

2) Ejim



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"EL USO DEL REGISTRO ELECTRICO EN LA DETERMINACION DE AMBIENTES DE DEPOSITO PARA LA MEJOR EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS."

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A
JESUS SAAVEDRA OLVERA

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-169

Al Pasante señor SAAVEDRA OLVERA JESUS
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el -- Prof. Ing. Manuel Villamar V., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO PETROLERO.

"EL USO DEL REGISTRO ELECTRICO EN LA DETERMINACION DE AMBIENTES DE DEPOSITO PARA LA MEJOR EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS"

- I.- Introducción
- II.- El registro eléctrico.
- III.- Ambientes de depósito de sedimentos arenosos.
- IV.- Caso de aplicación a un campo petrolero
- V.- Conclusiones
- VI.- Recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 16 de Octubre de 1980
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Esquivel

JJE:MKV:mdb.

EL USO DE LOS REGISTROS ELECTRICOS EN LA DETERMINACION DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITO PARA LA MEJOR EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS.

I.- INTRODUCCION

II.- EL REGISTRO ELECTRICO

- a) Antecedentes históricos
- b) Principios fundamentales del registro eléctrico
- c) Aplicaciones en la Industria Petrolera

III.- AMBIENTES DE DEPOSITO DE SEDIMENTOS ARENOSOS

- a) Clasificación
- b) Métodos para su determinación
- c) El uso o aplicación del registro eléctrico en la determinación del ambiente de depósito, en sedimentos areno-arcillosos

IV.- CASO DE APLICACION

V.- CONCLUSIONES

VI.- RECOMENDACIONES

I.- INTRODUCCION

El conocimiento de los ambientes o medios donde se depositaron los sedimentos productores y almacenadores de hidrocarburos es actualmente por su aplicación en la explotación de nuevas áreas o en el desarrollo y explotación de las ya conocidas, un parámetro de gran importancia y su aplicación, representa un gran avance para la correcta explotación de los yacimientos, ya que permiten una mejor recuperación de los hidrocarburos en el yacimiento; por esto, es imprescindible su determinación en todo estudio geológico o de evaluación de yacimientos, dada la gran importancia que ello representa, tanto para la exploración como para la mejor explotación de los yacimientos petroleros.

Los métodos y herramientas utilizados en la determinación de ambientes son muy variados, dentro de ellos, actualmente empiezan a destacar aquellos en los que se utilizan las herramientas geofísicas, fundamentalmente el registro eléctrico y las secciones sísmológicas o levantamientos sísmicos. La primera de ellas se ha desarrollado en forma paralela a la Industria Petrolera y desde sus inicios ha demostrado ser una herramienta muy valiosa, ya que además de proporcionar una serie de datos de gran utilidad para la evaluación de las formaciones productoras, como son los valores del S.P. y resistividad, día a día se le han encontrado mayores aplicaciones al combinarse o apoyarse en -

otros datos o herramientas.

Dentro de esas aplicaciones destacan las que permiten la determinación de los ambientes de depósito de los cuerpos productores y su tendencia de distribución en base a el comportamiento de las curvas del S.P., con el auxilio de planos estructurales de isopacas y de distribución de arenas.

El presente trabajo tiene como finalidad fundamental el señalar y dar a conocer esa nueva área de aplicación de los registros eléctricos, haciendo un análisis general de los ambientes de depósito de los sedimentos, las técnicas que existen para su determinación y finalmente, la utilización del registro eléctrico en la determinación del ambiente de depositación de las arenas productoras del campo petrolero "San Ramón" como un sencillo caso de aplicación.

II.- EL REGISTRO ELECTRICO

a) Antecedentes Históricos

En razón de que el registro eléctrico ha sido una herramienta utilizada desde los inicios de la industria petrolera, la teoría y las técnicas que en estos se han aplicado se desarrollaron casi paralelamente con dicha industria.

En un principio los registros de pozos petroleros - se utilizaban cualitativamente, ya que era suficiente que el registro eléctrico mostrara una anomalía, la cual podía, interpretarse como "arena con posibilidades de gas o aceite" para considerarse como una herramienta muy útil.⁽¹⁾ Esto era de gran valor cuando en un principio dentro de la industria petrolera no se tenía forma de obtener información indirecta de los yacimientos, ya que antes de esta sencilla aplicación de los registros eléctricos los perforadores "estaban operando en la oscuridad",⁽¹⁾ sin saber donde estaban o adonde iban a llegar, exceptuando aquellos casos en los que se tomaban algunos núcleos muy costosos.

Estudios sobre las características físicas de las rocas llevaron a los procesos actuales de correr registros; el origen del registro eléctrico se remonta hasta los hermanos Schlumberger; uno de ellos Conrad Schlumberger, siendo profesor en la famosa Escuela de Minas de París,⁽¹⁾ se dedicó con ahínco al estudio de la exploración mineralógica en su laboratorio; al pasar - una corriente eléctrica a través de distintas muestras de minera

les y rocas observó que la resistencia de metales como el cobre y el hierro difería marcadamente con la de la roca y que también era notable el contraste de resistividad entre la roca porosa llena de agua y el granito sólido.

Durante uno de sus experimentos, Conrad clavó dos estacas de metal en el prado a varios cientos de metros de distancia entre sí y mediante el envío de corriente directa a través de las estacas, perfeccionó los instrumentos que usaría para la medición de yacimientos minerales; aplicó esos adelantos a la exploración de depósitos de hierro y cobre en Francia y otros países. ⁽¹⁾

El primer registro eléctrico tomado en un pozo con el objeto de conocer las posibilidades de contenido de hidrocarburos fue realizada por Paul Charrin, ⁽¹⁾ bajo la dirección de Henri Doll: Se descendió una sonda eléctrica en un pozo petrolero del yacimiento Pechlbronn de Alsacia, la cual registró los niveles de resistencia eléctrica metro por metro para poder constituir lo que podría llamarse el primer registro eléctrico, el 5 de Septiembre de 1927. ⁽¹⁾ Fig. No. II-1.

Dicho registro era solo una simple curva que representaba las mediciones de resistividad en el pozo hechas con un arreglo de cuatro electrodos (laterales) a ciertos intervalos fijados de antemano de acuerdo con los datos de la perforación; estas mediciones las graficaron (en papel para gráficas) contra -

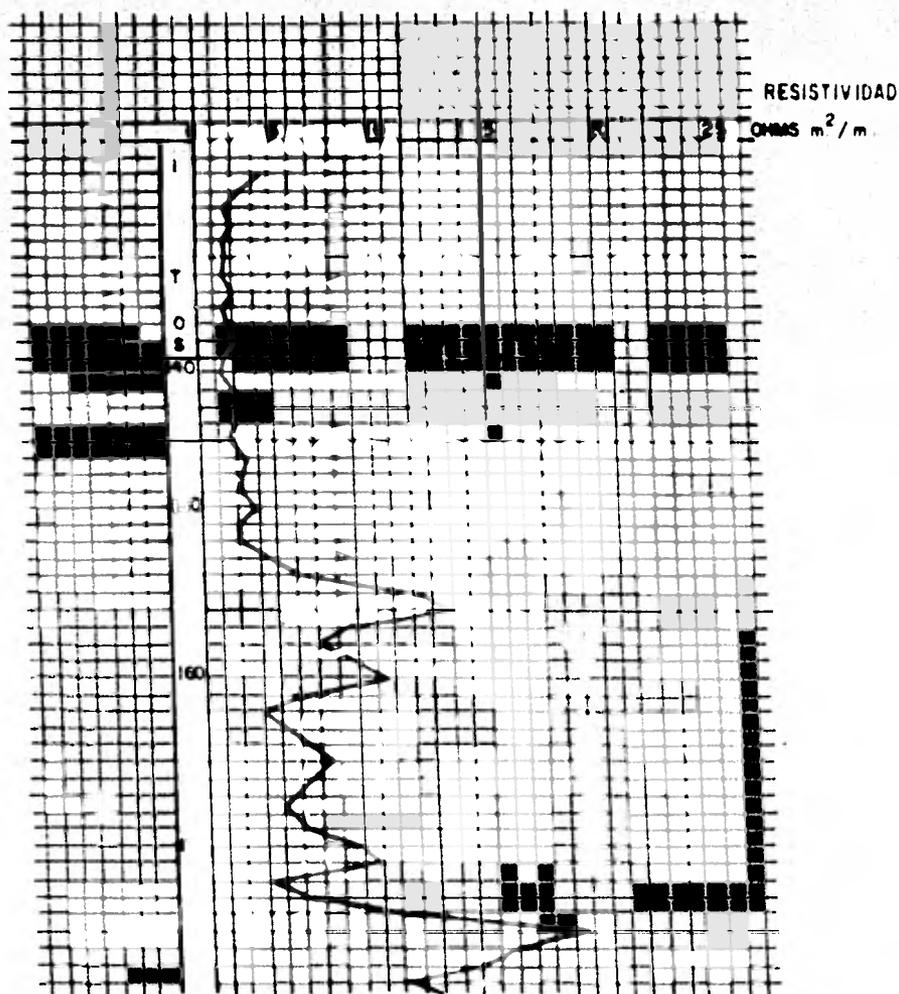


FIG. II-1. EL PRIMER REGISTRO ELECTRICO ; PEHELBRONN, FRANCIA,
SEPTIEMBRE 5, 1927.⁽¹⁾

profundidad. La variación de la resistividad de las formaciones probaron ser una nueva herramienta que sería de gran valor en la correlación de estratos de un pozo a otro ya que, cuando compararon la gráfica del registro con las muestras de roca extraídas durante la perforación del pozo, llegaron a la conclusión de que los valores altos del perfil denotaban roca dura y que los bajos, un material más blando y poroso. Pero lo que llamó su atención fue el incremento de resistividad (de un valor mediano) que surgía abruptamente de una zona de valor bajo, ya que ello podría equivaler a la profundidad en que estarían las capas de hidrocarburos.

Esta fue una suposición que las perforaciones confirmaron posteriormente.

Doll, dió por casualidad, con otra revelación. Un día, mientras trabajaba en un registro de un pozo, observó una nueva oscilación de la aguja de medición en el nivel de un lecho poroso a pesar de la ausencia absoluta de corriente. El esquisto, el lodo de perforación y el agua del interior de la roca porosa combinaban su acción dentro de la tierra para crear un acumulador propio de la naturaleza, lo que actualmente se conoce como potencial natural. (1)

Por iniciativa de Doll, los ingenieros de Schlumberger hicieron mediciones de pozos sin enviar corriente alguna y prepararon con esos datos, gráficas que no mostraban los niveles de

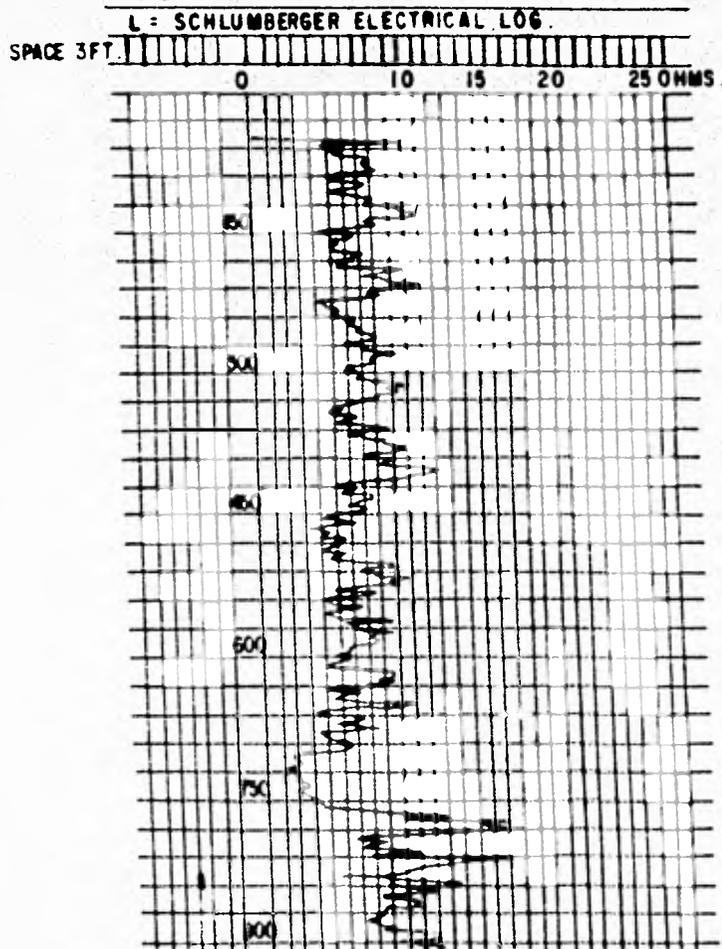


FIG. II-2. PRIMER REGISTRO ELECTRICO ; CALIFORNIA . UNA SOLA CURVA DE RESISTIVIDAD LATERAL FUE REGISTRADO EN AGOSTO 17, DE 1929. (1)

resistencia eléctrica sino del potencial eléctrico espontáneo. Al comparar los dos juegos de gráficas, los Schlumberger dedujeron que en tanto que en la de resistividad las líneas subían en presencia de roca dura, en las de potencial espontáneo los puntos más altos correspondían a la roca porosa. La confrontación de las dos lecturas les permitió llegar a una conclusión - que iba a revolucionar la industria de la explotación petrolera: Cuando las dos curvas llegan a un tope a la misma profundidad - hay muy buenas posibilidades de encontrar hidrocarburos.

El uso comercial de los registros eléctricos fue acompañado por mecanismos mejorados, tales como un cepillo montado, - que "limpiaba" un poco las formaciones para una mejor lectura, - así como también, mejoras en la elaboración del cable; igualmente con el tiempo, se desarrollaron métodos de medición de profundidad más exactos. (1)

Durante corto tiempo experimentaron el método en Estados Unidos, Fig. No. II-2; así como también, los mismos resultados - los obtuvieron en Venezuela y en la Unión Soviética donde exploraron algunos de los grandes yacimientos petroleros que todavía continúan en explotación: Maracaibo, Baku, los Urales y el Cáu - caso. (1)

Conforme fue pasando el tiempo el registro eléctrico desplazó a aquellos buscadores al azar, que confiaban en su intuición y en el olor del lodo de perforación como método para localizar hidrocarburos. (1)

b) Principios fundamentales del registro eléctrico.

Las operaciones de medición de las propiedades eléctricas de las formaciones que se atraviezan en una perforación se realizan utilizando un instrumental variado, compuesto por receptores susceptibles al menor cambio de presión eléctrica; -- montados sobre una unidad móvil y por una "sonda", dispositivo provisto de electrodos conectados a un voltímetro registrador; las sondas constan de dos circuitos, uno de corriente y otro - de medición, los cuales se introducen al pozo en un solo cable⁽²⁾ dispositivo que al estar en contacto directo con las formaciones que atravieza un pozo de perforación emitirá a la unidad móvil - (camión equipado) sus respuestas correspondientes, además dicha unidad móvil también estará provista de fuentes de energía emitidas al pozo para medir la resistividad de las formaciones al paso de la energía, concepto que se ampliará más adelante.

Cuando se toma un registro eléctrico en un pozo se obtienen cuatro mediciones que se grafican en forma continua en una película, obteniéndose de ésta manera cuatro curvas diferentes, la curva registrada a la izquierda del carril central se conoce como curva de autopotencial o potencial espontáneo; a la derecha del carril central se grafican las tres restantes y corresponden a las conocidas como curvas de resistividad.

La curva de potencial espontáneo registra la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, Fig. No. II-3. Esta dife

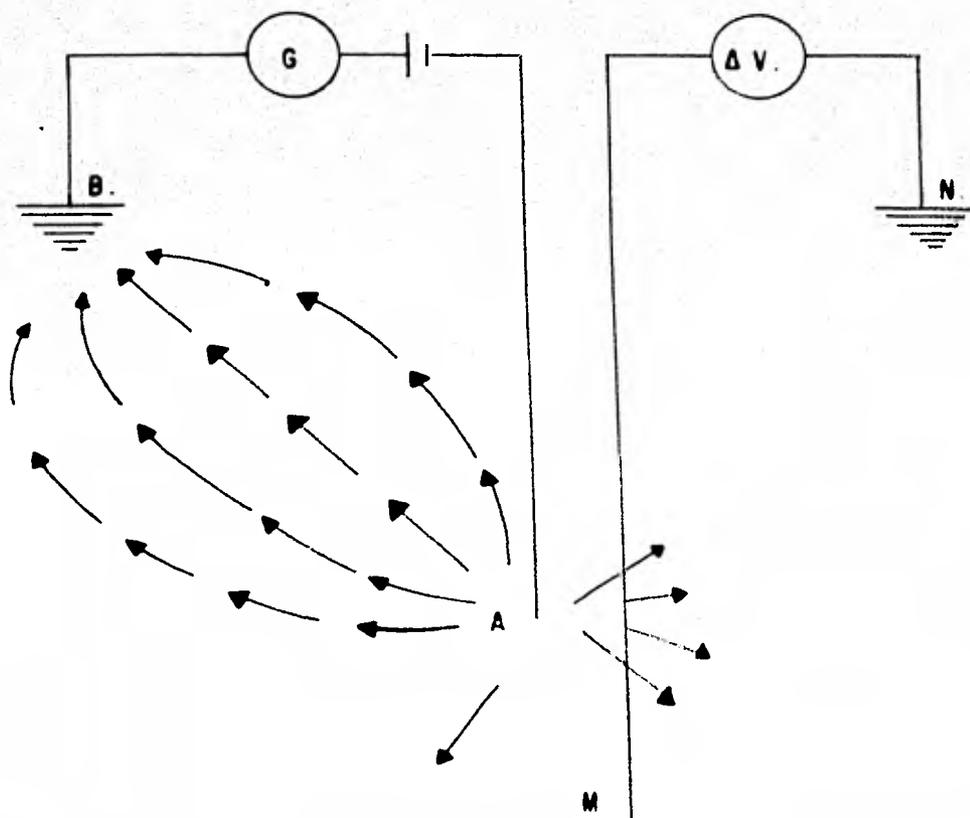


FIG. II-3. EL POTENCIOMETRO "ΔV" MIDE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE "M" Y "N" $\Delta V = V_m - V_n$ (2)

rencia de potencial es producida por el paso de iones de una sustancia a otra.^(2,3,4)

El electrodo M se conecta, por medio de un alambre aislado, con un voltímetro registrador, Fig. No. II-4. El otro polo del voltímetro registrador se conecta con el electrodo N, puesto a tierra en la superficie terrestre. Subiendo por el pozo el electrodo M, se registra la curva de la Fig. No. II-4, - la cual es la medida de la diferencia en potencial entre los - electrodos M y N. Como el N permanece fijo, la curva registrada representa las variaciones de la diferencia en potencial entre el lodo, al nivel de cada formación, y un punto fijo, de potencial constante. Este es un circuito eléctrico simple, y puesto que por fuera no se usa ningún acumulador ni generador para suministrar energía, los potenciales registrados los producen espontáneamente las formaciones; de ahí el nombre de la curva.⁽⁴⁾

