

**Agencia de Cooperación Internacional del Japón**

**Instituto Nacional de Electrificación**

**República de Guatemala**

**Proyecto de Desarrollo Geotérmico de  
Amatitlán**

**REPORTE FINAL**

**Resumen**

**Diciembre 2001**

**West Japan Engineering Consultants, Inc.**



1166801[9]

## Contenido

1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1- 1
1.1	Antecedentes	1- 1
1.2	Objetivos del Estudio	1- 1
1.3	Descripción del Estudio y Contenido de trabajo de cada etapa	1- 1
1.3.1	Descripción del Estudio	1- 1
1.3.2	Descripción de los Servicios para el año Fiscal 2001 (Estudio de Factibilidad)	1- 2
1.4	Equipo de Estudio	1- 3
1.5	Agradecimientos	1- 3
2	RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN AÑOS ANTERIORES	2.1- 1
2.1	El Proyecto Geotérmico de Amatitlán dentro del Sector Eléctrico de Guatemala	2.1- 1
2.1.1	Perfil del Sector Eléctrico de Guatemala	2.1- 1
2.1.2	El Sistema de Generación	2.1- 5
2.1.3	El Sistema de Transmisión	2.1- 5
2.1.4	El Sistema de Distribución	2.1- 5
2.1.5	Proyección de la demanda para el SNI	2.1- 5
2.1.6	Aspectos Económicos y Políticos Actuales	2.1- 6
2.1.7	Situación Política	2.1- 6
2.1.8	Acciones para mejorar la cobertura y asegurar el suministro de energía	2.1- 6
2.1.9	Alternativas para la generación de energía en Guatemala	2.1- 7
2.1.10	Conclusión	2.1- 8
2.2	Estudios Geocientíficos	2.2- 1
2.2.1	Investigación Geológica	2.2- 1
2.2.2	Investigación Geoquímica	2.2- 3
2.2.3	Estudios Gravimétricos	2.2- 4
2.2.4	Estudio Magnetotelúrico	2.2- 5
2.3	Perforación de pozos exploratorios	2.3- 1
2.3.1	Pozo AMJ-1	2.3- 1
2.3.2	Pozo AMJ-2	2.3- 3
2.4	Estudios en los pozos	2.4- 1
2.4.1	Geología de pozo	2.4- 1
2.4.2	Geoquímica de los pozos	2.4- 3
2.4.3	Pruebas de terminación y registro de pozos	2.4- 4
2.5	Modelo Conceptual Geotérmico	2.5- 1

2.5.1	Estructura Geológica	2.5- 1
2.5.2	Fuente de Calor	2.5- 3
2.5.3	Distribución de Temperatura	2.5- 4
2.5.4	Modelo Geoquímico	2.5- 5
2.5.5	Modelo Conceptual	2.5- 6
3	PROGRAMA DE DESARROLLO	3.1- 1
3.1	Evaluación del Recurso	3.1- 1
3.1.1	Modelo Numérico	3.1- 1
3.1.2	Calibración en Estado Natural	3.1- 1
3.1.3	Calibración y ajuste histórico	3.1- 2
3.1.4	Pronósticos y Potencial del Campo	3.1- 2
3.1.5	Resultados de los Pronósticos	3.1- 3
3.2	Construcción de las Instalaciones para Generación de Energía	3.2- 1
3.2.1	Condiciones para la Programación	3.2- 1
3.2.2	Recolección de Fluidos y Sistema de Reinyección	3.2- 1
3.2.3	Instalaciones de la Planta Generadora	3.2- 1
3.2.4	Línea de Transmisión y Subestación	3.2- 3
3.2.5	Desarrollo del proyecto	3.2- 3
3.2.6	Estimación del costo del proyecto	3.2- 3
3.3	Estudio de Impacto Ambiental	3.3- 1
3.3.1	Resultados del Monitoreo Ambiental durante la perforación de los pozos y la prueba de los mismos	3.3- 1
3.3.2	Estudio de Impacto Ambiental t	3.3- 1
3.3.3	Recomendaciones Generales para el Próximo Proyecto	3.3- 5
3.4	Evaluación Económica y Financiera	3.4- 1
3.4.1	Necesidades del Proyecto	3.4- 1
3.4.2	Solución del menor costo	3.4- 2
3.4.3	Evaluación Financiera	3.4- 2
4	INTEGRACIÓN Y RECOMENDACIÓN	4- 1
4.1	Integración	4- 1
4.2	Recomendación	4- 4
4.2.1	Explotación en el Campo Geotérmico de Amatitlán	4- 4
4.2.2	Ubicación de la Planta Generadora	4- 5
4.2.3	Actividades Educativas y Acuerdo con las Comunidades Locales	4- 5
4.2.4	Potencial Geotérmico en las Áreas de los alrededores	4- 5

## Figuras

Fig. 2-1-1(a)	Estructura del sector de energía en Guatemala	2.1-10
Fig. 2-1-1(b)	Mercado del sector de energía en Guatemala	2.1-11
Fig. 2-1-2	Acumulación diaria de los costos de la energía	2.1-12
Fig. 2-1-3	Estructura del sector de potencia en Guatemala	2.1-13
Fig. 2-1-4	El sistema de transmisión en Guatemala	2.1-14
Fig. 2-1-5	Capacidad instalada y demanda de energía	2.1-15
Fig. 2-2-1	Mapa tectónico regional	2.2- 7
Fig. 2-2-2	Estratigrafía del Campo Geotérmico de Amatitlán	2.2- 8
Fig. 2-2-3	Estructura geológica	2.2- 9
Fig. 2-2-4	Modelo geoquímico del sistema hidrotermal	2.2-10
Fig. 2-2-5	Mapa resumen de las zonas permeables para gases del suelo	2.2-11
Fig. 2-2-6	Mapa de interpretación gravimétrica	2.2-12
Fig. 2-2-7	Mapa de interpretación magnetométrica	2.2-13
Fig. 2-2-8	Estructura resistiva de la zona somera	2.2-14
Fig. 2-2-9	Estructura resistiva de la zona profunda	2.2-15
Fig. 2-3-1	Diagrama de terminación del pozo AMJ-1	2.3- 6
Fig. 2-3-2	Diagrama de terminación del pozo AMJ-2	2.3- 7
Fig. 2-3-3	Diagrama de perforación del pozo AMJ-1	2.3- 8
Fig. 2-3-4	Diagrama de perforación del pozo AMJ-2	2.3- 9
Fig. 2-4-1	Columna geológica integrada del pozo AMJ-1	2.4-11
Fig. 2-4-2	Columna geológica integrada del pozo AMJ-2	2.4-12
Fig. 2-4-3	Correlación de las columnas geológicas	2.4-13
Fig. 2-4-4	Diagrama de entalpía versus Cl	2.4-14
Fig. 2-4-5	Registro de recuperación de temperatura del pozo AMJ-1: 1,700 m	2.4-15
Fig. 2-4-6	Perfiles de temperatura estática: Pozo AMJ-2	2.4-16
Fig. 2-4-7	Preparación del pozo para el método "James" de presión de labio	2.4-17
Fig. 2-4-8	Curva característica del pozo para la primera prueba de flujo en el pozo AMJ-1	2.4-18
Fig. 2-4-9	Curva característica del pozo para la segunda prueba de flujo en el pozo AMJ-1	2.4-19
Fig. 2-4-10	Curva característica del pozo para la primera prueba de flujo en el pozo AMJ-2	2.4-20
Fig. 2-4-11	Curva característica del pozo para la segunda prueba de flujo en el pozo AMJ-2	2.4-21
Fig. 2-5-1	Modelo estructural geotérmico (sección Horizontal)	2.5- 8
Fig. 2-5-2	Modelo estructural geotérmico (sección A-A')	2.5- 9
Fig. 2-5-3	Modelo estructural geotérmico (sección B-B')	2.5-10
Fig. 2-5-4	Modelo geoquímico del sistema hidrotermal	2.5-11

Fig. 3-1-1	Control de volúmenes y rejillas usadas para representar el reservorio de Amatitlán	3.1- 5
Fig. 3-1-2	Capas del control de volumen	3.1- 6
Fig. 3-1-3	Historial de producción y ajuste de entalpía del pozo AMF-1	3.1- 7
Fig. 3-1-4	Historial de producción de energía del pozo AMF-1	3.1- 8
Fig. 3-1-5	Historial de producción y ajuste de entalpía del pozo AMF-2	3.1- 9
Fig. 3-1-6	Historial de producción de energía del pozo AMF-2	3.1-10
Fig. 3-1-7	Historial de inyección del pozo AMF-3	3.1-11
Fig. 3-1-8	Escenarios para la explotación del reservorio de Amatitlán	3.1-12
Fig. 3-1-9	Plataformas de perforación y blancos de los pozos actuales y adicionales	3.1-13
Fig. 3-1-10	Escenario-1: resultados de la predicción de 20 MW	3.1-14
Fig. 3-1-11	Escenario-1: pronóstico de la producción de los pozos	3.1-15
Fig. 3-1-12	Escenario-2: resultados del pronóstico 20MW + 20 MW	3.1-16
Fig. 3-1-13	Escenario-2: pronóstico de la producción de los pozos-a	3.1-17
Fig. 3-1-14	Escenario-2: pronóstico de la producción de los pozos-b	3.1-18
Fig. 3-1-15	Escenario-3: resultados del pronóstico 40 MW	3.1-19
Fig. 3-1-16	Escenario-3: pronóstico de la producción de los pozos-a	3.1-20
Fig. 3-1-17	Escenario-3: pronóstico de la producción de los pozos-b	3.1-21
Fig. 3-2-1	Ruta de las tuberías de vapor y salmuera (fuera de la Caldera)	3.2- 4
Fig. 3-2-2	Ruta de las tuberías de vapor y salmuera (dentro de la Caldera)	3.2- 5
Fig. 3-2-3	Diagrama conceptual de la recolección de fluidos y sistema de reinyección (fuera de la Caldera)	3.2- 6
Fig. 3-2-4	Diagrama conceptual de la recolección de fluidos y sistema de reinyección (dentro de la Caldera)	3.2- 7
Fig. 3-2-5	Diseño de la planta generadora	3.2- 8
Fig. 3-2-6	Diagrama de balance de calor y masa	3.2- 9
Fig. 3-2-7	Diagrama unifilar	3.2-10
Fig. 3-2-8	Mapa de ruta de la línea de transmisión de 138kV	3.2-11
Fig. 3-2-9	Diagrama de la red de transmisión	3.2-12
Fig. 3-2-10	Cronograma de construcción (Caso 1)	3.2-13
Fig. 3-2-11	Cronograma de construcción (Caso 2)	3.2-14
Fig. 3-2-12	Cronograma de construcción (Caso 3)	3.2-15

## Tablas

Tabla 1-1-1	Programa de actividades en el año fiscal 2001	1- 4
Tabla 2-1-1	Precio Spot de la energía en el nodo de referencia (GUATEMALA SUR 230 KV) en US\$/MWh, Periodo del 01 al 31 de mayo, 2001	2.1-16
Tabla 2-1-2	Sistema nacional interconectado (SNI): capacidad instalada (Diciembre 2000)	2.1-17
Tabla 2-3-1	Distribución de tiempos del equipo en el pozo AMJ-1	2.3-10
Tabla 2-3-2	Distribución de tiempos del equipo en el pozo AMJ -2	2.3-11
Tabla 2-3-3	Equipo de perforación para el pozo AMJ-1	2.3-12
Tabla 2-3-4	Equipo de perforación para el pozo AMJ-2	2.3-13
Tabla 2-3-5	Datos de los registros de inclinación del pozo AMJ-1	2.3-14
Tabla 2-3-6	Datos de perforación direccional del AMJ-2	2.3-15
Tabla 2-3-7	Registro de las zonas de pérdida de circulación en el pozo AMJ-1	2.3-16
Tabla 2-3-8	Registro de las zonas de pérdida de circulación en el pozo AMJ -2	2.3-17
Tabla 2-3-9	Datos de hidrofracturamiento del pozo AMJ-1	2.3-18
Tabla 2-3-10	Datos de hidrofracturamiento del pozo AMJ-2	2.3-19
Tabla 2-3-11	Datos de cementación del pozo AMJ-1	2.3-20
Tabla 2-3-12	Datos de cementación del pozo AMJ-2	2.3-21
Tabla 2-3-13	Registro de barrenas del pozo AMJ-1	2.3-22
Tabla 2-3-14	Registro de barrenas del pozo AMJ-2	2.3-23
Tabla 2-3-15	Listado de materiales usados en el pozo AMJ-1	2.3-24
Tabla 2-3-16	Listado de materiales usados en el pozo AMJ-2	2.3-26
Tabla 2-4-1	Resultados de los análisis químicos e isotópicos de las muestras de agua caliente	2.4-22
Tabla 2-4-2	Resultados de los análisis químicos e isotópicos de las muestras de gas	2.4-23
Tabla 2-4-3	Resultados del ajuste de curva y propiedades hidráulicas en el pozo AMJ-1	2.4-24
Tabla 2-4-4	Resultados del ajuste de curva y propiedades hidráulicas en el pozo AMJ-2	2.4-24
Tabla 3-1-1	Propiedades físicas de los materiales en el modelo numérico	3.1-22
Tabla 3-2-1	Costo estimado del proyecto (Sitio de Planta I, fuera de la caldera)	3.2-16
Tabla 3-2-2	Costo estimado del proyecto (Sitio de Planta II, dentro de la caldera)	3.2-17
Tabla 3-3-1	Comparación de las emisiones totales de H <sub>2</sub> S con las de otras plantas existentes	3.3- 6
Tabla 3-4-1	Costo de construcción por kW unitario y costo de generación	3.4- 2
Tabla 3-4-2	Costo del proyecto	3.4- 2
Tabla 3-4-3	Plazo del préstamo	3.4- 3
Tabla 3-4-4	TIRF	3.4- 3
Tabla 3-4-5	Ganancia acumulada	3.4- 4





# **1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

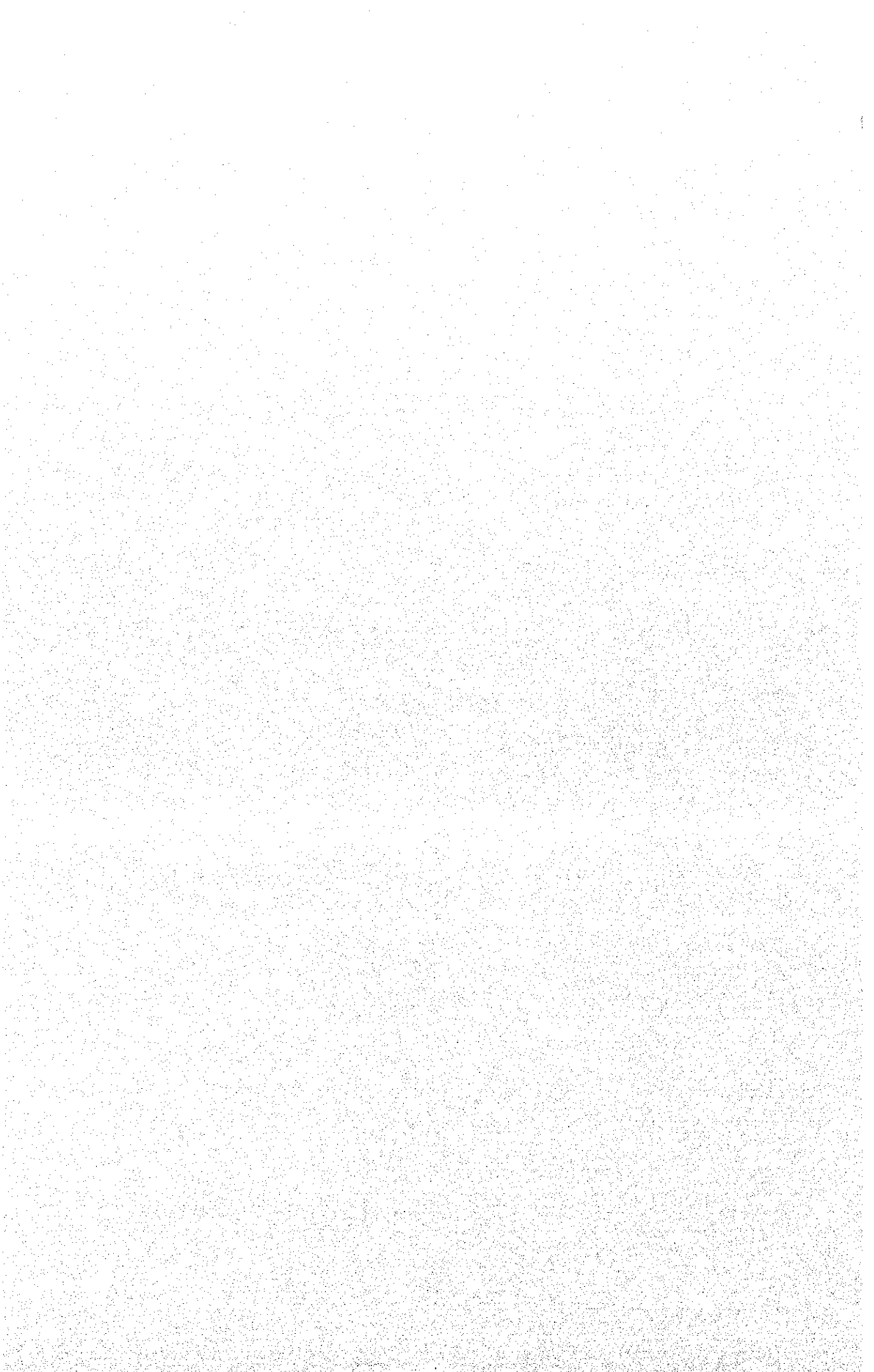
**1.1 Antecedentes**

**1.2 Objetivos del Estudio**

**1.3 Descripción del Estudio y Contenido de trabajo de  
cada etapa**

**1.4 Equipo de Estudio**

**1.5 Agradecimientos**



# 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

## 1.1 ANTECEDENTES

En septiembre de 1997, el Gobierno de Guatemala solicitó al Gobierno de Japón, a través de su Embajada en Guatemala, asistencia técnica para definir la extensión del campo geotérmico de Amatitlán. Esta asistencia sería proporcionada al Instituto Nacional de Electrificación (INDE) incluyendo la recomendación del esquema operativo más adecuado para instalar una planta geotermoelectrica, con el propósito de explotar el recurso geotérmico en este campo.

