

18
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TECNICAS COMPUTARIZADAS PARA LA
DETERMINACION DE LITOLOGIA Y SATURACION
DE AGUA A PARTIR DE REGISTROS GEOFISICOS DE
POZOS PETROLEROS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
RAMON MOLLINEDO JIMENEZ



MEXICO, D. F.

OCTUBRE, 1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TECNICAS COMPUTARIZADAS PARA LA DETERMINACION
DE LITOLOGIA Y SATURACION DE AGUA A PARTIR DE
REGISTROS GEOFISICOS DE POZOS PETROLEROS**

CAPITULO	I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO	II.- DETERMINACION DE LITOLOGIA	4
	II.1.- ARCILLOSIDAD	
	II.2.- GRAFICAS INTERRELACIONADAS	
	II.3.- METODO M-N	
	II.4.- METODO DE IDENTIFICACION DE MATRIZ	
CAPITULO	III.- DETERMINACION DE SATURACION DE AGUA.....	34
	III.1.- INTRODUCCION	
	III.2.- RELACION DE RESISTIVIDADES	
	III.3.- MODELO DE DOS AGUAS	
CAPITULO	IV.- DESARROLLO DEL PROGRAMA DE COMPUTO	52
	IV.1.- INTRODUCCION	
	IV.2.- DIAGRAMA DE FLUJO	
	IV.3.- LISTADO DEL PROGRAMA	
CAPITULO	V.- APLICACIONES	79
	V.1.- EJEMPLO Y CORRIDA DEL PROGRAMA	
	CONCLUSIONES	97

CAPITULO I

INTRODUCCION

La industria petrolera mundial a través de los años, ha puesto gran interés en la obtención de información de los campos petroleros, desde su exploración hasta su desarrollo; actualmente se hace hincapié en que la información debe ser de calidad y cantidad suficientes.

La explotación completa de un campo petrolero se divide en varias etapas : exploración, evaluación, desarrollo y producción. Cada etapa tiene objetivos distintos y específicos, pero todas tienen la característica de obtener la mayor cantidad de información, así como su análisis exhaustivo.

La obtención de la información se lleva a cabo a través de diversos mecanismos tales como las pruebas de pozos, corte de núcleos, datos de superficie y registros de pozos, entre otros.

Por su parte los registros geofísicos de pozos constituyen una herramienta esencial en la determinación de parámetros del pozo y propiedades del yacimiento. Las mediciones de estos dispositivos, están basadas principalmente en registros de tipo eléctrico, electromagnético, nuclear y sísmico.

Básicamente, un registro es la representación digital o analógica de una propiedad física contra la profundidad del pozo. Esto nos permite manejar la información como sistemas puntuales, es decir, por intervalos.

En la actualidad, el avance de los dispositivos de comunicación permite mejorar el manejo de la información así como el procesamiento de la misma.

Esto ha dado pauta a desarrollar nuevas técnicas y metodologías para el análisis de la información obtenida de registros. El avance de la computación (Hardware y Software) nos proporciona una herramienta poderosa para el manejo y presentación de los resultados.

El objetivo de este trabajo consiste en aplicar técnicas computarizadas en métodos y procedimientos para la determinación indirecta de algunas propiedades petrofísicas del yacimiento, tales como la porosidad, saturación de agua y litología predominante, a partir de la información de registros geofísicos.

En los capítulos siguientes, se verá la descripción de algunos métodos prácticos para la determinación de estas propiedades, así como también, la presentación de un programa de cómputo el cual se elaboró con el fin de procesar rápidamente la información obtenida de registros, y así mismo tener los resultados en forma más práctica.

CAPITULO II

DETERMINACION DE POROSIDAD Y LITOLOGIA

ARCILLOSIDAD

El término Arcillosidad se considera debido a la existencia de arcillas en los espacios porosos de la roca, lo cual siempre representa un problema para la evaluación de los parámetros obtenidos en la interpretación de registros geofísicos en pozos petroleros.

Las arcillas son minerales cuya composición fundamental es Silicato Hidratado de Aluminio. Dependiendo de su arreglo estructural y de su composición mineral (minerales asociados de Hierro, Magnesio, Potasio, etc), se dividen en grupos como el de la Caolinita, Montmorillonita, Clorita, etc. Pueden presentarse diseminadas en la formación o interestratificadas con la roca misma lo cual altera de diferente manera algunos parámetros de la formación.

Una característica muy importante que presentan las arcillas es el tamaño de las partículas, el cual es tan pequeño que en muchas ocasiones no es posible determinarlo al microscopio. Cuando se presenta un cierto contenido de arcilla del tipo diseminado, el espacio poroso y la permeabilidad se ven afectados fuertemente.

La presencia de arcillas en una formación enmascara los parámetros a medir mediante la alteración de la respuesta de la formación hacia la herramienta de medición.

Por ejemplo, en los registros resistivos, la resistividad disminuye porque la arcilla, debido a sus propiedades eléctricas, retiene en su superficie agua de formación que conduce la corriente eléctrica. Esto genera la obtención de valores erróneos de saturación de agua.

En los registros acústicos, el tiempo de tránsito aumenta con el contenido de arcilla y por consiguiente la porosidad calculada se incrementa. Esto no sucede con los registros de densidad, en los cuales los valores de porosidad disminuyen con el aumento de arcillas.

Estos son algunos efectos que producen las arcillas en los registros geofísicos, lo cual muestra la importancia de conocer el tipo y la cantidad de arcilla presente, así como realizar las correcciones adecuadas por efecto de arcillosidad.

Existen varios métodos para la evaluación del volumen de arcilla pero aquí solo se describirá el método que usa al Registro Espectral de Rayos Gamma (NGS) debido a que además de ser un buen indicador de arcilla determina el tipo de mineral dominante en la misma.

El NGS mide la radioactividad natural de la formación y además permite determinar las concentraciones individuales de Torio, Potasio y Uranio presentes en la formación. Se han desarrollado ecuaciones para obtener el porcentaje de arcillas

a partir de los valores de Th, K, U y GR basándose en el siguiente modelo :

$$V_{sh} = \frac{A - A_{min}}{A_{máx} - A_{min}} \quad (2.1)$$

en donde : A = Lectura del registro en la zona.

A_{min} = Lectura de menor radioactividad.

A_{máx} = Lectura de formación arcillosa.

Este modelo puede ser utilizado para cada elemento o para la combinación de alguno de ellos. Por ejemplo :

$$V_{sh} (Th) = \frac{Th - Th_{min}}{Th_{máx} - Th_{min}}$$

$$V_{sh} (K) = \frac{K - K_{min}}{K_{máx} - K_{min}}$$

$$V_{sh} (GR) = \frac{GR - GR_{min}}{GR_{máx} - GR_{min}}$$

$$V_{sh} (CGR) = \frac{CGR - CGR_{min}}{CGR_{máx} - CGR_{min}}$$

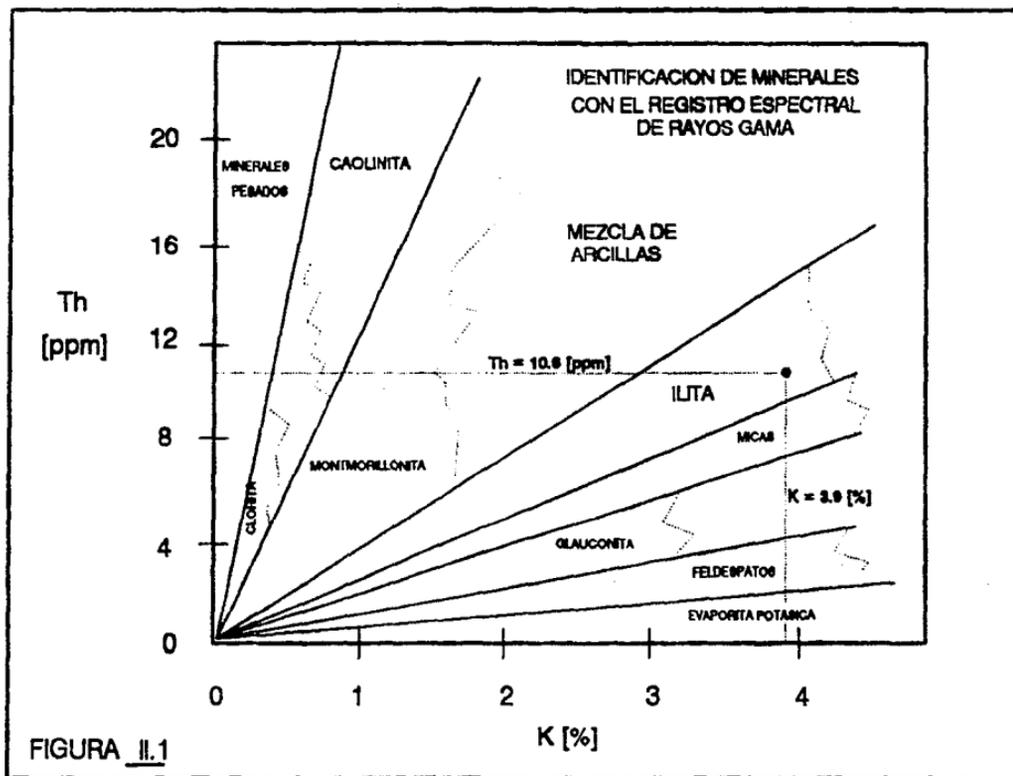
Ahora se cuenta con cuatro indicadores de arcilla confiables, pero aun así, se tiene que seleccionar la ecuación más adecuada ya que las condiciones del pozo pueden afectar las respuestas de la formación para un determinado elemento.

Como se puede apreciar, en las ecuaciones anteriores no se incluyó al Uranio debido a que este elemento se encuentra asociado con otros materiales radioactivos (orgánicos) y por lo tanto no es un indicador de arcilla confiable. Una mejor aplicación para este elemento es la determinación de fracturas.

Para la determinación del tipo de mineral predominante en la arcilla se utiliza una gráfica con las concentraciones de Th y K como la que se muestra en la figura II.1

La manera de utilizar esta gráfica es intersectar los valores de K en (%) y los de Th en (ppm) obtenidos del registro y determinar la mineralogía en la intersección. Por ejemplo, si tenemos en un cierto intervalo las lecturas de $k = 3.9 \%$ y $Th = 10.6 \text{ ppm}$, entonces al utilizar la gráfica se puede apreciar que el mineral arcilloso predominante es la illita.

Es importante señalar que esta gráfica no presenta gran resolución y por lo tanto, los resultados en ocasiones no son confiables. Para determinaciones rápidas y prácticas esta figura puede dar un indicio del tipo de mineral arcilloso predominante.



GRAFICAS INTERRELACIONADAS

Estos métodos fueron diseñados debido a que la información obtenida de un sólo registro de porosidad es insuficiente para la determinación de la porosidad, ya que las complicaciones o efectos tales como zonas de gas, presencia de porosidad secundaria, etc, enmascaran y alteran la respuesta de las herramientas de medición. Además, si no se conoce la litología predominante la determinación de la porosidad no es muy exacta.

La combinación de los registros de porosidad tales como el Neutrón (CNL), Densidad (FDC) y Sónico (BHC) resultaron adecuadas ya que estas herramientas responden de manera diferente a la matriz, a la presencia de gas y a la geometría y estructura del poro (Porosidad secundaria). Con estas combinaciones, el valor de la porosidad es obtenido con mayor exactitud aun en matrices complejas.

Los métodos se componen de gráficas, en las cuales interactúan los valores medidos de dos diferentes herramientas. Estas combinaciones son las de los registros Neutrón-Densidad, Sónico-Densidad y Sónico-Neutrón.

GRAFICA NEUTRON - DENSIDAD

Esta combinación puede constituirse ya sea con la

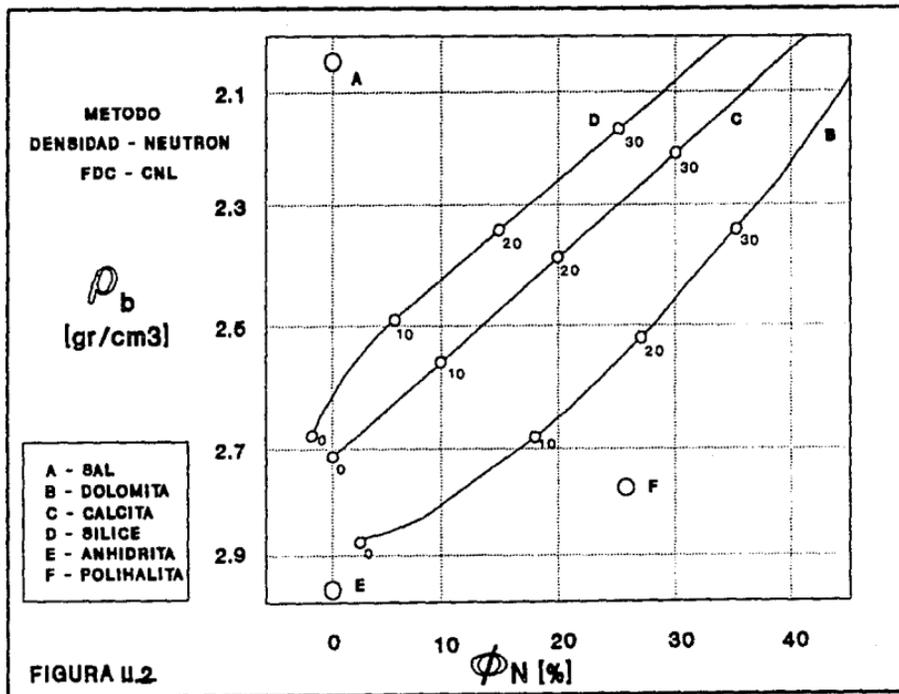
herramienta SNP o CNL; ambas de porosidad neutrón.

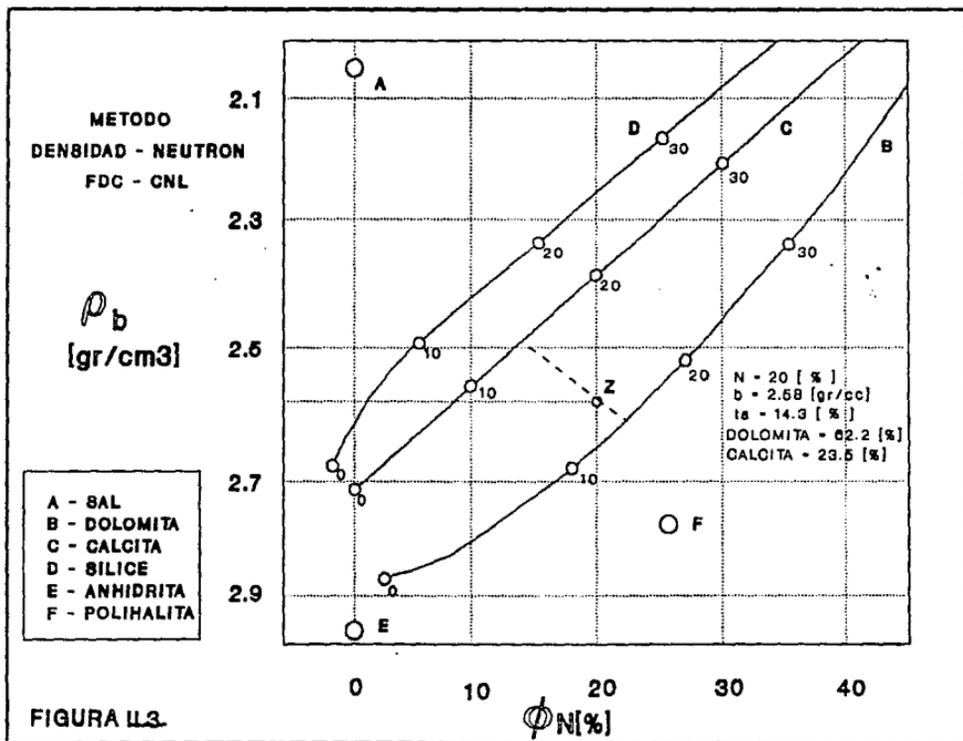
Este método fue diseñado para formaciones limpias y saturadas de líquido así como también para agujeros llenos de fluido. Por consiguiente, no se puede usar en pozos con aire o gas como fluidos de control.

La figura II.2 muestra las curvas litológicas puras que están graduadas en porcentaje del volumen de poro, en donde se puede determinar la porosidad total aparente ϕ_{ta} . También se observan los puntos de minerales simples; tales como la sal.

La separación que tienen estas curvas entre ellas brinda una buena resolución para determinar la proporción de los diferentes minerales que forman la matriz. Es decir, en una mezcla de minerales los puntos graficados no caen exactamente sobre la curva litológica de un solo mineral, sino que caen entre ambas curvas, de acuerdo con la combinación mineralógica.

La forma de determinar la porosidad total aparente y los porcentajes de litología se puede apreciar en la fig. II.3. En esta figura se utilizan los valores de 20 [%] y 2.58 [gr/cc] de los registros Neutrón y Densidad, respectivamente; y se encuentra el punto Z. Si suponemos una litología compuesta de Calcita y Dolomita para este punto, entonces el valor de ϕ_{ta} = 14.3 [%] y el porcentaje de matriz de Dolomita es de 62.20 [%] y el de Calcita es de 23.50 [%].





Ahora bien, si la litología que se supuso estuviera equivocada y se tratara de una mezcla de Sílice y Dolomita, entonces el valor de $\phi_{ta} = 14.5$ [%] y los porcentajes de mineral de Sílice y Dolomita sería 15.54 [%] y 69.96 [%] respectivamente.

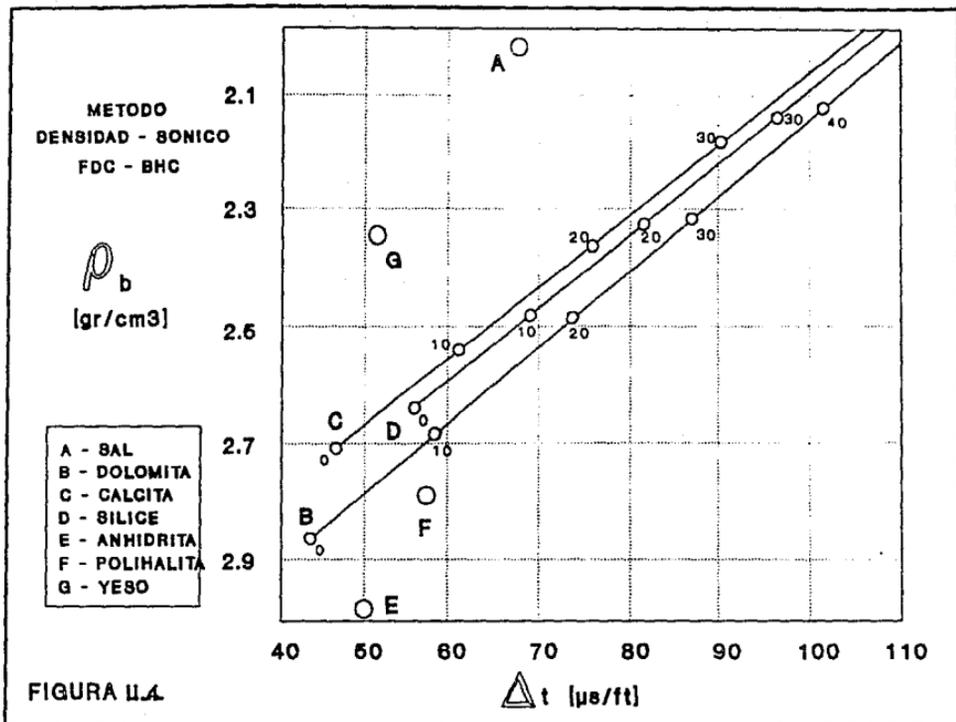
De acuerdo a lo anterior, el método demuestra que si se presenta un error en la elección de la litología, el valor de la porosidad total aparente permanece prácticamente inalterable.

GRAFICA SONICO - DENSIDAD

La gráfica Sónico-Densidad maneja los parámetros de tiempo de tránsito contra la densidad de la formación (t vs ρ_b). Las condiciones para las cuales fue creada esta gráfica son similares a las de la gráfica anterior.

La fig.II.4 muestra la gráfica de t vs ρ_b . Se puede apreciar que presenta poca resolución entre las curvas litológicas, lo cual lleva a tener grandes errores en el valor de ϕ_{ta} si existe equivocación al suponer la litología. Esto también se puede derivar de los errores que se pudieran cometer en la medición de los parámetros t y ρ_b .

