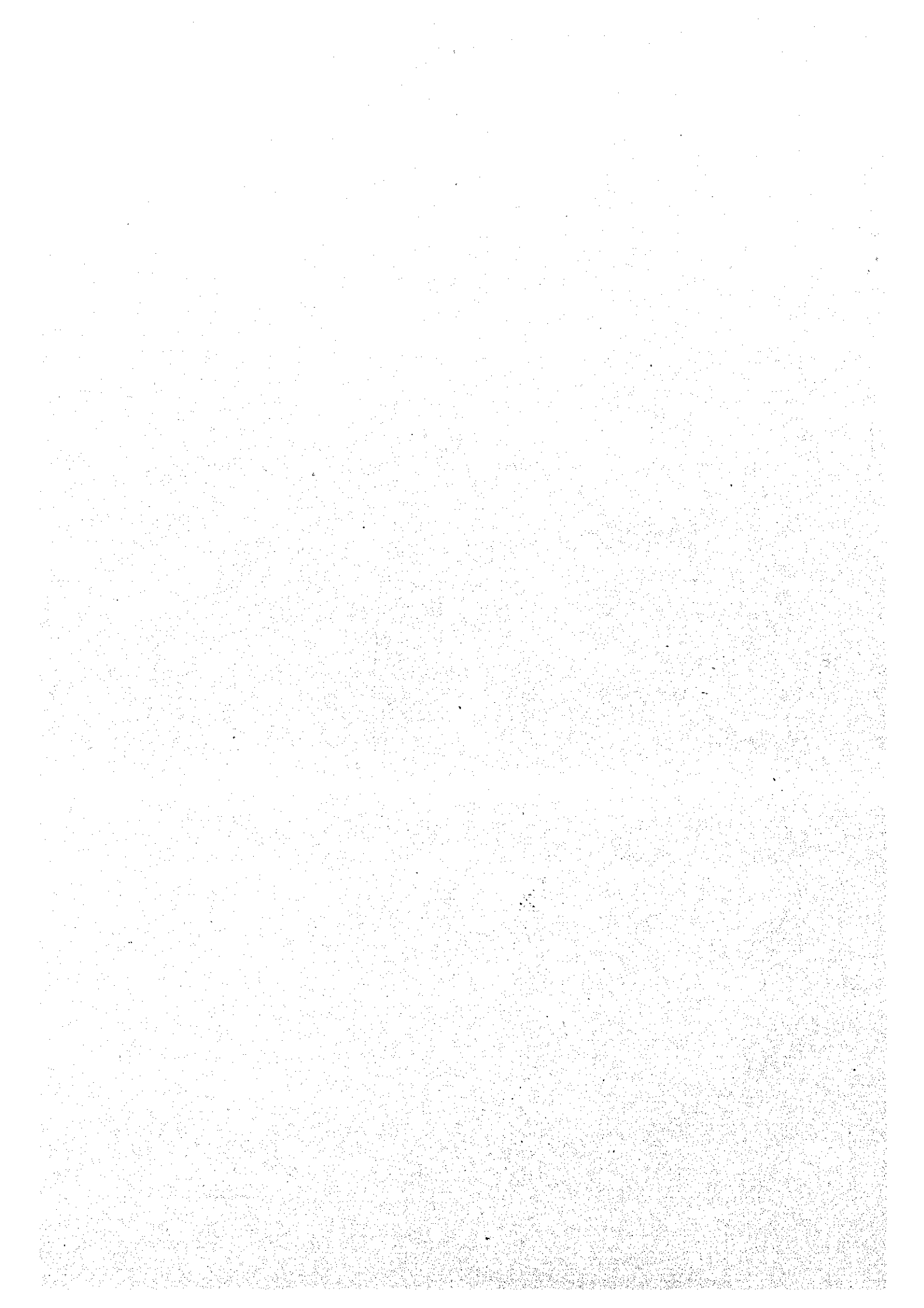
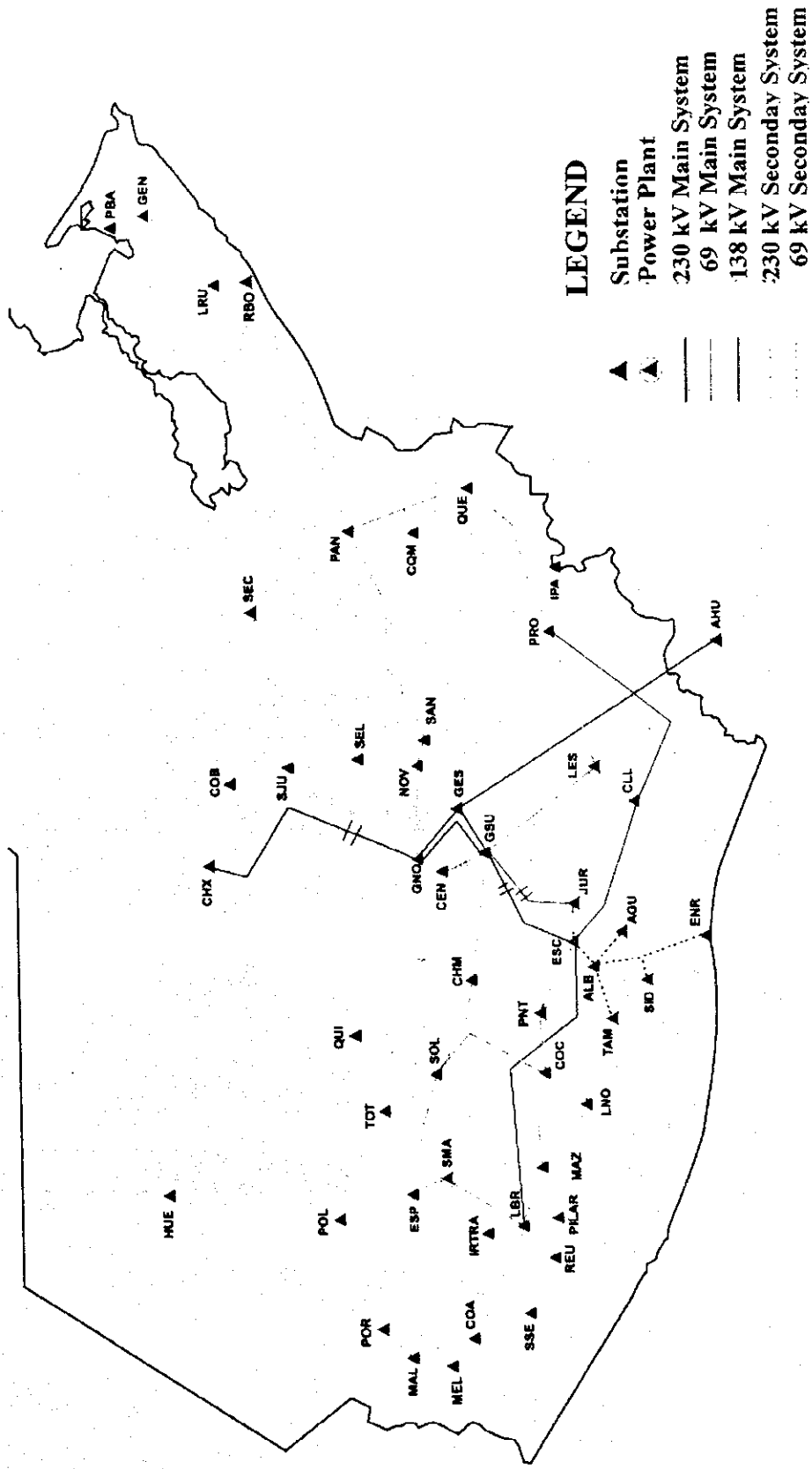


Fig.2-1-4 The transmission System of Guatemala
 グアテマラ国内の送電システム



Source: MEM

設備容量と電力需要の推移

Fig.2-1-5 Installed Capacity and Energy Demand

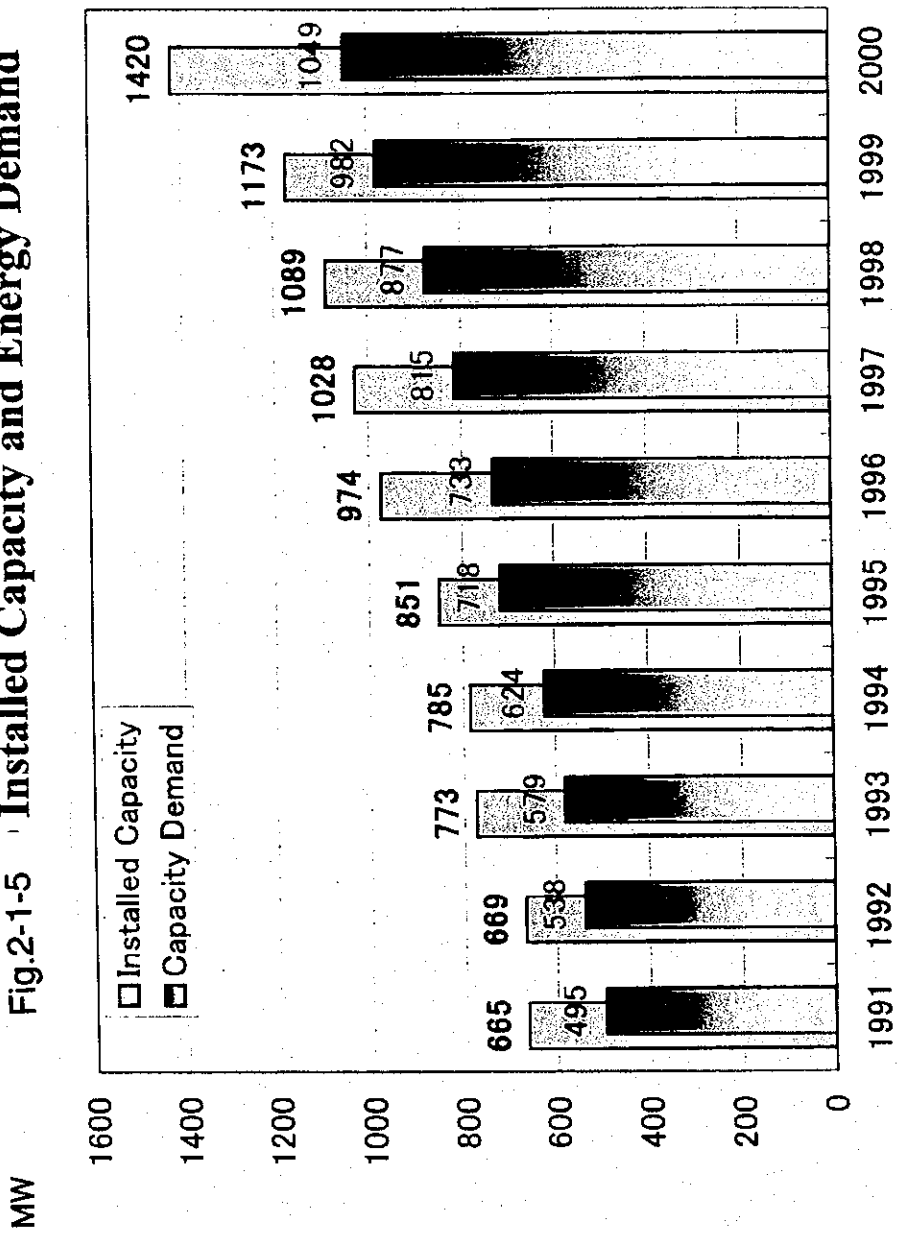


Table2-1-2 Interconnected National Grid (SNI): Installed Capacity (as December 2000)
国内電力供給網(SNI)傘下の設備容量

