

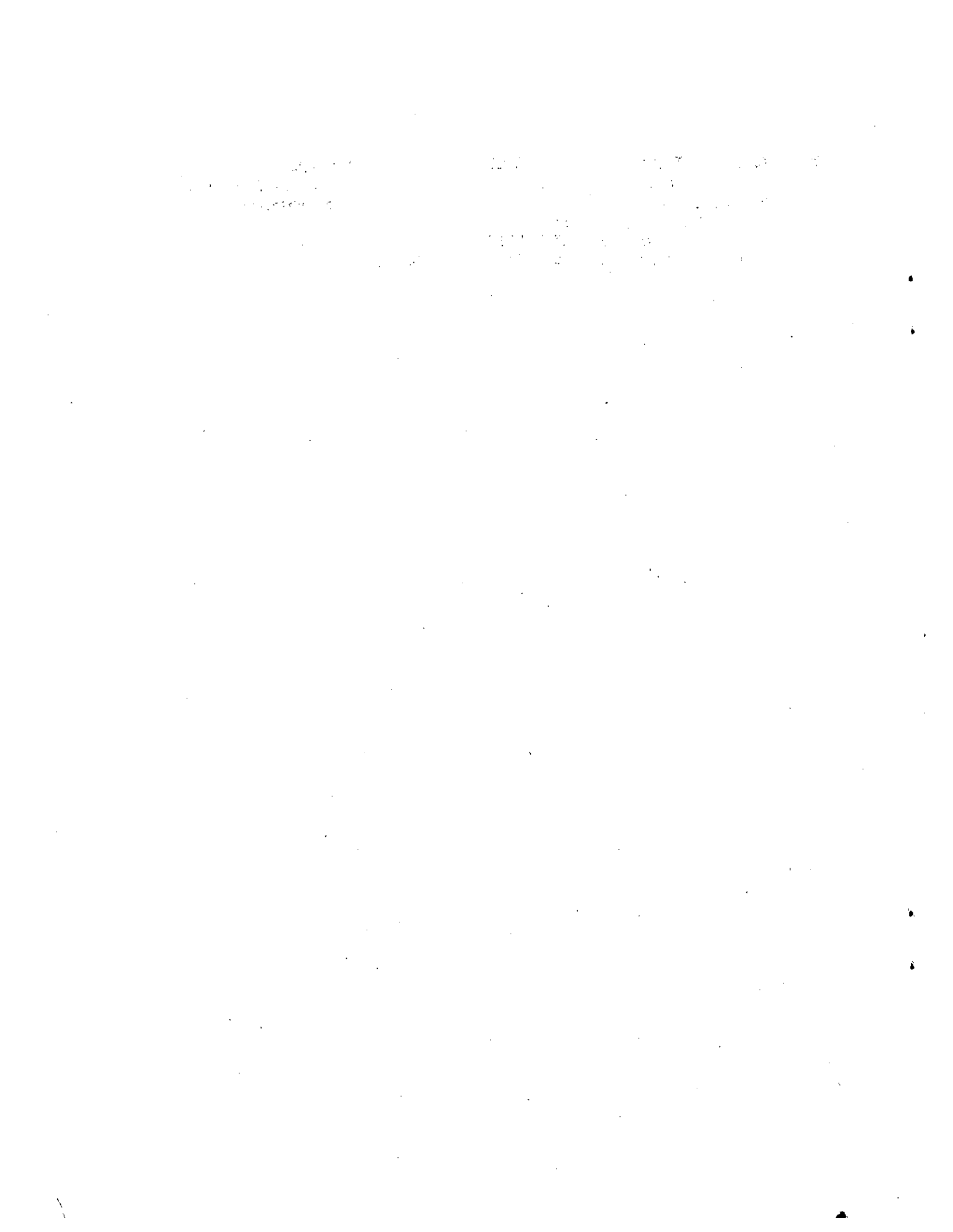
COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA
COMITE DE COOPERACION ECONOMICA
DEL ISTMO CENTROAMERICANO
SUBCOMITE CENTROAMERICANO DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
Grupo Regional de Interconexión Eléctrica (GRIE)