En un pozo los potenciales eléctricos se pueden producir espontáneamente, lo cual se ha definido basandose en estudios realizados en laboratorio. En un acumulador de "cobre-cinc", comúnmente llamado pila voltáica, Fig. No. II-5-A, la diferencia de potenciales proviene de la acumulación de iones negativos sobre la placa de cinc. Si ambas, la de cinc y la de cobre están conectadas por la cadena cinc-cobre-ácido, fluye energía eléctrica.^(2,3,4)

En la Fig. No. II-4, se presenta la curva de el autopotencial, la cual al observarla se podrá notar una serie de deflexiones hacia la izquierda o hacia la derecha, deflexiones que han si

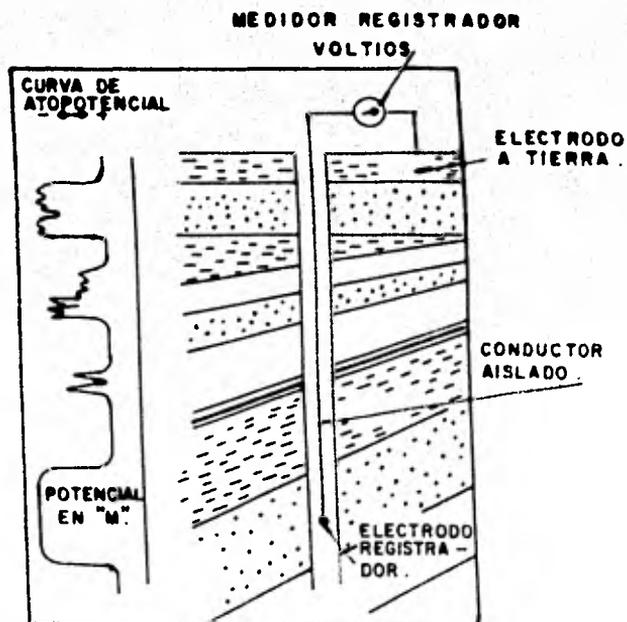


FIG. II-4. LA CURVA DE AUTOPOTENCIAL (IZQUIERDA) Y EL ARREGLO CORRESPONDIENTE (2)

do denominadas positivas o negativas, es decir que si la curva del autopotencial deflexiona hacia la izquierda será negativa, y positiva la deflexión hacia la derecha. Las deflexiones hacia la izquierda por lo general indicarán formaciones porosas en tanto que a la derecha indicarán formaciones impermeables, tales como lutitas, areniscas bien cementadas, etc. Esta es una regla muy general pero puede haber excepciones, por ejemplo, las arenas saturadas de agua dulce suelen ser indicadas por una deflexión positiva en la curva del autopotencial.^(2,3,4)

Volviendo a los estudios realizados en laboratorio podremos decir también que un fenómeno electroquímico semejante produce la mayor parte del autopotencial presente en el pozo, ya que la fuerza electromotriz que genera corrientes espontáneas, se puede explicar mediante el mecanismo que los físicos denominan pilas de concentración.⁽³⁾ Una pila de concentración se forma al contacto de dos soluciones de diferente concentración salina. En una pila tal, los iones fluyen de la solución más salina a la menos salina, y así se crea la diferencia de potencial, Fig. No. II-5B. Hasta cierto punto, esto se puede comparar con el movimiento del gas cuando se ponen en contacto dos receptáculos a presiones diferentes.

En general no son muy altos los potenciales generados entre dos líquidos, aún cuando haya gran diferencia entre concentraciones, no pasan de milivoltios. Pero si las dos soluciones están separadas por un tabique arcilloso (lutita o marga) por ejemplo, se observan potenciales mucho más altos.⁽³⁾ A esto se le llama "Potenciales de membrana" o simplemente "Potenciales de Lu-

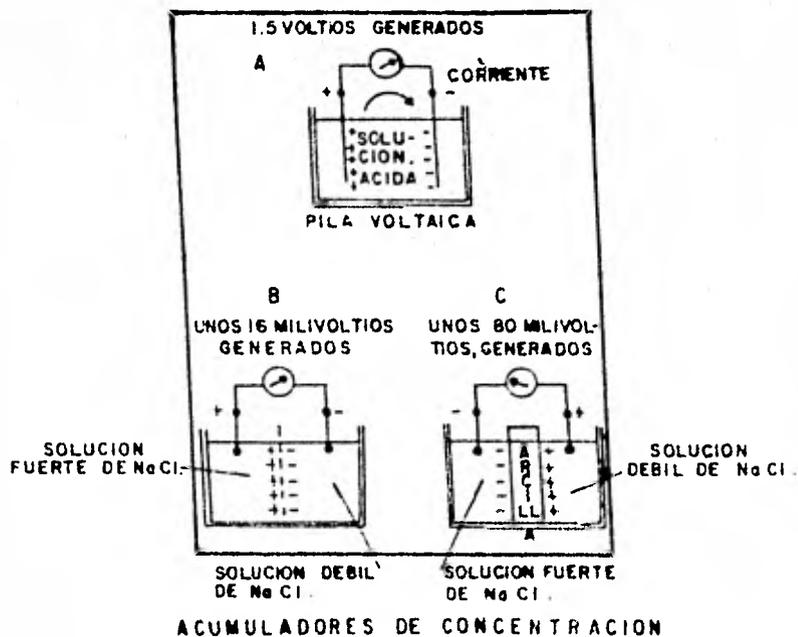


FIG. II-5. COMO SE PRODUCEN EN UN POZO LOS AUTOPOTENCIALES ELECTRICOS.⁽³⁾

tita". Fig. No. II-5C.

En la Fig. No. II-6, puede verse el citado efecto, pues muestra una arenisca porosa saturada de agua salada, entre dos capas de lutita. Por esas formaciones pasa un pozo que contiene lodo de perforación hecho con agua dulce. Este sistema tiene los mismos elementos de la pila de concentración de la Fig. - No. II-5C. La solución fuerte que satura la arenisca esta separada de la solución débil del lodo, por un tabique de lutita. - Por lo tanto, los potenciales de contacto se producen y crean - electricidad fluente a través de la arenisca, de la lutita y del lodo como lo indican los circulos señalados por flechas, en los límites de la formación. Este fenómeno en el pozo causa diferencias en potencial que son registradas por el electrodo móvil, M. Así es como se obtiene la curva de autopotencial la que es registrada por los instrumentos situados fuera del pozo. A mayor diferencia en salinidad entre la del lodo y la de la formación, corresponde mayor intensidad de la corriente generada por la pila. (3) Si el lodo es más dulce que el agua de la formación, el autopotencial es negativo (esta es la relación más usual), ocurre en areniscas con agua salada y en casi todas las que contienen hidrocarburos, las cuales siempre contienen algo de agua intersticial. Pero si el lodo es más salado que el agua de la formación, la deflexión del autopotencial es positivo, como con frecuencia se observa en arenas con agua dulce. Si la salinidad del lodo es igual a la de la formación, no se observará au topotencial alguno. En la Fig. No. II-7, se ven tres curvas de

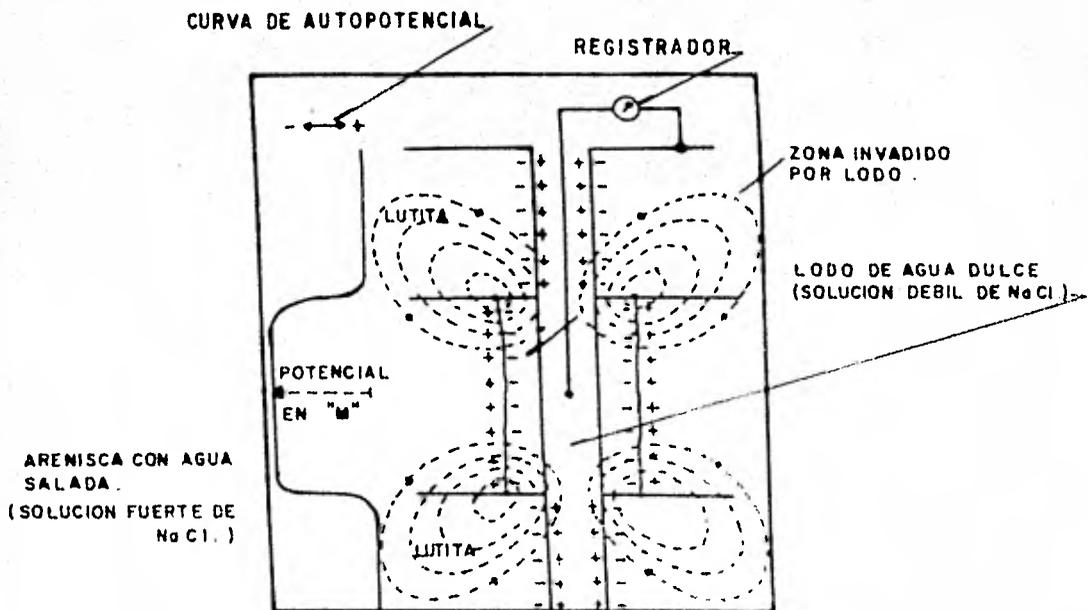


FIG. II-6. ILUSTRACION DEL EFECTO DEL POTENCIAL DE LUTITA. ⁽³⁾

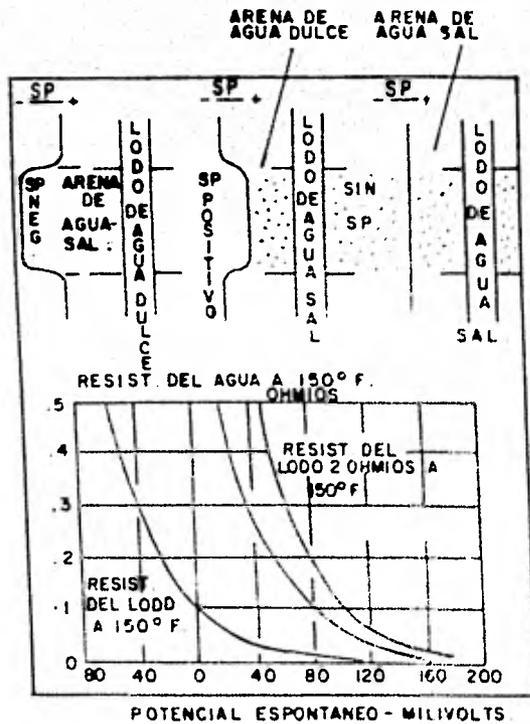


FIG. II-7. TRES CURVAS DE AUTOPOTENCIAL DADAS POR VARIAS RELACIONES DE SALINIDAD DEL AGUA DEL LODO Y DE LA FORMACION. ⁽³⁾

autopotencial dadas por varias relaciones de salinidad del lodo y de la formación, (3,4)

Otro de los fenómenos que produce la energía para originar el S.P. es el llamado efecto "Electrocinético". (3) La filtración del lodo a través del enjarre produce una fuerza electromotriz electrocinética la cual está en función de varios parámetros, entre los cuales está la presión diferencial a través del enjarre de baja permeabilidad y la resistividad del lodo.

Las arcillas también tienen permeabilidades que, a pesar de ser muy bajas, son suficientes como para permitir alguna filtración del lodo. En consecuencia, existe una fuerza electrocinética en las arcillas. La fuerza electrocinética que afecta la curva del S.P. es la diferencia de presión entre la columna de lodo de perforación y la presión existente en determinadas formaciones que atravieza el pozo. Esta diferencia normalmente es pequeña. Una excepción posible a este caso es el de una capa explotada. La componente electrocinética del S.P. es generalmente baja y en la práctica se le considera despreciable.

El movimiento de iones que causa el fenómeno del S.P. es posible solo en formaciones que tengan un mínimo de permeabilidad (una pequeña fracción de milidarcy es suficiente). Pero no hay relación directa entre el valor de la permeabilidad y la magnitud de la desviación del S.P. así como ésta, tampoco tiene ninguna relación directa con la porosidad. (3)

La Fig. No. II-8, indica esquemáticamente las líneas de corriente del S.P. La dirección de la corriente del S.P. mostrada corresponde al caso usual en el que la salinidad del agua de formación es mayor que la del filtrado del lodo. Por lo tanto, el potencial que existe frente a una capa permeable es negativo con respecto al potencial frente a una arcilla. Esta variación negativa del S.P., corresponde a una desviación hacia la izquierda de la curva del S.P. (3,4)

Si la actividad del filtrado de lodo es mayor que la del agua de formación las corrientes del S.P., fluirán en dirección opuesta. En este caso la desviación del S.P., en una capa permeable será positiva (eso significa desviación hacia la derecha). Desviaciones positivas del S.P., se observan en formaciones de agua dulce.

Como se observa en la Fig. No. II-8, las corrientes del S.P., fluyen en cuatro medios diferentes: el pozo, la zona invadida, la zona no invadida de la formación permeable y las arcillas adyacentes. En cada medio el potencial a lo largo de una línea de corriente cae en proporción a la resistencia encontrada. La caída total del potencial en una línea de flujo de corriente es igual a la fuerza electromotriz total. (3)

Por lo que respecta a la resistividad y como anteriormente se mencionó, son las curvas registradas a la derecha del carril central; su obtención es a partir de una corriente inducida dentro

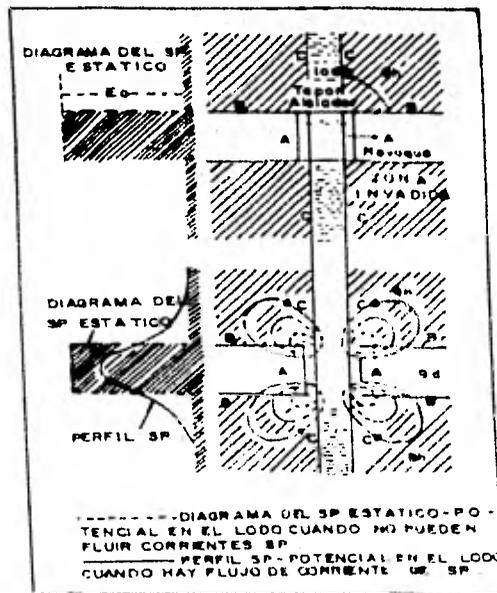


FIG. II-8 · PRESENTACION ESQUEMATICA DE LA DISTRIBUCION DE POTENCIALES Y CORRIENTES DENTRO Y ALREDEDOR DE CAPAS PERMEABLES (3)

del pozo, tomando como base el estudio realizado en laboratorio donde se considera el principio de que una roca sometida al flujo de la corriente, esta va a fluir a través de ella, pero con una pérdida por efecto de la resistencia que opone la roca al paso de la misma.^(2,3,4,5) En el caso de la Fig. No. II-9, en la que se tiene una muestra de roca sacada del subsuelo para medición eléctrica; y donde los polos de un acumulador o de un generador se han conectado con los extremos de la muestra en las posiciones A y B. La corriente fluye, de A a B a través de la muestra. La presión eléctrica (el potencial) es mayor en A que en B. La pérdida de presión es causada por la resistencia de la roca al flujo eléctrico, resistencia que se mide en voltios con un voltímetro o un aparato semejante. El paso de la corriente o sea la "intensidad" se lee en amperios, en el amperímetro - D. La resistencia que ocasiona una pérdida de potencial entre A y B, es una característica de la roca que se estudia. A mayor resistividad de la roca corresponderá mayor pérdida de presión eléctrica entre A y B.

La resistividad es la resistencia al paso de la energía eléctrica en una unidad de volumen de roca y se mide en ohmios.⁽²⁾ Fig. No. II-10.

Siguiendo estos principios la medición de la resistividad en el pozo se efectua como se ve en la Fig. No. II-11, donde una corriente eléctrica es transmitida por alambres aislados, entre los electrodos A y B. Al pasar de A a B, la corriente se dispersa en la formación y la mayor parte se concentra en una trayectoria mostrada aproximadamente en dicha figura.⁽⁴⁾

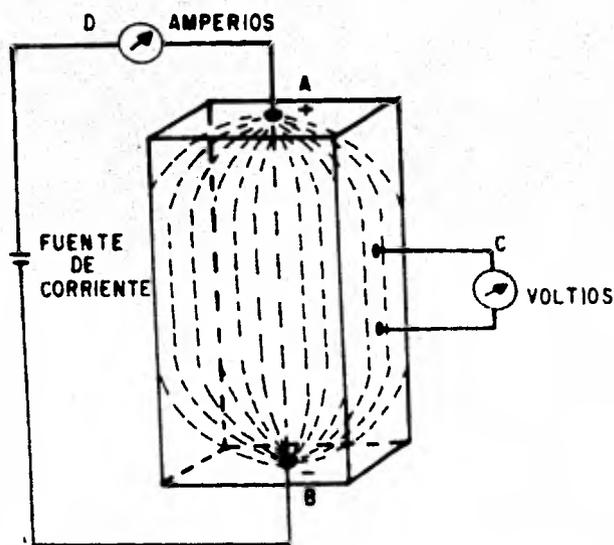
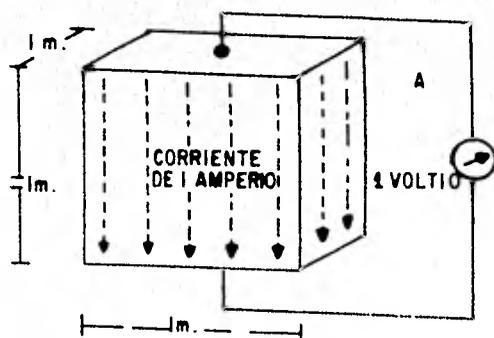


FIG. II-9 . PARA AVERIGUAR LA RESISTIVIDAD DE UNA ROCA (FORMACION) UN TROZO DE LA MISMA SE SACA DEL SUBSUELO Y SE MIDE EN EL LABORATORIO .¹³¹

RESISTIVIDAD DE 1 OHMIOMETRO



RESISTIVIDAD DE 10 OHMIOMETROS

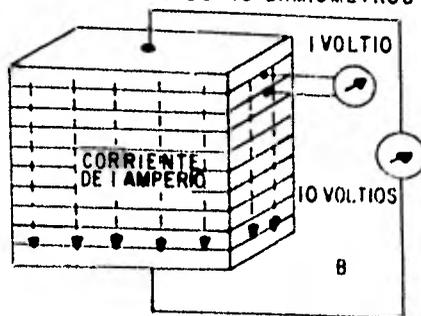


FIG. II-10. PODRIA DECIRSE QUE "B" (RESISTIVIDAD 10 OHMIOS) ES UNA ARENISCA PETROLIFERA Y QUE "A" (RESISTIVIDAD 1 OHMIO) ESTA SATURADA DE AGUA. ⁽³⁾

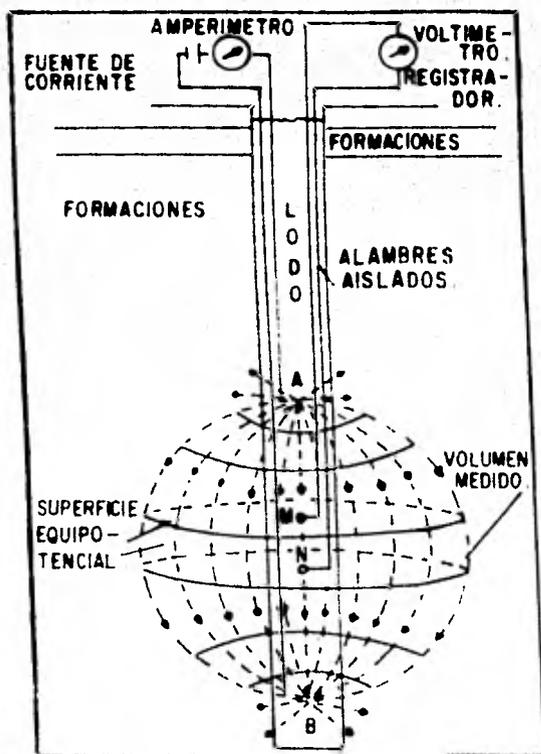


FIG. II-11. AL PASAR DE "A" A "B" LA CORRIENTE ELECTRICA SE DISPERSA Y LA MAYOR PARTE SE CONCENTRA EN LA TRAYECTORIA AQUI INDICADA. (3)

c) Aplicaciones en la Industria Petrolera.