En mayo de 1998, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA por sus siglas en inglés) y el INDE suscribieron un acuerdo y llenaron la solicitud para el presente proyecto llamado "**Proyecto de Desarrollo Geotérmico de Amatitlán**", siendo así oficialmente aceptado. Los estudios se iniciaron en septiembre de 1998.

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo del presente estudio es determinar la extensión del campo geotérmico de Amatitlán y asesorar, desde el punto de vista técnico, económico y financiero, su viabilidad para explotar de una forma sostenible los recursos geotérmicos con fines de generación de energía eléctrica. Adicionalmente, otro objetivo importante de la presente Cooperación Técnica, fue el de proporcionar entrenamiento técnico "durante el trabajo" al personal del INDE y la transferencia de tecnología.

## 1.3 DESCRIPCION DEL ESTUDIO Y CONTENIDO DE TRABAJO DE CADA ETAPA

### 1.3.1 DESCRIPCION DEL ESTUDIO

El plan básico para el proyecto fue acordado el 18 de mayo de 1998, entre el Ministerio de Energía y Minas, el Instituto Nacional de Electrificación y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón. La estructura detallada y los contenidos fueron definidos en los Términos de Referencia publicados el 17 de julio de 1998.

Las actividades del proyecto, las cuales incluyeron la perforación de dos pozos exploratorios, fueron originalmente acomodadas en tres etapas. Cada una de ellas se programó para ser llevada a cabo durante los años fiscales japoneses de 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Sin embargo, durante la ejecución de la Etapa -1, el cronograma para el proyecto se modificó para permitir que la perforación del primer pozo se realizara durante el Año Fiscal 1999, posponiendo la perforación del segundo pozo para el Año Fiscal 2000.

- i) ETAPA-1: Etapa de Reconocimiento Preliminar (Año Fiscal 1998)
  - i-1 Preparación en Japón (Reporte Inicial y Preparación de Logística de Campo)
  - i-2 Primer Periodo de Servicios en Guatemala (Misión de Enfoque y Estudio Geocientífico de Campo)
  - i-3 Primer Periodo de Servicios en Japón (Integración de Procesamiento de Datos y Preparación para la Perforación)
  - i-4 Segundo Periodo de Servicios en Guatemala (Reporte de Avance y Presentación de Resultados)

- ii) ETAPA-2: Etapa de Estudios a Detalle (Año Fiscal 1999)
  - ii-1 Segundo Periodo de Servicios en Japón (Documento de licitación, Borrador del Contrato)
  - ii-2 Tercer Periodo de Servicios en Guatemala (Licitación, perforación de un pozo vertical, aprobación de la profundidad total, pruebas de terminación del pozo, geología de pozo).
  - ii-3 Tercer periodo de servicios en Japón: Reporte de Avance
- iii) ETAPA-3: Etapa de Estudio a Detalle (Año Fiscal 2000)
  - iii-1 Cuarto periodo de servicios en Guatemala (Licitación para los trabajos de perforación, Prueba de producción del pozo No.1 y Seminario Técnico en Guatemala, Perforación del pozo No.2 y su prueba de terminación del pozo, Pruebas de producción de los pozos No.1 y No.2, Geología del pozo No. 2, Estudios Ambientales)
  - iii-2 Cuarto periodo de Servicios en Japón (Análisis de datos, asesoría sobre el recurso, estudio de optimización del tamaño y diseño básico de la planta generadora, Reporte Intermedio)
  - iii-3 Quinto periodo de servicios en Guatemala (Presentación del Reporte Intermedio, Seminario Técnico en Guatemala, Recolección de Datos para el Estudio de Factibilidad)
- iv) ETAPA-4: Etapa de Estudio de Factibilidad (Año Fiscal 2000)
  - iv-1 Quinto periodo de servicios en Japón (Esquema de explotación, estudio de factibilidad y borrador del reporte final)
  - iv-2 Sexto Periodo de Servicios en Guatemala (Presentación del Borrador del Reporte Final)
  - iv-3 Sexto Periodo de Servicios en Japón (Reporte Final)

### 1.3.2 Descripción de los Servicios para el Año Fiscal 2001 (Estudio de Factibilidad)

Referirse a la Tabla 1-1-1.

#### 1. Quinto Periodo de Servicios en Japón:

- \*Análisis de los datos adquiridos en Guatemala y pronóstico de la respuesta del reservorio
- \*Diseño de las instalaciones de generación
- \*Plan de construcción de la planta generadora
- \*Cálculo del costo de construcción
- \*Estudio de impacto Ambiental
- \*Evaluación económica y financiera
- \*Integración, consideraciones y recomendaciones
- \*Preparación del borrador del Reporte Final

#### 2. Sexto Periodo de Servicios en Guatemala)

El equipo de JICA explicará y discutirá el borrador del Reporte Final con el personal de la contraparte guatemalteca y tomará nota de sus comentarios.

- \*Explicación y discusión del borrador del Informe Final

### 3. Sexto Periodo de Servicios en Japón

De acuerdo con los comentarios de la contraparte guatemalteca, el borrador del Reporte Final se revisará y si es necesario se modificará y se preparará la versión final del mismo.

\*Preparación del Informe Final

#### 1.4 EQUIPO DE ESTUDIO

De acuerdo con el alcance del trabajo, las siguientes organizaciones estuvieron a cargo del estudio.

- Japón** : Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)  
West Japan Engineering Consultants, INC. (Equipo de JICA)
- Guatemala** : Ministerio de Energía y Minas  
Instituto Nacional de Electrificación (INDE)

El equipo de JICA y el INDE proporcionaron el siguiente personal para llevar a cabo el estudio.

##### **Equipo de JICA**

Director del Proyecto	Toshio FUJINO
Ingeniero de Reservorios	Enrique LIMA
Ingeniero de Reservorios	Tetsuya YAHARA
Ingeniero Eléctrico	Kenji SAKEMURA
Ingeniero Mecánico	Takeshi YAMAMOTO
Ingeniero Ambientalista	Kazuo HIROWATARI
Economista	Kenji FUJII

##### **INDE**

Director General	Ing. Julio Palma Ayala
Geólogo	Ing. Victor Ortiz Corzo
Geoquímico	Ing. Alfredo Roldan Manzo
Geofísico	Dr. Juan Pablo Ligorria
Ingeniero Civil	Ing. Juan Torres Bernades
Ingeniero de Reservorios	Ing. Haroldo Cuevas

#### 1.5 AGRADECIMIENTOS

El equipo de JICA quiere expresar sus sinceros agradecimientos por el apoyo y asistencia proporcionado por el Ministerio de Energía y Minas -MEM-, el Instituto Nacional de Electrificación, la Embajada de Japón y la Oficina de JICA en Guatemala.

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

Activities	2001 Fiscal Year											
	Fiscal year Month	7	8	9	10	11	12	1				
<b>3. Feasibility Study Stage</b>												
(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						
(3) 6th Term of Services in Japan												
①Preparation of the Final Report										△	△	F/R

Legend :  Work in Guatemala  Work in Japan  Report  Report

## **2 RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN AÑOS ANTERIORES**

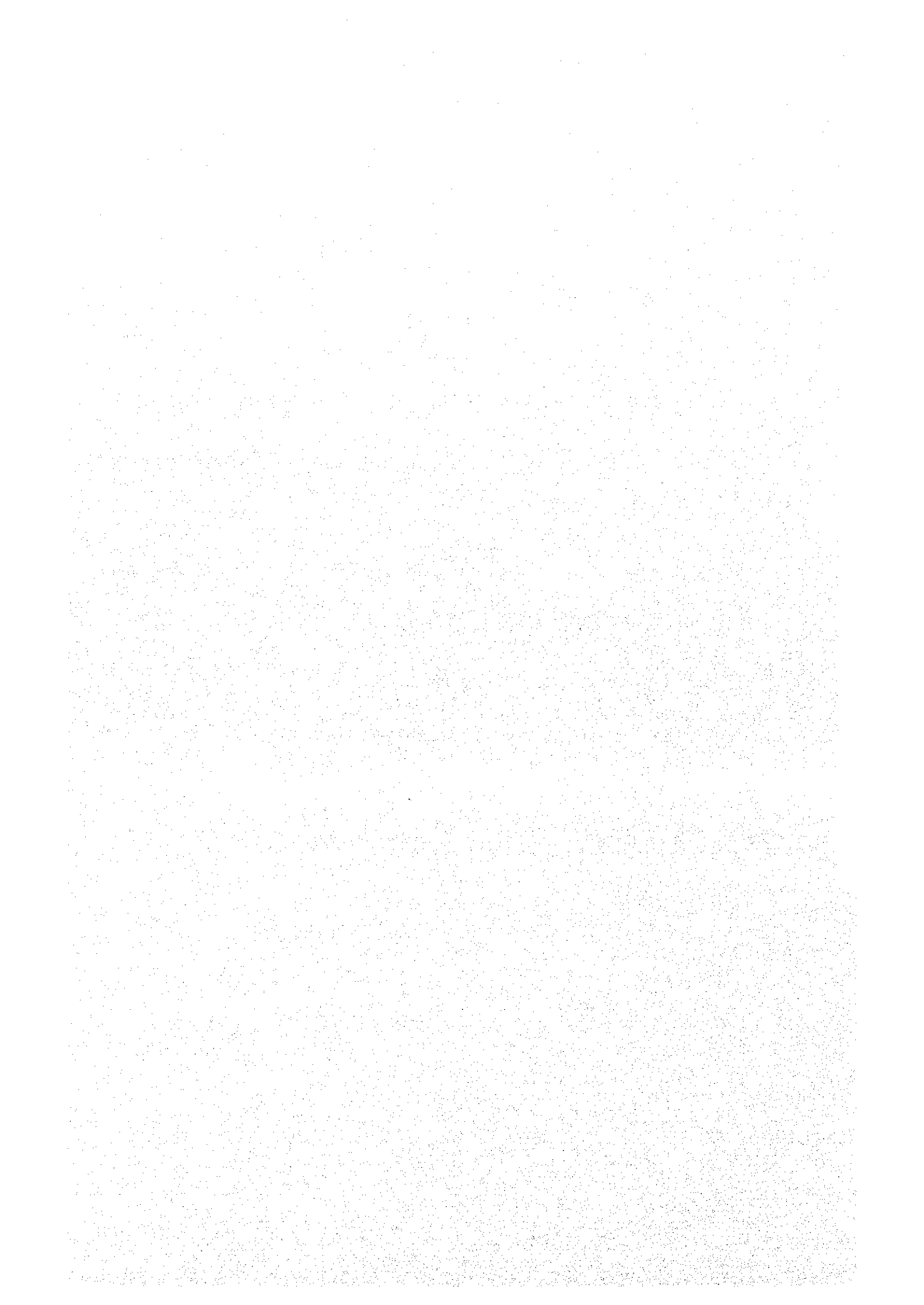
**2.1 El Proyecto Geotérmico de Amatitlán dentro del  
Sector Eléctrico de Guatemala**

**2.2 Estudios Geocientíficos**

**2.3 Perforación de pozos exploratorios**

**2.4 Estudios en los pozos**

**2.5 Modelo Conceptual Geotérmico**





## **2.1 El Proyecto Geotérmico de Amatitlán dentro del Sector Eléctrico de Guatemala**

- 2.1.1 Perfil del Sector Eléctrico de Guatemala**
- 2.1.2 El Sistema de Generación**
- 2.1.3 El Sistema de Transmisión**
- 2.1.4 El Sistema de Distribución**
- 2.1.5 Proyección de la demanda para el SNI**
- 2.1.6 Aspectos Económicos y Políticos Actuales**
- 2.1.7 Situación Política**
- 2.1.8 Acciones para mejorar la cobertura y asegurar el suministro de energía**
- 2.1.9 Alternativas para la generación de energía en Guatemala**
- 2.1.10 Observaciones Concluyentes**



## **2. RESUMEN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN AÑOS ANTERIORES**

### **2.1 EL PROYECTO GEOTÉRMICO DE AMATITLÁN DENTRO DEL SECTOR ELÉCTRICO DE GUATEMALA**

El éxito del desarrollo geotérmico para la producción de electricidad en Amatitlán dependerá no solamente de la cantidad y la calidad del recurso geotérmico sino también dependerá de factores, tales como los mencionados a continuación, los cuales influenciarán la economía y operación de las instalaciones.

- La estructura del sector eléctrico de Guatemala y sus tendencias de evolución,
- Suministro y demanda de Potencia actuales y futuras
- Políticas futuras del gobierno para lograr una respuesta adecuada (pública y privada) a la demanda de potencia

Participación de alternativas para una mezcla balanceada de energía en la satisfacción de la demanda de potencia.

#### **2.1.1 Overview of the electric sector of Guatemala**

##### **1. La Ley General de electricidad**

El Gobierno de Guatemala emitió tres decretos dentro de los cuales el Sector Eléctrico del país ha sido reformado. Las reformas se iniciaron el 15 de noviembre de 1996, cuando la Ley General de Electricidad (de aquí en adelante "la Ley"), Decreto No. 93-96 fue emitido para proporcionar el marco general de la estructura actual del sector. Para proporcionar medidas que reforzaran la Ley, el Gobierno emitió el Decreto Regulator el 2 de Abril de 1997 (Decreto No. 256-97). Estos dos decretos establecieron las reglas para que entidades públicas y privadas participaran y negociaran en la generación, transmisión y distribución de electricidad en la República de Guatemala. Al mismo tiempo, estos dos decretos establecieron reglas para mejorar el servicio y proteger a los consumidores. El 1 de Junio de 1998 fueron emitidas las Leyes Regulatorias del Mercado Mayorista para completar las reglas y el marco dentro del cual se establece el Sector Eléctrico de Guatemala.

La Ley creó el Mercado Mayorista para integrar todas estas actividades bajo dos preceptos básicos:

- Libertad para construir y operar instalaciones energéticas y

Libre competencia para colocar la energía generada en el Mercado sobre la base de libertad para establecer el precio de la misma.

El Ministerio de Energía y Minas de Guatemala es el responsable de la planificación y coordinación de las políticas del sector eléctrico. Para controlar y ejercer las actividades reguladoras, la Ley creó la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, (CNEE). Para realizar el despacho y el manejo del sector energético en general, la Ley y sus reglamentos crearon el Administrador del Mercado Mayorista, (AMM). Estas relaciones se describen en la Figura 2-1-1-a..

**2. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)**

- La misión de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica es crear el ambiente para la clara y libre participación de cualquier entidad (individual o jurídica) en la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en Guatemala.

**3. Administrador de Mercado Mayorista (AMM)**

El artículo 44 de la Ley establece la creación del Administrador del Mercado Mayorista, una entidad no lucrativa, responsable de:

- Coordinación del despacho de todas las plantas generadoras conectadas al Sistema Nacional Interconectado (SNI), coordinación de las exportaciones e importaciones internacionales y coordinación del sistema nacional de transmisión para asegurar el suministro de electricidad en Guatemala al mínimo costo,
- Asegurar la libre contratación entre los diferentes agentes del sector eléctrico para negociar la energía y asegurar una indiscriminada transmisión y distribución de la electricidad.
- Establecer contratos en el Mercado regulado para el suministro en el corto plazo de energía y potencia.
- Asegurar y garantizar el suministro de energía eléctrica en la República de Guatemala.

El AMM es una entidad privada formada por representantes de los siete agentes del sector eléctrico de Guatemala (gubernamentales y privados);

- Generación de electricidad (aquellos con potencia mayor de 10 MW),
- Transmisión de electricidad (aquellos que tengan Potencia contratada

> 10 MW),

- Distribución de electricidad (aquellos que tengan más de 20,000 consumidores),
- Comercializadoras (aquellas con potencia contratada > 10 MW),
- Grandes consumidores (> 100kW),
- Importadores (manejan más de 10 MW),
- Exportadores (manejan más de 10 MW).

#### 4. Operaciones del Mercado Mayorista

Una característica peculiar del Mercado de electricidad en Guatemala es el Mercado separado de potencia y energía. Esto es debido a que en la Ley, las tres actividades principales, generación, transmisión y distribución fueron separadas y porque para ser acreditado como un agente distribuidor o como agente comercializador (incluyendo importadores y exportadores), la Ley impone la necesidad de asegurar, a través de contratos un mínimo de 10 MW de potencia. Por lo tanto, las empresas generadoras establecen contratos con los distribuidores y/o los comercializadores, para proporcionarles la potencia ellos necesitan estar acreditados por la Ley y separadamente estos agentes generadores pueden vender su energía a través de contratos con otros agentes o consumidores (ver Fig. 2-1-1-b).

La potencia se vende en rangos entre 10 y 12 \$/kW-mes para el caso de generación térmica y en rangos entre 15 y 18 \$/kW-mes para energía hidráulica. Los precios son determinados para cubrir la amortización al capital entre 8 y 10 años con una tasa de descuento de 10% y un periodo de gracia de 1 año para las plantas térmicas y 3 años para las plantas hidráulicas. No hay nada previsto específicamente para el caso de la energía geotérmica pero se dice que lo previsto para plantas hidráulicas podría aplicarse para todas las otras de fuentes renovables.

Las empresas Distribuidoras y las Comercializadoras compran energía (\$/kWh) del mercado mayorista a través de Contratos de Compra de Potencia (PPA) con otros agentes o en el mercado spot (también llamado mercado de oportunidad).

Es en el Mercado spot donde los generadores compiten con sus precios de energía. Los generadores presentan cada semana al AMM el total de

suministros pretendidos y los costos variables esperados para la energía que pretenden colocar en el mercado spot. Con esta información, el AMM programa los despachos semanales.

Para ejecutar el programa, el AMM distribuye la energía en contratos entre agentes (donde los precios ya han sido acordados). Para suministrar el resto de la demanda, los precios de generación (costos variables de los generadores) se revisan cada hora y la energía se despacha en su orden del más barato al más caro en esa hora. La Tabla 2-1-1 muestra el precio promedio horario de la energía en el Mercado spot en la subestación “Guatemala Sur” para el mes de Mayo de 2001.

La energía se coloca tanto en el Mercado Regulado como en el No Regulado.

a. Mercado No Regulado

Los generadores pueden negociar su potencia y energía disponibles con los grandes consumidores (aquellos que consumen arriba de 100kW). Los contratos son privados y el gobierno no tiene injerencia en sus términos. Los precios de la energía pueden ser tan bajos como US\$ 0.020/kWh

b. El mercado regulado

Este Mercado es para consumidores de menos de 100 kW, municipalidades y gobierno. La CNEE supervisa y controla la tarifa eléctrica (precio de venta por kWh a los consumidores). La tarifa eléctrica se establece de tal forma que traslade el costo del combustible a los consumidores.