LIMITADO
CCE/SC.5/GRIE/V/DI.1
Septiembre de 1977

Quinta reunión

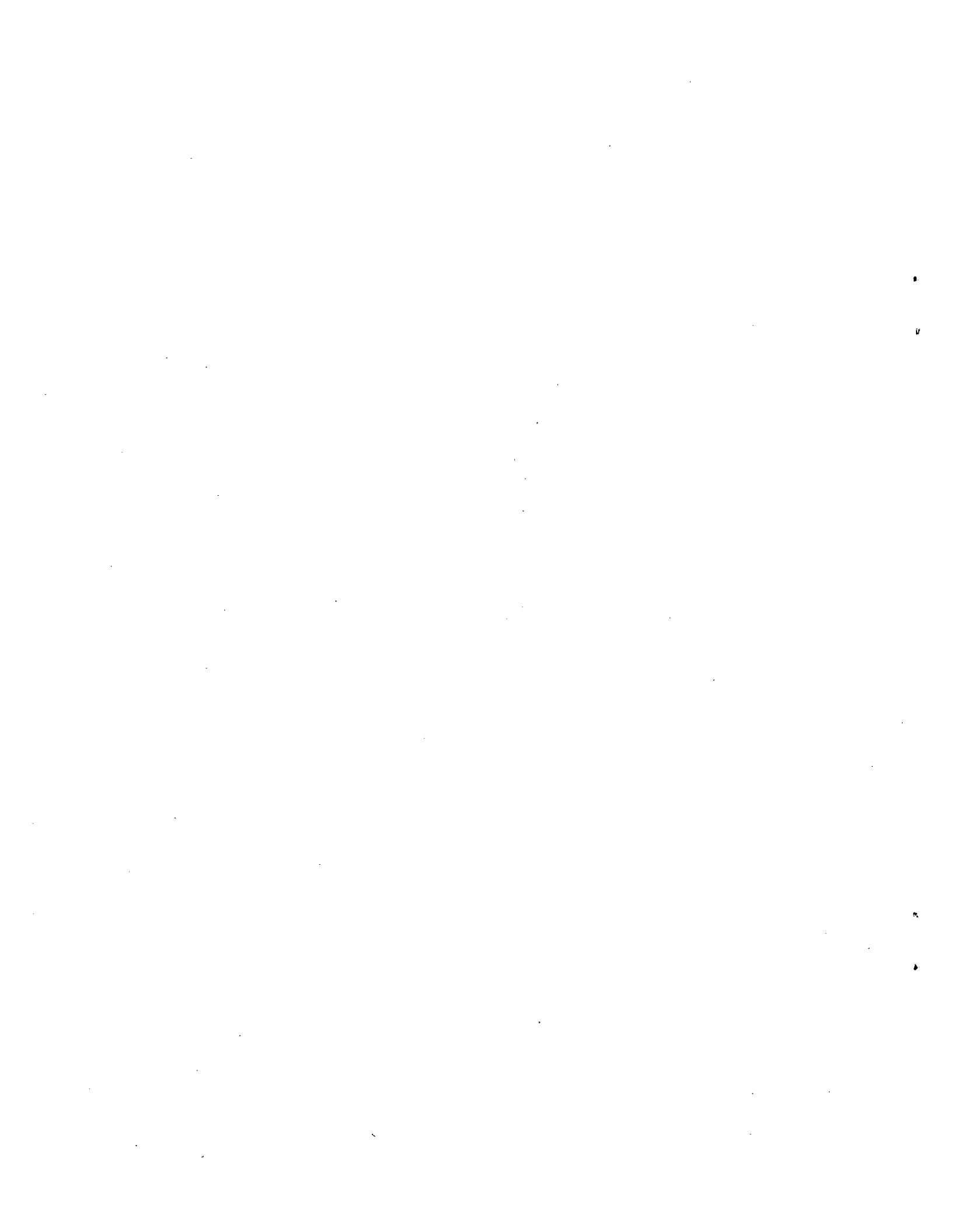
EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO DE LA REPUBLICA MEXICANA

77-7-459-50



EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO
DE LA
REPUBLICA MEXICANA

Ing. Sergio Mercado
C.F.E.



I N T R O D U C C I O N

La presente evaluación del potencial Geotérmico de la República Mexicana está basada en el método descrito en la Circular No. 726 del U.S. Geological Survey: "Assesment of Geothermal Resources of the United States-1975"

En esta Circular se clasifican los Reservorios Geotérmicos en tres categorías principales de las cuales el único sistema que se considera explotable, con las tecnologías actualmente conocidas son los de Convección Hidrotermal.

El método se basa fundamentalmente en la estimación de la temperatura del reservorio utilizando geotermómetros químicos, que son relaciones empíricas de la composición química de los fluidos geotérmicos con la temperatura, o cuando es posible con la medición directa, en la dimensión del reservorio delimitado en su área por las manifestaciones superficiales y en una apreciación de su espesor. Con esta información y con el dato del calor específico medio se calcula el contenido calórico del reservorio.

Finalmente con esta información y tomando en cuenta el factor de recuperación, el cual varía con el tipo de yacimiento, se calculan los megawatts siglo que es posible generar a partir de lo cual se calcula la potencia que es posible instalar para ser explotada en 30 años, que es la vida media de una planta térmica convencional.

Es conveniente hacer notar que este método no toma en cuenta la posible recarga del yacimiento, lo cual es indudable que sucede.