Tomando en cuenta que el registro eléctrico fue el primero en usarse dentro de la industria petrolera y como ya se señaló ha marchado a la par de ésta, las aplicaciones que se han hecho de los registros eléctricos a lo largo del tiempo, son muy variadas. Dichas aplicaciones se han dividido en dos grandes grupos:

- a).- Cualitativas
- b).- Cuantitativas.

Dentro de las determinaciones cualitativas que se pueden realizar a partir de los datos del registro eléctrico se enumeran las siguientes:

- 1.- Definición de capas permeables.
- 2.- Determinación del contacto agua-hidrocarburos.
- 3.- Determinación del tipo de fluidos presentes en la formación.
- 4.- Ubicación de la cima y la base de un cuerpo homogéneo (lo que permite la correlación entre capas).
- 5.- Determinación del ambiente de depósito de los sedimentos.

- 1.- Definición de capas permeables.

Frente a las arcillas las lecturas de la curva del S.P. son más o menos constantes y tienden a seguir una línea recta en

el perfil, lo que se conoce como línea base de arcillas. Frente a formaciones permeables la curva del S.P. se aparta de la línea base de arcillas. En capas de suficiente espesor tiende a alcanzar una desviación constante definiendo una línea de arenas. La desviación puede ser hacia la izquierda (negativa) ó hacia la derecha (positiva) dependiendo de las salinidades - relativas del agua de formación y del filtrado del lodo.^(2,3,4)

2.- Determinación del contacto agua-hidrocarburos.

Si se cuenta con el registro eléctrico de un pozo que durante su perforación penetró la zona productora de hidrocarburos y la zona de agua, la determinación cualitativa del contacto agua-hidrocarburos (CA/H) se establecerá mediante la observación de las formas que presenten las curvas del registro eléctrico. Fig. No. II-14, es decir, de las formas de la curva del S.P., y de resistividad (Normal larga, Normal corta y Amplificada). Generalmente la curva de resistividad tiende a bajar, aún cuando la curva del S.P. muestra una deflexión negativa indicando un cuerpo con posibilidades de contener hidrocarburos.⁽³⁾

3.- Determinación del tipo de fluidos presentes en la formación.

El tipo de fluidos existentes en la formación se definirá basándose en los valores de resistividad que presenta el registro ya que se sabe por estudios realizados en laboratorio, que el agua es un fluido poco resistivo y los hidrocarburos son alta-

mente resistivos lo que se verifica en las curvas de resistividad tomadas por el registro eléctrico. (5,6 y 7)

4.- Ubicación de la cima y la base de una capa homogénea.

La cima y la base de una cierta formación puede determinarse por la observación de los puntos de deflexión de esta curva (S.P.). Además siguiendo el procedimiento llamado "cuenta de arenas", en el que por discriminación de las deflexiones positivas y negativas del S.P., es posible determinar el espesor neto poroso. La correlación geológica es posible mediante esta curva, porque ciertos horizontes le imprimen una forma característica a sus deflexiones, lo que se deriva de las características de su secuencia litológica. Observando las variaciones del S.P., es posible establecer secuencias arenosas, arcillosas, o de las capas tales como, lenticularidad, convergencia.⁽³⁾

5.- Determinación del ambiente de depósito de los sedimentos.

La aplicación de los registros eléctricos en este aspecto se analizará con detalle más adelante, ya que es la parte fundamental de este trabajo.

Por lo que respecta a las determinaciones cuantitativas, las más importantes son:

- 1.- Saturación de agua (Sw)
- 2.- Porosidad (ϕ)
- 3.- Permeabilidad (K)
- 4.- Determinación de arcillosidad
- 5.- Determinación del contacto agua-hidrocarburos.

1.- Saturación de agua (Sw).

Para el cálculo de la saturación de agua, Sw, se han desarrollado varios métodos basados en la información proporcionada - por las curvas de los registros eléctricos, algunos de ellos son bastante sofisticados por la inclusión de datos de algunos otros registros geofísicos, que por su complejidad y laboriosidad, requieren el auxilio de la computadora, así por ejemplo tenemos el caso de los métodos que por sus iniciadores llevan el nombre de estos: Método de Archie⁽⁴⁾ y Método de Poupon;⁽⁵⁾ sin embargo, - se considera que todos han partido de la aplicación que Archie - hizo del registro eléctrico, así:

$$Sw = \sqrt{\frac{FRw}{Rt}}$$

Donde:

F.- Factor de Formación.

Rw.- Resistividad del agua de la formación.

Rt.- Resistividad verdadera de la formación.

F.- Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{Rxo}{RmI} = \frac{Ro}{Rw}$$

Donde:

R_o.- Resistividad de la formación 100% saturada de agua.

R_{xo}.- Resistividad de la zona lavada y se obtiene de la lectura del registro eléctrico (NC-16")

R_{mf}.- Resistividad del filtrado del lodo, se obtiene de la gráfica de la Fig. No.II-16, por medio de la densidad del lodo y de la temperatura a la cual se encuentra la formación.

R_w.- Se puede obtener a partir de:

$$R_w = \frac{R_{mf}}{10^{-SSP}} \text{ en donde } K = \text{Constante de proporcionalidad cuyo valor se determina por la ecuación:}$$

$$K = 64 + 0.23 T$$

$$T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

SSP - Potencial espontáneo estático, cuyo valor se obtiene de la diferencia de lecturas, obtenidas de la curva S.P., (la lectura de la línea base de arenas menos la lectura de la línea base de arcillas, cuya diferencia resulta en milivolts, en una arena con $S_w = 100\%$)

R_t.- Se obtiene de la lectura del registro eléctrico de la curva NL-40". (2, 3 y 4)

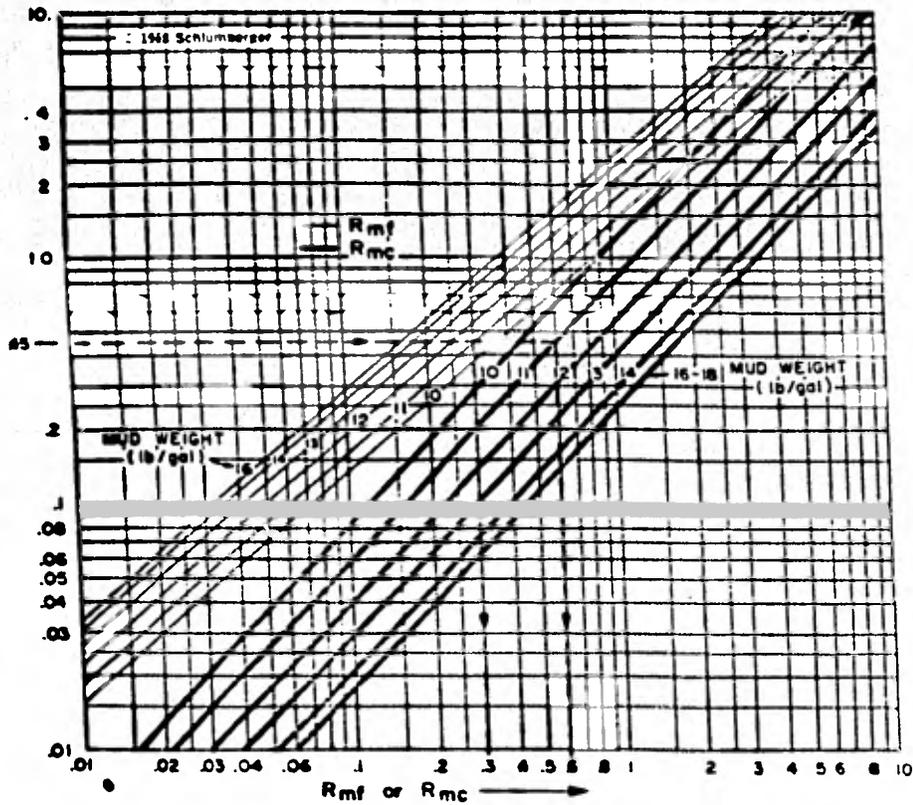


FIG. II - 16: GRAFICA PARA OBTENER VALORES DE R_{mf} .⁽²⁾

2.- Porosidad (ϕ)

Al considerar el término porosidad en el sentido cuantitativo de una formación, se hace referencia generalmente al porcentaje que representa el volumen del espacio poroso con respecto al volumen total. Existen 2 tipos de porosidad: efectiva y absoluta; porosidad efectiva, es aquella en la que se considera el volumen de poros comunicados entre el volumen de roca; porosidad absoluta, será aquella en la cual se consideraran todos los espacios porosos estén o no comunicados entre el volumen total de roca. Para fines comerciales de extracción importará más el primer tipo de porosidad o sea la efectiva.

$$\phi = \frac{V_{pc}}{V_R}$$

De donde:

ϕ .- Porosidad

V_{pc} .- Volumen de poros comunicados.

V_R .- Volumen de roca

El cálculo de la porosidad (ϕ) se puede realizar a partir de las siguientes ecuaciones:

$$F = \frac{RO}{RW} \text{ que ya conocíamos y}$$

$$F = \frac{A}{\phi^m} \quad \phi = \sqrt[m]{\frac{A}{F}} \text{ siendo:}$$

m.- Factor de cementación, siendo igual a dos en arenas y en formaciones compactas

tadas, valores propuestos por Archie.⁽⁴⁾
m.- Propuesto por Humble,⁽⁶⁾ será igual a -
2.15 para "areniscas" y 2 en rocas "gre
dosas", así como 2.2, 2.5 hasta 3 para
rocas "olicásticas"

A.- Constante, la cual se calcula en forma
empírica.

"A" por Archie = 0.81 en arenas, 1 en forma
ciones compactadas.⁽⁴⁾

"A" por Humble = 0.62 para areniscas, 1 para
rocas "compactas y olicásticas".⁽⁶⁾

Así también es obtenible la porosidad (ϕ) por medio de la gráfica de la Fig. NO. II-15.

3.- Permeabilidad (K)

La permeabilidad de una roca se puede explicar como la medida de la resistencia ofrecida por la roca a el paso de los - fluidos a través de sus espacios porosos y su unidad de medición será el "darcy" cuya definición se expresa como "la velocidad de flujo en centímetros por segundo de un fluido que tiene una viscosidad de un centipoise, a través de una sección transversal de un centímetro cuadrado de la roca, bajo un gradiente de presión de una atmósfera (760 m.m. Hg) por centímetro". Dado que el - "darcy" es una unidad grande, por conveniencia se emplea generalmente una unidad más pequeña (el milidarcy = 0.001 darcy) para - reportar las permeabilidades de la roca; no existe una relación necesaria entre permeabilidad y porosidad de una roca, dado que una roca puede ser muy porosa y al mismo tiempo ser impermeable,

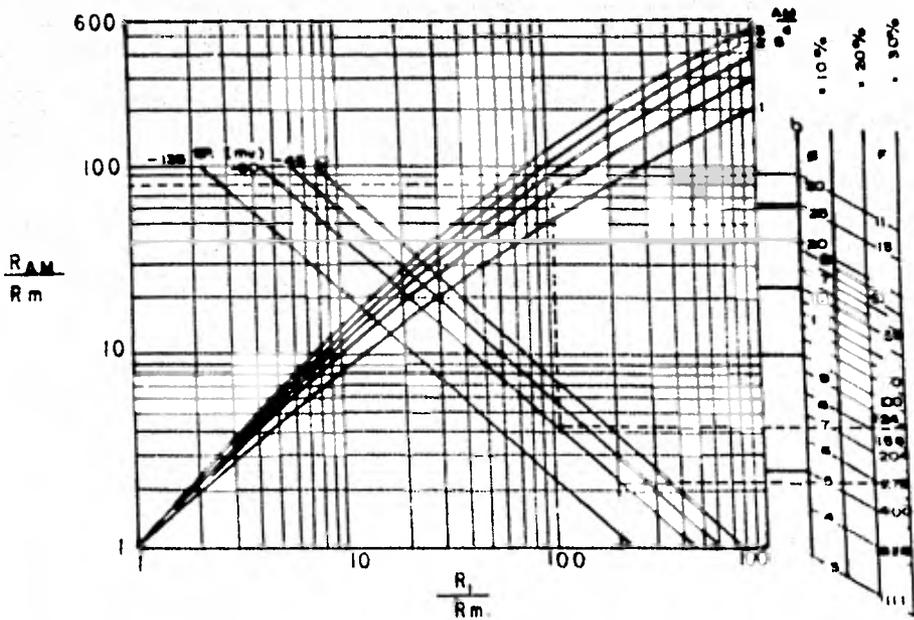


FIG. II-15. DETERMINACION DE LA POROSIDAD Y EL FACTOR DE FORMACION DE LA CURVA NORMAL CORTA (R_{0.40})⁽²⁾

si no hay comunicación entre los poros. Para el cálculo de la permeabilidad teniendo ya evaluados los parámetros S_w y ϕ se recurre a las gráficas de la Fig. No. II-17. (3,4,5,6 y 7)

4.- Determinación de Arcillosidad.

El S.P., puede servir de indicador de arcillosidad en arenas invadidas. Varias expresiones o ecuaciones aproximadas han sido usadas. Una de esas aproximaciones consiste en estimar el factor de arcillosidad (V_{sh}) en arenas invadidas de una ecuación tal como:

$$V_{sh} = 1 - (PSP/SSP)$$

Cuando la zona arcillosa contiene hidrocarburos el S.P. se reduce aún más y la cantidad $(1 - (PSP/SSP))$ es solamente un límite superior para V_{sh} . (3)

5.- Determinación del contacto agua-hidrocarburos.

Para determinar el contacto agua-hidrocarburos mediante la interpretación cuantitativa de los registros eléctricos, la saturación de agua S_w será el parámetro básico para definir dicho contacto. A partir del cálculo de S_w en intervalos de la formación, aplicando uno de los métodos ya mencionados, se definirá la distribución de fluidos en el yacimiento y consecuentemente el contacto agua-hidrocarburos que corresponderá a $S_w = 100\%$ (3,4,5,6)

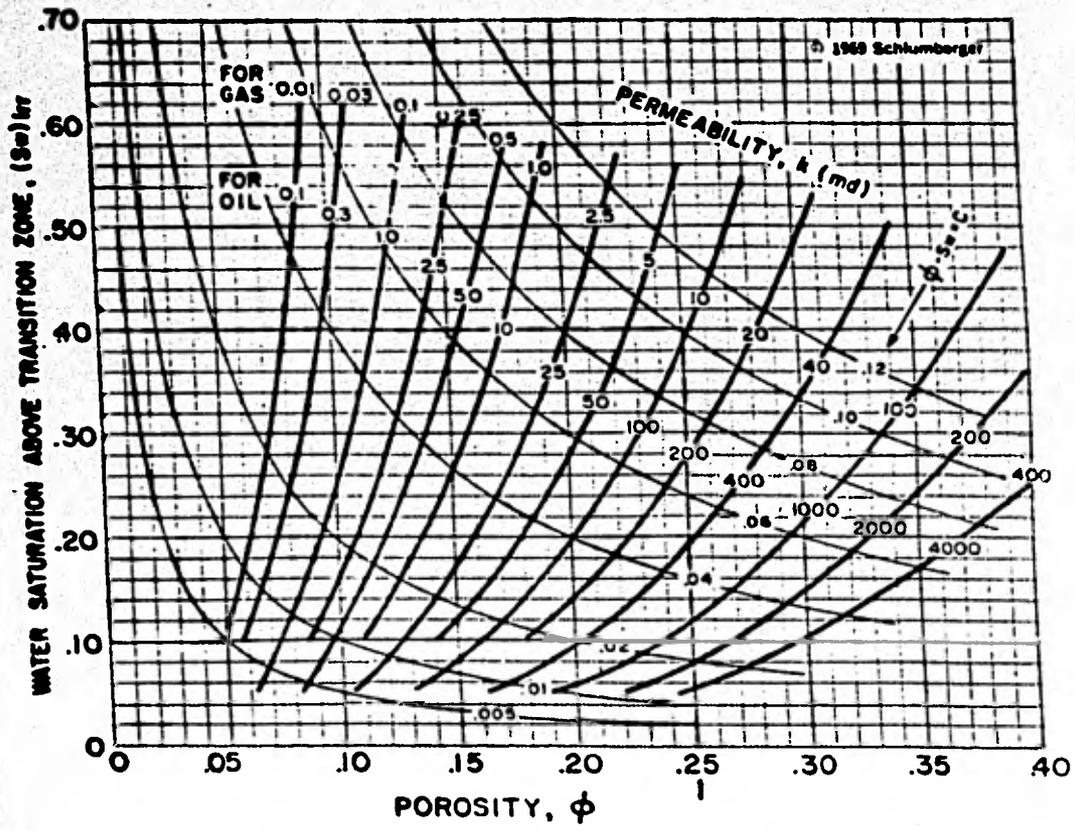


FIG. II-17: GRAFICA PARA OBTENER PERMEABILIDADES ⁽²⁾

III.- AMBIENTES DE DEPOSITO DE SEDIMENTOS ARENOSOS.