El gobierno a través de INDE subsidia el Mercado regulado (la llamada Tarifa Social). El precio sin subsidio al consumidor fue de 1.19 Q/ kWh, (a una tasa de cambio de 7.85 Q/\$ este precio equivale a 0.15\$/kWh), mientras que el precio subsidiado fue de 0.78 Q/kWh (0.094 \$/kWh a la misma tasa de cambio).

5. Comercialización de Electricidad y Servicios Complementarios

La comercialización de energía eléctrica y los servicios complementarios necesarios para la operación total del Mercado Mayorista ha creado tres diferentes mercados.

- El Mercado Spot (Oportunidad)
- El Mercado de Contratos a término

- El Mercado Variable

### **2.1.2 El Sistema de Generación**

El sistema de generación se conforma con todas las instalaciones de generación públicas y privadas. INDE representa al sector público. El sector privado esta representado por empresas con Contratos de Conversión de Energía (ECA's) firmados con INDE, empresas con Contratos de Compra de Potencia (PPA's) firmados con otros agentes y empresas operando como plantas mercantes. Fig. 2-1-2 muestra la inter-relación entre el sistema de generación y los otros agentes del sector eléctrico en Guatemala. La Tabla 2-1-2 muestra en detalle la composición del sistema de generación

### **2.1.3 El Sistema de Transmisión**

El sistema de transmisión es parte del Gobierno de Guatemala a través del INDE. La Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica, ETCEE del INDE, es la encargada de la transmisión de electricidad en Guatemala. EEGSA opera su propio sistema de transmisión en la parte central de Guatemala. (Fig. 2-1-3).

### **2.1.4 El sistema de distribución**

El sistema de distribución cambió cuando la EEGSA fue privatizada y separada en dos empresas, una de distribución y una de generación. Lo que correspondía a toda la generación de la antigua EEGSA fue vendido a Constellation de USA y la distribución a Iberdrola de España. La nueva EEGSA suministra a la ciudad capital y a las áreas en sus alrededores. Los sistemas de distribución y las áreas de servicio de INDE fueron vendidos a Unión Fenosa de España. El área de servicio de Unión Fenosa está dividida en las áreas oriental y occidental ver Fig. 2-1-4.

### **2.1.5 Proyección de la demanda para el SNI**

El crecimiento de la capacidad instalada en el sector eléctrico de Guatemala ha sido uno de los más altos en Centro América. Las condiciones del mercado y sus características han servido de incentivo para el sector privado. Recientemente se ha observado una pequeña baja, debido a la incertidumbre en los sistemas político y económico y a la variación en los precios de los combustibles fósiles. No obstante, en términos globales, el crecimiento ha sido positivo. La Figura 2-1-5 presenta la tasa de crecimiento en la capacidad instalada hasta el año 2000.

### **2.1.6 Aspectos económicos y políticos actuales.**

Alfonso Portillo del partido político Frente Republicano Guatemalteco (FRG) fue investido como Presidente de Guatemala a mediados de Enero de 2000. Dentro de la política económica propuso un presupuesto que podría incrementar los impuestos, adicionalmente a otras medidas, para reducir el déficit fiscal. El presupuesto que fue eventualmente aprobado, utiliza recorte en los gastos y ganancias de las privatizaciones para reducir el déficit fiscal del país. Algunos indicadores económicos han mejorado en los meses recientes, con tasas de interés más bajas y menos volátiles, la inflación está bajo control, y la moneda local, el Quetzal, está más fuerte.

### **2.1.7 Situación Política**

La actual administración es la quinta administración civil en línea. Esta continuidad permite al inversionista privado sentirse relajado en cuanto a las leyes y la propiedad privada. Esta circunstancia y el final de la guerra fría liberaron capitales que han fluído al mundo en desarrollo.

La aprobación de leyes como la Ley General de Electricidad y la visión de administradores responsables en el pasado abrieron las puertas al flujo de capitales para edificar una nueva infraestructura. Desde 1991 este flujo de capital es evidente en la construcción de edificios, supermercados, nuevas carreteras, etc.. Este crecimiento continuado promoverá aun más las necesidades de infraestructura eléctrica adicional

### **2.1.8 Acciones para mejorar la cobertura y asegurar el suministro de energía**

#### **1. Electrificación Rural**

El objetivo del gobierno de Guatemala es de incrementar la cobertura de la electrificación hasta el 90% en el año 2004 y hasta 96% en el año 2006.

#### **2. Utilización de Recursos Renovables**

El reciente crecimiento en la capacidad instalada ha sido principalmente a través de la inversión privada en instalaciones energéticas que funcionan con combustibles fósiles. Más del 50% de la demanda es satisfecha por plantas que queman combustibles fósiles. Las alternativas de combustibles fósiles, a pesar de tener un costo y tiempo de instalación comparativamente más baratos, representan una mezcla no balanceada de energía. Guatemala



depende excesivamente de combustibles importados. Para mantener el crecimiento proyectado de la economía, Guatemala deberá reducir esta dependencia y promover el uso de recursos domésticos.

El Ministro de Energía y Minas está promoviendo un decreto que contenga incentivos fiscales, financieros y administrativos. A la fecha de escribir este informe, este decreto ha sido enviado para su discusión al Congreso de la República.

El estado de Guatemala es propietario absoluto de los recursos naturales. Sin embargo, para utilizar y desarrollar estos recursos naturales, la Ley General de Electricidad permite concesiones temporales. Las concesiones pueden ser dadas por el Ministerio de Energía y Minas, a empresas públicas o privadas. En el caso de la geotermia, un máximo de 10,000 km<sup>2</sup> pueden darse en concesión para exploración y 100 km<sup>2</sup> para explotación. En el caso de empresas privadas con un máximo de 5 MW no se requiere una concesión especial. La Ley General de Electricidad estipula un máximo de un año para empresas públicas o privadas para determinar el potencial geotérmico..

### **2.1.9 Alternativas para la generación de energía en Guatemala**

#### **1. Alternativas Geotérmicas**

Guatemala es bendita en recursos geotérmicos, de norte a sur, San Marcos, Zunil-I, Zunil-II, Totonicapán, Atitlán, Valle del Michatoya, Palencia, Tecuamburro, Moyuta y Laguna de Retana son áreas geotérmicas adicionales a la de Amatitlán donde Guatemala puede extraer mucha de la energía que el país necesita. Todas estas áreas están relacionadas con el volcanismo activo y con fuertes fracturas tectónicas. Dependiendo del éxito de los esfuerzos para lograr la Ley de Incentivos Fiscales, el desarrollo geotérmico de 20 a 50 MW puede ser competitivo y llenar un vacío en el suministro futuro de energía.

#### **2. Alternativas no geotérmicas**

Varios inversionistas privados se han dedicado al desarrollo de pequeñas a medianas hidroeléctricas aprovechando los recursos hidráulicos. Sin embargo, este recurso natural es altamente dependiente del ciclo hidrológico y hace su factor de planta muy bajo.

El gas natural representa una alternativa rápida muy competitiva para el

desarrollo geotérmico en Guatemala. Hasta hace poco había un plan para entubar gas natural desde Méjico. Sin embargo, la situación política y económica en Méjico a retrasado las inversiones y ahora Méjico es un importador neto de gas natural desde USA. Pareciera que la alternativa de entubar el gas desde Méjico no representará un competidor serio para el desarrollo geotérmico en Guatemala.

#### **2.1.10 Observaciones concluyentes.**

- 1) Los cambios en el sector eléctrico de Guatemala han sido orientados a promover de desmonopolización y una adecuada participación del sector privado
- 2) Las instituciones civiles y gubernamentales prevalecen. Aunque la democracia es aun joven en términos generales, no hay confianza en la situación política.
- 3) Hay experiencia y confianza en Guatemala para manejar la participación privada no solo en el sector energético sino también en otros sectores de la sociedad. La confianza se refleja en las inversiones considerables realizadas a la fecha.
- 4) El estado de Guatemala mantendrá su presencia en el sector eléctrico a través de las empresas de generación y transmisión subsidiarias del INDE hasta que la decisión de vender estas empresas al sector privado se ejecuten.
- 5) La determinación de las autoridades del sector eléctrico para incorporar las áreas rurales a la red podría promover un incremento en la demanda a los niveles proyectados en el Escenario de Demanda Alta.
- 6) De acuerdo con la experiencia del Mercado Mayorista de Guatemala, el precio pagado por la energía (de US\$0.02 hasta US\$0.10 por KWh) permite llevar a cabo inversiones con una tasa interna de retorno atractiva a niveles internacionales.
- 7) Para plantas de baja capacidad, menos de 50 MW utilizando recursos renovables tales como la geotermia, estos precios variables podrían demorar su participación competitiva en el Mercado Mayorista, pero la emisión de la Ley de Incentivos Fiscales hará competitivos los recursos para la inversión.
- 8) Entre las alternativas para llenar el vacío en el suministro de energía con recursos renovables, la geotermia es la mejor
- 9) La planta La Laguna se retiró en Agosto, 2001. Por lo tanto, un desarrollo geotérmico en Amatitlán (Laguna de Calderas) podría representar un gran interés de Constellation para comprar potencia y/o energía para sustitución.

10) Unión Fenosa de España, obtuvo con INDE un contrato de 240 MW el cual expira en Diciembre de 2003. Este distribuidor podría estar interesado en comprar tanto potencia como energía de un eventual desarrollo del proyecto en Amatitlán.

11) Con cualquiera de los escenarios (bajo, mediano o alto) que se presenten en el futuro, 20 MW o aun 50 MW geotérmicos en Amatitlán conectados a la red serán fácilmente absorbido por el sistema como carga base.

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

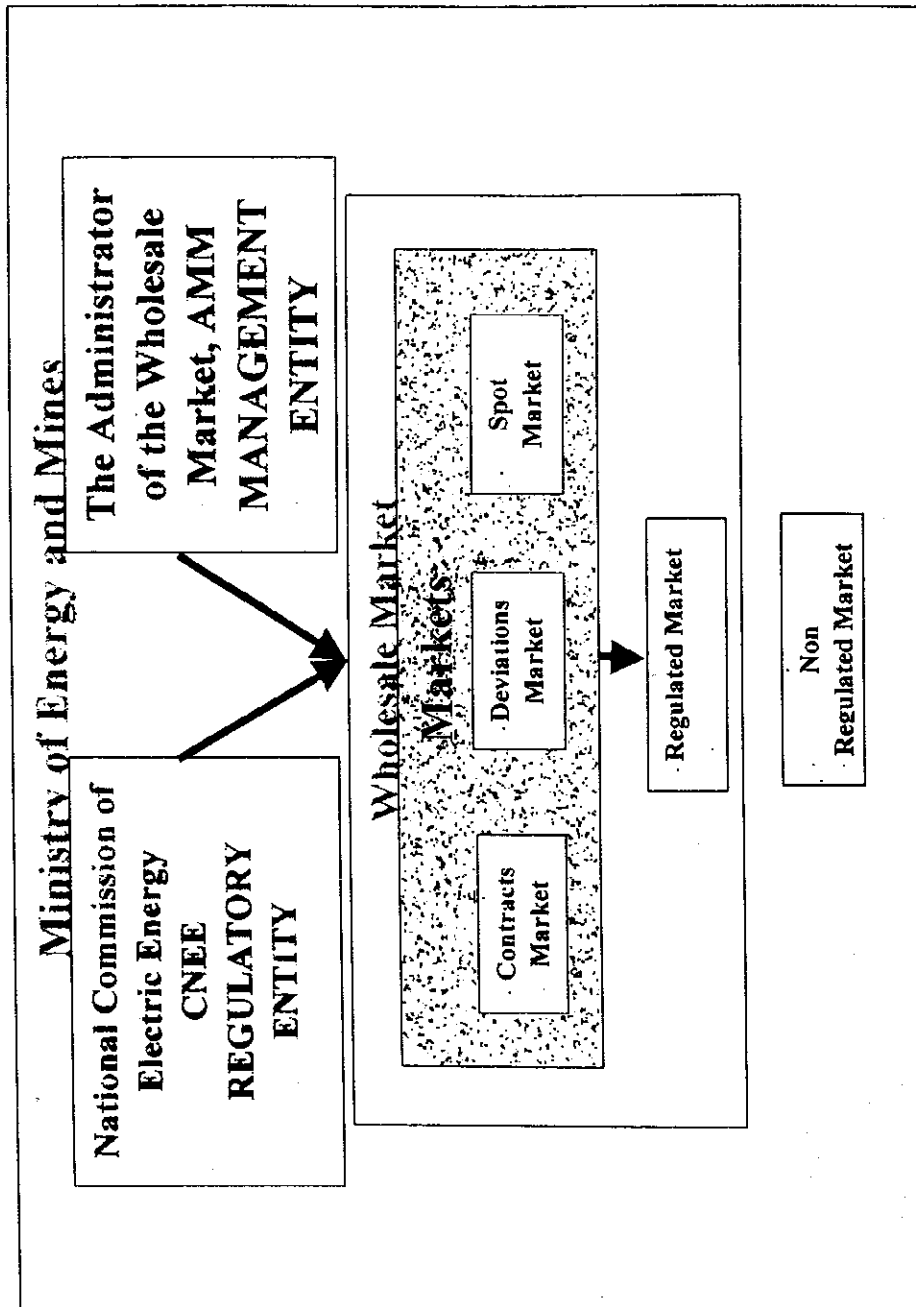
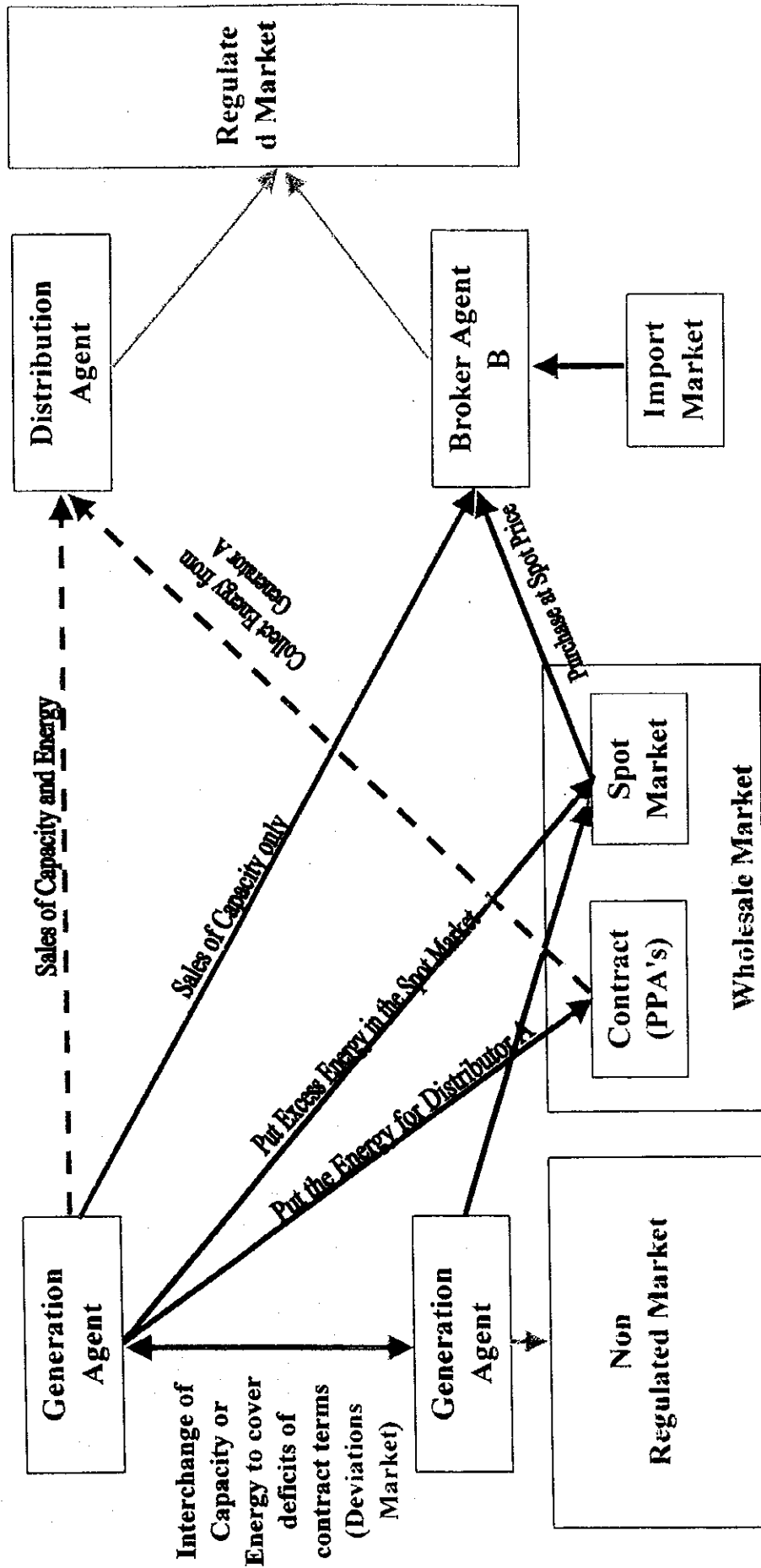