No.	PLANTS	UNITS	CAPACITY		COMMISSION DATE	LOCATION		OWNER
			INSTALLED MW	FIRM MW		MUNICIPALITY	DEPARTMENT	
NATIONAL GRID			1666.3	1420.0				
HYDROELECTRIC			526.90	477.00				
1	CHIXOY	5	300.00	275.0	1983/11/27	San Cristobal	Alta Verapaz	INDE
2	AGUACAPA	3	90.0	75.0	1981/2/22	Pueblo Nuevo	Santa Rosa	INDE
3	JURUN MARINALA	3	60.0	60.0	1970/2/12	Pain	Escuintla	INDE
11	SECACAO	1	15.5	13.5	1998/7/3	Senaha	Alta Verapaz	PRIVATE
4	ESCLAVOS	2	14.0	13.5	1966/8/17	Cuilapa	Santa Rosa	INDE
15	PASABIEN	2	12.0	12.0	2000/6/6	Rio Hondo	Zacapa	PRIVATE
10	RIO BOBOS	1	10.0	10.0	1995/8/10	Quebradas, M	Izabal	PRIVATE
16	POZA VERDE	2	8.1	8.0	2000/11/8	Pueblo Nuevo	Santa Rosa	PRIVATE
	MICHATOYAS	5	6.7	1.5	2027/10/15	Escuintla	Escuintla	INDE
5	SANTA MARIA	3	6.0	6.0	1966/6/25	Zunil	Quetzaltenango	INDE
	EL JOCOTE (Cogenerador)	1	4.0	0.0	1991/2/4	Siquinala	Escuintla	PRIVATE
6	EL PORVENIR	1	2.0	2.0	1988/9/1	San Pablo	San Marcos	INDE
	CHICHAIC	2	0.8	0.5	1979/7/26	Coban	Alta Verapaz	INDE
THERMAL			1137.4	943.0				
STEAM TURBINES			221.0	177.0				
18	SAN JOSE	1	142.0	120.0	2000/1/1	Masagua	Escuintla	PRIVATE
7	ESCUINTLA VAPOR 2	1	53.0	35.0	1977/4/22	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG VAPOR 3	1	13.0	11.0	1959/12/3	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	GGG VAPOR 4	1	13.0	11.0	1961/4/5	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
GAS TURBINES			301.5	263				
19	TAMPA	2	80.0	78.0	1995/12/1	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
7	GGG STEWART & STEVENSON	1	51.0	24.0	1994/12/24	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
7	ESC. GAS 5	1	41.0	30.0	1985/11/1	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG GAS 4	1	33.0	27.0	1963/6/11	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	ESC. GAS 3	1	25.0	21.0	1976/8/9	Escuintla	Escuintla	INDE
7	ESC. GAS 4	1	25.0	*	1976/8/9	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG GAS 2	1	23.0	17.0	1978/6/19	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
7	ESC. GAS 2	2	12.5	*	1968/5/7	Escuintla	Escuintla	INDE
7	GGG GAS 1	1	11.0	6.0	1964/6/6	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
INTERNAL COMUSTION ENGINES			422.2	375.8				
17	LA ESPERANZA(ENRON POWER 3)	7	126.0	124.0	2000/5/1	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
17	POPC (ENRON POWER)	20	110.0	102.5	1993/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
7	GGG LAS PALMAS	5	66.8	65.0	1996/6/1	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
20	SIDEGUA	10	44.0	36.0	1995/4/3	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
14	GENOR	2	42.4	40.0	1990/10/1	Puerto Barrios	Izabal	PRIVATE
	CEMENTOS PROGRESO (Autoproductor)	1	18.0	3.3	1995/11/16	Sanarate	El Progreso	PRIVATE
13	LAGOTEX	3	15.0	5.0	1996/11/15	Amatitlan	Guatemala	PRIVATE
17	POPC (ENRON POWER)	20	120.0	102.5	2000/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
SUGGAR MILLS (Cogenerators)			163.7	163.7	1996/12/31	Varios	Escuintla	PRIVATE
25	PANTALEON		38.5	38.5	1995/11/16		Escuintla	PRIVATE
23	SANTA ANA		33.8	33.8	1996/11/16		Escuintla	PRIVATE
27	LA UNION		29.5	29.5	1997/11/16		Escuintla	PRIVATE
22	CONCEPCION	1	27.5	27.5	1998/11/16		Escuintla	PRIVATE
26	MADRE TIERRA		19	19	1999/11/16		Escuintla	PRIVATE
24	MAGDALENA		15.4	15.4	2000/11/16		Escuintla	PRIVATE
GEOTHERMAL			29	23.5				
9	ZUNIL	1	24	19	1999/8/4	Zunil	Quetzaltenango	PRIVATE
8	CALDERAS	1	5	4.5	1998/11/1	San Vicente Pa	Escuintla	PRIVATE

Source: Genetec

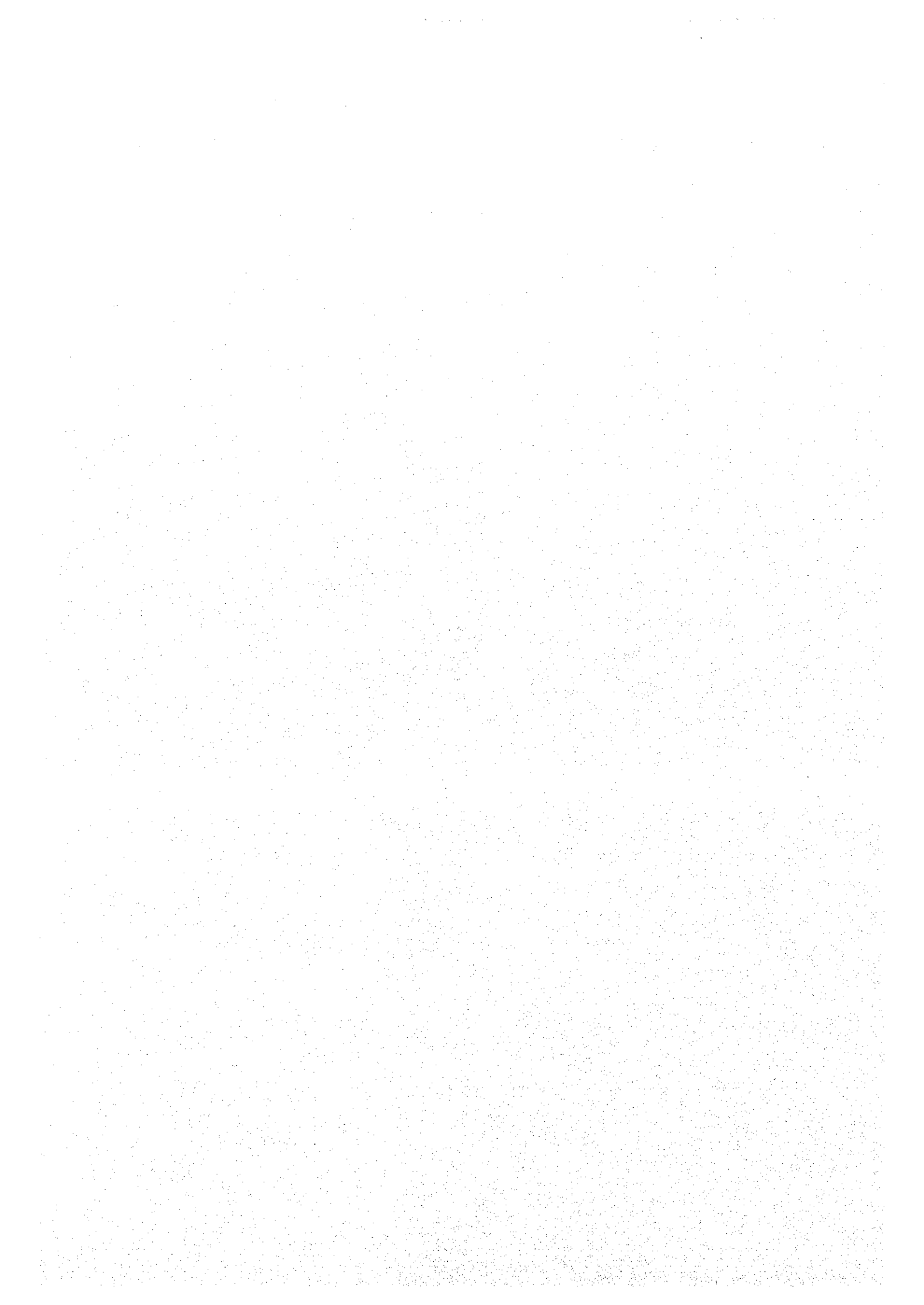
2. 2 地球科学的調査

2. 2. 1 地質調査

2. 2. 2 地化学調査

2. 2. 3 重力・磁気探査

2. 2. 4 電磁探査



2.2 地球科学的調査

2.2.1 地質調査

アマティトラン地域の地熱構造を規制する地質および地質構造を把握することを目的に、現地地表踏査や岩石試料採取および既存データのレビューを通して、調査地域およびその周辺の地質構造を解明し、新期火山岩体、変質帯の分布・性状、熱源、および水理地質を検討した。

1. アマティトラン地域の地質構造

グアテマラは、北アメリカ大陸と南アメリカ大陸をつなぐ中央アメリカ北部に位置し、北はメキシコ、南はホンジュラス・エルサルバドルと接し、南西側は太平洋に、北東側はカリブ海に面している。本調査地対象地域であるアマティトラン地域 (Fig. 2-2-1) は、南部の首都グアテマラシティから直線距離で25km離れたPacaya火山の北麓に位置している。

アマティトラン地域の地質は下位より、花崗岩質基盤岩、カルデラ形成前・カルデラ形成期・カルデラ形成後の火山岩類 (主に輝石安山岩および石英安山岩から構成されるAmatitlan 複合火山岩類)、Pacaya 複合火山岩類、および洪積・沖積層よりなる (Fig. 2-2-2)。

本地域における地質構造的な特徴は、カルデラ構造、N-S系、NE-SW系の主要断層、デイサイトドームの貫入で特徴づけられる。これらの構造に沿って温泉・噴気の配列や変質帯の伸びが認められ、地下水や地熱流体の流動を規制している可能性が高い。

a. カルデラ構造と地熱活動

Lagunaカルデラ付近を通るE-W系の断層が存在し、カルデラの南縁であることがAMF-1, 3, 4の3坑井の掘削結果から明らかにされた (West JEC and Telectro, 1995)。アマティトランカルデラ内部に掘削されたAMF-3の温度プロファイルの逆転現象および透水性が非常に高いなどの特徴から地熱流体が流動しやすい状況にあると推定される (Fig. 2-2-3)。