El "medio ambiente" se considera como la suma de los factores físicos, químicos y biológicos, que influyen en el desarrollo de un organismo, comunidad u objeto de una región específica.⁽⁸⁾ Desde el punto de vista sedimentológico el ambiente determinará características especiales a los depósitos sedimentarios, estos presentarán además características de la fuente de la cual provienen, dependiendo de los factores que intervengan desde su origen, hasta su completa transformación en roca. La diversidad de factores, que intervienen en la formación de las rocas sedimentarias son muy amplios ya que abarcan diferentes aspectos del área de suministro y de la del depósito, así como los de transporte.⁽⁸⁾

Geológicamente se puede considerar que el término "medio ambiente" de depósito significa ambiente geográfico, con características morfológicas propias como por ejemplo una zona de lagos o una de desiertos en la que se efectúa el depósito de los sedimentos y en el que los factores del ambiente son lo suficientemente constantes para formar un depósito característico.⁽⁸⁾ Fig. No. III-1.

De la unión de los procesos y las características morfológicas del área, se esperará una influencia directa en la textura de la roca, o sea la forma, tamaño, orientación y arreglo interno de los componentes de la misma. Igualmente

también influirán en la estructura de la roca (tipo y grado de estratificación, forma y tamaño del cuerpo y estructuras sedimentarias de la misma) de ahí que existan muchas variantes en las características de las rocas dependiendo del ambiente de depositación.

a) Clasificación general de los ambientes de depositación de terrígenos.

Para realizar la clasificación de los ambientes de depositación se han tomado en cuenta diferentes bases, por ejemplo: si la base de clasificación es el proceso responsable de la depositación, se tendrán ambientes de llanura de inundación si el proceso responsable es el agua; o ambientes eólicos si es el viento.⁽⁸⁾

A la vez, también la morfología o su posición geográfica será la base en algunos casos para poder clasificar el ambiente de depositación por ejemplo ambiente costero y ambiente montañoso, Fig. No. III-1.

A continuación, se presenta la clasificación general de los ambientes de depositación basada tanto en su posición geográfica como en su morfología y en los procesos responsables de la sedimentación. Esta clasificación está tomada del trabajo realizado por Le Blanck,⁽⁹⁾ quien hace la clasificación considerando tres ambientes generales: Continental, Transicional y Marino, Figs. Nos. III-2A, III-2B, y III-2C, igualmente se pre-

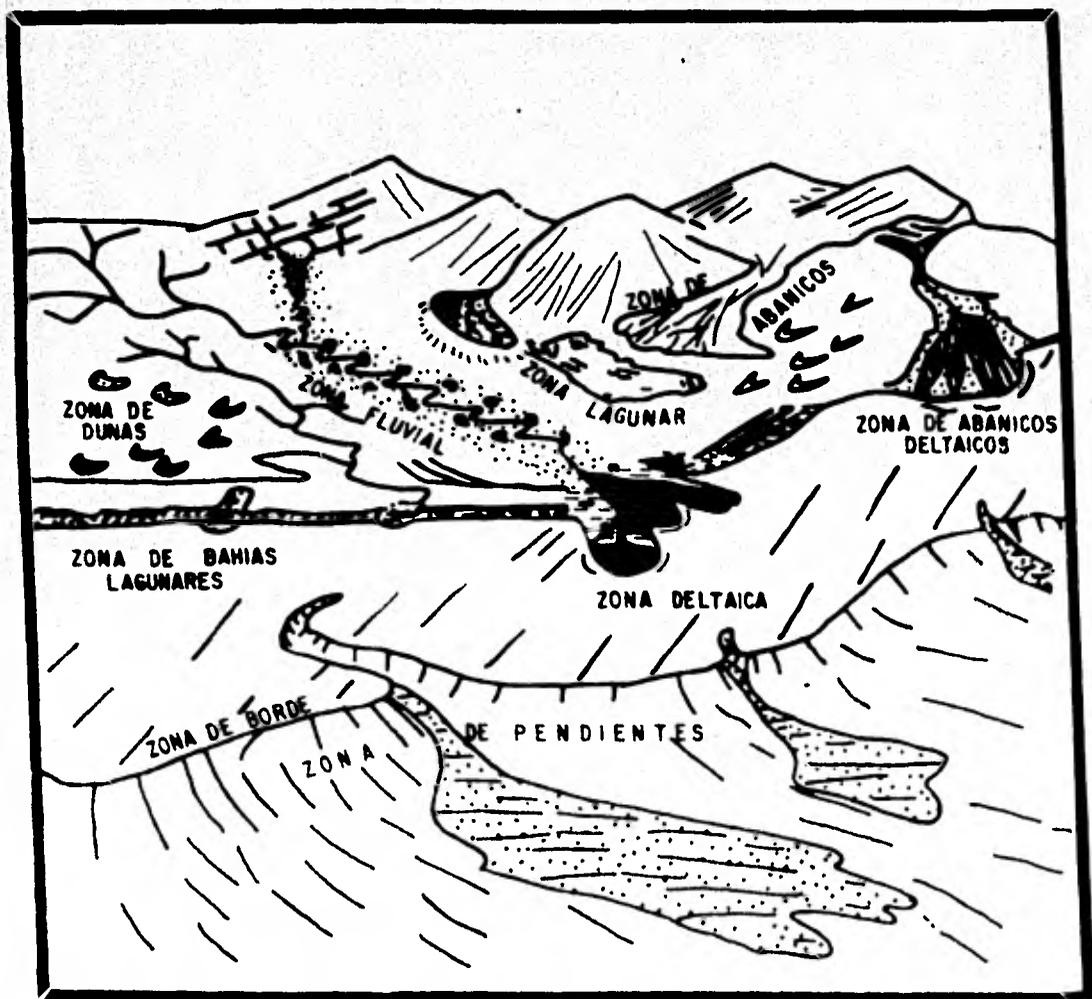
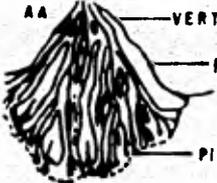


FIG. N.º. III-1.-LOCALIZACION DE LOS DIFERENTES AMBIENTES O ZONAS MORFOLOGICAS.⁽¹⁾

sentan los modelos de depositación que se originan en los diferentes ambientes. (9)

A M B I E N T E S				MODELOS DE DEPOSITO
C O M T I N E N T A L	A L U V I A L (FLUVIAL)	ABANICOS ALUVIALES	FLUJOS DE CORRIENTE FLUJOS VISCOSOS	CANALES FLUJOS LAMINARES DEPOSITOS TRENZADOS FLUJO DE DESPERDICIOS FLUJOS DE L O D O  ABANICO ALUVIAL
		CORRIENTES TRENZADAS		CANALES (VARIOS TAMAÑOS) LONGITUDINALES TRANSVERSALES CORRIENTES TRENZADAS 
		CORRIENTES SERPENTEANTES (VALLE ALUVIAL)	MEANDROS	CANALES BORDOS DE CANAL BARRAS DE MEDIA LUNA CUENCA DE INUNDACION CORRIENTES, LAGOS Y PANTANOS CORRIENTES DE SERPENTEADO 
	E O L I C O	D U N A S	DUNAS COSTERAS	T I P O S TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES BARCHAN PARABOLICA FRONTALES DUNAS COSTERAS DUNAS DE DESIERTO 
			DUNAS DESERTICAS	
			OTRAS DUNAS	

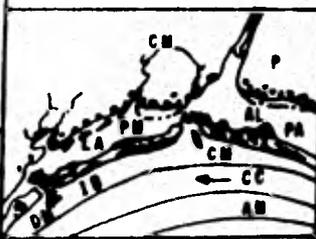
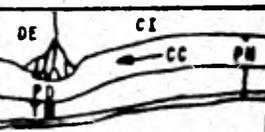
AA-ABANICO ALUVIAL; BC-BORDOS DE CANAL; BL-BARRAS LONGITUDINALES; BML-BARRAS DE MEDIA LUNA; CT-BARRAS TRANSVERSALES
 CI-CUENCA DE INUNDACION; CS-CORRIENTES SERPENTEANTES; CT-CORRIENTES TRENZADAS; RB-ROMPIMIENTO DE BORDOS.
 SD-SEDIMENTOS DESPARRAMADOS

FIG. N^o. III-2A - CLASIFICACION DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITO⁽⁹⁾

A M B I E N T E S				M O D E L O S D E D E P O S I T O			
T R A N S I C I O N A L	D E L T A I C O	P L A N I C I E D E L T A I C A S U P E R I O R	M E A N D R O S	C A N A L E S	T I P O S D E D E L T A		D E L T A T I P O L O B U L A D O P I E D E P A J A R O
				B O R D O S D E C A N A L			
				B A R R A S D E M E D I A L U N A			
		P L A N I C I E D E L T A I C A I N F E R I O R	C U E N C A D E I N U N D A C I O N	C O R R I E N T E S L A G O S Y P A N T A N O S			D E L T A T I P O A R Q U E A D O
				C A N A L E S D I S T R I B U T A R I O S			
		F R E N T E D E D E L T A	I N T E R N O	B A R R A S D E D E S E M B O C A D U R A P L A Y A S P L A N I C I E D E M A R E A			D E L T A T I P O E S T U A R I O
				E X T E R N O			
		P O R C I O N D I S T A N T E					

BC- BARRAS COSTERAS ; BO- BARRAS DE DESEMBOCADURA ; CD- CANAL DISTRIBUTARIO ; CI- CUENCA DE INUNDACION ; CM- CANALES DE MAREA
 COM- CORRIENTES MARINAS ; L- LAGOS DISTRIBUTARIOS ; LE- LIMITE EXTERNO ; LI- LIMITE INTERNO ; PI- PANTANO INTERDISTRIBUTARIO
 PA- PLANICIE ALUVIAL ; PCA- PLATAFORMA CONTINENTAL ANGOSTA ; PD- PLANICIE DELTAICA ; PDI- PLANICIE DELTAICA INFERIOR
 PDS- PLANICIE DELTAICA MEDIA ; PDS- PLANICIE DELTAICA SUPERIOR ; PSM- PORCION SUBACUOSA MARINA

Fig. N^o III-2 B.- CLASIFICACION DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITO⁽⁹⁾

A M B I E N T E S				M O D E L O S D E D E P O S I T O		
M A R I N O T R A N S I C I O N A L	C O S T E R O	P L A N I C I E C O S T E R A (S U B A E R E A L)	I S L A S D E B A R R E R A	B A R R E R A S, P L A Y A S, B A N C O S Y P L A N I C I E S, A B A N I C O S D E M A R E A		C O M P L E J O D E I S L A S D E B A R R E R A
			P L A N I C I E S D E P L A Y A S A B A N D O N A D A S	P L A Y A S P L A N I C I E S D E M A R E A		
			M A R E A	P L A N I C I E S D E M A R E A D E L T A S D E M A R E A		
	I N T E R D A L T I C O	S U B A C U O S O	L A G U N A S	B A N C O S Y A R R E C I F E S		P L A N I C I E D E P L A Y A S A B A N D O N A D A S
			C A N A L E S D E M A R E A			
			E S T U A R I O S P E Q U E Ñ O S			
M A R I N O	M A R I N O S O M E R O	P L A T A F O R M A (N E R I T I C A)	I N T E R N O	B A N C O S		M A R I N O S O M E R O
			I N T E R M E D I O	S O M E R O S		
			E X T E R N O	Y P R O F U N D O S		
	M A R I N O P R O F U N D O	C A Ñ O N E S A B A N I C O S S U B M A R I N O S P E N D I E N T E Y A B I S A L T R I N C H E R A S Y G A R G A N T A S				M A R I N O P R O F U N D O

A - ABISAL; AM - AMBIENTE MARINO; AS - ABANICO SUBMARINO; B - BAHIA; C - CONTINENTE; CC - CORRIENTE COSTERA; CI - COSTERO INTERDALTICO; CM - CANALES DE MAREA; CS - CAÑON SUBMARINO; D - DUNAS; DE - DELTAICO; DM - DELTA DE MAREA; L - LAGO LA - LAGUNA; MP - MONTICULOS DE PLAYA; P - PANTANOS; PA - PROMONTORIOS DE ARENA; PC - PLATAFORMA CONTINENTAL PD - PRODELTA; PM - PLANICIE DE MAREA; PN - PLATAFORMA NERITICA; PL - PLANICIES DE Lodos TM - TURBIDITAS MARINAS; AL - ABANICO DE LAVADO.

Fig. N° III-2 C. - CLASIFICACION DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITO.⁽⁹⁾

El conjunto de caracteres litológicos y paleontológicos de una roca forman lo que en estratigrafía se conoce como "facies" y las facies en cierto modo determinan el ambiente de formación de los depósitos sedimentarios de ahí que al conocer los tipos de roca y los organismos que en ellas se encuentran se pueda definir su ambiente de formación. Así por ejemplo -- existen fósiles indicativos de un ambiente terrestre como pueden ser los troncos de vegetales (que en muchos casos se presentan silicificados por epigénesis), las impresiones de hojas de flores, de semillas y los granos de polen contenidos en los sedimentos lo cual nos indicará un ambiente continental.⁽¹⁰⁾

En términos generales podemos decir que la fauna fósil del medio continental es muy pobre, ya que las condiciones son poco adecuadas para la fosilización en el medio terrestre.

Para definir el ambiente de depositación lacustre o de lagos, solo existen algunos pocos fósiles como: ciertas esponjas, rarísimos foraminíferos, etc.

El medio palustre, que corresponde a las zonas de los pantanos, donde habitan numerosos vegetales y animales adaptados a esas condiciones especiales del medio, se conservan pocos restos fósiles identificables, sin embargo, su identificación se hace a través de los numerosos depósitos carbonosos originados por la descomposición de grandes acumulaciones de vegetales inferiores, particularmente bacterias y musgos.⁽¹⁰⁾

Medio salobre; este medio se caracteriza fundamentalmente por su baja salinidad, si se compara con la de los mares; debido a ello se desarrollan conjuntos particulares de organismos, tanto animales, como vegetales; que sirven para identificar este ambiente siendo los más representativos los oogonios (que también existen en aguas dulces) y dentro de los grupos animales los foraminíferos ostrácodos y moluscos, así como restos de peces.⁽¹⁰⁾

Para identificar el ambiente de depositación marino los foraminíferos constituyen un grupo de fósiles que tiene gran importancia, ya que son muy abundantes en las rocas sedimentarias marinas desde el Paleozóico hasta el reciente. Además, en base a las variaciones morfológicas se pueden hacer subdivisiones de subambientes ya que existen numerosas formas índices.

2.- Métodos sedimentológicos y granulométricos.

La aplicación de principios sedimentológicos y de análisis granulométricos como método en la interpretación o determinación de los ambientes de depósito tiene gran trascendencia y amplia aplicación dentro de la industria petrolera, dado que las características sedimentológicas, como la secuencia granulométrica, el tipo y algunos rasgos de las estructuras sedimentológicas son resultado directo del ambiente de depósito de los sedimentos; el estudio y análisis de muchos de esos rasgos estructurales conlleva a la determinación de "medio ambiente de formación" de muchas de las rocas sedimentarias.⁽¹¹⁾

La presencia de estructuras de gargantas y de estratificación cruzada o bien el arreglo estructural de los clásticos en secuencias de grueso a fino son algunos de los rasgos sedimentológicos que se utilizan para definir el posible ambiente de depósito.

Por lo que respecta a la utilización de la granulometría en algunos casos se utiliza conjuntamente con los rasgos sedimentológicos; pero también, algunos investigadores han utilizado las técnicas granulométricas como único medio para ese fin.⁽¹¹⁾

Dentro de los distintos métodos granulométricos, existen dos que por su contexto y resultados han demostrado ser eficientes en la determinación del medio ambiente de depósito, dichos métodos son los enunciados por Sahu, B.K.⁽¹²⁾ y Visher, - G.S.⁽¹³⁾ denominados "método discriminante" y "método de la curva Log- Normal".

Método discriminante.

La utilización de este método requiere del uso de parámetros pertenecientes a las ciencias de la probabilidad y la estadística como son: Histogramas de análisis de curvas acumulativas, Curva acumulativa en escala aritmética, Curva acumulativa en escala de probabilidad, Curva de frecuencia, Datos estadísticos de las muestras, así como también, Moda (M_o), Mediana (M_d), Tamaño medio (M_z), Desviación estandar (T_i), Variancia (T_i^2), - Sesgo (S_k), Kurtosis (K_g).

El nombre de método discriminante deriva de la forma en la cual se van eliminando ecuaciones que involucran un par de medios ambientes adyacentes; dichas ecuaciones funcionan - como límites de intersección entre un par de medios ambientes, y a partir de estos límites se puede identificar el probable - medio ambiente de depositación de una muestra. Este método - discutido por Sahu, B.K.⁽¹²⁾ determina el medio ambiente de depósito, sin embargo, para mayor precisión en su resultado se - requiere de un mayor número de muestras para analizar y proba-

blemente el uso del tubo de sedimentación.

Las fórmulas que emplea el método son:

a).- Para distinguir entre los medios ambientes eólico y de playa:

$$Y \text{ eólico-playa} = - 3.5688 Mz + 3.7016 Ti^2 - 2.0766 Sk + 3.1135 Kg.$$

Donde:

Y = Ambiente

Mz = Tamaño medio

Ti = Desviación estandar

Sk = Sesgo

Kg = Kurtosis

Mo = Mediana

Md = Tamaño medio

si Y resulta menor que - 2.7411 indicará depositación eólica, y si Y es mayor que - 2.7411 indicará un medio ambiente de playa.

b).- Para distinguir entre los medios ambientes de playa y marino somero:

$$Y \text{ playa-mar.som.} = 15.6534Mz + 65.709Ti^2 + 18.1071 Sk + 18.5043 Kg$$

si $Y < 65.3650$ indicará depositación de playa

si $Y > 65.3650$ indicará un depósito marino somero.

c).- Para distinguir entre depósitos marinos someros (hasta 100 metros de profundidad) y flujidos deltáicos:

$$si \ Y \text{ mar.som-fluvial} = 0.285 Mz - 8.7604 Ti^2 - 4.8932 Sk + 0.0482 Kg.$$

si $Y < 7.4190$ indicará un depósito fluvial deltáico y
si $Y > 7.4190$ indicará un depósito marino somero.

d).- Para distinguir entre los depósitos
fluviales deltáicos y los de corrientes de turbidez:

$$Y \text{ fluvial - turbidez} = 0.7215 Mz - 0.4030 T_1^2 - 6.7322 Sk \\ + 5.2927 Kg.$$

si Y resulta menor que 9.8433 indicará un medio ambiente de Turbidez y si Y es mayor que 9.8433 indicará un medio ambiente fluvial deltáico.

Los datos estadísticos calculados se sustituyen en las fórmulas, iniciando esta sustitución en la primer fórmula y si resulta un ambiente de depósito eólico se detendra el método, siendo la respuesta o el resultado, el ambiente de depósito encontrado en esa fórmula, pero si no cae el valor obtenido entre esos límites de la primer fórmula, se procedera con la sustitución de valores en la segunda; no se debe de omitir el orden secuencial de las fórmulas, ni se debe de dejar de probar alguna intermedia; por ello el método recibe el nombre de discriminante, por la forma de discriminar ecuación por ecuación de acuerdo a sus límites correspondientes.