Fig. 2-1-1(b) Markets of the Guatemalan Power Sector  
 グアテマラ電力産業の市場構造



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

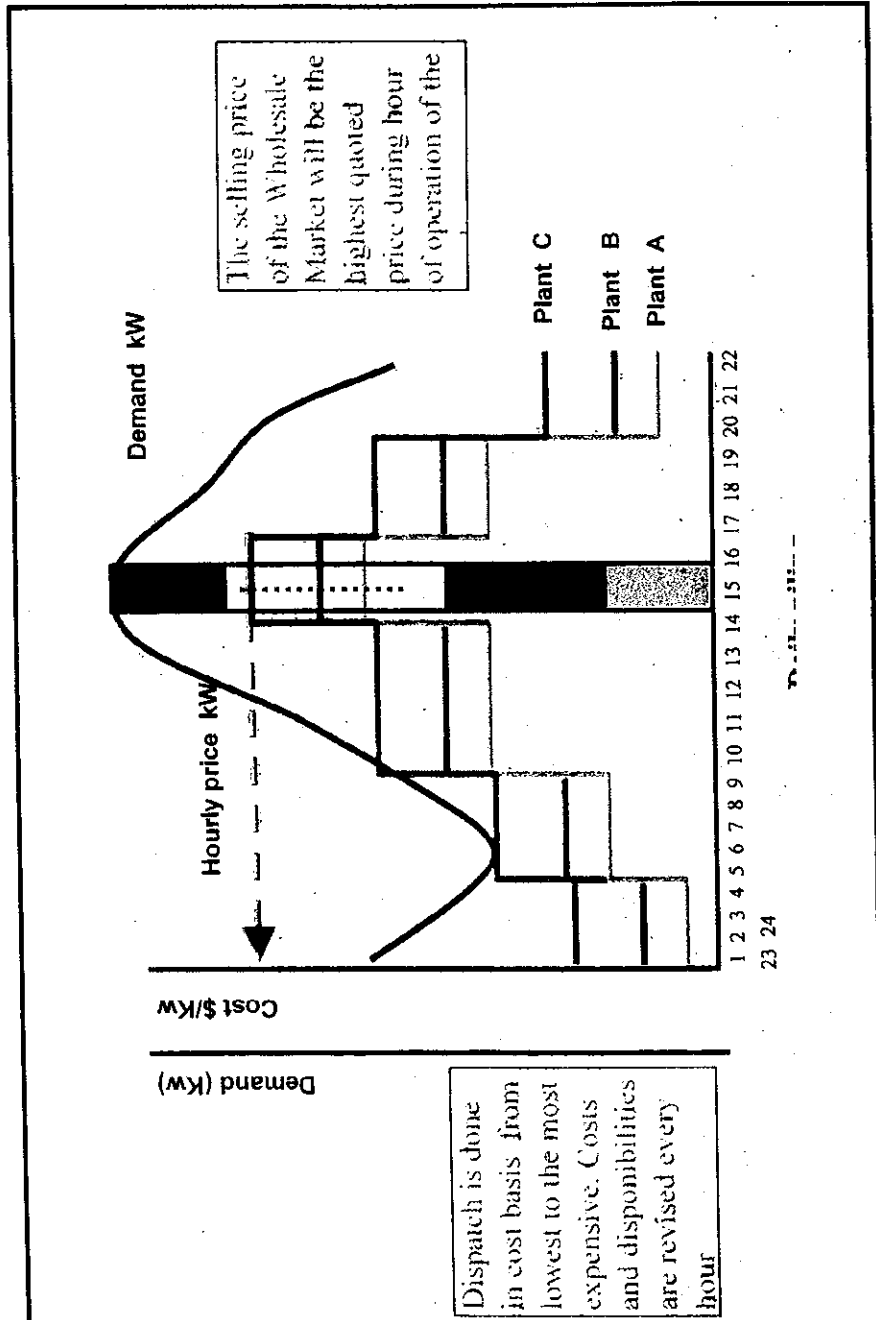




Fig. 2-1-3 Structure of the Electricity Supply in Guatemala  
 グアテマラ国内の電力供給システム

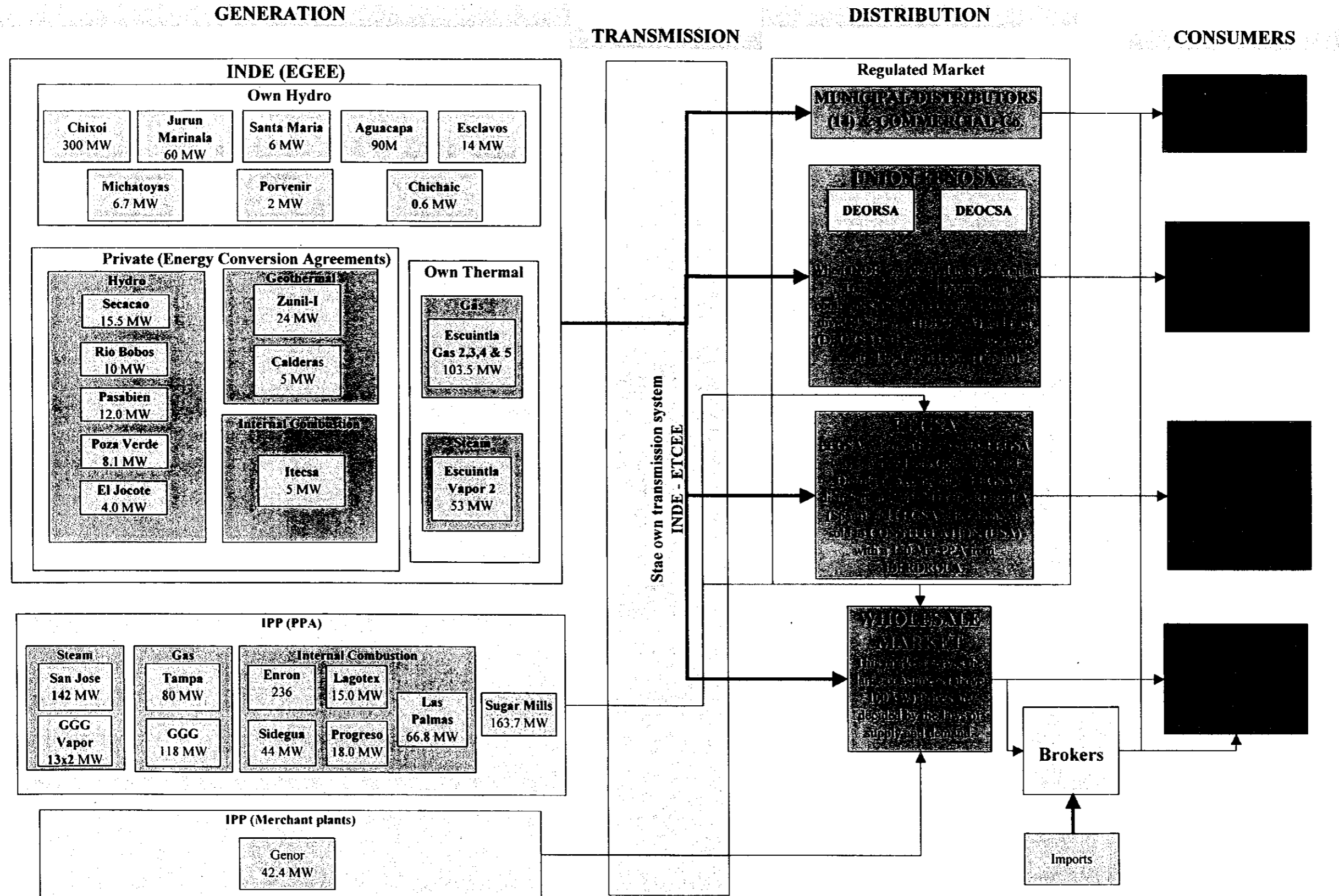
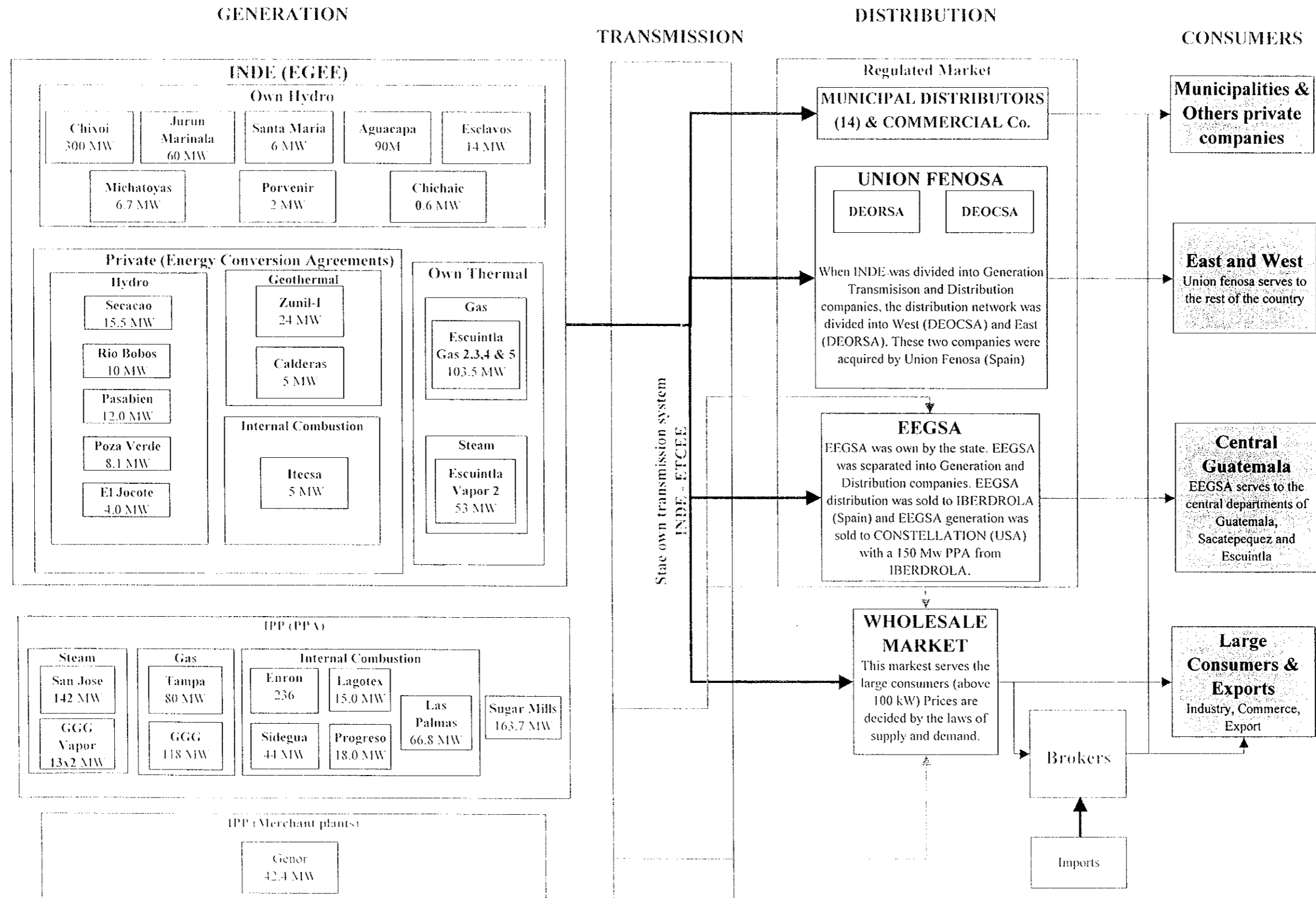




Fig. 2-1-3 Structure of the Electricity Supply in Guatemala  
 グアテマラ国内の電力供給システム



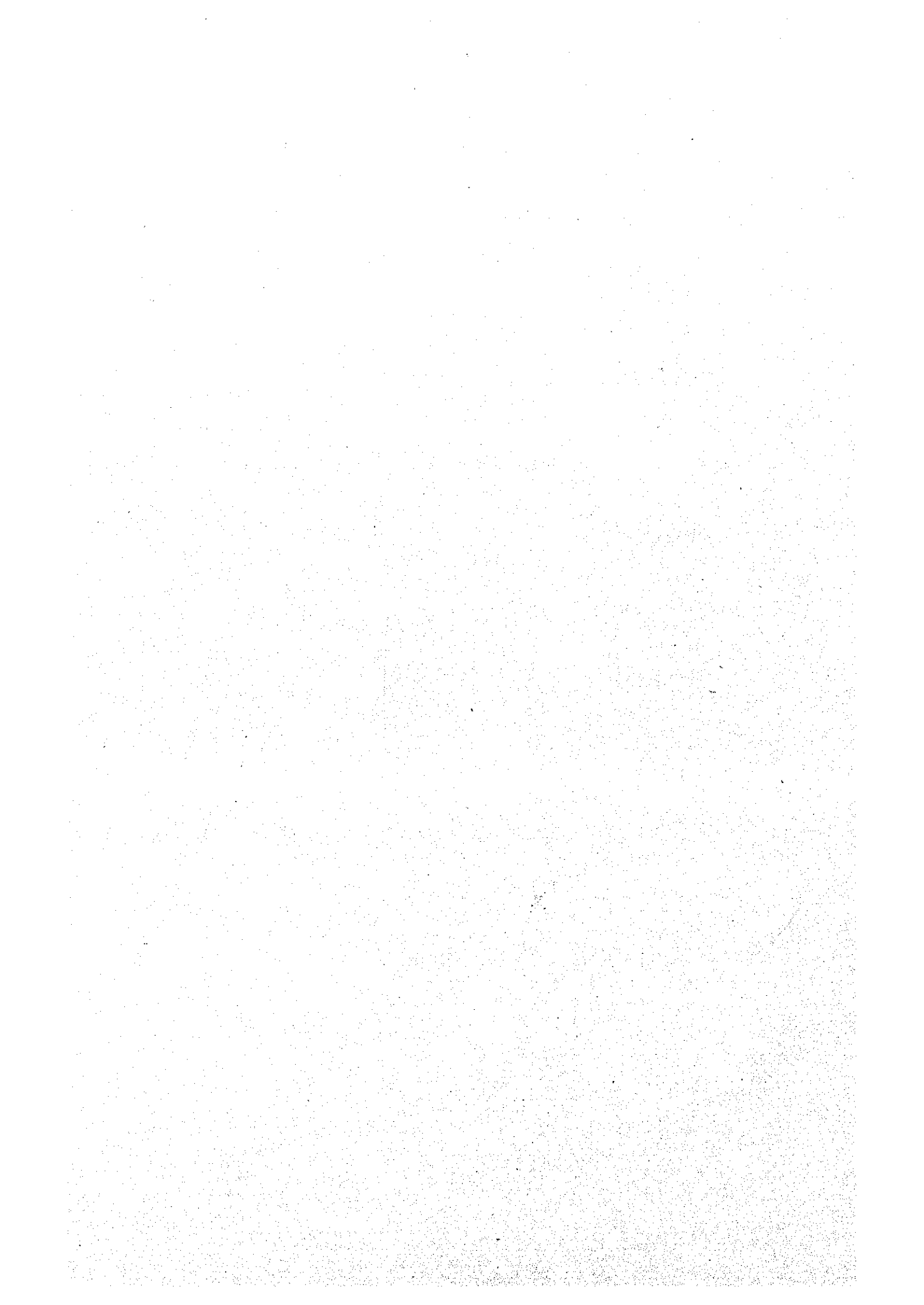
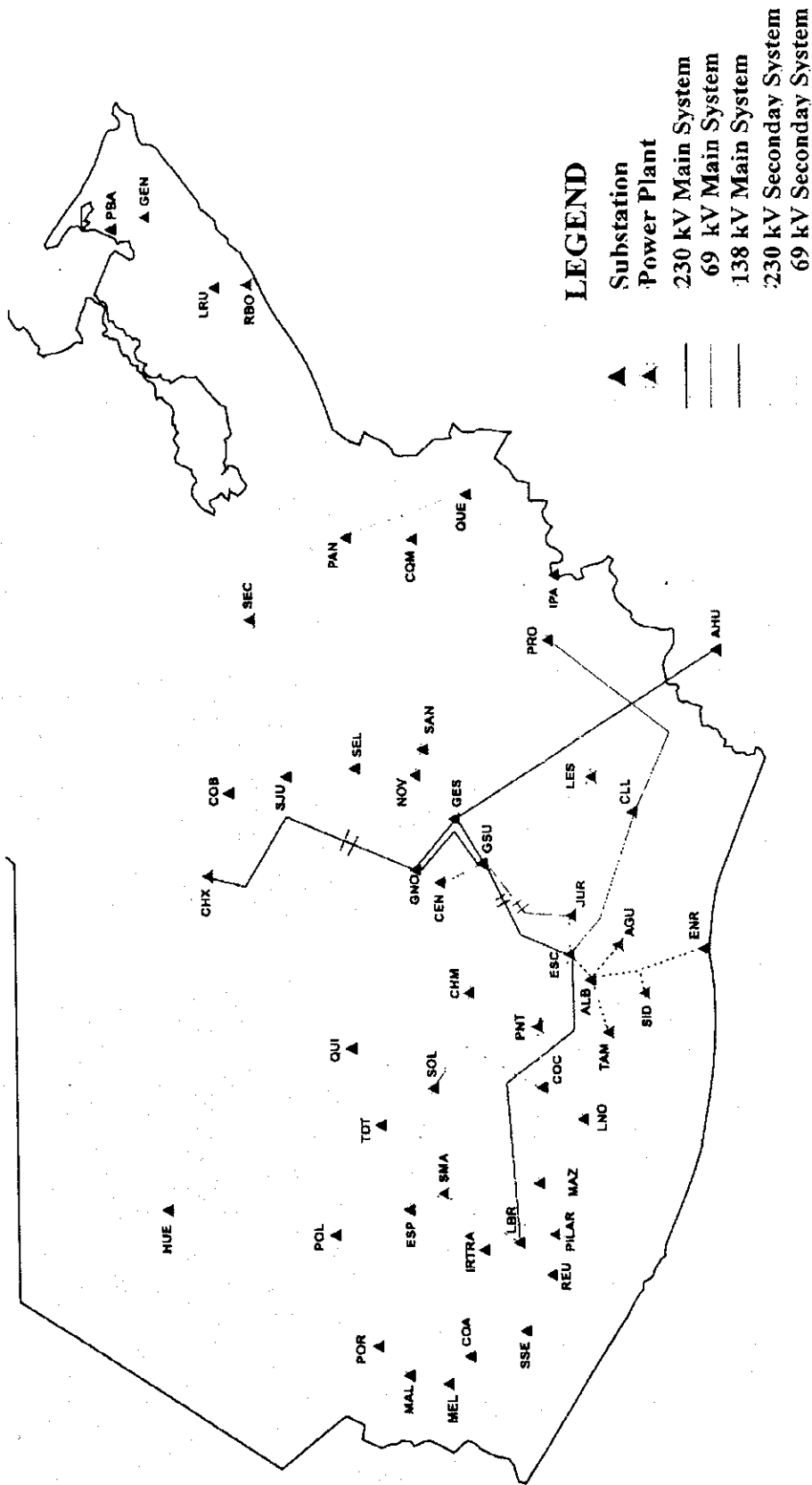


