

## **NOTICE CONCERNING COPYRIGHT RESTRICTIONS**

This document may contain copyrighted materials. These materials have been made available for use in research, teaching, and private study, but may not be used for any commercial purpose. Users may not otherwise copy, reproduce, retransmit, distribute, publish, commercially exploit or otherwise transfer any material.

The copyright law of the United States (Title 17, United States Code) governs the making of photocopies or other reproductions of copyrighted material.

Under certain conditions specified in the law, libraries and archives are authorized to furnish a photocopy or other reproduction. One of these specific conditions is that the photocopy or reproduction is not to be "used for any purpose other than private study, scholarship, or research." If a user makes a request for, or later uses, a photocopy or reproduction for purposes in excess of "fair use," that user may be liable for copyright infringement.

This institution reserves the right to refuse to accept a copying order if, in its judgment, fulfillment of the order would involve violation of copyright law.

**ANALISIS DE LA RECARGA DE AGUA FRIA EN EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO.**

A. Pelayo L. (C.E.C.P.), M. L. Hernandez G. (C.E.C.P.) J.D.D. Ocampo D.(C.E.C.P.)  
Comisión Federal de Electricidad  
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto.  
Mexicali, Baja California, México.

**RESUMEN.**

En este trabajo se presentan los resultados de la interpretación obtenida a partir de las historias de evolución de la presión estática de fondo y temperatura de la última simulación efectuada sobre el campo, así como del archivo de información geológica por lo que se analiza el fenómeno de recarga de agua de menor temperatura proveniente de los estratos superiores al yacimiento en explotación, resultando que los sistemas estructurales gobiernan las infiltraciones hacia el acuífero geotérmico.

**INTRODUCCION.**

De acuerdo a la explotación del yacimiento se ha tratado de encontrar respuesta en las variaciones obtenidas relacionando alguna de estas al sistema de recarga. Por lo que fué necesario analizar las tendencias mostradas por el espesor de sedimentos no consolidados e incursionar en las profundidades que tendría que recorrer el fluido para incorporarse al sistema. Los datos de presión y temperatura en principio han permitido visualizar cambios relevantes asociados a entradas de fluido.

**BOSQUEJO GEOLOGICO.**

De acuerdo a la información generada se han logrado definir las tendencias de las diferentes unidades litológicas del campo geotérmico de Cerro Prieto. A la base de la secuencia estratigráfica se tienen rocas graníticas; sobreyaciendo a la unidad anterior se tiene un cuerpo lutítico de color gris con espesor más o menos homogéneo, su presencia ha sido corroborada en la mayoría de los pozos por lo que desde el punto de vista deposicional puede considerarse como una unidad estable. La conjugación de alta y baja energía de los procesos sedimentarios dieron lugar a la presencia de areniscas con apariencia física totalmente lenticular.

Continuando la secuencia estratigráfica se ha propuesto la existencia, de una unidad arcillosa la cual consta de lutitas café a la base y lodolitas a la cima, se relacionan por contactos transicionales y presentan lentes de areniscas cementadas por  $\text{CaCO}_3$ . El grado de consolidación así como su carácter laminar le dan un aspecto deleznable.

Dos emisiones volcánicas principales han sido identificadas, en orden cronológico, se tiene la interpretación de un cuerpo irregular el cual ha sido cortado en pozos y se relaciona a una actividad magmática el cual ha sido tema de estudio

por numerosos autores desde el punto de vista geológico, geofísico, geoquímico y de ingeniería de yacimiento. Así mismo, se ha postulado como una relación directa a la fuente de calor del yacimiento geotérmico.

De acuerdo a la sección A-A'. Se muestra una interpretación preliminar del cuerpo en cuestión el cual aparentemente aprovechó como conducto principal una estructura de dirección paralela a la falla Imperial para luego ramificarse tanto al E. como al W. (pozos M-206 y NL-1).

Es importante ratificar que dicha falla actúa como una barrera térmica hacia el E. tal como se observa en las isotermas de los pozos M-205 y M-206. En base a correlaciones litológicas se tiene un gran salto reflejado por la cima de la unidad lutita gris así como la presencia de rocas volcánicas. La profundidad del basamento e incluso los planos de falla han sido detectados en líneas de estudio sísmológicos de reflexión 3-3' y 2-2' de 1980 y 1983 respectivamente.