一方、Lagunaカルデラ内で、その北壁に多くの噴気帯および変質帯が存在している。その変質状況や噴気の配列はNE-SW系のカルデラ縁または重力探査およびMT探査結果から推定された断層に沿って形成されている。

b. 主断層系と地熱徴候

N-S系の断層は、主にLos Humitosカルデラを挟んで、平行に発達するが、西側のN-S系断層の西方はカルデラ形成後の火山岩類が変質を受けており、比較的若い熱水活動の存在が推定される。Los Humitosカルデラの西端はある程度の深部まで粘土化が進み、シールされているが、カルデラ東端では変質作用がそれほど進まず、現在も開口性のフラクチャーが存在すると判断される。

c. デイサイトドームと地熱活動

Laguna de Amatitlan 南岸の温泉・噴気は、主としてデイサイトドームの周辺に発達した裂かから湧出しているものと推定される。ただし、2~3の温泉・噴気はN-S系の断層に伴う裂かから湧出しているものが観察される。したがって、ドーム形成時のデイサイト質マグマの上昇に伴ない、境界部に裂かが発達し、これが地熱流体の通路となっている可能性が高い。さらに、流体地化学的データ、ドーム形成時期を考慮すると、このデイサイト自体が本地域の熱源の一つとなっている可能性がある。

2. 熱源

火山岩の分布および年代測定の結果から、アマティトラン地域の火山活動は北から南へ移動していることは明らかで、これに伴ない地熱活動の中心も北から南へ移動しているものと推定される。現在も噴出活動中の Volcan de Pacaya を始めとして、第四紀更新世後期、すなわち、約 0.7Ma から現世にかけて活動したマグマの熱あるいは火山ガスが本地域の広域的な熱源となっているものと推定される。

また、坑井 AMF-2 で確認されたデイサイト質貫入岩は 6,000 年前まで活動した Cerro Limon や Cerro Durazno のようなデイサイト質火山に対比され、これらの火山同様、熱源となっている可能性がある。

3. 水理地質

調査地域における浅層地下水は、Pacaya 複合火山やアマティトラン複合火山の溶岩類、およびアマティトラン複合火山に属する火砕岩類の基底部を標高の高い南部の Volcan de Pacaya の北麓から Lago de Amatitlan 方向に流動していると考えられる。また、Lago de Amatitlan を中心として考えられるカルデラ縁は Cerro Grande および Volcan de Pacaya 山頂付近の地下を通り、Volcan de Pacaya 西側を北西に抜けさらに Rio Michatoya 沿いに谷を横断するもの、Lago de Amatitlan 南部東岸から Laguna カルデラ、San Vicente Pacaya 町を経て、その北西方へ抜けるもの、および Cerro Hoja de Queso と坑井 AMF-2 を通るものなどが挙げられる。いずれも調査地域では東西系の正断層で、Pacaya 複合火山や Amatitlan 複合火山の火山岩類に厚く覆われている。これらは、浅層の地下水の流動には直接影響は与えないものの、地下水の一部が深部に流入する可能性がある。

一方、深部では断層付近に存在する流体は断層に規制されて東西方向に流動するが、南北方向への流動は大きく制限される。ただし、調査地域には Los Humitos カルデラから Laguna カルデラにかけて南北方向に小規模な断層群が発達しており、これらの断層群に沿って流体が流動しているものと思われる。これら断層は地表でも断層地形として明瞭に認められ、また深部では隆起帯を形成する断層の存在が推定されることから、このゾーンに限っては、浅層地下水から深部地熱流体まで南北方向に流体が流動している可能性が高い。この南北方向への流動は、地化学データおよび AMF-3 の掘削結果とも整合性が見られる。

2.2.2 地化学調査

本調査は、温泉水や噴気の補足的な流体地化学調査および既存データの集約・レビューにより、これまでに理解されている地熱流体の流動状態をさらに明確にするとともに、土壌ガス調査によって地熱流体の流動を規制する構造を把握し、調査井掘削位置選定や将来の開発計画検討のための資料を得ることを目的とした。

1. 流体地化学調査

流体地化学解析の結果から推定される調査域内および周辺部の熱水系の特性・挙動は以下のように要約される。なお、解析結果に基づく熱水系地化学モデルを Fig.2-2-4 に示す。

- Calderas 地区の深部調査井 AMF-1 および AMF-2 により確認された地熱貯留層熱水は、AMF-2 の南側に賦存する天水と少量のマグマ起源水を起源とする 300~340°C の本源的流体から派生したものと考えられる。この地区内においては、高温熱水は蒸気分離を伴って主に北東に向かって流動・上昇しており、その一部は浅部にまで上昇して噴気を形成している。
- Calderas 地区から北方および北東方へ側方流動する高温熱水は、低温地下水による希釈を伴いつつ Lago de Amatitlan 湖岸にまで達し、Cl~Cl-HCO₃ タイプの温泉帯水層を形成している。
- Calderas 地区の高温熱水の一部は、地下水による希釈の割合が大きいが、比較的速やかな側方流動によって Rio Michatoya 流域の東縁部にも達している。
- 本調査域内の Calderas 地区に存在する地熱貯留層熱水は、ほぼ化学的な平衡状態に達しており、ある程度の規模をもって存在すると考えられる。調査井 AMF-2 付近から西側の地域に向かって連続する高透水性ゾーンが存在すれば、それに伴って熱水貯留層が広がっている可能性が高い。

2. 土壌ガス調査

土壌ガス中の水銀および全ラドン濃度の分布から、調査域内における地熱流体の上昇域やその流動を規制する構造は以下のように推定される。なお、測定・解析結果に基づく高透水性ゾーンの集約図を Fig. 2-2-5 に示す。

- Calderas 地区のカルデラ北壁沿いには、熱水活動を伴う高透水性ゾーンが存在し、Calderas 西部や Cerro Hoja de Queso 付近では浅部にまで高温流体が上昇している。Calderas 西部の高透水性ゾーンは、北東-南西方向に伸長して El Cedro 南方付近にまで達しており、調査井 AMF-1 および AMF-2 により確認された地熱貯留層がそれらの南西方まで広がっていることを示唆する。

- El Cedro 付近から北西方向に延びる水銀高濃度域は、水銀濃度はさほど高いものではないが、流体地化学調査の結果から想定される Calderas から Rio Michatoya 流域に至る熱水側方流動に関連していることが示唆される。
- Cerro Hoja de Queso 付近から北西方および北方に延びる高透水性ゾーンが存在し、比較的浅部を高温流体が側方に流動していると考えられる。
- Cerro Hoja de Queso 北方から Cerro Grande 西方にかけては、南-北および北東-南西方向に延びる高透水性ゾーンが存在する。

2.2.3 重力・磁気探査

重力探査の調査結果の集約図を Fig. 2-2-6 に示す。最適仮定密度 2.0 g/cm^3 のブーゲー異常図によると、調査地域のブーゲー異常値は南端の Volcan de Pacaya 付近で最も高い約 -10.4 mgal 、北端で最も低い約 -48.2 mgal を示し、南高北低の分布となっている。重力コンターの方向性は、Lago de Amatitlan 低重力異常域に含まれる北部ではほぼ東西方向を示すが、南半部では大略 San Francisco de Sales 付近から西側では北東-南西方向、東側では北西-南東方向を示している。

調査地域は、重力分布から北部の Lago de Amatitlan 低重力異常域とこの南側の地域とに大きく二分される。北部の Lago de Amatitlan 低重力異常域は主にカルデラ構造を反映した低重力異常域であると考えられる。この南側の調査域中央では、Volcan de Pacaya 付近から北方へ延びる高重力異常域が分布し、重力基盤の隆起域が形成されていると考えられる。

磁気探査の調査結果の集約図を Fig. 2-2-7 に示す。調査地域の全磁力は、Cerro Grande 山頂、南東斜面および Los Humitos など認められる約 $39,600 \text{ nT}$ から、Laguna de Calderas 東方約 1 km 付近で認められる約 $37,800 \text{ nT}$ までの約 $1,800 \text{ nT}$ の間に分布している。調査範囲内では高振幅の磁気異常を示す地域が多いが、範囲外周辺部では低振幅の異常を示す地域が多い。

調査地域中央を南北に延びる低磁気異常域は、Cerro Grande 付近を除く重力基盤の隆起域にほぼ対応している。花崗岩類はこの地域に分布する岩石の中では磁化強度が小さい岩石であり、花崗岩上面が相対的に浅いために、低磁気異常を示すことが考えられる。また、この中で San Francisco de Sales および Laguna de Calderas 周辺では、低磁気異常が特に明瞭で、AMF-1 付近で変質帯の地表分布も認められることから変質による磁化強度の減衰が、低磁気異常の要因である可能性がある。

調査地域中央を南北に延びる低磁気異常域の西縁に推定した磁気的不連続線は、Volcan de Pacaya 付近から北方へ延びる高重力異常域の西縁の北東-南西方向の断層状構造とほぼ一致する。これらが通る AMF-3 から AMF-2 に至る地域は、AMF-1 および AMF-2 において地熱流体の噴出に成功していることから深部まで断裂が発達し、高透水性である可能性が高い。

2.2.4 電磁探査

1. 調査地域の浅部比抵抗構造

前述した各比抵抗不連続線の分布と 6ohm-m 以下を示す低比抵抗域（低比抵抗層等比抵抗線図による 6ohm-m 以下の地域）を重ね合わせた図面を Fig. 2-2-8 に示す。本図で示した低比抵抗域は、概略、深度 200m～700m と比較的浅部に分布している。

本図によれば、Laguna de Calderas 周辺を除けば、概略、6ohm-m 以下を示す低比抵抗域が比抵抗不連続線 F1 および F4 沿いおよびそれらの不連続線に挟まれた地域に分布する。特に、AMF-2～E1 Cedro 周辺を中心とした低比抵抗域内には、地表において変質帯や噴気帯が存在することから、この低比抵抗域は比較的浅部に存在する熱水変質帯を反映したものである可能性が高い。すなわち、この低比抵抗域周辺の深部で発達した断裂を通じて、深部から上昇してきた地熱流体により、比較的浅部において熱水変質帯が形成されているものと推定される。また、Laguna de Calderas 周辺に分布する浅部の高比抵抗異常域は、カルデラ構造内に浅部から地表水の流入が起こっているために高い比抵抗値を示している可能性が高く、浅部の局所的な異常であると考えられる。

2. 調査地域の深部比抵抗構造

前述の各比抵抗不連続線の分布と深度 1500m の解析比抵抗分布における 20ohm-m 以上の相対的な高比抵抗域を重ね合わせた図面を Fig. 2-2-9 に示す。本図面における高比抵抗域は、解析比抵抗断面図による比抵抗分布を考慮すると、深部高比抵抗体（比抵抗基盤域）の隆起構造部を示しているものである。

本図において、調査地域中央部から北東部、東部にかけての地域で相対的な高比抵抗域が存在しており、概略、深部の断裂構造を反映していると推定される比抵抗不連続線 F4、F5 および F1 に囲まれた地域で深部高比抵抗体（比抵抗基盤域）の隆起構造が存在している。特に、比抵抗不連続線 F1 の Laguna de Calderas から南西側の箇所および比抵抗不連続線 F4 に挟まれた地域は、解析比抵抗断面図（断面④～⑥）からも明瞭な深部高比抵抗域の隆起構造を示しており、この東北東－西南西に延びる比抵抗隆起構造の北端および南端では明瞭な比抵抗不連続構造（比抵抗不連続線 F1 および F4）が認められる。また、前述のように、浅部比抵抗構造によれば、比抵抗不連続線 F1 周辺地域、比抵抗不連続線 F4 周辺地域および、これらの不連続線に挟まれた地域の浅部では、熱水変質帯を示すと考えられる低比抵抗域が広域に分布している。更に、比抵抗不連続線 F1 と F4 に挟まれる地域には地熱流体の噴出に成功した坑井（AMF-1、AMF-2）が存在する。このため、比抵抗不連続線 F1、F4 の周辺地域および、これらの不連続線に挟まれる地域には深部で断裂構造が発達しており、それらの断裂構造を通じて深部の地熱流体が流動・上昇しているものと推定される。