Por lo tanto, esta combinación no es recomendable para determinar valores de porosidad y litología. Sin embargo, esta

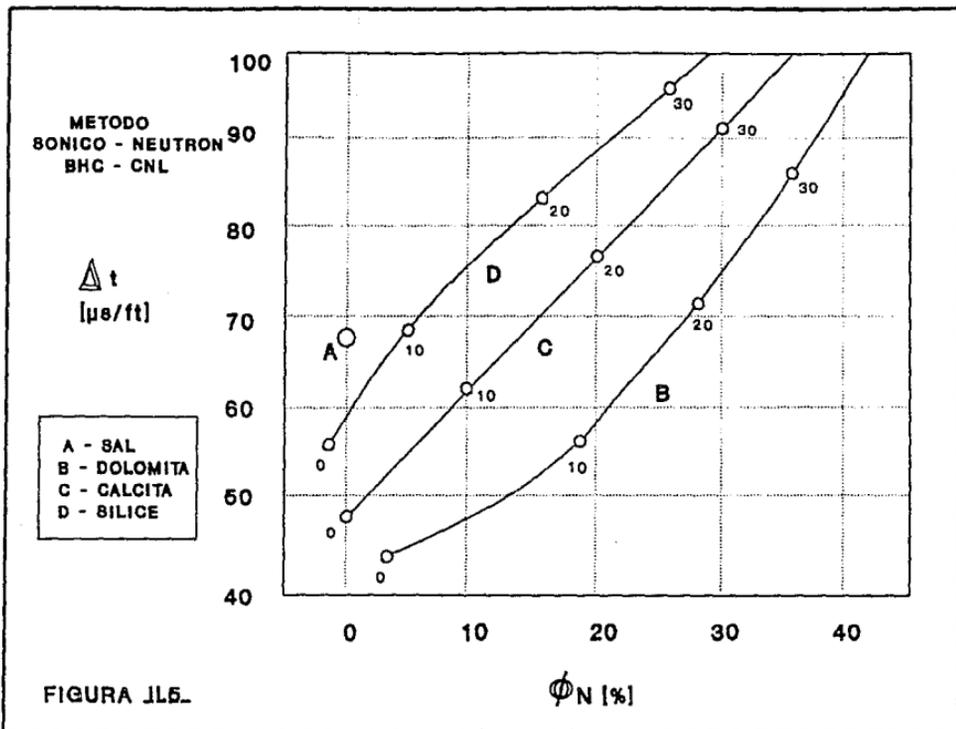


gráfica ofrece una buena resolución para los puntos de Sal, Yeso y Anhidrita.

GRAFICA SONICO - NEUTRON

En esta combinación de herramientas se utilizan datos de los registros Sónico y Neutrón (t vs ϕ_w). Estas gráficas fueron diseñadas para distintas herramientas Neutrón, SNP y CNL así como también para diversos valores de densidad del fluido.

La fig.II.5 muestra las gráficas en donde se puede apreciar la buena resolución que tienen las curvas litológicas. La manera de cuantificar la porosidad total aparente y los porcentajes de litología es igual a la que se realiza con la combinación Neutrón - Densidad.



METODO DE M-N

El método M-N fue desarrollado para facilitar la interpretación de formaciones con litologías complejas y así poder calcular valores más exactos de porosidad. Básicamente utiliza información de tres herramientas de porosidad como son: el Registro de Porosidad Neutrón (SNP o CNL), el Registro de Densidad Compensado (FDC) y el Registro Sónico Compensado (BHC).

El método consiste en determinar dos parámetros, "M" y "N" los cuales son las pendientes de las líneas litológicas en las gráficas de interrelación de los registros Sónico-Densidad y Neutrón-Densidad respectivamente, como se muestra en la fig. II.6.

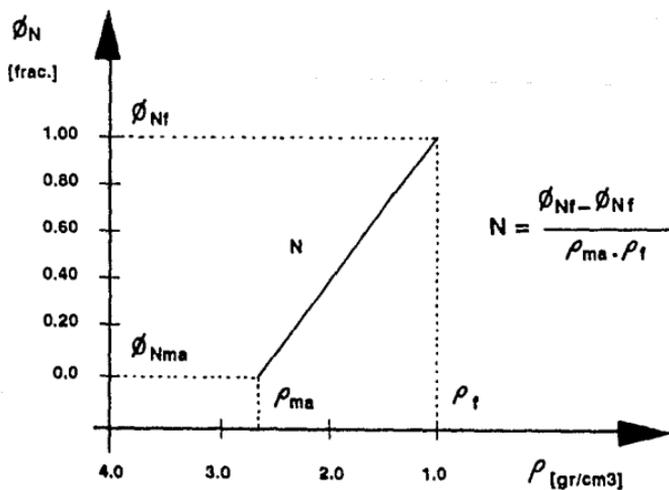
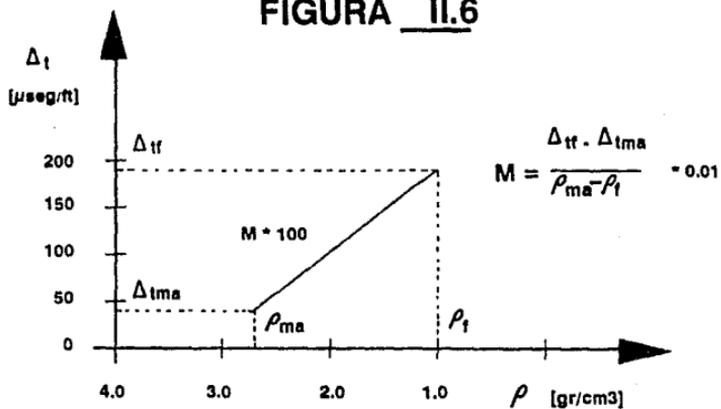
Estas variables son independientes de la porosidad primaria pero son dependientes de las características litológicas de la matriz y de los fluidos.

Para determinar los parámetros "M" y "N" se utilizan las siguientes ecuaciones :

$$M = \frac{t_r - t}{\rho_b - \rho_f} * 0.01 \quad (2.2)$$

$$N = \frac{\phi_{Nf} - \phi_N}{\rho_b - \rho_f} \quad (2.3)$$

FIGURA II.6



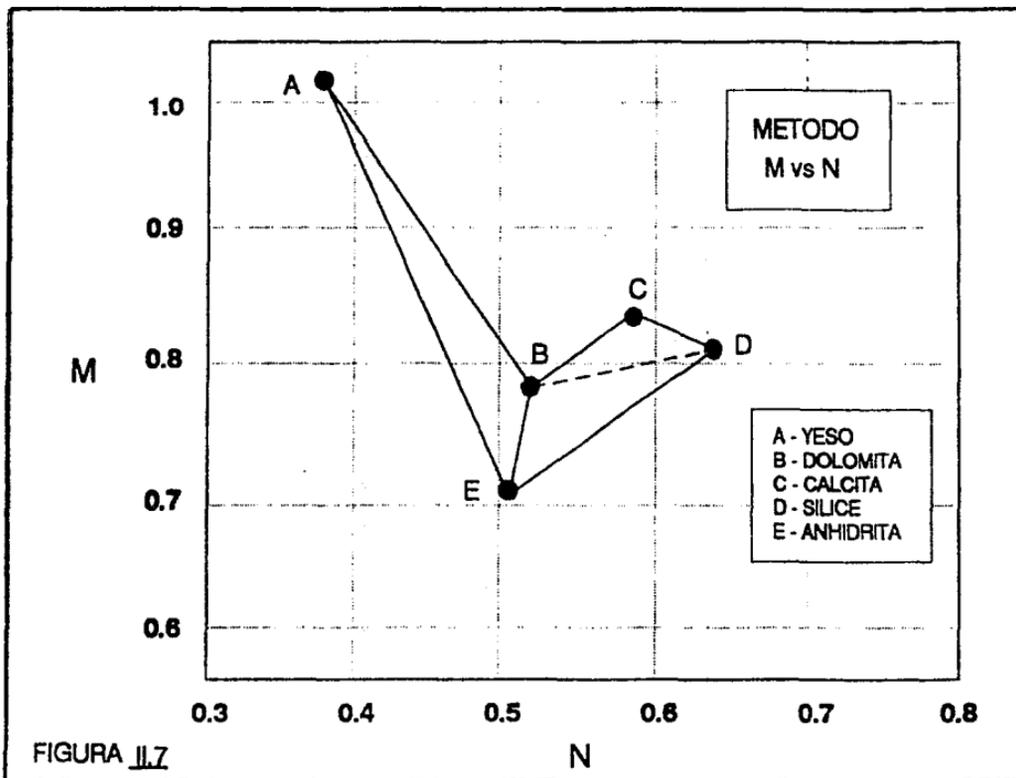
En el apéndice "A" de este trabajo se pueden consultar las tablas de valores de ρ_{ma} , ϕ_N (CNL y SNP), ρ_r , t_r , etc, de los fluidos característicos así como también, para las matrices de rocas más usuales en la interpretación de registros.

La fig.II.7 representa la gráfica de interrelación de "M" y "N" en donde cada mineral puro es presentado como un punto único e independiente de la porosidad.

En la mayoría de las interpretaciones, las matrices de las rocas se encuentran formadas por combinaciones de minerales. Al graficar los datos en la fig.II.7, los puntos caerán dentro del área del triángulo descrito por los vértices de los minerales de que esté formada la matriz.

Se puede apreciar en la misma gráfica que pueden existir varias combinaciones posibles de tres minerales tales como el Yeso-Anhidrita-Sílice o como Yeso-Caliza-Anhidrita. También se puede apreciar que la gráfica marca áreas triangulares a las que les llamamos "triángulos litológicos típicos". Los minerales que forman estos triángulos representan las mayores posibilidades de ocurrencia en cuanto al tipo y condiciones de depositación en conjunto.

Por ejemplo, el Sulfato de Calcio (Yeso y Anhidrita), es separado en la secuencia de depositación del Carbonato de Calcio por la Dolomita. Por lo tanto, es más probable que la



Dolomita se encuentre asociada al Sulfato de Calcio que con el Carbonato de Calcio y por consiguiente la línea entre la Anhidrita y el Carbonato de Calcio tiene poca probabilidad de ocurrencia.

Algunos efectos pueden desplazar la posición de los puntos graficados con respecto a la litología verdadera, consiguiendo que estos puntos caigan fuera del área triangular. Tales efectos son la porosidad secundaria, presencia de arcillas y zonas de gas.

EFFECTOS DE POROSIDAD SECUNDARIA

Este método puede utilizarse también para detectar la existencia de porosidad secundaria debida a cavernas y fracturas en la formación. Esto se debe a que las respuestas de los registros de densidad y porosidad neutrón son con respecto a la porosidad total, mientras que el registro sónico adopta a la porosidad secundaria como matriz de roca y por consiguiente su respuesta es menor.

Como se puede ver en las ecs. 2.2 y 2.3, la variable "N" no se ve afectada por la porosidad secundaria debido a que este parámetro no depende de la información del registro Sónico. Sin embargo, el parámetro "M" sí se ve afectado ya que le provoca un aumento en su valor. Por lo tanto, el desplazamiento de los puntos graficados hacia la parte superior de la gráfica es una

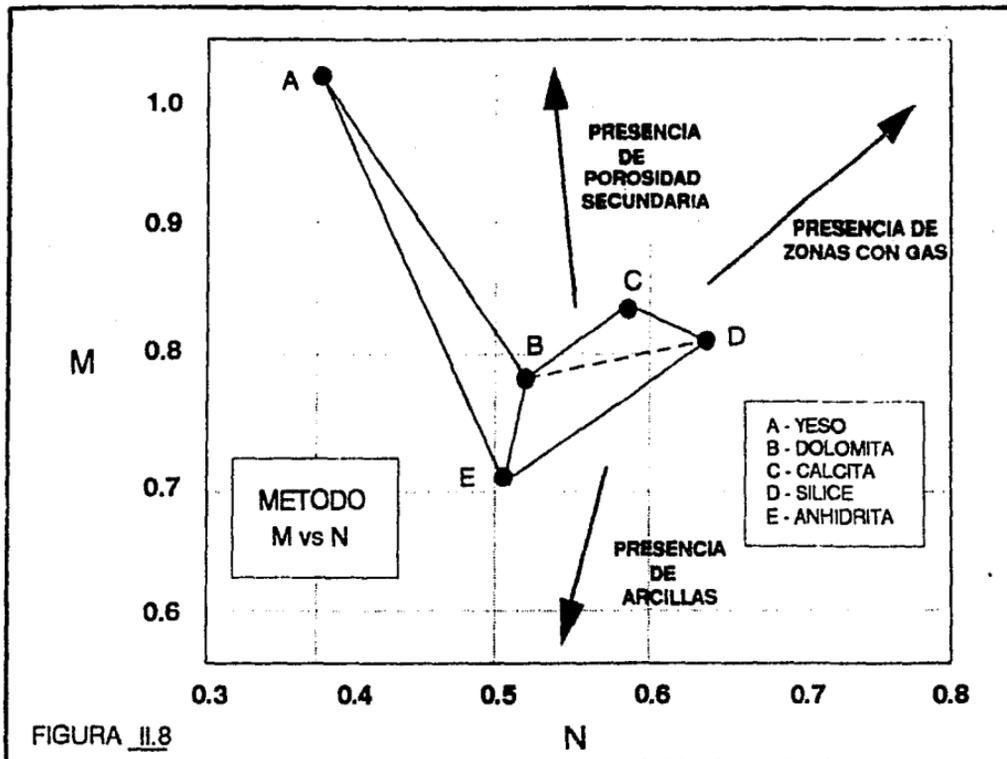


FIGURA II.8

Indicación de la existencia de porosidad secundaria, como se indica en la figura II.8.

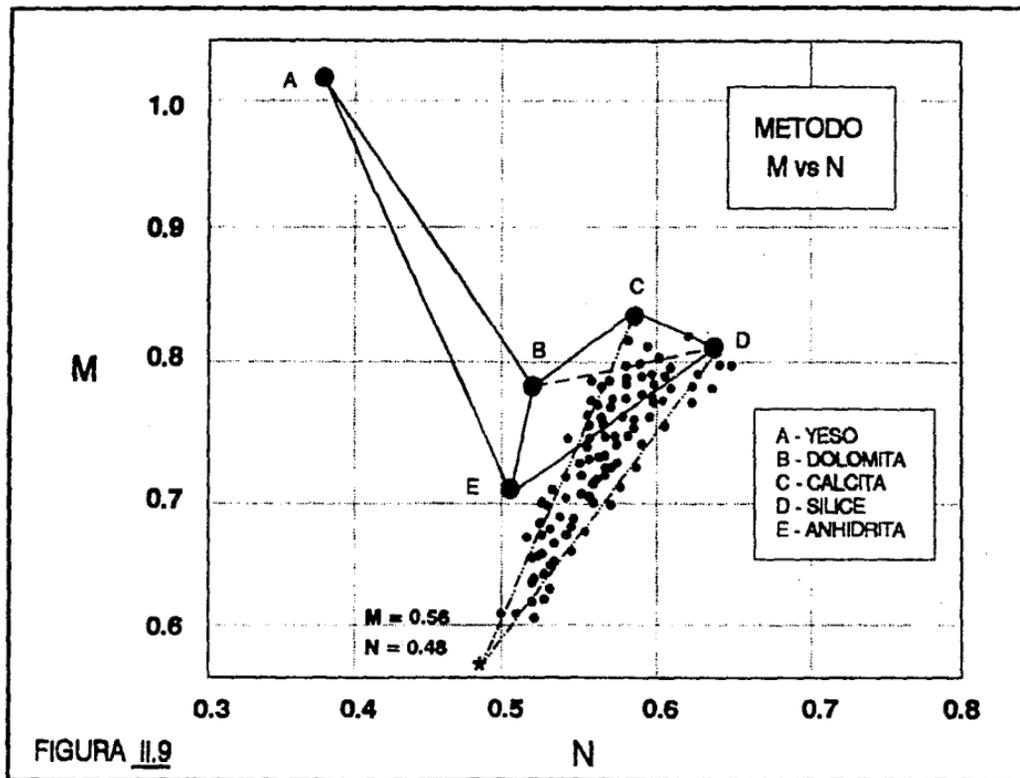
EFEECTO DE ARCILLAS

Cuando hay presencia de arcillas en la formación los puntos graficados son desplazados hacia la parte inferior de la gráfica M-N. Esto se debe a que los valores de $-M-$ disminuyen.

En esta gráfica se puede determinar el punto de arcillas de manera indicativa. Se realiza prolongando líneas rectas de los minerales con posibilidad de ocurrencia y hacia la tendencia de los puntos graficados, como se muestra en la fig.II.9. Con los valores de $-M-$ y $-N-$ en este punto se pueden determinar los valores de Δt y ϕ_M para la arcilla usando un valor promedio de densidad de lutita $\rho_{ma} = 2.7$ (gr/cm³).

EFEECTO DEL GAS

La presencia de gas en una formación también puede ser detectada en este gráfico. El desplazamiento que sufren los puntos en un estrato con gas es hacia la derecha y arriba, es decir, con una tendencia de pendiente positiva. Esto también lo podemos apreciar en la fig.II.8.



METODO DE IDENTIFICACION DE MATRIZ

(ρ_{maa} vs t_{maa})

Este método fue desarrollado de una manera similar al método M-N. Con la gráfica de identificación de matriz (MID) también se puede identificar la litología para ciertos intervalos, como en zonas de gas y los efectos de porosidad secundaria entre otros.

En este método los parámetros "M" y "N" son sustituidos por cantidades pseudofísicas, independientes de la porosidad, del tipo de herramienta neutrón (SNP o CNL) y de los cambios del filtrado del lodo. Estos parámetros son llamados comúnmente como Densidad Aparente de la Matriz " ρ_{maa} " y Tiempo de Tránsito Aparente de la Matriz " t_{maa} ".

Estas variables se definen de la siguiente manera :

$$\rho_{maa} = \frac{\rho_{ma} - \phi_{ta} \cdot \rho_f}{1 - \phi_{ta}} \quad (2.4)$$

$$t_{maa} = \frac{t_{ma} - \phi_{ta} \cdot t_f}{1 - \phi_{ta}} \quad \begin{array}{l} \text{relación} \\ \text{teórica} \end{array} \quad (2.5a)$$

$$t_{maa} = t_{ma} - \frac{\phi_{ta} \cdot t_f}{c} \quad \begin{array}{l} \text{relación} \\ \text{de campo} \end{array} \quad (2.5b)$$

Para calcular estas variables es necesario conocer el valor de la porosidad. En estos casos, una buena aproximación de este valor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\phi_{ta} = \frac{\phi_{CML} + \phi_{FDC}}{2} \quad (2.6)$$

Existen gráficas que solucionan estas ecuaciones y en las cuales no se necesita el valor de la porosidad para determinar los parámetros ρ_{maa} y t_{maa} . Una vez conocidos los valores, se grafican en la figura II.10.

En esta gráfica podemos apreciar las posiciones de los minerales más comunes tales como Calcita, Sílice, Dolomita y Anhidrita, así como los puntos de sal para ambos tipos de herramientas.

Al graficar los puntos en esta figura se observará la tendencia de éstos para con algún punto representativo de un mineral así como las mezclas de minerales que se producirán cuando los puntos graficados caigan entre puntos mineralógicos pre-establecidos. Para determinar la litología de una zona sólo hay que observar los agrupamientos de los puntos con respecto a los puntos de los minerales.