Método de la Curva Log-Normal.

El método de la curva Log-Normal, es una comparación con patrones de gráficas ya obtenidas de detallados estudios realiza-

dos por Visser, G.S.,⁽¹³⁾ para sedimentos antiguos y modernos, dicha comparación se realiza en base a la identificación de subpoblaciones dentro de distribuciones Log-Normales del tamaño de grano de una muestra, cada subpoblación puede corresponder a una forma distinta de transporte y depositación de los sedimentos. En base a detallados estudios se tienen tres formas de transporte de sedimentos: suspensión, saltación y arrastre.

Si en una gráfica se tiene el tamaño de grano, con el porcentaje de frecuencia y el porcentaje acumulativo y se relaciona con el porcentaje acumulativo en escala de probabilidad, las características de estas curvas son las utilizadas en este método para identificar los procesos de identificación. Esta gráfica Log-Normal se caracteriza porque generalmente se presentan dos o más segmentos de línea recta y puntos de cambios de pendiente bien definidos, para así obtener comparaciones relativamente fáciles.

Cada subpoblación es identificada al considerar el proceso de transporte (arrastre, saltación y suspensión) de cada muestra analizada, por sus características especiales de tamaño de grano, clasificación y un porcentaje relativo del total de la distribución.

Hasta la fecha no es posible todavía definir límites precisos para cada una de las poblaciones mencionadas o bien para los puntos de quiebre correspondientes a cada medio ambiente

individual. En las Figs. Nos. III-2D y III-2E, se muestran algunos de los patrones más importantes realizados en base a detallados estudios por Visher, G.S. (13)

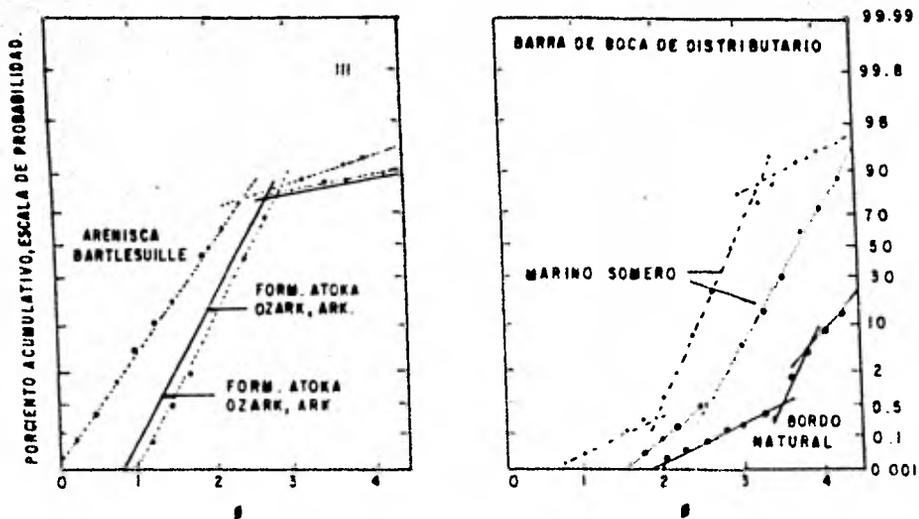
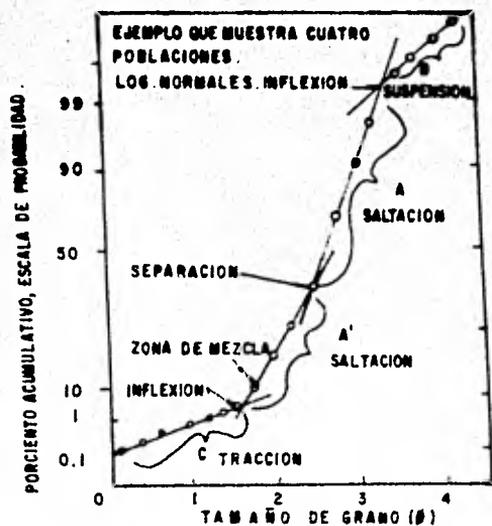


FIG. No. III-2 D - EJEMPLOS DE DEPOSITOS FLUVIALES DELTAICOS⁽¹¹⁾

TIPOS DE CURVAS DE DISTRIBUCION PARA DIFERENTES MEDIOS AMBIENTES⁽¹¹⁾



RELACION DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS A LAS POBLACIONES Y PUNTOS DE INFLEXION EN UNA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE GRANO.

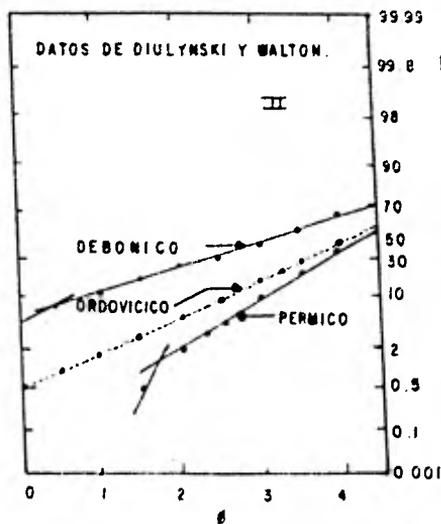
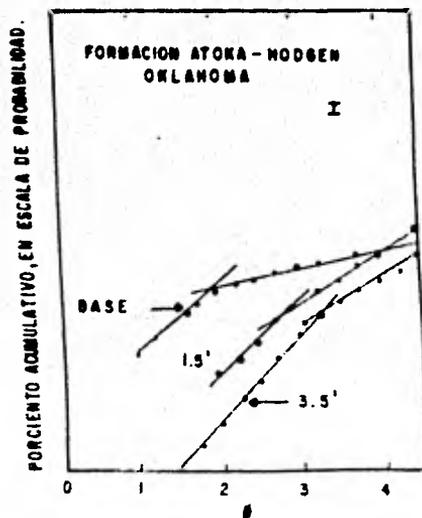


FIG No. III-2E - EJEMPLOS DE DEPOSITOS DE CORRIENTES DE TURBIDEZ⁽¹¹⁾
TIPOS DE CURVAS DE DISTRIBUCION PARA DIFERENTES MEDIOS AMBIENTES⁽¹¹⁾

3° Métodos Geofísicos.

El tercer método de los señalados utilizado en la industria petrolera para la determinación del ambiente de depositación y que fué fundamental para la identificación del ambiente de depósito en el caso de aplicación, es el método que se basa en la utilización de los rasgos de los registros eléctricos como indicadores de el ambiente de depositación.

La respuesta eléctrica tanto del potencial natural como de las resistividades son en cierto modo características para las diferentes facies o litologías que se atraviesan en una perforación.

Tomando en cuenta algunas características texturales y petrográficas de los sedimentos así como las tendencias de distribución y asociación que presentan los sedimentos y a la vez, considerando que todo ello es resultado en parte del ambiente de depositación, algunos autores como: Visher, G.S.,⁽¹⁷⁾ Fisher,⁽²⁰⁾ Tixier, M.P.,⁽⁶⁾ Fons, Lloyd,⁽¹⁸⁾ Sylvain J., Pirson,⁽¹⁹⁾ estudiando ambientes modernos de depositación y comparandolos con depósitos antiguos, llegaron a definir una serie de patrones eléctricos característicos de algunos ambientes de depositación.

A base de observaciones determinaron que el comportamiento de la curva del S.P., podía ser un instrumento muy valioso para la definición de los ambientes de depositación. Para ello se han hecho numerosos análisis de curvas y actualmente en conjunto con sus tendencias de distribución, espesores y la geometría del cuerpo en estudio se puede definir su origen, sedimentológico por comparación con los patrones establecidos.

Los patrones más comunes que se han definido son:

a).- Patrones de canal.

Tanto fluviales como distributarios. En ellos, generalmente la base o contacto con el cuerpo inferior presenta un cambio abrupto y como la textura del relleno tiende a ser gruesa, el desarrollo del S.P., en el caso de los distributarios - se presenta en forma de caja o cuadrado Figs. Nos. III-5, III-6 y III-18.

En los fluviales como dicha curva se presenta plana por efecto de la presencia de agua dulce, la curva de resistividad es la que va a presentar el cambio abrupto en la base y la forma tabular. (14 a 20) Figs. Nos. III-13-A, III-17, III-7.

Cuando el canal es rellenado hacia la cima con sedimentos finos o bien en una facies de desbordamiento de canal o un relleno de valle, después de un contacto abrupto viene una zona de finos lo que origina un patrón con cambio abrupto en la base y transicional hacia la cima. (14 a 20) Figs. Nos. III-8, III-9, III-10, III-11 y III-18.

b).- Patrones de barras o islas de barrera.

Dado que texturalmente los sedimentos más finos se encuentran cubiertos por sedimentos más gruesos conforme la barra o isla de barrera va creciendo; (14 a 20) el patrón que se tiene en este tipo de cuerpos es semejante a los de las Figs. Nos. III-

-12, III-13 y III-11.

c).- Patrones de prodelta.

Considerando la ubicación de la zona denominada prodelta (la más alejada en relación a la costa) dentro del complejo deltáico y tomando como base que los granos o sedimentos transportados en suspensión serán los que en mayor porcentaje lleguen a esta zona, los depósitos que tienden a formarse son los más finos; las unidades de más arriba del prodelta están compuestas predominantemente de fracciones de cuarzo clástico, en capas muy gruesas y arenas bien clasificadas, ^(14 a 20) lo que podemos observar en las Figs. Nos. III-13 (d) y III-6.

d).- Patrones de ambiente lacustre.

Los depósitos lacustres son caracterizados por un desarrollo extensivo de limo fino y arcillas. Por lo general el fondo del lago no es afectado por la energía de las olas tomando lugar la depositación por densidad, quedando en la base los granos gruesos y en la cima los más finos, originando deflexiones en las curvas tanto del S.P., como en las de resistividad, ^(14 a 20) como las observadas en la Fig. No. III-12.

e).- Patrones de Turbiditas.

Las turbiditas son sedimentos formados a partir de las corrientes de turbidez submarinas, bajo la influencia gravitacional o por movimiento terrestres, de ahí que se caractericen por ser heterogéneos, dado que por lo general la turbidez ocurre

después de la acumulación de grandes masas de sedimentos que se desplazan y se depositan rápidamente a mayor profundidad.

Estas formas de depósito generadas por las turbiditas, son reconocidas fácilmente como masas de limo y arcilla de apariencia vertical inclinada en el S.P., y la curva de resistividad, las turbiditas bien definidas son ilegibles en el registro eléctrico. Fig. No. III-14.

f).- Patrones de mar transgresivo.

Como ya es sabido el nivel del mar puede ser oscilatorio o cíclico, causando a sus sedimentos un grado ascendente - dentro de formaciones de grano fino pobremente clasificados. Esta secuencia de arenas y arcillas desarrollan deflexiones sobre la curva S.P., la amplitud de las cuales decrece hacia la cima; estas deflexiones exhiben una simetría horizontal paralela.^(14 a 20) Fig. No. III-15.

g).- Patrones de un sistema deltáico.

En un sistema deltáico se presentan diferentes patrones de comportamiento de las curvas del registro eléctrico dependiendo del área en la que se ubiquen dentro del sistema, algunos de estos patrones ya se describieron con anterioridad pero, sin embargo, es conveniente volverlos a mencionar dado que forman parte de un todo.

Al considerar la subdivisión realizada por varios autores acerca de los deltas se podrá ejemplificar mejor la variación

de las curvas del registro eléctrico, dependiendo del tipo de delta en cuestión.

Deltas: a).- Constructivos.
b).- Destructivos.

a).- Deltas constructivos.

Son aquellos que como su nombre lo indica construyen sus depósitos o acumulaciones de sedimentos a medida que el delta va progradando mar adentro. Los cuerpos más comunes - que se tienen en un sistema de este tipo son: canales; distributarios; planicies interdistributarias; barras de desembocadura y sedimentos de prodelta. (14 a 20)

Todas estas acumulaciones de sedimentos son formadas bajo el nivel del agua del mar en la zona de transición o sea entre la zona marina y la continental y son formados por la combinación de procesos tanto fluviales como marinos, los cuales prevalecen en un área donde un sistema fluvial introduce sedimentos derivados de tierra, dentro de un cuerpo de agua - permanente, a continuación se definen los patrones característicos de cada una de estas porciones del sistema.

Patrones de canal.

Estos ya han sido descritos anteriormente y se ejemplifican con las Figs. Nos. III-7, III-6, III-13, III-9, III-

10 y III-16.

Patrones de distributarios.

Los distributarios son canales abandonados rellenos de sedimentos arenosos y estan extendidos a determinada distancia dentro del cuerpo de agua permanente, o sea el mar, y situados frente al canal principal, por lo que al ser rellenados de arena, la deflexión en la curva del S.P., del registro eléctrico se observará en forma tabular o de cajón, diferenciándose de la parte del frente del distributario en la cual la curva del S.P., mostrará una deflexión pequeña en su base, - debido a la depositación de sedimentos finos tendiendo a hacerse más notoria o a deflexionar más hacia su cima por la presencia de sedimentos más gruesos. (14 a 20) Los dos tipos de ejemplos se pueden observar en las Figs. Nos. III-16, III-7 y III-5

Patrones de planicies interdistributarias.

Por dichas planicies deberemos entender a las áreas ubicadas entre los canales distributarios, las cuales serán grandes alojamientos, de sedimentos arenosos y arcillosos; depósitos heterogéneos que producirán o mostrarán una serie de deflexiones irregulares en la curva del S.P., del registro eléctrico, (14 a 20)

Fig. No. III-13.

Patrones de barra de desembocadura.

En este tipo de patrón se presenta una forma dentada, de deflexiones pequeñas las cuales tienden a hacerse más grandes hacia la cima, debido al desarrollo arcilloso en la base, y con aumento de textura gruesa hacia la cima, es decir una programación en la forma de la curva del S.P., (14 a 20) Fig. No. III-13.

Patrones de sedimentos de prodelta.

Las estructuras sedimentarias y tamaño de grano son similares por sus características a la zona de transición, siendo los espesores de las capas individuales mucho más variables. Las unidades de más arriba del prodelta están compuestas predominantemente de fracciones de cuarzo clástico, capas muy gruesas de arenas bien clasificadas. (14 a 20) La forma de la curva del S.P., tendrá un comportamiento tipo, al presentarse casi lisa con algunas pequeñas deflexiones en el caso de sedimentos de lutita y arcilla, como se observa en la Fig. No. III-11, y en el caso de cuerpos de arena, estos estarán bien clasificados, por lo que el desarrollo de la curva del S.P., tendrá deflexiones que indicarán la presencia de cuerpos bien definidos y bien clasificados Fig. No. III-13.

b).- Deltas destructivos.

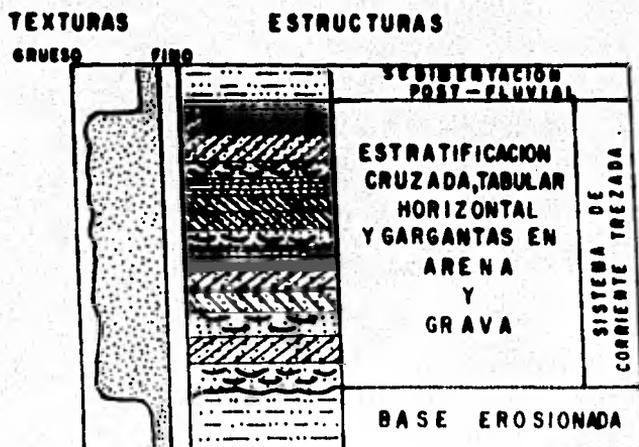
En un sistema deltáico destructivo, a medida que los se

dimentos van siendo depositados en cuerpos semejantes a los del sistema constructivo, éstos son removidos y sus sedimentos son redistribuidos hacia las margenes del sistema deltáico por lo que hay un gran número de barras paralelas a la línea de costa. (14 a 20) En forma local se podría explicar el proceso teniendo como base el abandono de un delta ya constituido, aunando a ello la transgresión marina, la cual por medio de la acción de las olas al destruir los cuerpos del delta ya construido, redistribuirá los sedimentos de diferente textura en un depósito de sedimentos heterogéneo: (14 a 20) es decir, al observar los patrones de un delta destructivo se comprobará esta super posición debido a la forma "dentada" que presenta la curva del S.P., en las diferentes facies o la forma también "dentada" de la curva de resistividad, ejemplificándose dichas facies en la Fig. No. III-8. Sin embargo, hay que tener en cuenta su tendencia de distribución dentro de todo el complejo para diferenciarlos de los constructivos.

Además, dentro de los métodos geofísicos, cabe señalar que existe la posibilidad de determinar el posible ambiente de depósito a través del análisis de las secciones sismológicas. (21) Este estudio se basa en las características comunes que presentan las reflexiones como geometría, amplitud, frecuencia y asociación tridimensional de éstas.

Dentro de la gran variedad de patrones estudiados se mencionaran solo algunos de ellos, como indicadores del tipo de ambiente de depositación. (21)

- a) Patrones de plataforma (fluvio-deltaicos).
- b) Patrones de pendiente o talud.
- c) Patrones de borde de plataforma.
- d) Patrones de cuenca (profundidad abisal).



