

REVISTA ENERGETICA

AÑO 8

2/84

Marzo - Abril/84
March - April/84



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA **olade** THE REGIONAL GEOTHERMAL
PROGRAM **olade** VULCANOLOGIA APLICADA A LA EXPLORACION GEOTERMICA
olade VOLCANOLOGY APPLIED TO GEOTHERMAL EXPLORATION **olade**
MOMOTOMBO: UN VOLCAN AL SERVICIO DEL PAIS **olade** MOMOTOMBO: A
VOLCANO AT THE SERVICE OF THE PEOPLE **olade** BIOMASA BIOCOMBUSTIBLES
BIOENERGIA **olade** BIOMASS BIOFUELS BIOENERGY **olade**



AÑO 8
2/84
MARZO - ABRIL/84
MARCH - APRIL/84

ORGANO DE DIVULGACION TECNICA
DE LA ORGANIZACION LATINOAMERICANA
DE ENERGIA (OLADE)

PERIODICAL FOR DISSEMINATION
OF THE LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION

	EDITORIAL	5
	EDITORIAL	47
	PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA	7
196	THE REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM <i>maps, tabs</i>	49
	VULCANOLOGIA APLICADA A LA EXPLORACION GEOTERMICA	17
197	VOLCANOLOGY APPLIED TO GEOTHERMAL EXPLORATION <i>tabs</i>	59
	MOMOTOMBO: UN VOLCAN AL SERVICIO DEL PAIS	21
198	MOMOTOMBO: A VOLCANO AT THE SERVICE OF THE PEOPLE <i>tabs</i>	63
199	BIOMASA BIOCOMBUSTIBLES BIOENERGIA	31
	BIOMASS BIOFUELS BIOENERGY	71

Los artículos firmados son de la exclusiva responsabilidad de sus autores y no expresan, necesariamente, la posición oficial de la Secretaría Permanente.

The signed articles are the exclusive responsibility of their authors and they do not necessarily express the official position of the Permanent Secretariat

REVISTA ENERGETICA es publicada bimestralmente por la Secretaría Permanente de la Organización Latinoamericana de Energía. Casilla 6413 CCI Quito-Ecuador

REVISTA ENERGETICA is published bimonthly by the Permanent Secretariat of the Latin American Energy Organization. P.O. Box 6413 C.C.I., Quito - Ecuador



ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA
LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION

CONSEJO EDITORIAL EDITORIAL BOARD

Ulises Ramírez Olmos	SECRETARIO EJECUTIVO EXECUTIVE SECRETARY
Eduardo Pascual	DIRECTOR DE COOPERACION REGIONAL Y EXTRARREGIONAL DIRECTOR OF REGIONAL AND EXTRA-REGIONAL COOPERATION
João Pimentel	DIRECTOR TECNICO TECHNICAL DIRECTOR
Cornelio Marchán	DIRECTOR DE ESTUDIOS ECONOMICOS Y PLANIFICACION ENERGETICA DIRECTOR OF ECONOMIC STUDIES AND ENERGY PLANNING
Marcio Nunes	ASESOR GENERAL GENERAL ADVISOR
Miriam Morales	JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INFORMACION Y RELACIONES PUBLICAS HEAD OF THE DEPARTMENT OF INFORMATION AND PUBLIC RELATIONS

EDITORIAL

Entre las fuentes alternas de energía que a corto o mediano plazo pueden desempeñar un importante papel para contribuir a la solución del problema energético en un buen número de países latinoamericanos, se encuentran la energía geotérmica y la bioenergía.

El potencial disponible en la región con estas dos fuentes de energía, pese a que todavía no se ha cuantificado con exactitud, sería verdaderamente exitante; lo cual se apoya en que dentro de algunos países en particular, ya reflejan una incidencia considerable dentro de su balance energético.

Las experiencias regionales en materia de generación geotermoeléctrica, en gran escala, se remontan a 1972 cuando México puso en marcha la central geotérmica de Cerro Prieto, con una capacidad instalada de 76 MW; seguidamente entró en servicio la central geotérmica de Ahuachapán, El Salvador (1975), con una capacidad instalada de 35 MW en su primera etapa, ampliada en la actualidad a 95 MW. La puesta en marcha de la Central Momotombo, Nicaragua, con 35 MW de capacidad, constituyó otro hito dentro del desarrollo de este recurso en América Latina, objetivo en el cual se hallan empeñados actualmente 18 países miembros de OLADE.

El importante papel que puede desempeñar la geotermia, se evidencia con la capacidad instalada en El Salvador, la misma que ha permitido satisfacer hasta un 45% de la demanda anual de energía eléctrica y, en condiciones normales, prescindir totalmente de los derivados del petróleo para fines de generación eléctrica.

Actualmente OLADE, en el contexto del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE), ha venido ampliando las actividades de su programa geotérmico -el mismo que inicialmente se concentró en la prospección de los recursos de alta temperatura - incorporando acciones para favorecer la búsqueda de recursos de baja y media temperatura utilizables para fines de sustitución energética en la industria, y, eventualmente, para generación eléctrica. Lo antes citado permitiría ampliar las posibilidades de utilizar los recursos geotérmicos a prácticamente toda la región.

Reflejo de lo anterior es el "Programa Regional de Geotermia de OLADE" y "Un Volcán al Servicio del Pueblo", artículos que describen algunos de los más recientes logros de la geotermia en América Latina. Asimismo, como resultado de los progresos tecnológicos alcanzados en la ejecución de los programas nacionales de exploración se presenta "La Vulcanología Aplicada a la Explotación Geotérmica" que es una visión objetiva del papel que desempeñan los estudios vulcanológicos como herramienta de evaluación en los ambientes geológicos de cordillera característicos de una importante porción del territorio de América Latina.

Con relación a la bioenergía, al considerar que la totalidad de los países latinoamericanos la utilizan como recurso energético y que en varios de ellos representa un elevado porcentaje de la energía primaria producida; esta fuente renovable derivada de los productos forestales y agrícolas ofrece una clara alternativa energética para los países de la Región. En este contexto es muy interesante el artículo sobre "Biomasa-Bicombustibles-Bioenergía".

Los trabajos incluidos en la presente edición, apoyan la creciente necesidad de diversificar la oferta energética, lo cual será posible lograr solamente a través de una política de amplia cooperación regional apoyada en dos pilares fundamentales: la transferencia tecnológica y la consecución de recursos financieros. OLADE, a través del PLACE, está instrumentando varias acciones orientadas a alcanzar estos objetivos, habiéndose logrado el acceso a financiamientos concesionales para buen número de programas nacionales en los cuales se propende a favorecer una amplia participación tecnológica regional.

En este marco, OLADE mira con optimismo el futuro de la geotermia y la bioenergía en el contexto actual de América Latina para poder integrar estas fuentes energéticas, en buena medida, a la oferta de energía de nuestros países, coadyuvando a la satisfacción de esta necesidad imperiosa para el desarrollo regional.

GUSTAVO CUELLAR

JEFE PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA



PROGRAMA REGIONAL DE GEOTERMIA

INTRODUCCION

- La situación geodinámica de los países latinoamericanos de la Costa Pacífica, favorece la existencia de un ambiente tectónico de margen continental activo (límite entre placas convergentes) el mismo que origina un amplio frente volcánico dominado por magmas andesíticos y sus productos diferenciados que, al producirse y ascender hacia la superficie en grandes volúmenes, determinan una anomalía térmica regional y un ambiente ideal para el desarrollo de campos geotérmicos de alta entalpía.
- El continente sudamericano corresponde a un gran ambiente geodinámico caracterizado por la convergencia entre la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental sudamericana provocando un proceso del que resulta la cordillera de los Andes que se extiende, por miles de kilómetros, desde Argentina hacia la frontera colombo-venezolana, atravesando Chile, Bolivia, Perú y Ecuador. Esto representa que los Países Andinos ofrecen un gran interés geotérmico, justamente por la presencia de grandes fenómenos volcánicos que han ocurrido durante varios millones de años.
- En el caso de Centroamérica la situación geodinámica es aún más compleja, debido a la existencia de una unión triple provocada por el contacto entre tres (3) placas: la oceánica de Cocos y las continentales de Norteamérica y el Caribe.

De esta situación resulta un ambiente tectónico caracterizado por la subducción de la placa de Cocos y el consiguiente desarrollo de vulcanismo andesítico a lo largo de la faja pacífica de México, Nicaragua, Costa Rica, y parcialmente Honduras y Panamá.

Paralelamente con esos fenómenos de subducción, se desarrollan límites transformantes como los que caracterizan a los bordes septentrional y meridional de la placa del Caribe y que afectan a Guatemala y parte de las Antillas, al norte, y el borde septentrional del Continente Sudamericano, (Colombia y Venezuela) al Sur.

Las áreas de interés geotérmico corresponden tanto a las fajas pacíficas de vulcanismo andesítico como a las zonas de cruce entre el frente volcánico activo y las depresiones transversales.

- Como consecuencia del alto potencial geotérmico antes descrito, un gran número de países latinoamericanos iniciaron durante la pasada década sus programas de exploración geotérmica, principalmente alentados por el éxito obtenido en los primeros proyectos de México y El Salvador e impulsados por el brusco incremento de los precios del petróleo, que tuvo lugar en aquella época, dificultando seriamente la posibilidad de continuar disponiendo de energía térmica a base de petróleo y de bajo costo.

En América Latina, la geotermia ha sido utilizada casi exclusivamente como una fuente para la ge-



neración eléctrica constituyéndose en una alternativa de sustitución del petróleo para esos fines.

- La producción de energía eléctrica a partir de la geotermia ha crecido rápidamente de 563 GW-H en 1975 a 1809 GW-H en 1982, concentrada en México y El Salvador. Las previsiones indican que hacia 1985 se incrementará la capacidad instalada de 300 MW a 790 MW, con lo que se alcanzaría una generación de alrededor de 4700 GW-H. En 1983 fue inaugurada la primera etapa de la central de Momotombo (35 MW) en Nicaragua.
- Aún cuando la participación en la generación eléctrica en América Latina todavía es baja (0.4%), en El Salvador representa hasta un 45% la producción de energía eléctrica durante 1982.

En Nicaragua, con la primera etapa de Momotombo se cubre un 25% del total de la energía eléctrica consumida en el país; al entrar en operación la segunda etapa se espera alcanzar un 40%.

- De esta forma podría afirmarse que la geotermia puede jugar papeles importantes dentro del sector eléctrico de los países que disponen del recurso, y asimismo predecirse que, una vez terminada la evaluación de su magnitud ésta tendría una alta prioridad para su desarrollo y explotación.
 - En efecto, actualmente se desarrollan actividades más o menos continuas e intensivas en 18 países de la región, debiendo destacarse el impulso adquirido en aquellos que requieren sustituir el consumo de derivados de petróleo, por ser importadores netos, o por encontrarse cerca del límite del aprovechamiento de sus recursos hídricos.
- Pueden así constituirse en un gran aporte de energía firme (centrales de base) muy importante para los sistemas eléctricos en vías de integración, afianzándose como una buena alternativa de sustitución del petróleo y sus derivados, complementariamente con la hidroelectricidad.
- Teniendo en cuenta lo anterior, el Programa de Geotermia de OLADE, estuvo originalmente orien-

tado, de manera fundamental a promover y difundir el aprovechamiento de la energía geotérmica para fines de generación eléctrica, mediante los recursos de alta entalpía, a pesar de que los de media y baja entalpía potencialmente disponibles aún con mayor profusión, podrían competir con otras fuentes como el diesel y otros derivados del petróleo en diversos usos tales como: secado y presecado de granos, bagazos, calefacción y refrigeración agroindustrial, procesos industriales y generación de electricidad mediante sistemas no convencionales, etc., lo cual expande las posibilidades de una utilización más amplia del recurso.

LA METODOLOGIA DE EXPLORACION GEOTERMICA OLADE

Una de las dificultades por las que atravesamos los países latinoamericanos que empezaron a desarrollar sus programas de exploración geotérmica, fue la falta de una guía que permitiera la ejecución de dichos programas mediante la utilización racional de sus recursos para obtener resultados en plazos adecuados. Esta situación provocó, en aquella época, cierto grado de confusión, cuya resolución fue confiada a los esfuerzos aislados de "expertos" que intentaron enfrentarlo en función de sus propios puntos de vista fuertemente influenciados por el grado de su conocimiento personal o especialización.

La metodología OLADE, por el contrato, propende a un trabajo mancomunado de un grupo multidisciplinario de especialistas bajo una guía definida, aunque flexiblemente adaptable a las condiciones particulares de los distintos países y ambientes geológicos.

En general, un proyecto geotérmico tipo se compone de 2 partes claramente definidas; la primera, tiene un carácter de alto riesgo, similar a la exploración de cualquier mineral o energético, y su objetivo es la identificación del reservorio (campo geotérmico) incluyendo un estudio de su posible utilización. La segunda, es de tipo mixto (de riesgo exploratorio y tecnológico) y concierne al desarrollo y explotación del reservorio.



La primera parte involucra notables niveles de riesgo económico por lo que debe ser enfrentada con inversiones progresivamente crecientes. La segunda, por el contrario, implica riesgos menores pero requiere de inversiones más elevadas.

La experiencia acumulada ha demostrado que las dimensiones promedio de un sistema geotérmico se hallan comprendidas entre 10 y 100 Km². Si el proyecto geotérmico se encuentra dentro de una región de unos 10.000 - 100.000 Km², la localización de dicho sistema requiere de etapas de investigación intermedia que permitan: primero, la delimitación aproximada del área de interés (500 - 2000 Km²) en base a un estudio de reconocimiento, y, posteriormente, la individualización de una o más áreas interesantes, no mayores que 100 Km², dentro de los cuales se ubicarían los pozos exploratorios profundos.

Este criterio selectivo permite interpretar periódicamente y de forma integrada, los resultados de las investigaciones, y destacar las zonas poco favorables a la vez que fundamentar la decisión de pasar, o no, a la siguiente etapa de los estudios.

Posteriormente, un estudio de factibilidad evaluará el potencial del área investigada y definirá el diseño preliminar de los sistemas de conversión de energía. En base de estos datos se pueden planificar adecuadamente las operaciones a ejecutarse durante la fase de desarrollo.

Desde el punto de vista práctico, se ha convenido articular un proyecto geotérmico tipo en cinco (5) etapas distintas:

1. Estudio de reconocimiento
2. Estudio de prefactibilidad
3. Estudio de factibilidad
4. Desarrollo
5. Explotación

En septiembre de 1983, durante el Seminario Latinoamericano de Exploración Geotérmica desarrollado en Quito, Ecuador, se procedió a realizar una revisión de la Metodología OLADE correspondiente a las etapas de reconocimiento y prefactibilidad.

El grupo de trabajo encargado de la mencionada revisión concluyó en que a la luz de los resultados obtenidos en numerosas aplicaciones prácticas la Metodología OLADE representa el esquema más racional y económico para desarrollar un proyecto de exploración geotérmica dentro del contexto geológico dominante en los países de América Latina.

Sin embargo, se sugirió introducir algunas innovaciones sin que estas representen alguna variación en cuanto a la filosofía de fondo de la metodología, sino únicamente modificaciones necesarias conforme a los adelantos técnicos logrados durante los últimos años y la propia experiencia práctica acumulada en el desarrollo de varios proyectos (especialmente vulcanología).

Complementariamente a las metodologías ya estructuradas para un proyecto tipo; dentro de las prioridades del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE) en lo que respecta a la evolución de los recursos, se ha visto la necesidad de estructurar un procedimiento metodológico que conduzca a la evolución del potencial geotérmico a nivel de provincias geológicas y, eventualmente, a nivel de país. Dicha metodología deberá incluir la estimación de los recursos de alta, media y baja entalpía.

Se han desarrollado varias sesiones de trabajo con la participación de expertos en este campo, y se han definido las siguientes recomendaciones: a partir de la etapa de prefactibilidad, utilizar como guía, la metodología de evaluación presentada en la circular 790 del Servicio Geológico de los Estados Unidos, enriqueciéndola con criterios vulcanológicos de acuerdo a las condiciones predominantes en el medio latinoamericano. Dado el alto grado de incertidumbre que durante la etapa de reconocimiento presenta la estimación de los parámetros básicos necesarios para realizar la evaluación del potencial, se ha propuesto desarrollar una correlación que tome en cuenta los datos razonablemente factibles de obtenerse durante dicha etapa. Como una primera aproximación, se ha recomendado desarrollar para cada tipo de roca, una correlación entre las variables: volumen de material emitido durante la erupción versus la edad de la erupción.

ción, tomando como parámetro de ajuste la cantidad de energía asociado con la intrusión magmática.

La metodología empleada y los resultados obtenidos durante la primera evaluación pasarán a integrarse a un proceso dinámico, con revisiones periódicas, el mismo que se tornaría gradualmente más confiable a medida que se disponga de mayor información en las etapas sucesivas. OLADE continúa trabajando en lo referente a completar los criterios para la estructuración metodológica definitiva.

4. SITUACION ACTUAL DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN AMERICA LATINA Y PROGRAMA OLADE

El impulso adquirido por las actividades geotérmicas en la región involucra actualmente a 18 países, dentro de los cuales se han reconocido unas 60 áreas de interés que, a su vez, han permitido la estructuración de unos 40 proyectos de estudio; cuyos estados de avance oscilan entre estudios de reconocimiento hasta la explotación de 4 campos.

Es de destacarse que la capacidad geotermoeléctrica actualmente instalada en México, El Salvador y Nicaragua totaliza 305 MW, y constituye un gran instrumento de apoyo para incrementar la confianza por el fomento de los recursos geotérmicos dentro de la región. La figura 1 muestra los países que desarrollan proyectos geotérmicos y el cuadro N° 1, el estado de avance de acuerdo a la metodología OLADE.

Respondiendo al interés y solicitud de varios gobiernos de la región, hasta la fecha se desarrollaron bajo la coordinación de OLADE, trece (13) proyectos integrales, concernientes a la exploración geotérmica en sus fases de reconocimiento y prefactibilidad, cuadro N° 2. Las gestiones financieras para la realización de todos los trabajos fueron realizados por OLADE, lográndose financiamientos de carácter no reembolsable para todos los casos.

Tomando en cuenta que numerosos campos geotérmicos han superado las fases iniciales de la exploración, los países han solicitado asistencia de OLADE para el desarrollo de los estudios en fases más avan-

zadas, así como el apoyo en la búsqueda de financiamientos de carácter concesional para que sean asignados directamente a los países.

El cuadro N° 3 presenta costos y duración aproximada de los proyectos en ejecución y por iniciarse con la asistencia técnica de OLADE.

Adicionalmente se ha prestado apoyo técnico y de gestión financiera a los siguientes programas nacionales:

Nicaragua -	Estudio de factibilidad área el Hoyo - Montegalán	US\$ 2 x 10 ⁶
Honduras -	Reconocimiento nacional y prefactibilidad	US\$ 2 x 10 ⁶
BOLIVIA -	Estudio de factibilidad Sol de Mañana	US\$ 11 x 10 ⁶

Además se ha brindado asistencia técnica puntual para los estudios de prefactibilidad en Ecuador y República Dominicana.

CAPACITACION

Para satisfacer las necesidades de personal técnico nacional capacitado en las disciplinas relativas a la exploración geotérmica, derivadas de la ejecución de los antes referidos proyectos específicos, se ha implementado un amplio programa de capacitación a través de cursos de post-gradó en Geofísica, Geovulcanología, Ingeniería de Reservorios, Tecnología de Perforaciones y Geoquímica, dirigidos a los profesionales de la región directamente vinculados con los estudios que se desarrollan en sus respectivos países. Los cursos tienen una duración de 10 semanas cada uno y se han impartido con el apoyo de las siguientes universidades, institutos y organismos nacionales: Corporación Autónoma Universitaria de Manizales, Central de Hidroeléctrica de Caldas en Colombia; Universidad Central del Ecuador e Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL); Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Comisión Federal de Electricidad (CFE) e Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) de México.



Para el curso de Geoquímica está previsto contar con el respaldo de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa en El Salvador.

Al concluir dicho programa, en 1984, se habrán capacitado alrededor de 200 profesionales originarios de los países de la región (cuadro N° 4)

Complementariamente se han desarrollado Seminarios orientados hacia el análisis y discusión de las nuevas tecnologías.

Así por ejemplo en 1983 se desarrolló, dentro del marco del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE), el Seminario Latinoamericano de Exploración Geotérmica, que contó con 112 delegados de 16 países de la región, teniendo como objetivos principales los siguientes aspectos: 1) Estado actual de la energía geotérmica en América Latina; 2) Estructuración del documento preliminar sobre metodología para estimación del potencial geotérmico; 3) Actualización de la metodología OLADE para exploración geotérmica, fases de reconocimiento y prefactibilidad. Todo esto aparte de las discusiones sobre planes de financiamiento de los proyectos geotérmicos y capacitación de recursos humanos de la región. Durante el presente año se efectuará el Seminario Centroamericano de Explotación Geotérmica.

En conjunto, todas estas actividades estuvieron dirigidas hacia el afianzamiento de la tecnología regional como un eficaz instrumento para alcanzar la independencia energética.

BAJA Y MEDIA ENTALPIA

Tomando en cuenta que la geotermia de baja y media entalpía presenta una de las opciones de utilización casi inmediata, se ha considerado concretar esfuerzos tendientes a involucrar a los sectores que están relacionados con las distintas etapas de desarrollo de los recursos geotérmicos para su aplicación en la industria, agroindustria y sistemas no convencionales de generación eléctrica.