Fig.2-1-4 The transmission System of Guatemala  
 グアテマラ国内の送電システム



Source: MEM

設備容量と電力需要の推移

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

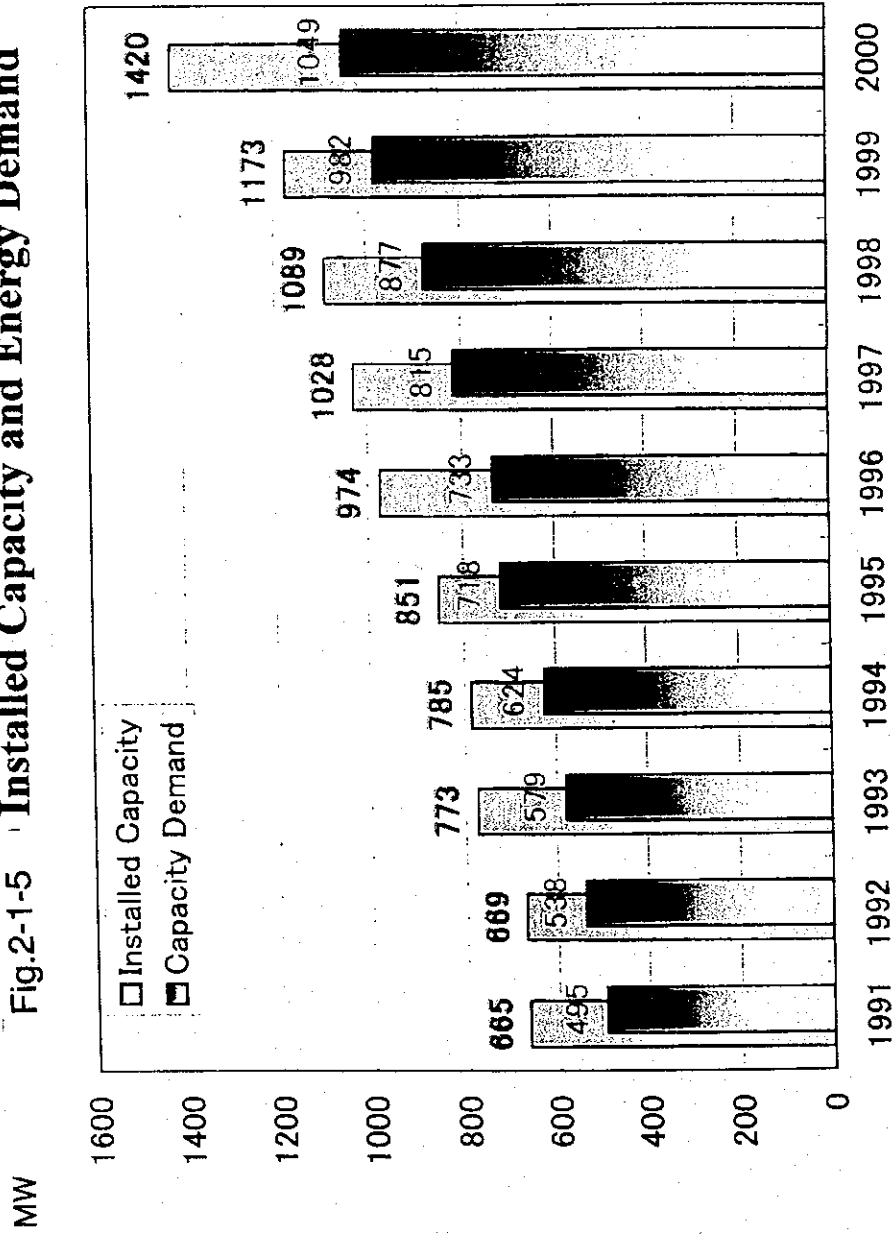




Table2-1-2 Interconnected National Grid (SNI): Installed Capacity (as December 2000)

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	
	<b>NATIONAL GRID</b>		<b>1666.3</b>	<b>1420.0</b>				
	<b>HYDROELECTRIC</b>		<b>528.90</b>	<b>477.00</b>				
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	Palin	Escuintla	INDE
11	SECACAO	1	15.5	13.5	1998/7/3	Senaha	Alta Verapaz	PRIVATE
4	ESCLAVOS	2	14.0	13.5	1986/8/17	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, Md	Izabal	PRIVATE
16	POZA VERDE	2	8.1	8.0	2000/11/8	Pueblo Nuevo	Santa Rosa	PRIVATE
	<b>MICHATOYAS</b>	<b>5</b>	<b>6.7</b>	<b>1.8</b>	<b>2027/10/15</b>	<b>Escuintla</b>	<b>Escuintla</b>	<b>INDE</b>
5	SANTA MARIA	3	6.0	6.0	1986/6/25	Zunil	Quetzaltenang	INDE
	EL JOCOTE (Cogenerador)	1	4.0	0.0	1991/2/4	Siquinala	Escuintla	PRIVATE
6	EL PORVENIR	1	2.0	2.0	1968/9/1	San Pablo	San Marcos	INDE
	CHICHAIC	2	0.8	0.5	1979/7/26	Coban	Alta Verapaz	INDE
	<b>THERMAL</b>		<b>1137.4</b>	<b>943.0</b>				
	<b>STEAM TURBINES</b>		<b>221.0</b>	<b>177.0</b>				
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
	<b>GAS TURBINES</b>		<b>301.5</b>	<b>203</b>				
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	1983/6/11	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
	<b>INTERNAL COMUSTION ENGINES</b>		<b>422.2</b>	<b>375.8</b>				
17	LA ESPERANZA(ENRON POWER 3)	7	126.0	124.0	2000/5/1	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
17	PQPC (ENRON POWER)	20	110.0	102.5	1993/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
7	GGG LAS PALMAS	5	66.8	65.0	1998/9/1	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
20	SIDEGUA	10	44.0	36.0	1995/4/3	Escuintla	Escuintla	PRIVATE
14	GENOR	2	42.4	40.0	1998/10/1	Puerto Barrios	Izabal	PRIVATE
	CEMENTOS PROGRESO (Autoproduccion)	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	PQPC (ENRON POWER)	20	120.0	102.5	2000/2/5	Puerto Quetzal	Escuintla	PRIVATE
	<b>SUGGAR MILLS (Cogenerators)</b>		<b>163.7</b>	<b>163.7</b>	<b>1996/12/31</b>	<b>Varios</b>	<b>Escuintla</b>	<b>PRIVATE</b>
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
	<b>GEOHERMAL</b>		<b>29</b>	<b>23.5</b>				
9	ZUNIL	1	24	19	1999/8/4	Zunil	Quetzaltenang	PRIVATE
8	CALDERAS	1	5	4.5	1998/11/1	San Vicente Pa	Escuintla	PRIVATE

Source: Genetec

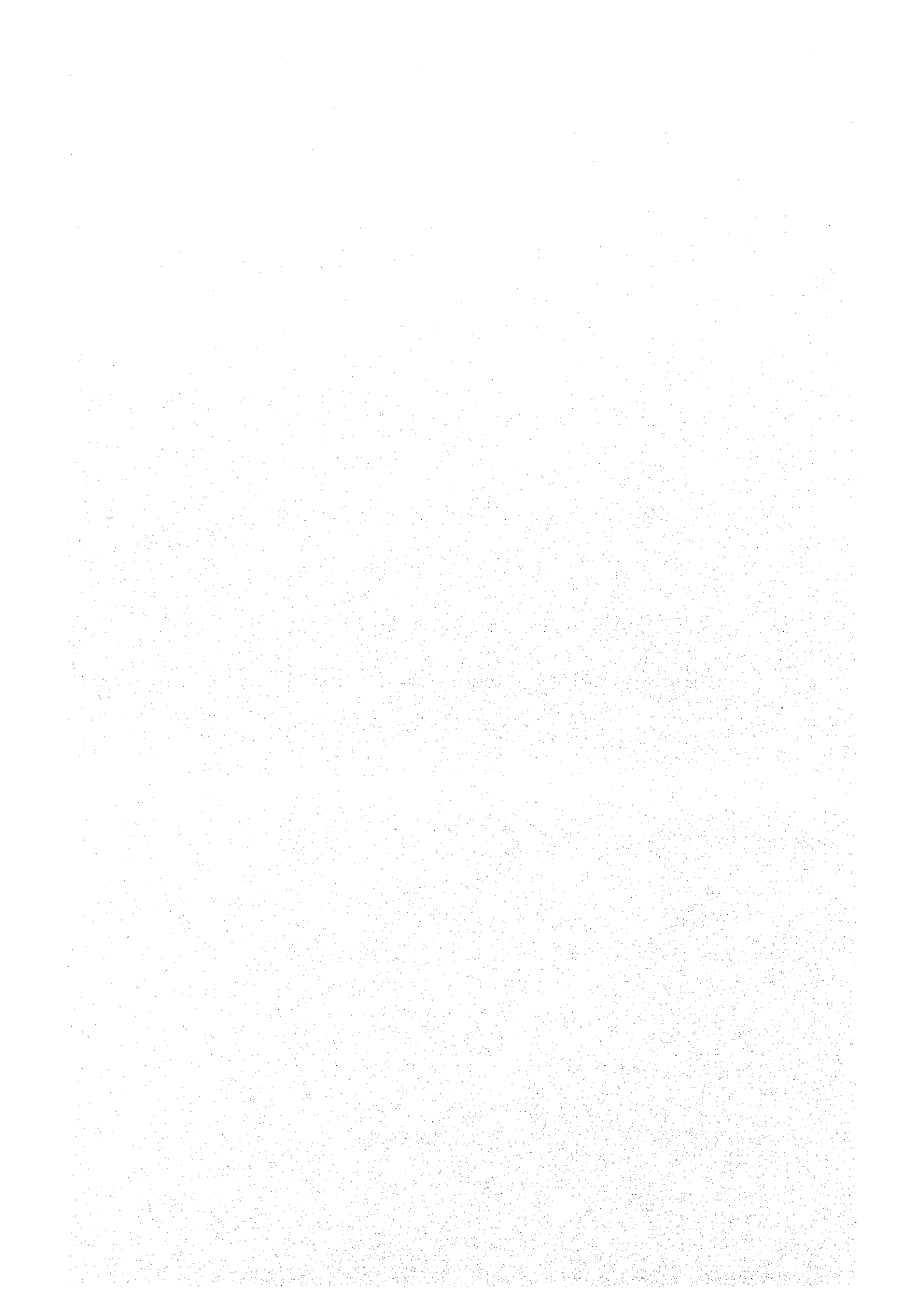
## **2.2 Estudios Geocientíficos**

**2.2.1 Investigación Geológica**

**2.2.2 Investigación Geoquímica**

**2.2.3 Estudios Gravimétricos y Magnéticos**

**2.2.4 Estudio Magnetotelúrico**





## 2.2 ESTUDIOS GEOCIENTÍFICOS

### 2.2.1 Investigación geológica

El objetivo de la investigación geológica fue el de tomar en cuenta la geología y las estructuras que controlan la actividad geotérmica en el campo geotérmico de Amatitlán, para el efecto se hizo un reconocimiento geológico, muestreo de rocas y revisión de los informes existentes. Los análisis fueron orientados a entender la distribución de los cuerpos volcánicos jóvenes, las zonas de alteración y sus características, fuentes de calor e hidrología del área estudiada y sus alrededores

#### 1. Estructura Geológica en el área de Amatitlán

Guatemala se localiza en la parte norte de Centroamérica, entre los continentes de Norteamérica y de Sudamérica, colinda con Méjico al norte y con Honduras-El Salvador al sur, con costa en el Océano Pacífico en el lado sudoeste y en el Mar Caribe en su lado nordeste. El área de Amatitlán, la cual es el objetivo del presente estudio, se localiza en el flanco norte del Volcán Pacaya, 25 km al sur de Ciudad Guatemala (Fig. 2-2-1).

La geología de esta área consiste en un basamento granodiorítico, formaciones de roca volcánica pre-caldérica, syn-caldérica y post-caldérica, (incluyendo el complejo volcánico de Amatitlán, el cual consiste predominantemente de andesitas piroxénicas y dacitas subdominantes), el complejo volcánico de Pacaya y aluviones y coluviones (Fig. 2-2-2).

Los rasgos geológicos del área de Amatitlán están representados por fallas relacionadas con calderas, fallamiento con orientación N-S y NE-SO y el emplazamiento de domos dacíticos. A lo largo de la tendencia de estas estructuras, se localizan manantiales calientes, fumarolas y áreas de alteración superficial de forma alargada.

##### a. Estructura caldérica

Los resultados de la perforación de los pozos exploratorios profundos AMF-1, -3 y -4 (West JEC and Telectro, 1995) revelaron un sistema de fallas E-O cerca de la Laguna Calderas. Esta falla fue asociada con la orilla sur de la caldera. El fluido geotérmico podría encontrar un camino sencillo a través de este sistema de fallas (Fig. 2-2-3).

Por otro lado, muchas fumarolas y zonas de alteración están presentes en la pared norte de la Laguna de Calderas. El arreglo de las zonas de alteración y fumarolas es paralelo a la dirección de la discontinuidad oeste interpretada a partir de los resultados de las investigaciones gravimétricas y magnetotélúricas.

##### b. Sistema principal de fallas

El arreglo de fallas N-S se encuentra desarrollado en dirección paralela a ambos lados de la caldera de Los Humitos. Las vulcanitas postcaldéricas se encuentran alteradas en el lado oeste de las fallas occidentales que limitan este sistema de fallas N-S. Esto sugiere una actividad geotérmica joven. El lado oeste de la caldera de Los Humitos ha sido argilizada hasta cierta profundidad, formando una zona de sellamiento. Mientras que el

lado este de la caldera muestra un pobre progreso de alteración, sugiriendo la presencia aun de una zona de fracturas todavía abiertas.

### c. Domos dacíticos

Se supone que los manantiales calientes y las fumarolas del lago de Amatitlán se originan en la zona de fracturas desarrolladas alrededor de los domos dacíticos. Sin embargo, pocos manantiales calientes y fumarolas se pueden reconocer a lo largo de las fracturas asociadas al sistema de fallas N-S. Entonces, la zona de fracturas fue desarrollada en el límite entre el domo y los materiales a su alrededor cuando el magma dacítico ascendió para formar el domo. Es muy posible que esta fractura represente un camino para el paso de fluidos geotérmicos. Aún más, es probable que este domo dacítico por si mismo sea uno de las fuentes de calor dentro del área, considerando la geoquímica de los fluidos y la fecha de formación del domo.

## 2. Fuentes de calor

Es claro, a partir de la distribución de las rocas volcánicas y los resultados de la datación, que el centro de la actividad volcánica ha migrado de norte a sur durante la historia geológica del área de Amatitlán. La actividad hidrotermal se considera que también ha migrado en la misma dirección. La fuente de calor para los procesos geotérmicos en Amatitlán está asociada con el magmatismo dacítico, incluyendo además el magmatismo del volcán de Pacaya todavía activo o a la intrusión de gases magmáticos. Esta actividad se prolonga desde el Pleistoceno tardío, aproximadamente desde 0.7Ma hasta el presente. El reservorio geotérmico debajo de la Laguna de Calderas se considera asociado a una intrusión de fluidos magmáticos provenientes del volcán de Pacaya.

Adicionalmente, la intrusión de magma dacítico cerca del pozo AMF-2 sucedió hace unos 6,000 años y podría delinear el domo dacítico conocido como Cerro Limón y El Durazno actuando como fuentes locales de calor

## 3. Hidrogeología

El agua superficial en el área de estudio fluye desde una zona relativamente de gran altitud en la parte norte al pie del volcán de Pacaya hacia el lago de Amatitlán. El agua bajo la superficie se infiltra a través del contacto entre las lavas del volcán de Pacaya y las de la caldera de Amatitlán y las rocas piroclásticas derivadas propiamente de la Caldera de Amatitlán.

La orilla de la caldera, con centro en el lago de Amatitlán, está formada por fallas normales. Estas fallas están cubiertas por capas delgadas de rocas volcánicas provenientes de la actividad combinada del volcán de Pacaya y la caldera de Amatitlán. Estas fallas no son inherentes al flujo de agua superficial, pero podrían posiblemente servir de paso para que el agua penetre a zonas más profundas. Mientras que en las partes más profundas del sistema, el fluido geotérmico en los alrededores de las fallas puede fácilmente encausarse en la dirección E-O, pero considerando la reducida permeabilidad ortogonal al plano de falla, el flujo puede ser restringido en la dirección N-S. En los alrededores del área entre la caldera de Los Humitos y la Laguna de Calderas, se detectaron pequeñas fallas con orientación N-S. Se considera

que los fluidos geotérmicos fluyen a lo largo de estas fallas. Estas fallas son claramente reconocidas a partir de los rasgos topográficos y parece muy probable que restringido únicamente a esta área, ambas, el agua superficial y los fluidos geotérmicos profundos utilicen la misma ruta de flujo con dirección N-S. Este flujo lateral N-S fue identificado cuando se interpretaron los perfiles de temperatura obtenidos en el pozo AMF-3.

## **2.2.2 Investigación geoquímica**

La investigación geoquímica es una ayuda para obtener información acerca del sistema hidrotermal en el área de estudio con el objeto de seleccionar los sitios de perforación de pozos exploratorios y para planificar el desarrollo geotérmico futuro. Para poder actualizar el modelo geoquímico desarrollado sobre la base de los resultados de los estudios geoquímicos efectuados con anterioridad, se realizó un muestreo y análisis complementarios de aguas de manantiales calientes y gases de fumarolas así como una revisión de la información geoquímica existente. Para obtener información acerca de la distribución de los fluidos geotérmicos en el área sin manifestaciones superficiales ni pozos, se llevó a cabo un estudio de Mercurio y Radón en los gases del suelo.

### **1. Investigación Hidrogeoquímica**

Las características y el comportamiento de los sistemas hidrotermales dentro y alrededor del área de estudio, basadas en la interpretación de los resultados geoquímicos de este estudio se resumen a continuación. El modelo geoquímico del sistema hidrotermal basado en esta interpretación se muestra en la Fig. 2-2-4.

- El agua caliente de los reservorios confirmada con los pozos exploratorios profundos AMF-1 y AMF-2 en el área de Calderas se considera derivada de un fluido original caliente de 300-340°C originado a partir de agua meteórica con algo de fluido magmático, el cual se almacena al sur del pozo AMF-2. El agua caliente en este sector fluye principalmente con dirección nordeste, con separación de vapor y asciende parcialmente a niveles superficiales produciendo fluidos fumarólicos.
- El agua caliente fluye lateralmente desde Calderas con direcciones norte y nordeste, diluyéndose con agua fría superficial y finalmente alcanza la orilla sur del Lago de Amatitlán, produciendo los acuíferos calientes del tipo Cl o Cl-HCO<sub>3</sub>.
- El agua caliente de Calderas también alcanza la orilla este del valle del Río Michatoya. El flujo de agua caliente se considera relativamente alto y bastante diluido.
- El reservorio de agua caliente en Calderas se considera que tiene alguna extensión en su escala, puesto que el agua parece estar en equilibrio químico dentro del reservorio. Si existieran zonas permeables en los alrededores del pozo AMF-2 hacia el oeste, dentro del área de estudio, el

reservorio de agua caliente podría extenderse a lo largo de estas zonas.