La siguiente emisión está representada por rocas riodacíticas que corresponden al volcán de C.P. el cual tiene una altura aproximada de 260 m. al respecto se han efectuado diversos estudios destacando los de Boer (2do. simposio sobre el campo geotérmico de C.P.).

Finalmente se tienen las unidades cuaternarias enumeradas por una gran depositación de sedimentos clásticos no consolidados constituidos por arcillas, arenas y escasas gravas. La figura (1) muestra la distribución a profundidad. Hacia el flanco W. del campo se tiene interdigitaciones con sedimentos de pie de monte provenientes de la sierra de los Cucapas.

**VARIACIONES EN LA TEMPERATURA Y PRESION DURANTE (1973 - 1988).**

Para explicar las observaciones ocurridas en el período de referencia fué necesario dividir en áreas de acuerdo a la profundidad del yacimiento enfocándose a la zona de explotación somera de C.P.I y la zona profunda que abarca C.P.I., C.P.II y C.P.III.

La información utilizada fué producto de las historias de temperaturas y presión consideradas en la actividad de modelado efectuado recientemente por lo que los datos están referidos al centro

del elemento.

Respecto al yacimiento somero de C.P.I se tiene una anomalía termal de 300°C en promedio con elongación NW-SE al inicio de la explotación fig. 2. Lo anterior tiene cierta relación en el cambio de dirección mostrado en el plano estructural de la fig. 3 en donde la tendencia NW-SE es observable en el sistema de fallas principales cercana a los pozos E-2 y M-42. Después de 6 años de explotación el mayor abatimiento fué de 13-19°C registrándose precisamente en el centro de la anomalía termal cercana al pozo M-27 fig. 4. Las porciones NW y SW indican cambios de 2-3°C.

El decremento anual promedio puede considerarse de 3.1°C por año.

En cuanto al período 1973-1988 se define un decremento máximo de 30 a 34°C en la misma anomalía termal fig. 5 correspondiendo a 2.2°C por año estimándose que de 1979-1988 el abatimiento correspondió a 15°C en 8 años (1.8°C por año).

Respecto a los datos de presión se tiene que a partir de la configuración de isobaras para 1973-fig.6. La anomalía de mayor valor concuerda con la orientación NW-SE indicada anteriormente en la fig.2 el máximo abatimiento de presión de 1973-1979 fué de 20 a 24 bars. En las zonas circunvecinas pozos M-7 y O-473 se observan valores de 6-8 bars. fig. 7. El comportamiento mostrado durante 1973-1988 indica valores de 14-15 bars. fig.8 lo cual implica que existe una recuperación aproximadamente 9 bars. para el período 1979-1988.

Cabe señalar que comparativamente los datos de P. y T. indican una clara respuesta a la entrada de agua fría al sistema geotérmico.

La zona del yacimiento profundo ha mostrado un mayor abatimiento de temperatura de 1973-1979 correspondiendo al área de C.P.I. con valor de 1-1.5°C fig.9. En la porción SE de C.P.II se observan 0.8 a 1°C.

Para el área de C.P.III, no se define prácticamente el abatimiento, ya que no se encontraba en explotación, es decir que puede indicar que las condiciones de temperatura en el acuífero geotérmico profundo permanecieron sin variación importantes. Con el incremento de la explotación para C.P.II y C.P.III se definió un máximo abatimiento para 1973-1988 de 15°C en forma aislada entre los límites de Cerro Prieto I y II precisamente cercano a los pozos T-400, T-401 y M-103. fig.10. La parte SE de C.P.II registró un valor de 6°C mientras que para C.P.III el máximo valor de abatimiento fué de 7°C. Los valores de las fronteras indican un ligero enfriamiento.