En tal sentido, luego de una serie de actividades relacionadas con este campo en la República de Haití, se determinó la conveniencia de integrar un grupo de trabajo que llegase a definir una estrategia regional y elaborar un programa de difusión que estimule la utilización del recurso geotérmico en los países miembros que presenten características favorables. Para la realización de actividades el grupo de trabajo contó con el apoyo de UNESCO y del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) de Brasil, efectuándose en sus instalaciones, en la ciudad de Sao Paulo, Brasil durante el mes de marzo de 1984, una reunión con participación de representantes de Brasil, Ecuador, México y Guatemala, así como también de técnicos de Francia e Italia.

Algunas de las estrategias de corto plazo a seguirse son las siguientes:

- Elaboración de documento metodológico que abarque desde la etapa de reconocimiento hasta la utilización.
- Realización de un Seminario Latinoamericano de geotermia de baja y media entalpía a celebrarse en Brasil, durante el mes de julio de 1985.
- Promover la ejecución de proyectos piloto sobre las aplicaciones y evaluación del potencial.

El seguimiento de las actividades anteriores está a cargo de IPT de Brasil con el apoyo técnico de OLADE.

AMERICA LATINA



CUADRO 1

**ESTADO ACTUAL DE LAS ACTIVIDADES
GEOTERMICAS EN AMERICA LATINA**

1. MEXICO Y AMERICA CENTRAL

ETAPA DESARROLLADA

PAIS:	R	PF	F	D	E
1. Mexico	X	X	X	X	150 MW
2. Costa Rica			X		
3. El Salvador	X	X	X	X	95 MW
4. Guatemala	X	X	X		
5. Honduras	X				
6. Nicaragua	X	X	X	X	35 MW
7. Panamá	X	X			

2. AREA DEL CARIBE

ETAPA DESARROLLADA

PAIS	R	PF	F	D	E
1. Grenada	X				
2. Haití	X	X			
3. Jamaica	X				
4. República Dominicana	X	X			

3. AMERICA DEL SUR

ETAPA DESARROLLADA

PAIS	R	PF	F	D	E
1. Argentina (*)	X				
2. Bolivia		X			
3. Colombia	X	X			
4. Chile		X	X		
5. Ecuador	X	X			
6. Perú	X	X			
7. Venezuela		X			

(*) No es país miembro de OLADE

R = Reconocimiento a nivel nacional
 PF = Prefactibilidad
 F = Factibilidad
 D = Desarrollo
 E = Explotación

CUADRO 2

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA
DE ENERGIA (OLADE)**

Programa Regional de Geotermia

PROYECTOS EJECUTADOS

PAIS	ETAPA DE ESTUDIOS	COSTO (MILES DE US\$)
1. Colombia	Reconocimiento	590
2. Ecuador	Reconocimiento	340
3. Ecuador	Prefactibilidad (Tufiño) parcial	200
4. Grenada	Reconocimiento	210
5. Guatemala	Reconocimiento	590
6. Haití	Reconocimiento	170
7. Haití	Prefactibilidad "Cul de Sac"	60
8. Jamaica	Reconocimiento	580
9. Nicaragua	Reconocimiento	600
10. Nicaragua	Prefactibilidad EL HOYO-SAN JACINTO	2.000
11. Panamá	Evaluación de información Provincia de Chiriquí	35
12. Perú	Reconocimiento	340
13. República Dominicana	Reconocimiento	170

CUADRO 3

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA
DE ENERGIA (OLADE)**

Programa Regional de Geotermia

PROYECTOS EN EJECUCION

PAIS	NOMBRE	COSTO (MILES US\$)	PLAZO (MESES)
1. Panamá	Reconocimiento a nivel nacional	600	16
2. Panamá	Prefactibilidad del área Barú-Colorado	2200	23
3. Guatemala	Prefactibilidad del área Amatitlán	1860	16
4. Haití	Prefactibilidad baja y media entalpía	600	12
5. El Salvador	Desarrollo y Explotación Chipilapa-Ahuachapán	4000	20
6. Ecuador y Colombia	Prefactibilidad Proyecto Binacional Chiles - Cerro Negro y Tufiño	1200	16



CUADRO 4

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA
DE ENERGIA (OLADE)**

Programa Regional de Geotermia

ACTIVIDADES DE CAPACITACION

A CURSOS DE POST - GRADO (1981)

NOMBRE	Nº PAISES PARTIC.	Nº DE PARTICIPANTES
1. Tecnología de la Perforación	8	20
2. Ingeniería de Reservorios	11	20
		TOTAL 40

B CURSOS DE POST - GRADO (1983)

NOMBRE	Nº PAISES PARTIC.	Nº DE PARTICIPANTES
1. Geofísica aplicada	10	19
2. Tecnología de la perforación	12	22
3. Vulcanología aplicada	9	19
		TOTAL 60

C CURSOS DE POST - GRADO (1984)

NOMBRE	No. PAISES PARTIC.	Nº DE PARTICIPANTES
1. Ingeniería de Reservorios	13	20
2. Geofísica aplicada	12	20
3. Vulcanología aplicada	12	20
4. Tecnología de perforaciones	13	25
5. Geoquímica	12	22
		TOTAL 107

D SEMINARIOS

NOMBRE	LUGAR	Nº de Participantes
1. Seminario Centroamericano de Exploración (octubre/81)	Panamá	32
2. Seminario Latinoamericano de Exploración Geotérmica (5-9 septiembre/83)	Quito Ecuador	112
3. Seminario Centroamericano de Explotación Geotérmica (1984)	Managua, Nicaragua	30 (estimados)

VULCANOLOGIA APLICADA A LA EXPLORACION GEOTERMICA

Eduardo Almeida
INECEL - ECUADOR

El estudio geológico de los volcanes, constituye al momento una herramienta muy útil en la exploración de los recursos geotérmicos, como fue demostrado en el último Seminario sobre geotermia organizado por OLADE en Quito, durante septiembre de 1983.

La geovulcanología tiene un campo de acción bastante amplio durante las fases de exploración, fundamentalmente en lo que se refiere al conocimiento de la fuente de calor y el reservorio, los elementos más importantes de un sistema geotérmico. Actualmente con ayuda de las investigaciones geovulcanológicas es posible conocer algunos parámetros inherentes a estos dos elementos.

LA FUENTE DE CALOR

La gran mayoría de las áreas de interés geotérmico están relacionadas con una cámara magmática emplazada en los niveles más superficiales de la corteza terrestre por lo que, con fines eminentemente prácticos, se requiere cuantificar dicha cámara; esto es, conocer su volumen, geometría aproximada, profundidad y temperatura inicial y final, con el objeto de calcular cuanta energía pudo haber sido transferida desde la cámara al medio que le rodea.

El primer paso a darse es determinar la existencia de una cámara magmática, esto puede ser hecho a partir de métodos directos (sismología, gravimetría, geomagnetismo, estudio de las deformaciones del suelo y mediciones de flujo de calor).

Los métodos indicados deben ser usados en con-

junto para obtener una imagen lo más aproximada a la realidad de la zona. Son estudios costosos que a menudo no están al alcance de los recursos económicos y técnicos disponibles dentro de los proyectos y, por lo tanto no pueden ser realizados durante las fases iniciales de la exploración. Por otro lado, según la filosofía básica de las metodologías OLADE no es recomendable realizar estudios e inversiones costosas en una zona en la que previamente no se hayan agotado todos los estudios geológicos que en realidad son mucho más económicos. Estos estudios constituyen los métodos indirectos que proporcionan la información requerida.

La presencia de una cámara magmática puede establecerse mediante estudios de geología estructural (identificación de calderas, estructuras radiales y concéntricas que son las evidencias directas de la presencia de una cámara magmática somera). Además el vulcanólogo al estudiar los productos emitidos por un volcán debe identificar si es que estos provienen de una cámara magmática para cuyo objeto deberá basarse en la presencia de productos diferenciados, zonificación química en los materiales emitidos por una misma erupción y la presencia de líticos que indiquen el estacionamiento del magma a baja profundidad (rocas cumulíticas, pirometamórficas, etc.)

En cuanto a la evaluación del volumen, este puede detenerse con la ayuda del coeficiente de diferenciación, cuyo valor depende de la composición química de la roca e indica el grado de evolución de los materiales emitidos por el respectivo volcán, a partir del volumen total de productos ácidos emitidos, que

puede determinarse con los estudios de campo (mapa geológico), se podrá conocer la masa de líquido magmático que los engendró.

En función de datos se calcula la masa del magma primario, esto es la masa original de magma que luego de los procesos de diferenciación produjo los productos ácidos encontrados en superficie. Con la ayuda de la masa del magma se conoce el volumen del líquido magmático y una vez determinado esto debe establecerse la geometría de la cámara. Para esto, es necesario acudir a los datos geológicos locales y regionales. Conocemos que el magma asciende por zonas de debilidad de la corteza terrestre, situación encontrada en fallas sometidas a esfuerzos de tipo distensivo. En un caso como estos, es de suponer que la cámara magmática tendrá una geometría tabular. Un caso diferente será por ejemplo en un colapso calderico en donde haya habido volcanismo posterior al colapso, la cámara magmática probablemente tendrá una geometría y más o menos cilíndrica.

Hasta este punto conocemos de la existencia de la cámara, su volumen y geometría, necesitándose entonces calcular su temperatura y profundidad. A partir de los análisis químicos efectuados sobre muestras previamente escogidos de los productos de nuestro volcán, utilizamos una serie de diagramas de variación de varios elementos en función del sílice (K2O; Na2O + K2O; Na2O; Al2O3; TiO2; MnO; FeO + Fe2O3). El análisis de los mismos nos indicará si es que estamos, o no, en presencia de una serie evolutiva; esto es, debe notarse un aumento regular del contenido de alcalis y potasio con relación al incremento de sílice y también una progresiva disminución de los otros elementos.

La profundidad de la cámara magmática puede ser determinada en términos de presión de equilibrio de las fases minerales para lo cual resultan muy útiles los análisis del diagrama normativo Q-Or-Ab en donde están reportadas las curvas de equilibrio del sistema, a diferentes presiones parciales de volátiles, y sus temperaturas de equilibrio, siendo también necesario reconstruir el proceso de cristalización. En estos diagramas se ubicarán las muestras más representati-

vas de la serie incluida una que refleje la composición química del líquido magmático más evolucionado (un vidrio separado de los términos más ácidos). Este análisis debe ser hecho tomando en cuenta el examen petrográfico y realizado previamente en las muestras (relaciones cuarzo-matriz, piroxenos-anfiboles, anfiboles-matriz, biotita-matriz, olivino-matriz, zonación en plagioclasas, etc.).

En este momento podemos decir que conocemos los parámetros fundamentales de nuestra cámara magmática pudiendo analizarse el siguiente aspecto:

EL RESERVORIO

Las nuevas técnicas geovulcanológicas pueden ayudar a definir la presencia de un reservorio geotérmico en profundidad, y se basan en el conocimiento del fenómeno del freatomagmatismo que ocurre por la interacción agua-magma.

Esto implica que el vulcanólogo pueda reconocer en el campo los productos volcánicos originados por un proceso de interacción, y que defina si es que la misma ocurrió en niveles superficiales como en el caso de una laguna cratérica o en niveles profundos como es el caso de un acuífero e incluso, si el agua de estos niveles profundos estuvo fría o caliente. Finalmente se requiere conocer la edad de las erupciones y evaluar si es que las condiciones hidrogeológicas que existían al momento de la ocurrencia del fenómeno, subsisten hasta el presente.

El freatomagmatismo resulta una herramienta muy útil que solamente requiere reconocer los puntos antes indicados. El estudio en realidad no es muy simple, puesto que los parámetros que intervienen en el fenómeno pueden variar substancialmente (relación de masas de agua y magma que interaccionan, niveles en donde se produce el fenómeno, etc.).

Idealmente se podría reconstruir un proceso eruptivo en el que se produce este fenómeno y los eventos se sucederían en el siguiente orden: la actividad se inicia con el ascenso del magma por el conducto, aparece la columna eruptiva que deposita piroclastos

de caída y simultáneamente el nivel de disrupción del magma en el conducto va descendiendo, hasta el nivel en el cual los volátiles se liberan explosivamente formando una dispersión gas/partículas. Lo anterior provoca una erosión del conducto expulsándose los líticos de las rocas subsuperficiales; el fenómeno continúa con emisión de flujos piroclásticos. Hasta este momento podría afirmarse que el fenómeno se encuentra en una fase inicial puramente magmática.

A medida que el nivel de disrupción desciende y alcanza a un acuífero en profundidad, el estilo eruptivo cambia radicalmente ya que al reaccionar el magma con el agua se produce una transformación súbita del agua en vapor ocasionando que la explosividad aumente notablemente y provoque, consecuentemente, un aumento en el grado de fragmentación hasta llegar a límites extremos en donde se producen partículas con un tamaño de ceniza; todo esto dependiendo, naturalmente, de las cantidades de agua y magma que interaccionan. También como consecuencia del fenómeno, se produce un incremento de la fase gaseosa en el sistema debido al vapor de agua, incorporada lo que trae como consecuencia una disminución en la concentración de la dispersión gas/partículas presentes en el conducto, y la mayor incorporación de líticos pre-existentes originarios del sitio donde se produce la interacción explosiva. Las erupciones freatomagmáticas tienen un componente lateral muy fuerte y esto las distingue de un proceso puramente magmático. La dispersión escapa lateralmente como una nube de "surge" que viaja a altas velocidades y turbulentamente. Como el vapor de agua es abundante, se expande y se enfría pudiéndose incluso condensar. Dependiendo de la temperatura del vapor los depósitos dejados por los surges tendrán diversas características. El estudio de los líticos arrancados del nivel acuífero aportará con claras indicaciones de la temperatura del agua en el mismo. Si es que existía en el momento de la erupción un sistema geotérmico, los líticos tendrán asociaciones minerales que reflejan las facies hidrotermales del sistema. Este fenómeno en definitiva produce un muestreo de los niveles al reservorio que nos interesa con fines geotérmicos. La actividad puede concluir con una fase puramente magmática si es que el nivel de

disrupción pudo descender a niveles más bajos que los del acuífero. En resumen, el freatomagmatismo permite conocer la existencia de acuíferos en profundidad y la temperatura del agua, y de manera cualitativa, señalar la cantidad de agua que existía en esos acuíferos. Cabe repetirse que se deberá evaluar si es que las actuales condiciones hidrogeológicas son similares a las existentes cuando ocurrió este fenómeno.

Los resultados obtenidos de los estudios geovolcanológicos son muy útiles para la elaboración del modelo térmico de la zona en estudio y tienen un costo sumamente bajo por lo que resultan perfectamente posibles de realizarse durante la etapa de prefactibilidad.

Este procedimiento ha sido utilizado dentro de los estudios de los proyectos el Hoyo Monte Galán en Nicaragua y más recientemente en el área de Chiles Cerro Negro en Ecuador, desarrollados conjuntamente por los respectivos organismos nacionales y OLADE.

MOMOTOMBO: UN VOLCAN AL SERVICIO DEL PAIS

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ENERGIA

INTRODUCCION

La crisis energética a nivel mundial, creada por el aumento desmedido en los costos del petróleo, ha afectado considerablemente a los países que no han desarrollado sus fuentes propias, en cantidades suficientes para suplir la demanda actual y futura. Esta Crisis es aún más seria para los países en vías de desarrollo, por el impacto en la balanza de pagos y por los niveles de inversión requeridos para explotar sus recursos. La energía geotérmica, en los países que cuentan con este recurso, podría convertirse en una de sus fuentes energéticas, si se le da el impulso necesario para su desarrollo.

En el caso específico de Nicaragua, dado que una gran parte de la generación de energía eléctrica del país depende del petróleo y que cada día se hace más costoso, la utilización de las fuentes de energía nuevas y renovables es de suma importancia para el desarrollo socio-económico del país.

Por su estructura geológica, Nicaragua es un país con grandes perspectivas geotérmicas, razón por la cual el Gobierno Revolucionario ha creído conveniente incrementar los estudios y las prospecciones, que puedan llevar al país a una pronta y extensa utilización de este Recurso Natural. Los resultados positivos hasta ahora obtenidos en Momotombo, han venido a constituir un estímulo para continuar vigorosamente estos estudios en todo el país.

Tomando como base, el estudio de factibilidad efectuado por Electroconsult, en 1976, y las pruebas de pro-

ducción posteriores realizadas en 1979 y 1980, se empezó la construcción de la Primera Planta Geotermoelectrica en Momotombo, en el año 1981 y entró en operación comercial en Septiembre de 1983.

Esta primera Planta genera 35 000 kilovatios y está alimentada por el vapor procedente de los pozos MT-9, MT-12, MT-10 y MT-27, contando con el pozo MT-23 como reserva. También se efectuó una evaluación total del campo durante los años 1980, 1981 y 1982, completándose la factibilidad de una segunda planta generadora de 35 000 kilovatios, que aumentaría la capacidad de Momotombo a 70 000 kilovatios.

El Gobierno Revolucionario está dando los pasos necesarios para conseguir el financiamiento requerido y hacer Momotombo II, una realidad.

ANTECEDENTES

La actividad geotérmica en Nicaragua se remonta al año 1966, cuando una misión de la firma Consultora ELECTROCONSULT arribó al país con el objeto de examinar la existencia de Campos Geotérmicos.

Después de hacer investigaciones geológicas y vulcanológicas, se definió cinco diferentes regiones conocidas como:

1. Litoral del Pacífico
2. Norte de Nicaragua
3. Depresión Nicaragüense
4. Altiplanicies internas
5. Litoral del Atlántico



Las tres primeras interesaron a los técnicos desde el punto de vista geotérmico.

En cuanto a las inspecciones hechas en los campos fumarólicos pueden anotarse las zonas de Momotombo, San Jacinto, Laguna de Jiloa y Tipitapa.

En Junio de 1969, el Gobierno de Nicaragua celebró un contrato con TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED para llevar a cabo investigaciones, con el objetivo de localizar y delinear campos de potencial geotérmico en la Región Occidental de Nicaragua, incluyendo compilación de datos en manifestaciones termales, mapeo geológico regional y detallado, levantamiento geofísico y geoquímico, perforaciones de pozos poco profundos para medición de gradiente de temperaturas y perforación de un pozo profundo de prueba.

Basándose en los estudios realizados, la Texas Instruments Inc. clasificó 10 sitios de potencial geotérmico, los cuales son:

- Fumarolas del Volcán Momotombo Sur
- Fumarolas de San Jacinto-Tizate
- Fumarolas del Volcán Casita
- Fumarolas del Volcán Telica-Najo
- Area Termal del Lago Jiloa-Apoyeque
- Fumarolas del Cerro Colorado
- Fuentes termales de Tipitapa
- Pozos termales de la Hacienda
- Agua Caliente-Villa Salvadorita
- Fuentes termales de San Luis

Los estudios finalizaron en Febrero de 1971, concluyendo que el área de fumarolas del Volcán Momotombo mostraba indicaciones fuertes de que podía desarrollarse un reservorio comercial de energía geotérmica, capaz de soportar una planta eléctrica de 35MW o más. El área de fumarolas de San Jacinto también presentaba las características de un reservorio con potencial comercial de energía geotérmica.

A petición del Gobierno de Nicaragua, una misión de especialistas de las Naciones Unidas, visitó el país en Mayo de 1971, con el objetivo de examinar los trabajos ya realizados y formular sus recomendaciones; la

misión confirmó las principales conclusiones y recomendó la ejecución de una Programa amplio de explotación. En cumplimiento de esas recomendaciones el Gobierno presentó al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD) una solicitud de asistencia técnica y financiera, que fue aprobada por el Consejo de Administración en Enero de 1972.

Los objetivos inmediatos eran continuar con el programa establecido por el Gobierno en 1969, es decir:

- a. Demostrar por medio de perforaciones de pozos profundos, que uno de los campos Momotombo o San Jacinto, presentaba perspectivas desde el punto de vista comercial, con producción suficiente de vapor para una central de energía de 30MW.
- b. Elaboración del diseño preliminar y un estudio de factibilidad técnica económica para una planta de generación eléctrica.

El 23 de Diciembre de 1972, un terremoto de proporciones catastróficas azotó a la ciudad de Managua, capital del País, perdiéndose en la destrucción de la oficina, archivos e instrumentos. A comienzos de Marzo de 1973, el Gobierno decidió reducir temporalmente el avance del proyecto y llevar solamente a término los estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos, que ya habrán sido comenzados y se encontraban en etapas avanzadas, quedando el proyecto terminado con la presentación de un informe final en Diciembre de 1973.

Los estudios y trabajos de reconocimiento ejecutados bajo este plan de trabajo se limitaron a las zonas de Momotombo y San Jacinto-Tizate y confirmaron la existencia de dos campos geotérmicos distintos, de 10 Km² y 7 Km² de extensión lateral, con temperaturas mayores de los 230° C y ambos con prospecciones promisorias a valor comercial.

A fines de 1973, el Gobierno decidió poner a cargo de la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF) la terminación del programa de exploraciones geotérmicas. Para finalizar el programa original del Gobierno, ENALUF contrató los servicios de la Compañía Consultora Italiana ELECTROCONSULT, el 15 de Mayo de 1974, con el propósito de finalizar las pruebas del campo Momo-

tombo, por medio de perforaciones profundas de exploración, el diseño preliminar y un Estudio de Factibilidad Técnica de una Planta de generación eléctrica.