調査地域の東部には、比抵抗不連続線 F5 が存在し、その北側には深部高比抵抗体（比抵抗基盤域）の隆起部が認められる。但し、調査地域東部においては不連続線 F5 周辺に低比抵抗域が認められないことから、比抵抗不連続線 F5 周辺地域の地下深部において、

活発な地熱活動が存在する可能性は低い。

3. 調査結果の要約

電磁探査 (MT 法探査) の解析結果, 調査地域には, 地下の断裂構造を示す可能性がある 5 本の比抵抗不連続線 (F1, F2, F3, F4 および F5) が認められた。これらの比抵抗不連続線のうち, F1 および F4 は深部において明瞭な比抵抗不連続示徴を示し, その周辺部 (比較的浅部) において, 熱水変質帯を示すと考えられる低比抵抗域が分布している。また, これらの不連続線に挟まれる地域において地熱流体の噴出に成功した坑井 (AMF-1, AMF-2) が存在することから, 不連続線 F1, F4 周辺およびこれらに挟まれた地域の深部では断裂が発達しており, この断裂に沿って, 地下深部から高温熱水が上昇し, 一部の熱水が地下浅部において側方流動して熱水変質帯を形成しているものと推定される。

このため, 深部の地熱貯留層をターゲットとする場合には, 比抵抗不連続線 F1 南西部 (Laguna de Calderas より南西側) および比抵抗不連続線 F4 南西部 (El Cedro から AMF-1 の北部域) が地熱開発上の有望地域と考えられる。

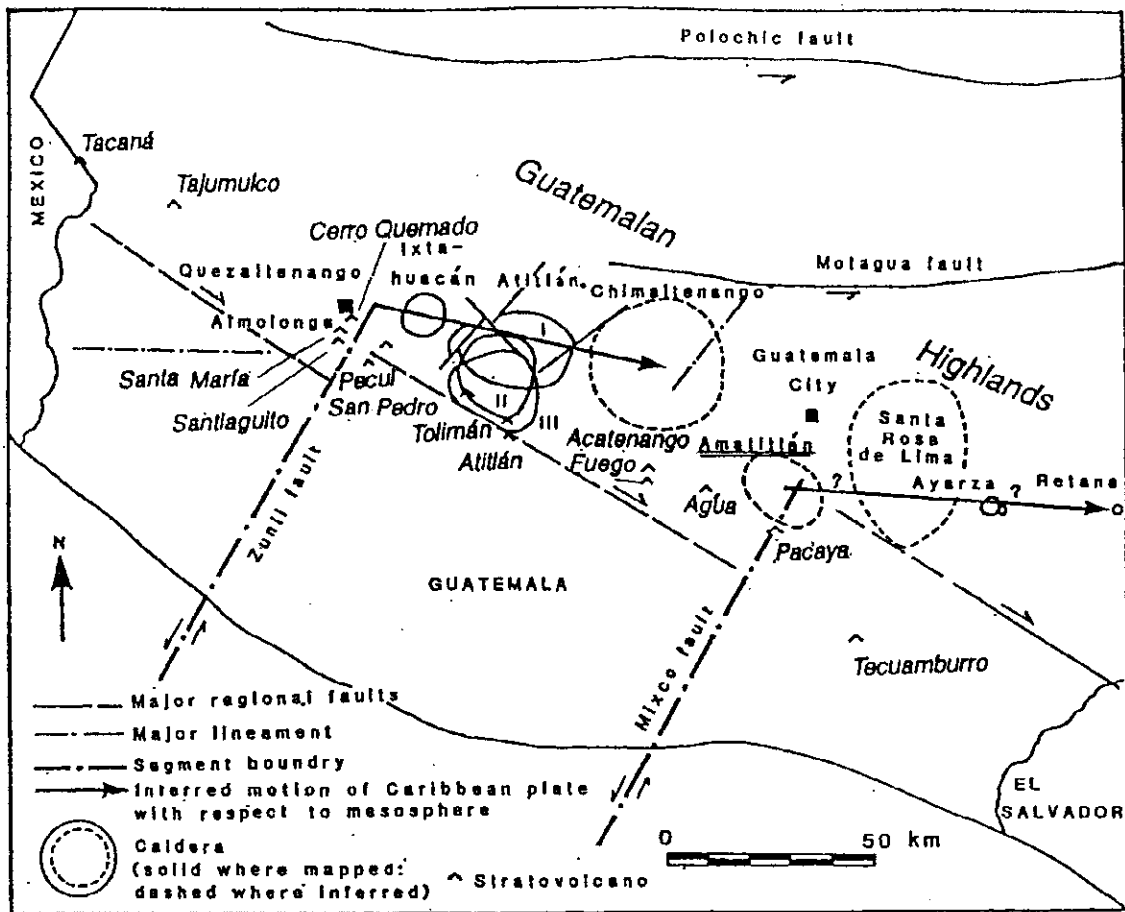
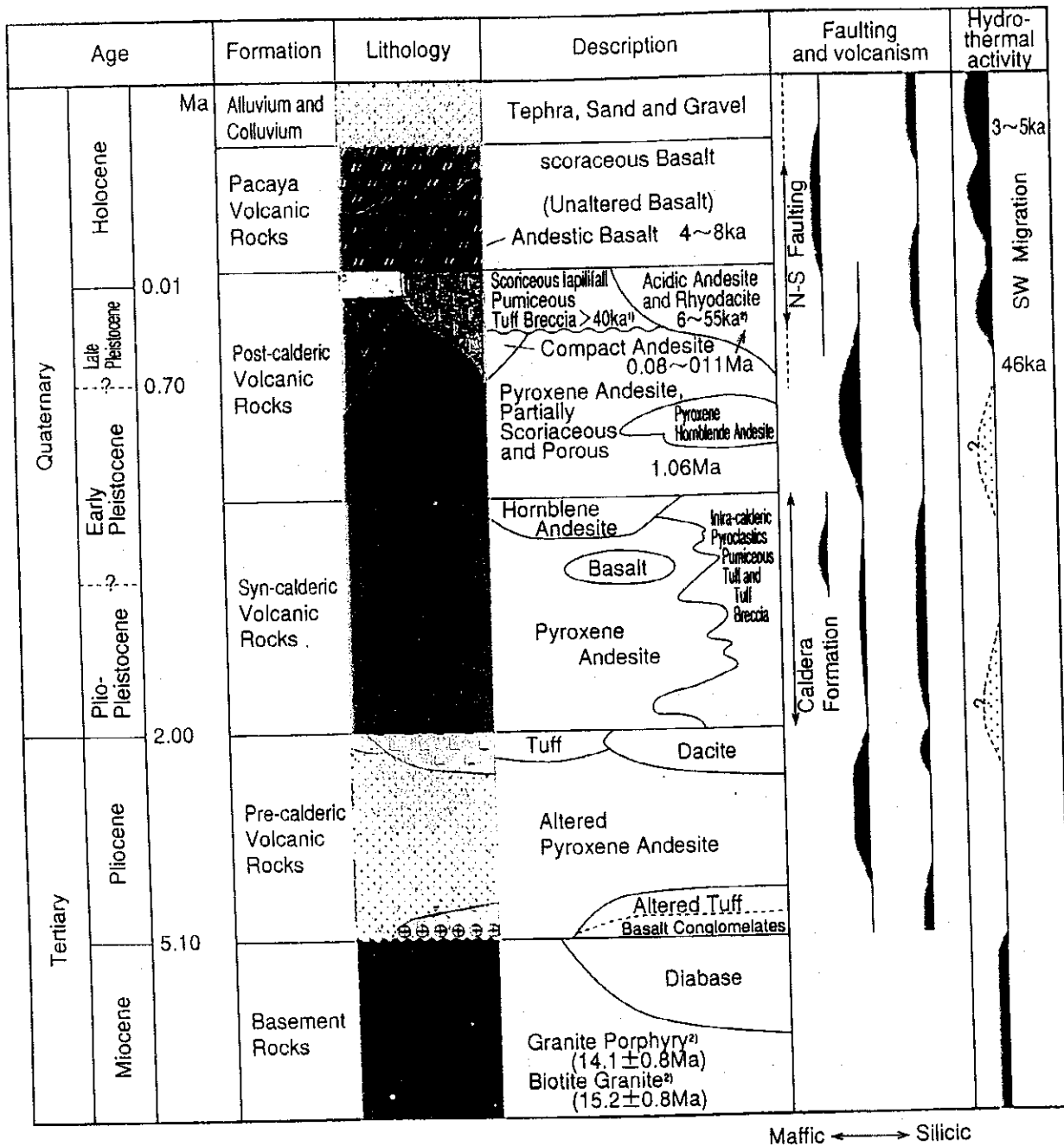


Fig.2-2-1 広域地質構造図
Regional tectonic map

Apparent migration of loci of caldera formation toward the WNW and SSW. Apparent WNW trend is interpreted as a track of calderas formed above present location of V. Almolonga, astride the Zunil fault. Apparent SSW trend is interpreted as generation of successive calderas at intersection of a proto-Zunil fault (now beneath the Atitlán complex) and the volcanic front, as the volcanic front "migrated" trenchward. All migration is interpreted as a consequence of ESE movement of the Caribbean plate relative to the subduction zone and mesosphere at a rate of 0.4cm/yr.