## 2. Estudio de gases en suelo

A partir de la distribución de las concentraciones de Hg y Rn total en los gases del suelo, el área de ascenso de los fluidos calientes y la estructura bajo la superficie que controla los fluidos calientes en el área de estudio inferida se describe a continuación. El mapa de las zonas permeables sobre la base del estudio de gases en el suelo se muestra en la Fig. 2-2-5.

- A lo largo de la pared norte de la caldera de Calderas, existe una zona permeable acompañada de actividad hidrotermal; fluidos calientes ascienden a niveles someros al oeste de Calderas y alrededor del Cerro Hoja de Queso. La zona permeable en la zona oeste de Calderas se alarga en dirección NE-SO, alcanzando el sur de El Cedro y sugiriendo que el reservorio geotérmico confirmado por los pozos AMF-1 y AMF-2 se extiende hacia el sudoeste.
- El área alrededor de El Cedro, moderadamente alta en Hg, que se alarga hacia el noroeste parece tener una relación con el flujo de agua caliente desde Calderas hacia el valle del Río Michatoya, inferido a partir de estudio de geoquímica de los fluidos.
- Zonas permeables existen desde los alrededores del Cerro Hoja de Queso hacia el noroeste y hacia el norte, donde los fluidos calientes migran lateralmente a niveles someros.
- Desde el norte del Cerro Hoja de Queso hacia el oeste del Cerro Grande, existe una zona permeable la cual muestra una tendencia N-S y NE-SO.

### 2.2.3 Estudios Gravimétricos y Magnéticos

La Fig. 2-2-6. muestra el mapa de interpretación gravimétrica. Las anomalías de Bouguer en el área de estudio (escala: 1:30,000) se muestra en la Fig.4-3-16. Las anomalías de Bouguer varían desde  $-48.2$  mgal al norte hasta  $-10.4$  mgal al sur del área de estudio. La anomalía de Bouguer decrece de sur a norte. Los contornos isogravimétricos corren en dirección E-W en la parte norte del área de estudio en Amatitlán, un área anómala de baja gravedad se encuentra con dirección NE-SW en el lado oeste de San Francisco de Sales y en dirección NW-SE en el lado este de San Francisco de Sales.

El área de estudio se divide en dos regiones: la parte norte es el area anómala de baja gravedad de Amatitlán y la parte sur es el area anómala de alta gravedad del Volcan de Pacaya, el área anómala de baja gravedad se considera que refleja la estructura de la caldera. El área anómala de alta gravedad del Volcán de Pacaya se considera que refleja el levantamiento del basamento el cual se extiende en dirección N-S.

El mapa de interpretación magnética se muestra en la Fig. 2-2-7. La intensidad total del campo magnético varía desde  $39,600$  nT entre la cima y el flanco sudeste del Cerro Grande a  $37,800$  nT, 1 km al este de la Laguna de Calderas. La mayor

parte del área de estudio muestra una anomalía magnética alta y una anomalía magnética baja se reconoce rodeando el área de estudio. La tendencia predominante en la distribución de las anomalías magnéticas es NE-SW y ENE-WSW.

Los lineamientos gravimétricos, levantamiento del basamento al oeste del Volcán de Pacaya se corresponden con la discontinuidad magnética localizada al oeste de la anomalía magnética baja de Laguna de Calderas. Estas se considera que reflejan una zona de alta permeabilidad y un área muy promisoría para perforaciones durante el desarrollo geotérmico. Los pozos AMF-1, AMF-2 y AMF-3 se localizan a lo largo de este alineamiento, esta es la razón por la cual los pozos AMF-1 y AMF-2 fueron exitosos en producir fluidos geotérmicos y el pozo AMF-3 muestra pérdida de circulación a gran escala en profundidad

## **2.2.4 Estudio Magnetotelúrico**

### **1. Consideraciones sobre los resultados del Estudio Magnetotelúrico**

#### **a. Estructura Resistiva a Niveles Someros en el Área de Estudio**

La Fig.2-2-8 muestra las discontinuidades resistivas (F1~F5) junto con zonas de baja resistividad, menores de 6 ohm-m obtenidas a partir del mapa de capas de baja resistividad. Las zonas de baja resistividad en este mapa muestran una estructura resistiva relativamente somera en un rango aproximado entre los 200m y los 700m de profundidad.

En este mapa, una zona de baja resistividad con menos de 6 ohm-m se distribuye aproximadamente a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4 excluyendo el área alrededor de la Laguna de Calderas. Puesto que algunas manifestaciones termales tales como fumarolas y zonas de alteración se reconocen en superficie en la zona de baja resistividad, incluyendo la localización del pozo AMF-2 y El Cedro, esta zona de baja resistividad se considera que refleja una zona de alteración hidrotermal relativamente somera. Específicamente, se considera que los fluidos geotérmicos vienen desde un área en profundidad a lo largo de zonas de fractura alrededor o debajo de la zona de baja resistividad formada en la zona relativamente somera alterada hidrotermalmente. El área alrededor de Laguna de Calderas parece estar afectada por agua fría que penetra en la estructura de la caldera, entonces el área es una zona de alta resistividad.

#### **b. Estructura resistiva a grandes profundidades en el Área de Estudio**

La Fig.2-2-9 muestra las discontinuidades resistivas (F1~F5) junto con zonas de baja resistividad, mayores de 20 ohm-m obtenidas a partir del mapa de resistividades a 1500m de profundidad. Considerando las distribuciones de resistividad en cada sección, las zonas resistivas en este mapa parecen reflejar una estructura levantada de la zona resistiva en profundidad.

En este mapa, una zona resistiva está claramente distribuida en la parte

central, en la parte nordeste y en la parte este del área de estudio. Y la estructura levantada de la zona resistiva en profundidad pareciera estar distribuida y rodeada por las discontinuidades F1, F4 y F5. En particular, una zona de alta resistividad se reconoce claramente en el área entre la parte sudoeste de la discontinuidad F1 (al sur de la Laguna de Calderas) y la discontinuidad F4. Por lo tanto, una estructura levantada de la zona resistiva en profundidad se considera que existe entre F1 y F4.

Aun más, la estructura resistiva en la zona somera descrita anteriormente, indica una zona muy marcada de baja resistividad, que probablemente refleje una zona de alteración hidrotermal y la cual se distribuye en o sobre la estructura levantada entre F1 y F4. Además, los pozos AMF-1 y AMF-2 los cuales fueron perforados con éxito para producir fluidos geotérmicos se localizan entre las discontinuidades F1 y F4. Entonces, es altamente probable que el sistema de fracturas se encuentre bien desarrollado a lo largo de y entre las discontinuidades F1 y F4 y que los fluidos geotérmicos en la zona profunda fluyan a lo largo de estos sistemas de fracturas.

#### c. Resumen de los resultados del estudio

Cinco discontinuidades resistivas (F1~F5) se obtuvieron a partir de los resultados del estudio magnetotelúrico. En particular, una zona muy marcada de baja resistividad, la cual puede reflejar una zona hidrotermalmente alterada se distribuye a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4. Y los pozos (AMF-1, AMF-2) que fueron perforados con éxito para producir fluidos geotérmicos se localizan entre las discontinuidades F1 y F4. Entonces, sistemas de fracturas en la parte profunda están probablemente desarrollados a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4.

Con base en estos resultados, consideramos que el fluido geotérmico en profundidad fluye a lo largo de sistemas de fractura los cuales se localizan a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4, y algunos de los fluidos geotérmicos atrapados en la zona relativamente somera parecen formar una zona alterada hidrotermalmente a lo largo y entre las discontinuidades F1 y F4.

En conclusión, el área a lo largo de la parte sudoeste de la discontinuidad F1 (al sudoeste de la Laguna de Calderas) y el área a lo largo de la discontinuidad F4 pueden recomendarse como zonas promisorias para futuros blancos de perforación.

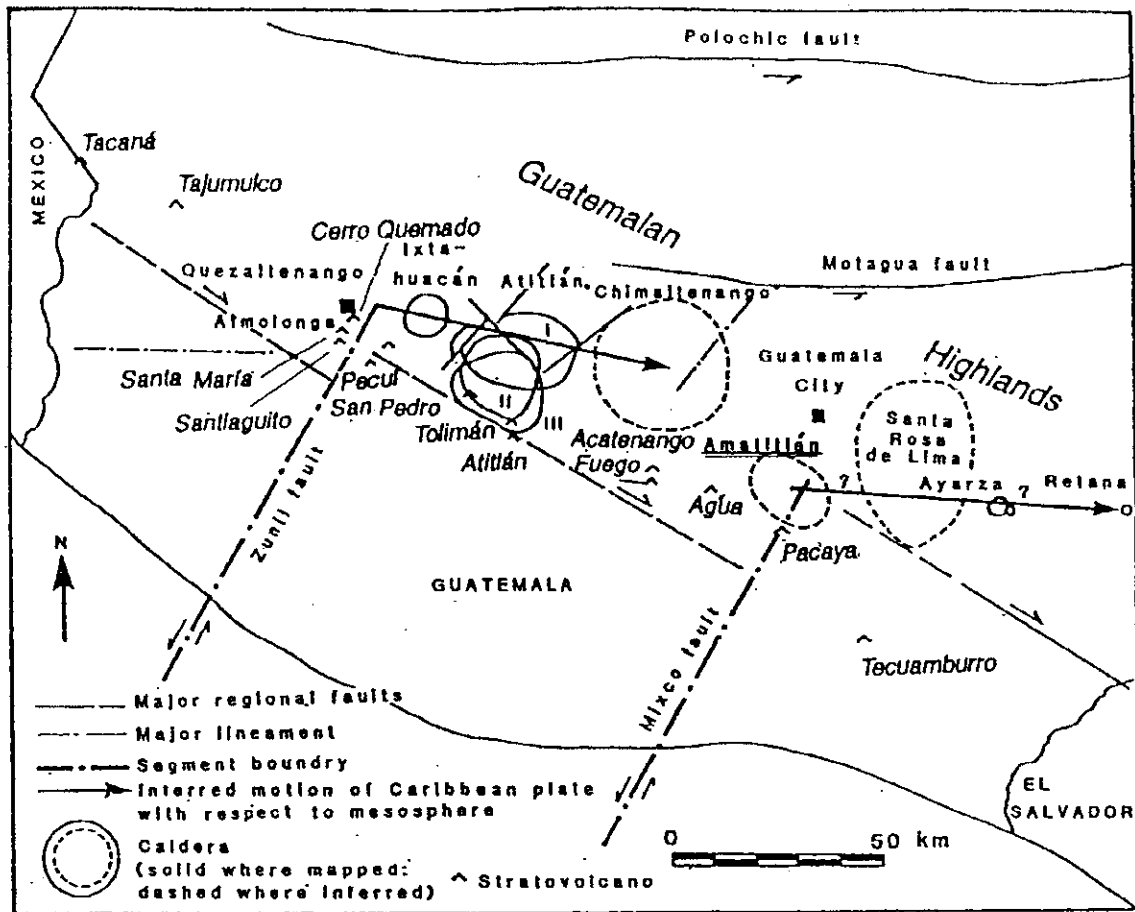
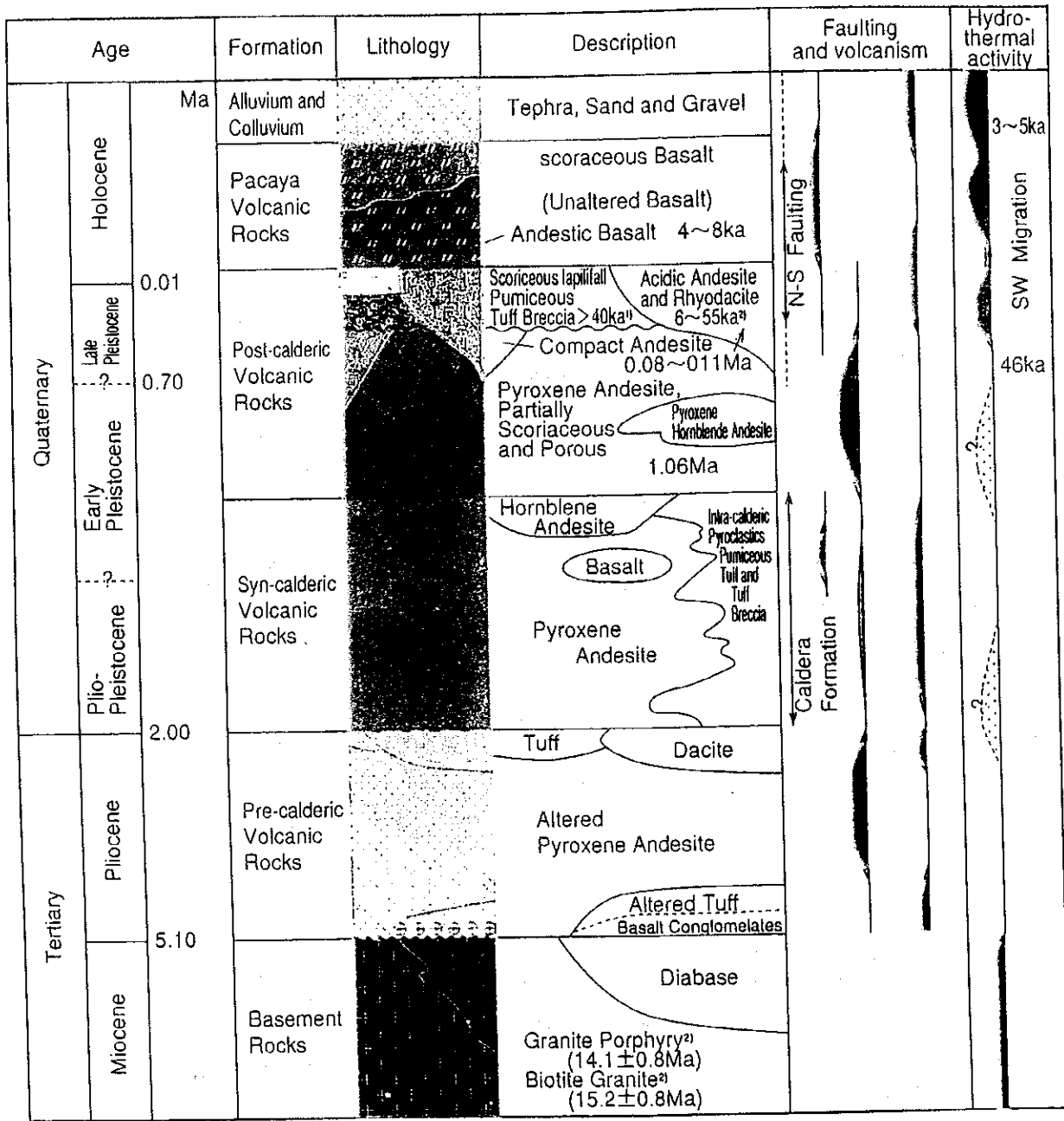


Fig.2-2-1 広域地質構造図

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 Atitran 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)



Maffic ← → Silicic

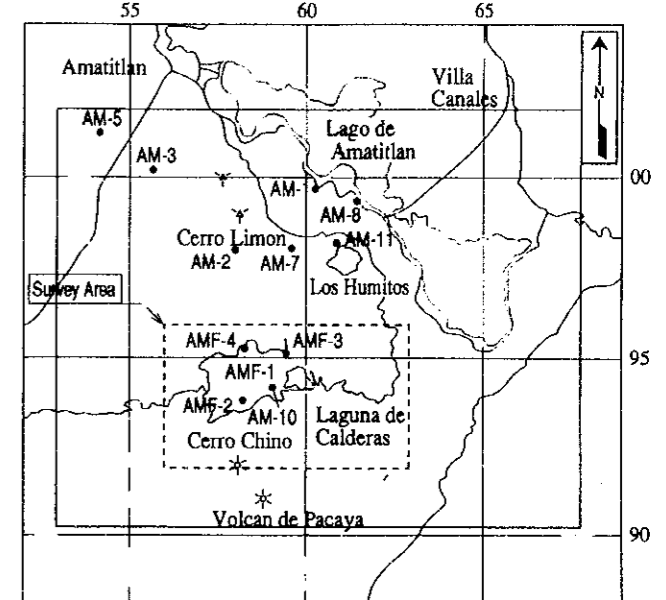
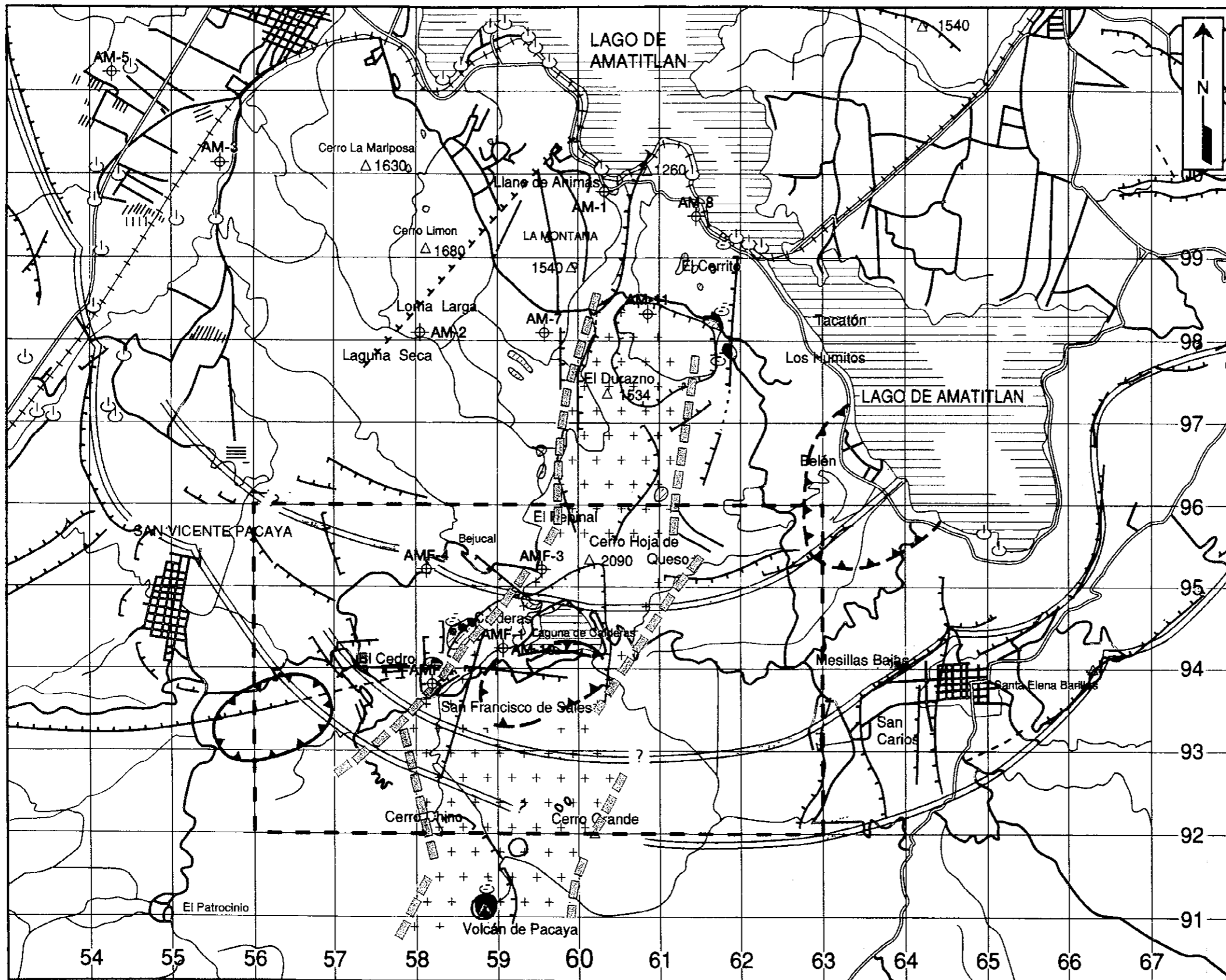
Reference