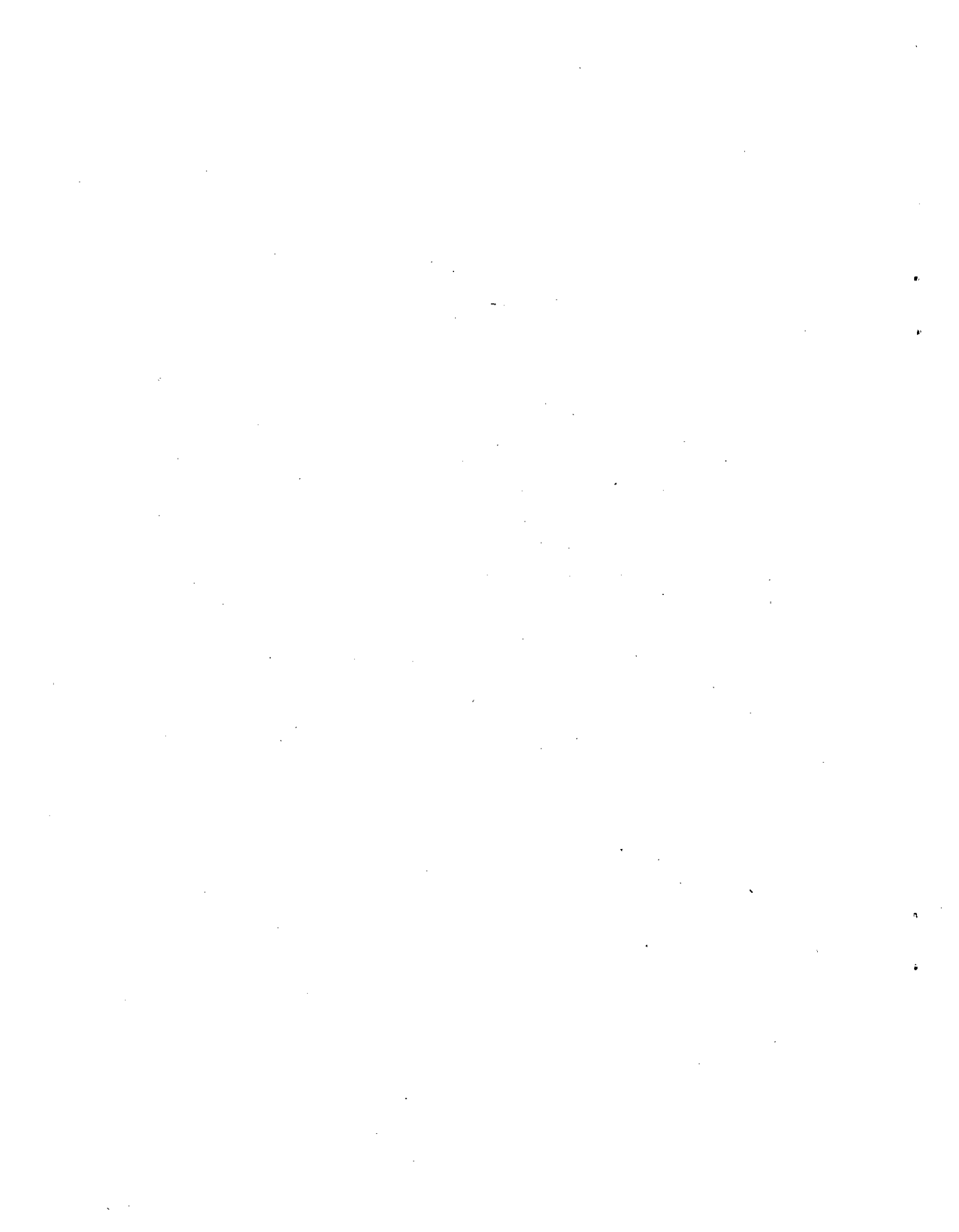


TABLA 1.- CATEGORIAS DE LOS RESERVORIOS GEOTERMICOS.

(Con base en el calor existente en el terreno a temperaturas arriba de 15°C a las profundidades especificadas, sean o no explotables.

1.- Sistemas de Convección hidro- termales (relativa alta tempe- ratura a baja profundidad; -- contenido calorífico estimado a sólo 3 Km. de profundidad).	Temperaturas característi- cas.	Fuente de - Fluido natu- ral.
a) Sistemas de vapor dominan- te.	~ 240°C	Disponible; no siempre explo- table.
b) Sistemas de agua caliente.		
(1) Sistemas de alta tempe- ratura.	>150°C	Disponible; no siempre explo- table.
(2) Sistemas de temperatu- ra media.	150°C a 90°C	Disponible; no siempre explo- table
(3) Sistemas de baja tempe- ratura.	<90°C	Disponible; no siempre explo- table.
2.- Sistemas igneos calientes (Con- tenido calorífico estimado de 0 a 10 Km. de profundidad).		
a) Supuesto con roca parcial- mente fundida.	> 650°C	No explotable
b) Supuesto con roca no fundi- da pero muy caliente (rocas secas calientes).	< 650°C	No explotable
3.- Areas dominadas por conducción (de provincias con flujo de ca- lor, utilizando datos de flu- jos de calor, producción de ca- lor, producción de calor radio- génico y conductividad térmica de las rocas; contenido calorí- ficos estimados para 0 a 3 y 3 a 10 Km. de profundidad.	15 a ~300°C	Explotable en reservorios se- dimentarios ge- neralmente inex- plotable en --- otra parte.

Esta categoría incluye los me-
dios geopresurizados).

GEOTERMOMETROS DE SILICE (SiO₂) Y SODIO-POTASIO-CALCIO (NaKCa) USADOS PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DEL RESERVORIO.

Geotermómetro de Sílice.

Kennedy (1950), Morey y Fournier (1962) determinaron experimentalmente la solubilidad del cuarzo en agua con respecto a la temperatura. Los valores obtenidos por ellos una vez graficados se exponen en la figura 1.

Fournier y Rowe (1966) en su publicación sobre la "Estimación de Temperaturas Subterráneas a partir del contenido de sílice de --- aguas provenientes de manantiales calientes y pozos de vapor húme do", exponen cómo el contenido de sílice en los manantiales ca--- lientes es controlado por la solubilidad del cuarzo y mediante -- los valores obtenidos por ellos (que coinciden con los de la Fig. 1) sobre dicha solubilidad del cuarzo con respecto a la temperatu ra concluyen que "el contenido de sílice en aguas descargadas de manantiales calientes así como de pozos de vapor, puede ser usada para calcular la temperatura en la profundidad". Con base en esto se calcularon las temperaturas en el Subsuelo de nuestras zonas - con alteración hidrotermal.

Geotermómetro Na-K-Ca.

Un método empírico desarrollado por Fournier y Truesdell ("An Empi rical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Water" 1972) para esti-- mar la temperatura de la interacción agua-roca en la profundidad, está basado sobre las concentraciones molares de Na, K y Ca en -- aguas naturales que se encuentran en diferentes ambientes en un - rango de temperaturas que va de 4 a 340°C.