Este método también se ve afectado por la porosidad

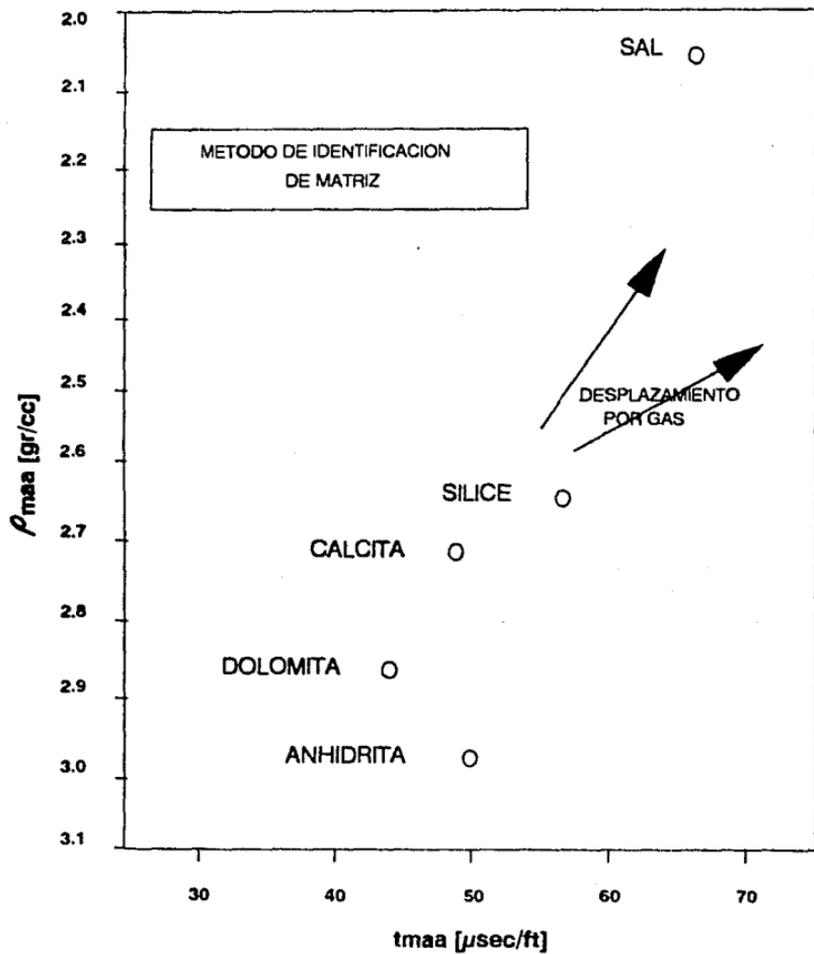


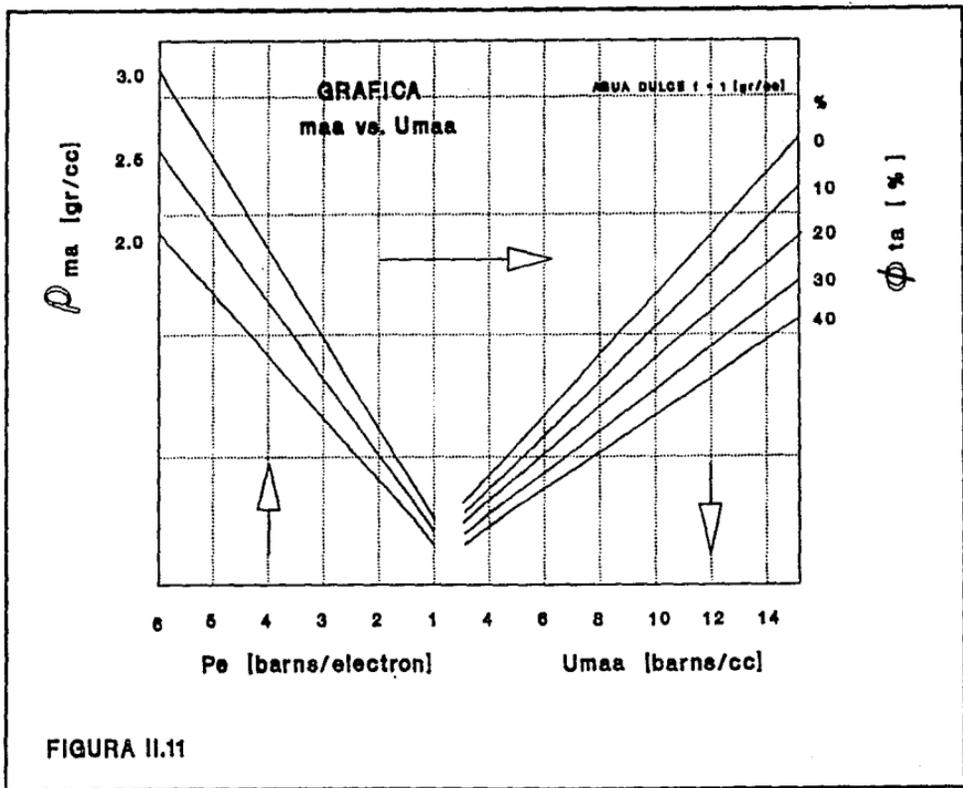
FIGURA II.10

secundaria, zonas de gas, arcillosidad y en el caso de las arenas por falta de compactación.

Los efectos de la porosidad secundaria hacen que los puntos se desplacen hacia la izquierda de la gráfica; esto se debe a que el registro sónico es ciego a las cavidades y fracturas.

Las zonas de gas hacen que los puntos se tornen en una dirección única, arriba y a la derecha, como se muestra en la fig. II.10. Este desplazamiento se debe a las variaciones de la densidad del gas, al índice de hidrógeno y a la respuesta incompleta del registro sónico.

Los efectos de las arcillas son muy difíciles de manejar debido a sus propiedades. La tendencia de los puntos cuando hay presencia de arcillas es alrededor del punto de anhídrita.



METODO DE IDENTIFICACION DE MATRIZ

(ρ_{maa} vs U_{maa})

Este método es relativamente nuevo como indicador de minerales. Además del registro de densidad y porosidad neutrón, utiliza datos del registro litodensidad (LDT). Este registro es un complemento adicional para el análisis de litologías complejas y se utiliza conjuntamente con los registros FDC y CNL o SNP.

Básicamente este método es muy similar al método anterior. En este caso, se utiliza el índice Volumétrico de Absorción Aparente de la Matriz " U_{maa} ".

Este parámetro está en función del índice de absorción fotoeléctrica, que es la respuesta de la formación hacia la herramienta LDT, y de la densidad electrónica, que es el número de electrones por unidad de volumen y que está en función de ρ_b medida por el registro de densidad. La siguiente ecuación se utiliza para determinar U_{maa} :

$$U_{maa} = \frac{\rho_e \cdot \rho_e - \phi_{ta} \cdot U_r}{1 - \phi_{ta}} \quad (2.7)$$

donde :

$$\rho_e = \frac{\rho_b + 0.1883}{1.0704} \quad (2.8)$$

Otra manera de encontrar el valor de U_{mas} es con el uso de la fig. II.11, la cual es la solución gráfica de la ecuación 2.7. Con los valores de P_e , ρ_b , ϕ_{ta} y siguiendo la dirección de las flechas se encuentra el valor de U_{mas} en esta figura.

Para encontrar los valores de ρ_{mas} y ϕ_{ta} se utiliza el mismo procedimiento del tema anterior, ya que su determinación es igual.

Una vez obtenidos los parámetros ρ_{mas} y U_{mas} , se introducen en la gráfica de la fig. II.12, en la cual se tiene el triángulo litológico formado por los minerales más comunes como la Calcita, Dolomita y Sílice, así como los puntos de minerales puros como la Illita, Caolinita, Anhidrita etc.

En esta gráfica se determina la litología de que se trate y los porcentajes en el caso de ser una mezcla de minerales. También se muestran los desplazamientos de los puntos debido a zonas de gas, a la presencia de minerales pesados, a la presencia de Barita, que influye en el P_e , y a la presencia de Sal y Arcillas.

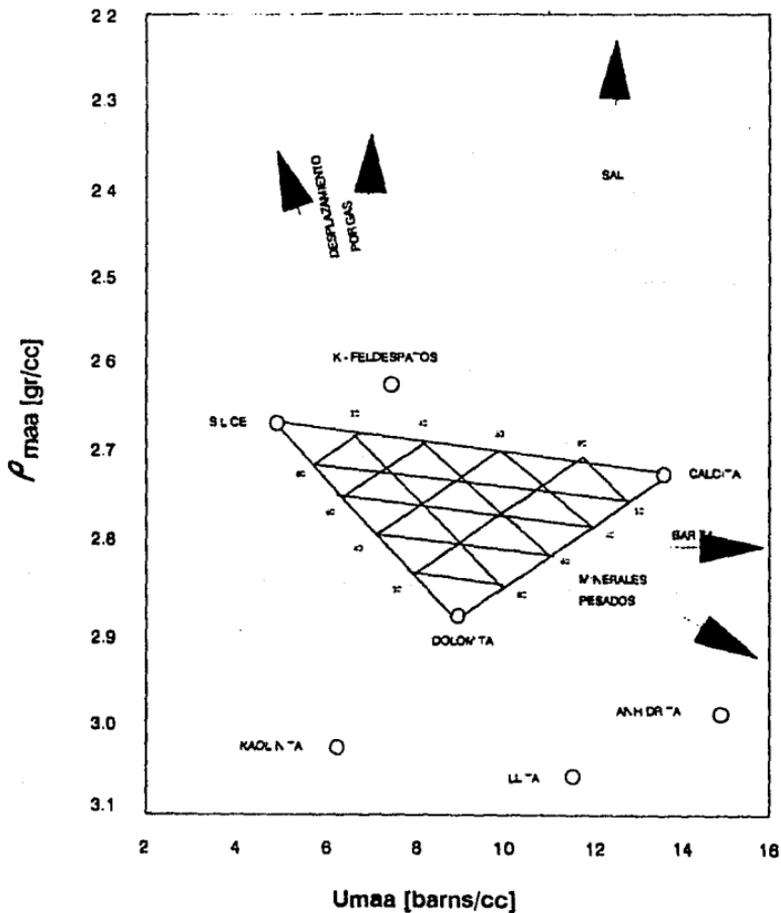


FIGURA II.12

CAPITULO III

DETERMINACION DE SATURACION DE AGUA (S_w)

INTRODUCCION

El cálculo de la acumulación de hidrocarburos de las formaciones productoras constituye una actividad de vital importancia ya que representa la reserva probada del yacimiento.

Existen diversos procedimientos para estimar dichas reservas. Uno de ellos utiliza datos tales como porosidad, tamaño del área de drene, espesor de la formación y la saturación de hidrocarburos.

La saturación de un fluido en un medio poroso es la fracción del volumen del poro ocupado por este fluido. En el yacimiento los poros no solo contienen hidrocarburos, sino que también contienen agua y por lo tanto, el volumen total de fluidos en el poro es la suma de ambas saturaciones.

$$S_{HCs} + S_w = 100 \%$$

En esta expresión se aprecia que para determinar la saturación de hidrocarburos (S_{HCs}), es necesario conocer o estimar el porcentaje de agua en el poro (S_w).

En proyectos de inyección de agua, la saturación de agua indica los contactos de fluidos (agua-aceite) en el yacimiento, así como también el avance de la invasión.

RELACION DE RESISTIVIDADES

La resistividad es una propiedad física de los materiales que consiste en no permitir el paso de flujo eléctrico a través de ellos. Por lo tanto, la resistividad es el inverso de la conductividad.

La aplicación de esta propiedad en el análisis de yacimientos por medio de registros eléctricos se debe a que las rocas, por su composición, son prácticamente aislantes. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que las herramientas miden la conductividad eléctrica de los materiales y que los yacimientos contienen fluidos, de los cuales algunos son conductores.

Debido a lo anterior, se puede decir que las resistividades de las rocas medidas por la herramienta, son la oposición al paso de la corriente eléctrica del sistema roca fluidos.

Prácticamente el agua es el único elemento conductor en este sistema, salvo algún mineral conductor como la Pirita. Debido a esto, en formaciones con altos contenidos de agua, la respuesta de la herramienta resistiva será baja. Esto no es del todo una regla general, ya que existen otros factores tales como la salinidad, temperatura, presencia de arcillas entre otros, que afectan la resistividad de las formaciones.

Cuando el agua contiene una alta salinidad su conductividad aumenta y por ende su Resistividad disminuye. Esto se debe a que la cantidad de iones que transportan la corriente eléctrica es mayor cuando el agua es salada. La presencia de arcillas disminuye la resistividad de la formación debido a que retiene en su superficie una película delgada de agua con cierta salinidad lo cual produce un desequilibrio de cargas que permite la conducción eléctrica.

Con el valor de resistividad obtenido de este tipo de herramientas se puede determinar la saturación de agua. Una vez estimado este parámetro se puede realizar la evaluación del yacimiento.

Archie determinó en una serie de estudios experimentales una ecuación que relaciona la saturación de agua con la resistividad de la formación. El modelo presentado por Archie es el siguiente :

$$(S_w)^n = \frac{F \cdot R_w}{R_t} \dots \dots (3.1)$$

El factor de formación "F" se puede asociar con la porosidad mediante la siguiente expresión :

$$F = \frac{a}{\phi^m} \dots \dots (3.2)$$

Los valores de "a" y "m" presentan variaciones para diferentes litologías. Por ejemplo, para las rocas carbonatadas

$a = 1$, $m = 2$ y para las arenas $a = 0.62$, $m = 2.15$ o la fórmula de Humble $a = 0.81$, $m = 2$. Estos valores han sido determinados como promedio de estudios experimentales y han dado resultados satisfactorios.

El exponente de saturación "n" también fue determinado experimentalmente a través de mediciones de laboratorio. En la mayoría de las muestras de campo, se obtuvo un valor de $n = 2$. Por lo tanto, la ecuación de Archie para $n = 2$ se puede escribir de la siguiente manera :

$$S_w = \left(\frac{F \cdot R_w}{R_t} \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Como el factor de formación "F" depende de la porosidad y del tipo de litología, entonces para una misma formación éste permanece constante. Por lo tanto, este modelo puede también ser aplicado a cualquier zona de la formación.

En la fig. III.1 se presenta un esquema de una formación atravesada por un pozo en donde se muestra la distribución de las zonas en función de la invasión del filtrado del lodo.

De acuerdo con lo anterior, la ecuación de Archie para la zona invadida por el filtrado del lodo es :

$$(S_{xo})^2 = \frac{F \cdot R_{mf}}{R_{xo}} \quad (3.4)$$

SIMBOLOS USADOS EN INTERPRETACION DE REGISTROS

- RESISTIVIDAD DE LA ZONA
- RESISTIVIDAD DEL AGUA EN LA ZONA
- △ SATURACION DE AGUA EN LA ZONA

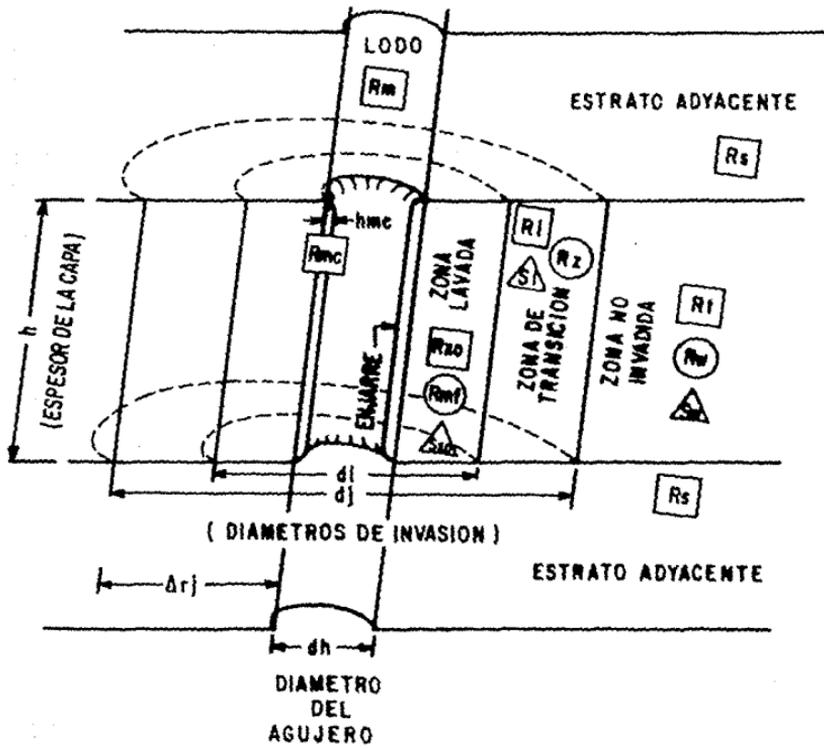


FIG. III.1.- PERFIL DE INVASION IDEALIZADO.

**DESARROLLO DEL METODO DE
RELACION DE RESISTIVIDADES**

Este método tiene como objetivo el determinar analíticamente la saturación de agua en la zona no invadida mediante el uso del modelo de Archie aplicado a la zona invadida y zona virgen o no invadida.

Se basa en una relación empírica entre la saturación de agua en la zona invadida (S_{xo}) y la saturación de agua de la zona virgen (S_w), determinada a partir de mediciones hechas en formaciones con invasiones moderadas de filtrado de lodo y saturaciones residuales promedio. Esta relación es la sig.:

$$S_{xo} = (S_w)^{1/5} \quad (3.5)$$

Para relacionar la S_w con S_{xo} se dividen las ecuaciones (3.3) y (3.4) quedando :

$$\left(\frac{S_w}{S_{xo}} \right)^2 = \frac{R_w / R_t}{R_{mr} / R_{xo}} \quad (3.6)$$

Sustituyendo la relación de la ec. (3.5) se tiene :

$$\frac{S_w^2}{S_w^{2/5}} = \frac{R_w / R_t}{R_{mr} / R_{xo}} \quad (3.7)$$

Despejando S_w :

$$S_w = \left(\frac{R_w / R_t}{R_{mr} / R_{xo}} \right)^{5/8} \quad (3.8)$$

Nótese que en esta expresión no es necesario conocer el factor de formación. Esto implica que no se necesita calcular el valor de la porosidad para estimar la saturación de agua.

Este método presenta las limitaciones del modelo de Archie. El modelo presenta una buena aproximación para formaciones limpias, con porosidad homogénea. En formaciones con porosidad secundaria la aproximación no es tan buena.

Una de las aplicaciones prácticas del método se presenta cuando se desconoce información sobre litología y porosidad, proporcionando una buena aproximación en la evaluación de S_w .

DETERMINACION DE PARAMETROS DEL METODO DE RELACION DE RESISTIVIDADES

Hasta aquí se ha hecho el planteamiento del método. Ahora prosigue describir como aplicar y como obtener la información necesaria para evaluar S_w .

El valor de la resistividad de la zona invadida (R_{xo}) puede ser obtenido del registro micro esférico enfocado (MSFL) como una medición directa.

La resistividad de la zona virgen se determina mediante el registro de Inducción o el Laterolog.

Los valores de R_{mf} y R_w pueden ser determinados por análisis de muestras de laboratorio, catálogos de agua o derivado de la curva del registro de Potencial Natural Espontáneo (SP).

DETERMINACION DE R_w A PARTIR DEL SP

Para obtener el potencial natural se considera la contribución electroquímica de la formación en términos de la resistividad :

$$SSP = -K \cdot \log (R_{mfe} / R_{we}) \quad (3.9)$$

"SSP" es la amplitud de la curva del SP en la zona de interés y se mide en millivolts. "K" está en función de la temperatura y se determina mediante la siguiente expresión :

$$K = 61 + 0.133 \cdot T_r [^\circ F] \quad (3.10a)$$

$$K = 65 + 0.24 \cdot T_r [^\circ C] \quad (3.10b)$$

en donde " T_r " es la temperatura de la formación y se puede estimar con la siguiente ecuación :

$$T_r = T_s + \frac{(T_t - T_s)}{P_t} \cdot P_r \quad (3.11)$$

Para determinar el valor de R_{mfe} se necesita conocer previamente el valor de R_{mf} medido a temperatura de formación.

Una vez determinados R_{mfe} , K y SSP se puede conocer el valor de R_{we} despejándolo de la ecuación (3.9) :

$$R_{we} = \frac{R_{mfe}}{10 - (SSP / K)} \quad (3.12)$$

Con este valor de R_{we} , la temperatura de formación y con la figura III.2, se determina la resistividad del agua de formación.

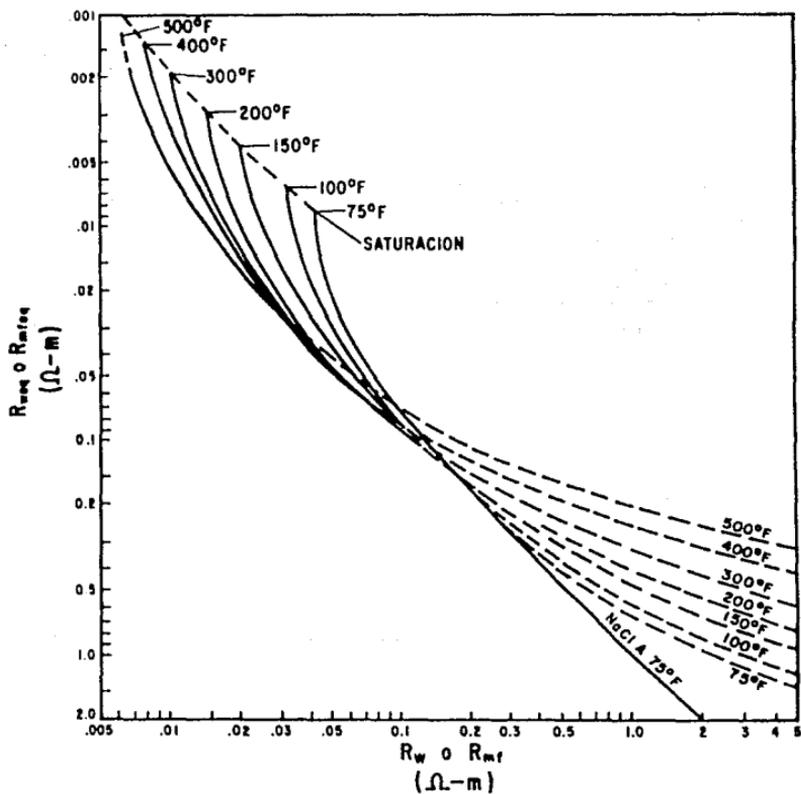


FIG. III.2.-GRAFICA PARA DETERMINAR R_w .

MODELO DE DOS AGUAS

A través de los años varias investigaciones experimentales acerca de los efectos de la arcilla sobre las resistividades medidas en las rocas, han determinado que existe algún efecto de la misma que es perjudicial y que aun no ha sido cuantificado.

Este descubrimiento proporcionó las bases necesarias para que se desarrollara un nuevo modelo, ya que los modelos anteriores como el Waxman y Smith, no contemplan tal efecto.