- 1) Koch and Mclean, 1975
- 2) West JEC and Telectro, 1994 and this report

Fig.2-2-2 アマティ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

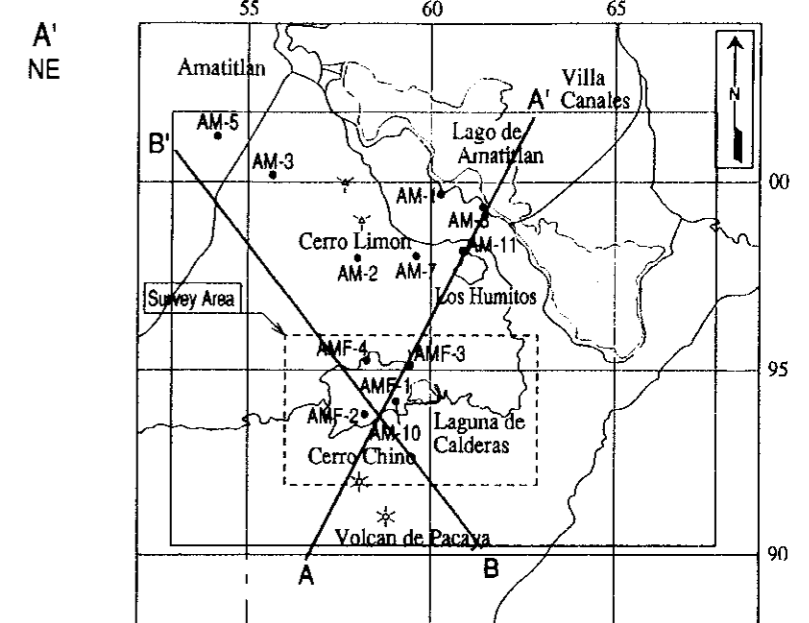
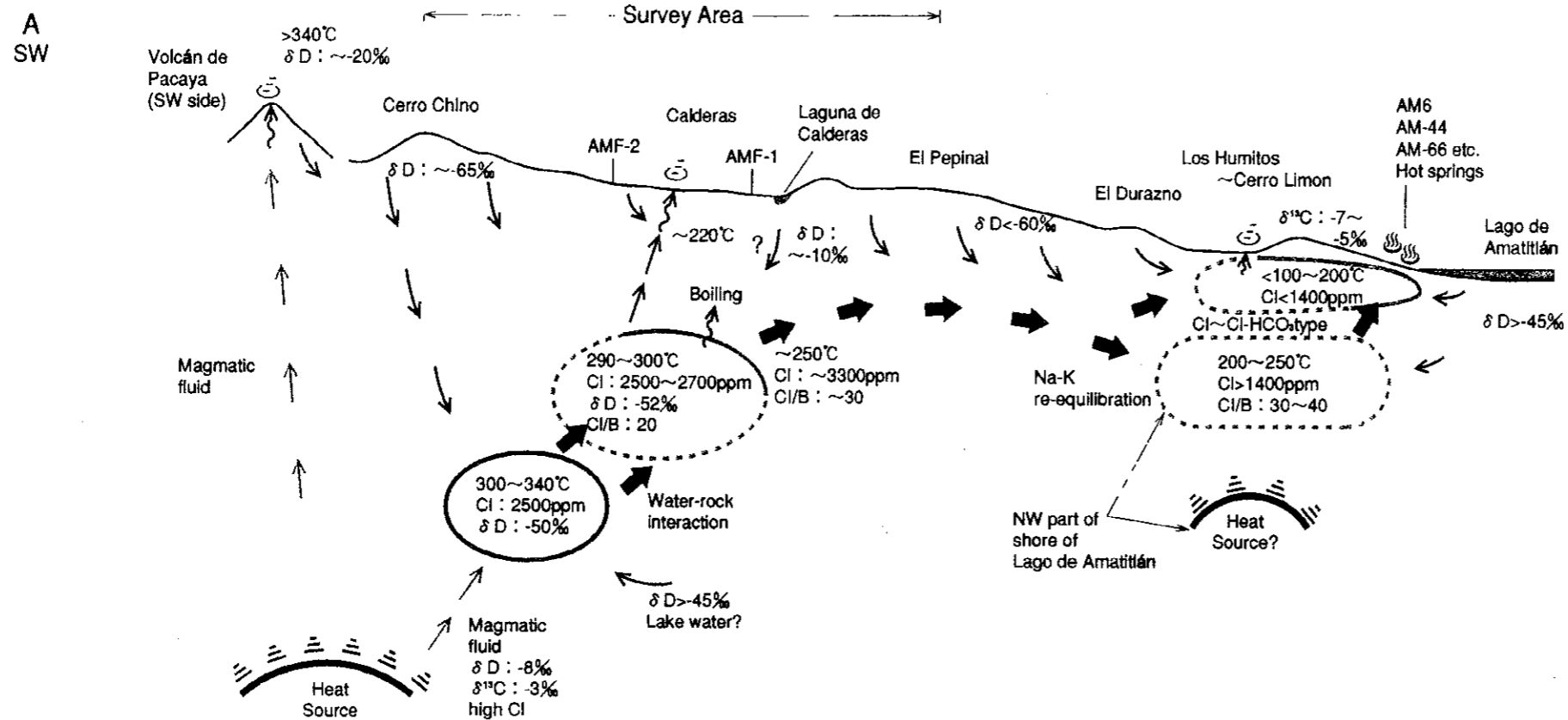
Amatitlan Geothermal Development Project

地質構造図

Geological Structure

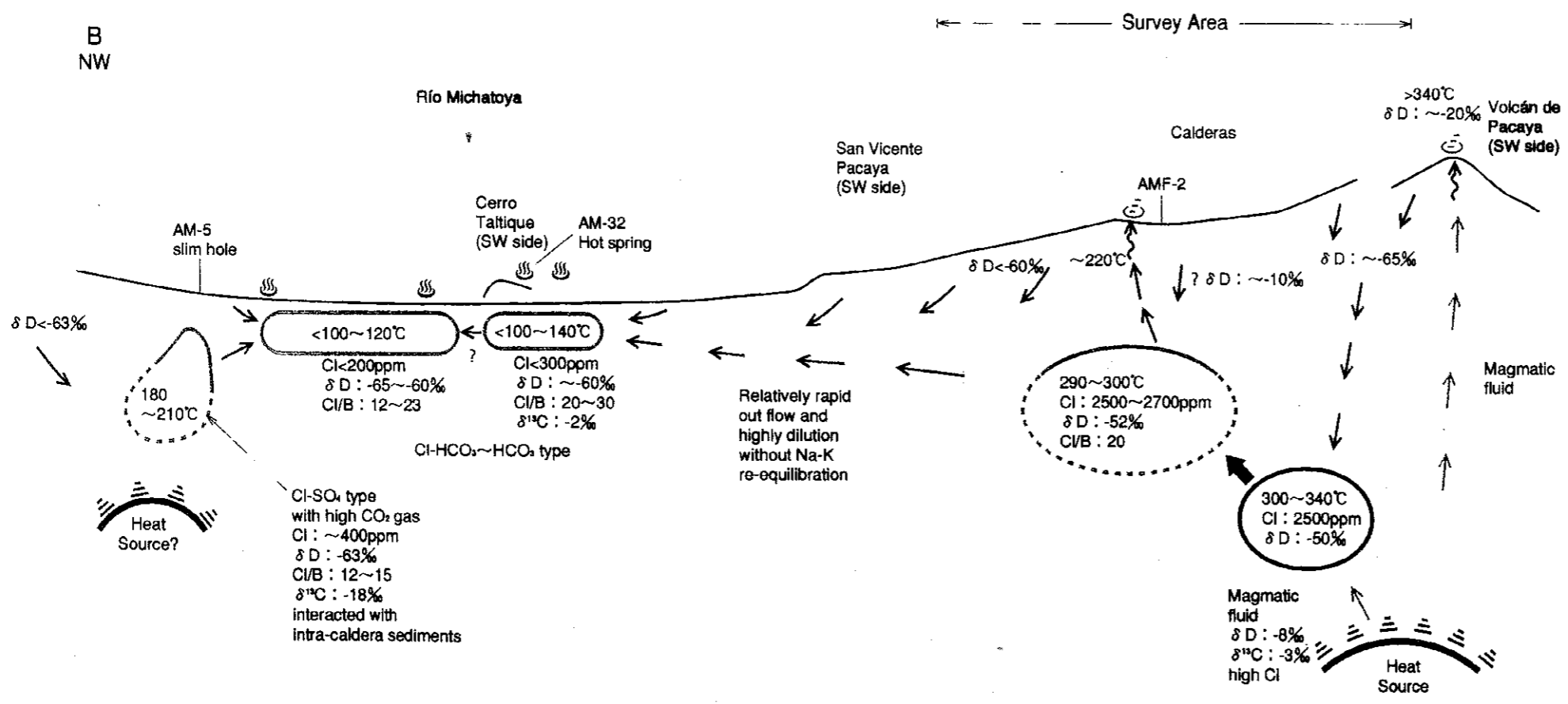
JICA-WEST JEC Fig. 2-2-3

MBE101401A



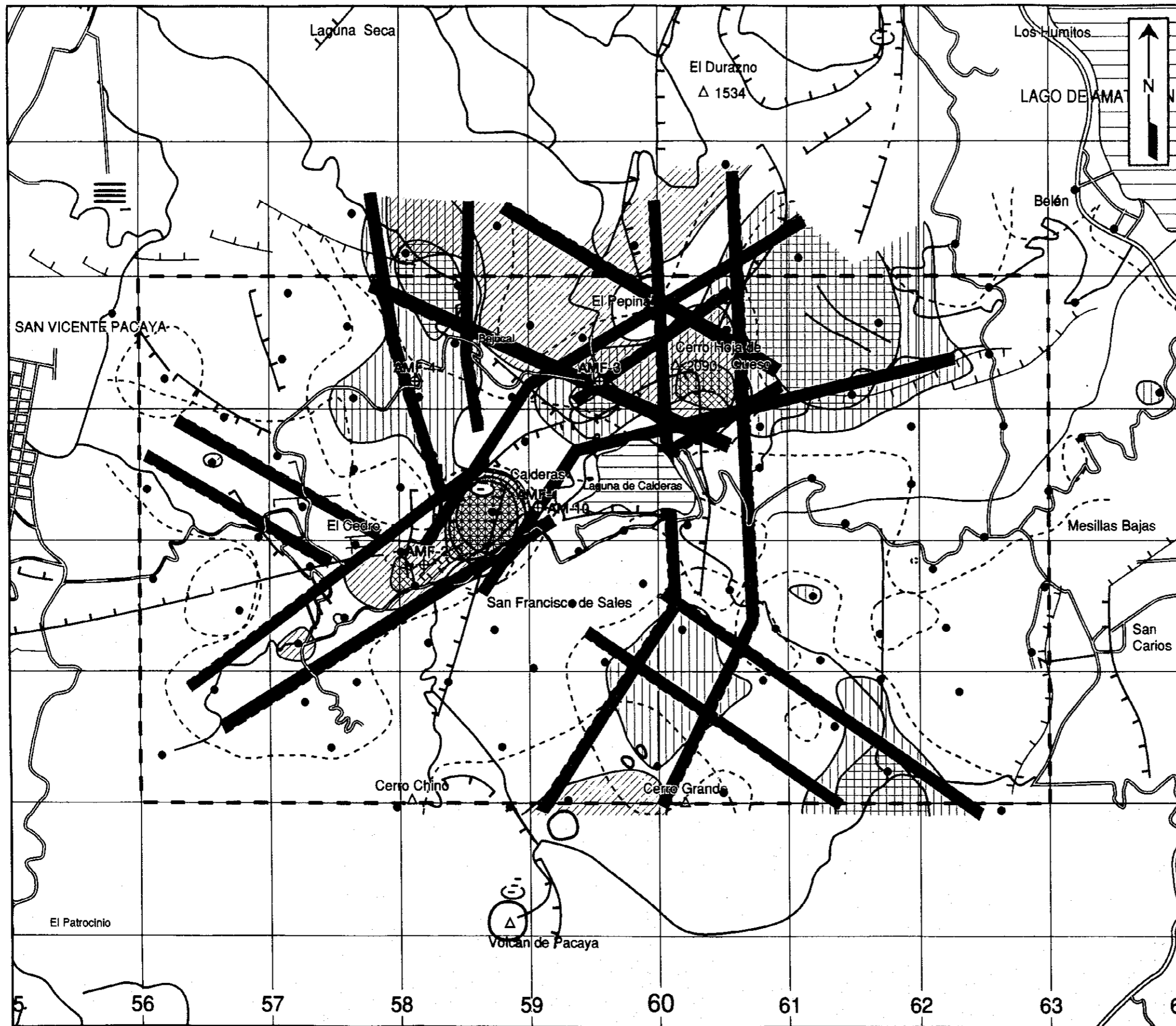
**LEGEND**








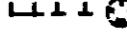

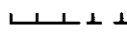
- High temperature reservoir
- Low temperature reservoir (Hot spring aquifer)
- Parental fluid of the Amatitlán geothermal system
- Thermal water flow
- Boiling and steam flow
- Meteoric cold water flow



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

MB101017A



-  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

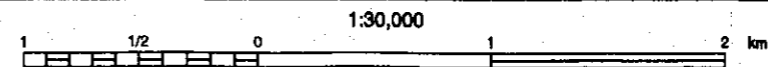
Amatitlan geothermal development project

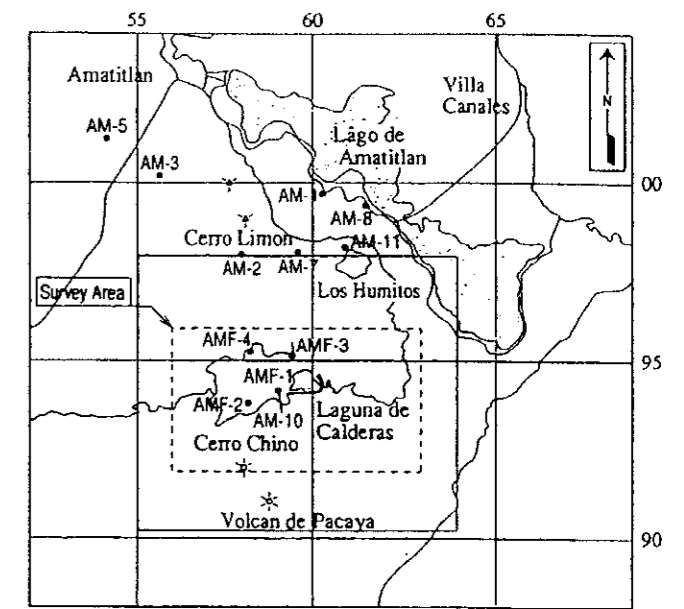
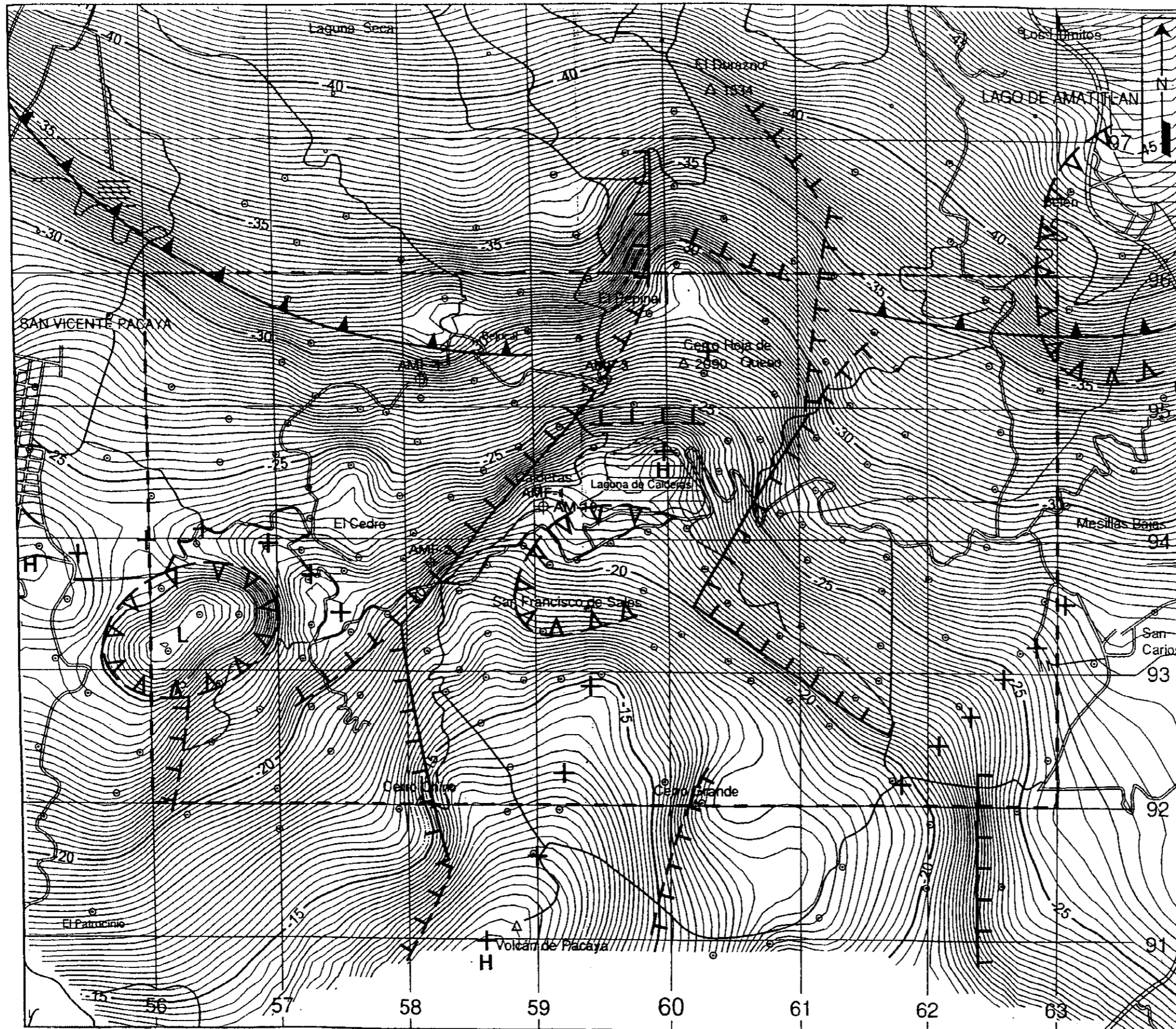
土壤ガス調査による高透水性ゾーン集約図