Los datos para la mayoría de las aguas geotérmicas cuando son gra ficados como una función de $\log (Na/K) + B \log (\sqrt{Ca}/Na)$ contra el - recíproco de la temperatura absoluta, se agrupan para darnos una línea casi recta.

Una vez obtenidas las concentraciones molares de Na-K y Ca median te análisis químicos del agua de manantiales, se puede aplicar la siguiente ecuación para obtener las temperaturas en la profundi-- dad:

$$T^{\circ}(C) = \frac{1647}{\log(Na/K) + B \log(\sqrt{Ca}/Na) + 2.24} = 273$$

Para simplificar hacemos:

$$a = \log(Na/K)$$

$$b = B \log(\sqrt{Ca}/Na)$$

Donde B puede ser 1/3 ó 4/3 dependiendo de que el agua se encuen tre en equilibrio arriba ó abajo de los 100°C.

$$c = a + b + 2.24$$

Por lo que substituyendo tendremos la ecuación simplificada, para obtener la temperatura (°C) en la profundidad, utilizada en nues tra evaluación.

$$T (^{\circ}C) = (1647/c) - 273$$

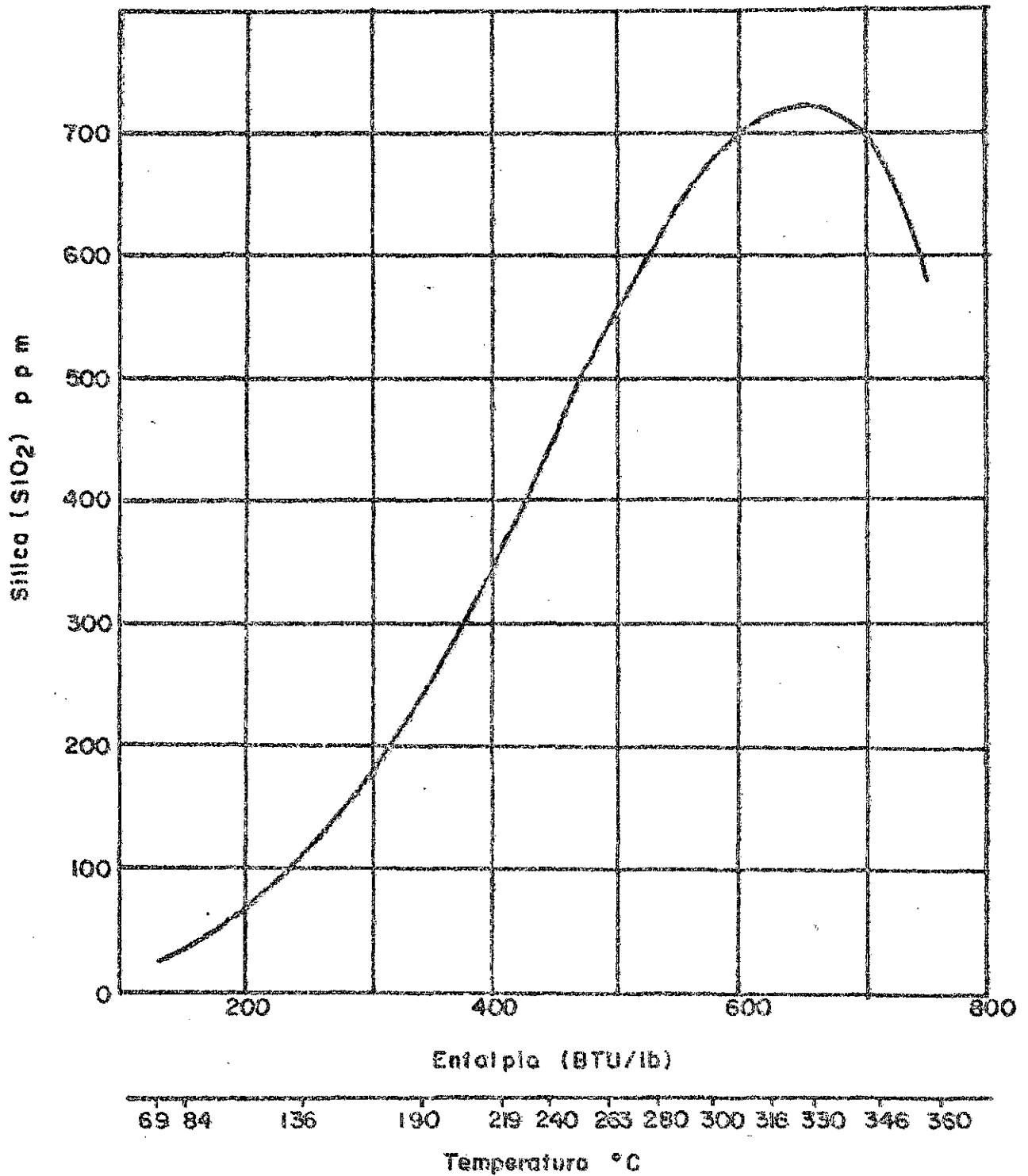


Fig. 1.- GRAFICA UTILIZADA PARA OBTENER LA TEMPERATURA EN EL SUBSUELO POR MEDIO DEL CONTENIDO DE SILICE DETERMINADO MEDIANTE ANALISIS QUIMICO DEL AGUA DESCARGADA POR LAS MANIFESTACIONES HIDROTERNALES.