La arcilla es uno de los constituyentes más importantes en el análisis de registros. A parte de sus efectos en la porosidad y permeabilidad, también es importante por sus propiedades eléctricas, ya que éstas tienen una gran influencia en la determinación de la saturación de agua.

La propiedad más importante de las arcillas en la evaluación de registros, es la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC), ya que ésta es la fuente de su conductividad. La CIC es la carga positiva en la superficie de la arcilla y es medida en términos de mili-ions equivalentes por cada 100 gr de mineral de arcilla seca.

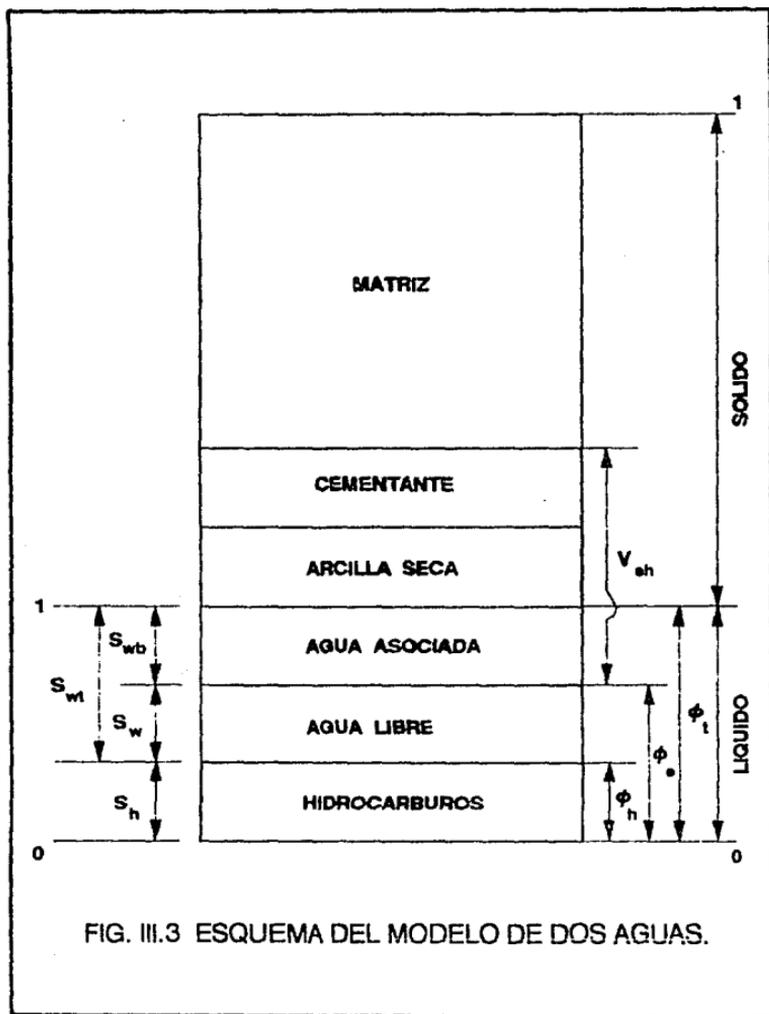
En el modelo de Dos Aguas, la arcilla es modelada como eléctricamente inerte, por lo tanto el fenómeno a tratar puede ser considerado para cualquier otro mineral no conductor.

En la fig. III.3 se puede apreciar esquemáticamente y de una forma clara el planteamiento global de este modelo. En esta figura se plantea en forma cualitativa la distribución de los elementos que actúan en el poro de un yacimiento con hidrocarburos, presencia de arcillas y el agua ligada a ésta debido a sus propiedades eléctricas.

Las arcillas son partículas semejantes a capas muy delgadas pero con una gran área de superficie. Esta característica crea una deficiencia de carga eléctrica positiva dentro de la capa y crea un fuerte campo eléctrico negativo perpendicular a la superficie de la misma, creando atracción de iones positivos (Na^+) y repeliendo iones negativos (Cl^-) que se encuentran en el agua.

Este fenómeno es la causa por la cual la arcilla retiene en su superficie una capa muy delgada de agua que forma parte insoluble de la misma. Esta película es llamada como "agua asociada" o "agua ligada" y es la que se encarga de conducir la corriente eléctrica. A pesar del espesor reducido de esta película, el volumen de agua puede ser significativo debido a la superficie del mineral de arcilla.

Debido a lo anterior, el modelo de Dos Aguas distingue a la arcilla como dos fases distintas, una sólida constituida exclusivamente por coloides secos y una líquida, constituida por el agua asociada.



Esto hace que la saturación de agua total se encuentre constituida por el agua libre en el poro y el agua asociada a la arcilla, como se aprecia en la siguiente ecuación :

$$S_{wt} = S_{wf} + S_{wb} \quad (3.13)$$

Para el desarrollo del método se utiliza la ecuación de saturación de Archie (ec.3.1) la cual se puede escribir en términos de conductividad utilizando además la relación del factor de formación con la porosidad.

$$C_t = \frac{\phi_t^m \cdot S_{wt}^n}{a} \cdot C_{we} \quad (3.14)$$

La Conductividad del Agua Equivalente (C_{we}) es la suma de las conductividades del agua libre y agua asociada y es expresada de la siguiente manera :

$$C_{we} = \frac{S_{wf} \cdot C_v + S_{wb} \cdot C_{wb}}{S_{wt}} \quad (3.15)$$

donde :

$$S_{wf} = \frac{V_w}{\phi_t} ; \quad S_{wb} = \frac{V_{wb}}{\phi_t} \quad (3.16)$$

sustituyendo 3.16 en 3.15 nos queda :

$$C_{we} = \frac{V_w C_v + V_{wb} C_{wb}}{\phi_t \cdot S_{wt}} \quad (3.17)$$

Tomando en cuenta que el volumen de agua se puede expresar de la siguiente manera :

$$V_w = \phi_t (S_{wt} - S_{wb}) \quad (3.18a)$$

$$V_{wb} = \phi_t S_{wb} \quad (3.18b)$$

Entonces la ecuación 3.17 se puede escribir de la siguiente manera :

$$C_{we} = \frac{\phi_t (S_{wt} - S_{wb}) C_w + \phi_t S_{wb} C_{wb}}{\phi_t \cdot S_{wt}} \quad (3.19)$$

Factorizando ϕ_t y desarrollando el numerador se tiene :

$$C_{we} = \left(\frac{S_{wt} - S_{wb}}{S_{wt}} \right) C_w + \left(\frac{S_{wb}}{S_{wt}} \right) C_{wb} \quad (3.20)$$

$$C_{we} = C_w + \left(\frac{S_{wb}}{S_{wt}} \right) (C_{wb} - C_w) \quad (3.21)$$

Sustituyendo la ecuación 3.21 en la 3.14 se tiene :

$$C_t = \frac{\phi_t^m S_{wt}^n}{a} \left(C_w + \left(\frac{S_{wb}}{S_{wt}} \right) (C_{wb} - C_w) \right) \quad (3.22)$$

Esta última, es la ecuación de saturación en términos de la conductividad en donde se relacionan los efectos de la conductividad del agua asociada a la arcilla.

Para determinar S_{wt} , se necesita suponer valores de la misma en un proceso iterativo. El valor de S_{wb} se obtiene con la figura III.4 con los valores de ϕ_w y ϕ_b .

Se ha demostrado también que la conductividad del agua asociada (C_{wb}) es independiente de la salinidad y solamente

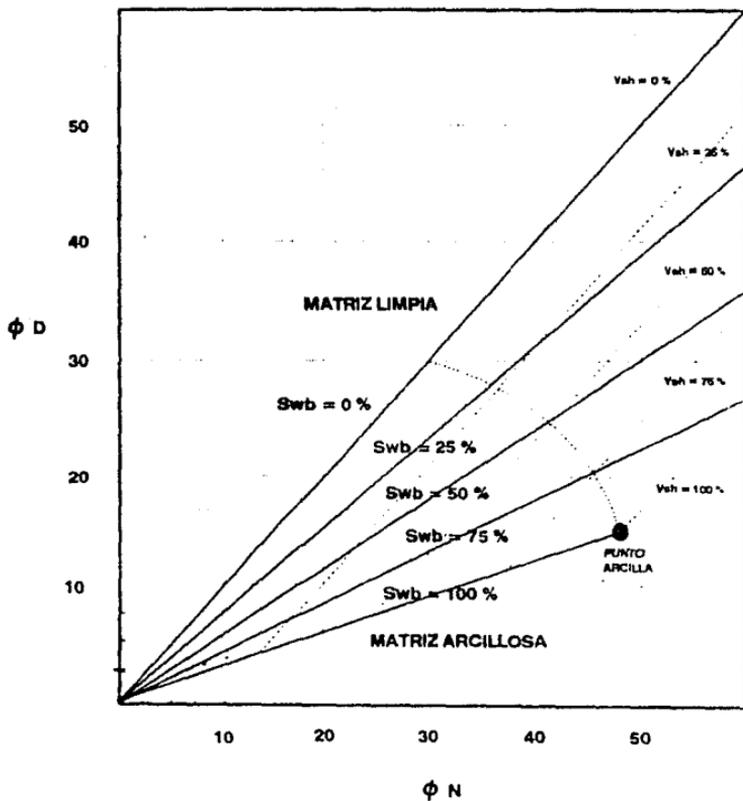


FIG. III.4 DETERMINACION DE Swb

depende de la temperatura. Este valor ha sido determinado a partir de mediciones en núcleos ($C_{wb} = 6.8$ mho/m).

Una vez obtenido el valor de S_{wt} , el cual se refiere al espacio total del poro, se obtiene la saturación de agua libre o saturación de agua (S_w) con la siguiente expresión :

$$S_w = \frac{S_{wt} - S_{wb}}{1 - S_{wb}} \quad (3.23)$$

Este valor representa la fracción de agua de formación que puede ser desplazada del poro con el cual de forma indirecta se puede obtener la fracción de hidrocarburos en la formación dentro del intervalo de interés. Con los valores anteriores se puede obtener el volumen de hidrocarburos en la formación con el uso de métodos de evaluación como : Balance de Materia, Isohidrocarburos, etc.

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE COMPUTO

El programa fue desarrollado en lenguaje BASIC utilizando el paquete de programación QUICK BASIC (QB) en la versión 4.5. Puede ser ejecutado en cualquier computadora personal que sea compatible con IBM, monitor de color y salida a impresora también compatible con IBM.

La lectura de los registros tanto de porosidad como de resistividad se debe hacer de archivos de datos previamente generados en algún paquete de escritura o procesador de palabras.

Estos archivos deberán contar con un orden establecido para poder ser leídos. La profundidad deberá aparecer en la primera columna, posteriormente los registros CNL, FDC, BHC, LLD Y MSFL.

La impresión de los resultados se presenta en la pantalla del monitor y tiene la opción para direccionar esta información hacia la impresora por medio de una subrutina.

Para la determinación de porosidad y litología, el programa genera un sistema de ecuaciones lineales de 3×3 , para el caso de los métodos de Gráficas Interrelacionadas, y de 4×4 para los métodos de Identificación de Matriz y M-N.

En estas ecuaciones las incógnitas son la porosidad y los porcentajes de minerales presentes en la roca:

$$\rho_b = \phi \cdot \rho_r + (1-\phi) \cdot (FDC1 \cdot M1 + FDC2 \cdot M2 + FDC3 \cdot M3)$$

$$\phi_N = \phi \cdot \phi_{Nr} + (1-\phi) \cdot (CNL1 \cdot M1 + CNL2 \cdot M2 + CNL3 \cdot M3)$$

$$t = \phi \cdot t_r + (1-\phi) \cdot (BHC1 \cdot M1 + BHC2 \cdot M2 + BHC3 \cdot M3)$$

$$1 = \phi + M1 + M2 + M3$$

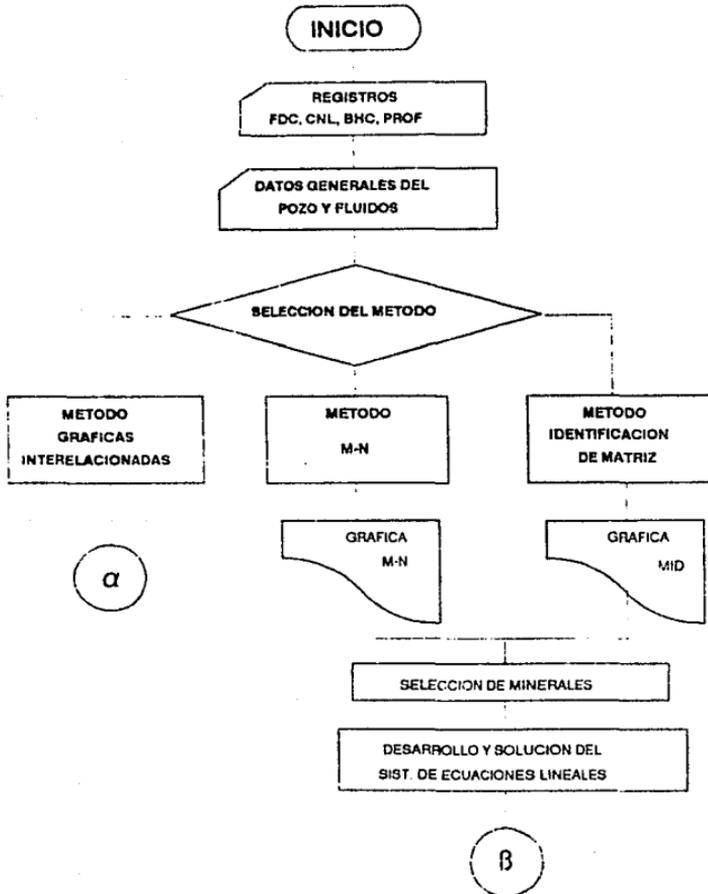
Al solucionar el sistema de ecuaciones se determina la porosidad y el porcentaje de los minerales seleccionados según sea la tendencia de los puntos graficados en el método elegido.

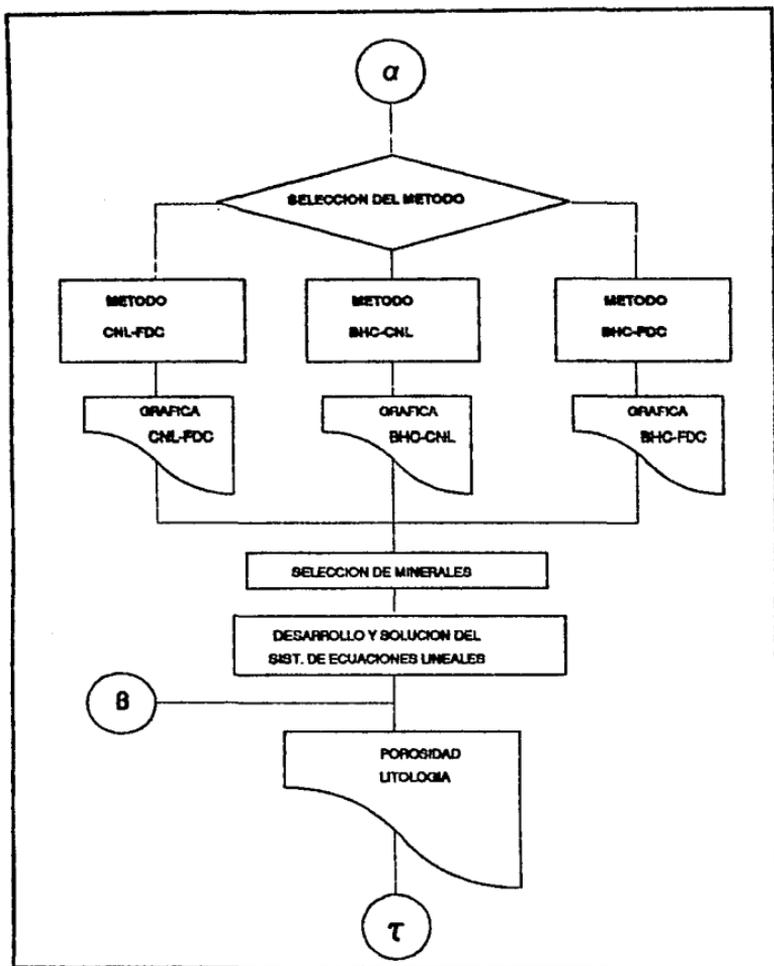
Los resultados obtenidos en este programa son ajustados convirtiendo los valores negativos en cero y repartiendo proporcionalmente la magnitud de estos valores entre los porcentajes de minerales restantes y la porosidad.

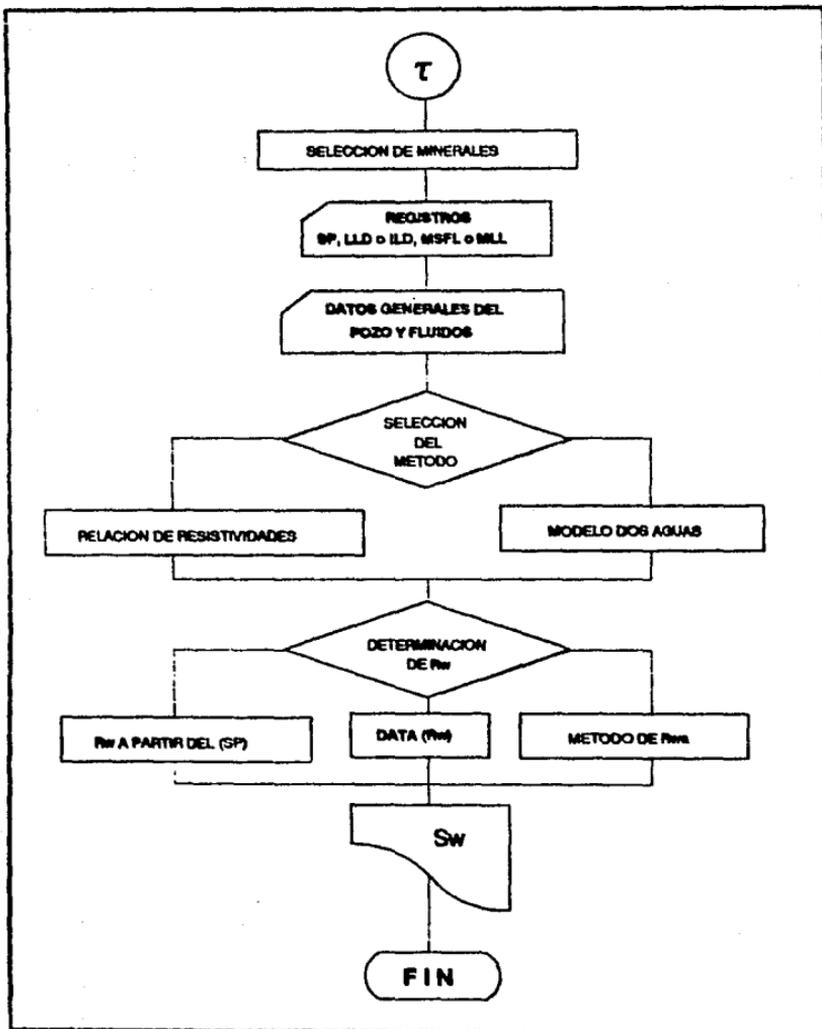
El programa fue diseñado de manera conversacional mediante el uso de pantallas. Su principal objetivo es facilitar las tareas de graficación e interpretación de la información obtenida de los registros geofísicos aplicando los métodos mostrados.

A continuación se presenta el diagrama de flujo simplificado por bloques en donde se podrá apreciar con mayor claridad la estructura del programa. Asimismo, se adiciona el listado del programa de cómputo.