Asimismo, ENALUF contrató en Mayo de 1974, a la compañía de Perforaciones FORAMINES, para la perforación de cuatro pozos de doble propósito, exploración/producción, con profundidades que oscilarán entre los 600 y 900 metros y que de ser necesario, se ampliarían hasta 1200 mts.

Una vez concluidos los trabajos anteriores y para completar las perforaciones, ENALUF contrató en Agosto de 1975 a ENERGETICOS, S.A., para perforar 12 pozos de producción y a la Compañía Consultora CALIFORNIA ENERGY, para la planeación y supervisión de dichas perforaciones. La fecha de finalización de estos contratos se estimó para Enero de 1977.

La Compañía Consultora California Energy Company, llega a perforar 28 pozos con profundidades desde 320 metros a los 2,250 metros, sumando un total de cerca de 27.750 metros en los 28 pozos.

A partir de Julio de 1979 los técnicos nacionales y el Proyecto Geotérmico toman un rumbo claro y definido. Se logra establecer la factibilidad de la Primera Unidad Geotermoeléctrica con capacidad de 35MW. que podría ser instalada en el campo geotérmico Momotombo, además con estudios geocientíficos posteriores se define y se establece la factibilidad técnica económica de la otra Unidad de 35MW.

El personal nacional tanto a nivel técnico medio como profesional, ha venido recibiendo entrenamiento en diferentes disciplinas de la geotermia. Un total de 19 técnicos medios han visitado países involucrados en el desarrollo geotérmico, tales como México, Islandia, Italia, etc., a través de colaboraciones de Gobierno a Gobierno, becas de organizaciones internacionales, Universidad de las Naciones, OLADE, etc.

En el año de 1980, se firmaron dos convenios de cooperación técnica entre el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) para desarrollar un estudio de reconocimiento a nivel nacional, especialmente a lo largo de

la cordillera de los Marrabios, lo que permitió priorizar 5 áreas de interés mediante sólidos criterios técnicos; y un estudio de prefactibilidad en el área comprendida entre los volcanes: El Hoyo-Monte Salán y San Jacinto-Tizate. Estos estudios se llevaron a cabo mediante un financiamiento de fondo especial de OPEP, a través de OLADE con asesoría extraregional y contraparte nacional del INE. Los objetivos principales de estos estudios eran identificar las zonas de interés geotérmico y ubicar los sitios para las primeras perforaciones exploratorias profundas.

En Marzo de 1981 se da comienzo a la construcción de la Primera Unidad Geotermoeléctrica Momotombo, la cual termina de construirse en Septiembre de 1983, en donde por primera vez en la historia de Nicaragua los componentes eléctricos y civiles son supervisados en su totalidad por técnicos nacionales, siendo la parte mecánica en donde INE contrata la asesoría de una compañía especializada.

LOCALIZACION

El campo geotérmico de Momotombo, se encuentra en la zona Oeste de Nicaragua, y precisamente en la orilla Norte del Lago de Managua a los pies del homónimo volcán, que junto a varios otros constituye la cadena volcánica cuaternaria nicaragüense.

El volcán Momotombo, uno de los más familiares paisajes de Nicaragua, tiene forma regular de cono simétrico, alcanza los 1.200 m. y cubre una superficie de 65 Km².

La cercanía del volcán indujo a estudiar el riesgo volcánico presente en el proyecto geotérmico de Momotombo.

El área de los pozos y la planta son fácilmente alcanzables por carretera desde Managua. La distancia que hay que recorrer es de aproximadamente 90 Kms. y la carretera está asfaltada en dos tercios (hasta La Paz Centro).

El nivel de El Lago, en el cual se asoma el campo, está a un nivel medio de 39 mts. sobre el nivel del mar.

Por lo tanto, el área del campo tiene una eleva-

ción media alrededor de los 100 mts. alcanzando uno de los pozos una elevación hasta de 250 mts.

GEOLOGIA

La ubicación vulcano-tectónica de la cordillera de los Marrabios, de la cual el volcán Momotombo forma parte, está controlada por uno de los ejemplos más complejos de interacción entre las placas litosféricas terrestres. Los bordes de cuatro de estas placas son tanto convergentes como divergentes, produciendo así una multitud de fallas "transform", dorsales compresivos, fosas de alto mar, vulcanismo de arcos insulares y vulcanismos de placas crecientes.

Directamente en la zona de los Marrabios, el borde occidental de la placa del Caribe pasa encima de la placa de Cocos. Esta última se hunde en la conspicua fosa de Centro América, justo unos 100 Kms. afuera de la costa de Nicaragua. Sobre la placa del Caribe existe la evidencia de una zona de extensión detrás del arco insular, produciendo una graben, la Depresión Nicaragüense, unos 60-80 Kms. de ancho, subparalelo a la fosa de Centro América.

El volcán Momotombo, en el borde sub-occidental de la Depresión Nicaragüense, se encuentra en una ubicación donde dicha depresión cambia de rumbo desde 308° al norte hasta 320° al sur.

El basamento local de las volcanitas de Momotombo, alcanzado sólo por una pequeña parte de los pozos perforados, incluye una secuencia de derrames lávicos, piroclásticos y aglomerados con intercalaciones delgadas, en las partes más profundas de los pozos, de piroclásticos fosilíferos retrabajados.

Estratigráficamente esta secuencia se puede correlacionar fácilmente, utilizando el mapa de correlaciones estratigráficas de Parson (1972), con el grupo de sedimentos y cenizas del Coyoil Inferior de edad Mioceánica Medio-superior. Esta unidad está cubierta por los aglomerados, lavas y cenizas del Coyoil Superior del Pliopleistocénico; por último con la reactivación del vulcanismo en el Pleistocénico/Cuaternario, toda la sucesión fue recubierta por lavas y piroclásticos en niveles bien distintos.

Estudios anteriores (CECI-California Energy Company Inc., 1979, IECO-International Engineering Company 1980) subdividieron la columna estratigráfica perforada por los 32 pozos geotérmicos en ocho unidades distintas.

Esta columna estratigráfica está constituida por productos volcánicos de composición variable, desde basáltica hasta ácida, presentándose principalmente en sus equivalentes piroclásticos; existen sin embargo coladas lávicas en número suficiente para facilitar, ya sea la clasificación petrográfica como la correlación entre los pozos. La unidad más profunda contiene calizas marinas fosilíferas de edad Miocénica superior.

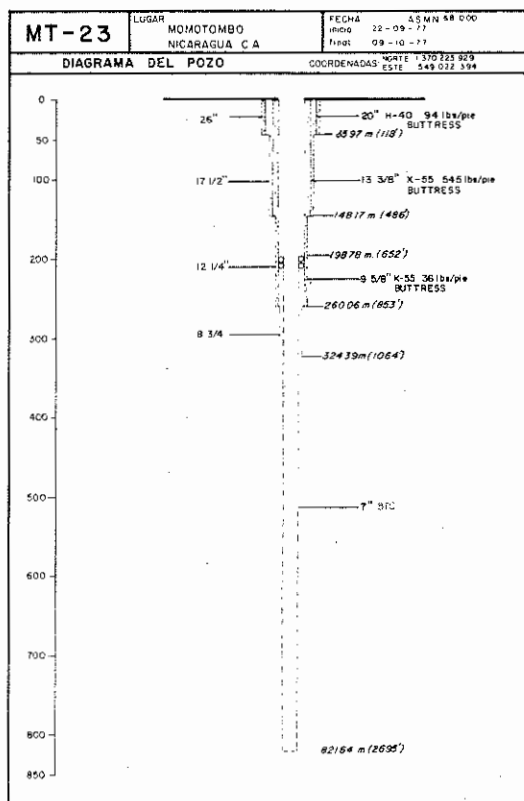
La correlación de los niveles claves permitió confirmar o negar la existencia de fallas inferidas por otras técnicas de observación (especialmente fotos de satélite por medio del método de radar con apertura sintética) y calcular la dirección y tamaño de los desplazamientos de dichas fallas. La combinación del mapeo por fotos radar y de investigaciones de detalle de la litología permitió la preparación de un nuevo mapa del área, bastante diferente si se le compara con versiones anteriores.

POZOS

En Momotombo existen dos etapas de perforación de pozos: una que va de Noviembre de 1974 hasta Agosto de 1978 y otra que va desde Octubre de 1982 hasta Junio de 1983. En la primera etapa se perforaron 32 pozos de los cuales 20 son productores y 4 de reinyección. En la segunda etapa se perforaron 3 pozos, de los cuales 1 es de producción (para la segunda unidad) y los otros dos son de reinyección.

Para alimentar la primera unidad de 35MW que entró en operación en Septiembre de 1983, se conectaron 5 pozos productores de vapor, de los cuales, uno es de reserva y cinco pozos para reinyectar las aguas residuales.

Las técnicas de perforación y terminación de los pozos geotérmicos empleados en Momotombo, han sido semejantes a las que se aplican a los pozos petrolí-



TUBERIA UTILIZADA EN LOS POZOS DE EXPLORACION Y EXPLOTACION DEL CAMPO GEOTERMICO DE MOMOTOMBO:

D. E. TUBERIA (pulgadas)	PROFUNDIDAD metros	
	EXPLORACION	EXPLOTACION
20	000-20 (C)	000-20 (C)
13 3/8	020-250 (A)	020-250 (A)
09 5/8	250-840 (P)	150-350 (P)
07		350-600 (L)

NOTA: (C) Conducción
(A) Anclaje
(P) Producción
(L) Liner

feros, con la diferencia de que se ha utilizado en la cementación, aditivos de cementación especiales, tubería de producción de roca más resistentes y lodos de perforación enfriados mediante la utilización de una torre de enfriamiento.

CARACTERISTICAS QUIMICAS

Se efectuaron análisis químicos sobre muestras procedentes de todos los pozos, recolectada a la boca de pozo tras separación y condensación; se recolectaron también muestras profundas (- 1 500m), obteniendo resultados similares.

La química indica que el campo es agua dominante, con características cloro-sódica. Los geotermómetros (Na-K-Ca; SiO₂) indican temperaturas dentro del rango de las medidas, con desviaciones del orden de 10 a 20°C. La distribución de los cloruros a -300M S.N.M. indican una forma muy similar a la de los mapas de temperatura al mismo nivel.

No se observan diferencias notables de composición y concentración entre las aguas de los pozos profundos y las producidas por los pozos alimentados por el acuífero somero (como MT-2 y MT-3). Este hecho indica que el acuífero somero es abastecido directamente por el flujo ascendente desde el Oeste-Noroeste, sin que se verifiquen apreciables fenómenos de mezcla con el flujo frío que se introduce desde el Este.

Tampoco es posible reconocer, en base a los datos geoquímicos disponibles, indicios de una tendencia evolutiva hacia una gradual intrusión de aguas menos calientes, causada por la explotación.

Cabe mencionar, sin embargo, que en la historia geoquímica del campo de Momotombo, falta una buena continuidad en la recolección de muestras, y a veces, una precisión analítica suficiente como para apreciar pequeñas variaciones en la composición y/o concentración de los fluidos.

Desde ahora en adelante se precisará de un monitoreo geoquímico de los pozos muy regular y cuidado-

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS GEOTERMICAS EN CAMPOS AGUA - VAPOR

UBICACION	PROF		PH	PPM							S04 =	AS ++	B	102
	T° C	(M)		Na +	K +	Mg ++	Ca ++	Fe ++ +	Cl -					
HVERAGERDI - ISLANDIA	216	650	9.6	212	27		1.5	0.1	197	61		0.6	480	
NGAWHE - NUEVA ZELANDIA	360	585	7.4	950	80	*	28	0.1	1625	17		1200	460	
MEXICALI - MEXICO	340	1285	N D	5820	1570	8	280	0.2	10420	12		12.4	740	
SALTON SEA - CALIFORNIA	340	1600	4.7	5040	1750	54	280	2290	15500	5	12	390	400	
SENKYORO - JAPON	150	N D	1.2	5000		4000	400	3770	6880	84	6.4	470		
AHUACHAPAN - EL SALVADOR	230	900	7.0	6120	995	10	416		11000	27		162	663	
NICARAGUA		D S	8	2180	400	0.038	84		3976	18.1	1.4	17	550	

NOTA: (*) Incluido en el análisis de Ca +++
 ND=No hay información
 NS=No hay descarga Superficial

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS GASES EN CAMPOS GEOTERMICOS AGUA - VAPOR

UBICACION	% GAS/VAPOR	% CO ₂	% H ₂ S	% + HIDROCARB	% H ₂	% N ₂ + Ar
BROADIANDS - NUEVA ZELANDIA	0.61	94.80	2.10	1.20	0.20	1.50
MEXICALI MEXICO	0.54	81.40	3.60	7.00	0.50	7.00
OTAKE - JAPON	0.10	46.70	0.65			2.70
AHUACHAPAN - EL SALVADOR	0.20(a)	94.00	6.00			
MOMOTOMBO - NICARAGUA	(0.5) *	93.37	1.07	2.41	0.74	2.41

NOTA: (a) : % por peso
 (*) : % por volumen.

só, para vigilar sobre este aspecto muy importante el manejo del campo.

El vapor separado contiene gases, alcanzando el promedio de los análisis el 1.1% en peso; el anhídrido carbónico representa la casi totalidad de los gases.

CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS DEL CAMPO

El campo está constituido por dos acuíferos distintos, si bien conectados entre ellos. El acuífero somero, de tamaño limitado está alimentado por otro profundo de alta temperatura, a través de un sistema cruzado de fallas.

La mayoría de los pozos perforados hasta la fecha interceptan el acuífero somero, cuyas características fundamentales son, por lo tanto, mucho más conocidos que los del reservorio profundo, alcanzado solamente por los pozos MT-4, MT-10 y MT-34.

Para una explotación intensiva del reservorio es preciso que la extracción provenga también del acuífero profundo; en efecto, el tamaño del sistema superficial considerado como isla cerrada no permitiría instalar más de los 35MW ya construidos y tampoco alcanzaría a sustentar los mismos 35MW durante un plazo de 20 años.

El análisis por modelaje matemático ha subrayado, además, que la explotación del sistema profundo, mediante dos unidades de 35 MW, no puede efectuarse solamente aprovechando la subida natural del fluido a través del sistema de fallas; en esta hipótesis, en efecto, el abatimiento de presión en el acuífero somero, necesario para inducir el flujo subvertical hacia este último resultaría tan alto que la resultante presión de reservorio no alcanzaría a sustentar el caudal necesario en los pozos.

La estrategia de explotación propuesta prevé por ende estas líneas fundamentales de desarrollo:

- a. Perforar unos pozos en la zona de subida del fluido, para explotar directamente el acuífero profundo.

El número de pozos a perforarse dependen de sus

características, pero puede estimarse entre 2 y 4 (uno ya fue perforado en el presente año).

- b. Utilizar los pozos ya disponibles para el abastecimiento, desde el acuífero somero, de la primera unidad y para un parcial abastecimiento de la segunda.
- c. Conectar al sistema de tubería un número de pozos mayor de los estrictamente necesarios para permitir una mayor elasticidad de operación y mantenimiento, alternando los pozos en producción.

CARACTERISTICAS DE PRODUCCION

A pesar de que los pozos interceptan el mismo acuífero, hay evidentes diferencias entre las características de producción de los mismos, debido a la intrínseca deshomogeneidad de los acuíferos fracturados. En particular, la tendencia a evolucionar hacia la producción de vapor seco no depende solamente de la profundidad del horizonte productivo, sino parece ser influenciada también por las distribuciones de temperatura y permeabilidad en el acuífero.

Por lo tanto, para establecer las características de producción en que se basó el proyecto, tanto de la turbina como de los sistemas de acarreo y de reinyección, se utilizaron los criterios siguientes:

- a. Para los pozos ya existentes se utilizaron los datos del caudal y entalpía proporcionados por las pruebas de campo; una variación de características de producción fue considerada solamente para algunos de ellos, que ya habían manifestado tendencias evidentes hacia un aumento de entalpía durante las pruebas.
- b. Para los pozos nuevos a perforarse en el reservorio profundo, se hizo referencia:
 1. a los datos de temperatura disponibles, para definir la entalpía.
 2. a la producción del pozo MT-4 desviado y de diámetro de Producción de (9" 5/8). Se tomaron

CARACTERISTICAS DE PRODUCCION DE LOS POZOS PRODUCTORES

POZO	CAUDAL TOTAL (kg/s)	CAUDAL VAPOR (kg/s)	ENTALPIA (kj/kg)
MT-2	60	12	1,100
MT-3	95	18	1,100 (*)
MT-4	08	08	2 700
MT-9	70	13	1 100
MT-10	07 (*)	07 (*)	2 700
MT-12	20	20	2 700
MT-17	40	08	1 100 (*)
MT-19	20	04	1 100
MT-20	32	32	2 700
MT-21	34	06	1 100
MT-22	60	11	1 100 (*)
MT-23	85	16	1 100
MT-25	55	10	1 100
MT-26	90	17	1 100
MT-27	140	26	1 100 (*)
MT-31	110	12	0950

NOTA: (*) Se prevé evolución hacia producción de vapor seco.

DATOS BASICOS DE OPERACION

		Operación Nominal	Régimen Máximo
Potencia	kw	35 000	40 370
Factor de potencia	—	0.85	0.98
Presión de admisión en turbina	bar	7.00	8.10
Presión al colector de vapor	bar	7.35	8.50
Presión al condensador	bar	0.125	0.145
Caudal de vapor a las válvulas de ingreso turbina	kg/h	264 125	302 006
Caudal de vapor a los eyectores	kg/h	15 968	15 968
Caudal total de vapor	kg/h	280 093	317 974
Consumo de los auxiliares	kw	2 200	2 200
Consumo específico bruto	kwh	8.00	7.90
Consumo específico neto	kg/kwh	8.50	8.30



también en cuenta los datos del MT-10. Se subraya sin embargo que pese a, la producción seca de los pozos mencionados, se consideró una entalpía "de proyecto" de 1400 kJ/kg.

CARACTERISTICAS BASICAS DE LA PRIMERA UNIDAD DE MOMOTOMBO

La primera Unidad Geotérmica de Momotombo fue puesta en marcha en Agosto de 1983; tiene una capacidad instalada de 35MW. La planta es del tipo de una sola etapa de evaporación.

BIOMASA BIOCOMBUSTIBLES BIOENERGIA

Jorge Cals Coelho

COORDINADOR DE RECURSOS ENERGETICOS
SETEC - MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
BRASILIA/DF, BRASIL

1. BIOMASA - FUENTES

La biomasa puede ser definida como toda materia orgánica, de origen vegetal o animal. Normalmente, la biomasa puede ser convertida en energía utilizándose procesos sencillos y muchos de ellos, conocidos suficientemente. El contenido energético de la biomasa es relativamente uniforme y de bajo del orden de 3.000 Kcal/kg.

Para el objetivo de este trabajo la biomasa que presenta mayor interés es la de origen vegetal, por lo que cuando se hable de biomasa, se entenderá que es la vegetal.

La biomasa es una forma que la naturaleza utiliza para almacenar la energía solar incidente sobre la tierra. Esta energía almacenada puede ser otra vez transformada en energía útil por varios procesos de conversión, según las conveniencias del uso final.

Los combustibles fósiles: petróleo, carbón, gas natural, que actualmente abastecen energéticamente al mundo, son formas más concentradas de almacenar energía. Estos combustibles fósiles provienen de una transformación de la biomasa que a su vez es producto de la conversión natural de la energía solar en materia orgánica vegetal por medio de la fotosíntesis.

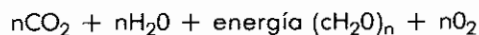
1.1 Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual los vegetales usan la energía irradiada por el sol para la síntesis

de compuestos químicos, resultando en la vida y crecimiento de las plantas. En otras palabras, es la producción de biomasa a través de la fotosíntesis la que convierte la energía solar en energía química.

Apenas 0.1% de la energía solar recibida por la tierra entra en el proceso fotosintético de producción de materia orgánica. Esta pequeña cantidad de energía anualmente responsable de la producción de aproximadamente 200.000 millones de toneladas de materia orgánica seca en forma de florestas, pastos, cereales, etc., inclusive vegetación acuática.

La reducción fotosintética del dióxido de carbono para formar la biomasa, y el oxígeno molecular, es una de las principales reacciones responsables por la vida:



Los productos finales de la fotosíntesis son:

- materia orgánica (carbohidrato)
- oxígeno atmosférico

Se puede estimar la productividad media de la biomasa por día en una región tropical, en **230 kg/ha.**

1.2 Fuentes Primarias

Se denomina "fuente primaria" a aquella biomasa cuya utilización principal es la producción de energía y que es residuo de algún proceso industrial o agrícola.



Las fuentes primarias de biomasa con fines energéticos, puede ser clasificadas en:

A. VEGETALES LEÑOSOS

Esta categoría engloba vegetales con características de alta densidad, alta dureza, alta rigidez, aliadas a un alto contenido de lignina. Los vegetales leñosos o las maderas ocurren:

- naturalmente, en florestas nativas;
- artificialmente, en florestas plantadas

Cuando la tala de árboles de florestas nativas no es controlada adecuadamente, la explotación de ella, para leña o para otros fines, provoca una transformación extensiva en desiertos.