Los datos de presión para el período de 1973-1979 indican que el abatimiento se registró en

C.P.I siendo máximo al Norte del pozo M-27 con 18 bars. en forma aislada y en general de 6 bars. para la zona de explotación fig. 11. Con el inicio de producción de C.P.II y C.P.III se definió para el período de 1973 a 1988 con abatimiento de 32 a 56 bars. en forma generalizada al centro de C.P.II, III e incluso en los bordes de C.P.I pozo T-400 fig. 12. de lo anterior se deduce un abatimiento anual de 2.1-3.7 bars.

#### IMPLICACIONES ESTRUCTURALES EN FUNCION DE RECARGA.

Considerando que la fuente de recarga de agua fría es el acuífero aluvial caracterizado por los sedimentos no consolidados, se analizó su tendencia a profundidad encontrándose que para la zona de C.P.I corresponde un espesor de 900 m. De acuerdo al plano estructural fig. 3 el alineamiento de dicho espesor corresponde para las fallas principales de C.P.I con dirección NW-SE. Hacia los límites de C.P.I con C.P.II y C.P.III existe una marcada tendencia a profundizarse hasta 1150 m pozo M-103.

Bordeando el área de C.P.II se tiene un valor de 1500 m con profundizaciones de 1950 y 2150 hacia el Norte y Sur respectivamente. Para el área de C.P.III en general se tienen 1550 m como máximo. La diferencia observada entre las áreas así como su profundización excesiva hacia el Este pozo M-198 y M-203 tiene cierta relación con los sistemas estructurales principales de dirección NE-SW fig. 3. La figura 13 es una representación tridimensional del espesor de los sedimentos clásticos no consolidados.

De acuerdo a la información térmica obtenida por la zona de pozos son distinguibles los gradientes conductivo y convectivo. El valor de temperatura marca el límite entre gradientes es aproximadamente 100°C por lo que para la temperatura de 200°C se considera que la circulación o movimiento de fluido corresponde a la parte superior del yacimiento y que al momento de explotar migra hacia profundidades centrales del yacimiento todo esto por efectos de movimientos convectivos.

Con la finalidad de encontrar respuesta sobre la infiltración de fluido frío al sistema geotérmico se configuró el espesor comprendido entre la cima de los sedimentos consolidados y la profundidad a la que se encontró la temperatura de 200°C fig. 14 de donde se observa que la curva de 275 m abarca principalmente al área de C.P.I y C.P.III.

De acuerdo a la fig. 3 la afectación de las fallas principales causan anomalías en el espesor de referencia lo cual indica zonas adelgazadas o de poco espesor para que el fluido frío se infiltre más rápidamente a zonas de gradiente convectivo causando incorporación al sistema geotérmico. Aunque la curva general de 275 m abarca a C.P.III. La infiltración a partir del acuífero aluvial no es tan aceptable debido a la carencia de fallas principales. Para la zona de C.P.II. Los espesores tienden a ser mayores, la causa es la existencia del patrón estructural de fallas

principales con dirección NW-SE que obviamente -- facilitan el paso de fluidos provenientes del -- acuífero aluvial.

La caída de las estructuras es hacia el Este y -- causan profundización de los valores.

De acuerdo a estudios detallados de la informa -- ción de pozos se infieren saltos máximos de 150 -- a 200 m para las fallas principales en C.P.I. -- mientras que para el sistema importante de C.P.II -- es de 100 - 250 m.

La representación tridimensional de los espesores -- fig. 15 muestran buena correspondencia con las -- estructuras principales para C.P.I y C.P.II antes -- descritas.

#### CONCLUSIONES.

1. Para el período (1979-1988) el abatimiento de -- temperatura para C.P.I disminuyó de 3.1 a 1.8°C -- por año y se observó una recuperación de presión -- de 9 bars aproximadamente lo cual permite con -- cluir que efectivamente hay infiltración a partir -- del acuífero aluvial. Lo anterior ha sido también -- observado por Truesdell et al, 1989 a partir de -- estudios geoquímicos.
2. Fundamentalmente el sistema estructural juega -- un papel relevante el cual facilita la entrada de -- agua fría en C.P.I y C.P.II. Hacia C.P.III las -- estructuras son de menor importancia lo cual difi -- culta la entrada de agua de menor temperatura al -- sistema.
3. De acuerdo a la fig. 1 sección A-A' existe en -- trada de fluido frío en la parte Este del campo a -- lo largo del bloque del alto de la falla Imperial.
4. El análisis de espesores entre la cima de sedi -- mentos consolidados y el valor de profundidad a -- la que se encontró la temperatura de 200°C indi -- can las anomalías causadas por las estructu -- ras principales del campo.
5. Para las fronteras del yacimiento se observa -- ron cambios que posiblemente reflejan cierta mo -- vilidad de fluidos hacia la parte central lo cual -- puede fundamentarse por efectos de explotación.