TABLA 2.- UNIDADES METRICAS USADAS EN LA EVALUACION, FACTORES DE CONVERSION A OTRAS UNIDADES Y VALORES SUPUESTOS PARA ALGUNOS PARAMETROS FISICOS (C. 726).

Longitud:	1 metro (m)=3.281ft; 1 Km (km)=3,281ft=0.6214 mi; 1 centímetro (cm)=0.3939 in = 6.214×10^{-6} mi.
Area:	$1 \text{ Km}^2 = 10^6 \text{ m}^2 = 0.386 \text{ mi}^2 = 247.1 \text{ acres.}$
Volumen:	$1 \text{ Km}^3 = 0.239 \text{ mi}^3 = 10^{12} \text{ l}; 1 \text{ litro (l)} = 0.2642 \text{ gal};$ $1 \text{ l/min} = 5.886 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{seg.}$
Temperatura:	$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32); 0^{\circ}\text{C} = 235.15^{\circ}\text{K.}$
Gradiente de Temperatura:	$1^{\circ}\text{C/Km} = 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{Cm}$ proporción de incremento de temperatura con la profundidad; el gradiente de conducción es directamente proporcional al flujo de calor e inversamente proporcional a la conductividad térmica de la roca.
Presión:	$1 \text{ Bar} = 0.9869 \text{ atm} = 1.020 \text{ Kg/cm}^2 = 14.5 \text{ psi} = 10^6 \text{ dinas/cm}^2 = 0.1 \text{ meganewtons/m}^2.$ Todas las presiones absolutas, con 1.01 bar sumado a las presiones manométricas al nivel del mar y a áreas geotérmicas de bajas altitudes.
Calor/Potencial:	$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ joules} = 3.9658 \times 10^{-3} \text{ BTU} = 0.001 \text{ kcal} = 0.00116 \text{ Watt}; 1 \text{ cal/g} = 1.80 \text{ BTU/lb}; 1 \text{ MW (eléctrico). - Siglo} = 7.53 \times 10^{14} \text{ cal (termales/ec, en donde ec es eficiencia de conversión).}$ Para el carbón se toma un potencial de contenido calorífico de $7.2 \times 10^3 \text{ cal/g}$. Un barril de petróleo (42 gal) se toma con un potencial de calor de combustión de $1.45 \times 10^9 \text{ calorías} = 5.8 \times 10^6 \text{ BTU} = 0.223 \text{ toneladas cortas de carbón}$. En la presente evaluación, el contenido calorífico se expone en unidades de 10^{18} calorías , por lo cual cada unidad equivale a 690 millones de barriles de petróleo ó 154 millones de toneladas cortas de carbón.
Flujo de calor:	$1 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \text{ seg} = 4.19 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ (Watts por metro cuadrado); el flujo de calor terrestre medio es de aproximadamente $1.5 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2$.
Conductividad Térmica:	$1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm seg } ^{\circ}\text{C} = 0.418 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$
Peso:	$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg} = 10^{-6} \text{ ton. métricas} = 2.2 \times 10^{-3} \text{ lb} = 1.103 \times 10^{-6} \text{ toneladas cortas.}$
Calor específico volumétrico:	El calor específico volumétrico de agua pura a temperatura y presión estandar es $1.0 \text{ Cal/cm}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y para el valor medio de las rocas se toma $0.6 \text{ cal/cm}^3/\text{ }^{\circ}\text{C}$. El calor del magma granítico a 900°C cristalizado y enfriado a 15°C produce 300 cal/g equivalente a $0.7 \times 10^{18} \text{ cal/km}^3$; el calor equivalente en basalto fundido a $1,100^{\circ}\text{C}$ es: 375 cal/g .

BASES PARA OBTENER LOS DATOS DE LA ENERGIA ELECTRICA RECUPERABLE (C. 726)

Los cálculos de la energía eléctrica recuperable de los sistemas de convección hidrotermales de alta temperatura incluyen principalmente tres pasos:

- 1.- Estimación de qué parte del sistema es poroso y permeable.
- 2.- Estimación de la fracción de calor almacenado en el volumen poroso y permeable que puede ser recuperado en la superficie.
- 3.- Cálculos de la eficiencia de la energía térmica a la cabeza del pozo que puede convertirse en electricidad en la planta generadora.

Los factores de recuperación usados para sistemas hidrotermales convectivos están basados en técnicas para extraer energía de rocas porosas y permeables. Los volúmenes tabulados en la columna (6) de la tabla 4 son los volúmenes de los reservorios calientes. La parte porosa permeable del reservorio caliente puede variar de sólo una pequeña fracción hasta cerca de todo el calor del reservorio. En los cálculos expuestos se tomó supuestamente que sólo el 50% del reservorio caliente es poroso y permeable. Los cálculos de los recursos hidrotermales convectivos están basados enteramente en la extracción del calor almacenado en un volumen de roca porosa y permeable, despreciando la recarga de calor por conducción o movimiento de agua. El potencial del calor de recarga se desprecia porque es muy pequeño, comparado con el que se puede extraer de cualquier volumen de roca del orden de kilómetros cúbicos. Por otro lado los sistemas en los cuales la recarga de calor sea importante, la capacidad estimada se verá aumentada de acuerdo a dicha recarga.

Para los factores de recuperación expuestos en la tabla 3, se tienen analizados dos métodos de extracción de la energía del líquido ocluido en las rocas porosas y permeables. El primer método presupone que el volumen poroso permeable está virtualmente cerrado a flujos de agua y la extracción se efectúa por ebullición del agua pasando a vapor por medio de la energía existente en la roca. El segundo método presupone que recargas de agua natural y artificial son usadas para recuperar la mayor parte del calor del reservorio por medio de un proceso de barrido.