El replante de estas áreas taladas debe hacerse con árboles genéticamente superiores, para que pueda aumentar gradualmente la cantidad total de recursos forestales que estarán disponibles en el futuro, sin que se aumente el área plantada. Es seguro que el aumento de los recursos forestales y la administración inteligente de florestas existentes resultarán en una mayor producción de combustibles.

B. VEGETALES NO LEÑOSOS

Se incluyen en esta categoría los vegetales de pequeño porte, normalmente son productores de alimentos pero que también sirven como fuente energética. Casi siempre son plantados y sus cultivos son periódicos. Podríamos señalar como ejemplos: caña de azúcar, sorgo sacarino, remolacha, etc. Estas fuentes presentan la ventaja de un acceso más conveniente para los usuarios de la energía que el de las florestas de la categoría anterior.

Los tipos de plantaciones energéticas a ser cultivadas dependen del tipo de biocombustible que se desee obtener, y de las condiciones edafoclimáticas de la región elegida. El biocombustible, a su vez, depende en consecuencia de las necesidades del mercado energético que se deben satisfacer.

Las plantaciones energéticas de vegetales no leñosos deben ser ricas en:

- amiláceos (mandioca, maíz, batatas, etc.);
- celulosa (pasto, bambú, etc.) o
- sacarosa (caña, sorgo sacarino, etc.).

C. VEGETALES ACUATICOS

Existe una gran variedad de vegetales que crecen en las aguas. Estos vegetales varían desde las microalgas unicelulares hasta las macroalgas. Estas plantas, para su desarrollo necesitan de radiación solar, dióxido de carbono y nutrientes. Los vegetales acuáticos pueden desarrollarse tanto en agua dulce (lagos, represas, ríos) como en agua salada (océanos).

Una considerable cantidad de tipos de biomasa, prácticamente sin utilización, proliferan en las aguas a través del mundo.

Estos vegetales acuáticos constituyen una enorme fuente de biomasa, teniendo un gran potencial energético y un excelente valor como ración. Esencialmente son vegetales altamente productivos que no necesitan de tierras cultivadas, fertilizantes, sembrado o pesticidas. Alcanzan una producción de 85 ton/ha/año de materia seca.

De estos vegetales, el más conocido en Brasil es el aguapé, sobre el cual se están realizando investigaciones para transformarlo en biogas a través de digestión anaeróbica.

El cultivo de recursos fotosintéticos acuáticos tiene una historia muy corta en relación a cultivos terrestres. La mayor parte de las tecnologías emanan, actualmente, de las naciones asiáticas.

D. BIOFLUIDOS

Determinados vegetales tienen una savia o látex de composición semejante a ciertos combustibles o productos químicos derivados del petróleo. El ejemplo más conocido es el caucho natural.

Sin embargo otros árboles producen hidrocarbu-



ros semejantes a la gasolina, diesel o aceite combustible.

Existen, todavía, los vegetales que son productores de aceites y ceras extraídos normalmente de frutos y granos. Estos productos presentan un poder calorífico dos veces superior al de la celulosa, del almidón y de otros carbohidratos.

Resumiendo, en esta categoría de fuentes de biomasa se puede englobar:

- látex
- savias
- resinas
- aceites
- ceras
- otros fluidos

E. ESPECIALES

En esta categoría se puede agrupar a los tipos especiales de fuentes de biomasa que no se puede englobar en ninguna de las categorías anteriores o que enmarcan simultáneamente en varias. Por ejemplo el babazú, cuyo fruto es amiláceo (mesocarpio), tiene material leñoso (endocarpio) y es productor de biobluído (almendra). Otros vegetales de la misma categoría serían el "coco de Bahía" y el "dende".

El coco de Bahía y el Dendé también se enmarcan en esta categoría pues, además de producir aceite vegetal, pueden producir carbón vegetal: tienen una cáscara con características excelentes para tal fin.

1.3 Fuentes Secundarias

Se puede denominar "Fuente secundaria" a aquella biomasa que, no obstante constituya subproducto de un proceso industrial, todavía suministra energía cuando sometida a una conversión adecuada.

RESIDUOS Y DETRITOS ORGANICOS

Estos residuos pueden tener los más distintos orígenes y que quedan englobados en los siguientes grupos:

- residuos rurales
- residuos urbanos
- residuos industriales

Se considera que cada residuo se caracteriza por origen, lo que determina sus calidades de disponibilidad y concentración.

— Residuos Rurales

Son los originados en las actividades desarrolladas en el medio rural y pueden ser provenientes de tres tipos de actividades:

- Residuos Culturales (cultivos agrícolas)
- Residuos forestales (manejo y explotación forestal)
- Residuos animales (manejo de rebaños)

— Residuos Urbanos

Que a su vez pueden ser subdivididos en:

- residuos sólidos (basura)
- residuos líquidos (desecho cloacal)

La basura urbana es óptima fuente de energía. La generación de basura per capita es del orden 2.5 a 3.000 Kg/día. De esta cantidad, apenas 1.5 a 2.0 kg. es materia orgánica, siendo el resto constituido de inertes en términos energéticos.

El desecho cloacal produce biogas, donde ya existe tratamiento anaeróbico, en una proporción de 0.028m³ per capita por día.

— Residuos Industriales

Los residuos industriales de naturaleza orgánica son excelentes fuentes de biocombustibles. Como ejemplo se puede citar, en la industria alcohólica el bagazo de caña y la vinaza (efluente del destilado). De las industrias que generan residuos orgánicos se cuentan:

- industrias alimenticias
- curtiembres (cuero)
- industrias de bebidas

2. SISTEMAS DE CONVERSION

2.1 Biocombustibles

Biocombustibles son como el mismo nombre dice, combustibles de fuentes renovables de energía oriundas de seres vivos. Todos los biocombustibles son al final derivados de los vegetales que cogen la energía solar, convirtiéndola en energía química a través de la fotosíntesis y que por la ingestión o digestión transfieren esta energía para el resto del mundo vivo. En este sentido, todas las formas de vida, sus productos y residuos son reservas de energía solar listos para ser ingeridos, quemados o convertidos en otros combustibles orgánicos.

Cada día, inciden sobre la tierra, proveniente del sol, 3.000 veces más energía que la consumida por Brasil en un año (1.4×10^{12} Kcal). Cerca de la mitad de esta energía es reflejada de vuelta al espacio. La mayor parte de la energía solar que finalmente penetra en la atmósfera acaba por alimentar los sistemas de vientos, temperatura y agua de la biósfera. El restante, apenas 0.1% es captado por los vegetales terrestres, algas y algunas especies de bacterias y convertido por la fotosíntesis en la energía química del protoplasma.

Comparados con los dispositivos solares, eólicos e hidráulicos, los vegetales son muy ineficientes al convertir energía solar en formas utilizables de energía (ver fig. "1").

Los procesos de conversión pueden ser físicos o químicos, o una combinación de ambos. Las técnicas de conversiones físicas se basan en alteraciones físicas en la forma de la biomasa. Por ejemplo, la forma de la biomasa forestal o madera, puede ser unificada por:

- técnicas de reducción de tamaño, como transformación en trozos, pulverización, etc.
- técnicas de secamiento para reducir el agua contenida.

Las técnicas de conversiones químicas están ba-

sadas en alteraciones moleculares en la estructura de la biomasa. Por ejemplo.

- combustión incompleta para generar productos químicamente derivados de biomasa (gas de síntesis);
- ruptura de las moléculas de celulosa a través de la acción de ácidos minerales o bacterias seleccionadas.

Este trabajo se limitará a los procesos químicos de conversiones, debido a la gran importancia de los mismos.

Existe una gran variedad de caminos para convertir biomasa directamente en biocombustibles. Sin embargo no se puede decir que existe un mejor proceso, todo depende de dónde y por qué se está haciendo la conversión de la biomasa. Pero una conclusión es evidente en cuanto a la materia prima y es que se deben usar al máximo los residuos y detritos orgánicos pues aún después de convertidos en biocombustibles, todavía sirven para reciclar los nutrientes y cerrar el ciclo.

Toda esta variedad de caminos para convertir biomasa en biocombustibles obedece a los principios básicos de la vida en la naturaleza. Existe un ciclo completo en todas estas conversiones.

Durante siglos algunas formas de biomasa han sido usadas directamente como combustibles, sin ninguna transformación antes de su utilización. No obstante, actualmente, ya existen muchas tecnologías para la conversión de biomasa en biocombustibles, con objeto de facilitar el aprovechamiento energético.

2.2 Conversiones Biológicas

El estudio de las conversiones biológicas de la biomasa puede ser subdividido en:

- fermentación
- digestión anaeróbica

2.2.1 FERMENTACION

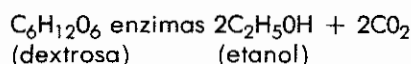
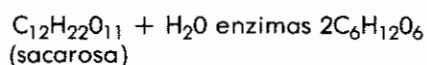
El principal combustible producido por el proceso



de fermentación es el etanol o alcohol etílico.

El etanol se produce por la conversión bioquímica de los azúcares fermentables a través de microorganismos como hongos, bacterias, levaduras, etc.

La producción de etanol a través de la fermentación de frutas y cereales ya está en uso hace siglos. El proceso de fermentación es básicamente una reacción de descomposición, que envuelve interacción de varias enzimas y soluciones de azúcares. Las enzimas sirven como catalizadores, según las reacciones abajo, que muestran la fermentación de la sacarosa:



Estas reacciones pueden ser alimentadas con varias formas de biomasa vegetal, principalmente con carbohidratos: azúcares, almidones y celulosa. En el caso de estos carbohidratos, se presentan dos hipótesis: la materia prima ya contiene azúcares simples (caso de la sacarosa de la caña de azúcar) que pueden ser fermentados directamente o contiene azúcares más complejos (almidones y celulosa) que deben ser hidrolizados a azúcares simples antes de la fermentación.

Los azúcares más simples contienen apenas una molécula de azúcar en su molécula, son los monosacáridos; en esta categoría se pueden incluir dextrosa (glucosa) y fructosa. Otros azúcares como la sacarosa, maltosa y lactosa contienen dos moléculas de azúcar simples son los disacáridos. Los almidones son carbohidratos más complejos sus moléculas (polisacáridos) se constituyen de muchas moléculas de monosacáridos, ligadas unas de las otras por enlaces químicos externos, formando una gran molécula única.

Todos estos carbohidratos pueden ser convertidos en etanol, pero cuanto más compleja sea la molécula, más difícil y más dispendioso se vuelve el proceso preparatorio a la fermentación.

2.2.2 BIODIGESTION ANAEROBICA

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico que, en ausencia de oxígeno, convierte la biomasa en metano, dióxido de carbono y residuos estabilizados.

La metanización o digestión anaeróbica está basada en la facultad que tiene determinados microorganismos de utilizar, en ausencia de oxígeno la energía química potencial contenida en la materia orgánica, por intermedio de un conjunto complejo de reacciones enzimáticas, en el curso de las cuales una parte de esta materia orgánica se oxida a anhídrido (CO_2) y otra parte se reduce a metano (CH_4). Lo que resulta de estas reacciones, además de la energía necesaria a la sobrevivencia y la reproducción de estos microorganismos, es:

- una mezcla gaseosa, conocida como biogas, conteniendo aproximadamente 60% de metano y 40% de dióxido de carbono;
- sólidos estabilizados, compuestos de proteínas y vegetales y humus, potencialmente utilizable como alimento animal o fertilizante de suelo;
- nutrientes disueltos en el agua utilizada en el proceso, apropiados al crecimiento de algas y servir de abono a las plantaciones.

La digestión anaeróbica abarca distintas fases interligadas que a los efectos de estudio, se puede dividirla en tres fases:

- 1a. fase - solubilización (hidrólisis)
- 2a. fase - acidogénesis
- 3a. fase - metanogénesis

Estas tres fases están en una sucesión y su equilibrio dinámico es constante. Eso quiere decir que, bajo determinadas condiciones, la especie y cantidad de microorganismos y su actividad bioquímica son estables y de esta manera la proporción de digestión de la materia orgánica, la concentración de productos intermedios, la razón de producción de metano y los componentes del biogas permanecen estabilizados.

geno) como a los más importantes componentes energéticamente activos.

La gasificación de biomasa es un proceso muy antiguo y se ejecuta para convertir un combustible sólido en combustible gaseoso con mejores características de transporte, mejor eficiencia de combustión, mayor facilidad de almacenaje y que se adapte mejor a los combustores y motores quemadores. Además de eso, el gas producto de la gasificación también podrá ser utilizado como materia prima para otros procesos (síntesis del metanol).

El gas producido es una mezcla de:

- CO (monóxido de carbono) (5 a 15%)
- H₂ (hidrógeno) (10 a 13%)
- C_n H_n (hidrocarburos livianos) (1 a 4%)
- C₁₃ H₂₀O (alquitranes) (0 a 5%)
- CO₂ (dióxido de carbono) (9 a 11%)
- N₂ (nitrógeno) (42 a 45%)
- H₂O (vapor de agua) (11 a 22%)

De éstos, únicamente los cuatro primeros son energéticamente activos, siendo que los demás son inertes, diluyendo el gas y bajando su poder calorífico. Los alquitranes, a pesar de ser combustibles, son productos indeseables en la composición del gas, pues cuando están calientes, polimerizan dejando incrustaciones en la tubería, y cuando se enfrían, se condensan bajo la forma de un líquido oscuro y viscoso que obstruye las cañerías de los quemadores.

Las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de gasificación de la madera son mucho más complejas que aquellas que ocurren en la gasificación del carbón vegetal, principalmente debido al elevado tenor de volátiles de la madera. Estudios más profundos serían necesarios para aclarar mejor los mecanismos de gasificación de la madera; este trabajo se limitará a lo que ocurre en la gasificación del carbón vegetal.

2.3.3 COMBUSTION DIRECTA

La combustión directa es un proceso térmico de descomposición de la biomasa en que ella es total-

mente convertida en energía térmica y produciendo como residuo sólido final apenas las cenizas. Las cenizas son formadas por los componentes minerales de la biomasa.

Como la madera o leña es la biomasa que normalmente se utiliza en el proceso de combustión directa, este trabajo será especializado para madera, como combustible.

Para que ocurra combustión, en general, es necesario que el combustible se mezcle bien al oxígeno y permanezca a una determinada temperatura durante un cierto intervalo de tiempo. Y para que esta combustión sea eficiente se necesita el control de estas tres variables:

- turbulencia (mezcla)
- tiempo
- temperatura

Bajo el aspecto del combustible es importante analizar dos características:

- poder calorífico
- intensidad calorífica

Cuando se estudia el poder calorífico conviene distinguirse el poder calorífico superior "PCS" y en el inferior (PCI). El poder calorífico corresponde a la totalidad del calor liberado en la combustión; es el poder calorífico teórico. Varía con la composición química del combustible. El poder calorífico inferior corresponde al PCS deducido del calor necesario a vaporizar a la humedad propia del combustible sumada a la humedad resultante de la combustión del hidrógeno.

Con relación a la intensidad calorífica, resulta que si fuera quemado 1 kg de combustible en un horno perfectamente aislado todo el calor oriundo de esta combustión sería aplicado en la elevación de la temperatura de los gases de combustión a un valor teórico conocido como temperatura teórica de combustión.

2.4 Conversiones Especiales

Las conversiones especiales, normalmente, se



aplican a los biofluidos o a los biocombustibles ya resultantes de conversiones anteriores de la biomasa.

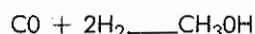
De entre otros, se puede citar a las siguientes conversiones especiales:

- síntesis del metanol
- modificación de los aceites vegetales
 - transesterificación alcohólica
 - craqueamiento (quiebra)

2.4.1 SINTESIS DEL METANOL

Es un proceso en que los gases monóxidos de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), obtenidos por la gasificación de la biomasa, son puestos bajo condiciones especiales de temperatura y presión en la presencia de catalizadores, para unirse formando el metanol.

Entre las reacciones que ocurren, la más importante es:



Cuando se juntan a los gases CO y H₂ en las proporciones correctas (2/1) es un reactor bajo presión y temperatura controladas, se obtiene el metanol, de acuerdo a la reacción citada anteriormente.

Para que se pueda obtener el gas de síntesis (CO, H₂) se siguen varios caminos, pero el más promisor actualmente, y que interesa a este trabajo, es la gasificación de la biomasa, ya visto en el capítulo "gasificación".

2.4.2 MODIFICACION DE LOS ACEITES VEGETALES

Los aceites vegetales puros pueden, en principio, ser utilizados por motores del ciclo diesel en sustitución al aceite diesel. No obstante, en pruebas, la funcionalidad del motor haya sido demostrada, el rendimiento cae mucho a razón del bajo índice de cetano y de la viscosidad muy elevada, que exige presiones mayores en el pico eyector y dificulta la quema completa en los cilindros, debido a que no se forman gotitas adecuadas.

Además de eso, los aceites vegetales puros tienen una tasa elevada de residuos de carbono que resultan en una frecuencia mayor de mantención al motor, para la retirada de residuos.

Las principales diferencias entre los aceites vegetales y el aceite diesel están en las especificaciones de:

- viscosidad
- índice de cetano
- residuos de carbono

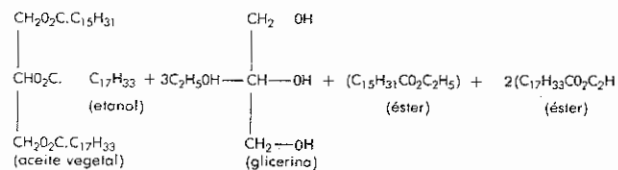
Existe, pues la necesidad de que estos números sean modificados para que se transforme a los aceites vegetales en un combustible semejante al aceite diesel. Para eso hay dos procesos que se encuentran en fase de investigación o de pruebas:

- transesterificación alcohólica
- quiebra (craqueamiento)

2.4.3 TRANSESTERIFICACION ALCOHOLICA

La transesterificación consiste en hacer la reacción del aceite vegetal con el alcohol en presencia de un catalizador para la obtención de un éster con 14 a 20 átomos de carbono en su molécula.

La reacción que ocurre es:



Como se sabe, los aceites vegetales son una mezcla de triglicéridos, es decir, 3 ácidos carboxílicos ligados a una molécula de glicerol (glicerina). Lo que ocurre en la transesterificación es únicamente la substitución de una molécula de glicerol por tres mo-

lécúlas de alcohol (metanol o etanol), formando un éster metílico o etílico, según el agente transesterificante utilizado. Esta reacción ocurre únicamente en presencia de un catalizador, a una temperatura que varía entre 80° y 110°C.

2.4.4 QUIEBRA CATALITICA (CRAQUEO)

La quiebra catalítica es un proceso de modificación de los aceites vegetales que usa catalizadores para provocar la rotura de la molécula con consecuente mejora de las características del aceite desde el punto de vista de la sustitución del aceite diesel.

En este proceso, el aceite vegetal se somete a una temperatura de 300°C y en la presencia de catalizadores se procesa la rotura de las moléculas hasta la formación de eslabones lineales carbono en franja del petróleo mineral, con una mayor concentración entre 12 y 20 carbonos.

ESTUDIOS GEOVULCANOLOGICOS HAN AYUDADO A LA INVESTIGACION GEOTERMICA EN EL ECUADOR

- * El resultado es el conocimiento de que existen 200 aparatos volcánicos con sus respectivas evoluciones de riesgo.

GEOVOLCANOLOGICAL STUDIES HAVE ASSISTED WITH GEOTHERMAL RESEARCH IN ECUADOR

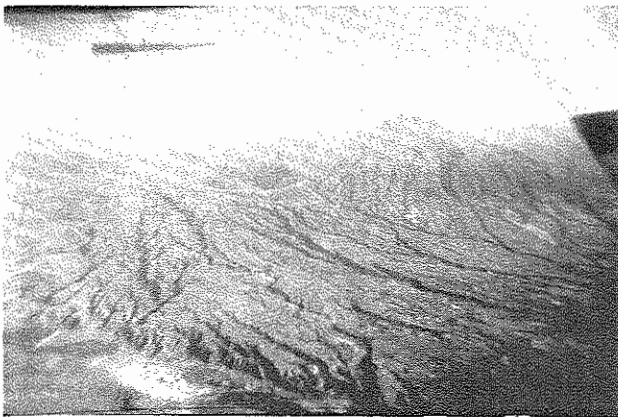
- * Studies revealed 200 volcanic structures, with their respective risk levels.



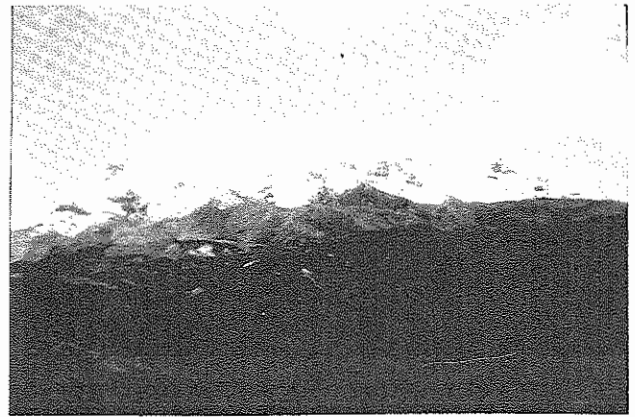
2. VOLCAN QUILINDAÑA ERIGIDO EN EL INTERIOR DE LA CALDERA CHALUPAS, DE INTERES GEOTERMICO
2. VOLCANO QUILINDAÑA, BUILT UP INSIDE THE CHALUPAS CALDERA, OF GEOTHERMAL INTEREST

El Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), mediante convenios suscritos con OLADE, o bilaterales, ha podido establecer la existencia, aproximadamente, de 200 aparatos volcánicos en el Ecuador.