#### BIBLIOGRAFIA.

- Boer D. J. (1979)  
Paleomagnetism of the Quaternary Cerro Prieto, -- Evater Elegante and Salton Buttes Volcanic domes -- in the Northern part of the Gulf of California -- rhombochasm.  
Second Symposium on the Cerro Prieto Geothermal -- field, Baja California, México.
- Departamento de Exploración C.E.C.P. (1987)  
Modelo estructural del campo geotérmico de Cerro -- Prieto (reporte interno).
- Departamento de Exploración C.E.C.P. (1987)  
Tratamiento estadístico de isopacas en el Campo -- Geotérmico de Cerro Prieto (reporte interno).
- Ocampo J.D.D., Ayuso M.A., Pelayo L. (1989).  
Modelado del campo geotérmico de Cerro Prieto --

C.F.E.- C.E.C.P.  
(en prensa).

Grant M.A., Truesdell, and Mañon A.M. (1981)  
Production induced boiling and cold water entry -- in the Cerro Prieto Geothermal Reservoir indica -- ted by chemical and physical measurements. Third -- Symposium on the Cerro Prieto Geothermal field, -- Baja California, México.

Pelayo A.L.- Ocampo J. D. (1989)  
Respuesta mineralógica de las diferentes zonas de -- producción del campo geotérmico de Cerro Prieto. -- (en prensa).

Truesdell A.H Benjamín Terrazas, Lourdes Hernan -- dez, Cathy Janik, Luis Quijano, and Rigoberto To -- var (1989).

The response of the Cerro Prieto reservoir to ex -- ploitation indicated by fluid geochemistry. (en -- prensa).

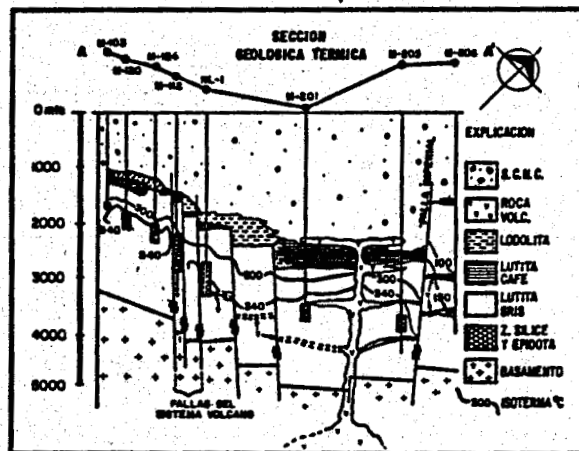


Fig. 1 SECCION GEOLOGICA TERMICA

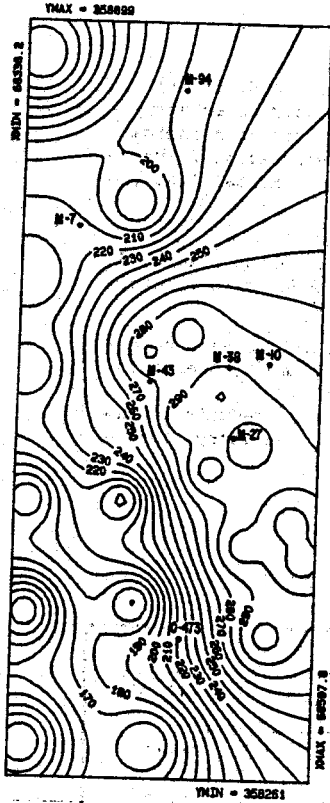


Fig. 2 TEMP. INICIAL 1973.