(Modified with C.G Newhall, 1987 and Vallance et al, 1995)



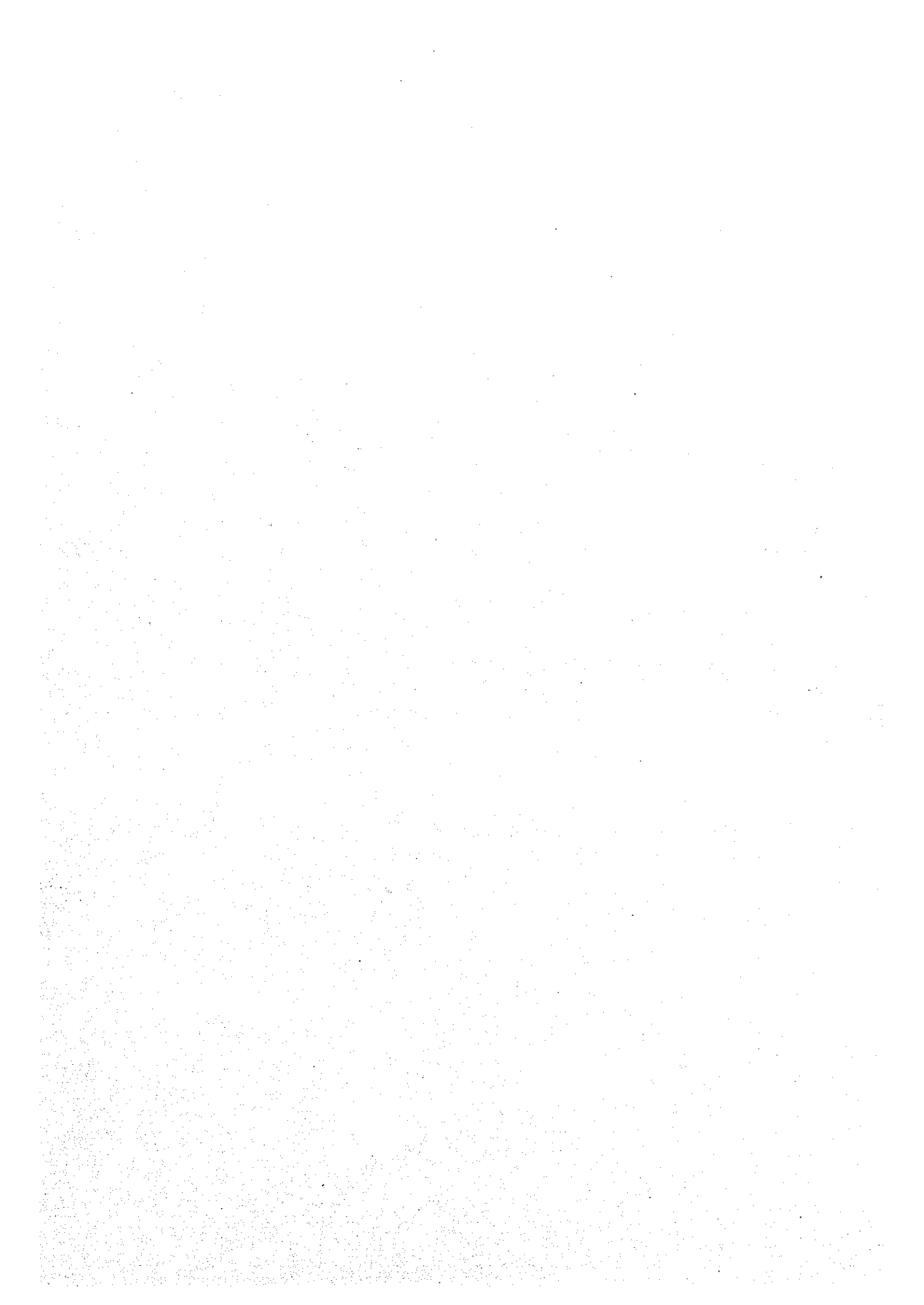
Reference

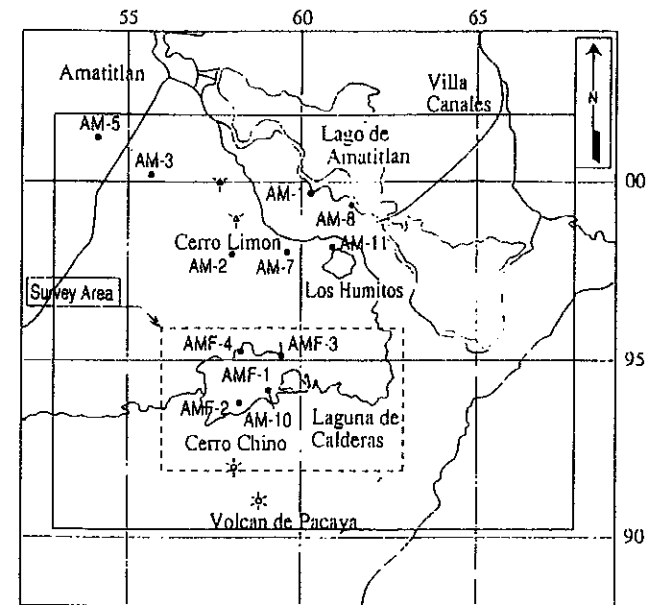
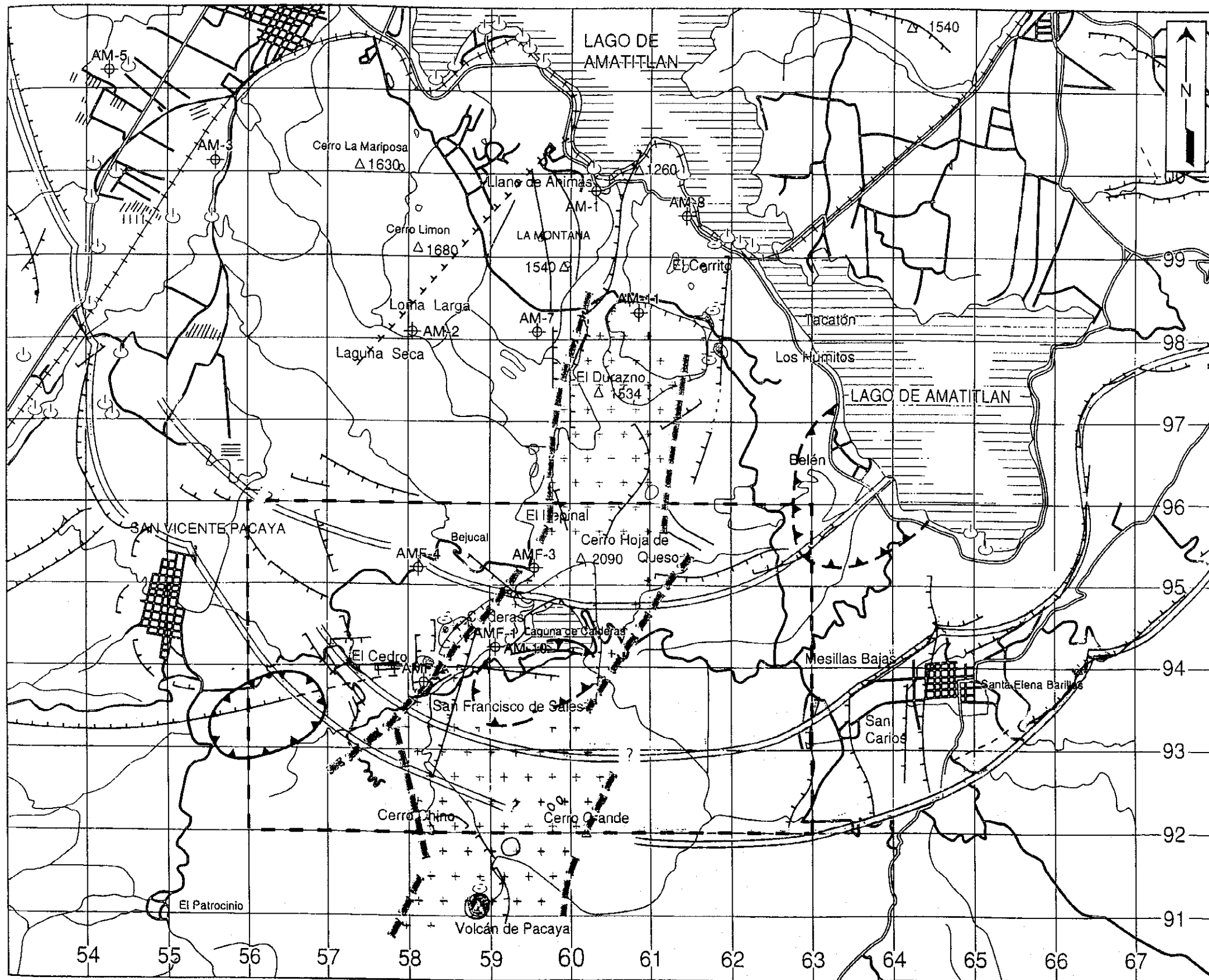
1) Koch and Mclean, 1975

2) West JEC and Telectro, 1994 and this report

Fig.2-2-2 アマティトラン地熱地域の地質層序

Stratigraphy of the Amatitlan geothermal field



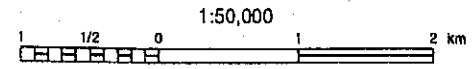


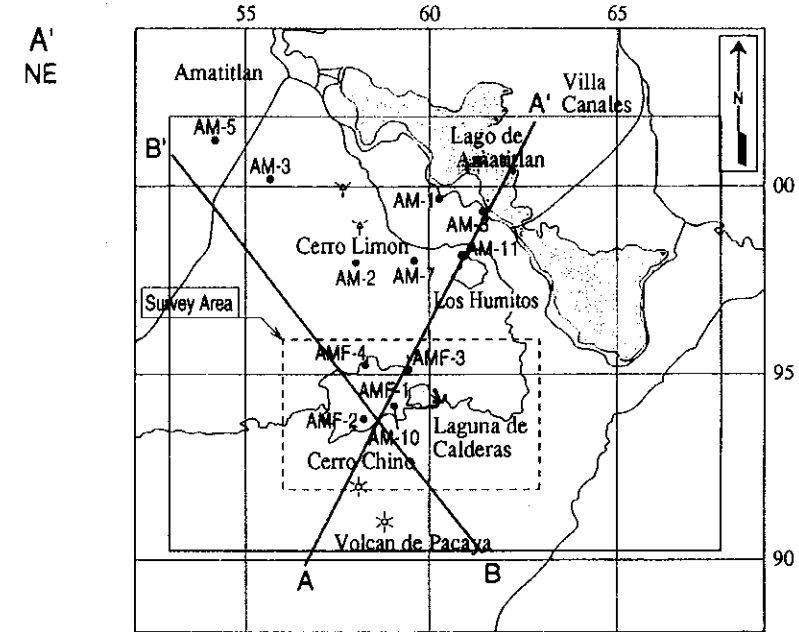
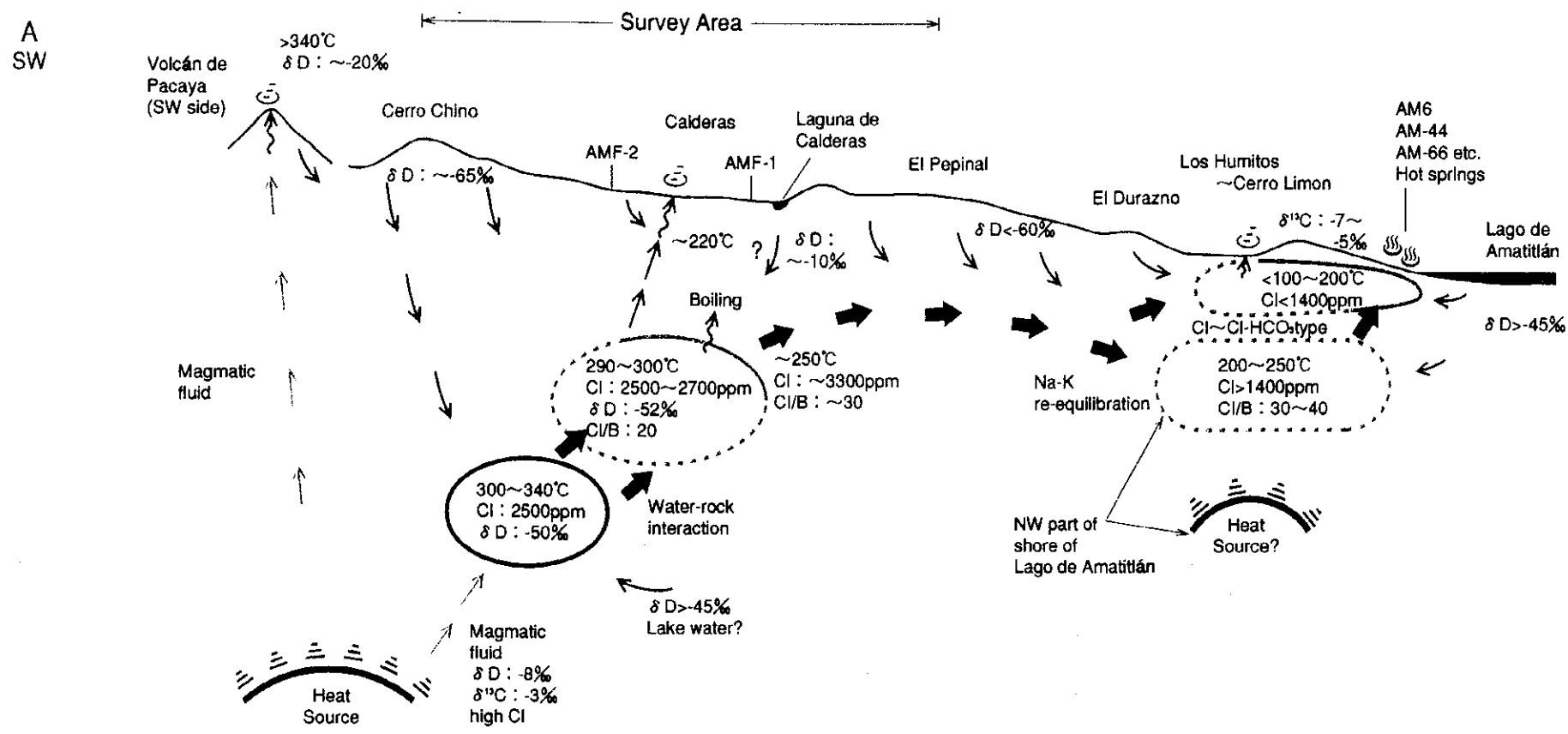
Legend