The Ecuadorian Institute of Electrification (INECEL), through agreements with OLADE or other bilateral arrangements, has been able to identify approximately 200 volcanic structures in Ecuador.



3. VOLCAN COTACACHI Y CALDERA DE CUICOCHA. NOTESE EL IMPORTANTE VOLUMEN DE FLUJOS PIROPLASTICOS EMITIDOS POR ESTE ULTIMO
3. VOLCANO COTACACHI AND CUICOCHA CALDERA: NOTE SIGNIFICANT VOLUME OF PYROCLASTIC FLOWS ISSUED BY THE LATTER



4. CHIMBORAZO, OTRO COMPLEJO VOLCANICO DE INTERES GEOTERMICO
4. CHIMBORAZO: ANOTHER VOLCANIC COMPLEX OF GEOTHERMAL INTEREST

Esta información científica básica es de gran utilidad, por cuanto permite evaluar los recursos geotérmicos disponibles y entender la evolución de la Cordillera de los Andes, fundamentalmente en materia de riesgos volcánicos.

Muchos de estos volcanes, de aparición muy recientes algunos, se habían desconocido por falta de estudios específicos, y otros no habían sido tomados en cuenta por que no habían registrado actividad volcánica en épocas históricas.

Las acciones emprendidas por INECEL, desde 1978, de estudiar el potencial geotérmico han sido ejecutadas por profesionales ecuatorianos que han trabajado conjuntamente con expertos extranjeros, obteniéndose así una efectiva transferencia de tecnología y ha permitido a los técnicos realizar, con sus propias capacidades, los estudios de exploración geotérmica y el conocimiento de la Cordillera de los Andes.

La continuación de los estudios de riesgo volcánico implican la intervención de varias disciplinas geocientíficas, pero INECEL, empresa estatal del sector eléctrico ecuatoriano ya ha dado el primer paso; obtener información que es útil para elaborar los subsiguientes programas de investigación en el campo del aprovechamiento geotérmico del país.



5. ES IMPORTANTE EL ESTUDIO DE LA HISTORIA ERUPTIVA DE LOS VOLCANES, COMO EL TUNGURAHUA VISTO AQUI, PARA DETERMINAR SU GRADO DE RIESGO PARA LAS POBLACIONES Y OBRAS CIVILES CERCANAS.
5. THE STUDY OF THE HISTORY OF VOLCANIC ERUPTIONS, AS IN TUNGURAHUA, SEEN HERE, IS IMPORTANT IN DETERMINING THE RISK FACTOR FOR NEARBY SETTLEMENTS AND CIVIL STRUCTURES.

This basic scientific information is quite useful, as it makes it possible to evaluate the available geothermal resources and to understand the evolution of the Andes Mountain Range, especially in terms of volcanic risks.

Many of these volcanoes are of recent appearance, and little had been known about them due to the lack of specific studies; others had not been taken into account because they had not displayed volcanic activity during historical times.

The actions undertaken by INECEL, starting in 1978, to study Ecuador's geothermal potential, have been carried out by Ecuadorian professionals, working with foreign experts, thus ensuring the effective transfer of technology and enabling the technicians to perform the geothermal exploration and reconnaissance studies in the Andes Range while using their own capabilities.

The continuation of the volcanic risk studies will entail the intervention of various earth science disciplines, but INECEL, Ecuador's national electric power company, has taken the first steps, obtaining information that will be useful for elaborating subsequent research programs in the field of geothermal energy in this country.



6. PRIMER CURSO LATINOAMERICANO DE VULCANOLOGIA DESARROLLADO EN QUITO, ESTUDIO DE PRODUCTOS DEL CASITAGUA
6. FIRST LATIN AMERICAN COURSE ON VOLCANOLOGY, HELD IN QUITO: STUDY OF PRODUCTS FROM CASITAGUA

Zonas Identificadas

Ubicación

Hallazgos Importantes

1. Tufiño-Chiles-Cerro Negro	Frontera con Colombia	— Fluidos con temperaturas de 250°
2. Cotopaxi-Chalupas	Prov. Pichincha (Ec)	— Depresión de origen volcánico de 18 kms de diámetro por 15 de ancho, de profundidad 5 Km. El colapso del volcán Chalupas (desaparecido) reinició la actividad volcánica en el interior de la caldera, construyéndose el volcán Quilindaña y otros aparatos volcánicos que en conjunto apoyan la hipótesis de la existencia de una fuerte anomalía de calor.
3. Pululahua-Casitagua	Prov. Pichincha (Ec)	— Calderas de Interés geotérmico.
4. Ilaló	Prov. Pichincha (Ec)	— Zona de interés geotérmico.
5. Chimborazo	Prov. Chimborazo (Ec)	— Zona de interés geotérmico.
6. Cuenca	Prov. Azuay (Ec)	— Zona de interés geotérmico
7. Imbabura	Prov. Imbabura (Ec)	— Comprende los volcanes Cuicocha, Cotacachi, Negro Puno y el Complejo Chachimbiro. Presencia de fuentes termales con alto contenido de sales y gases disueltos; fuerte anomalía térmica superficial.
8. Iguañ-Chalpatan	Prov. Pichincha (Ec)	— Concentración de anomalías geoquímicas de boro y amoníaco, y altas temperaturas. Fugas de vapor de un reservorio geotérmico situado a profundidad desconocida. Extensa caldera de 7 kms. de diámetro.

ZONES IDENTIFIED**LOCATION****IMPORTANT FINDINGS**

- | ZONES IDENTIFIED | LOCATION | IMPORTANT FINDINGS |
|------------------------------|------------------------------|--|
| 1. Tufiño-Chiles-Cerro Negro | Border with Colombia | Fluids with temperatures of 250° |
| 2. Cotopaxi-Chalupas | Pichincha Province (Ecuador) | Depression of volcanic origin, 18 km in diameter and 15 wide, five km deep. The collapse of the Chalupas volcano (now vanished) reinitiated volcanic activity inside the caldera, creating the Quilindaña volcano and other volcanic structures, which, taken together, support the hypothesis of the existence of a significant heat anomaly. |
| 3. Pululahua-Casitagua | Pichincha Province (Ec.) | Calderas of geothermal interest. |
| 4. Ilalo | Pichincha Province (Ec.) | Zone of geothermal interest. |
| 5. Chimborazo | Chimborazo Province (Ec.) | Zone of geothermal interest. |
| 6. Cuenca | Azuay Province (Ec.) | Zone of geothermal interest. |
| 7. Imbabura | Imbabura Province (Ec.) | Includes Cuicocha, Cotacachi, Negro Puno volcanoes and the Chachimbiro complex. Presence of hot springs with high salt and dissolved gas content. Significant shallow heat anomaly. |
| 8. Iguan-Chalpatan | Pichincha Province (Ec.) | Concentration of geochemical anomalies of boron and ammonia, and high temperatures. Steam leaks from a geothermal reservoir at an unknown depth. Extensive caldera, 7 km in diameter. |

El servicio de información y documentación del Departamento de Información y Relaciones Públicas de OLADE, tiene entre sus objetivos la reunión, procesamiento y difusión de la información y documentación especializada en la problemática del sector energético regional.

De acuerdo a estos objetivos, inicia a partir de este número (2/84) una serie de acciones tendientes a hacer conocer en la región, los materiales relacionados con el desarrollo del sector energético a través de la sección informativa "NOTAS BIBLIOGRAFICAS", referencias que a nuestros lectores les serán útiles porque registran las principales obras que en este campo ingresan al Centro.

Con ello queremos promover el intercambio de la información a escala regional, ofreciendo la entrega bimestral de documentos de mayor impacto en el sector energético.

Las bibliografías, pertenecen a autores latinoamericanos o extrarregionales que, en el marco de la cooperación, sus instituciones mantienen convenios con nuestra organización.

EL EDITOR

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. LA OPAEP Y EL PETROLEO ARABE

Aldelkader Machou. Paris: Berger-Levrault, 1982 --202 pp.: il 21 cms; imp; esp.

* Hace un recuento histórico de los pasos previos a la creación de la Organización de Países Arabes Exportadores de Petróleo, OPAEP. Presenta la Organización como un instrumento de integración, no sólo regional sino también internacional.

En los anexos se incluyen los aspectos legales que rigen su campo de acción como también las estadísticas de la OPAEP. 1977 - 1978

2. COCINAS Y ARBOLES. ¿CUANTA LEÑA AHORRARIA UNA COCINA DE LEÑA SI LA COCINA PUDIERA AHORRAR LEÑA?

Gerald Foley, Patricia Moss y Lloyd Timberlake. Washington: Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1984. 92 pp: il; 21 cms; imp; inglés.

Examina las experiencias obtenidas a través de los programas sobre uso eficiente de la energía consumida en cocinas tradicionales, de fuego abierto y combustibles domésticos en los países de Africa, Asia y América Latina.

Incluye una guía de ayuda a los países en desarrollo que quieran mejorar sus cocinas sin que ello implique deforestación.

The objectives of the information and documentation service of OLADE'S Department of Information and Public Relations are gathering, processing, and disseminating specialized information and documentation in the domain of the regional energy sector.

In accordance with these objectives, a series of actions is beginning with this issue (2/84) aiming to give exposure throughout this region to material regarding the development of the energy sector, through the informative section titled "BIBLIOGRAPHICAL NOTES," references that will be useful to our readers because they record the principal works in this field that our Center has received.

We hope that this will promote exchange of information on a regional scale, through a bi-monthly listing of the most outstanding documents in the energy sector.

The bibliographies comprise Latin American and extra-regional authors whose institutions maintain cooperation agreements with our organization.

THE EDITOR

BIBLIOGRAPHICAL NOTES

1. THE OAPEC AND ARAB PETROLEUM

Aldelkader Machou. Paris: Berger-Levrault, 1982 -- 202 pp: ill; 21 cms; printed; Span.

* A historical review of the steps leading up to the creation of the Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC), presenting the Organization as an instrument of regional and worldwide integration.

The appendices include the legal aspects governing its field of action and OAPEC statistics for 1977 - 78.

2. STOVES AND TREES. HOW MUCH WOOD WOULD A WOODSTOVE SAVE IF A WOODSTOVE COULD SAVE WOOD?

Gerald Foley; Patricia Moss; Lloyd Timberlake. Washington: International Institute for Environment and Development, 1984. 92 pp: ill; 21 cms. printed; English.

This book examines the experience obtained through programs on the efficient use of energy consumed in traditional stoves, open fires, and domestic fuels in the countries of Africa, Asia, and Latin America.

A guide is included to assist developing countries that wish to improve their stoves without accelerating deforestation.

EDITORIAL

Both geothermal and bioenergy figure among the alternative energy sources that in the short and medium terms could come to play an important role in contributing to solving energy problems in a good number of Latin American countries.

Despite the fact that it has not yet been quantified precisely, the potential available in the region for these two energy sources would be truly exciting; this is seconded by the fact that within some countries in particular a sizeable impact is reflected in their energy balance.

Regional experience in the area of geothermal power generation on a large scale dates back to 1972, when Mexico started up the geothermal plant of Cerro Prieto, with an installed capacity of 76 MW; later the geothermal plant of Ahuachapán, El Salvador went onstream (1975) with an installed capacity of 35 MW in its first stage, now expanded to 95 MW. The start-up of the Momotombo Plant in Nicaragua, with a 35-MW capacity, constituted another landmark in the development of this resource in Latin America; and this is one of the objectives which 18 OLADE member countries are now currently seeking with determination.

The significant role that geothermal energy can play can be seen in the installed capacity of El Salvador, where it has become possible to satisfy up to 45% of the annual electric power demand and, under normal conditions, totally omit the use of petroleum derivatives for electricity generation.

Currently, in the context of the Latin American Energy Cooperation Program (PLACE), OLADE has been expanding the activities of its geothermal program, which initially concentrated on prospecting for high-temperature resources and has now incorporated activities favoring the search for low- and medium- temperature resources useful for energy substitution purposes in industry and, occasionally, for electricity generation purposes. The latter would make it possible to expand the possibilities for using geothermal resources in practically all the region.

One reflection of this are the articles "The Regional Geothermal Program of OLADE" and "A Volcano at the Service of the People", which describe some of the most recent geothermal accomplishments in Latin America. Likewise, as a result of the technological advances made in the implementation of national exploration programs, the article "Volcanology Applied to Geothermal Exploration" is presented as an objective view of the role played by volcanological studies as a tool of evaluation in the geological cordillera environments characteristic of a sizeable amount of the Latin American territory.

With respect to bioenergy, considering that all the Latin American countries make use of this energy resource and that in several of them it accounts for a large percentage of the primary energy production, this renewable source derived from forest and agricultural livestock products offers a clear energy alternative for the countries of the region. In this context the article "Biomass-Biofuels-Bioenergy" proves quite interesting.

The papers included in the present issue speak to the growing need to diversify the energy supply; this will only be possible, however, through a policy of widespread regional cooperation based on two fundamental points: transfer of technology and procurement of financial resources. OLADE, through the PLACE, has managed to obtain access to concessional funds for a good number of national programs in which a broad participation of regional technology is sought.

Within this framework, OLADE optimistically views the future of geothermal and bioenergy in the current context of Latin America, since the widespread integration of these energy sources into the energy supply of our countries would thereby aid in satisfying this imperative requirement in regional development.

GUSTAVO CUELLAR

HEAD OF THE REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM

THE REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM

Dr. Gustavo Cuellar

HEAD OF THE GEOTHERMAL PROGRAM
OLADE

INTRODUCTION

The geodynamic situation of the Latin American countries located on the Pacific Coast favors the existence of a tectonic environment on an active continental limit (boundaries between converging plates); and this gives rise to a broad volcanic front dominated by andesitic magmas and their differentiated products, which, upon being produced and rising to the surface in large volumes, determine a regional heat anomaly and an ideal setting for the development of high-enthalpy geothermal fields.

The South American continent corresponds to a large geodynamic environment characterized by the convergence of the Nazca Oceanic Plate, thereby causing the process which produced the Andes Mountains and extended for thousands of miles from Argentina to the Colombian-Venezuelan border, traversing Chile, Bolivia, Peru and Ecuador. This means that the Andean countries hold a great deal of geothermal interest, precisely because of the major volcanic phenomena that have occurred over millions of years.

In the case of Central America the geodynamic situation is even more complex, owing to the fact that there exists a contact point where three plates come together: the Cocos Oceanic Plate, and the North American and Caribbean Continental Plates.

From this situation results a tectonic environment characterized by the subduction of the Cocos Plate and the consequent development of andesitic volcanism along the Pacific Belt of Mexico, Nicaragua, Costa Rica and partially, Honduras and Panama.

Alongside these subduction phenomena, transforming limits are developed, such as those that characterize the northern and southern borders of the Caribbean Plate; these affect Guatemala and part of the Antilles, to the north, and the northern edge of the South American continent (Colombia and Venezuela), to the south.

The geothermal areas of interest correspond both to the Pacific belts of andesitic volcanism, as well as to the zones where the active volcanic front meets the cross depressions.

As a result of the large geothermal potential described above, a good number of Latin American countries during the last decade started up geothermal exploration programs, primarily encouraged by the success obtained in the first projects in Mexico and El Salvador, and further stimulated by the sharp increase in oil prices which occurred in that era and which presented major difficulties for the continued use of thermal energy based on low-cost oil.

In Latin America, geothermal energy has been used almost exclusively as a source of energy for electric power generation and has constituted an alternative and substitute for oil.

Concentrated in Mexico and El Salvador, the production of electricity based on geothermal energy grew rapidly from 536 GWh in 1975, to 1809 GWh in 1982. Forecasts indicate that by 1985 the installed capacity will increase from 300 MW to 790 MW, thereby yielding a



generation of some 4700 GWh. In 1983 the first stage of the Momotombo plant in Nicaragua (35 MW) was inaugurated.

Although geothermal's share in the electricity generation of Latin America as a whole is still only slight (0.4%), in El Salvador it accounted for up to 45% of the electric power production in 1982.

In Nicaragua, with the first stage of Momotombo, 25% of the country's total electricity consumption can be covered; once the second stage enters into operation, it is expected that a figure of 40% will be reached.

Thus, it can be affirmed that geothermal energy is able to play a significant role within the electric power sector of the countries that have this resource available; and it can be predicted that, once the assessment of resource magnitude has been concluded, it will become a top priority for development and exploitation.

In fact, activities are currently underway, in a more or less continuous and intensive way, in 18 countries of the region; and it should be underscored that these activities have received a substantial push due to the fact that these countries need to substitute the consumption of oil derivatives, since they are either net oil importers or else find themselves nearing the limit for development and use of their hydro resources.

Geothermal energy could therefore come to make a major contribution of firm energy (base stations), very important for the electric power systems which are in the process of integration and, as a complement to hydro-electricity, could serve as a good alternative and substitute for oil and oil products.

Keeping the foregoing in mind, the Geothermal Program of OLADE was originally geared basically to promoting and disseminating the development and use of geothermal energy for electricity generation purposes, on the basis of high-enthalpy resources—although the potentially more widely-available low- and medium-enthalpy resources could compete with other sources such as diesel and other oil derivatives in various uses such as grain and bagasse drying and pre-drying, agro-

industrial heating and refrigeration, industrial processes and electric power generation through non-conventional systems, etc., thereby expanding the possibilities for broader use of the resource.

THE GEOTHERMAL EXPLORATION METHODOLOGY OF OLADE

One of the difficulties experienced by the Latin American countries that began to develop geothermal exploration programs was the lack of guidelines for the implementation of such programs, with an eye to making rational use of their resources and obtaining results within suitable time periods. In that area this situation caused a certain amount of confusion, the resolution of which was entrusted to isolated "expert" efforts that attempted to cope with it as a function of their own points of view, strongly influenced by their level of knowledge or their field of specialization.

The OLADE methodology, however, promoted joint efforts by a multidisciplinary group of specialists within definite guidelines, although these are left somewhat flexible and adaptable to the particular conditions of the different countries and geological environments.

In general, a typical geothermal project is composed of two clearly-defined parts: the first is of a high-risk nature, similar to that involved in the exploration of any form of mineral or energy, and its object is to identify the reservoir (geothermal field), including a study on possible uses; the second includes exploration and technological risks and refers to the development and exploitation of the reservoir.

The first part involves high levels of economic risk, and should incorporate progressively larger investments. The second, on the other hand, entails fewer risks but requires larger investments.

The experience gained so far has demonstrated that the average dimensions of a geothermal system fall within 10 and 100 km². If the geothermal project is found within a region of some 10,000-100,000 km², the locating of that system requires intermediate inves-



tigation work that will make it possible, first, to approximately define the area of interest (500-2000 km²) on the basis of a reconnaissance study and, later on, to single out one or more areas of interest, no larger than 100 km², within which deep exploratory wells could be drilled.

These selection criteria permit periodic, integrated interpretation of investigation results and the detection of little-favorable areas; and they serve as the basis for the decision to proceed, or not, to the following stage of study.

Afterwards, a feasibility study assesses the potential of the area under investigation and defines the preliminary design of energy conversion systems. On the basis of these data, the operations to be executed during the development stage can be adequately planned.

From the practical standpoint, it has been agreed to articulate a typical geothermal project in five distinct stages:

1. Reconnaissance
2. Prefeasibility
3. Feasibility
4. Development
5. Exploitation

In September 1983 the Latin American Seminar on Geothermal Exploration (held in Quito, Ecuador) undertook a review of the OLADE methodology corresponding to the reconnaissance and prefeasibility stages.

The work group charged with the aforementioned revision concluded, in light of the results obtained in numerous practical applications, that the OLADE methodology represented the most rational, most economical scheme for developing a geothermal exploration methodology within the geological context prevailing in the countries of Latin America.

Nevertheless, it was suggested that some innovations be introduced, without any real variation in terms of the basic philosophy of the methodology, but rather necessary modifications in line with the technical advances made over the last few years and the practical

experience gained through the development of several projects (especially in the field of volcanology).

As a complement to the methodologies already structured for a typical project, within the priorities of the Latin American Energy Cooperation Program (PLACE), regarding evaluation of resources, it has become necessary to structure a methodological procedure that would lead to the assessment of geothermal potential at the level of geological provinces and, eventually, at the national level. Such a methodology should include estimates of the high-, medium-, and low-enthalpy resources.

Several work sessions have been held with the participation of experts in this field; and the following recommendations have been made: based on the prefeasibility stage, the evaluation methodology presented in circular 790 of the United States Geological Survey should be used as a guide, enriched with volcanological criteria in line with the conditions predominating in Latin America. Given the large amount of uncertainty during the reconnaissance stage, in terms of the estimation of the basic parameters necessary in carrying out an assessment of potential, it has been proposed that a correlation be developed to take into account reasonably-viable data obtained during that stage. As a first approximation, it has been recommended that a correlation among the following variables be developed for each type of rock: volume of material emitted during eruption versus the age of the eruption, taking as an adjustment the amount of energy associated with the magmatic intrusion.

The methodology employed, and the results obtained during the first evaluation, would form part of a dynamic process with periodic updates, which would gradually become more and more reliable, as more and more information became available from subsequent stages. OLADE is continuing to work on criteria for the structuring of a definitive methodology.