DEPOSITO DE CANAL DISTRIBUTARIO

FIG. N^o III-5- SECUENCIA IDEALIZADA DE ESTRUCTURAS PRIMARIAS SEDIMENTARIAS DE AMBIENTES PLUVIALES ⁽¹⁴⁾

SISTEMA DELTAICO
FACIES CONSTRUCTIVAS
(FISHER Y OTROS)

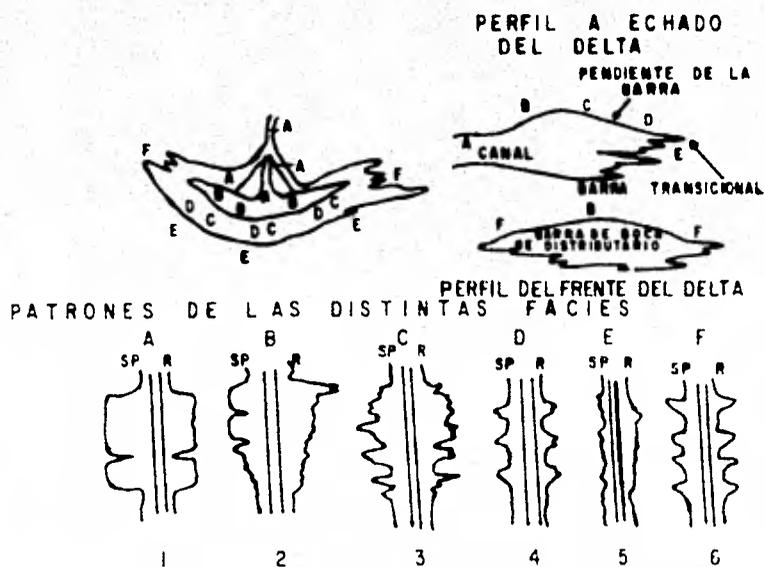


FIG. N^o III - 6 - PATRONES TEORICOS DE SEDIMENTACION OBTENIDOS DE LAS FORMAS DE LAS CURVAS SP Y DE RESISTIVIDAD

- 1 - CANAL DISTRIBUTARIO, CURVA DE SP FORMA DE CAJON.
- 2.- CRESTA DE BARRA, AUMENTO HACIA ARRIBA EN EL CONTENIDO DE ARENA.
- 3 Y 4.- PENDIENTE Y LIMITE DE BARRA, CURVAS DE SP Y RESISTIVIDAD CON DEFLEXIONES SIMETRICAS.
- 5 - PRODELTA, LUTITAS Y ARCILLAS, CURVA DE SP SIN DE FLEXION (SIN ARENA).
- 6.- FLANCO DE LA BARRA, ARENAS REGRESIVAS⁽¹⁴⁾

SISTEMA FLUVIAL MI PLEASANT

- FACIES DE CANAL TRIBUTARIO
- FACIES DE CANAL LIGERAMENTE SERPENTEANTE
- FACIES DE CANAL ALTAMENTE SERPENTEANTE

SISTEMA DELTAICO ROCINDALE

- FACIES DE CANAL DISTRIBUTARIO-PANTANO
- LORIGITO
- FACIES DE FRENTE DE DELTA
- UNIDADES DESTRUCTIVAS MARIINAS
- FACIES DE PRODELTA

ESCALA DE LA SECCION TRANVERSA
900
50000

ESCALA DEL REGISTRO ELECTRICO
300
D.

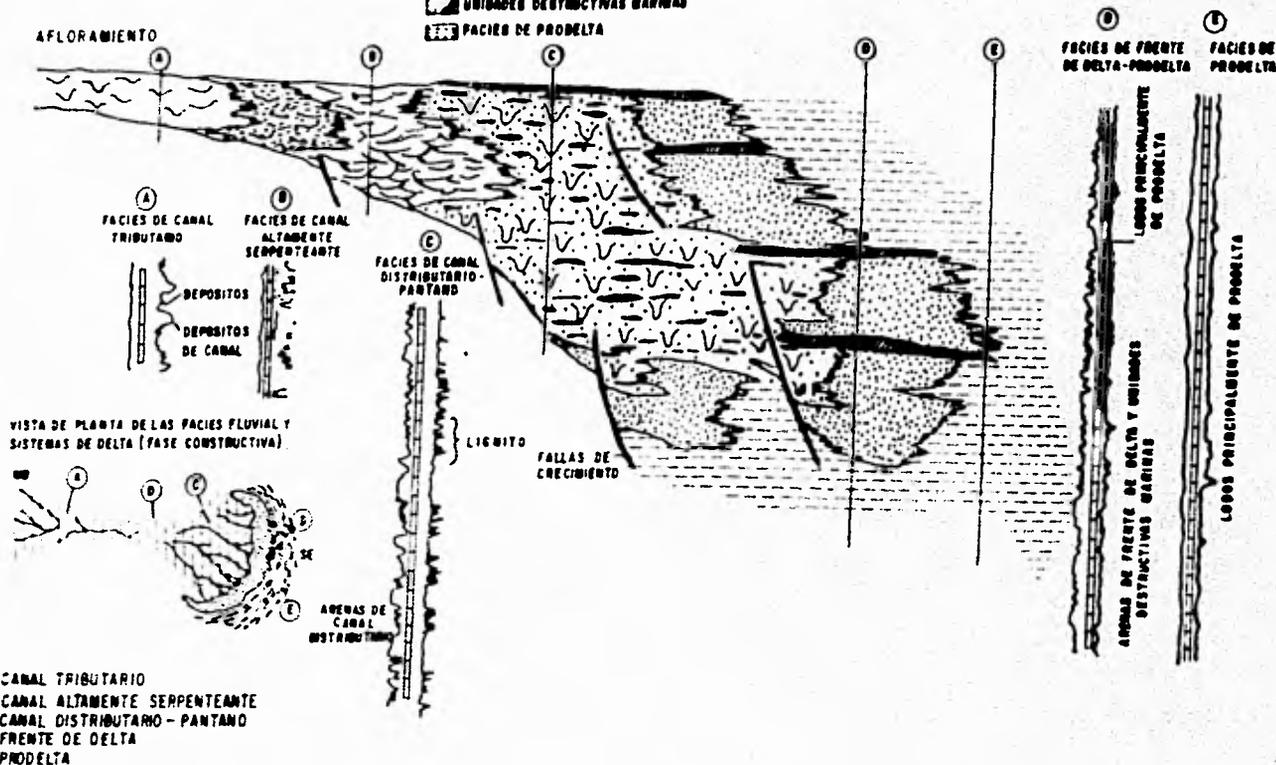


FIG. N^o 7 - DIFERENTES PATRONES DE CURVAS S P DEPENDIENDO DE LAS FACIES A LAS QUE PERTENECEN DENTRO DE UN MODELO DELTAICO (10)

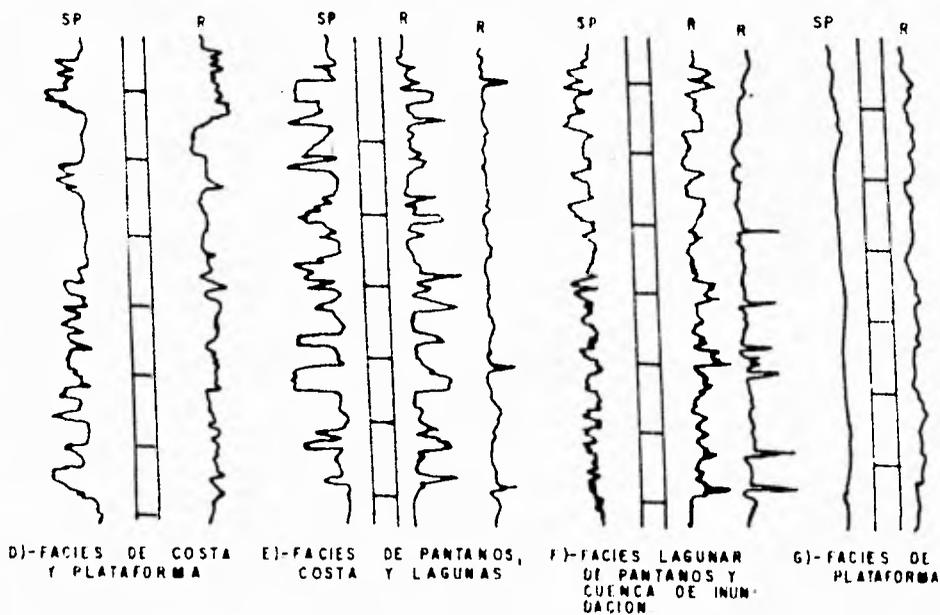
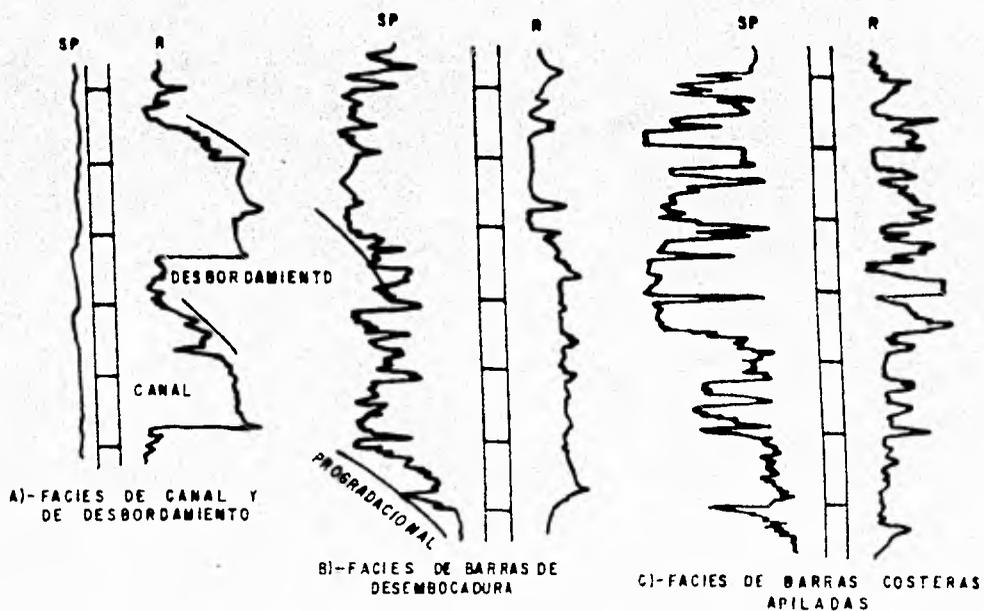


FIG. Nº III-8 - PATRONES ELECTRICOS REPRESENTATIVOS DE UN DELTA DESTRUCTIVO. (14)

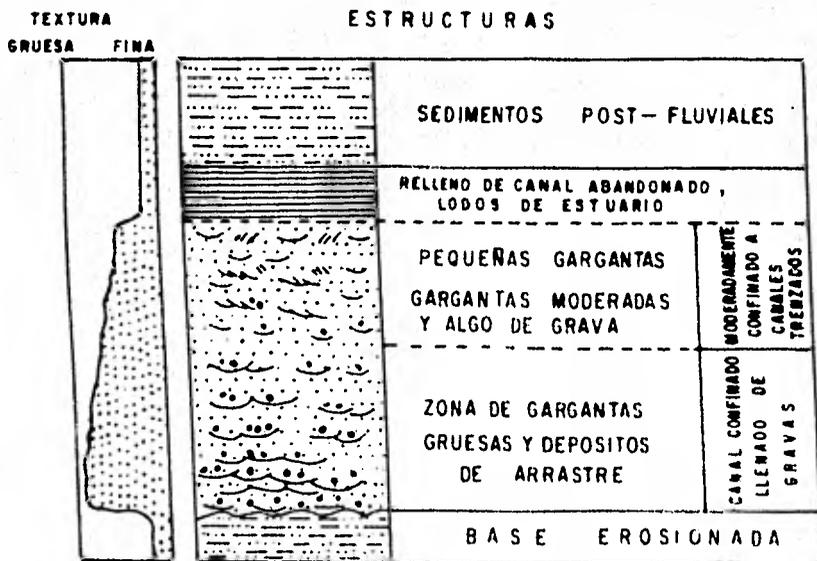
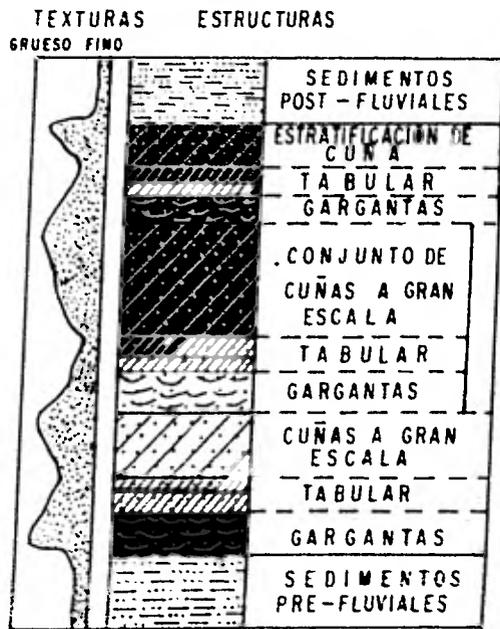
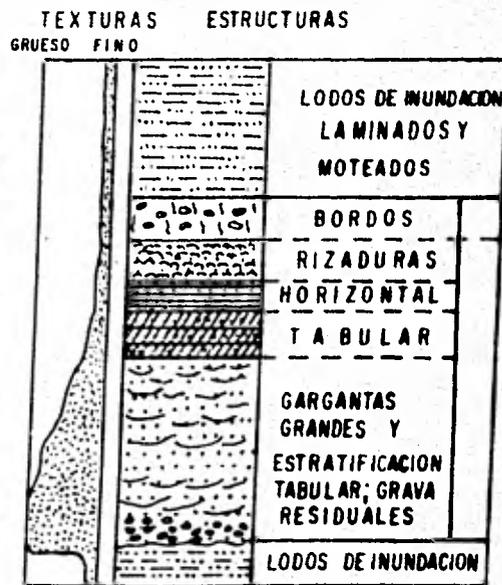


FIG. Nº III-9 - SECUENCIA IDEALIZADA DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE UN RELLENO DE VALLE (14)



DEPOSITO DE CANAL SERPENTEANTE
(GRANO GRUESO)



DEPOSITO DE CANAL SERPENTEANTE
(GRANO FINO)

FIG. Nº II-10 - SECUENCIA IDEALIZADA DE ESTRUCTURAS PRIMARIAS SEDIMENTARIAS DE AMBIENTES PLUVIALES. ⁽¹⁴⁾

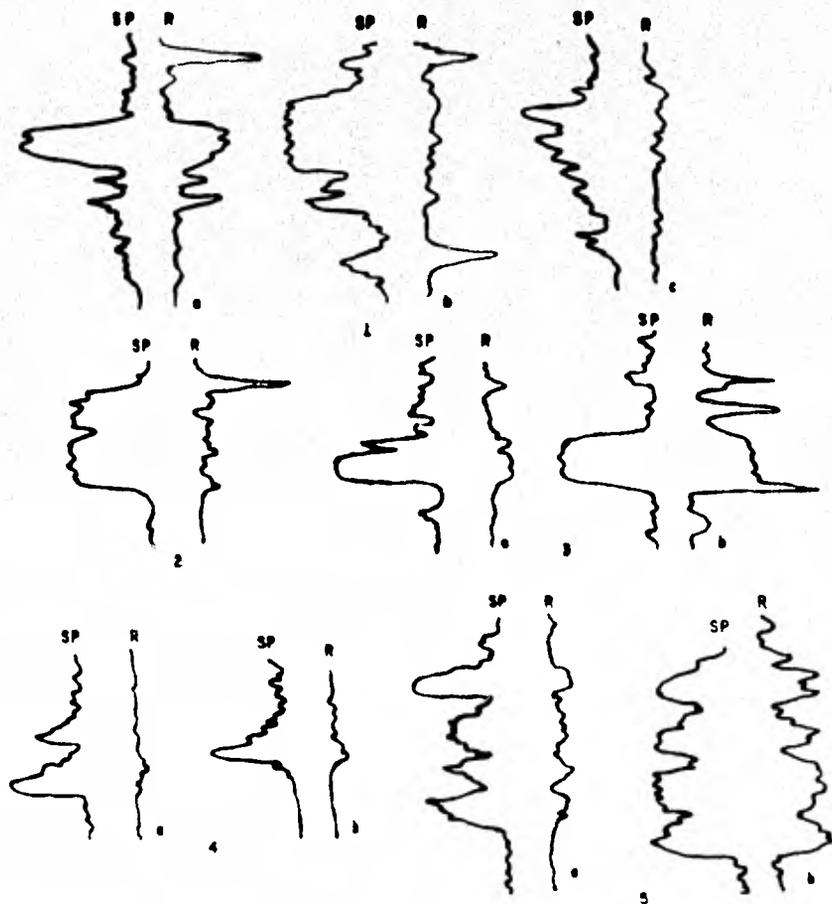
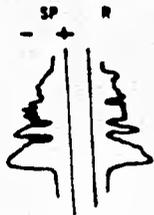
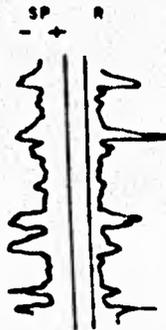


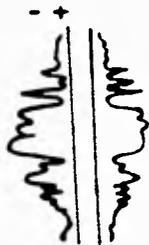
FIG. N° III-11 — PATRONES DE REGISTRO ELECTRICO DE UNA ARENISCA DELTAICA 1a — PRO DELTA Y BARRA TRANSICIONAL CUBIERTA ABRUPTAMENTE POR BARRA MASIVA Y ARENAS DE CANAL DISTRIBUTARIO. 1b — PRODELTA DELGADA CUBIERTA POR BARRAS Y RELLENO DE DISTRIBUTARIO. 1c — LODOS DE PRODELTA CUBIERTA POR SECUENCIA GRUESA DE ARENAS DE FLANCO DE BARRA 2.— RELLENO DE CANAL DISTRIBUTARIO CUBIERTO POR MANTOS DELGADOS DESTRUCCIONALES CALCAREOS. 3a y b.— ARENISCA DE RELLENO DE CANAL DE PLANICIE DELTAICA AGRADACIONAL, CURVA SP EN FORMA DE BLOQUE CON CONTACTOS ABRUPTOS CANALA — MIENTO DENTRO FACIES SUBYACENTES Y PRESENCIA CALIZA 4 — RELLENO DE CANAL EN PLANICIE DELTAICA AGRADACIONAL, CARACTERIZADO POR CONTACTO BASAL ABRUPTO EROSIONAL Y DISMINUYENDO LA SECUENCIA HACIA ARRIBA 5a — SECUENCIA PROGADACIONAL DE BARRA DE BOCA DE DISTRIBUTARIO CUBIERTA POR RELLENO DE DISTRIBUTARIO MASIVO. 5b.— RELLENO DE CANAL AGRADACIONAL, SUPERPUESTO. (14)



a)- PATRON HIPOTETICO DE UN CUERPO DE ARENA FLUVIAL (RELLENO DE VALLE, ARENA DE POINT BAR)