DIAGRAMA DE FLUJO








```

OPEN DRIVES + "\ " + ARCHIVOS + ".CHI" FOR INPUT AS #1
I = 0
DO WHILE NOT EOF(1)
I = I + 1
INPUT #1, PROF(I), CNL(I), FDC(I), BHC(I), LLD(I), MSFL(I), LLS(I)
LOOP
170 CLOSE #1
NH = I: MONCHO = 0
LOCATE 20, 25: PRINT "OPRIMA (ENTER) PARA CONTINUAR..."
TEYES = " ": WHILE TEYES = " "
TEYES = INKEY$: WEND

CLS : CALL MARCO(N)
N = NH
NUMREG = 4
YAC = YAC + 1
IF YAC = 1 THEN
DIM SOLU(N, 5), XX(N), YY(N)
ELSE
REDIM SOLU(N, 5), XX(N), YY(N)
END IF
***** DATOS GENERALES *****
DATOS(1, 1) = 0: DATOS(1, 2) = 2.71: ORTOR(1, 3) = 47.5
DATOS(2, 1) = 8.5: DATOS(2, 2) = 2.87: DATOS(2, 3) = 42.5
DATOS(3, 1) = -5: DATOS(3, 2) = 2.65: DATOS(3, 3) = 55.5
DATOS(4, 1) = -2: DATOS(4, 2) = 2.90: DATOS(4, 3) = 50
DATOS(5, 1) = 49: DATOS(5, 2) = 2.35: DATOS(5, 3) = 52
DATOS(6, 1) = 4: DATOS(6, 2) = 2.03: DATOS(6, 3) = 67
DATOS(7, 2) = 2.7

OCA(1, 1) = 428: OCA(2, 1) = 370: OCA(3, 1) = 482: OCA(5, 1) = 282: OCA(4, 1) = 384
OCA(1, 2) = 120: OCA(2, 2) = 147: OCA(3, 2) = 131: OCA(5, 2) = 18: OCA(4, 2) = 135

LITS(1) = "CALCITA": LITS(2) = "DOLONITA": LITS(3) = "SILICE"
LITS(4) = "AMIDRITA": LITS(5) = "YESO": LITS(6) = "BAL"
LITS(7) = "ARCILLA"

RHM(1, 1) = .125: RHM(1, 2) = .117: RHM(1, 3) = .118: RHM(1, 4) = .114: RHM(1, 5) = .113
RHM(2, 1) = .07: RHM(2, 2) = .055: RHM(2, 3) = .052: RHM(2, 4) = .051: RHM(2, 5) = .05
RHM(3, 1) = .04: RHM(3, 2) = .028: RHM(3, 3) = .026: RHM(3, 4) = .025: RHM(3, 5) = .023
RHM(4, 1) = .033: RHM(4, 2) = .02: RHM(4, 3) = .018: RHM(4, 4) = .017: RHM(4, 5) = .0145
RHM(5, 1) = .03: RHM(5, 2) = .018: RHM(5, 3) = .018: RHM(5, 4) = .012: RHM(5, 5) = .0088
RHM(6, 1) = .028: RHM(6, 2) = .017: RHM(6, 3) = .01: RHM(6, 4) = .0088: RHM(6, 5) = .007
VEC(1) = .1: VEC(2) = .05: VEC(3) = .02: VEC(4) = .01: VEC(5) = .005: VEC(6) = .002
GOTO 28

20 CLS : CALL MARCO(N)
NUMREG = 2
LOCATE 4, 25: PRINT "*****"
LOCATE 5, 25: PRINT "GRAFICAS INTERRELACIONADAS =="
LOCATE 6, 25: PRINT "*****"
LOCATE 10, 22: PRINT "METODO FDC - CHL ....."
LOCATE 12, 22: PRINT "METODO FDC - BHC ....."

```

```

LOCATE 14, 22: PRINT " METODO CHL - BNC ..... "
LOCATE 10, 22: PRINT " .BALIR ..... "
LOCATE 10, 27: PRINT "*****"
LOCATE 20, 27: PRINT "== SELECCIONE LA OPCION =="
LOCATE 21, 27: PRINT "*****"
COLOR 15, 0
LOCATE 10, 50: PRINT "(A)"
LOCATE 12, 50: PRINT "(B)"
LOCATE 14, 50: PRINT "(C)"
LOCATE 10, 55: PRINT "<ESC>"
B0 = "": WHILE B0 = "": B0 = INKEYS: WEND

```

```

MAO = 0
IF B0 = "A" OR B0 = "a" THEN

```

```

***** METODO GRAFICO DE FDC - CHL *****

```

```

IF BALADO = 1 THEN
A(2, 1) = 1.1
ELSE
A(2, 1) = 1
END IF
COL1 = 1: COL2 = 2
A(1, 1) = 100
FOR I = 1 TO N
XX(I) = FDC(I)
YY(I) = CHL(I)
NEXT I
21 CALL GRAFIC2(N)
CLS : CALL GRAF21(N)
FOR I = 1 TO N
A = INT((CHL(I) * 0.8) + 240)
B = INT((FDC(I) - 2) * 800)
CIRCLE (A, B), 1, 2
PRINT (A, B)
NEXT I
INPUT "FFFF: LOCATE 21, 1: PRINT "
CALL BORRMAP("", 1, -1)
ELSE
IF B0 = "B" OR B0 = "b" THEN

```

```

***** METODO GRAFICO FDC - BNC *****

```

```

IF BALADO = 1 THEN
A(1, 1) = 1.1
A(2, 1) = 185
ELSE
A(1, 1) = 1
A(2, 1) = 189
END IF
COL1 = 2: COL2 = 3
FOR I = 1 TO N
XX(I) = FDC(I)
YY(I) = BNC(I)
NEXT I

```

```

23  CLS : CALL GRAF41(N)
    'CALL GRAF4(N)
    FOR I = 1 TO N
      A = INT((BNC(I) - 40) * 6 + 200)
      B = INT((FDC(I) - 2) * 275)
      CIRCLE (A, B), 5, 2
      PRINT (A, B)
    NEXT I
    INPUT FFFF: LOCATE 21, 1: PRINT " "
    CALL SCRDUMP("", 1, -1)

    ELSE

    IF B8 = "C" OR B9 = "C" THEN

```

***** METODO GRAFICO CHL - BNC *****

```

    IF SALADO = 1 THEN
      A(1, 1) = 100
      A(2, 1) = 185
    ELSE
      A(1, 1) = 100
      A(2, 1) = 188
    END IF
    COL1 = 1: COL2 = 3
    FOR I = 1 TO N
      YY(I) = BNC(I)
      XX(I) = CHL(I)
    NEXT I

```

```

24  'CALL GRAF3(N)
    CLS : CALL GRAF31(N)
    FOR I = 1 TO N
      B = INT((100 - BNC(I)) * 4.4)
      A = INT((CHL(I) * B) + 240)
      CIRCLE (A, B), 5, 2
      PRINT (A, B)
    NEXT I
    INPUT FFFF: LOCATE 20, 1: PRINT " "
    CALL SCRDUMP("", 1, -1)

```

```

    ELSE
    IF B8 = CHR$(27) THEN
      GOTO 27
    ELSE
      PRINT CHR$(7)
      GOTO 20
    END IF
    END IF
    END IF
    END IF

```

CALL IMPRIME(1)

***** SELECCION PAR LITOLÓGICO *****

```

43  CLS : CALL MARCO(N)

```

```

LOCATE 5, 20: PRINT "=====
LOCATE 6, 20: PRINT "== SELECCIONA EL PAR LITOLÓGICO ==
LOCATE 7, 20: PRINT "=====
LOCATE 10, 20: PRINT " CALCITA - DOLOMITA ....."
LOCATE 12, 20: PRINT " CALCITA - SILICE ....."
LOCATE 14, 20: PRINT " DOLOMITA - SILICE ....."
LOCATE 16, 20: PRINT " OTRA COMBINACION ....."
LOCATE 18, 20: PRINT " SALIN....."
LOCATE 21, 24: PRINT "=====
LOCATE 22, 24: PRINT "== SELECCIONE UNA OPCION ==
LOCATE 23, 24: PRINT "=====
COLOR 15, 9
LOCATE 10, 56: PRINT "(A)"
LOCATE 12, 56: PRINT "(B)"
LOCATE 14, 56: PRINT "(C)"
LOCATE 16, 56: PRINT "(D)"
LOCATE 18, 56: PRINT "(ESC)"

```

```

PAR$ = ""; WHILE PAR$ = "" : PAR$ = INKEY$: WEND

```

```

IF PAR$ = "A" OR PAR$ = "a" THEN
EQUIB = 1: YE = 2: GOTO 41
ELSE
IF PAR$ = "B" OR PAR$ = "b" THEN
EQUIB = 1: YE = 3: GOTO 41
ELSE
IF PAR$ = "C" OR PAR$ = "c" THEN
EQUIB = 2: YE = 3: GOTO 41
ELSE
IF PAR$ = "D" OR PAR$ = "d" THEN GOTO 42
IF PAR$ = CHR$(27) THEN GOTO 20
GOTO 43
END IF
END IF

```

42

```

CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 20: PRINT "=====
LOCATE 5, 20: PRINT "== SELECCIONA EL PAR DE MINERALES ==
LOCATE 6, 20: PRINT "=====
LOCATE 10, 24: PRINT "1.- CALIZA ..... (S/N) "
LOCATE 11, 24: PRINT "2.- DOLOMITA ..... (S/N) "
LOCATE 12, 24: PRINT "3.- SILICE ..... (S/N) "
LOCATE 13, 24: PRINT "4.- ANHIDRITA ..... (S/N) "
LOCATE 14, 24: PRINT "5.- YESO ..... (S/N) "
LOCATE 15, 24: PRINT "6.- SAL ..... (S/N) "
LOCATE 18, 24: PRINT "=====
LOCATE 20, 24: PRINT "== SELECCIONE DOS OPCIONES ==
LOCATE 21, 24: PRINT "== SI = [S] NO = [N] ==
LOCATE 22, 24: PRINT "=====
CONT = 0
FOR I = 1 TO 5
LOCATE 9 + I, 56: PRINT CHR$(190): CS = "" : WHILE CS = "" : CS = INKEY$: WEND
LOCATE 9 + I, 56: PRINT " "
IF CS = "S" OR CS = "s" THEN
CONT = CONT + 1

```

```
IF CONT = 1 THEN
EQUIS = I
```

```
ELSE
```

```
YE = I
```

```
I = 8
```

```
END IF
```

```
END IF
```

```
NEXT I
```

41

```
A(1, 2) = DATOS(EQUIS, COL1)
```

```
A(2, 2) = DATOS(EQUIS, COL2)
```

```
A(1, 3) = DATOS(YE, COL1)
```

```
A(2, 3) = DATOS(YE, COL2)
```

```
A(3, 1) = 1: A(3, 2) = 1: A(3, 3) = 1: TIND(3) = 1
```

```
NONCHO = NONCHO + 1
```

```
CLS : CALL MARCO(N)
```

```
LOCATE 3, 52: PRINT LITS(EQUIS)
```

```
LOCATE 3, 85: PRINT LITS(YE)
```

```
IF B5 = "A" OR B6 = "a" THEN
```

```
LOCATE 3, 4: PRINT "PROF" FDC CHL "": PRINT
```

```
ELSE
```

```
IF B5 = "B" OR B6 = "b" THEN
```

```
LOCATE 3, 4: PRINT "PROF" FDC BHC "": PRINT
```

```
ELSE
```

```
LOCATE 3, 4: PRINT "PROF" CHL BHC "": PRINT
```

```
END IF
```

```
END IF
```

```
FOR I = 1 TO N
```

```
IF B5 = "A" OR B6 = "a" THEN
```

```
TIND(1) = CHL(I)
```

```
TIND(2) = FDC(I)
```

```
ELSE
```

```
IF B5 = "B" OR B6 = "b" THEN
```

```
TIND(1) = FDC(I)
```

```
TIND(2) = BHC(I)
```

```
ELSE
```

```
TIND(1) = CHL(I)
```

```
TIND(2) = BHC(I)
```

```
END IF
```

```
END IF
```

SOLUCION DE MATRICES 3x3

```
X1 = A(1, 1)
```

```
Y2 = A(2, 1)
```

```
Z3 = A(3, 1)
```

```
C1 = A(1, 2) / X1
```

```
B1 = A(1, 3) / X1
```

```
X2 = A(2, 2) - Y2 * C1
```

```
C2 = (A(2, 3) - Y2 * B1) / X2
```

```
Y3 = A(3, 2) - Z3 * C1
```

```
X3 = A(3, 3) - Y3 * C2 - Z3 * B1
```

```
H1 = TIND(1) / X1
```

```
H2 = (TIND(2) - Y2 * H1) / X2
```

```
X(3) = (TIND(3) - Z3 * H1 - Y3 * H2) / X3
```

```

X(2) = (H2 - C2 * X(3))
X(1) = (H1 - C1 * X(2) - B1 * X(3))

```

```

FOR J = 1 TO NUMREG + 1
SOLU(I, J) = X(J) * 100
NEXT J
FOR J = 1 TO NUMREG + 1
IF SOLU(I, 2) < 0 THEN
IF SOLU(I, 3) < 0 THEN
SOLU(I, 2) = 0: SOLU(I, 3) = 0
ELSE
SOLU(I, 3) = SOLU(I, 3) + SOLU(I, 2)
SOLU(I, 2) = 0
END IF
ELSE
IF SOLU(I, 3) < 0 THEN
SOLU(I, 3) = SOLU(I, 2) + SOLU(I, 3)
SOLU(I, 2) = 0
END IF
END IF
NEXT J

```

```

PRINT USING " ###.0 ##.### ###.### ##.### ###.### ###.### ";
PRINT PROF(I); XX(I); YY(I); SOLU(I, 1); SOLU(I, 2); SOLU(I, 3)
CALL MARCO(N)
MAO = MAO + 1
IF MAO = 17 THEN
LOCATE 23, 4: PRINT " OPRIMA (ENTER) PARA CONTINUAR.... "
AS = "": WHILE AS = "": AS = INKEYS: WEND
CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 3, 52: PRINT LITS(EQUIS)
LOCATE 3, 65: PRINT LITS(YE)
IF B$ = "A" OR B$ = "a" THEN
LOCATE 3, 4: PRINT " PROF FDC CHL m": PRINT
ELSE
IF B$ = "B" OR B$ = "b" THEN
LOCATE 3, 4: PRINT " PROF FDC SHC m": PRINT
ELSE
LOCATE 3, 4: PRINT " PROF CHL SHC m": PRINT
END IF
END IF
MAO = 0
END IF
NEXT I

```

```

LOCATE 23, 4: PRINT " IMPRIMIR RESULTADOS ( B/N ) " : IMPR$ = "": WHILE IMPR$ = ""
IMPR$ = INKEYS
WEND
IF IMPR$ = "B" OR IMPR$ = "b" THEN
LOCATE 23, 1: PRINT " OPRIMA (ENTER) "
AS = "": WHILE AS = "": AS = INKEYS: WEND
LOCATE 23, 1: PRINT " ";
IF B$ = "A" OR B$ = "a" THEN
LPRINT " PROF FDC CHL m": LPRINT
ELSE
IF B$ = "B" OR B$ = "b" THEN

```

```

LPRINT " PROF FDC BHC #": LPRINT
ELSE
LPRINT " PROF CHL BHC #": LPRINT
END IF
END IF

```

```

FOR I = 1 TO N
LPRINT USING " ###.## ###.### ###.### ###.### ###.### ";
LPRINT PROF(I); XX(I); YY(I); SOLU(I, 1); SOLU(I, 2); SOLU(I, 3)
NEXT I
END IF

```

```

***** MENU PRINCIPAL *****

```

```

20 CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "== MENU PRINCIPAL ==
LOCATE 6, 22: PRINT "== POROSIDAD Y SATURACION DE AGUA =="
LOCATE 7, 22: PRINT "=====
LOCATE 11, 21: PRINT "CALCULO DE POROSIDAD (n)....."
LOCATE 13, 21: PRINT "SATURACION DE AGUA (Sw)....."
LOCATE 15, 21: PRINT "LECTURA DE DATOS....."
LOCATE 17, 21: PRINT "SALIR....."
LOCATE 21, 23: PRINT "=====
LOCATE 22, 23: PRINT "== SELECCIONE UNA OPCION =="
LOCATE 23, 23: PRINT "=====
LOCATE 23, 5: PRINT "FIGURA V.2"
COLOR 15, 9
LOCATE 11, 59: PRINT "(A)"
LOCATE 13, 59: PRINT "(B)"
LOCATE 15, 59: PRINT "(C)"
LOCATE 17, 58: PRINT "(ESC)"
F$ = "": WHILE F$ = "": F$ = INKEY$: WEND
'CALL SCRNDUMP("", 1, -1)
IF F$ = CHR$(27) THEN GOTO 145
IF F$ = "A" OR F$ = "a" THEN GOTO 27
IF F$ = "B" OR F$ = "b" THEN GOTO 10
IF F$ = "C" OR F$ = "c" THEN GOTO 146
PRINT CHR$(7)
GOTO 28

```

```

27 CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "== METODOS PARA DETERMINAR ==
LOCATE 6, 22: PRINT "== POROSIDAD Y LITOLOGIA =="
LOCATE 7, 22: PRINT "=====
LOCATE 11, 17: PRINT "GRAFICAS CRUZADAS....."
LOCATE 13, 17: PRINT "METODO H vs N....."
LOCATE 15, 17: PRINT "IDENTIFICACION DE MATRIZ....."
LOCATE 17, 17: PRINT "SALIR....."
LOCATE 21, 22: PRINT "=====
LOCATE 22, 22: PRINT "== SELECCIONE UNA OPCION =="
LOCATE 23, 22: PRINT "=====
LOCATE 23, 5: PRINT "FIGURA V.3"
COLOR 15, 9
LOCATE 11, 59: PRINT "(A)"

```

```

LOCATE 13, 59: PRINT "(B)"
LOCATE 15, 59: PRINT "(C)"
LOCATE 17, 58: PRINT "<ESC>"
D$ = "": WHILE D$ = "": D$ = INKEYS: WEND
CALL SCRNDUMP("", 1, -1)

```

***** METODO DE M vs N *****

```

NAO = 0
IF D$ = "A" OR D$ = "a" THEN GO TO 20
IF D$ = "B" OR D$ = "b" THEN
CO1 = 0
32 CLS : CALL GRAFMN1(N)
CO1 = CO1 + 1
IF SALADO = 1 THEN
A(3, 1) = 185: A(1, 1) = 100: A(2, 1) = 1.1
ELSE
A(3, 1) = 189: A(1, 1) = 100: A(2, 1) = 1
END IF
FOR I = 1 TO N
EME = (A(3, 1) - BHC(I)) / (FDC(I) - A(2, 1)) * .01
ENE = (A(1, 1) - CHL(I)) / (FDC(I) - A(2, 1)) * .01
A = EME * 800 - 40
B = (1.05 - EME) * 560
PSET (A, B)
CIRCLE (A, B), 5, 2
NEXT I
INPUT FFFF: LOCATE 21, 1: PRINT " "
CALL SCRNDUMP("", 1, -1)

IF CO1 <> 1 THEN
34 VIEW SCREEN (25, 305)-(290, 325), 1, 14
LOCATE 23, 5: INPUT "INTRODUCE EL VALOR DE N = ", AR2
CLS : VIEW SCREEN (25, 305)-(290, 325), 1, 14
LOCATE 23, 5: INPUT "INTRODUCE EL VALOR DE M = ", AR1
CLS : VIEW SCREEN (25, 305)-(290, 325), 1, 14
VIEW
A = AR2 * 800 - 40
B = (1.05 - AR1) * 560
PSET (A, B)
CIRCLE (A, B), 4
CIRCLE (A, B), 2
AA = OCA(EQUIS, 1): BB = OCA(EQUIS, 2)
AA1 = OCA(YE, 1): BB1 = OCA(YE, 2)
LINE (A, B)-(AA, BB)
LINE (A, B)-(AA1, BB1)
VIEW
LOCATE 23, 5: PRINT "FIGURA V.10"
LOCATE 21, 1: INPUT FFFF: LOCATE 21, 1: PRINT " "
CALL SCRNDUMP("", 1, -1)

36 VIEW SCREEN (25, 305)-(330, 325), 1, 14
LOCATE 23, 5: PRINT "DESEAS CAMBIAR PUNTO DE ARCILLA (S/H)"
XH$ = "": WHILE XH$ = "": XH$ = INKEYS: WEND: CLS
VIEW SCREEN (24, 304)-(331, 326), 1
IF XH$ = "S" OR XH$ = "s" THEN

```

```

VIEW
LINE (A, B)-(AA, BB), 1
LINE (A, B)-(AA1, BB1), 1
PSET (A, B), 1
CIRCLE (A, B), 4, 0
CIRCLE (A, B), 2, 0
GOTO 34
END IF
IF XH$ = "N" OR XH$ = "n" THEN GOTO 37
VIEW SCREEN (25, 305)-(330, 325), 1, 14
LOCATE 23, 5: PRINT CHR$(7)
CLS
GOTO 36
37 CLS
VIEW
GOTO 33
END IF

ELSE

```

```

***** PROCESO DEL MID *****

```

```

IF DS = "C" OR DS = "c" THEN
CLS : CALL GRAMMID1(N)
IF SALADO = 1 THEN
A(2, 1) = 1.1
ELSE
A(2, 1) = 1
END IF
COL1 = 1: COL2 = 2
A(1, 1) = 100
FOR I = 1 TO N
XX(I) = FDC(I)
YY(I) = CNL(I)
NEXT I

EQUIB = 2: YE = 3
A(1, 2) = DATOS(EQUIB, COL1)
A(2, 2) = DATOS(EQUIB, COL2)
A(1, 3) = DATOS(YE, COL1)
A(2, 3) = DATOS(YE, COL2)
A(3, 1) = 1: A(3, 2) = 1: A(3, 3) = 1: TIND(3) = 1

FOR n = 1 TO N
TIND(1) = CNL(n)
TIND(2) = FDC(n)
X1 = A(1, 1)
Y2 = A(2, 1)
Z3 = A(3, 1)
C1 = A(1, 2) / X1
B1 = A(1, 3) / X1
X2 = A(2, 2) - Y2 * C1
C2 = (A(2, 3) - Y2 * B1) / X2
Y3 = A(3, 2) - Z3 * C1
X3 = A(3, 3) - Y3 * C2 - Z3 * B1
H1 = TIND(1) / X1