- Estimated uplift obtained from gravity survey
- Estimated basin obtained from gravity survey
- Caldera Wall

	Alteration zones, Fumarole zones		Crater
	Hot springs, Fumaroles		Phreatic Centre
	(Estimated) Fault		Lineament
	Cross section		Survey area

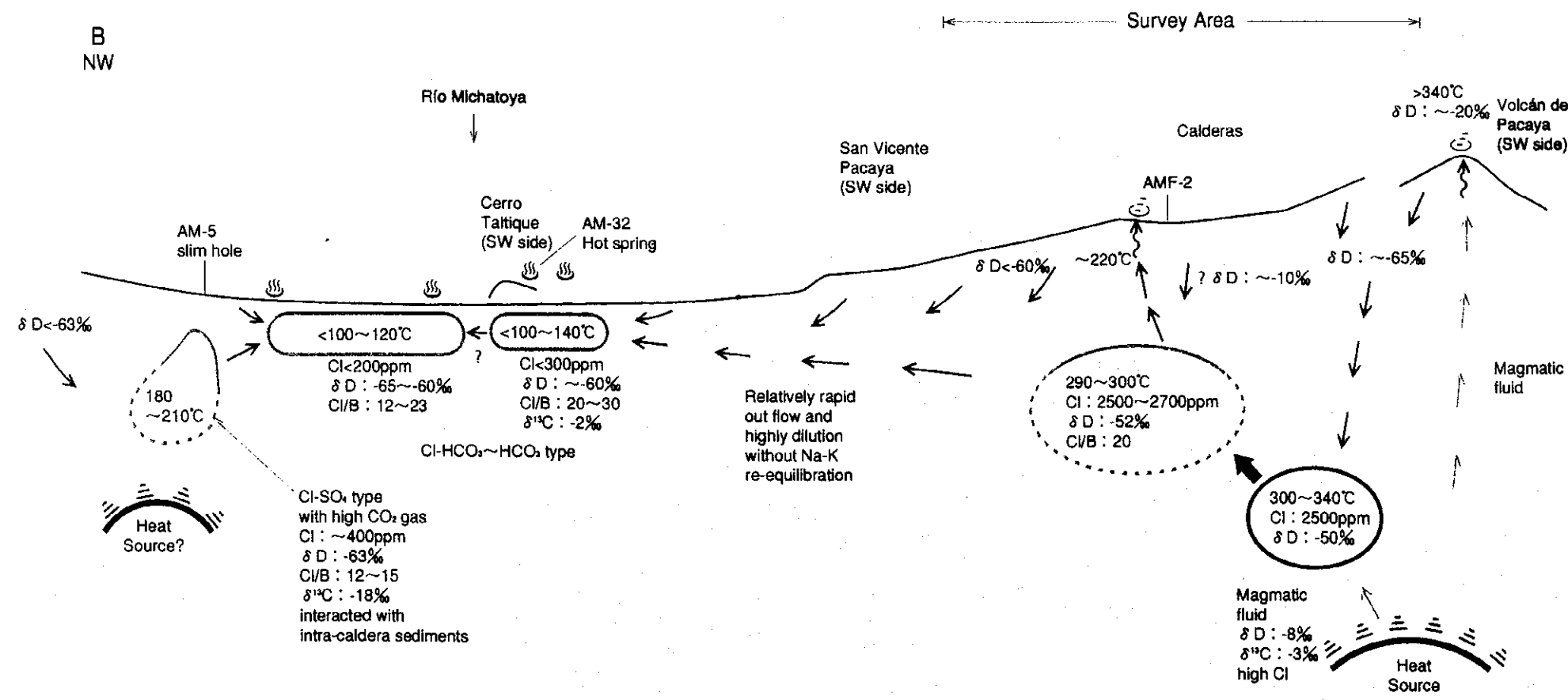
Amatiitlan Geothermal Development Project
 地質構造図
 Geological Structure
 JICA-WEST JEC Fig.2-2-3





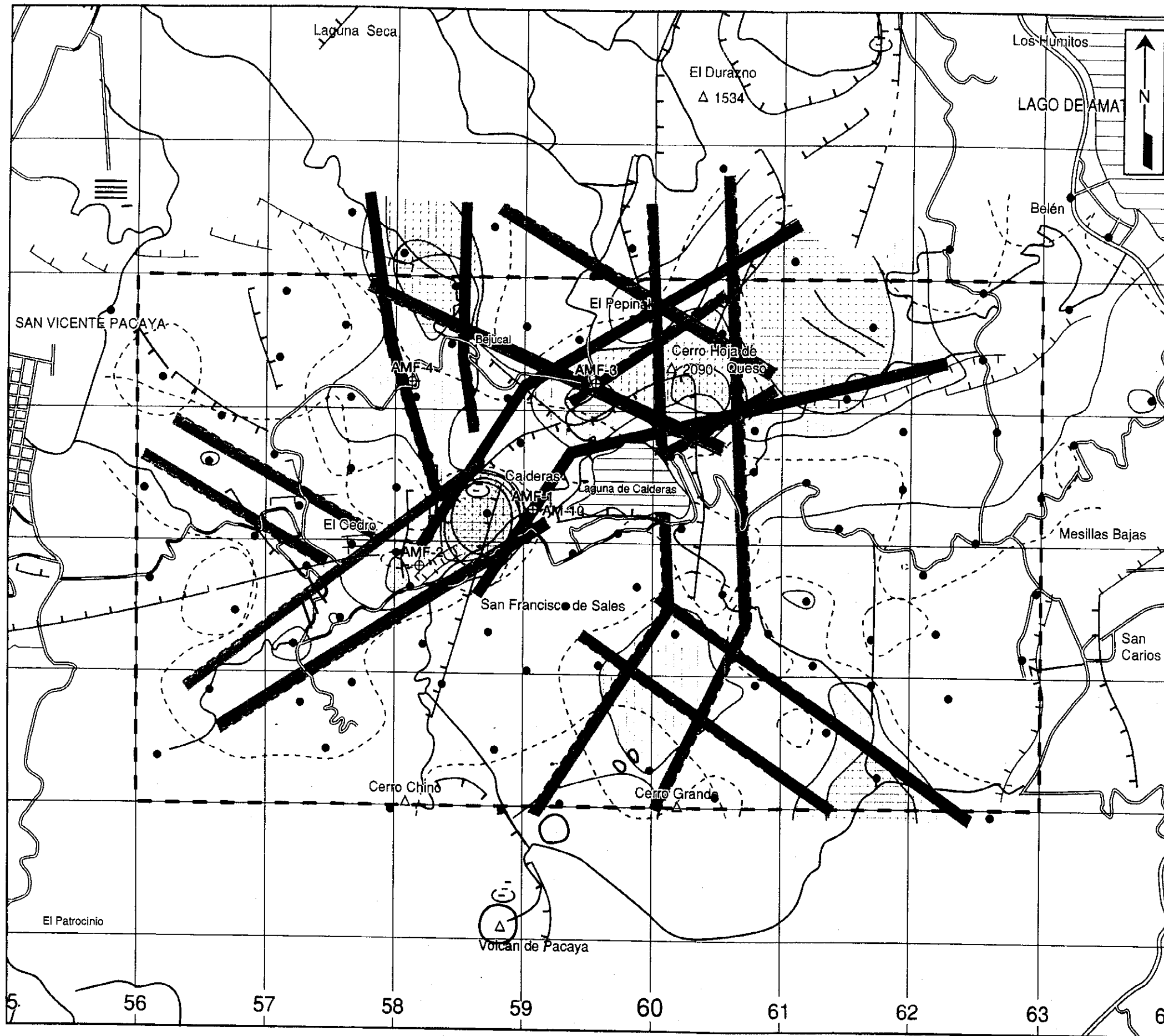
LEGEND

- High temperature reservoir
- Low temperature reservoir (Hot spring aquifer)
- Parental fluid of the Amatitlán geothermal system
- ➔ Thermal water flow
- ⤴ Boiling and steam flow
- ↘ Meteoric cold water flow










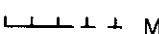


Amatitlán geothermal development project	
熱水系地化学モデル図	
Geochemical model of hydrothermal system	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-4