La fracción de la energía almacenada que se puede recuperar en el primer proceso, depende de la cantidad y presión del vapor producido, los cuales son determinados por la porosidad y la temperatura inicial del sistema respectivamente. La presión del vapor producido debe ser suficientemente alta para manejar el vapor a través del medio poroso y elevarlo en el pozo en cantidad apreciable. Una suposición razonable es de que el vapor tenga al menos 8 bars. (Nathenson 1975). A una temperatura del reservorio dada, esta restricción restringe el rango de porosidad en la cual la ebullición representa una recuperación viable. A 200°C el límite superior para la porosidad es de 0.05, y la fracción obtenida de la energía almacenada es de alrededor de 0.2. A 250°C el límite superior para la porosidad es alrededor de 0.12 y la fracción obtenida de la

energía almacenada es de alrededor de 0.4. A porosidades abajo de este límite la fracción obtenida de la energía almacenada decrece al decrecer la porosidad en forma casi lineal. Este tipo de producción es severamente limitado si hay grandes recargas de agua al reservorio; la recuperación por ebullición es posible solamente si se produce vapor en la zona seca y simultáneamente se alimenta agua en la zona de recarga de manera que se permita la ebullición en nuevas regiones del reservorio.

El segundo método de producción incluye la recarga natural o artificial de agua fría para forzar que el agua caliente del reservorio migre a los pozos de producción. Como el agua pasa a través de la roca caliente su temperatura se eleva al extraer energía de la roca. La influencia del calor de conducción en este proceso, toma lugar en dos escalas distantes. La primera en la microescala de poros llenos con agua en la roca matriz, en la cual la conducción hace que la temperatura de la roca y los poros esten en equilibrio en unos cuantos minutos y la segunda sobre la escala de un volumen de roca de varios cientos de metros por lado teniendo una zona de agua y roca frías y una segunda zona de agua y roca caliente, en la cual la conducción sin movimiento de fluidos, provoca inicialmente un cambio brusco en la temperatura y posteriormente pasa a una etapa de transición suave de sólo 60 m de espesor en un período de una década (Nathenson 1975).

Los procesos examinados no pueden ser evaluados rigurosamente pero pueden tomarse como base para estimar que sólo la mitad de la energía almacenada en un reservorio de rocas porosas y permeables en un sistema de agua caliente puede ser aprovechada. Tomando en cuenta por otro lado, que probablemente sólo la mitad de un reservorio de este tipo es poroso y permeable, la fracción del recurso base, estimado por Renner, White y Williams, que puede ser aprovechado como energía calorífica en la superficie es de 0.25.

En los reservorios de vapor dominante se supone que se tiene vapor como la fase controladora de presión, con agua líquida inmobilizada en los poros mediante fuerzas de tensión (Truesdell y White, 1973). La producción resulta inicialmente de la ebullición del agua contenida en los poros, la cual pasa a la fase vapor, aunque en las últimas etapas, puede haber ebullición de agua profunda almacenada. Debido a que la fracción de líquido en un reservorio de vapor dominante es pequeña, la presión y la temperatura del vapor producido en los procesos de ebullición están generalmente cerca de los valores iniciales para un sistema en el cual la presión es lo suficientemente alta para impulsar al vapor hacia los pozos. La fracción de la energía almacenada que puede ser recuperada, se calcula mediante un balance de energía para los procesos de ebullición y depende del promedio de saturación del líquido, como se ha indicado en los valores de la tabla 3.

Las eficiencias para la conversión de energía térmica a energía eléctrica para diferentes tecnologías superficiales han sido calculadas por Nathenson (1975). La elección del ciclo óptimo depende de la temperatura del reservorio eficiencia de conversión, costo y problemas especiales del reservorio tales como sólidos disueltos y factores ambientales. La tecnología actual para sistemas de agua caliente consiste en una evaporación instantánea en una sola etapa de la mezcla agua-vapor, se separa el vapor del

agua y se utiliza el vapor en una turbina. Una planta con evaporación instantánea doble se está instalando en el sistema Hattobaru en Japón (Aikawa y Soda, 1975) y otras tecnologías están en desarrollo. La decisión y utilidad de una tecnología en particular puede determinar si un sistema dado es económicamente viable o no, pero esta decisión requiere del conocimiento detallado de las características del sistema y del reservorio y sobre las alternativas económicas de las diferentes tecnologías de conversión. Ya que generalmente nunca se dispone de un conocimiento detallado del reservorio y el desarrollo de las tecnologías de conversión están en un estado de cambio rápido, no se analizan a fondo los sistemas individuales. En lugar de ello, para sistemas de agua caliente se usan las eficiencias de conversión representativas dadas en la tabla 3 para la fracción de calor arriba de los 15°C convertido a electricidad (Nathenson 1975).

Los sistemas dominados por vapor tienden a producir vapor en el rango de temperaturas que va de 180° a 240°C; la eficiencia de conversión correspondiente a este rango de temperaturas es de aproximadamente 0.2 (Nathenson 1975).

Definiendo Q como el calor almacenado arriba de los 15°C y e_r como el factor de recuperación, la energía eléctrica producida se define como:

$$E = Qe_r \quad (1)$$

(para Q en múltiplos de 10^{18} calorías, E en megawatts eléctricos siglo (MW_eS) es $1.327 Qe_r$). Los factores de conversión dados en la tabla 3, son usados para convertir el calor almacenado a energía potencial eléctrica de los sistemas hidrotermales convectivos arriba de los 150°C, los cuales se tienen expuestos en la tabla 4. El campo geotérmico de Los Azufres, Mich. (Tabla 4A) considerando como de vapor dominante fué evaluado tomando como modelo la estimación efectuada para el campo de Los Geysers U.S.A., en el cual para efectuar los cálculos se tomó básicamente un contenido de agua del 5 por ciento.