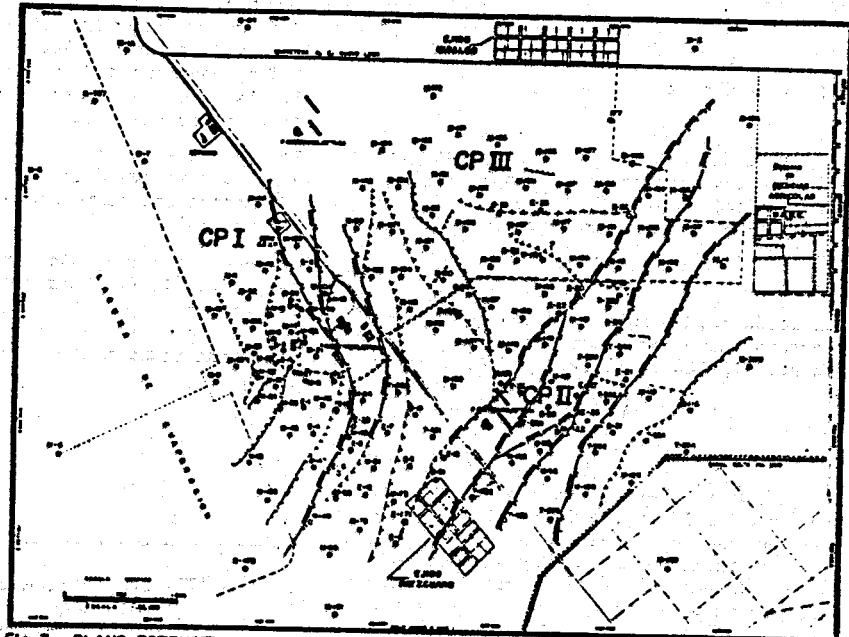


Fig. 3 PLANO ESTRUCTURAL REFERIDO A LA CMA DE LUTITA GRIS.

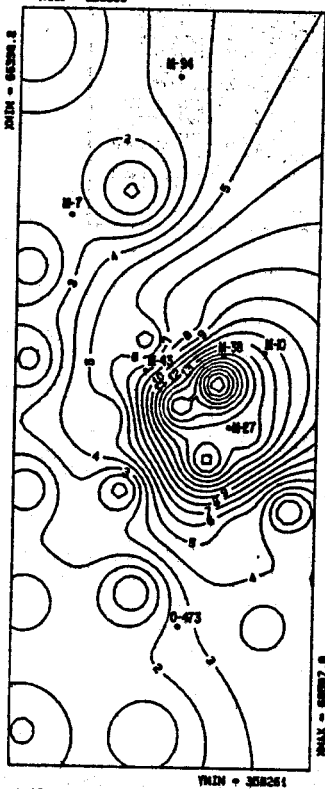


Fig. 4 ABAT. DE TEMP. DE CPU SOMERO (1973-1979)

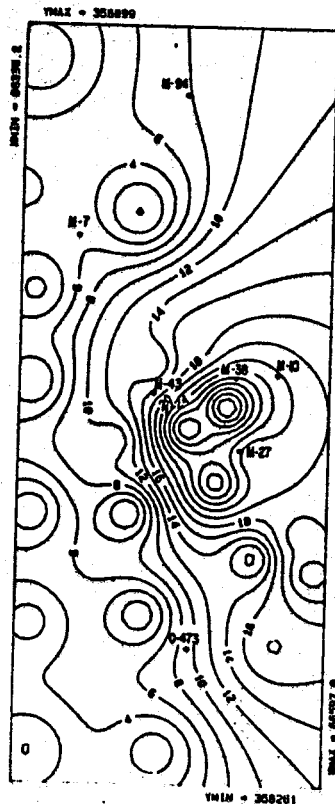


Fig. 5 ABAT. DE TEMP. DE CPU SOMERO (1973-1988)