CURRENT STATUS OF GEOTHERMAL ENERGY IN LATIN AMERICA AND THE OLADE PROGRAM

The momentum of the region's geothermal activities currently involves 18 countries, within which 60 areas

of interest have been recognized; this in turn has made it possible to structure some 40 study projects, whose degree of advancement ranges from reconnaissance up through exploitation (4 fields).

It should be noted that the currently installed geothermoelectric capacity in Mexico, El Salvador and Nicaragua totals 305 MW and constitutes a major source of support and increased confidence in the development of geothermal resources within the region. Figure 1 shows the countries that have geothermal projects underway, and Chart 1 shows their status, according to the OLADE methodology.

Responding to the interest and requests of several governments from within the region, to date under the coordination of OLADE thirteen overall projects have been undertaken, related to geothermal exploration in its reconnaissance and prefeasibility phases. (See Chart 2.). Efforts to procure funds for this work were also deployed by OLADE, and in almost all cases non-reimbursable financing was obtained.

Taking into account the fact that numerous geothermal fields have concluded the initial phases of exploration, the countries have requested technical assistance from OLADE in developing studies for the more advanced stages, as well as support in the search for concessional funds to be allocated directly to the countries.

Chart 3 indicates the cost and approximate duration of the projects underway, and about to start, with technical assistance from OLADE.

In addition, technical support and aid in financial procurement efforts have been provided to the following national programs:

Nicaragua:	Feasibility Study in the El Hoyo - Monte Galan area	US\$ 2 x 10 ⁶
Honduras:	National Reconnaissance and Prefeasibility	US\$ 2 x 10 ⁶
Bolivia:	Feasibility Study in the Sol de Mañana area	US\$ 11 x 10 ⁶

Technical assistance has also been lent occasionally to the prefeasibility studies in Ecuador and the Dominican Republic.

TRAINING

In order to satisfy the needs for national technical personnel trained in the disciplines related to geothermal exploration and derived from the implementation of the aforementioned specific projects, a far-reaching training program has been undertaken through graduate courses in geophysics, geovolcanology, reservoir engineering, drilling technologies, and geochemistry. These have aimed at professionals from the region who are directly tied to the studies being developed in their respective countries. The courses last ten weeks each, and they have been offered with support from the following universities, institutes and national organizations: the Autonomous University Corporation of Manizales and the Caldas Hydroelectric Station, in Colombia; the Central University of Ecuador and the Ecuadorian Institute of Electrification (INECEL); and the Autonomous National University of Mexico (UNAM), the Federal Electricity Commission (CFE) and the Institute of Electrical Research (IIE), in Mexico. For the course in geochemistry, backing is foreseen from the Central American University Jose Simon Cañas and the Lempa River Executive Hydroelectric Commission, in El Salvador.

By the time this program draws to a close in 1984, around 200 professionals from regional countries will have been trained. (See Chart 4.)

In complementary fashion, seminars have been developed, geared to the analysis and discussion of new technologies.

Thus, for example, within the framework of the Latin American Energy Cooperation Program (PLACE), the Latin American Seminar on Geothermal Exploration was held in 1983 with the participation of 112 delegates from 16 countries in the region, and with the following aspects as its main objectives: 1) current status of geothermal energy in Latin America; 2) structuring of a preliminary methodology document for estimating geothermal potential; 3) updating of the geothermal

exploration methodology of OLADE in its reconnaissance and prefeasibility phases -- all this in addition to discussions of how to fund geothermal projects and human resource training in the region.

During the present year, the Central American Seminar on Geothermal Exploitation will take place.

On the whole, these activities have been aimed at supporting regional technology as an effective instrument in attaining energy independence.

LOW AND MEDIUM ENTHALPY

Bearing in mind that low- and medium-enthalpy resources offer one of the options of almost immediate implementation, it has been thought to concentrate on efforts involving those sectors that are related to the different stages of development of geothermal resources for their application in industry, agroindustry, and non-conventional electricity generation systems.

In this regard, after a series of activities in this field in the Republic of Haiti, it was determined to be convenient to form a work group that would define a regional strategy and prepare a program of dissemination that would stimulate the use of the geothermal resources in the member countries that showed favorable characteristics. For the realization of work group activities, support was provided by UNESCO and the Institute of Technological Research (IPT) of Brazil, in whose facilities in the city of Sao Paulo a meeting was held in March 1984, with the participation of representatives from Brazil, Ecuador, Mexico and Guatemala, as well as technical experts from France and Italy.

Some of the short-term strategies to be followed are:

- Elaboration of a methodology document embracing reconnaissance up through utilization.
- Realization of a Latin American Seminar on Low and Medium Enthalpy, to be held in Brazil during July 1985.
- Promotion of pilot projects for the evaluation and application of geothermal potential.

Follow-up on the foregoing activities has been charged to the IPT of Brazil, with technical support from OLADE.

LATIN AMERICA



CHART 1

CURRENT STATUS OF GEOTHERMAL ACTIVITIES IN LATIN AMERICA

1. MEXICO AND CENTRAL AMERICA

STAGE OF DEVELOPMENT

COUNTRY	R	PF	F	D	E
1. México	X	X	X	X	150 MW
2. Costa Rica			X		
3. El Salvador	X	X	X	X	95 MW
4. Guatemala	X	X	X		
5. Honduras	X				
6. Nicaragua	X	X	X	X	35 MW
7. Panama	X	X			

2. CARIBBEAN AREA

STAGE OF DEVELOPMENT

COUNTRY	R	PF	F	D	E
1. Grenada	X				
2. Haiti	X	X			
3. Jamaica	X				
4. Dominican Republic	X	X			

3. SOUTH AMERICA

STAGE OF DEVELOPMENT

COUNTRY	R	PF	F	D	E
1. Argentina (*)	X				
2. Bolivia		X			
3. Colombia	X	X			
4. Chile		X	X		
5. Ecuador	X	X			
6. Peru	X	X			
7. Venezuela		X			

* Not an OLADE member country

R = Reconnaissance at the national level

PF = Prefeasibility

F = Feasibility

D = Development

E = Exploitation

CHART 2

LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION (OLADE)

REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM

PROJECTS EXECUTED

COUNTRY	STAGE OF STUDY	COST (Thous. of US\$)
1. Colombia	Reconnaissance	590
2. Ecuador	Reconnaissance	340
3. Ecuador	Partial prefeasibility (Tufiño)	200
4. Grenada	Reconnaissance	210
5. Guatemala	Reconnaissance	590
6. Haiti	Reconnaissance	170
7. Haiti	Prefeasibility in Cul-de-Sac	60
8. Jamaica	Reconnaissance	580
9. Nicaragua	Reconnaissance	600
10. Nicaragua	Prefeasibility in El Hoyo-San Jacinto	2 000
11. Panama	Evaluation of information Province of Chiriqui	35
12. Peru	Reconnaissance	340
13. Dominican Republic	Reconnaissance	170

CHART 3

LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION (OLADE)

REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM

PROJECTS UNDERWAY

COUNTRY	NAME	COST (Thous. of US\$)	DURATION (months)
1. Panama	Reconnaissance at the national level	600	16
2. Panama	Prefeasibility in the Baru-Cerro Colorado area	2200	23
3. Guatemala	Prefeasibility in the Amatitlan area	1860	16
4. Haiti	Prefeasibility of low and medium enthalpy	600	12
5. El Salvador	Development and exploitation Chipilapa-Ahuachapan	4000	20
6. Ecuador and Colombia	Prefeasibility Binational Project Chiles-Cerro Negro-Tufiño	1200	16



CHART 4

LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION (OLADE)

REGIONAL GEOTHERMAL PROGRAM

TRAINING ACTIVITIES

A GRADUATE COURSES (1981)

NAME	N° OF PARTICIPATING COUNTRIES	N° OF PARTICIPANTS
1. Drilling Technology	8	20
2. Reservoir Engineering	11	20
		TOTAL 40

B GRADUATE COURSES (1983)

NAME	N° OF PARTICIPATING COUNTRIES	N° OF PARTICIPANTS
1. Applied Géophysics	10	19
2. Drilling Technology	12	22
3. Applied Volcanology	9	19
		TOTAL 60

C GRADUATE COURSES (1984)

NAME	N° OF PARTICIPATING COUNTRIES	N° OF PARTICIPANTS
1. Reservoir Engineering	13	20
2. Applied Geophysics	12	20
3. Applied Volcanology	12	20
4. Drilling Technology	13	25
5. Geochemistry	12	22
		TOTAL 107

D SEMINARS

NAME	PLACE	N° OF PARTICIPANTS
1. Central American Seminar on Geothermal Exploration (October 1981)	Panama	32
2. Latin American Seminar on Geothermal Exploration (September 5-9, 1983)	Quito Ecuador	112
3. Central American Seminar on Geothermal Exploitation (1984)	Managua, Nicaragua	30 (estimated)

VOLCANOLOGY APPLIED TO GEOTHERMAL EXPLORATION

Eduardo Almeida
INECEL - ECUADOR

The geological study of volcanoes constitutes, to date, a very useful tool for the exploration of geothermal resources, as was demonstrated at the last seminar on that subject, organized by OLADE in Quito during September 1983.

Geovolcanology has a fairly broad field of action during the exploration stage, basically in terms of knowledge about the heat source and the reservoir, the most important elements in a geothermal system. Currently, with the aid of geovolcanological investigations, it is possible to recognize some parameters inherent in these two elements.

THE HEAT SOURCE

By far and away, most of the areas of geothermal interest are related to a magma chamber lying within the shallowest levels of the earth's crust; so that, for eminently practical purposes, it is necessary to quantify that chamber, i.e., to learn about its volume, approximate shape, depth, and initial and final temperatures, in order to calculate how much energy could have been transferred from the chamber to the medium surrounding it.

The first step is to determine the existence of a magma chamber; this can be done on the basis of direct methods (seismology, gravimetry, geomagnetism, studies on ground deformation and heat-flow measurements).

The methods indicated above should be used together in order to obtain a picture as close as possible

to the reality of the zone. These are costly studies, which are often not within reach of the economic and technical resources available within the projects; and therefore they cannot be done during the initial phases of exploration. Besides, according to the basic philosophy of the OLADE methodologies, it is not recommendable to undertake expensive studies and make large investments in an area before having previously exhausted all of the geological studies that are much more economical. These studies are comprised by indirect methods, which provide the information required.

The presence of a magma chamber can be established through structural geology studies (identification of calderas and radial and concentric structures, which are direct evidence of the presence of a shallow magma chamber). Moreover, the volcanologist, by studying the products emitted by a volcano, can identify whether or not these come from a magma chamber; for this purpose, he should base himself on the presence of differentiated products, chemical zoning in the materials issuing from one same eruption, and the presence of lithics indicating the stationing of magma at shallow depths (cummulitic, pyrometamorphic rocks, etc.).

As for the assessment of volume, this can be done with the aid of a differentiation coefficient, whose value will depend on the chemical composition of the rock and will indicate the degree of evolution of the materials emitted by the respective volcano; on the basis of the total volume of acid materials emitted, which can be determined from field studies (geological mapping),

the mass of liquid magma which originated them can be found.

As a function of these data, the mass of primary magma is calculated; this is the original mass of magma which, after the differentiation processes, produced the acid products found at the surface. With the aid of the mass of magma, the volume of liquid magma can be found; and once the latter has been determined, the shape of the chamber should be established. For this, it is necessary to recur to local and regional geological data. We know that magma ascends through weak zones in the earth's crust; this situation can be seen in faults subjected to stress of the distensive kind. In such a case, it can be assumed that the magma chamber will have a tabular shape. A different case would be, for example, a caldera collapse where there might have been volcanism after the collapse; then the magma chamber would probably have a more or less cylindrical shape.

So far, we know about the existence of a chamber, its volume and shape; thus, what is now needed is the calculation of its temperature and depth, on the basis of chemical analyses done on previously - taken samples of the products of our volcano. We use a series of variation diagrams for several elements, as a function of the silica (K_2O ; $Na_2O + K_2O$; Na_2O ; Al_2O_3 ; TiO_2 ; MnO ; $FeO + Fe_2O_3$). The analysis of these will tell us if we are, or are not, faced with an evolution series; that is, note should be made of a regular increase in the content of alkalis and potassium, and also a progressive decrease in the other elements, with relation to the increase in silica.

The depth of the magma chamber can be determined, in terms of equilibrium pressure, from the mineral phases; for this purpose, the analyses of the normative Q-Or-Ab, where the system's equilibrium curves are reported at different partial pressures for the volatile materials, along with their equilibrium temperatures, are very useful. It is also necessary to reconstruct the crystallization process. These diagrams should locate the most representative samples of the series, including one that reflects the chemical composition of the liquid magma having evolved the most (a separate glass from

the more acid terms.). This analysis should be done previously on the samples (quartz - matrix ratios, pyroxenes - amphiboles, amphiboles - matrix, biotite - matrix, olivine - matrix zoning in plagioclases, etc.).

At this point we can say that we know the fundamental parameters of our magma chamber, and the following aspects can be analyzed:

THE RESERVOIR

The new geovolcanological techniques can aid in defining the presence of a geothermal reservoir at depth, and they are based on knowledge about the phreatomagmatism that occurs due to water - magma interaction. This implies that the volcanologist can recognize, in the field, volcanic products originating from a process of interaction, and that he can define if that process occurred at shallow levels, as in the case of a crater lake, or at deeper levels, as in the case of an aquifer; and he can even discern if the water at those levels was hot or cold. Finally, it is necessary to be familiar with the age of the eruptions and to assess if the hydrogeological conditions that existed at the moments that such phenomena occurred still exist.

Phreatomagmatism is a very useful tool, which only requires recognizing the above-mentioned points. However, study is not very simple, since the parameters that intervene in a phenomenon can vary substantially (ratio of interacting water and magma masses, levels at which the phenomenon was produced, etc.).

Ideally, an eruption process in which this phenomenon would have occurred can be reconstructed, and the events would occur in the following order: activity begins with the rise of magma through the chimney, the eruptive column that deposits falling pyroclasts appears and simultaneously the level of magma disruption in the chimney begins decreasing, until the level at which the volatile materials are freed in explosive fashion, forming gas/particles dispersion. This brings about an erosion of the chimney expelling the lithics of the subsurface rocks; the phenomenon continues with the emission of pyroclastic flows. Up until this moment, it could be said that the phenomenon finds itself in an initial, purely magmatic phase.

As the level of disruption decreases and reaches an aquifer at depth, the eruption style changes radically, since upon reacting with the water, there is a sudden transformation of the water into vapor, giving rise to a notable increase in explosivity and causing, as a consequence, an increase in the degree of fragmentation, until reaching extreme limits in which particles the size of ash are produced-- all of this depending, naturally, on the amounts of water and magma that interact. Another consequence of the phenomenon is an increase in the gaseous phase of the system, due to the water vapor incorporated; this brings about a decline in the concentration of the gas/particles dispersion present in the channel, and the greater incorporation of pre-existing lithics originally in the site where the explosive interaction was produced. The phreatomagmatic eruptions have a very strong lateral component, and this distinguishes them from a purely magmatic process. The dispersion escapes laterally, as a surge cloud that travels turbulently, at high speeds. Since water vapor is abundant, it expands and cools and can even condense. Depending on the vapor temperature, the deposits left behind by the surges will have different characteristics. The study of lithics taken from the aquifer level will provide clear indications of the temperature of the water therein. If a geothermal system existed at the moment of eruption, the lithics will have mineral associations that reflect the system's hydrothermal facies. This phenomenon definitely produces sampling of the reservoir levels that interest us for geothermal purposes. The activity can conclude with a purely magmatic phase if the level of disruption was able to descend to levels below those of the aquifer. In summary, phreatomagmatism makes it possible to learn about the existence of aquifers at depth and about the temperature of the water and, qualitatively, to specify the amount of water that existed in those aquifers. Again, it should be determined if the current hydrogeological conditions are similar to those that existed when this phenomenon occurred.

The results obtained from geovolcanological studies prove quite helpful in drawing up a thermal model for the area under study, and they are not very expensive. Thus, it is perfectly viable to do them during the pre-feasibility stage.

This procedure has been used within the studies for the projects El Hoyo-Monte Galan in Nicaragua and, more recently, in the Chiles-Cerro Negro area in Ecuador; these studies were developed jointly by the respective national organizations and OLADE.



MOMOTOMBO: A VOLCANO AT THE SERVICE OF THE PEOPLE

NICARAGUAN INSTITUTE
OF ENERGY

INTRODUCTION

The worldwide energy crisis, created by unmet increases in the cost of oil, has had a sizeable effect on those countries which have not developed their own sources in amounts sufficient to meet current and future demand. This crisis is even more serious for the developing countries, owing to the impact on their balance of payments and the levels of investment required to exploit their resources. Geothermal energy, in the countries that have such possibilities, could become one source of energy for them, if its development is given the necessary push.

In the specific case of Nicaragua, given that a large part of the country's electric power generation depends on oil, which is progressively more costly, the use of new and renewable sources is of prime importance for the socio-economic development of the country.

Due to its geological structure, Nicaragua is a country with great geothermal prospects; for this reason, the Revolutionary Government has deemed it convenient to increase the amount of studies and prospecting, in order to lead the country to a prompt and extensive use of this natural resource. The positive results obtained so far in Momotombo have come to constitute a stimulus to the vigorous continuation of these studies throughout the country.

Taking as a basis the feasibility study done by ELECTROCONSULT in 1976, and the production testing done later in 1979 and 1980, construction began on the First Geothermoelectric Power Plant, in Momotombo, in

the year 1981; commercial operation began in September 1983.

This first plant generates 35 000 kilowatts and is fed by the steam from wells MT-9, MT-12., MT-10 and MT-27, with well MT-27 as a reserve. An overall assessment of the field was also done during 1980, 1981 and 1982; and the feasibility study on a second 35-MW plant was concluded. Such a plant would increase Momotombo's capacity to 70 000 kilowatts.

The Revolutionary Government is taking the necessary steps to procure the required funding and make Momotombo II a reality.

BACKGROUND

Geothermal activity in Nicaragua dates back to the year 1966, when a mission from the consulting firm ELECTROCONSULT arrived in the country for the purpose of examining the possibility of the existence of geothermal fields.

After geological and volcanological investigations had been conducted, five different regions were defined, as follows:

1. Pacific Coast
2. Northern Nicaragua
3. Nicaraguan Depression
4. Internal Plateaus
5. Atlantic Coast

The first three interested technicians from the geothermal standpoint.

As for the inspections carried out in the fumarole fields, the areas of Momotombo, San Jacinto, Lake Jiloa and Tipitapa are worthy of note.

In June 1969 the Government of Nicaragua signed a contract with TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED, to undertake investigations for the purpose of locating and defining fields with geothermal potential in the western part of Nicaragua, including the compilation of data on heat manifestations, regional and detailed geological mapping, geophysical and geochemical surveys, shallow-well drilling to measure temperature gradients and the drilling of one deep test well.

Based on the studies which had been done, Texas Instruments Inc. classified 10 sites of geothermal potential:

- The fumarole of the Southern Momotombo Volcano
- The fumaroles of San Jacinto - Tizate
- The fumaroles of the Casita Volcano
- The fumaroles of the Telica - Najo Volcano
- The thermal area of Lake Jiloa - Apoyeque
- The fumaroles of Cerro Colorado
- The hotsprings of Tipitapa
- The thermal wells of La Hacienda
- Agua Caliente - Villa Salvadorita and
- The hotsprings of San Luis.

Studies ended in February 1971, and it was concluded that the area of fumaroles of the Momotombo Volcano showed strong evidence that a commercial reservoir of geothermal energy could be developed, capable of supplying a power plant of 35 MW or even more. The area of fumaroles at San Jacinto also showed the characteristics of a reservoir with geothermal energy potential at a commercial level.

At the request of the Government of Nicaragua, a mission of United Nations specialists paid a visit to the country in May 1971, in order to review the work already done and to formulate recommendations; the mission confirmed the major conclusions and recom-

mended the implementation of a broad exploitation program. In compliance with these recommendations, the Government submitted to the United Nations Development Program (UNDP) a request for technical and financial assistance, which was approved by the Administrative Council in January 1972.

The immediate objectives were to continue the program established by the Government in 1969, that is:

- a. To demonstrate, through deep-well drilling, that one of the Momotombo or San Jacinto fields presented good prospects from the commercial point of view, with a steam production sufficient for a 30-MW power station.
- b. To draw up the preliminary design and a techno-economic feasibility study on a power plant.

On December 23, 1972, an earthquake of catastrophic proportions struck Managua, the country's capital city; and in the subsequent destruction, offices, files and instruments were lost. In early March 1973, the Government decided to temporarily reduce the pace of the project and to carry through with only the geological, geochemical and geophysical studies that had already been started and were then in advanced stages, so that the project would end with the presentation of a final report in December 1973.

The reconnaissance work and studies undertaken under this plan were limited to the areas of Momotombo and San Jacinto-Tizate; and they confirmed the existence of two distinct geothermal fields, with a lateral extension of 10 km² and 7 km² and with temperatures higher than 230°C. Both held promising prospects for commercial exploitation.

At the end of 1973 the Government decided to put the National Light and Power Company (ENALUF) in charge of concluding the geothermal exploration program. To meet the original Government program, ENALUF contracted the services of the Italian consulting firm ELECTROCONCULT on May 15, 1974, for the purpose of finishing tests in the Momotombo field, through deep

exploratory drilling, a preliminary design and a technical feasibility study for an electric power plant.