```

```

M2 = (TIND(2) - Y2 * M1) / X2
X(3) = (TIND(3) - Z3 * H1 - Y3 * M2) / X3
X(2) = (M2 - C2 * X(3))
X(1) = (M1 - C1 * X(2) - B1 * X(3))
PORO = (CNL(M) + X(1) * 100) / 2
DMAA(M) = (FDC(M) - PORO / 100) / (1 - PORO / 100)
TMAA(M) = (BHC(M) - PORO / 100 * 189) / (1 - PORO / 100)
A = TMAA(M) * B
B = (DMAA(M) - 2) * 212.5 + 5
PSET (A, B)
CIRCLE (A, B), 5, 2
NEXT M
INPUT FFFF: LOCATE 20, 1: PRINT " "
CALL SCRNDUMP("", 1, -1)

```

```
CALL IMPRIME(N)
```

```

19 CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT " SELECCIONA LOS MINERALES QUE FORMAN"
LOCATE 5, 22: PRINT " EL TRIANGULO LITOLÓGICO"
LOCATE 10, 24: PRINT " CALCITA....."
LOCATE 11, 24: PRINT " DOLOMITA....."
LOCATE 12, 24: PRINT " SILICE....."
LOCATE 13, 24: PRINT " ANHIDRITA....."
LOCATE 14, 24: PRINT " SAL....."
LOCATE 15, 24: PRINT " SALIR....."
LOCATE 20, 27: PRINT "<S> = SI <N> = NO"
COLOR 15, 9
FOR IR = 10 TO 14
LOCATE IR, 46: PRINT "(S / N)"
NEXT IR
LOCATE 15, 47: PRINT "<ESC>"
COLOR 14, 9

CONT = 0: SWICH = 0
FOR I = 1 TO 5
LOCATE 9 + I, 58: PRINT CHR$(27): C$ = "": WHILE C$ = "": C$ = INKEY$: WEND
LOCATE 9 + I, 59: PRINT " "
IF C$ = CHR$(27) THEN GOTO 27
IF C$ = "S" OR C$ = "N" THEN
LOCATE 9 + I, 55: PRINT "S"
CONT = CONT + 1
IF CONT = 1 THEN
EQUIS = 1
ELSE
IF CONT = 2 THEN
YE = I
ELSE
ZETA = I: I = 5: SWICH = 1
ZETA1 = ZETA
IF ZETA = 5 THEN
ZETA1 = 6
END IF
END IF
END IF
ELSE

```

```
LOCATE 9 + I, 55: PRINT "N"  
END IF  
NEXT I
```

```
IF SWICH <> 1 THEN  
PRINT CHR$(7)  
FOR IR = 10 TO 14  
LOCATE IR, 55: PRINT "  
NEXT IR  
LOCATE 23, 25: PRINT "SELECCIONA TRES MINERALES"  
GOTO 19  
END IF
```

```
A(1, 2) = DATOS(EQUIS, 1)  
A(1, 3) = DATOS(YE, 1)  
A(1, 4) = DATOS(ZETA1, 1)  
A(2, 2) = DATOS(EQUIS, 2)  
A(2, 3) = DATOS(YE, 2)  
A(2, 4) = DATOS(ZETA1, 2)  
A(3, 2) = DATOS(EQUIS, 3)  
A(3, 3) = DATOS(YE, 3)  
A(3, 4) = DATOS(ZETA1, 3)  
A(4, 1) = 1: A(4, 2) = 1: A(4, 3) = 1: A(4, 4) = 1: TIND(4) = 1  
GOTO 89
```

```
ELSE
```

```
IF D$ = CHR$(27) THEN GOTO 26  
PRINT CHR$(7)  
GOTO 27  
END IF  
END IF
```

```
CALL IMPRIME(N)
```

```
*****
```

```
SELECCION TRIANGULO LITOLOGICO
```

```
*****
```

```
MIID: CALL MARCO(N)
```

```
LOCATE 4, 22: PRINT " SELECCIONA LOS MINERALES QUE FORMAH"  
LOCATE 5, 22: PRINT " EL TRIANGULO LITOLOGICO"  
LOCATE 10, 22: PRINT " CALCITA....."  
LOCATE 11, 22: PRINT " DOLOMITA....."  
LOCATE 12, 22: PRINT " SILICE....."  
LOCATE 13, 22: PRINT " ANHIDRITA....."  
LOCATE 14, 22: PRINT " YESO....."  
LOCATE 15, 22: PRINT " ARCILLA....."  
LOCATE 16, 22: PRINT " SALIR....."  
LOCATE 21, 30: PRINT "<S> = SI <H> = NO"  
COLOR 15, 9  
FOR IR = 10 TO 15  
LOCATE IR, 50: PRINT "(S / N)"  
NEXT IR  
LOCATE 16, 50: PRINT "<ESC>"  
COLOR 14, 9
```

```
74 CONT = 0
```

```

FOR I = 1 TO 6
LOCATE 9 + I, 59: PRINT CHR$(27): CS = "" : WHILE CS = "" : CS = INKEYS : WEND
LOCATE 9 + I, 59: PRINT " "
IF CS = CHR$(27) THEN GOTO 27
IF CS = "S" OR CS = "a" THEN
LOCATE 9 + I, 59: PRINT "S"
CONT = CONT + 1
IF CONT = 1 THEN EQUIS = I
IF CONT = 2 THEN YE = I
IF CONT = 3 THEN ZETA = I : I = 6
ZETA1 = ZETA
IF ZETA = 6 THEN ZETA1 = 7
ELSE
LOCATE 9 + I, 59: PRINT "N"
END IF
NEXT I
IF CONT < 3 THEN
PRINT CHR$(7)
LOCATE 23, 28: PRINT "SELECCIONA TRES MINERALES"
FOR IR = 10 TO 15
LOCATE IR, 57: PRINT " "
NEXT IR
GOTO 74
END IF
IF ZETA = 6 THEN GOTO 32
GOTO 89
33 CALL INPRIME(N)
DATOS(7, 1) = A(1, 1) - (AR2 * (2.7 - A(2, 1)) / .01)
DATOS(7, 3) = A(3, 1) - (AR1 * 100 * (2.7 - A(2, 1)))

```

```

69 CLS : CALL MARCO(N)
MONCHO = 1
LOCATE 3, 4: PRINT " PROF FDC CHL BHC # "
LOCATE 3, 48: PRINT LIYS(EQUIS)
LOCATE 3, 59: PRINT LIYS(YE)
LOCATE 3, 71: PRINT LIYS(ZETA1)
PRINT
A(1, 2) = DATOS(EQUIS, 1)
A(1, 3) = DATOS(YE, 1)
A(1, 4) = DATOS(ZETA1, 1)
A(2, 2) = DATOS(EQUIS, 2)
A(2, 3) = DATOS(YE, 2)
A(2, 4) = DATOS(ZETA1, 2)
A(3, 2) = DATOS(EQUIS, 3)
A(3, 3) = DATOS(YE, 3)
A(3, 4) = DATOS(ZETA1, 3)
A(4, 1) = 1: A(4, 2) = 1: A(4, 3) = 1: A(4, 4) = 1: TIND(4) = 1

```

***** SOLUCION DE MATRICES 4*4 *****

```

X1 = A(1, 1)
Y2 = A(2, 1)
Z3 = A(3, 1)
D4 = A(4, 1)

```



```

PRINT PROF(I); FDC(I); CHL(I); BHC(I); SOLU(I, 1); AAS(I, 1); SOLU(I, 2); AAS(I, 2);
PRINT SOLU(I, 3); AAS(I, 3); SOLU(I, 4); AAS(I, 4)
CALL MARCO(N)
MAO = MAO + 1
IF MAO = 17 THEN
LOCATE 23, 4: PRINT " OPRIMA (ENTER) PARA CONTINUAR....."
AS = " ": WHILE AS = " ": AS = INKEYS: WEND
CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 3, 4: PRINT " PROF FDC CHL BHC "
LOCATE 3, 48: PRINT LITS(EQUIS)
LOCATE 3, 58: PRINT LITS(YE)
LOCATE 3, 71: PRINT LITS(ZETA1)
PRINT
MAO = 0
END IF
NEXT I

LOCATE 23, 4: PRINT " IMPRIMIR RESULTADOS ( S/N )": IMPRS = " ": WHILE IMPRS = " "
IMPRS = INKEYS
WEND
IF IMPRS = "S" OR IMPRS = "s" THEN
LOCATE 23, 1: PRINT " OPRIMA (ENTER)"
AS = " ": WHILE AS = " ": AS = INKEYS: WEND
LOCATE 23, 1: PRINT "
$$$ = 0
LPRINT : LPRINT
LPRINT " PROF FDC CHL BHC PHI "; LITS(EQUIS); " "; LITS(YE); " "; LITS(ZETA1)
LPRINT : LPRINT
FOR I = 1 TO N
$$$ = $$$ + 1
LPRINT USING " ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.## ###.##"
LPRINT PROF(I); FDC(I); CHL(I); BHC(I); SOLU(I, 1); AAS(I, 1); SOLU(I, 2); AAS(I, 2); SOLU(I, 3);
LPRINT AAS(I, 3); SOLU(I, 4); AAS(I, 4)
IF $$$ = 28 THEN
LPRINT : LPRINT
LPRINT " PROF FDC CHL BHC PHI "; LITS(EQUIS); " "; LITS(YE); " "; LITS(ZETA1)
LPRINT : LPRINT
$$$ = 0
END IF
NEXT I
END IF
NEXT I
GOTO 27

```

```

*****
***** SATURACION DE AGUA ( Sw ) *****
*****

```

```
10 CLS : CALL MARCO(N)
```

```

LOCATE 4, 22: PRINT "*****"
LOCATE 5, 22: PRINT "== METODOS PARA DETERMINAR =="
LOCATE 6, 22: PRINT "== SATURACION DE AGUA =="
LOCATE 7, 22: PRINT " ( Sw ) =="
LOCATE 8, 22: PRINT "*****"
LOCATE 12, 17: PRINT " RELACION DE RESISTIVIDADES....."
LOCATE 14, 17: PRINT " DOS AGUAS....."

```

```

LOCATE 18, 17: PRINT " SALIR....."
LOCATE 21, 22: PRINT "=====
LOCATE 22, 22: PRINT "== SELECCIONE UNA OPCION ==
LOCATE 23, 22: PRINT "=====
LOCATE 23, 5: PRINT "FIGURA V.4"
COLOR 15, 9
LOCATE 12, 57: PRINT "(A)"
LOCATE 14, 57: PRINT "(B)"
LOCATE 16, 58: PRINT "<ESC>"
F$ = "": WHILE F$ = "": F$ = INKEY$: WEND
*CALL SCRNDUMP("", 1, -1)
IF F$ = "A" OR F$ = "a" THEN IRMF = 1: GOTO 151
IF F$ = "B" OR F$ = "b" THEN
FOR I = 1 TO N
SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
SOLU(I, 1) = (SOLU(I, 1) + CHL(I)) / 2
NEXT I
GOTO 151
END IF
IF F$ = CHR$(27) THEN GOTO 28
PRINT CHR$(7)
GOTO 10

```

```

151 CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "== METODOS PARA DETERMINAR =="
LOCATE 6, 22: PRINT "=== RESISTIVIDAD DEL AGUA DE FORMACION ==="
LOCATE 7, 22: PRINT "== ( Rw ) ==
LOCATE 8, 22: PRINT "=====
LOCATE 12, 17: PRINT " METODO DEL ( SP )....."
LOCATE 14, 17: PRINT " METODO DE ( Rwa )....."
LOCATE 16, 17: PRINT " DATO { Rw }....."
LOCATE 18, 17: PRINT " SALIR....."
LOCATE 21, 22: PRINT "=====
LOCATE 22, 22: PRINT "== SELECCIONE UNA OPCION ==
LOCATE 23, 22: PRINT "=====
COLOR 15, 9
LOCATE 12, 57: PRINT "(A)"
LOCATE 14, 57: PRINT "(B)"
LOCATE 16, 57: PRINT "(C)"
LOCATE 18, 58: PRINT "<ESC>"
G$ = "": WHILE G$ = "": G$ = INKEY$: WEND
TFON = PROF / 30
IF G$ = CHR$(27) THEN GOTO 10
IF UCASE$(G$) = "C" THEN
CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "== LECTURA DE Rw COMO DATO =="
LOCATE 6, 22: PRINT "=====
LOCATE 12, 17: INPUT " RESISTIVIDAD DEL AGUA (Rw) [Otra ->] "; Rw
LOCATE 14, 17: INPUT " RESISTIVIDAD DEL FILTRADO (Rmf) [Otra ->] "; Rmf
TSUP = 25
GOTO 234
END IF

```

```

81 CLS : CALL MARCO(1)

```

```

LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "==          LITOLOGIA SUPUESTA          ==
LOCATE 6, 22: PRINT "=====
LOCATE 11, 17: PRINT "   CARBONATOS   (m=1, m=2)....."
LOCATE 13, 17: PRINT "   ARENAS     (m=.82, m=2.15)....."
LOCATE 15, 17: PRINT "   FORMULA DE HUNBLE (m=.81, m=2)....."
LOCATE 17, 17: PRINT "   SALIR .....
LOCATE 21, 22: PRINT "=====
LOCATE 22, 22: PRINT "==   SELECCIONE UNA OPCION   ==
LOCATE 23, 22: PRINT "=====
COLOR 15, 9
LOCATE 11, 65: PRINT "(A)"
LOCATE 13, 65: PRINT "(B)"
LOCATE 15, 65: PRINT "(C)"
LOCATE 17, 64: PRINT "(ESC)"
MS = "": WHILE MS = "": MS = INKEYS: WEND
IF MS = "A" OR MS = "a" THEN A = 1: N = 2: GOTO 82
IF MS = "B" OR MS = "b" THEN A = .01: N = 2.15: GOTO 82
IF MS = "C" OR MS = "c" THEN A = .81: N = 2: GOTO 82
IF MS = CHR$(27) THEN GOTO 151
PRINT CHR$(7)
GOTO 81

```

```
82 IF OS = "A" OR OS = "a" THEN
```

```

*..... SP .....

```

```

CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 4, 22: PRINT "=====
LOCATE 5, 22: PRINT "==          DATOS GENERALES          ==
LOCATE 6, 22: PRINT "==          CONDICIONES DEL POZO          ==
LOCATE 7, 22: PRINT "=====
LOCATE 20, 25: PRINT "   <ENTER> PARA CONTINUAR"
LOCATE 21, 25: PRINT "   <ESC> PARA SALIR"
LOCATE 12, 17: INPUT "   RESISTIVIDAD DEL FILTRADO (Rmf)   [Jw] "; Rmf
LOCATE 14, 17: INPUT "   TEMPERATURA DE SUPERFICIE   [Jd] "; TSUP
LOCATE 16, 17: INPUT "   POTENCIAL ESPONTANEO ESTATICO (SSP) [mv] "; SSP
SS = "": WHILE SS = "": SS = INKEYS: WEND
IF SS = CHR$(27) THEN GOTO 81
PROF = (PROF(1) + PROF(N)) / 2
K = .65 + .24 * TFON
RHF1 = RHF * (TSUP + 21.5) / (TFON + 21.5)
RHF2 = RHF1 * .85
RHE = RHF2 / (10 ^ (SSP / K))
IF TFON <= 100 THEN SWICH = 1: GOTO 213
IF TFON <= 200 THEN SWICH = 1: GOTO 213
IF TFON <= 300 THEN SWICH = 2: GOTO 213
IF TFON <= 400 THEN SWICH = 3: GOTO 213
IF TFON <= 500 THEN SWICH = 4: GOTO 213
SWICH = 4
213 IF RHE >= .05 THEN SWACH = 2: GOTO 214
IF RHE >= .02 THEN SWACH = 3: GOTO 214
IF RHE >= .01 THEN SWACH = 4: GOTO 214
IF RHE >= .005 THEN SWACH = 5: GOTO 214
SWACH = 6

```

```

214 RW1 = RMW(SWACH - 1, SWICH) - ABS(RMN(SWACH - 1, SWICH) - RMN(SWACH - 1, SWICH + 1)) / 58 * (TFON - 100 * SWICH)
RW2 = RMW(SWACH, SWICH) - ABS(RMN(SWACH, SWICH) - RMN(SWACH, SWICH + 1)) / 58 * (TFON - 100 * SWICH)
RW = RW2 + ABS((RW2 - RW1) * (RVE - VEC(SWACH)) / (VEC(SWACH) - VEC(SWACH - 1)))
ELSE

```

```

***** Rva *****

```

```

IF MONCHO = 0 THEN SOLU(1, 1) = ((2.71 - FDC(I)) / 1.71 + CHL(I) / 100) / 2 * 100
F = .81 / ((SOLU(1, 1) / 100) ^ 2)
RW = LLD(I) / F
FOR I = 2 TO N
IF MONCHO = 0 THEN SOLU(I, 1) = ((2.71 - FDC(I)) / 1.71 + CHL(I) / 100) / 2 * 100
F = .81 / ((SOLU(I, 1) / 100) ^ 2)
RVA = LLD(I) / F
IF RWA <= RW THEN
RW = RVA
END IF
NEXT I
END IF

```

```

IF INMF = 1 THEN
CLS : CALL MARCO(8)
LOCATE 4, 22: PRINT "*****"
LOCATE 5, 22: PRINT "aa LECTURA DE RW COMO DATO aa"
LOCATE 6, 22: PRINT "*****"
LOCATE 14, 17: IMPUT " RESISTIVIDAD DEL FILTRADO (RW) [Cm -1] "; RW
END IF
INMF = 0

```

```

234 IF PB = "A" OR PS = "a" THEN GOTO 147
IF PS = "B" OR PS = "b" THEN GOTO 148

```

```

***** RELACION DE RESISTIVIDADES *****

```

```

147 CLS
RWF = .2
RWF1 = RWF * ((31.77 / (((PROF(1) + PROF(N)) / 2) / 30) + 28.77))
CTER = RWF1 / RW
FOR I = 1 TO N
BWR(I) = (HREF(I) / LLD(I) / CTER) * (5 / 8) * 100
NEXT I
GOTO 149

```

```

***** DOS AGUAS *****

```

```

148 FOR I = 1 TO N
IF MONCHO = 0 THEN
IF CHL(I) / 100 < ABS(2.71 - FDC(I)) / 1.71 THEN
SOLU(I, 1) = (((ABS(2.71 - FDC(I)) / 1.71) ^ 2 + (CHL(I) / 100) ^ 2) / 2) ^ .5 * 100
SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
ELSE
SOLU(I, 1) = ((2.71 - FDC(I)) / 1.71 + CHL(I) / 100) / 2 * 100
SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
END IF
END IF

```

```

TETA1 = ATN(CNL(I) / SOLU(I, 1)) * 180 / 3.14159265
IF TETA1 >= 45 AND TETA1 <= 72.84 THEN
  SWB(I) = (TETA1 - 45) / .2784 / 100
ELSE
  IF TETA1 > 72.84 THEN
    SWB(I) = .3
  ELSE
    SWB(I) = 0
  END IF
END IF
CMB = 0.8 * ((PROF(I) / 30) + 0.77) / 31.77
SMT1 = .5
218 MHRR = (SOLU(I, 1) / 100) ^ 2 * ((1 / RM) + SWB(I) / SMT1 * ((1 / CMB) - (1 / RM)))
IF MHRR < 0 THEN MHRR = ABS(MHRR)
SMT = ((1 / LLD(I)) / MHRR) ^ (.5)
DIF = ABS(SMT - SMT1)
IF DIF <= .01 THEN GOTO 221
SMT1 = SMT: GOTO 218
221 SW(I) = ABS(SMT - SWB(I)) / (1 - SWB(I))
NEXT I

***** IMPRESION DE SW *****

149 IF F6 = "A" OR F6 = "a" THEN
  MAG = 0
  CLR : CALL MARCO(H)
  LOCATE 3, 10: PRINT " PROF      LLD      MSFL      SW"
  PRINT
  FOR I = 1 TO N
    SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
    LOCATE 3 + MAG, 10: PRINT USING "####.#  ####.#  ####.#  ####.#"; PROF(I); LLD(I); MSFL(I); SW(I)
    MAG = MAG + 1
  IF MAG = 17 THEN
    LOCATE 23, 4: PRINT " OPRIMA ENTERO PARA CONTINUAR..... "
    AS = " ": WHILE AS = " ": AS = INKEYS: WEND
    CLR : CALL MARCO(H)
    LOCATE 3, 10: PRINT " PROF      LLD      MSFL      SW"
    PRINT
    MAG = 0
  END IF
NEXT I

LOCATE 23, 4: PRINT " IMPRIMIR RESULTADOS ( S/N )": IMPR = " ": WHILE IMPR = ""
  IMPR = INKEYS
WEND
IF IMPR = "S" OR IMPR = "a" THEN
  LOCATE 23, 1: PRINT " OPRIMA ENTERO "
  AS = " ": WHILE AS = " ": AS = INKEYS: WEND
  LOCATE 23, 1: PRINT " ";
  LPRINT "PROF      LLD      MSFL      SW": LPRINT
  III = 0
  FOR I = 1 TO N
    III = III + 1
    SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
    LPRINT USING "####.#  ####.#  ####.#  ####.#"; PROF(I); LLD(I); MSFL(I); SW(I)
  IF III = 28 THEN