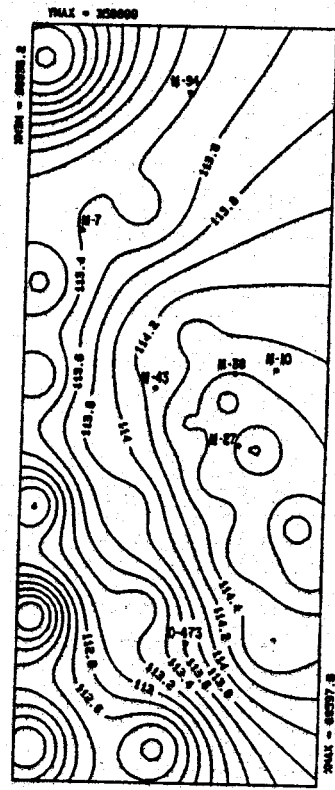


Fig. 6 PRESION INICIAL DE CPU SOMERO (1973)

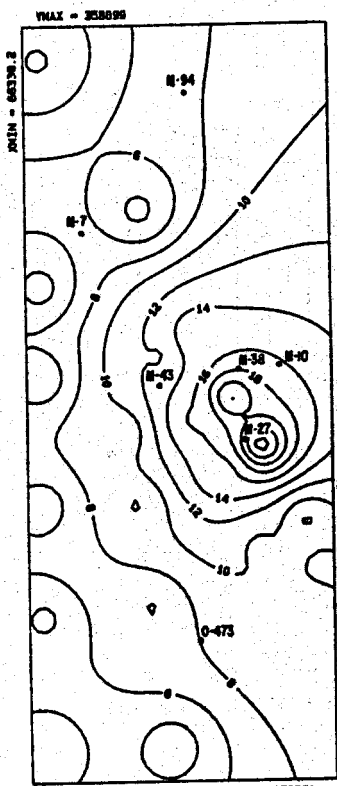


Fig. 7 ABAT. DE PRESION DE CPU SOMERO (1973-1979)

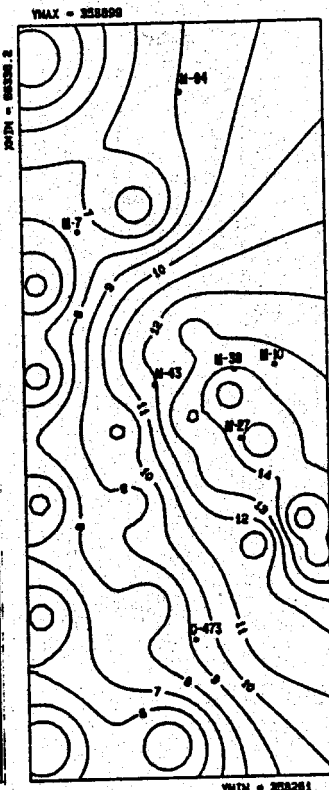


Fig. 8 ABAT. DE PRESION DE CPU SOMERO (1973-1988)

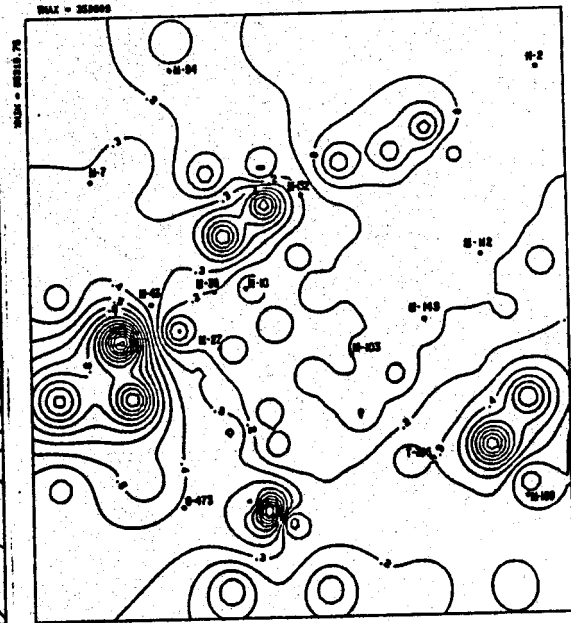


Fig. 9 ABAT. DE TEMPERATURA (1973-1979)