Compiled map of permeable zone by soil-gas survey








JICA-WEST JEC

Fig. 2-2-5

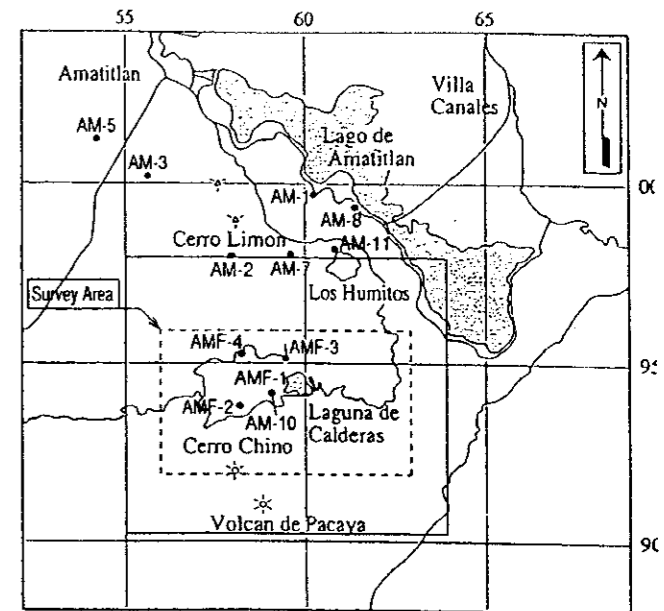
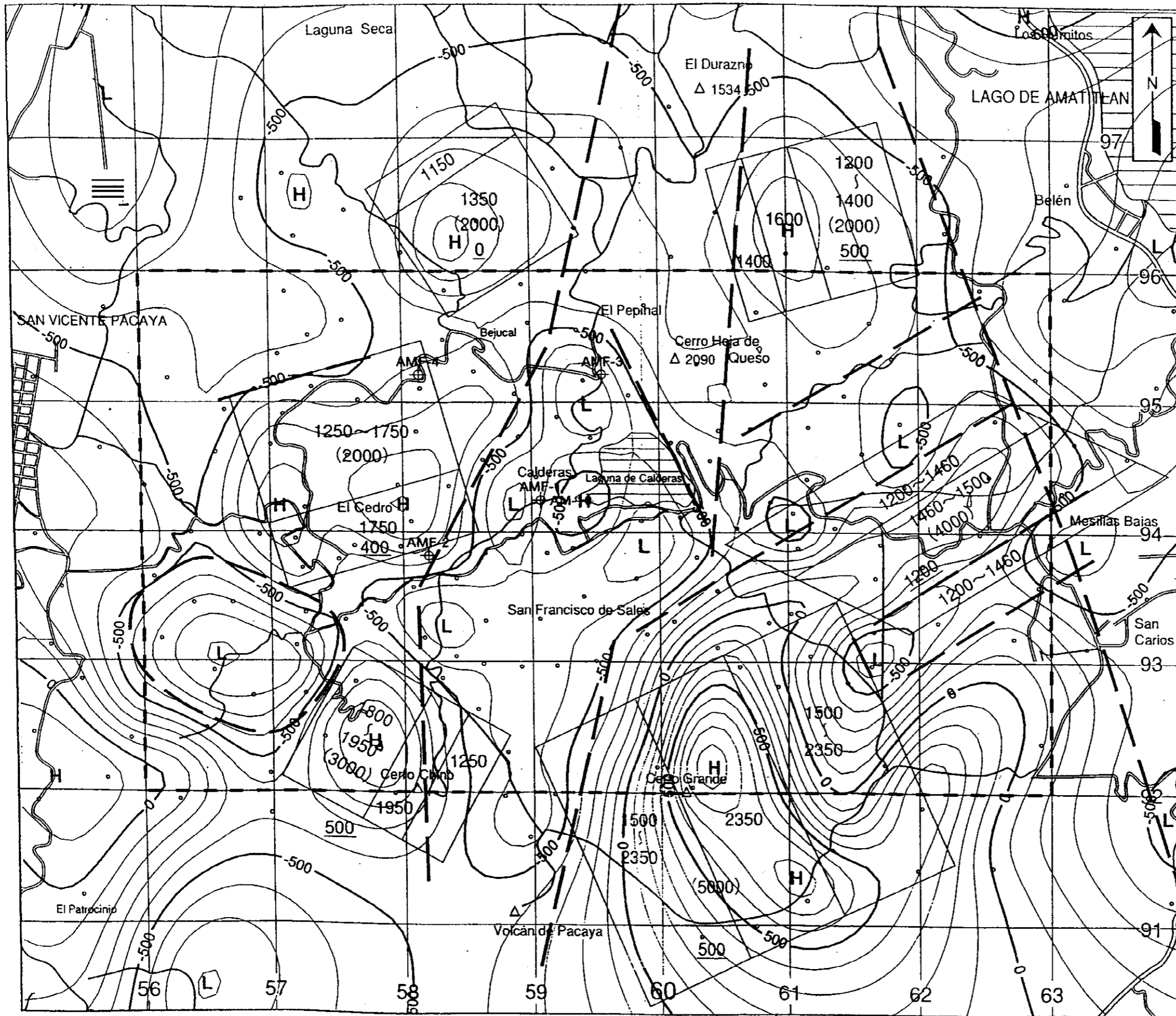




Legend

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

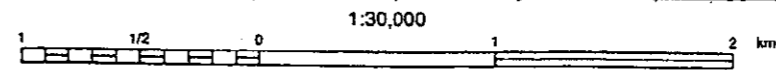
Amatitlan Geothermal Development Project	
重力解析図	
Gravity Interpretation Map	
JICA-WEST JEC	Fig.2-2-6

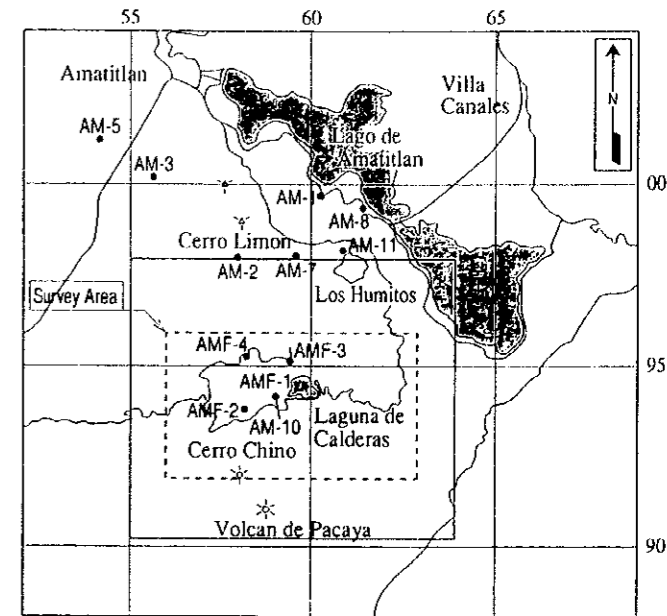
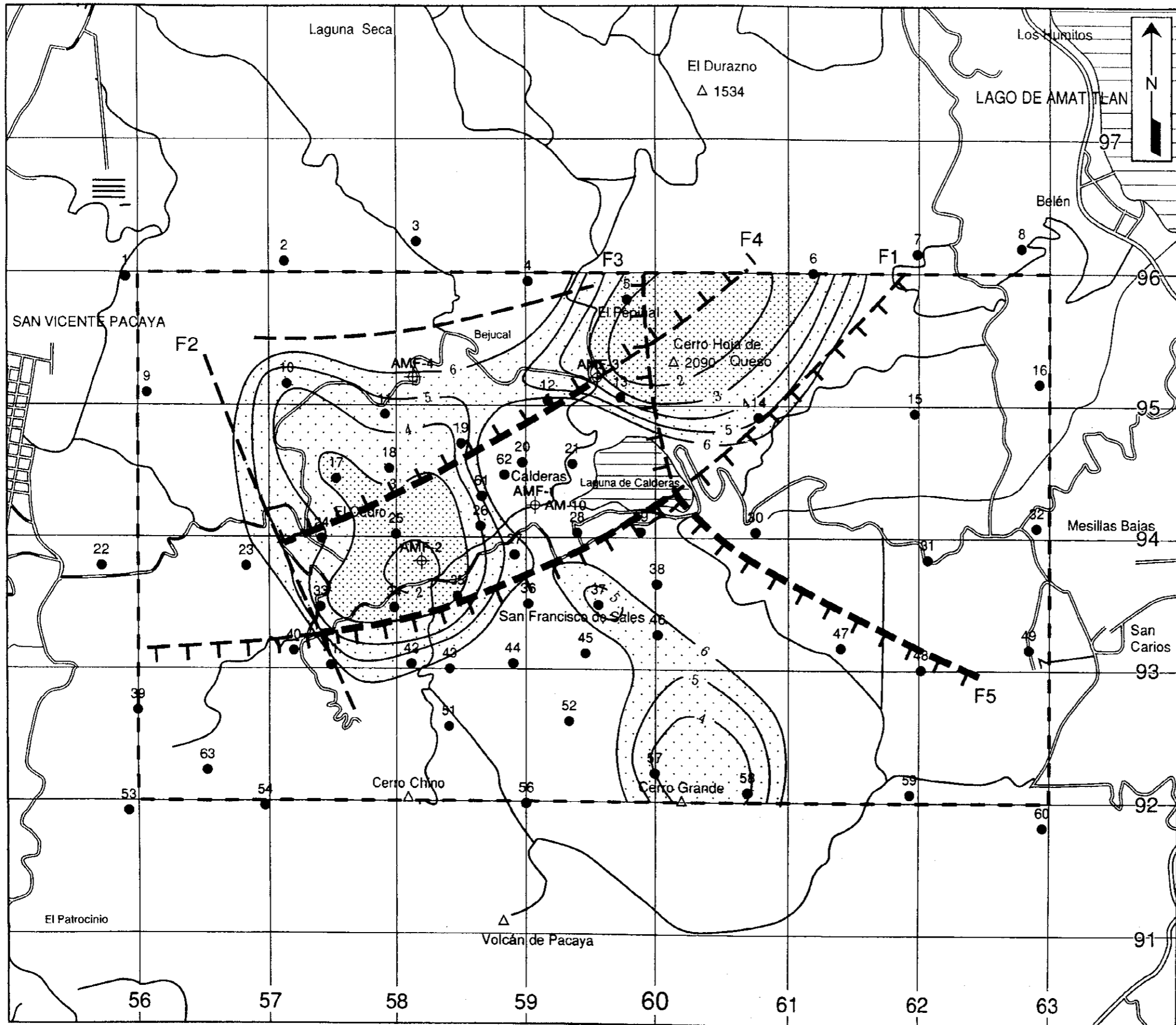


Legend

- : 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

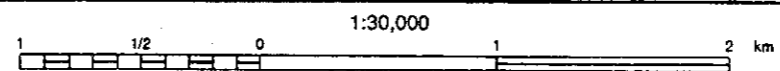


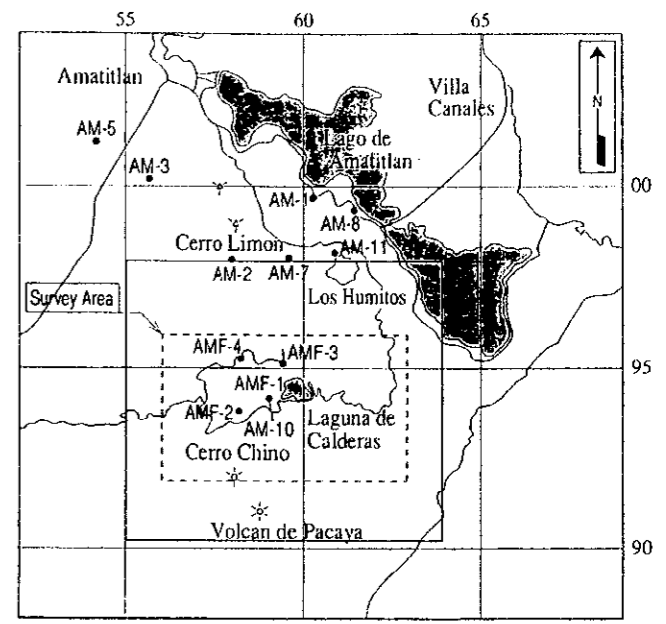
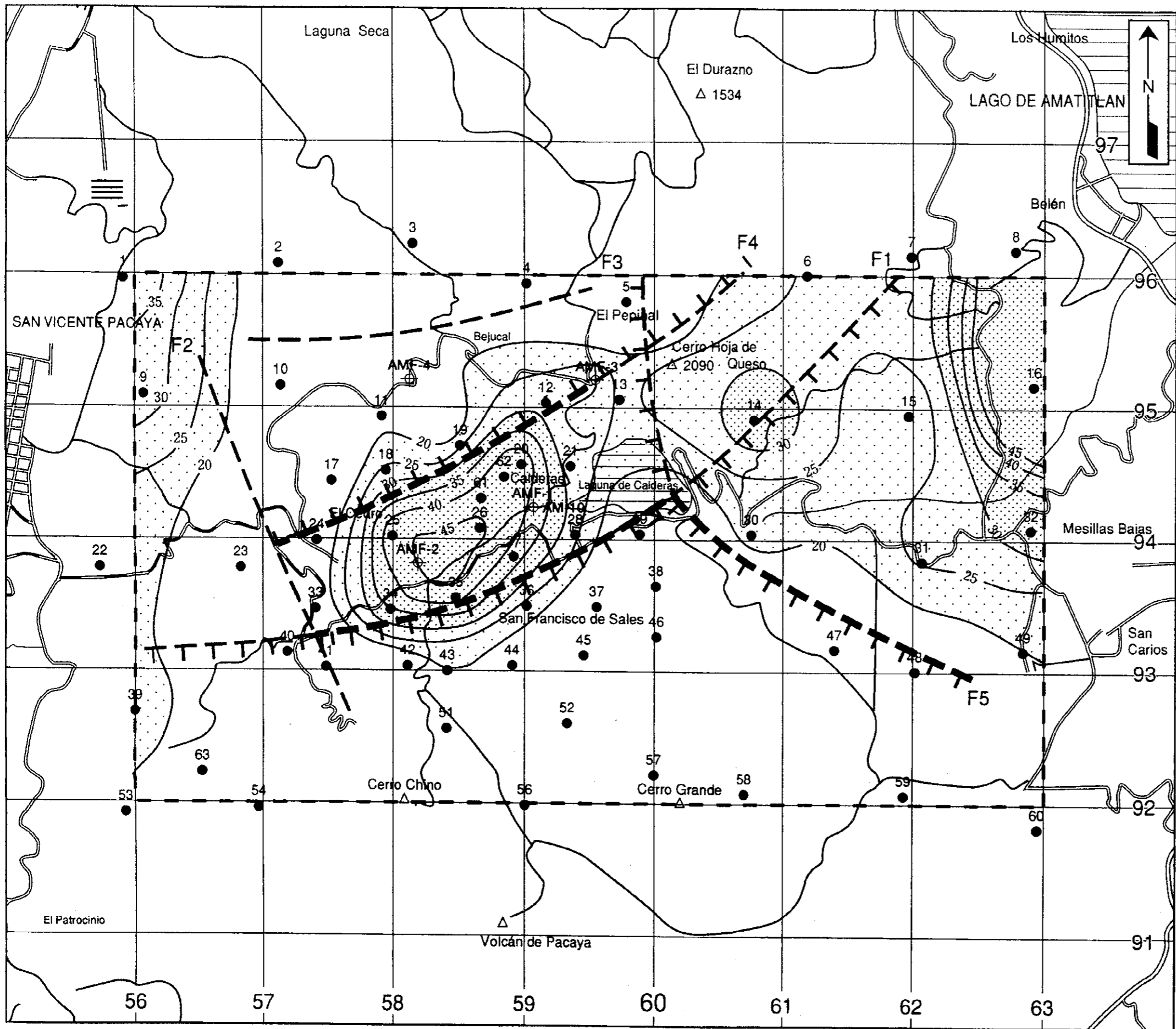


Legend

- : 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

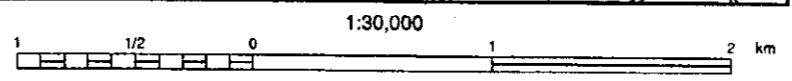




- Legend**
- : Survey area
  - ⊕ : Exploratory well
  - : MT station
  - - - : Resistivity discontinuity
  - ~ 20 ~ : Contour line of resistivity (Resistivity distribution at 1500m deep)

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

MABE/C1401A





## 2.3 Perforación de pozos exploratorios

2.3.1 Pozo AMJ-1

2.3.2 Pozo AMJ-2