In May 1974 ENALUF also contracted the drilling firm FORAMINES, to drill four dual-purpose wells (exploration/production), with depths ranging between 600 and 900 meters and offering the possibility, if necessary, of extension to 1200 meters.

Once the aforementioned work ended, and in order to complete the drilling, ENALUF, in August 1975, contracted ENERGETICOS, S.A., to drill 12 production wells, and the consulting firm CALIFORNIA ENERGY, to plan and supervise said drilling. The termination date for these contracts was estimated as January 1977.

Between 1975 and 1978, 28 wells were drilled with depths ranging from 320 meters to 2250 meters, for a total of nearly 27,750 meters in the 28 wells.

Since 1979 national technicians and the geothermal project have taken off in a clear, well-defined direction. They managed to establish the feasibility of the first geothermal power unit with a capacity of 35 MW, which could be installed in the geothermal field of Momotombo; later geoscientific studies defined and verified the technical and economic feasibility of another 35-MW unit.

National personnel, both at the middle technical and professional levels, have been receiving training in different geothermal disciplines. A total of 19 middle-level technicians have visited countries involved in geothermal development, such as Mexico, Iceland, Italy, etc., through collaboration between governments, grants from international organizations, the University of the Nations, OLADE, etc.

In the year 1980 two technical cooperation agreements were signed between the Nicaraguan Institute of Energy (INE) and the Latin American Energy Organization (OLADE), to develop a reconnaissance study at the national level, especially along the Los Marrabios cordillera, which permitted setting priorities for 5 areas of interest on the basis of solid technical criteria; and a prefeasibility study in the area lying

between the volcanoes El Hoyo-Monte Galan and San Jacinto-Tizate. This study was carried out through financing from the special OPEC Fund, through OLADE, with extra-regional advising; the INE served as national counterpart. The major aims of this study were to identify any geothermal areas of interest and to locate the sites for the first deep exploratory drilling.

In March 1981 the construction of the first geothermal power unit of Momotombo got underway. It was concluded in September 1983, when for the first time ever in the history of Nicaragua the electric utilities and civil structure components were completely supervised by national technicians; it was in the mechanical part that INE contracted the advisory services of a specialized firm.

LOCATION

The Momotombo geothermal field is located in the western part of Nicaragua, precisely on the northern shore of Lake Managua, at the foot of the volcano of the same name, which together with several others make up the Quaternary volcanic chain of Nicaragua.

The Momotombo Volcano, one of the most familiar sights in Nicaragua, has a regular shape, with a symmetrical cone; it reaches a height of 1200 meters and covers a surface area of 65 km².

The proximity of the volcano led to a study on volcanic risks involved in the Momotombo geothermal project.

The area of the wells and the plant can easily be reached by highway from Managua. The distance which must be covered is approximately 90 kms. and the highway is two-thirds paved (up to La Paz Centro).

The level of El Lago, where the field appears, is at an average of 39 meters above sea level. Therefore, the area of the field has an average elevation of 250 meters.

GEOLOGY

The volcano-tectonic location of the Los Marrabios



cordillera, of which the Momotombo Volcano forms part, is controlled by one of the most complex examples of interaction among onshore lithospheric plates. The borders of four of these plates are both converging and diverging, thus producing numerous transforming faults, compressive dorsals, offshore troughs, volcanism in island chains, and volcanism in rising plates.

Directly in the Los Marrabios area, the western edge of the Caribbean Plate passes over the Cocos Plate. The latter sinks in the conspicuous Central American trough, just 100 kms. off the coast of Nicaragua. The Caribbean Plate shows evidence of an extensive zone behind the island arc, producing a graben (the Nicaraguan Depression) some 60-80 kms. wide which runs parallelly beneath the Central American trough.

The Momotombo Volcano is found on the lower western edge of the Nicaraguan Depression, situated where that depression changes direction from 30.8° North to 32.0° South.

The local basement of the Momotombo volcanites, drilled only slightly by the geothermal wells, includes a sequence of lava, pyroclast, and agglomerate spills with thin intercalations; and in the deepest part of the wells, reworked fossil pyroclasts.

Stratigraphically speaking, by using Parson's map of stratigraphic correlations (1972), this sequence can be easily correlated with the group of sediments and ashes from the Lower Coyol of the Middle-to-Upper Miocene. This unit is covered by the agglomerates, lavas and ashes of the Upper Coyol of the Plio-Pleistocene; then finally, with the reactivation of volcanism in the Pleistocene/Quaternary, all of the succession was covered again by lavas and pyroclasts at very distinct levels.

Previous studies (California Energy Company Inc. CECI, 1979; International Engineering Company IECO, 1980) subdivided the stratigraphic column drilled by the 32 geothermal wells into 8 different units.

This stratigraphic column is constituted by volcanic products of variable composition, ranging from basaltic to dacitic and primarily presenting these in their equivalent

pyroclasts. Nonetheless, there exist lava flows in a number sufficient to facilitate either petrographic classification or correlations among wells. The deepest unit contains fossil marine limestones from the Upper Miocene.

The correlation of the key levels made it possible to confirm or negate the existence of faults inferred from other observation techniques (especially, satellite photos by means of the radar method with synthetic apertures) and also made it possible to calculate the direction and size of the displacement in said faults. The combination of mapping by radar images and detailed lithological investigations permitted the elaboration of a new, quite different map of the area, as compared to previous versions.

WELLS

In Momotombo there have been two stages of well drilling: one going from November 1974 until August 1978 and another from October 1982 until June 1983.

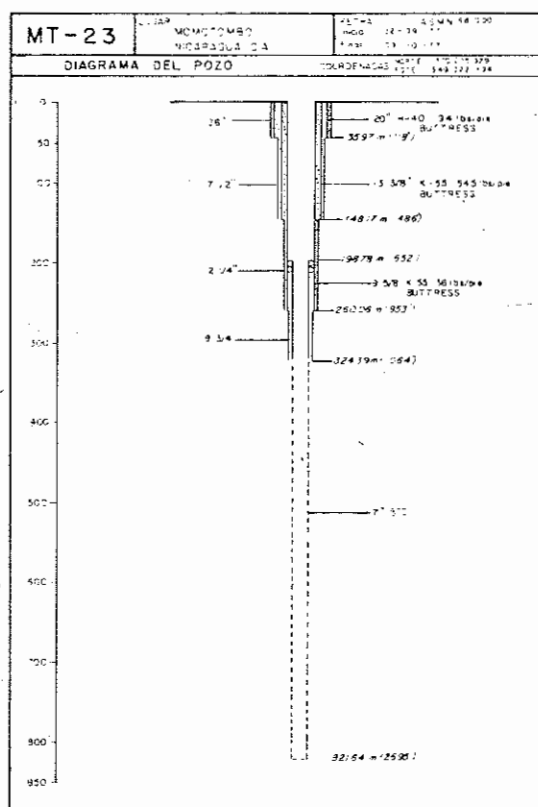
In the first stage 32 wells were drilled, of which 20 were production and 4 reinjection. In the second stage 3 wells were drilled, of which 1 was production (for the second unit) and the other two, reinjection.

To feed the first 35-MW unit, which went onstream in July 1983, five steam-producing wells were hooked up: one as a reserve and four to reinject residual waters.

The techniques for drilling and completing the geothermal wells used in Momotombo have been similar to those applied to oil wells, with the difference that the cementation has used special additives, more resistant threaded production casings, and drilling muds cooled by means of a cooling tower.

CHEMICAL CHARACTERISTICS

Chemical analyses were done on samples from all of the wells, which were collected at the wellhead through separation and condensation; some deep samples (from 1500 meters down) were also collected and analyzed, with similar results.



CASINGS USED IN THE EXPLORATORY AND PRODUCTION WELLS OF THE MOMOTOMBO GEOTHERMAL FIELD

OUTSIDE DIAMETER	DEPTH	
INCHES	EXPLORATORY (m)	PRODUCTION
20	000-20 (C)	000-20 (C)
13 3/8	020-250 (A)	020-250 (S)
09 5/8	250-840 (P)	150-350 (P)
07		350-600 (L)

NOTE: (P) Production
(C) Conduction (S) Shallow
(A) Anchor (L) Liner

Chemistry findings indicate that the field is water - dominant, with chlorosodium features. The geothermometers (Na-K-Ca, Na-K, SiO_2) indicate temperatures within the range of the measurements, with deviations on the order of 10 to 20°C. The distribution of the chlorides at 300 meters below sea level indicate a very similar form to that of the temperature maps for the same levels.

No notable differences were observed in the composition and concentration of the waters from the deep wells and those produced by the wells fed by the shallow aquifer (such as MT-2 and MT-3). This fact indicates that the shallow aquifer is fed directly by the upward flow from the west-northwest, without the verification of appreciable phenomena of mixtures with the cold flow that is introduced from the east.

Neither is it possible to overlook, on the basis of available geochemical data, the evidence of an evolutionary tendency towards a gradual intrusion of somewhat cooler waters, as a result of the exploitation.

However, it should be mentioned that in the geochemical history of the Momotombo field, there has not been good continuity in sampling and sometimes analytical precision has been lacking to detect slight variations in the composition and/or concentration of the fluids.

From now on, very regular and careful geochemical monitoring will be needed in order to keep watch over this very important aspect of field management.

The separated vapor contains gases averaging 1.1% by weight in the analyses; carbon anhydride accounts for almost all of the gas.

PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE FIELD

The field is constituted by two different aquifers, which are connected. The shallow aquifer, of limited size, is fed by the other deeper, high-temperature aquifer by means of a cross-fault system.

Most of the wells drilled to date intercept the shallow aquifer, whose basic features are thus much more well -

CHEMICAL CHARACTERISTICS OF GEOTHERMAL FIELD WATERS WATER - VAPOR

SITE	PROF.		pH	Na+	K+	Mg++	Ca++	Fe+++	PPM				102
	°C	(M)							Cl—	SO ₄ =	AS++	B	
HVERAGERDI - ICELAND	216	650	9.6	212	27		1.5	0.1	197	61		0.6	480
NGAWHE - NEW ZEALAND	360	585	7.4	950	80	*	28	0.1	1625	17		1200	460
MEXICALI - MEXICO	340	1285	N D	5820	1570	8	280	0.2	10420	12		12.4	740
SALTON SEA - CALIFORNIA	340	1600	4.7	5040	1750	54	280	2290	15500	5	12	390	400
SENKYORO - JAPAN	150	N D	1.2	5000		4000	400	3770	6880	84	6.4	470	
AHUACHAPAN - EL SALVADOR	230	900	7.0	6120	995	10	416		11000	27		162	663
NICARAGUA		D S	8	2180	400	0.038	84		3976	18.1	1.4	17	550

NOTE: (*) Including analysis of Ca++ +

ND = No data available

SD = Surface discharge

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GEOTHERMAL FIELD GASES WATER - VAPOR

SITE	% GAS/VAPOR	% CO ₂	% H ₂ S	% + HYDROCARBONS	% H ₂	% N ₂ + Ar
BROADIANDS - NEW ZEALAND	0.61	94.80	2.10	1.20	0.20	1.50
MEXICALI - MEXICO	0.54	81.40	3.60	7.00	0.50	7.00
OTAKE - JAPAN	0.10	46.70	0.65			2.70
AHUACHAPAN - EL SALVADOR	0.20(a)	94.00	6.00			
MOMOTOMBO - NICARAGUA	(0.5) *	93.37	1.07	2.41	0.74	2.41

NOTE: (a): % by weight

(*): % by volume

known that those of the deep reservoir, which has only been reached by wells MT-4, MT-10, and MT-34.

For an intensive exploitation of the reservoir, it is necessary for the extraction to also tap the deep aquifer; in fact, the size of the shallow system, considered as an island itself, would not permit the installation of more than the 35-MW already planned and neither would it allow those 35 MW to be sustained over a 20-year period.

Analysis by means of mathematical models has also underscored the fact that the exploitation of the deep system through two 35-MW units cannot be done by using only the natural rise of the fluid through the system of faults. Under this hypothesis, the drop in pressure in the shallow aquifer necessary to induce the subvertical flow towards the latter would prove to be so high that the resulting reservoir pressure could not manage to keep up the necessary flow in the wells.

The proposed exploitation strategy thus anticipates these fundamental guidelines for development:

- a. To drill some wells in the area of fluid rise, in order to exploit the deep aquifer directly. The number of wells to be drilled will depend on their features, but between 2 and 4 can be estimated.
- b. To make use of the wells already available for supplying the first unit, as well as part of the second, from the shallow aquifer.
- c. To connect the system of piping to a number of wells larger than that strictly necessary, to permit greater elasticity of operation and maintenance and the alternation of production wells.

PRODUCTION CHARACTERISTICS

Despite the fact that the wells intercept the same aquifer, there is different evidence as to the production characteristics of these, due to the intrinsic lack of homogeneity in the fractured aquifers. Particularly, the tendency to evolve towards the production of dry steam does not depend solely on the depth of the productive layer, but rather seems to be influenced also by the distribution of temperature and permeability in the aquifer.

Therefore, in establishing the production characteristics on which the project would be based, both for the turbine as well as for the transportation and reinjection systems, the following criteria were used:

- a. For already-existing wells, the data on flow and enthalpy provided by field production testing were used; any variation in the production characteristics was considered for only one of the wells that had already manifested tendencies towards increasing enthalpy during the tests.
- b. For new wells to be drilled in the deep reservoir, reference was made to:
 1. the available temperature data in order to forecast the level of enthalpy and
 2. the level of production of well MT-4 (detoured and with a small diameter) to forecast the flow from wells with normal diameters (9 5/8"). The data on well MT-10 were also taken into account. However, it should be stressed that despite the dry production of the aforementioned wells, a "project" enthalpy of 1400 kJ/kg was considered.

BASIC FEATURES OF THE FIRST MOMOTOMBO UNIT

The First Geothermal Unit of Momotombo, was started up in September 1983, with an installed power capacity of 35 MW. The plant is of the one-evaporation-stage type.

PRODUCTION CHARACTERISTICS OF PRODUCTION WELLS

WELL	TOTAL FLOW (kg/s)	STEAM FLOW (kg/s)	ENTHALPY (kJ/kg)
MT-2	60	12	1,100
MT-3	95	18	1,100 (*)
MT-4	08	08	2 700
MT-9	70	13	1 100
MT-10	07 (*)	07 (*)	2 700
MT-12	20	20	2 700
MT-17	40	08	1 100 (*)
MT-19	20	04	1 100
MT-20	32	32	2 700
MT-21	34	06	1 100
MT-22	60	11	1 100 (*)
MT-23	85	16	1 100
MT-25	55	10	1 100
MT-26	90	17	1 100
MT-27	140	26	1 100 (*)
MT-31	110	12	0950

NOTE: (*) Evolution to dry-steam production is anticipated.

BASIC DATA ON OPERATIONS

		RATED OPERATION	MAXIMUM CONTINUOUS OPERATION
Power Capacity	kW	35 000	40 370
Power Factor (cos)	—	0.85	0.98
Turbine Intake Pressure	bar	7.00	8.10
Steam Collector Pressure	bar	7.35	8.50
Condenser Pressure	bar	0.125	0.145
Steam Flow to the Turbine Intake Valve	kg/h	264 125	302 006
Steam Flow to the Ejectors	kg/h	15 968	15 968
Total Steam Flow	kg/h	280 093	317 974
Auxiliary Consumption	kW	2 200	2 200
Gross Specific Consumption	kg/kWh	8.00	7.90
Net Specific Consumption	kg/kWh	8.50	8.30

BIOMASS BIOFUELS BIOENERGY

Jorge Cals Coelho
ENERGY RESOURCES COORDINATOR
SETEC-MINISTRY OF MINES AND ENERGY
BRAZILIA, BRAZIL - 1983

1. BIOMASS SOURCES

Biomass can be defined as all organic material having a vegetable or animal origin. Normally biomass can be converted into energy by using simple processes, a great number of them sufficiently known. The energy content of biomass is relatively uniform, and below the order of 3,000 Kcal/kg.

For the purposes of the present paper, the biomass that offers a great deal of interest is that of plant origin, so if we speak of biomass, it is understood that it will be of that kind.

Biomass is one of Nature's ways of storing the solar energy that reaches the earth. This stored energy can be transformed, again, into utilizable energy by several conversion processes, depending on end-use conveniences.

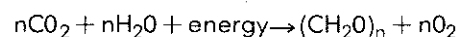
Fossil fuels (petroleum, coal, natural gas), which currently provide the world with energy, are more concentrated forms of storing energy. They come from a transformation of biomass, which is in turn the product of the natural conversion of solar energy into organic vegetable matter, by means of photosynthesis.

1.1 PHOTOSYNTHESIS

Photosynthesis is the process by which plants use the energy radiated from the sun for the synthesis of chemical compounds, resulting in life and plant growth. In other words, it is biomass production through photosynthesis that converts solar energy into chemical energy.

Only 0.1% of the solar energy received by the earth enters into the photosynthesis process and organic matter production. This small quantity of energy is annually responsible for the production of approximately 200,000 million tons of dry organic matter, in the form of forests, pastures, cereals, etc., including water vegetation.

Photosynthetic reduction of carbon dioxide to form biomass and molecular oxygen is one of the main reactions responsible for life:



The end products of photosynthesis are:

- organic matter (hydrocarbons) and
- atmospheric oxygen

The average daily biomass production in a tropical region can be estimated at **230 Kg/ha.**

1.2 PRIMARY SOURCES

"Primary source" is the term for biomass whose principal use is energy production, rather than the residue of an industrial or agricultural process.

Primary biomass sources for energy purposes can be classified as follows:

A. LIGNEOUS PLANTS

This category includes plants with characteristics of high density, hardness, and rigidity, along with a high



content. Ligneous woods occur:

- naturally, in native forests
- artificially, in man-made forests

When the felling of trees from native forests is not adequately controlled, their exploitation for wood or other purposes, brings about an extensive transformation into desert areas.

These deforested areas must be replanted with genetically superior trees, so that the total quantity of forest resources available for the future can increase gradually, without increasing the planted area. It is true that the increase of forest resources and an intelligent management of existing forests will result in greater fuel production.

B. NON - LIGNEOUS PLANTS

This category includes small plants; normally these are food products but they can also serve as an energy source. Almost always, they are planted and their cultivation is seasonal. We could point out as examples: sugar cane, saccharine sorghum, sugarbeets, etc. These sources present the advantage that they are more accessible to energy users than the forests of the previous category.

The types of energy plantations to be cultivated depend on the type of biofuel that needs to be obtained, and on the edapho-climatic conditions of the selected region. The biofuel, in turn, depends on the consequences of the energy market needs to be satisfied.

Energy plantations of non-ligneous plants must be rich in:

- amylaceous crops (cassava, corn, potatoes, etc.)
- cellulose (pasture, bamboo, etc.)
- sucrose (cane, saccharine sorghum, etc.)

C. WATER PLANTS

There exists a great variety of plants grown in water. These vary from unicellular microalgae to macroalgae.

For their development, these plants need sunshine, carbon dioxide and nutrients. Water plants can develop both in fresh water (lakes, dams, rivers) and in salt water (oceans).

A sizeable number of biomass sources, practically untapped, proliferate in waters around the world. These aquatic plants constitute a vast biomass resource of excellent value. Essentially, they are highly-productive plants that need no cultivated land, fertilizers, or pesticides. They reach a production of 85 tons/ha/year of dry material.

Of these plants, the best known in Brazil is the "aguapé"; research is now underway on its transformation into biogas through anaerobic digestion.

The cultivation of aquatic photosynthesis resources has a short history in relation to land cultivation. A great deal of technologies currently come from Asiatic nations.

D. BIOFLUIDS

Certain plants have sap or latex with a composition similar to that of certain fuels or chemical products derived from petroleum. The best-known example is natural rubber.

Other plants produce hydrocarbons similar to gasoline, diesel or fuel oil.

Furthermore, oil- and wax-producing plants exist. Normally extracted from fruits and grains, these products present a calorific value two times higher than that for cellulose, starch and other carbohydrates.

In summary, this category for biomass sources can embrace:

- latex
- sap
- resin
- oil
- wax
- other fluids



E. SPECIAL

In this category are grouped special types of biomass sources that cannot be included in any of the former categories, or that simultaneously correspond to "miscellaneous"; for example, the "babazu" yields an amylaceous fruit (mesocarp), with ligneous material (endocarp), and it is a biofluid producer (almond). Other Brazilian plants from the same category would be "Bahia coconut" and "dende".

"Bahia coconut" and "dende" correspond to this category since they produce vegetable oil, but they can produce charcoal; they have a shell with excellent characteristics for this purpose.

1.3 Secondary Sources

"Secondary source" is the denomination for biomass that is an energy-supplying by-product of an industrial process when subjected to adequate conversion.

ORGANIC RESIDUES AND DETRITUS

Such residues can have very different origins, and can be grouped as follows:

- rural waste
- urban waste
- industrial waste

Consider each type of waste as characterized by its origin, which determines its availability and concentration.

— Rural Waste

This originates in activities developed in the rural environment, and from three types of activity:

- farming residues (agricultural crops)
- forestry residues (forestry management and harvesting)
- animal residues (livestock management)

— Urban Waste

This can be divided into:

- solid residues (garbage)
- liquid residues (sewer wastes)

Urban garbage is an optimum energy source. Per capita generation of garbage is on the order of 2.5 to 3.0 kg/day. Of this quantity, only 1.5 to 2.0 kg is organic matter, the rest being constituted by inert matter, in energy terms.