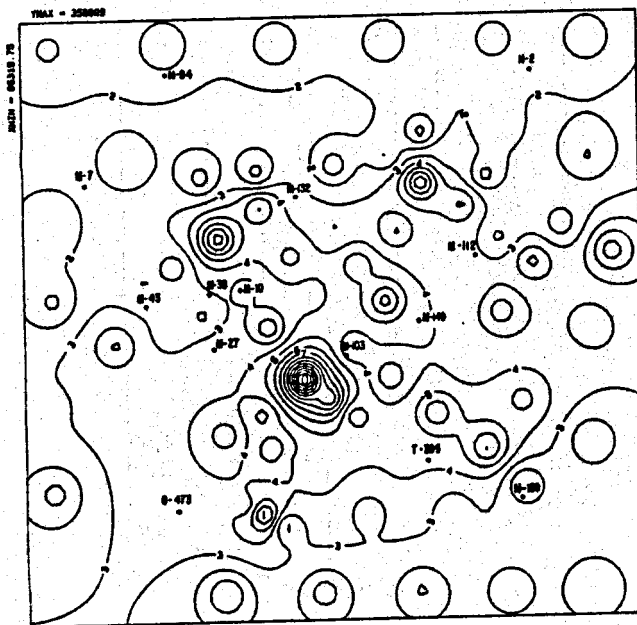


Fig. 10 ABAT. DE TEMPERATURA (1973-1988)

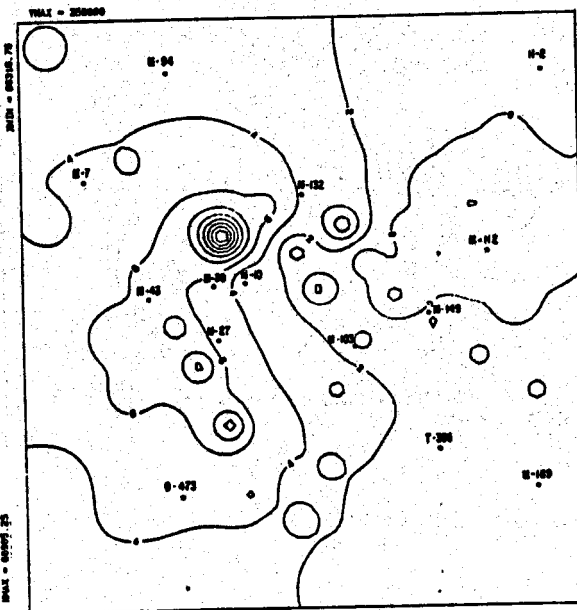


Fig. 11 ABAT. DE PRESION (1973-1979)

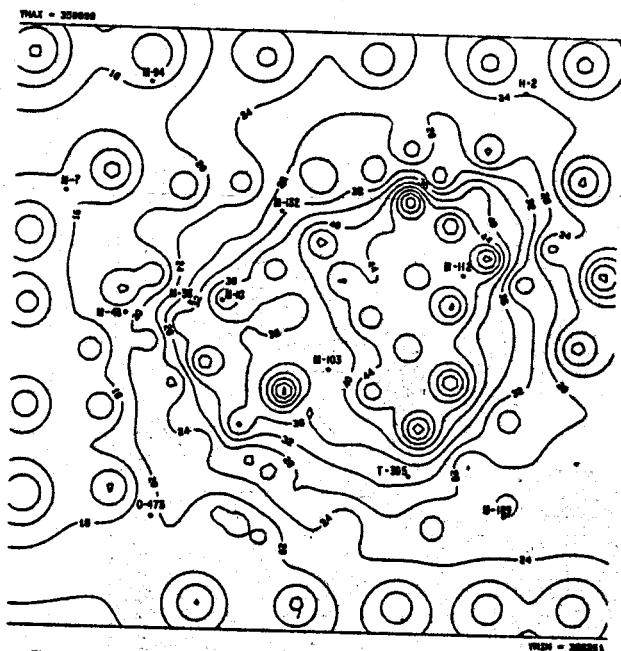


Fig. 12 ABATIMIENTO DE PRESION (1973-1988)