```

```

LPRINT : LPRINT :
LPRINT " PROF FDC CNL BNC PHI "; LIT$(EQUIB); " "; LIT$(YE); " "; LIT$(ZETA)
LPRINT : LPRINT
I11 = 0
END IF

NEXT I
END IF

ELSE

***** IMPRESION DOS AGUAS *****
MAO = 0
CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 3, 10: PRINT " PROF CNL FDC ILD # SW"
PRINT
FOR I = 1 TO H
SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
SBS = ""
IF SW(I) > 5 THEN
SW(I) = 1: SBS = ""
END IF
LOCATE 5 + MAO, 10: PRINT USING " ###.# ##.# #.# ##.# ##.# ##.#";
PRINT PROF(I); CNL(I); FDC(I); LLD(I); SOLU(I, 1); SW(I) * 100; SBS
MAO = MAO + 1
IF MAO = 17 THEN
LOCATE 23, 4: PRINT " OPRIMA (ENTER) PARA CONTINUAR.... "
AS = "": WHILE AS = "": AS = INKEY$: WEND
CLS : CALL MARCO(N)
LOCATE 3, 10: PRINT " PROF CNL FDC ILD # SW"
PRINT
MAO = 0
END IF
NEXT I

LOCATE 23, 4: PRINT " IMPRIMIR RESULTADOS ( S/N )": (mpr$ = "": WHILE mpr$ = ""
mpr$ = INKEY$
WEND
IF mpr$ = "S" OR mpr$ = "a" THEN
LOCATE 23, 1: PRINT " OPRIMA (ENTER)
AS = "": WHILE AS = "": AS = INKEY$: WEND
LOCATE 23, 1: PRINT "
LPRINT " PROF CNL FDC ILD PHI SW": LPRINT
I11 = 0
FOR I = 1 TO H
I11 = I11 + 1
SOLU(I, 1) = SOLU(I, 1)
LPRINT USING " ###.# ##.# #.# ##.# ##.# ######.#";
LPRINT PROF(I); CNL(I); FDC(I); LLD(I); SOLU(I, 1); SW(I) * 100
IF I11 = 26 THEN
LPRINT : LPRINT :
LPRINT " PROF FDC CNL BNC PHI "; LIT$(EQUIB); " "; LIT$(YE); " "; LIT$(ZETA)
LPRINT : LPRINT
I11 = 0
END IF

```

```
NEXT I
END IF
END IF
```

```
GOTO 10
```

```
145 CLS : COLOR 7, 0
END
```

```
 Mensaje:
```

```
CLS : CALL MARDO(N)
```

```
SELECT CASE ERR
```

```
  CASE 53
```

```
    LOCATE 12, 22: PRINT " ARCHIVO ( "; ARCHIVO; " ) INEXISTENTE"
```

```
    LOCATE 16, 20: PRINT " OPRIMA(ENTER) PARA CONTINUAR....."
```

```
    AS = "" : WHILE AS = "" : AS = INKEYS : WEND
```

```
    RESUME 146
```

```
  END
```

```
  CASE 62
```

```
    LOCATE 12, 22: PRINT " ( "; ARCHIVO; " ) SIN FIN DE ARCHIVO"
```

```
    LOCATE 14, 22: PRINT " C O R R I J A L O "
```

```
    LOCATE 16, 20: PRINT " OPRIMA(ENTER) PARA CONTINUAR....."
```

```
    AS = "" : WHILE AS = "" : AS = INKEYS : WEND
```

```
    RESUME 26
```

```
  END
```

```
  CASE 71
```

```
    LOCATE 12, 22: PRINT " DRIVE ( "; DRIVE; " ) NO PREPARADO "
```

```
    LOCATE 14, 22: PRINT " INSERTE EL DISKET EN LA UNIDAD "
```

```
    LOCATE 16, 20: PRINT " OPRIMA(ENTER) PARA CONTINUAR....."
```

```
    AS = "" : WHILE AS = "" : AS = INKEYS : WEND
```

```
    RESUME 146
```

```
  END
```

```
  CASE 85
```

```
  CLOSE #1
```

```
    LOCATE 14, 22: PRINT " ERROR CORREGIDO "
```

```
    LOCATE 16, 20: PRINT " OPRIMA(ENTER) PARA CONTINUAR....."
```

```
    AS = "" : WHILE AS = "" : AS = INKEYS : WEND
```

```
    RESUME 26
```

```
  END
```

```
  CASE ELSE
```

```
    LOCATE 12, 20: PRINT " ERROR ( "; ERR; " ) NO CODIFICADO"
```

```
    LOCATE 14, 22: PRINT " REVISE SU INFORMACION "
```

```
    LOCATE 16, 20: PRINT " OPRIMA(ENTER) PARA CONTINUAR....."
```

```
    AS = "" : WHILE AS = "" : AS = INKEYS : WEND
```

```
    RESUME 26
```

```
END SELECT
```

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO V

APLICACIONES

INTRODUCCION

Este capítulo presenta una corrida del programa de cómputo **„SARP“** (Sistema de Análisis de Registros de Pozos), con un ejemplo de campo.

La figura V.1 es la carátula de presentación del sistema. La figura V.2 es el menú principal en el cual se puede seleccionar una de las cuatro opciones con que cuenta.

El primer paso consiste en seleccionar la opción de porosidad pulsando la letra **„A“**. Esto conduce a otro menú, fig. V.3 en el cual se muestran los diferentes métodos para determinar porosidad y litología.

Una vez determinados estos parámetros, se determinará la saturación de agua (S_w) con el método seleccionado en el menú de saturación mostrado en la figura V.4.

El ejemplo presentado está basado en información real de un intervalo de formación con 60 datos de registros, una lectura por cada pie y fueron tomados a una profundidad de 3070 a 3090 m.


```
=====
==          MENU PRINCIPAL          ==
== POROSIDAD Y SATURACION DE AGUA ==
=====
```

```
CALCULO DE POROSIDAD ( $\phi$ )..... (A)
SATURACION DE AGUA ( $S_w$ )..... (B)
LECTURA DE DATOS..... (C)
SALIR..... <ESC>
```

```
=====
==          SELECCIONE UNA OPCION          ==
=====
```

FIGURA U.2

```
=====
== METODOS PARA DETERMINAR ==
== POROSIDAD Y LITOLOGIA ==
=====
```

```
GRAFICAS CRUZADAS..... (A)
METODO M vs N..... (B)
IDENTIFICACION DE MATRIZ ..... (C)
SALIR..... <ESC>
```

```
=====
== SELECCIONE UNA OPCION ==
=====
```

FIGURA V.3

```
=====
== METODOS PARA DETERMINAR ==
== SATURACION DE AGUA ==
== ( Sw ) ==
=====
```

```
RELACION DE RESISTIVIDADES..... (A)
DOS AGUAS..... (B)
SALIR..... <ESC>
```

```
=====
== SELECCIONE UNA OPCION ==
=====
```

FIGURA 0.4

PRESENTACION DE RESULTADOS

Las figuras V.5, V.6 y V.7, son las gráficas de los métodos de gráficas cruzadas, la fig. V.8 es la gráfica del método M-N y la fig. V.9 es la gráfica del método de identificación de matriz generadas por el sistema con la información del ejemplo.

En la fig. V.7 se presenta con claridad el desplazamiento de los puntos graficados hacia la derecha de la gráfica. Esto es una característica común cuando se tiene presencia arcillas. Lo anterior se puede afirmar observando las figuras V.8 y V.9 de los métodos M-N e Identificación de matriz, en los cuales también se aprecia un desplazamiento común por la presencia de arcillas. Por lo tanto, se debe considerar la presencia de arcillas como un mineral para el análisis.

Tomando en cuenta que la tendencia de los puntos graficados en las figuras V.5 y V.6 están afectadas por la arcilla, es lógico pensar que se trata de una roca caliza dolomitizada. Por lo tanto, los minerales seleccionados en este ejemplo son : Calcita, Dolomita y Arcilla.

La figura V.10 presenta el triángulo mineralógico formado por los minerales seleccionados anteriormente y en donde se determinó el punto de arcilla de acuerdo a la tendencia de los datos. Los valores de M y N para leer el punto seleccionado son: $M = 0.55$ y $N = 0.47$.

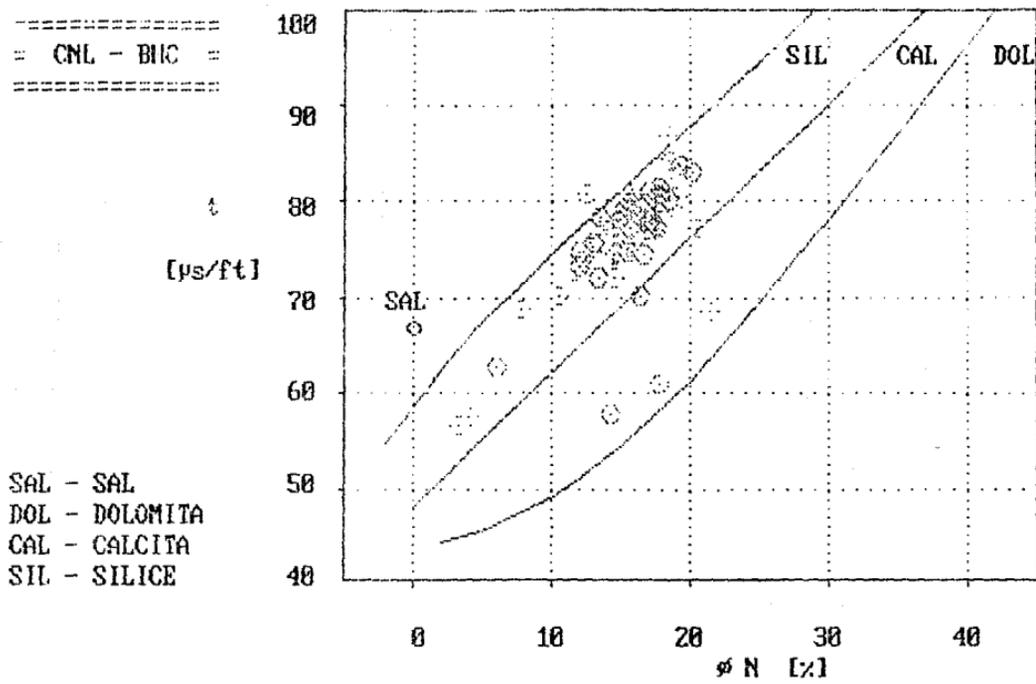


FIGURA V.5

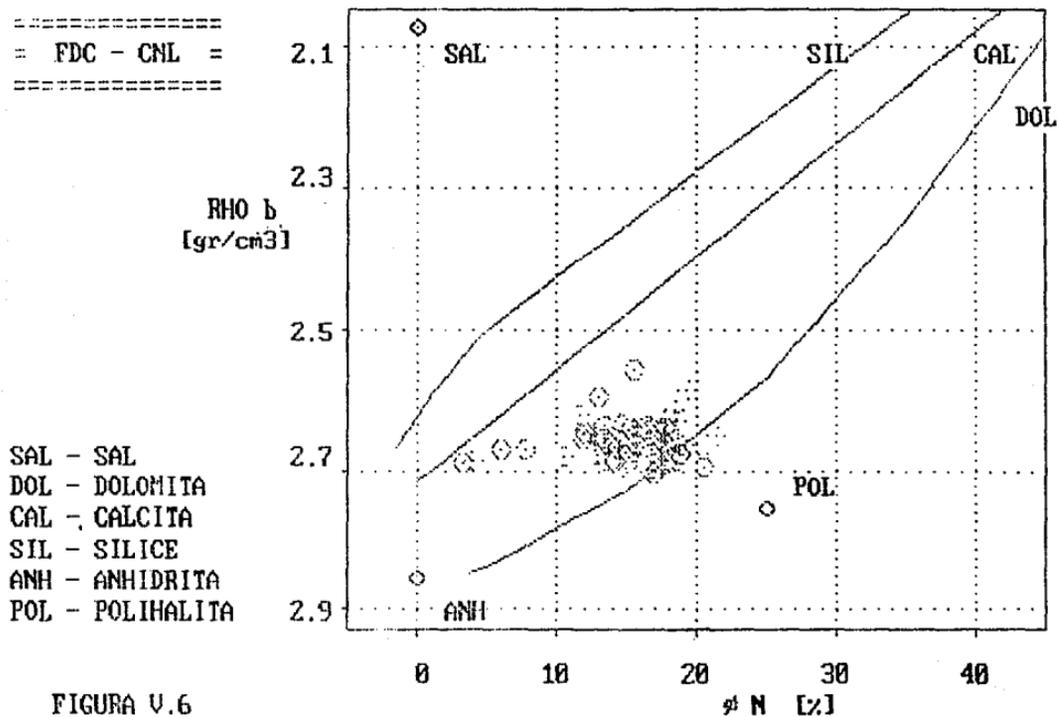


FIGURA U.6

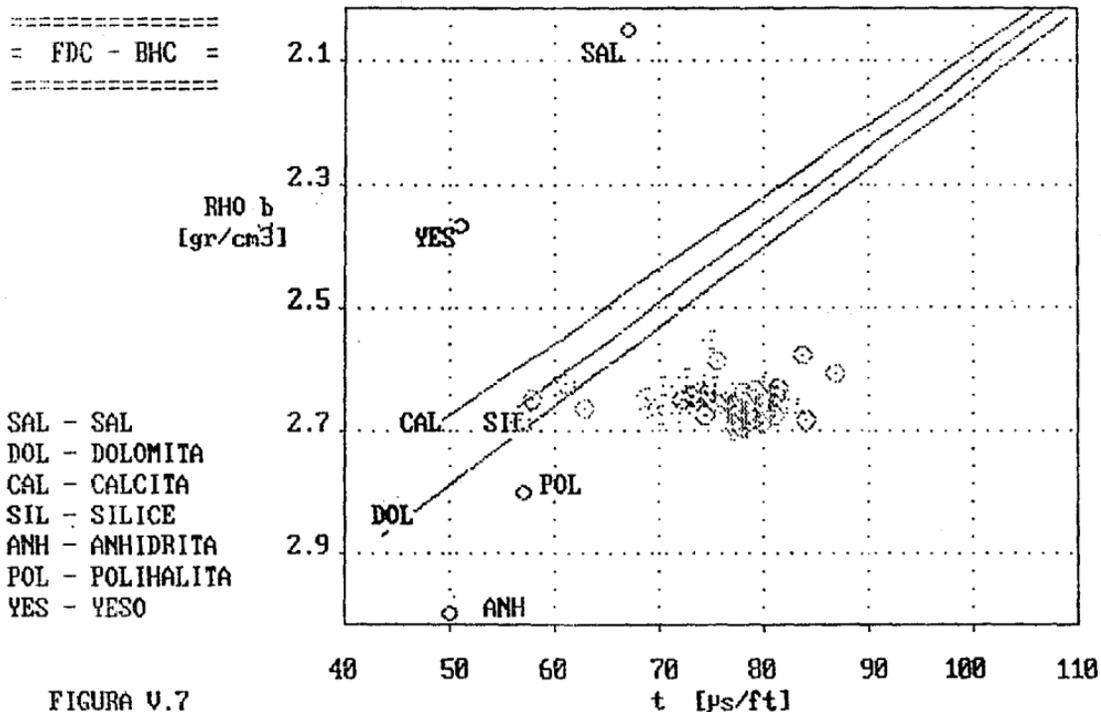


FIGURA V.7

=====

= GRAFICA M-N =

=====

YES - YESO
 DOL - DOLOMITA
 CAL - CALCITA
 SIL - SILICE
 ANH - ANHIDRITA

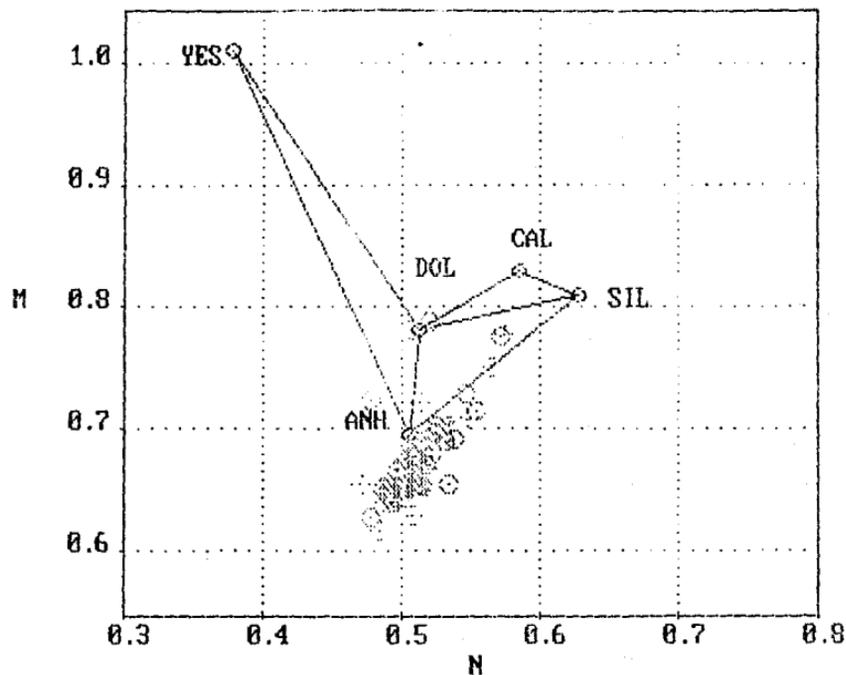


FIGURA V.8

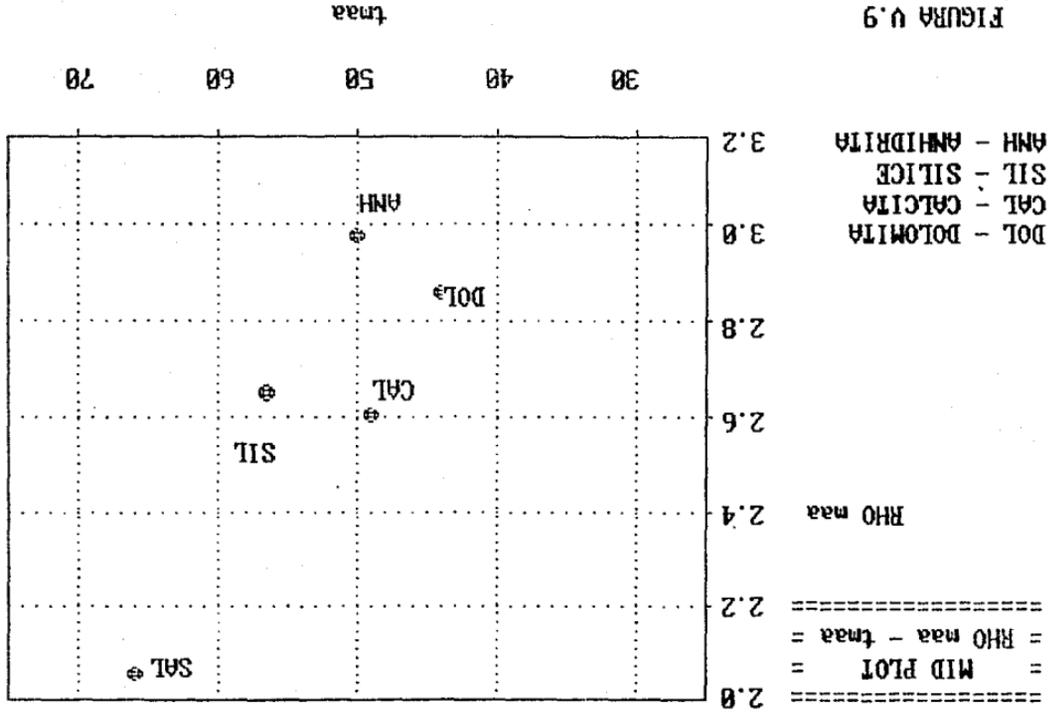
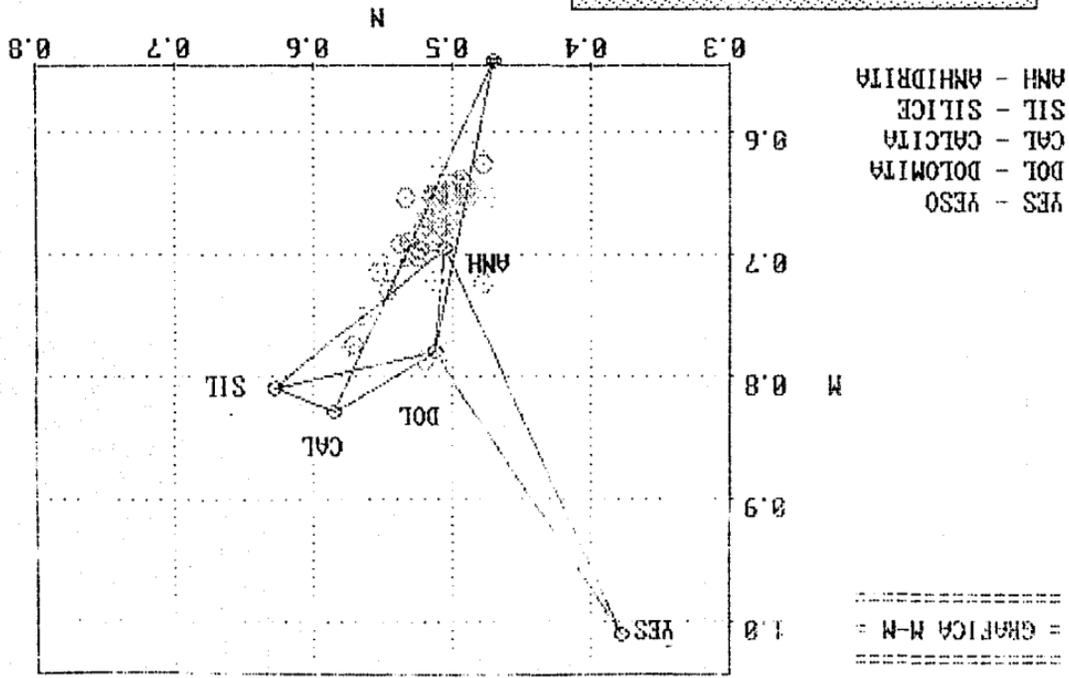


FIGURA V.9

FIGURA 0.18



Los porcentajes de porosidad y de cada mineral que componen este intervalo de formación se presentan en la tabla de resultados V.1. También se muestra la información de los registros de porosidad.

