

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**

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.

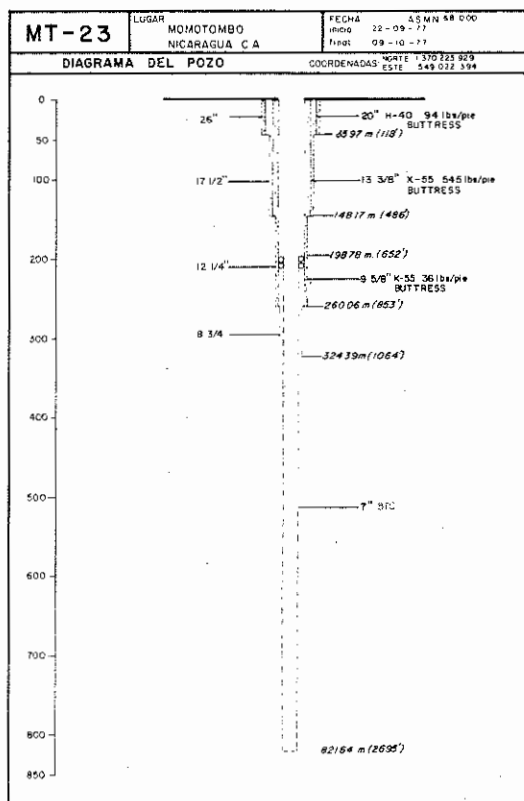
La correlación de los niveles claves permitió confirmar o negar la existencia de fallas inferidas por otras técnicas de observación (especialmente fotos de satélite por medio del método de radar con apertura sintética) y calcular la dirección y tamaño de los desplazamientos de dichas fallas. La combinación 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.

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.

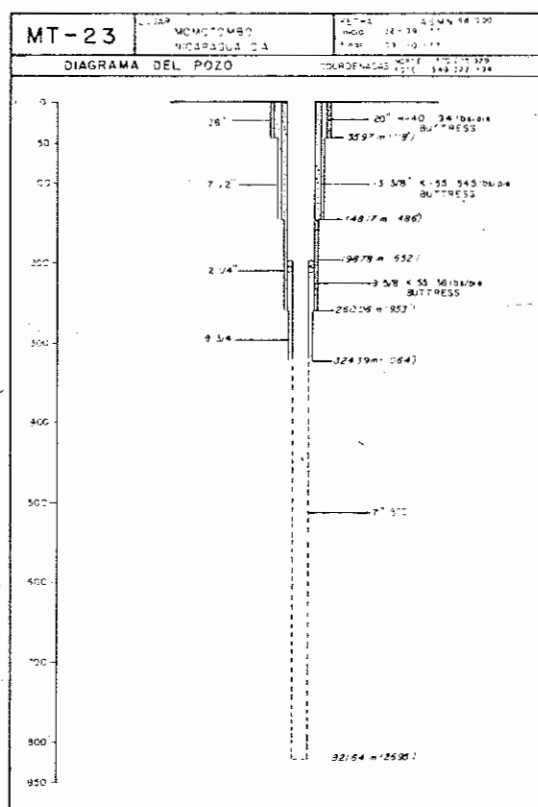
In the first stage 32 wells were drilled, of which 20 were production and 4 reinjection. In the second stage 3 wells were drilled, of which 1 was production (for the second unit) and the other two, reinjection.

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
	T°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