When anaerobic treatment is used, sewer wastes can be used to produce biogas, in a proportion of 0.028 m³ per capita per day.

— Industrial Waste

Industrial residues of an organic nature are excellent biofuel sources. One example is found in the alcohol industry, with cane bagasse and stillage (distilling effluent). Of those industries generating organic residues, there are also:

- food industries
- tanneries
- beverage industries

2. CONVERSION SYSTEMS

2.1 Biofuels

Biofuels are, as their name indicates, fuels from renewable energy sources native to living beings. Finally, all biofuels are derived from plants that capture solar energy, converting it into chemical energy through photosynthesis and through ingestion or digestion, transferring this energy to the rest of the living world. In this sense, all forms of life, its products and residues, are solar energy reserves ready to be ingested, burned or converted into other organic fuels.

Every day the earth receives from the sun 3,000 times more energy than that consumed by Brazil in one year (1.4 x 10¹² Kcal.). Nearly half of this energy is reflected

back into space. Most of the solar energy that finally enters the atmosphere ends up feeding the wind, temperature and water systems of the biosphere. The remainder, a mere 0.1%, is captured by land plants, algae and some species of bacteria; and it is converted by photosynthesis into chemical energy within protoplasm.

Comparing plants with solar, wind and hydro devices, they are very inefficient in converting solar energy into utilizable energy forms, (See Figure 1).

Conversion processes may be physical or chemical, or a combination of the two. Physical conversion techniques are based on physical alterations in the form of biomass. For example, the form of forest biomass or wood can be modified by:

- size-reduction techniques, such as transformation into chunks, pulverization, etc.
- drying techniques to reduce water content.

Chemical conversion techniques are based on molecular alterations in biomass structure. For example:

- incomplete combustion to generate chemical products derived from biomass (synthesis gas);
- breakdown of cellulose molecules through the actions of mineral acids or selected bacteria.

This paper will limit itself to the chemical conversion processes, due to their great importance.

A great variety of ways exist to convert biomass directly into biofuels. Although it cannot be said that a better process exists, it all depends on where and why biomass conversion is being done. One conclusion is evident as regards raw materials, and it is that all organic residues and detritus should be used at maximum, since even after being converted to biofuels, they still serve to recycle nutrients and close the cycle.

All this variety of ways to convert biomass into biofuels responds to basic principles of life and Nature. A complete cycle exists in all of these conversions.

For centuries, some biomass forms have been used directly as fuels, without any transformation beforehand. Nevertheless, many technologies currently exist for the conversion of biomass into biofuels, in order to facilitate their energy benefits.

2.2 Biological conversions

The study of biological conversions of biomass can be subdivided into:

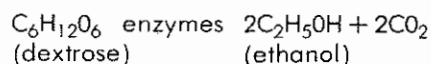
- fermentation
- anaerobic digestion

2.2.1 FERMENTATION

The main fuel produced by the fermentation process is ethanol or alcohol.

Ethanol is produced through the biochemical conversion of fermentable sugars through microorganisms such as fungi, bacteria, yeasts, etc.

Ethanol production through fruit and cereal fermentation has been in use for centuries. The fermentation process is basically a decomposition reaction which involves the interaction of various enzymes and sugar solutions. Enzymes serve as catalysts, according to the reaction below, showing sucrose fermentation:



The reactions can be fed with various forms of plant biomass, mainly carbohydrates: sugars, amides and cellulose. In the case of these carbohydrates, two hypotheses are considered: the raw material already has some simple sugars (such as saccharose from sugar cane) which can be fermented directly; it can also contain more complex sugars (such as starches and cellulose) which must be hydrolyzed to simple sugars before fermentation.

Simple sugars contain only one molecule of sugar within their molecule, the monosaccharides; in this



category are included dextrose (glucose) and fructose. Other sugars, such as sucrose, maltose and lactose, contain two molecules of simple sugars; these are disaccharides. Starches are more complex carbohydrates whose molecules (polysaccharides) are made up of many monosaccharide molecules with external chemical bonds, forming one large molecule.

All these carbohydrates can be converted into ethanol; but the more complex the molecule, the more difficult and costly the preparation process for fermentation.

2.2.2 ANAEROBIC BIODIGESTION

Anaerobic biodigestion is a biological process that converts biomass into methane, carbon dioxide and stable residues in the absence of oxygen.

Methane production through anaerobic digestion is based on the faculty that certain microorganisms have of utilizing, in the absence of oxygen, the potential chemical energy contained in organic matter, through a complex set of enzymatic reactions. During the process, a part of this organic matter is oxidized to anhydride (CO_2) and another part is reduced to methane (CH_4). As a result of these reactions, besides the necessary energy for the organism's survival and reproduction, the following is produced:

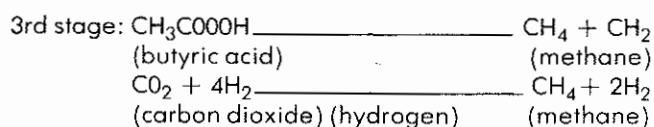
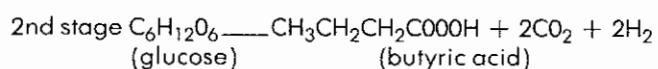
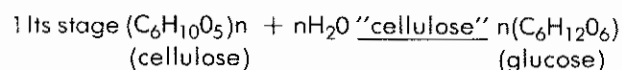
- a gaseous mixture known as biogas, containing approximately 60% methane and 40% carbon dioxide;
- stable solids, vegetable protein compounds and humus, potentially useful as animal feed or soil fertilizer; and
- nutrients dissolved in the water used in the process, fit for algae growth or as plant fertilizers.

Anaerobic digestion comprises different interlinked stages which, for study purposes, can be divided into the following three:

- 1st stage-dissolution (hydrolysis)
- 2nd stage-acid formation (acetification)
- 3rd stage-methanogenesis

These three stages follow in succession and are in a constant dynamic equilibrium. This means that, under certain conditions, the species and amounts of microorganisms and their biochemical activity are stable and, thus, the rate of organic matter digestion, the concentration of intermediary products, the methane production ratio and the biogas components remain stable.

The chemical equation of the reactions involved in each stage are as follows:



2.3 Thermal conversions

Thermal conversions are those in which biomass undergoes modifications in its chemical structure, as a result of a sharp rise in temperature. These thermal conversions are performed in order to transform biomass into a biofuel suitable for use in existing equipment or for easier handling, storage and transportation.

Thermal conversions involve technologies which use high temperatures to convert biomass into:

- Heat (thermal energy)
- Combustible gas
- Charcoal
- Chemical products

A large number of thermal conversions exist for obtaining biofuels and energy from biomass; these can be classified as follows:

- Carbonization (charcoal-making)
- Gasification
- Direct combustion

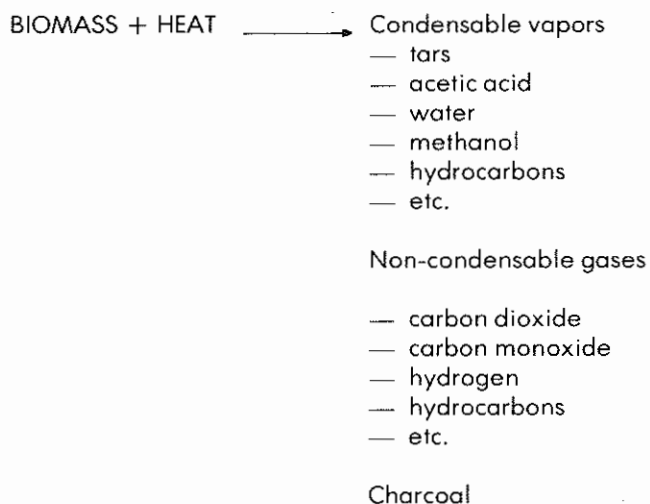


2.3.1 CARBONIZATION

Carbonization is a thermal process of biomass decomposition at high temperatures, where gases and liquid are volatilized, leaving merely a solid compound made up almost exclusively of pure carbon. This solid is called charcoal.

Biomass, especially wood, undergoes a process of carbonization when it is heated to temperatures of over 300°C, to rid it of water vapor, pyroligneous liquids and uncondensable gases and leave only charcoal.

Chemical reactions taking place in the process of carbonization of wood are very complex; thus it is preferable to represent them in the following way:



In Brazil, all existing charcoal-making facilities are planned to obtain only this product and to issue condensables and non-condensables into the atmosphere. Aside from a large energy waste, this represents a high degree of environmental pollution.

In continuous charcoal-making processes it is possible to establish stable conditions, control temperature and carbonization speed and obtain charcoal of very homogeneous characteristics, according to the specific demand.

2.3.2 GASIFICATION

Gasification is a thermal process of biomass (or charcoal) decomposition where the sought-after end product is a combustible gas containing CO and H₂ (carbon monoxide and hydrogen) as the main active energy components.

Biomass gasification is a very old process to convert a solid fuel into a gaseous one with better transport characteristics, better ignition efficiency, greater storage facility, and better adaptability to existing burners and engines. Moreover, gas produced during gasification can also be utilized as feedstock for other processes (methanol synthesis).

The gas produced is a mixture of:

- CO (carbon monoxide) (5 - 15%)
- H₂ (hydrogen) (10 - 13%)
- CN Hn (light hydrocarbons) (1 - 4%)
- C₁₃H₂₀O (tars) (0 - 5%)
- CO₂ (carbon dioxide) (9 - 11%)
- N₂ (nitrogen) (42 - 45%)
- H₂O (water vapor) (11 - 22%)

Of the above, only the first four are energy-active; and the rest are inert, diluting the gas and lowering its calorific value. The tars, in spite of being combustible, are undesirable products in gas composition, for they polymerize when hot, leaving incrustations in the pipes, and when cool they condense as a dark viscous liquid that obstructs burner pipelines.

Chemical reactions occurring during the wood gasification process are much more complex than those occurring in charcoal gasification, mainly due to wood's higher content of volatile materials. More in-depth studies would be necessary to clear up the mechanisms in wood gasification; this paper will therefore be limited to charcoal gasification.

2.3.3 DIRECT COMBUSTION

Direct combustion is a thermal decomposition process for biomass, which is totally converted into thermal energy, leaving only solid residue ash.



Ash is formed by the mineral components of biomass. As timber or firewood are normally the biomass used in the process of direct combustion, this paper will deal especially with wood as a fuel.

Generally, in order for combustion to take place, it is necessary for the fuel to mix well with oxygen and remain at a certain temperature over a given period of time. For this combustion to be efficient, three variables need to be controlled:

- turbulence (mixture)
- time
- temperature

As for the fuel, two characteristics are important:

- calorific value and
- heating intensity

In studying calorific value it is convenient to distinguish the upper calorific value (UCV) from the lower one (LCV). The UCV corresponds to all of the heat liberated during combustion; it is the theoretical calorific value. It varies with the chemical composition of the fuel. The LCV corresponds to the UCV minus the heat necessary to vaporize the humidity inherent in the fuel and that resulting from the combustion of hydrogen.

With regard to heating intensity, this can be viewed as all the heat released during the combustion of a given weight of fuel in a perfectly insulated kiln. All the native heat from this combustion would be applied in raising the temperature of the "combustion gases" to a theoretical value known as the "theoretical combustion temperature".

2.4 Special Conversions

Normally, special conversions apply to biofluids or to biofuels produced in previous biomass conversions.

Among others, the following special conversions can be cited:

- methanol synthesis

- modification of vegetable oils

- alcohol transesterification
- cracking

2.4.1 METHANOL SYNTHESIS

The process involves two gases; when these are placed together in the correct proportions (1:2) inside a reactor, under controlled temperature and pressure, methanol is obtained according to the previous equation. Several methods can yield the gases (CO, H_2) for such synthesis, but the most promising at the moment—and this paper's main interest—is through gasification of biomass, already seen in the section on "gasification".

2.4.2 MODIFICATION OF VEGETABLE OILS

Pure vegetable oils can, in principle, be utilized by diesel engines as a substitute for diesel oil. Notwithstanding laboratory tests that have shown it to be possible, efficiency drops much due to the low index of ketones and the very high viscosity. These demand greater pressures in the injector nozzle and make complete combustion in the cylinders difficult, due to the lack of proper droplet formation.

Aside from the above, pure vegetable oils have a greater ratio of carbon residues, resulting in an increased frequency of engine maintenance to remove them.

The principal differences between vegetable oils and diesel oils are in:

- viscosity
- ketone index
- carbon residues

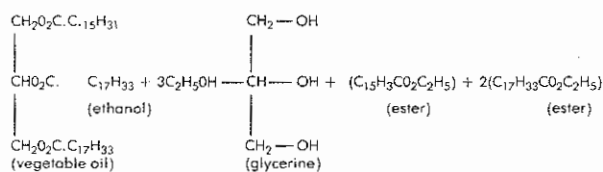
Therefore, it is necessary to modify these figures to transform vegetable oils into a fuel similar to diesel oil. For this, two processes are in the stage of research and testing:

- alcohol transesterification
- cracking

2.4.3 ALCOHOL TRANSESTERIFICATION

Transesterification consists of having vegetable oil react with alcohol in the presence of a catalyst, to obtain an ester with 14 to 20 carbon atoms in its molecule.

The reaction taking place is as follows:



As is known, vegetable oils are a mixture of triglycerides, that is, 3 carboxylic acids bonded to a glyceron (glycerine) molecule. What happens during transesterification is merely the substitution of one molecule of glyceron by three molecules of alcohol (ethanol or methanol), to form an ethyl or methyl ester, depending on the transesterifying agent used. This reaction occurs only in the presence of a catalyst and at a temperature ranging between 80 and 110°C.

2.4.4 CATALYTIC CRACKING

Catalytic cracking is a vegetable oil modification process which uses catalyzers to provoke the breakdown of the molecule and consequently improve the characteristics of the oil with the aim of substituting diesel oil.

In this process, vegetable oil is subjected to a temperature of 300°C in the presence of catalyzers, which proceed to rupture complex molecules and form linear carbon fragments similar to those produced in the mineral oil industry, with the greatest concentration in chains of 12 to 20 carbons.

CORRESPONSALES TECNICOS DE LA REVISTA ENERGETICA
EN LOS PAISES MIEMBROS DE OLADE

TECHNICAL CORRESPONDENTS FOR THE REVISTA ENERGETICA
IN THE OLADE MEMBER COUNTRIES

Toda colaboración deberá ser dirigido a los coordinadores de OLADE
que a continuación se indican.

All inputs should be addressed to the OLADE
Coordinators, who are listed below.

LISTA DE COORDINADORES DE OLADE

LIST OF OLADE COORDINATORS

Barbados

Mr. E. LeRoy Roach
Permanent Secretary
MINISTRY OF FINANCE AND PLANNING
Government Headquarters
Bay Street
Teléfono: 4298955
Telex: 2222 XTERNAL WB
St. Michael, Barbados

Bolivia

Ingeniero
Juan Gonzalo Carrasco
Director General de Hidrocarburos
MINISTERIO DE ENERGIA E HIDROCARBUROS
Avenida Mariscal Santa Cruz 1322
Teléfono: 374050 - Ext. 22
Telex: 5366 MEM BX
Casilla: 4819
La Paz, Bolivia

Brasil

Consejero
Mauricio Magnavita
Asesor
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
Esplanada dos Ministerios - Bloco J.
Teléfono: 223-7903/223-6009
Telex: 611797 MME BR
Brasilia, Brasil

Colombia

Doctora
Olga Escobar Molano
Jefe de la Oficina de Planeación
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
Carrera 7ª N° 756
Teléfono: 681763
Telex: 45898 MINERCO
Casilla: 80319
Bogotá, Colombia

Costa Rica

Doctor
Jorge Blanco Roldán
Director Sectorial de Energía
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y MINAS
Edif. Vista Palace - Calle 25, Avenidas 8-10
Teléfono: 334533
Telex: 2363 ENERGIA CR
Casilla: 4752
San José, Costa Rica

Cuba

Licenciado
Pedro Morales Carballo
Director de Organismos Económicos Internacionales
COMITE ESTATAL DE COLABORACION ECONOMICA-CECE
Primera N° 201, Esq. B. Vedado
Teléfonos: 36661/34273/301232
Telex: 522341 CECE HAB
La Habana, Cuba

Chile

Ingeniero
Bruno Philippi Yrarrázaval
Secretario Ejecutivo
COMISION NACIONAL DE ENERGIA
Teatinos 120, piso 9
Teléfono: 81757/89262
Telex: 240948 CNE
Casilla: 14 - Correos 21
Santiago, Chile

Ecuador

Licenciado
Gustavo Rodas
Director de la Unidad Asesora de Asuntos Internacionales
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS
Santa Prisca N° 223
Teléfono: 570941
Telex: 2271 MINREC ED
Cable: MINRECURSOS
Quito, Ecuador

El Salvador

Coronel Antonio Morán
Presidente
COMISION HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA - CEL
9ª Calle Poniente N° 950 entre 15ª y 17ª Ave. Norte
Teléfono: 71-0855
Telex: 20069 CEL SAL
San Salvador, El Salvador

Grenada

Mr. Terrence Moore
Director of Planning
MINISTRY OF PLANNING, TRADE AND INDUSTRY
Teléfono: 2262/2991
Telex: 3450 PLANNING GA
Casilla: 270
St. George's, Grenada W.I.

Guatemala

Licenciado
Augusto Estrada Salazar
Director General de Minería e Hidrocarburos
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
Diagonal 17, 29-78 Zona 11
Teléfono: 760679 al 82
Telex: 5516 PETGUA GU
Guatemala, Guatemala

Guyana

Mr. H. O. Bovell
Permanent Secretary
MINISTRY OF ENERGY AND MINES
41 Brickdam and Boyle Place
Teléfono: 02-65228
Telex: 2296 DEMWOOD GY
Casilla: 1074
Georgetown, Guyana

Haití

Señor
Michel Simon
Director General
SECRETARIA DE ESTADO DE MINAS Y ENERGIA
Teléfono: 62249
Telex: 2030246 INAREM
Puerto Príncipe, Haití

Honduras

Ingeniero
Fausto Cáceres Avila
Director General de Minas e Hidrocarburos
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES
Boulevard Centroamericana
Teléfono: 324827/324829/326193
Telex: 1110 TRT PUBLX HT
Tegucigalpa D.C., Honduras

Jamaica

Mr. Osmond St. Clare Ridsden
Permanent Secretary
MINISTRY OF MINING AND NATURAL RESOURCES
2 St. Lucia Avenue
Teléfono: 926-9170
Telex: 2374 FOREIGN JA
Casilla: 495
Kingston 5, Jamaica

México

Licenciado
Roberto Dávila Gómez Palacio
Director General de Transacciones Internacionales
SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA
PARAESTATAL
Ave. Francisco Márquez 160 Colonia Condesa
Teléfonos: 553-9024/553-9014
Telex: 177-5690 DUIAME ME
México D.F.

Nicaragua

Ingeniero
Fernando Cuevas
Viceministro
INSTITUTO NICARAGUENSE DE ENERGIA
Teléfonos: 74103/72680/74105
Telex: 2344 INE
Apartado: 55
Managua, Nicaragua

Panamá

Ingeniero
Nitza de Villarreal
Director General de Hidrocarburos
MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIA
Calle Arturo del Valle. Edificio de la Lotería
Teléfonos: 273331/640173/640750
Telex: 2256 COMERIN PA
Casilla: 9658
Panamá, Panamá

Paraguay

Señor
Julio C. Gutiérrez
Presidente
PETROLEOS DE PARAGUAY
Teléfonos: 95117/95118/95119
Asunción, Paraguay

Perú

Señor
Donald Tarnawiecki
Secretario Técnico
Consejo Nacional de Energía
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
Avenida Las Artes s/n, Urb. San Borja, Surquillo
Teléfonos: 410819/412825
Telex: 25731 PU MEM
Lima, Perú

República Dominicana

Ingeniero
José Ramón Acosta
Secretario Ejecutivo
COMISION NACIONAL DE POLITICA ENERGETICA

Edificio Compostela, Quinta Planta
Autopista Duarte Km. 6 (junto al Colegio Claret)
Teléfonos: 5655004/5655090
Telex: 4148 COENER DR
Casilla: 391-2
Santo Domingo, República Dominicana

Suriname

Mr. Harry S. Kensmil
Permanent Secretary
MINISTRY OF NATURAL RESOURCES AND ENERGY
Dr. de Mirandastraat 19
Teléfono: 77487
Telex: 118 ALBUZA SN/323 NHESUR SN
Paramaribo, Suriname

Trinidad & Tobago

Mr. Trevor M. Boopsingh
Acting Permanent Secretary
MINISTRY OF ENERGY AND NATURAL RESOURCES
4th Floor, Salvatori Building
Independence Square
Teléfonos: (62) 38841 (62) 38846
Telex: 3321 TRINEX WG
Casilla: 96
Port of Spain, Trinidad and Tobago

Uruguay

Ingeniero
Enrique Levrero Puig
Director Nacional de Energía
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
Rincón N° 723 - 3er. piso
Teléfono: 913945
Telex: 22072 MINIE
Montevideo, Uruguay

Venezuela

Licenciado
Alberto Valero
Director Oficina Asuntos Internacionales
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
Torre Oeste, Parque Central, piso 17
Teléfonos: 5076310/5076311/5076307
Telex: 22594 MEM VC/21692 MEM VC
Caracas, Venezuela