Con los valores de porosidad calculados anteriormente con el método de M-N y con la información del registro laterolog profundo (LLD), se calculan los valores de saturación de agua (S_w).

El valor de la resistividad del agua para este ejemplo es de $R_w = 0.021$ [ohm-m] y se obtuvo mediante valores medidos de salinidad del agua y temperatura del campo.

Los resultados fueron obtenidos por el método de Dos Aguas los cuales se presentan en la tabla V.2 de este trabajo.

En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que la litología de este intervalo está constituida por un 30% de Calcita, 25% de dolomita, Porosidad de un 4% y con un alto porcentaje de mineral arcilloso (50%). También es importante agregar que este intervalo se encuentra con una saturación de agua elevada y por lo tanto se puede afirmar que se encuentra invadido por agua.

TABLA V.1

PROF	FDC	CNL	BHC	PHI	CALCITA	DOLOMITA	ARCILLA
3072.2	2.633	15.274	79.186	4.987	34.572	8.428	52.013
3072.5	2.661	13.998	76.513	3.681	33.858	11.879	50.582
3072.8	2.676	10.518	70.295	2.389	49.748	6.845	41.018
3073.1	2.665	6.002	62.852	1.694	73.992	0.000*	24.315
3073.4	2.686	3.350	56.758	0.745	83.620	0.000*	15.636
3073.7	2.681	4.018	57.657	1.151	82.277	0.000*	16.572
3074.0	2.664	7.797	69.021	1.285	62.945	0.000*	35.770
3074.3	2.584	13.081	75.639	6.091	57.504	0.000*	36.405
3074.6	2.682	14.158	77.787	2.581	27.170	13.624	56.625
3074.9	2.672	14.576	72.143	4.747	25.977	29.474	39.801
3075.2	2.648	13.380	72.268	4.924	40.362	16.273	38.442
3075.5	2.656	15.643	79.885	4.092	25.858	13.518	56.532
3075.8	2.605	18.455	86.928	6.224	24.663	4.911	64.202
3076.1	2.574	19.332	83.806	8.907	27.253	13.347	50.493
3076.4	2.546	15.513	75.140	9.818	56.949	4.239	28.995
3076.7	2.625	14.796	74.640	6.193	38.693	15.534	39.580
3077.0	2.629	13.420	75.465	4.904	46.367	4.546	44.183
3077.3	2.652	12.901	75.215	3.671	42.966	5.950	47.413
3077.6	2.640	12.104	73.217	4.167	50.877	3.381	41.576
3077.9	2.612	11.705	72.742	5.018	59.222	0.000*	35.760
3078.3	2.637	12.104	74.565	3.910	51.702	0.000*	44.388
3078.6	2.673	12.881	74.640	2.936	36.933	11.302	48.829
3078.9	2.675	14.586	74.441	4.029	25.643	24.072	46.257
3079.2	2.681	13.529	78.187	2.103	31.494	8.005	58.398
3079.5	2.665	14.497	77.213	3.661	29.769	14.271	52.299
3079.8	2.658	15.882	75.564	5.296	22.688	26.918	45.098
3080.1	2.693	14.905	77.962	2.571	19.393	20.448	57.588
3080.4	2.676	15.803	81.159	3.033	19.457	15.073	62.437
3080.7	2.642	17.009	81.134	5.248	21.639	17.089	56.024
3081.0	2.661	17.507	77.338	5.779	12.115	34.134	47.972
3081.3	2.658	15.653	77.263	4.701	24.554	20.859	49.887
3081.6	2.668	15.623	79.161	3.769	22.363	17.556	56.311
3081.9	2.645	15.623	80.734	4.314	29.349	9.062	57.275
3082.2	2.638	17.208	78.062	6.348	20.755	25.791	47.106
3082.5	2.629	16.451	70.445	8.214	26.123	38.839	26.824
3082.8	2.647	11.924	73.242	3.751	50.006	3.389	42.855
3083.1	2.640	12.532	80.784	2.177	44.156	0.000*	53.667
3083.4	2.683	18.564	84.131	3.786	0.939	27.805	67.471
3083.7	2.671	20.169	83.107	5.296	0.000*	37.188	57.515
3084.0	2.671	18.774	79.336	5.676	1.836	39.596	52.891
3084.3	2.659	19.163	80.509	6.125	3.137	36.946	53.792
3084.7	2.648	18.704	82.408	5.783	9.642	26.675	57.900
3085.0	2.632	17.846	81.434	6.137	19.341	20.231	54.291
3085.3	2.642	18.036	81.209	5.905	15.233	24.040	54.822
3085.6	2.621	18.594	80.060	7.446	17.460	26.964	48.130
3085.9	2.637	17.677	77.238	6.914	17.896	31.032	44.157
3086.2	2.671	16.989	77.562	4.963	12.551	31.835	50.651
3086.5	2.664	17.438	76.938	5.713	11.586	35.274	47.427
3086.8	2.636	16.630	74.391	7.010	24.006	31.039	37.945
3087.1	2.643	15.553	74.615	5.950	28.798	24.280	40.972
3087.4	2.696	16.770	78.312	3.584	6.956	33.078	56.383

TABLA V.1 (CONTINUACION)

PROF	FDC	CNL	BHC	PHI	CALCITA	DOLOMITA	ARCILLA
3087.7	2.689	17.627	79.910	4.022	4.006	33.515	58.457
3088.0	2.683	17.836	79.036	4.638	4.193	36.130	55.039
3088.3	2.669	17.188	79.261	4.865	11.061	29.767	54.307
3088.6	2.654	17.697	80.859	5.275	13.829	24.875	56.021
3088.9	2.664	17.886	80.759	5.010	9.759	28.348	56.883
3089.2	2.701	16.999	77.038	3.860	3.766	38.968	53.406
3089.5	2.685	16.929	79.935	3.722	9.524	27.833	58.921
3089.8	2.691	20.518	77.263	5.668	0.000*	52.870	41.462
3090.1	2.646	21.486	68.696	10.194	0.000*	73.813	15.993
3090.4	2.623	17.797	61.129	11.740	16.976	71.283	0.000*
3090.7	2.649	14.267	57.932	9.177	30.744	60.079	0.000*

TABLE V.2

PROF	CNL	FDC	ILD	PHI	Sw
3072.2	15.27	2.633	5.12	4.99	75.21
3072.5	14.00	2.661	5.23	3.68	93.02
3072.8	10.52	2.676	5.36	2.39	100.00*
3073.1	6.00	2.665	9.22	1.69	100.00*
3073.4	3.35	2.686	28.38	0.74	100.00*
3073.7	4.02	2.681	54.60	1.15	98.99
3074.0	7.80	2.664	22.24	1.29	95.75
3074.3	13.08	2.584	7.96	6.09	56.51
3074.6	14.16	2.682	6.35	2.58	95.76
3074.9	14.58	2.672	5.71	4.75	74.55
3075.2	13.38	2.648	6.94	4.92	69.19
3075.5	15.64	2.656	6.79	4.09	67.17
3075.8	18.45	2.605	5.35	6.22	55.37
3076.1	19.33	2.574	4.10	8.91	52.61
3076.4	15.51	2.546	4.61	9.82	53.70
3076.7	14.80	2.625	6.09	6.19	60.74
3077.0	13.42	2.629	6.40	4.90	72.91
3077.3	12.90	2.652	5.97	3.67	91.36
3077.6	12.10	2.640	6.11	4.17	87.88
3077.9	11.70	2.612	6.82	5.02	75.51
3078.3	12.10	2.637	6.97	3.91	84.46
3078.6	12.88	2.673	5.70	2.94	100.00*
3078.9	14.59	2.675	5.89	4.03	80.15
3079.2	13.53	2.681	5.43	2.10	100.00*
3079.5	14.50	2.665	4.88	3.66	94.81
3079.8	15.88	2.658	5.81	5.30	64.60
3080.1	14.90	2.693	6.14	2.57	93.61
3080.4	15.80	2.676	4.88	3.03	95.50
3080.7	17.01	2.642	3.97	5.25	79.59
3081.0	17.51	2.661	4.50	5.78	67.82
3081.3	15.65	2.658	5.51	4.70	73.07
3081.6	15.62	2.668	5.57	3.77	80.08
3081.9	15.62	2.645	5.07	4.31	80.85
3082.2	17.21	2.638	4.28	6.35	68.23
3082.5	16.45	2.629	5.72	8.21	50.49
3082.8	11.92	2.647	8.98	3.75	73.26
3083.1	12.53	2.640	5.88	2.18	100.00*
3083.4	18.56	2.683	4.33	3.79	80.82
3083.7	20.17	2.671	3.91	5.30	70.08
3084.0	18.77	2.671	4.37	5.68	66.92
3084.3	19.16	2.659	5.06	6.12	57.08
3084.7	18.70	2.648	4.21	5.78	68.01
3085.0	17.85	2.632	4.19	6.14	67.88
3085.3	18.04	2.642	4.44	5.91	65.87
3085.6	18.59	2.621	4.92	7.45	53.85
3085.9	17.68	2.637	5.73	6.91	51.80
3086.2	16.99	2.671	5.73	4.96	63.65
3086.5	17.44	2.664	5.23	5.71	62.69
3086.8	16.63	2.636	5.43	7.01	56.59
3087.1	15.55	2.643	6.95	5.95	54.76
3087.4	16.77	2.696	6.37	3.58	71.14

TABLA V.2 (CONTINUACION)

PROF	CNL	FDC	ILD	PHI	Sw
3087.7	17.63	2.689	5.20	4.02	73.93
3088.0	17.84	2.683	4.90	4.64	71.38
3088.3	17.39	2.669	5.25	4.87	66.90
3088.6	17.70	2.654	5.40	5.27	62.04
3088.9	17.89	2.664	5.13	5.01	66.41
3089.2	17.00	2.701	4.92	3.86	80.94
3089.5	16.93	2.685	5.81	3.72	73.92
3089.8	20.52	2.691	5.43	5.67	51.92
3090.1	21.49	2.646	4.59	10.19	41.51
3090.4	17.80	2.623	6.54	11.74	36.17
3090.7	14.27	2.649	21.43	9.18	22.71

CONCLUSIONES

Es una gran ventaja el contar con algoritmos que ayuden a procesar la información en el lugar mismo en donde se está obteniendo. Esto representa un adelanto en la interpretación de registros.

Los métodos utilizados en este programa de cómputo fueron desarrollados para interpretaciones prácticas. Los resultados que se obtienen presentan buena aproximación con respecto a las interpretaciones reales de pozos, es decir, que la diferencia cuantitativa entre estos resultados es aceptable.

Las compañías de servicios proporcionan el software para aplicar éstos y otros métodos de análisis, pero requiere en la mayoría de las veces de hardware especial; lo cual incrementa los costos de operación.

Con este trabajo, se pone al alcance de los ingenieros un programa de cómputo de fácil acceso y manejo y que además proporciona resultados con tal exactitud como la de cualquier otro programa de cómputo existente.

La entrada de la información mediante archivos de datos deberá ser previamente seleccionada con intervalos que presenten características similares en las respuestas de las herramientas.

Este programa debe ser utilizado para elaborar las gráficas de los métodos y obtener la información cuantitativa de los parámetros descritos en el trabajo. La interpretación final debe ser realizada por el ingeniero en base a los resultados obtenidos por todos los métodos.

La presentación de pantallas con diversas opciones a seguir así como también el uso de dispositivos para la prevención de errores en la captura y manejo de la información, proporcionan una gran versatilidad al programa.

Cuando se obtienen valores negativos en los porcentajes de minerales previamente seleccionados, se deberá interpretar como mineral ausente, es decir, que en ese intervalo no se encuentra dicho mineral y por lo tanto se debe considerar como cero.

Para cuantificar los porcentajes de minerales arcillosos, el método M-N presenta una buena metodología así como también una buena aproximación en base a la tendencia de los puntos graficados en la gráfica del método.

Cabe hacer énfasis que para la aplicación de los métodos considerados en este trabajo, se requiere tener conocimiento de ellos, del funcionamiento y limitaciones de las herramientas; y uno de los aspectos más importantes es la selección de los intervalos a procesar, que debe hacerse en base a una interpretación cualitativa de los registros.

APENDICE - A

MINERAL	t _{maa}	ρ _{ma}	φ _N	LODO DULCE		LODO SALADO	
				M	N	M	N
SILICE	55.5	2.65	-5	0.810	0.836	0.835	0.667
CALCITA	47.5	2.71	0	0.827	0.585	0.854	0.621
DOLOMITA	43.5	2.87	8.5	0.778	0.489	0.800	0.517
ANHIDRITA	50.0	2.98	-0.2	0.702	0.504	0.718	0.533
YESO	52.0	2.35	4.9	1.015	0.296	1.064	0.320
SAL	67.0	2.03	-1	---	---	1.269	1.086

MINERAL	P _e	U
SILICE	1.810	4.780
CALCITA	5.080	13.800
DOLOMITA	3.140	9.000
ANHIDRITA	5.050	14.900
AGUA DULCE	0.358	0.398
AGUA SALADA	0.734	0.850
ACEITE	0.119	0.136
GAS	0.095	0.119

LODO	t _f	ρ _f	φ _{Nf}
salado	185	1.1	1
dulce	189	1.0	1

FACTOR DE FORMACION		
ROCA	a	m
CARBONATOS	1	2
ARENAS	0.62	2.15
HUMBLE	0.81	2

NOMENCLATURA

a	Factor de cementación	[adim]
c	Constante de campo	[adim]
CGR	Lectura de Potasio y Torio	[Mev]
Ct	Conductividad de la formación	[mmhos/m]
Cw	Conductividad del agua de formación	[mmhos/m]
Cwb	Conductividad del agua asociada a la arcilla	[mmhos/m]
Cwe	Conductividad equivalente del agua de formación	[mmhos/m]
F	Factor de formación	[adim]
K	Potasio	[%]
k	Constante por temperatura de fondo	[°c]
m	Exponente de cementación	[adim]
n	Exponente de saturación	[adim]
Pe	Índice de absorción fotoeléctrica	[adim]
Pf	Profundidad del intervalo de interés	[m]
Pt	Profundidad total del pozo	[m]
Rmf	Resistividad del filtrado del lodo	[ohms*m]
Rmfe	Resistividad equivalente del filtrado del lodo	[ohms*m]
Rt	Resistividad de la formación	[ohms*m]
Rw	Resistividad del agua de formación	[ohms*m]
Rwe	Resistividad equivalente del agua de formación	[ohms*m]
Rxo	Resistividad de la zona lavada	[ohms*m]
Shcs	Saturación de hidrocarburos	[%]
SSP	Potencial espontáneo estático	[mv]
Sxo	Saturación de agua en la zona lavada	[%]
Sw	Saturación de agua de formación	[%]
Swb	Saturación de agua asociada a la arcilla	[%]
Swf	Saturación de agua libre	[%]
Swt	Saturación total de agua	[%]
Tf	Temperatura en el intervalo de interés	[°c]
Th	Torio	[ppm]
Ts	Temperatura de superficie	[°c]
Tt	Temperatura en el fondo del pozo	[°c]
tr	Tiempo de tránsito del fluido	[μseg/pie]
t _{ma}	Tiempo de tránsito de la matriz	[μseg/pie]

t _{maa}	Tiempo de tránsito aparente de la matriz	[μseg/pie]
U	Uranio	[ppm]
Ur	Índice volumétrico de absorción del fluido	
U _{maa}	Índice volumétrico de absorción aparente de la matriz	
V _{sh}	Porcentaje de arcillosidad en la roca	[%]
V _w	Volumen de agua en el poro	[m ³]
V _{wb}	Volumen de agua asociada a la arcilla	[m ³]
φ	Porosidad	[%]
φ _{CNL}	Lectura del registro CNL	[%]
φ _{FDC}	Porosidad del registro FDC	[%]
φ _{nr}	Porosidad neutrón del fluido	[%]
φ _{maa}	Porosidad neutrón de la matriz	[%]
φ _{ta}	Porosidad total aparente	[%]
ρ _b	Lectura del registro FDC	[gr/cm ³]
ρ _e	Densidad electrónica	[electrones/m ³]
ρ _f	Densidad del fluido	[gr/cm ³]
ρ _{ma}	Densidad de la matriz	[gr/cm ³]
ρ _{maa}	Densidad aparente de la matriz	[gr/cm ³]
BHC*	Registro sónico de porosidad	
CNL*	Registro neutrón compensado	
FDC*	Registro de densidad compensado	
GR*	Registro de rayos gama	
ILD*	Curva de inducción (investigación profunda)	
LDT*	Registro de lito-densidad	
LLD*	Curva del laterolog profundo	
LLS*	Curva del laterolog somero	
MSFL*	Registro microesférico enfocado	
SNP*	Registro neutrón de porosidad	
SP*	Registro del potencial espontaneo	

(*) Marcas registradas de Schlumberger.

B I B L I O G R A F I A .

1. Burke, J.A, Campbell, R.L., Schmith, A.W.
"The Litho-Porosity Cross Plot"
SPWLA Tenth Annual Logging Symposium.
Mayo 25, 1969.
2. Clavier, C. and Rust, D.H.
"Mid Plot: A New Lithology Technique"
The Log Analyst.
Noviembre, 1976.
3. Gardner, J.S. and Dumanoir, J.L.
"Litho-Density Log Interpretation"
SPWLA Twenty-First Annual Logging Symposium.
Julio 8, 1980.
4. Poupon, A and Clavier, C.
"Log Analyst of Stand-Shale Sequences ... "
Journal of Petroleum Technology.
Julio, 1970.
5. Poupon, a. and Gaynard, r.
"The evaluation of Clay Content from Logs"
SPWLA Eleventh Annual Logging Symposium.
Mayo 3, 1970.
6. Poupon, A. and Hogle, w.r.
"Log Analysis in Formations With Complex Lithologies"
Journal of Petroleum Technology.
Agosto, 1971.

7. Serra, O. and Baldwin, J.
"Theory, Interpretation and Practical Applications ..."
SPWLA Twenty-first Annual Logging Symposium.
Julio 8, 1980.
8. Clavier, C. and Coates, G.
"The Theoretical and Experimental Bases for The Dual Water
Model for The Interpretation of Shaly Sands"
SPE 6859.
9. Waxman, M.H. and Smith, L.J.M.
"Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands"
SPEJ.
Junio, 1968.
10. Savre, W.C.
"Determination of More Accurate Porosity"
Journal of Petroleum Technology.
Septiembre, 1963.
11. Morris, R.L. and Biggs, W.P.
"Using Log-Derived Values of Water Saturation...."
SPWLA Eighth Annual Logging Symposium.
1967.
12. "Log Interpretation Charts"
Schlumberger Educacional Service.
1988.
13. "Quick Basic. Manual or Owner's Manual"
Microsoft Corporation.
1987.

14. Dewan, J. T.
"Modern Open-Hole Log Interpretation"
Penn Well Publishing Company.
1983.
15. "Log Interpretation : Vol. I - Fundamentals"
Schlumberger Limited.
New York, 1974.
16. "Log Interpretation : Vol II - Applications"
Schlumberger Limited.
New York, 1974.
17. "Log Interpretation. Principles and Applications"
Schlumberger Educational Services.
Houston, 1987.
18. "Evaluacion de Formaciones en México"
WEC México, Schlumberger.
Septiembre, 1984.