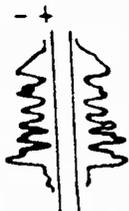
b)- PATRON DE COMPORTAMIENTO PARA ARENAS Y LUTITAS DEPOSITADAS EN UN AMBIENTE LACUSTRE



c)- PATRON HIPOTETICO DE UNA SECUENCIA DELTAICA



d)- PATRON HIPOTETICO DE ARENAS DE BARRERA O ISLAS DE BARRERA



e)- PATRON HIPOTETICO DE UN DEPOSITO DE CANAL DE MAREA



f)- PATRON HIPOTETICO DE UN DEPOSITO LAGUNAR

FIG. N° III-12. - EJEMPLOS DE PATRONES DE CURVAS SP PARA VARIOS MODELOS DE SEDIMENTACION.⁽¹⁴⁾

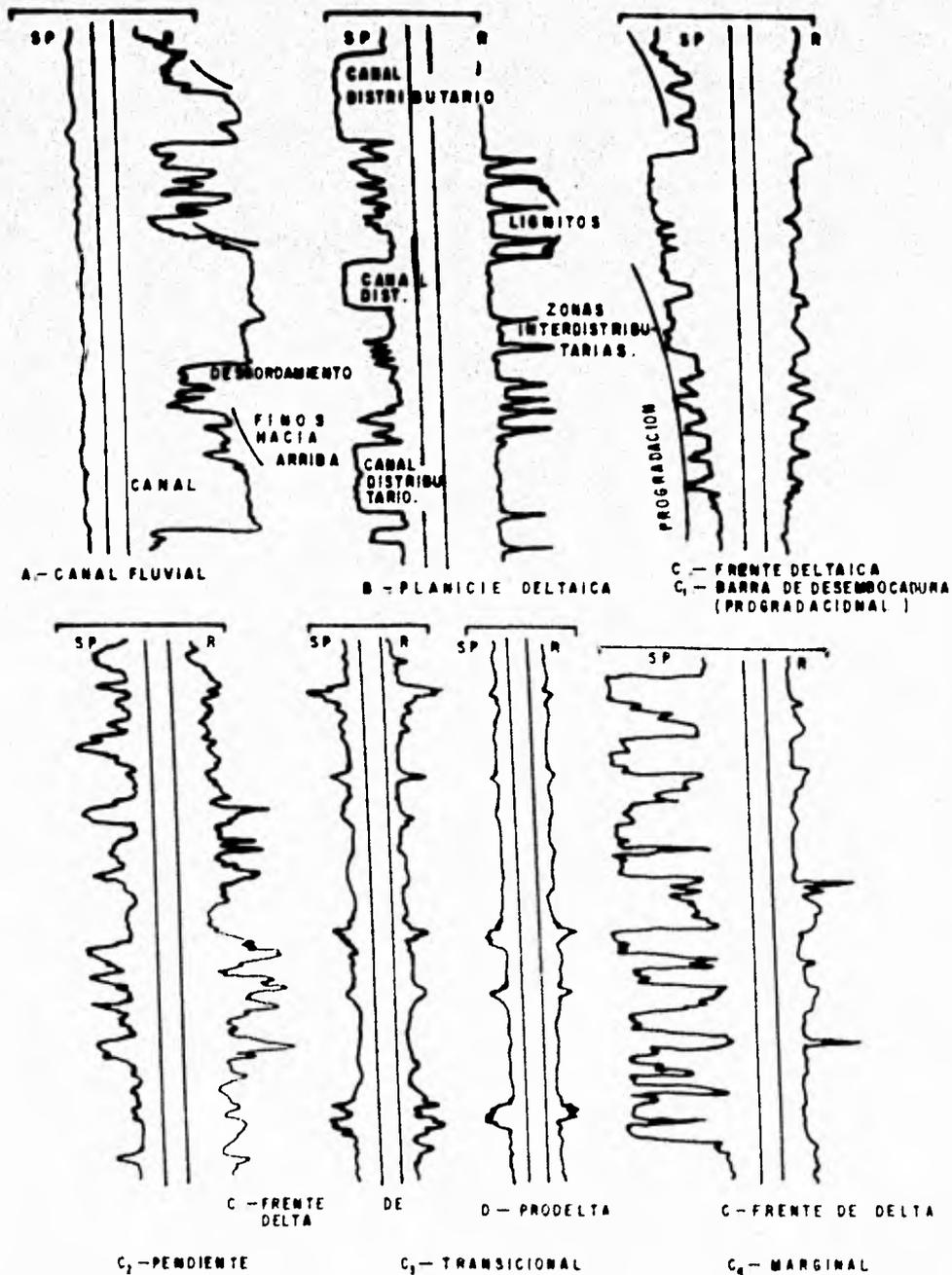


FIG. N.º II-13.- PATRONES DE REGISTROS ELECTRICOS DE LAS FACIES DE UN DELTA LOBULAR ALTAMENTE CONSTRUCTIVO. (14)

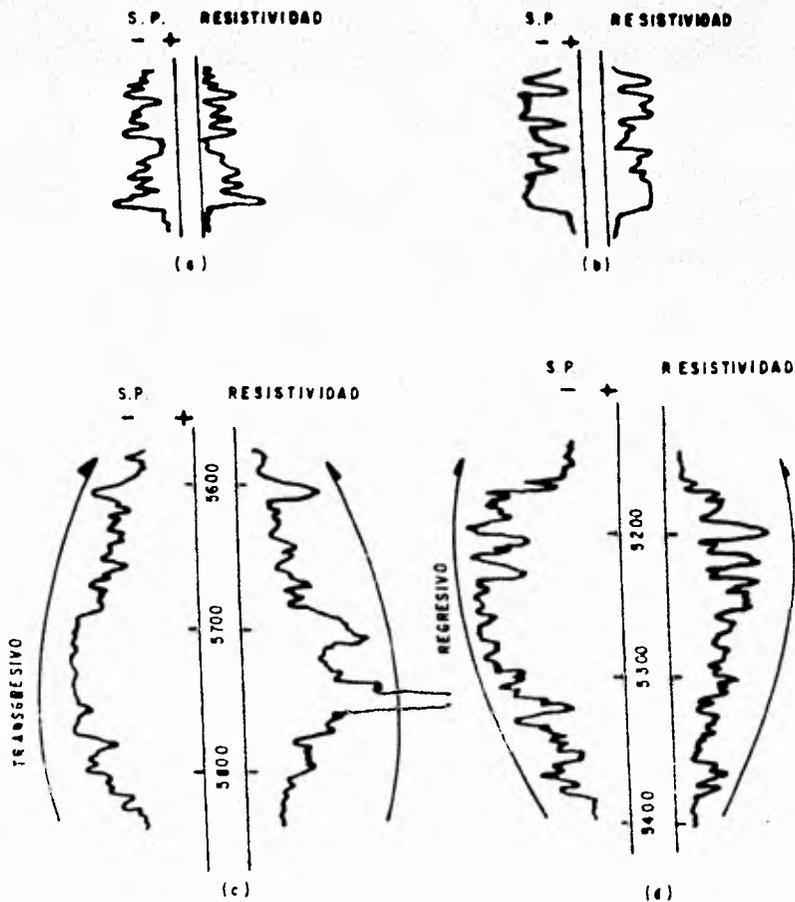
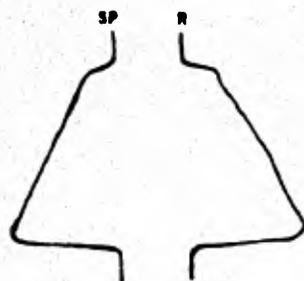
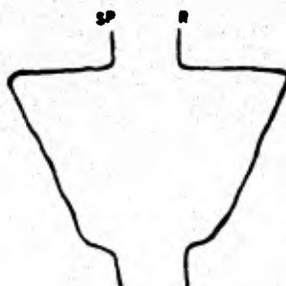


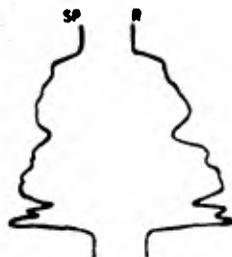
FIG. N° III-14. - PATRONES DEL REGISTRO ELECTRICO PARA DEPOSITOS DE TURBIDITAS EN CUENCAS MARINAS PROFUNDAS. (a) Y (b) TEORICOS. (14)



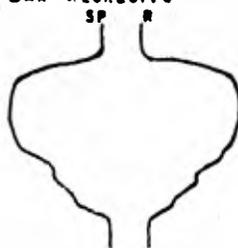
A)- PATRON HIPOTETICO DE UNA ARENA DE PLAYA DE MAR TRANSGRESIVO



B)- PATRON HIPOTETICO DE UNA ARENA DE PLAYA DE MAR REGRESIVO



C)- PATRON HIPOTETICO DE UNA ARENA DE RELLENO DE VALLE



D)- PATRON HIPOTETICO DE UNA ARENA DE BARRA DE BARRERA



E)- PATRON HIPOTETICO DE UNA ARENA DE TURBIDITA

FIG. N° .III-15 - EJEMPLOS DE PATRONES DE CURVA SP PARA VARIOS MODELOS DE SEDIMENTACION⁽¹⁴⁾

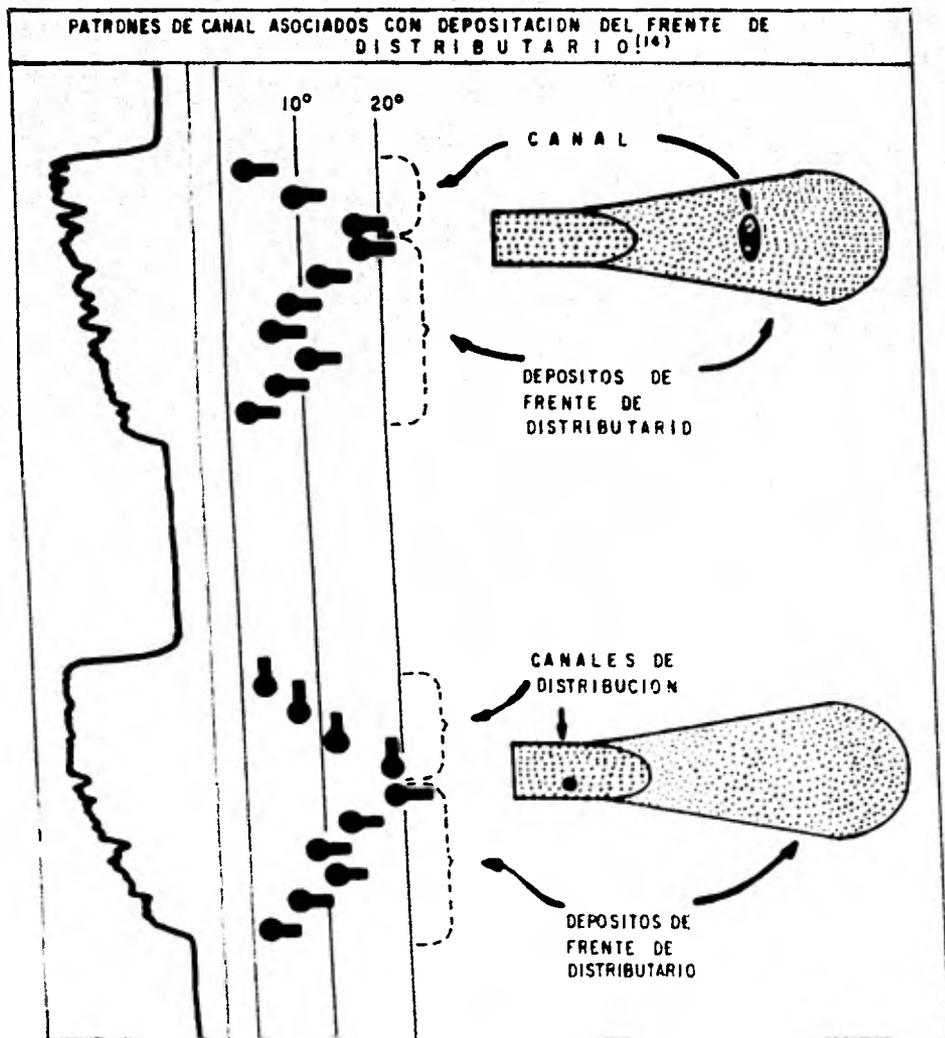


FIG. Nº. III-16 — PATRONES DE CANALES DISTRIBUTARIOS ASOCIADOS CON DEPOSITOS DE DESEMBOCADURA DE DISTRIBUTARIO.⁽¹⁴⁾

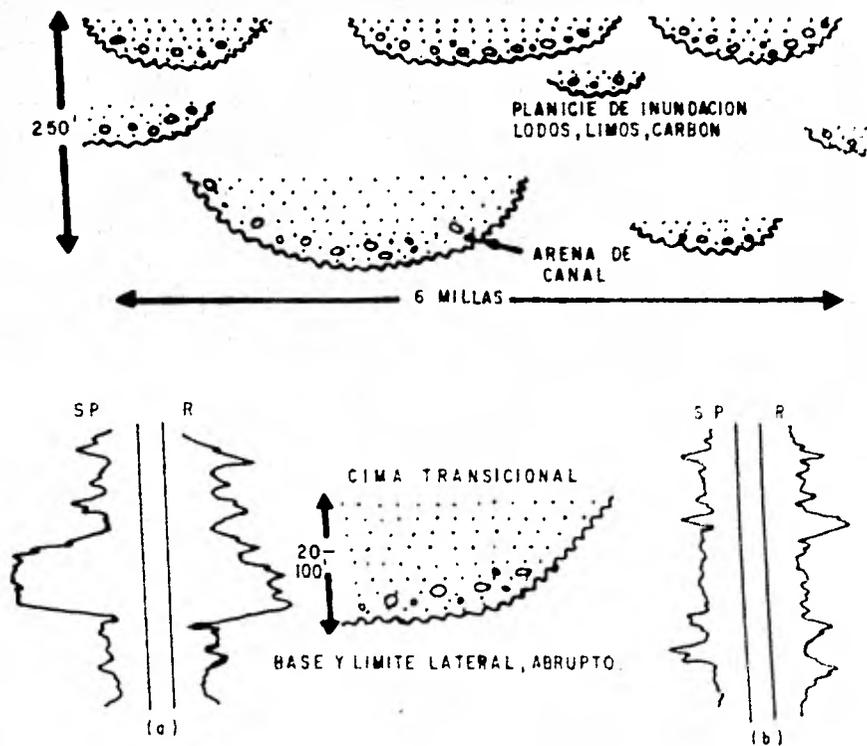


FIG. N^o. III-17.—DISTRIBUCION LITOLÓGICA DE DEPOSITOS DE UN MODELO FLUVIAL Y PATRONES DE REGISTRO ELECTRICO DE LAS FACIES ARENOSA Y ARCILLOSA DE UNA UNIDAD.⁽¹⁴⁾



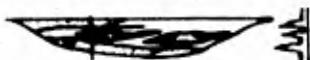
A - CORTE Y RELLENO DESPUES DE LA COMPACTACION



D - CORTE Y RELLENO CON SUBSIDENCIA CICLICA



B - CORTE Y RELLENO ANTES DE LA COMPACTACION



E - ARENA DE POINT BAR Y PLANICIE DE INUNDACION



C - CORTE Y DEPOSITACION SIMULTANEA



F - CORTE Y RELLENO, SUBSIDENCIA POR CARGA

FIG. N.º III-18 - PATRONES DE SP PARA CANALES CON DIFERENTES CONDICIONES DE DEPOSITACION. TRAMOS REGISTRADOS AL CENTRO O A LA ORILLA DEL CANAL. (14)

c).- El uso o aplicación del registro eléctrico en la determinación del ambiente de depósito en sedimentos areno-arcillosos.

Al considerar la importancia que tiene el determinar el ambiente de depósito de los sedimentos que forman los yacimientos petroleros para la correcta evaluación y explotación de los mismos ha sido necesario profundizar en el estudio de las técnicas ya existentes. Por ello, el uso de los registros eléctricos como herramienta para definir el ambiente de depositación de los sedimentos será una técnica que permitirá llevar a cabo una mejor explotación de las formaciones con hidrocarburos y a la vez un avance en la aplicación de nuevas técnicas dentro del área de la Explotación.

El uso del registro eléctrico actualmente se hace indispensable tanto en el estudio geológico como en la evaluación de una región, ya que es la base para conocer a partir de la información que éstos proporcionan, la continuidad tanto horizontal como vertical de las formaciones productoras. Igualmente, tomando como base las secciones estructurales que con los registros eléctricos se construyen, es posible, definir la geometría de los cuerpos productores y su tendencia de desarrollo que puede ser fundamental para el desarrollo de un campo.

El análisis de las propiedades petrofísicas de la formación, obtenidas a partir de los registros eléctricos permitirá -

conocer las variaciones horizontales como verticales de dichas propiedades las cuales son fundamentales para la evaluación y explotación de un campo.

En general la aplicación de los registros eléctricos en el estudio de campos puede ser muy amplia pero de todas ellas la que aquí se presenta es aquella que está encaminada a la determinación del ambiente de depósito, el procedimiento de utilización de los registros eléctricos con éste fin sigue esencialmente la misma secuencia que en el desarrollo de un estudio geológico usando registros eléctricos.

La secuencia fundamental es la siguiente:

- 1.- Definición de marcas de tiempo o de corralación en los registros eléctricos.
- 2.- Construcción de secciones transversales - de correlación.
- 3.- Definición del probable tipo de arena de acuerdo al patrón de curva S.P.
- 4.- Definición de la línea de costa antigua.
- 5.- Definición de la geometría de las arenas.
- 6.- Definición del probable tipo de ambiente de depositación.

- 1.- Definición de marcas de tiempo o de corralación en los registros eléctricos.

El paso inicial de un trabajo de evaluación y de determinación de ambientes a partir de los registros eléctricos, con-

sistirá en la definición de cuerpos marcadores o capas índices que permitan llevar la correlación con seguridad en toda el área del campo.

Las características de una capa índice o marcadora de tiempo son las mismas que las de un fósil índice anteriormente mencionadas.⁽¹⁴⁾

Como capas marcadoras de tiempo se pueden citar a las siguientes:

- a).- Capas delgadas de bentonita.
- b).- Capas delgadas de calizas.
- c).- Capas delgadas de arenas transgresivas.
- d).- Capas delgadas de carbón o lignito.
- e).- Capas delgadas de limos.
- f).- Capas delgadas de arenas calcáreas.

2.- Construcción de secciones transversales de correlación.

Siendo las secciones de correlación un elemento básico en la interpretación y definición de muchas de las características de un campo petrolero, su construcción juega un papel muy importante, pues muchas de las decisiones de desarrollo o explotación de un yacimiento surgirán de la correlación e interpretación que se haga de las secciones tanto estratigráficas como estructurales, por ello, su construcción debe realizarse en forma tal que dichas secciones cubran la mayor parte del área en estu-

dio y a la vez que un mismo pozo este incluido en 3 secciones con orientación diferente para poder visualizar mejor sus tendencias de correlación.⁽¹⁴⁾

La construcción de tales secciones se realiza orientandolas en forma paralela o perpendicular a la línea de costa antigua (es decir a rumbo y echado). En la Fig. No. III-19, se indican las consideraciones anteriores en la construcción de - secciones.

Habiendo definido las marcas de tiempo en los regis--tros eléctricos se procede a la correlación de las secciones - ya formadas, ya que se considera que dichas marcas son constan--tes en el área de estudio, y se puede definir en base a dicha correlación las secuencias genéticas, incrementos genéticos o intervalos cíclicos de sedimentación Fig. No. III-20.

De la correlación e interpretación efectuada a las - secciones transversales se pueden obtener: las deformaciones - estructurales de los incrementos genéticos, así como de los - cuerpos arenosos, la presencia y características de las fallas estructurales la continuidad o interrupción de las arenas indi--viduales.⁽¹⁴⁾

3.- Definición del probable tipo de arena de acuerdo al patrón de curva S.P.