Los sistemas de convección hidrotermales de alta temperatura son tecnológicamente explotables y por lo tanto su contenido recuperable de calor es considerado como un recurso. Si el calor de un sistema dado no puede ser recuperado debido a que el reservorio no es poroso ni permeable, entonces el sistema se considera que forma parte de un recurso base, más que de un recurso propiamente dicho, hasta que se tenga tecnología apropiada para su explotación. Actualmente en México contamos con la tecnología para explotar los sistemas de convección de media y alta temperatura y esta bajo estudio la explotación de los sistemas de baja temperatura. En la presente evaluación se consideraron como explotables los 3 sistemas.

TABLA 3.- FACTORES DE RECUPERACION PARA GENERACION ELECTRICA.
(C. 726)

SISTEMAS DE VAPOR DOMINANTE (ARRIBA DE 200°C)				
Contenido de agua como una fracción del volumen total.	0.01	0.02	0.03	0.05
Fracción de energía almacenada recuperada como calor *.	0.02	0.039	0.059	0.097
e_r = factor de recuperación=fracción de energía almacenada, recuperable como energía -- eléctrica a una eficiencia de conversión de 0.2 *.	0.004	0.008	0.012	0.019
* Volumen de la parte porosa permeable como la mitad del volumen del reservorio caliente.				
SISTEMAS DE AGUA CALIENTE				
Rango de temperatura.	150-200	200-250	250-300	
Eficiencia de conversión	0.08	0.10	0.12	
e_r = factor de recuperación=fracción de energía almacenada, recuperable como energía -- eléctrica **.	0.02	0.025	0.03	
** Volumen de la parte permeable supuesta como la mitad del volumen del reservorio caliente. La mitad de la energía termal en la parte porosa permeable supuesta como recuperable para dar una recuperación neta del 25% de la energía termal.				

/EJEMPLO

EJEMPLO DE CALCULO DE LOS DATOS EXPUESTOS EN LA TABLA 4

Area Geotérmica de La Primavera, Jalisco.

a.- Con el contenido de Sílice determinado por análisis químico de diversos manantiales y usando la Fig. 1, se obtiene una temperatura de SiO₂ de 170°C (columna 2). Con el contenido de Na, K y Ca usando la ecuación expuesta para este geotermómetro se obtienen 173°C de temperatura (columna 2). Debido a que es mas precisa la determinación efectuada mediante el geotermómetro Na-K-Ca, debido a que se corrige la alteración tenida por mezcla con aguas meteóricas, se toma esta como mas probable, teniendo así el dato de la columna 3, que es la temperatura del subsuelo.

b.- Para obtener el área del reservorio supuesto, se toma como base el área delimitada por las manifestaciones hidrotermales. (columna 4).

c.- El volumen se calcula con el área conocida y suponiendo un espesor de 1.5 Km., siendo este el espesor medio tenido en los diversos campos geotérmicos en explotación en el mundo (columna 6).

d.- Con los datos anteriores el contenido calorífico se calcula de la siguiente forma:

$$(173-15) \times 11.2 \text{ Km}^3 \times 0.6 \frac{\text{calorias}}{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}} \times 10^{15} \frac{\text{cm}^3}{\text{Km}^3} = 1.06 \times 10^{18} \text{ calorias.}$$

Obteniéndose con esto el dato de la columna 7.

e.- La capacidad se calcula con este dato, con la ecuación 1 y con el factor de recuperación expuesto en la tabla 3.

$$1327 \times 1.06 (Q) \times 0.02 (e_r) = 28.13 \text{ MW}_e \text{ S.}$$

Obteniéndose con esto los datos de la columna 8, con los cuales para convertirlos a periodos de 30 años se supone que cada MW_e siglo puede ser producido a razón de 3.33 MW por 30 años, obteniéndose a su vez con esto el dato de la columna 9 de 93 MW_e 30 años para La Primavera.