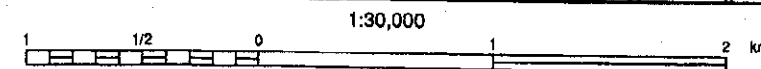
488101401A



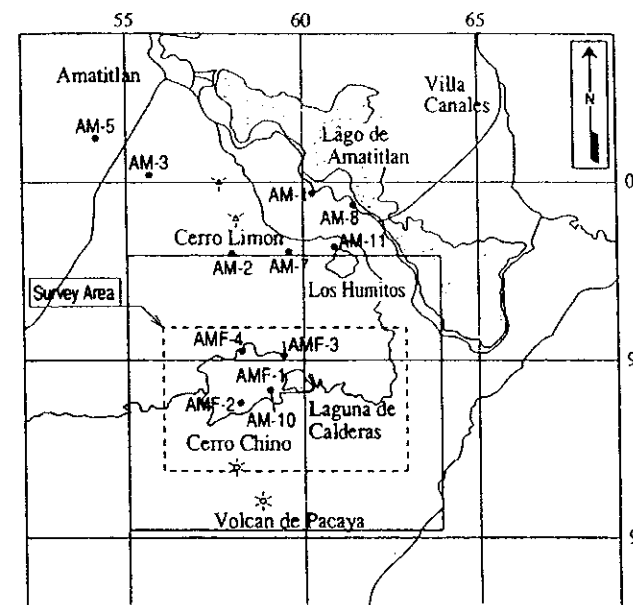
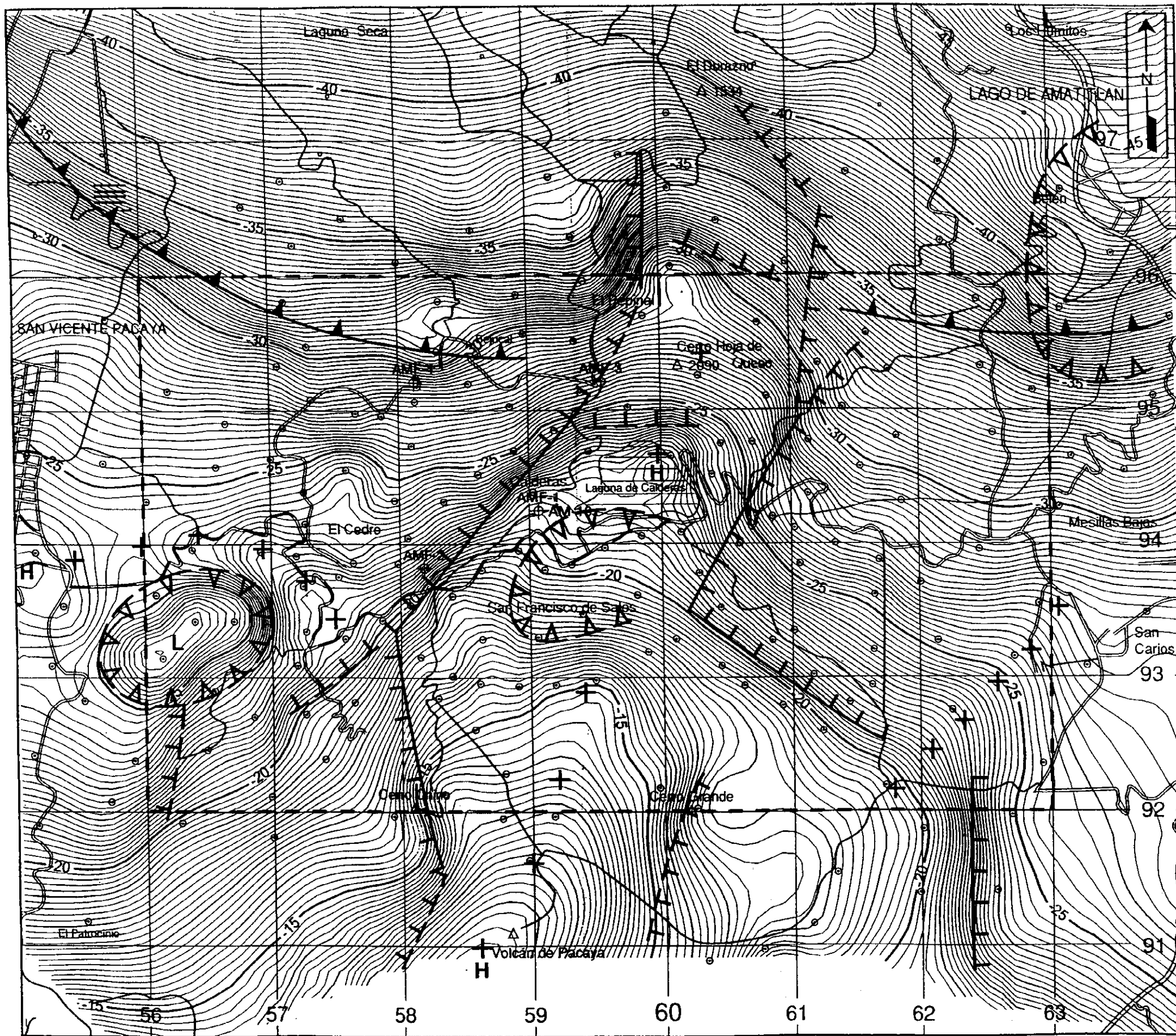
LEGEND

-  Permeable Zone Based on Hg Distribution
-  Hg Anomaly
-  Permeable Zone Based on Corrected Distribution
-  Corrected Rn Anomaly
-  Sampling Station (109 points)
-  Survey Area
-  Existing Well
-  Fault, Caldera Wall
-  Crater
-  Morphologic Escarpment

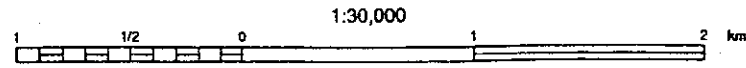
Amatitlan geothermal development project
 土壌ガス調査による高透水性ゾーン集約図
 Compiled map of permeable zone by soil-gas survey
 JICA-WEST JEC Fig.2-2-5



MR8101-401B

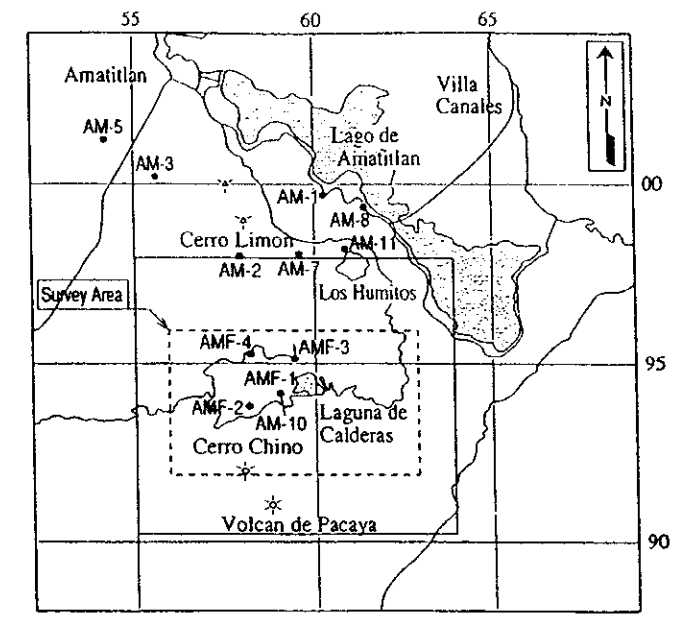
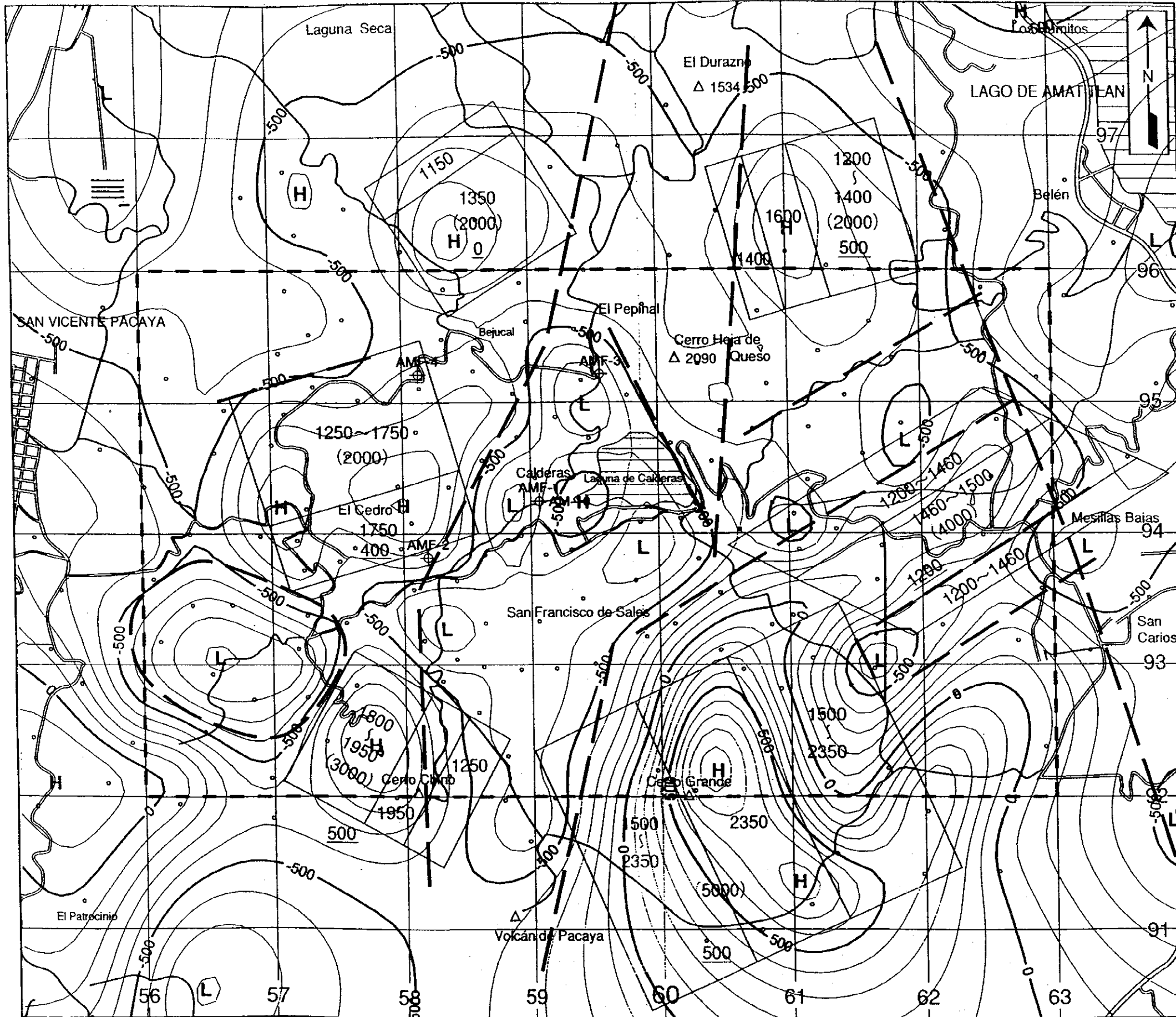


- Legend
- : Survey Area
 - : Exploratory Well
 - : Caldera Rim Estimated from Gravity
 - : Basin
 - : Gravity Lineament(major)
 - : Gravity Lineament(minor)
 - : Basement Uplift trend



Amatitlan Geothermal Development Project	
重力解析図	
Gravity Interpretation Map	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-6