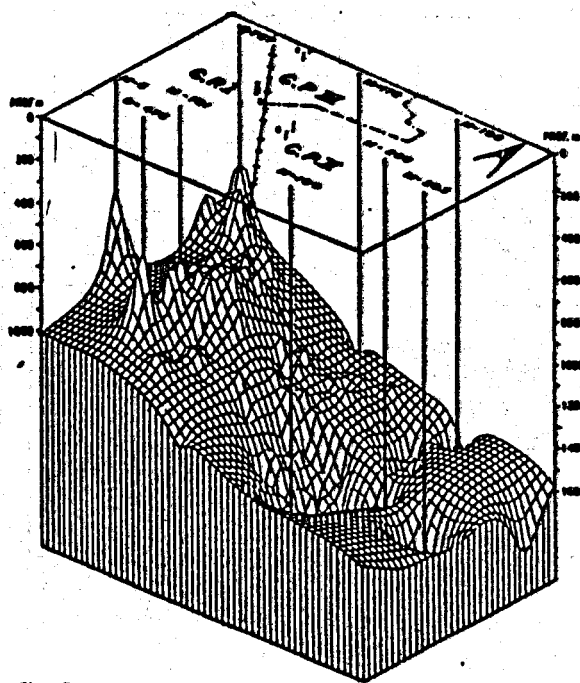


Fig. 13 REPRESENTACION TRIDIMENSIONAL DEL ESPESOR DE LOS S.C.N.C.

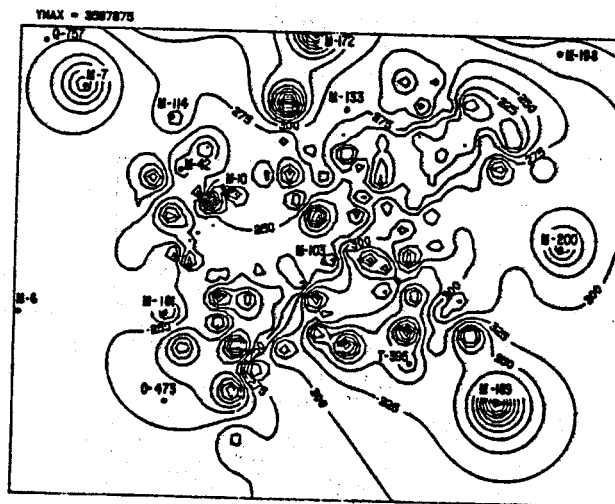


Fig. 14 CONFIGURACION DEL ESPESOR ENTRE LA CIMA DE S.C. Y LA TEMPERATURA DE 200°C.

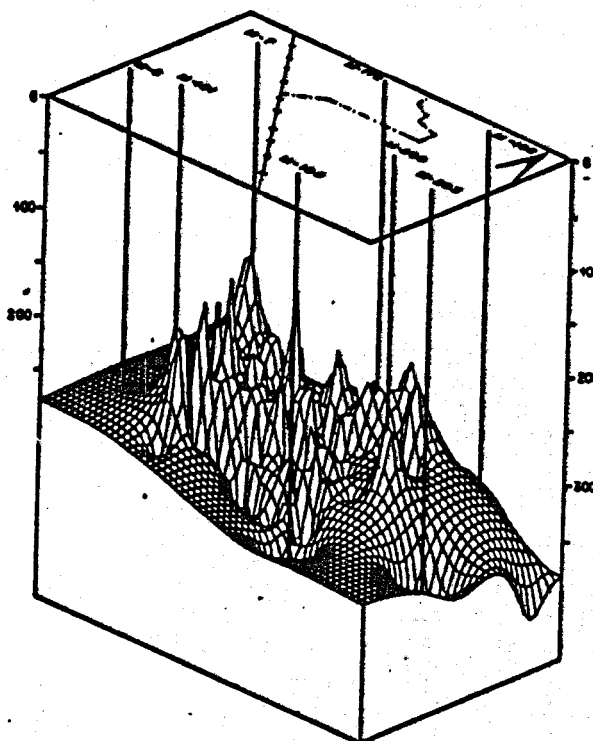


Fig. 15 REPRESENTACION TRIDIMENSIONAL DEL ESPESOR ENTRE LA CIMA DE S.C. Y LA TEMPERATURA DE 200°C.