TABLA 4: EVALUACION PRELIMINAR DE RESERVORIOS GEOTERMICOS CON BASE EN GEOTERMOMETROS DE SiO2 Y NaKCa

Nombre	Localización		Temperatura °C				Reservorio supuesto				Capacidad	
	Latitud N	Longitud W	Superficial	Geotermoquímica		Subsuelo	Area km ²	Espesor km	Volumen km ³	Contenido calorífico 10 ¹⁸ calorías	MW ₈₅	MW ₃₀
				SiO ₂	NaKCa							
<u>Baja Calif.</u>												
Cerro Prieto A*	32°25'	115°16'	100	225	278	278	38.5	1.5	57.7	9.1	362	1 206
Cerro Prieto B**	32°25'	115°16'				343	50	2	100	19.7	784	2 610
Tulichek	32°30'	115°29'	100	135	283	283	7	1.5	10.5	1.7	44	147
											828	2 757
<u>Jalisco</u>												
La Primavera	20°40'	103°35'	69	170	173	173	7.5	1.5	11.2	1.06	28	93
La Soledad	20°52'	103°25'	100	153	201	201	4.6	1.5	7.0	0.78	25	86
San Marcos	20°18'	103°30'	96	183	211	211	11.2	1.5	16.8	1.98	55	218
Acatlán	20°25'	103°35'	36	127	166	166	10.5	1.5	15.7	1.42	37	125
Los Pozos	20°24'	103°35'	34	112	170	170	9.0	1.5	13.5	1.26	33	111
Hervores La Vega	20°36'	103°55'	98	154	186	186	2.0	1.5	3.0	0.30	7	26
Agua Caliente	20°32'	103°48'	40	131	191	191	2.5	1.5	3.7	0.39	10	34
Villa Corona	20°24'	103°40'	40	133	203	203	10.3	1.5	15.4	0.17	5	18
San Isidro Mazat.	20°32'	103°38'	35	143	171	171	4.8	1.5	7.2	0.67	17	59
Mazatepec	20°34'	103°34'	68	157	159	159	1.5	1.5	2.2	0.19	5	16
Cosalá	20°17'	103°18'	94	149	194	194	2.6	1.5	3.9	0.42	11	37
Jocotpec	20°16'	103°26'	50	144	196	196	3.8	1.5	5.6	0.61	16	53
Colimilla	20°40'	103°15'	48	130	174	174	2.0	1.5	3.0	0.29	7	25
Cacaluta	20°04'	103°30'	33	108	212	212	17.6	1.5	26.4	3.12	103	344
Los Camachos	20°46'	103°25'	32	131	214	214	1.5	1.5	2.2	0.26	8	28
											377	1 273

- (1) Max. Temp. encontrada superficialmente. Manantial o fumarola.
 - (2) Temp. Calculada con base en geotermómetros químicos.
 - (3) Temp. probable con base en los datos existentes.
 - (4) Area estimada de alteración: 1.5 Km² en manifestaciones aisladas.
 - (5) Techo supuesto a 1.5Km de prof.(si no hay datos).Fondo supuesto a 3 Km.para sistema de convección
 - (6) Calculado del área y espesor supuestos.
 - (7) Calculado como prod.del vol.supuesto, calor específico volumétrico de 0.6 Cal/cm³°C y Temp. en °C arriba de 15°C. (Contenido calorífico: Cifras de la columna 7 x 10¹⁸ calorías).
 - (8) MW/Elec.Siglo. (9) MW Elec. a 30 años.
- * Cerro Prieto A.- Evaluación tomando como base las manifestaciones superficiales con área de 38.5 Km² y espesor de 1.5 Km.
- ** Cerro Prieto B.- Evaluación tomando datos conocidos de los pozos perforados; características máximas (pozo M-53): Temp. de 343°C; área de 50 Km² y espesor de 2 Km.

TABLA 4A. EVALUACION PRELIMINAR DEL RESERVORIO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.

NOMBRE	LOCALIZACION		TEMPERATURA °C			RESERVORIO SUPUESTO				CAPACIDAD	
	LAT. N	LONG. W	Super- ficial	Geotermo- química SiO ₂ NaKCa	Sub- suelo	Area Km ²	Espe- sor	Volu- men	Cont. Cal. 10 ¹⁸	MW _e S	MW _e 30
Los Azufres, Mich.	19°47'	100°37'	(1) 115	(2) · (2) No Aplicable	(3) 240	(4) 35.7	(5) 1.5	(6) 53	(7) 7.22	(8) 182	(9) 606

- (1) Max. Temp. encontrada superficialmente. Manantial o escape de vapor.
- (2) Temp. Calculada con base en geotermómetros químicos.
- (3) Temp. probable con base en los datos existentes.
- (4) Area estimada de alteración: 1.5 Km² en manifestaciones aisladas.
- (5) Techo supuesto a 1.5 Km. de prof. Fondo supuesto a 3 Km. para sistemas de convección.
- (6) Calculado del área y espesor supuestos.
- (7) Calculado como producto del volumen supuesto, calor específico volumétrico de 0.6 Cal/Cm³°C y temp. en °C arriba de 15°C (Contenido calorífico: Cifras de la columna 7 x10¹⁸ calorías).
- (8) MW/Elec: Siglo
- (9) MW/Elec. a 30 años

(Se tomó como base el método empleado en "Assesment of Geothermal Resources of the United States" - 1975, pa
ra evaluar Los Geysers y otros campos con predominio
de vapor).

CONCLUSION.

=====

Como evaluación preliminar se considera bastante consistente y como ejemplo tenemos los datos de Cerro Prieto, para cuyo campo se hizo una evaluación tomando como base únicamente el conocimiento de las manifestaciones superficiales, obteniéndose una capacidad del orden de 1200 MWe durante 30 años, con un factor de planta del 100% que es una cifra similar a la obtenida por otros métodos utilizando datos de los pozos perforados.

Como se puede apreciar en la tabla 4, para Baja California, se obtiene con esta evaluación una capacidad de 2757 MWe (30 años) y para el Estado de Jalisco una capacidad de 1273 MWe (30 años). Sumando el potencial geotérmico de las áreas analizadas de estos dos Estados más 600 MW del Campo de Los Azufres, Mich. se tienen 4,630 MWe (30 años) de capacidad.

Por otro lado tanto en el Eje Neovolcánico de México, como en diversos sitios aislados del País, se tienen además de las áreas analizadas más de 100 áreas con alteración hidrotermal, posibles de explotar económicamente, por lo tanto tomando como base la capacidad media de los campos del Estado de Jalisco de 85 MW se tienen del orden de 8,500 MW de capacidad, los cuales sumados a los 4 630 MW de las áreas analizadas, nos dan un total de 13,130 MW de capacidad, que representa una cantidad similar a la capacidad instalada actualmente en el País.