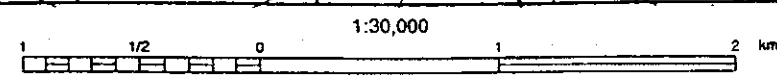
M09101401A

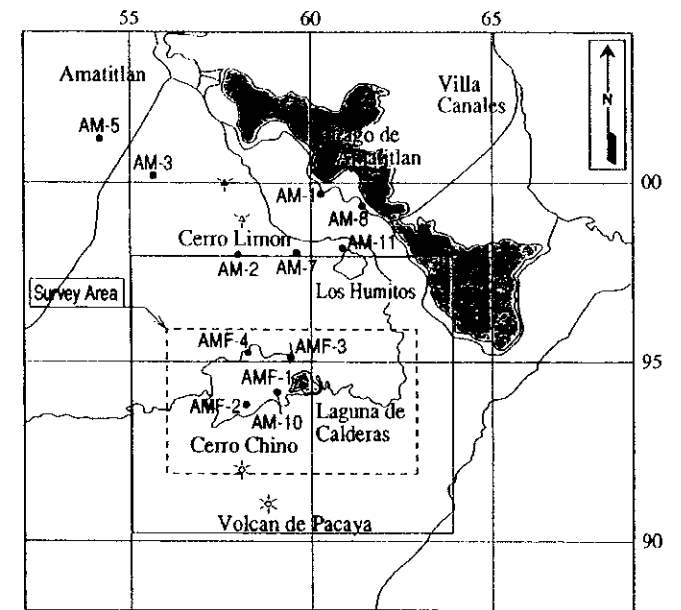
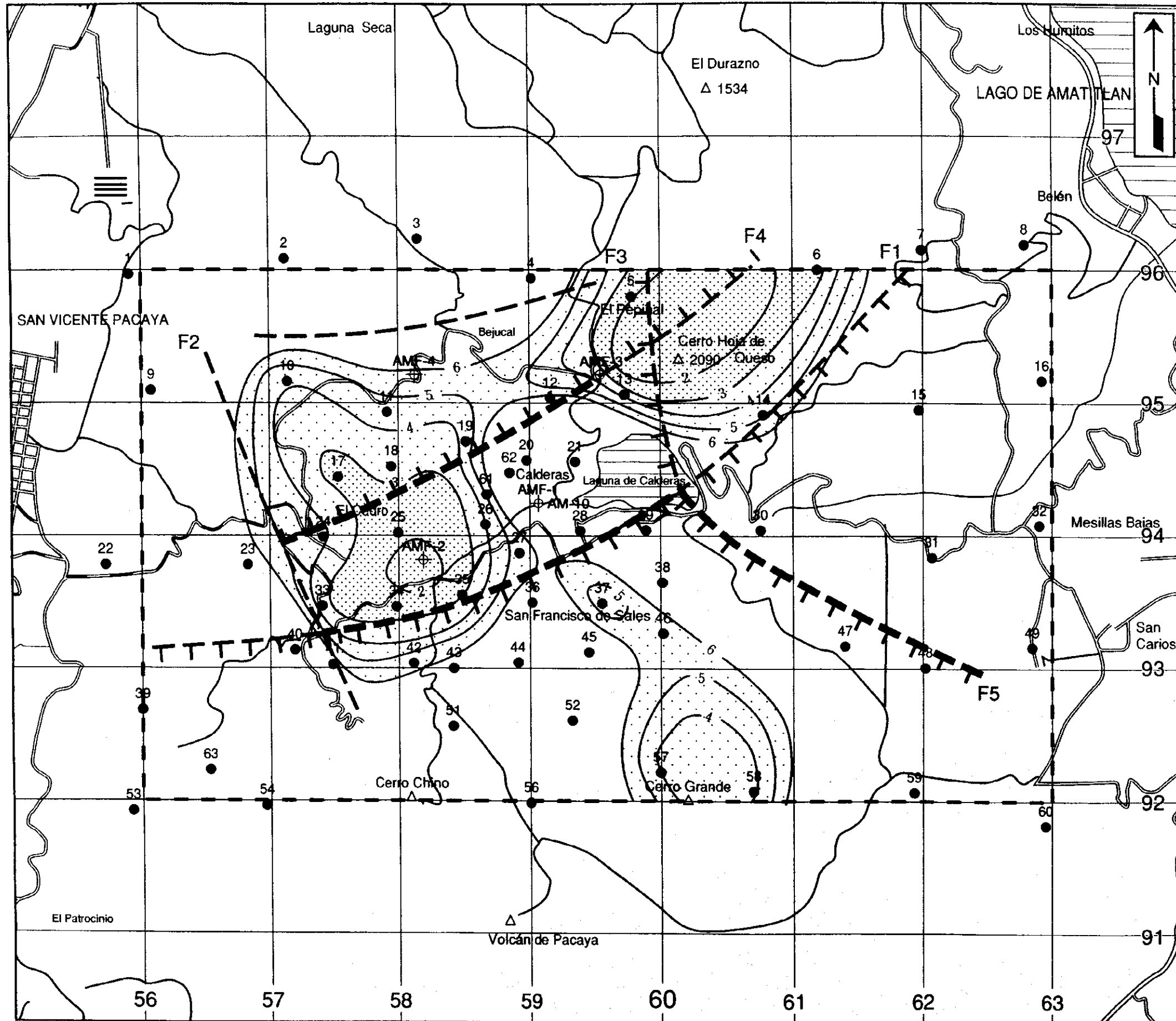


Legend

- : Survey Area
- : Exploratory Well
- : Magnetic Discontinuity
- : Magnetic Body
- 1600 : Top Depth of Magnetic Body
- (2000) : Magnetic Susceptibility $\times 10^{-6} \text{emu/cm}^3$
- 500 : Bottom Depth of Magnetic Body

Amatitlan Geothermal Development Project	
磁気解析図	
Magnetic Interpretation Map	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-7



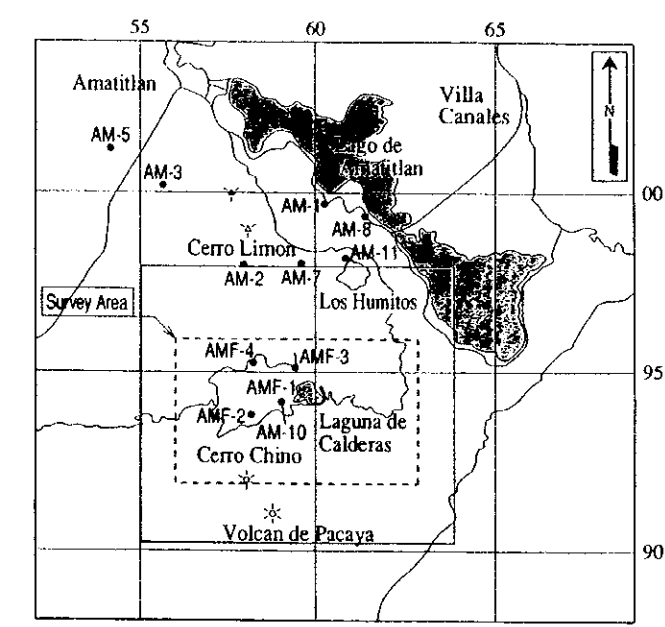
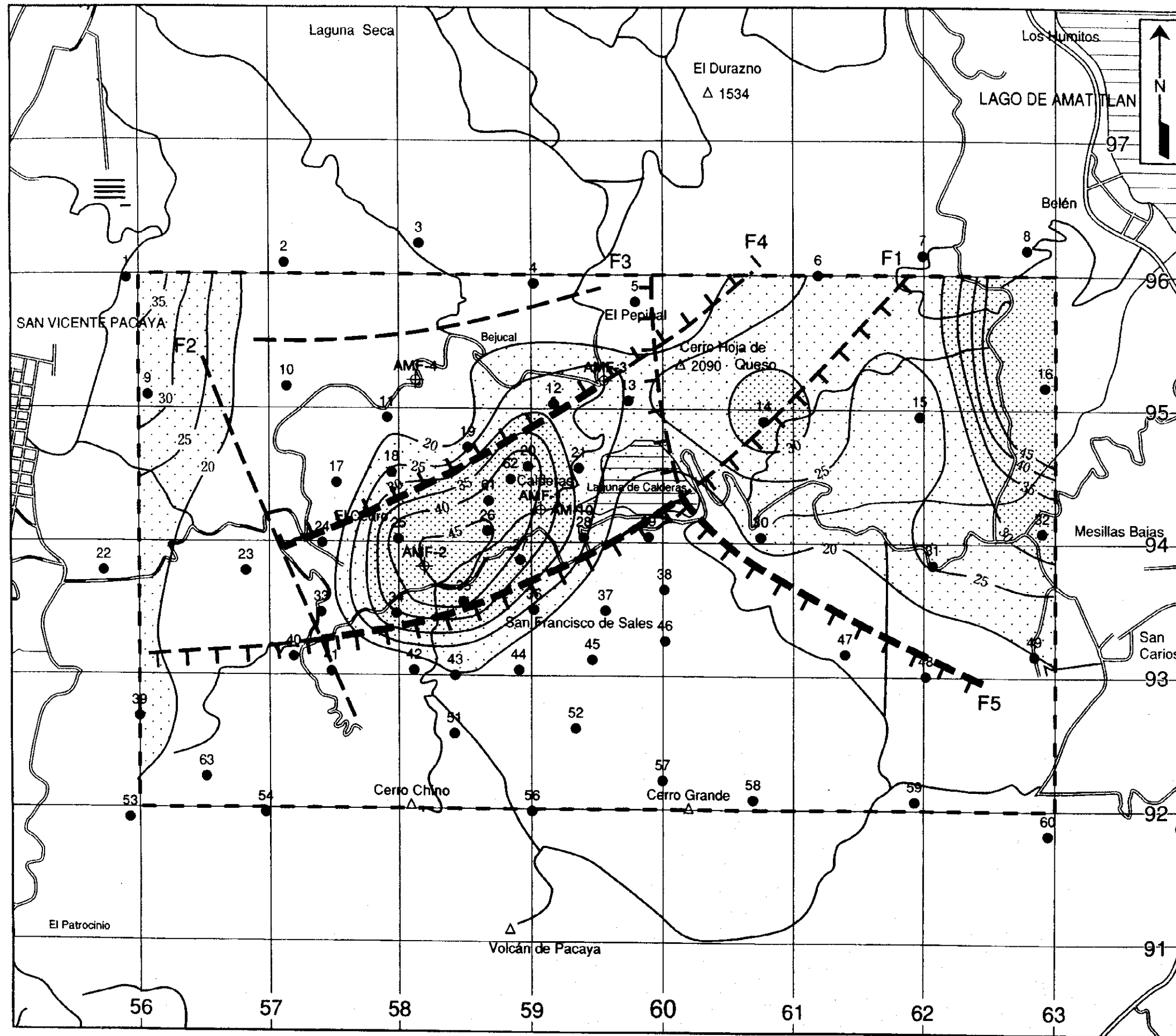


Legend

- : Survey area
- : Exploratory well
- : MT station
- : Resistivity discontinuity
- : Contour line of resistivity (Low resistivity layer, ohm-m)

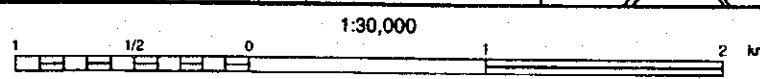
Amatitlan Geothermal Development Project	
浅部比抵抗構造解析図	
Resistivity structure in shallow zone	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-8

M89101401A



- Legend**
- : Survey area
 - ⊕ : Exploratory well
 - : MT station
 - - - : Resistivity discontinuity
 - ~ 20 ~ : Contour line of resistivity (Resistivity distribution at 1500m deep)

Amatitlan Geothermal Development Project	
深部比抵抗構造解析図	
Resistivity structure in deep zone	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-9



MB101401A