La definición del probable tipo de arena se efectúa al comparar las formas de las curvas del registro eléctrico -

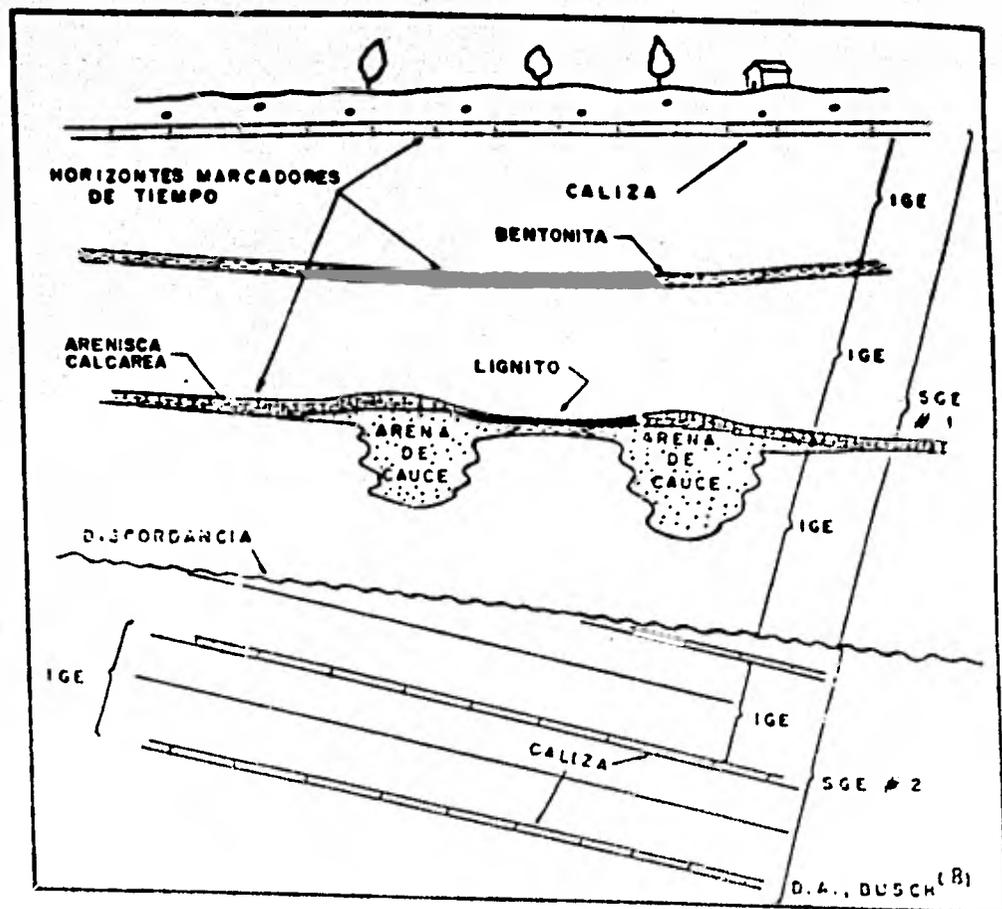


Fig. N° III-20 = Ejemplo de Incremento Genético de Estratos (IGE) y de Secuencia Genética de Estratos (SGE).⁽¹⁴⁾

con los patrones presentados en las Figs. Nos. III-5 a III-18, y de esta manera definir el o los probables tipos de ambiente de depositación que dan origen a los cuerpos arenosos que forman el incremento genético. (14)

4.- Definición de la línea de costa antigua.

La definición de la línea de costa antigua establecerá la separación entre los medios continentales y marinos y define la zona de medios transicionales o mixtos, ya que de acuerdo al tipo de alimentación de sedimentos en la cuenca (a rumbo o a echado) los cuerpos arenosos que se depositan resultan aproximadamente paralelos o perpendiculares a la línea de costa. (14)

5.- Definición de la geometría de las arenas.

En lo que a definición de la forma de las arenas se refiere, el trabajo a realizar será fácil si se cuenta con una cantidad considerable de información (pozos perforados en el área) para así con gran exactitud, poder visualizar mejor su forma y extensión a lo largo de todo el campo. Sin embargo, el trabajo se complicará cuando se cuenta con un solo pozo, como en los casos cuando se tienen campos nuevos.

Para una definición de la geometría será básico elaborar configuraciones de cimas y espesores de la arena en estudio, lo que dará la geometría del cuerpo.

6.- Definición del tipo de ambiente de depositación.

Esta determinación se efectuará de diversas maneras o formas, de acuerdo a la información con que se cuente, y como ya hemos visto en la parte correspondiente a métodos para la determinación del probable tipo de ambiente de depositación se puede efectuar solamente y con gran aproximación en base a la forma de las curvas de los registros eléctricos que al compararse con los patrones ya existentes nos podrá determinar el probable ambiente de depositación. (14)

IV.- CASO DE APLICACION

La aplicación de las técnicas aquí descritas se ha venido realizando desde hace algún tiempo en los estudios geológicos y de Evaluación de formaciones que se efectúan en la División de Evaluación de Formaciones de la Subdirección de Explotación del Instituto Mexicano del Petróleo.

Un ejemplo de ello es el estudio geológico del campo petrolero "San Ramón",⁽²²⁾ efectuado por el personal de dicha división y que aquí se ha tomado como caso de aplicación en razón de que el suscrito colaboró en algunas de las actividades durante el desarrollo del trabajo.

Este estudio tuvo por objeto realizar la evaluación total de los yacimientos y a la vez tener un conocimiento preciso y detallado del yacimiento para un programa de recuperación secundaria, para ello, se hizo uso de las nuevas técnicas de aplicación de los registros eléctricos en la determinación de los ambientes de depositación.

El campo petrolero de "San Ramón", se localiza en la provincia geológica de la Cuenca Salina del Istmo. Geográficamente se ubica en los límites del Estado de Veracruz y Tabasco, al noreste del poblado de Agua Dulce, Ver.⁽²²⁾ Fig. No. IV-1.

Es un campo petrolero descubierto en el año de 1961 y ha sido productor de aceite y gas en arenas de las formaciones Encanto, Concepción Inferior y Concepción Superior. Todas -

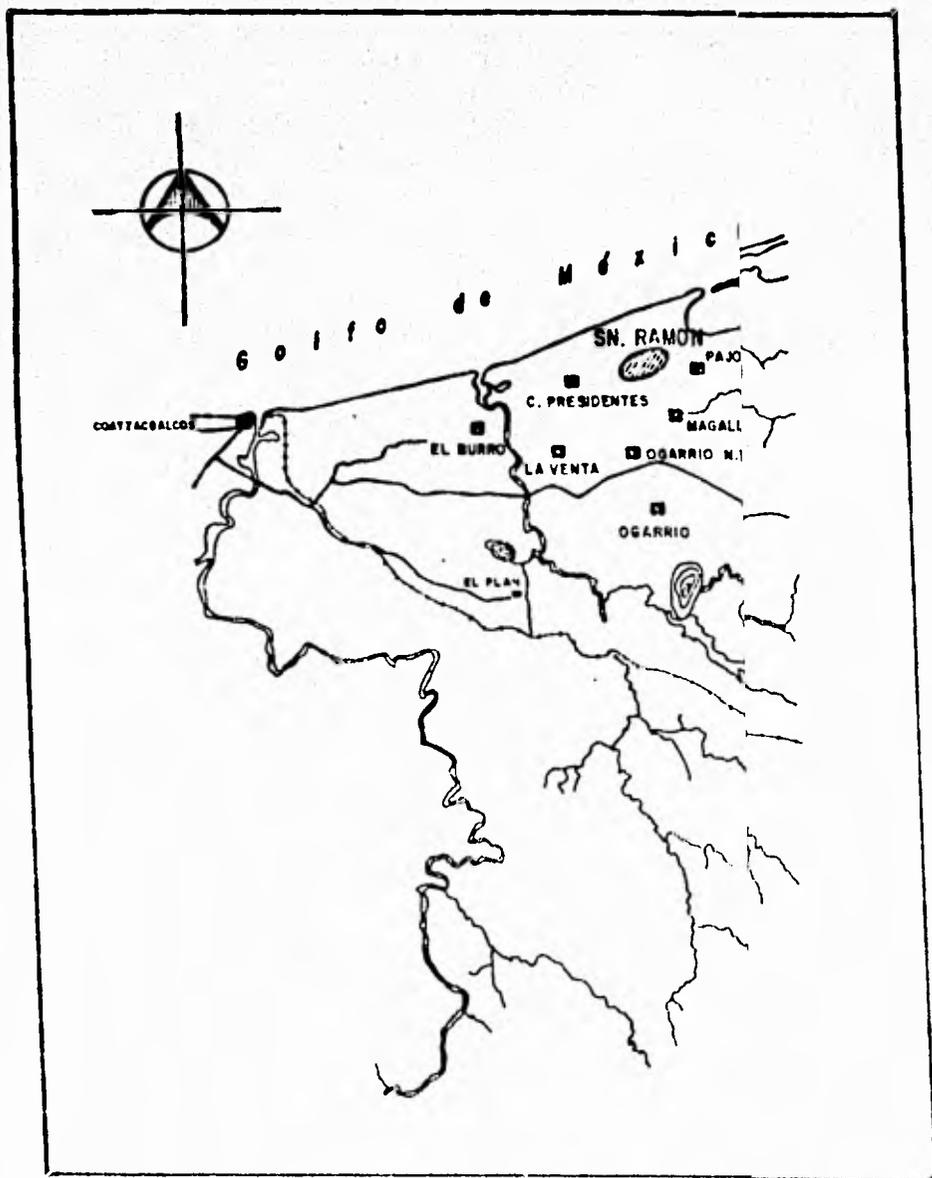


FIG. N.º IV - 1 - PLANO DE LOCALIZACION DEL CAMPO SAON ⁽²²⁾

estas formaciones estan constituidas sedimentos clásticos - arcillo-arenosos.⁽²²⁾ .

En el desarrollo del trabajo interpretación geológica encaminado hacia la evaluación formación, utilizando los registros eléctricos como base fundamental, se siguió la siguiente secuencia:

- 1.- Construcción secciones transversales
- 2.- Identificación marcas o cuerpos índices de corréen.
- 3.- Correlación secciones estructurales.
- 4.- Comparación rasgos del registro eléctrico de diferentes arenas con los patrones establecidos.
- 5.- Elaboración planos de distribución de las arenas
- 6.- Definición tipo de ambiente de deposición en la forma de la curva, distribución geométrica.

- 1.- Construcción de secciones transversales.

Para efectuar el estudio geológico y evaluación del campo se construyeron 37 secciones estructurales, orientadas en (tres) diferentes direcciones, el objeto de visualizar las características del campo en forma más clara; igualmente, se construyeron 6 secciones geográficas localizadas en las zonas donde los pozos alcanzan mayor profundidad, pa-

ra tener un mayor número de cuerpos que permitieran definir la posición estratigráfica de toda la columna geológica atravezada por las perforaciones.

2.- Identificación de marcas o cuerpos índices de correlación.

Después de construir las secciones, se procedió a analizar con detalle los registros de los pozos con objeto de identificar aquellos rasgos característicos que pudieran identificarse a lo largo de todo el campo y que por lo tanto, sirvieran como marcas de correlación.

Esta identificación se realizó observando las secciones construidas con los registros eléctricos (a escala 1:500).

Dado que algunas marcas, como zonas de alta resistividad cuellos de lutita entre cuerpos de arena o deflexiones de la curva del S.P., junto con las curvas de resistividad, no tuvieron un desarrollo o extensión muy amplia, se tomaron algunos rasgos que aunque no tienen gran extensión, sirvieron como características para correlacionar áreas pequeñas del campo y además de liga entre una zona y otra.

En el registro tipo Fig. No. IV-2 y 2a. se señalan algunas de las marcas de correlación así como los cuerpos que permitieron realizar la correlación a lo largo de todo el campo.

REGISTRO TIPO

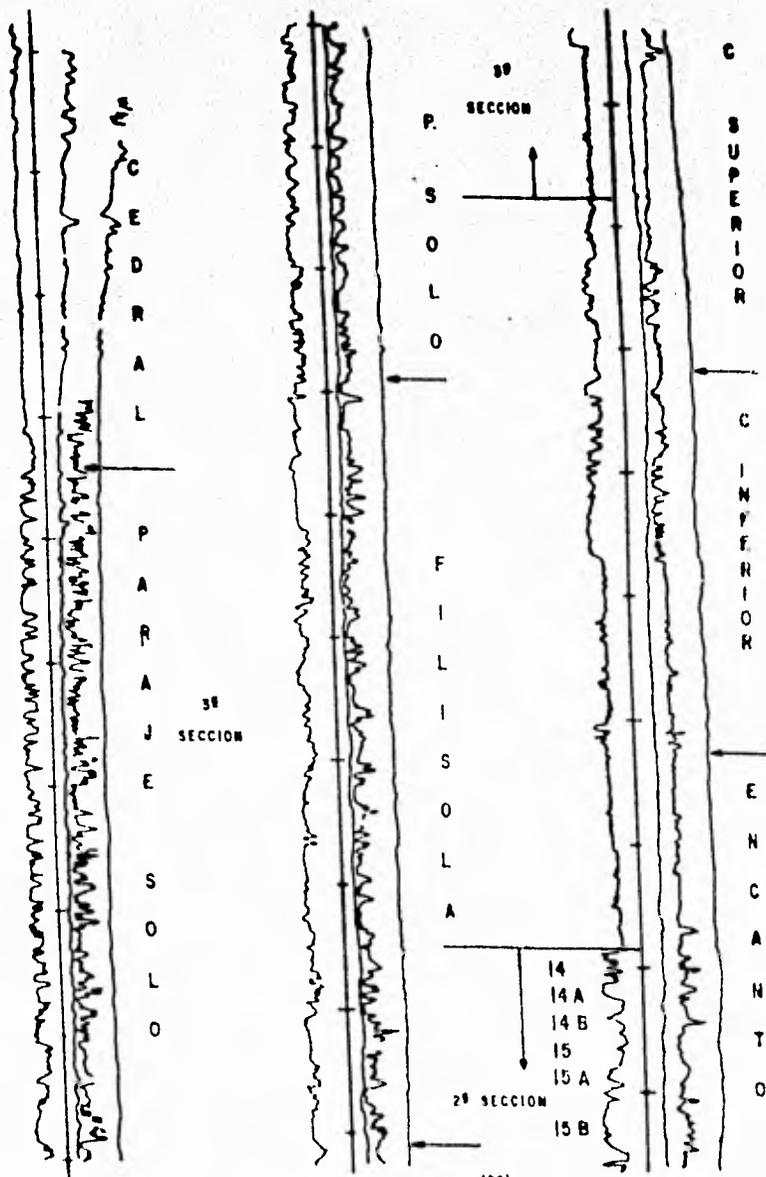


FIG. N° IV - 2 (???)

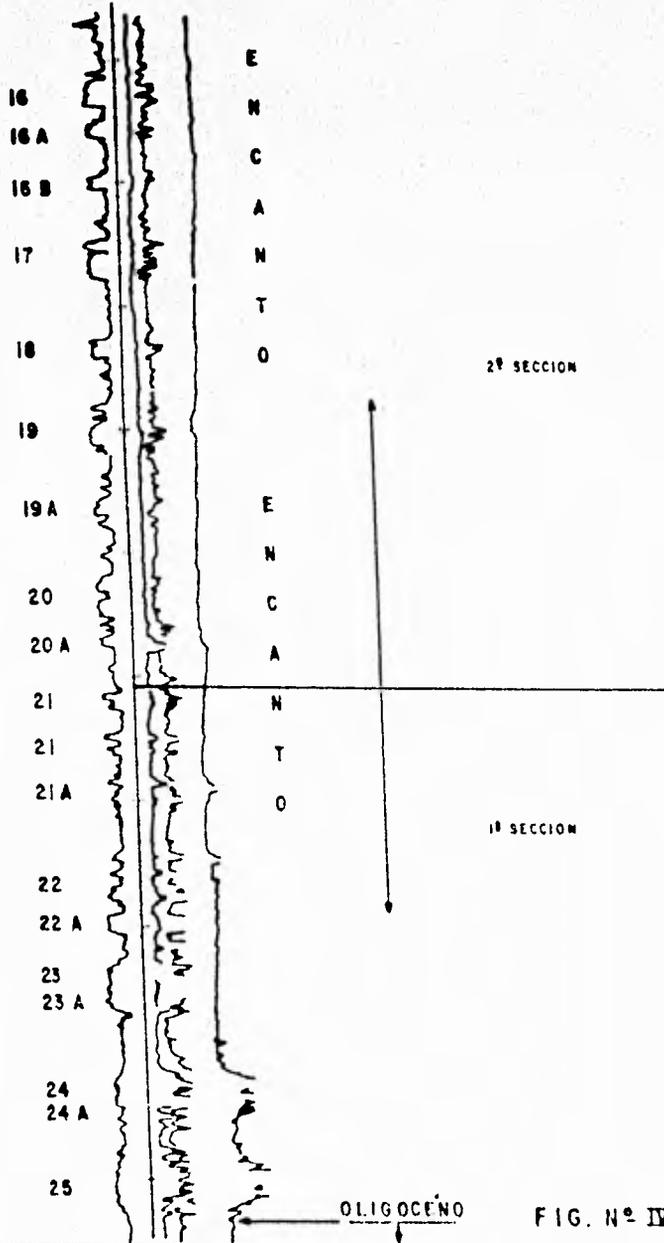


FIG. N° IV - 20 (22)

3.- Correlación de secciones estructurales.

Efectuada la identificación de los cuerpos y marcas - se llevó a cabo la correlación de todas las secciones estructurales y estratigráficas; de dicha correlación se pudo observar que a lo largo del campo se tienen cambios muy notables en la sedimentación tanto en el sentido vertical como en su desarrollo horizontal, ya que algunos cuerpos definidos de arena van cambiando transicionalmente a arcillas, o bien desaparecen por claros acuñamientos y adelgazamientos.⁽²²⁾

De la correlación de las secciones el personal encargado de la interpretación observó rompimientos abruptos en la secuencia y ausencia de sedimentos de uno a otro pozo lo cual permitió definir la presencia de zonas de falla o discordancias. - Una de estas últimas se observó a lo largo de todo el campo, marcando un cambio notable en la sedimentación.⁽²²⁾

Por arriba de la discordancia se puede observar una sucesión continua de arenas, con cuerpos potentes, mientras que por abajo de la discordancia la columna geológica esta formada por alternancias de cuerpos de arenas y lutitas.

Además en la correlación se puede observar una intrusión salina en la parte Sureste del campo, lo que origina un adelgazamiento de los cuerpos más cercanos a la culminación de la - - sal.⁽²²⁾

La correlación estratigráfica realizada por el personal

encargado del estudio permitió definir tres secuencias de depósito perfectamente diferenciables: una inferior en contacto con la masa de sal, formada por alternancias delgadas de arena - lutita que en las partes de los flancos de la estructura se vuelve más arcillosa; esta zona corresponde a las formaciones Depósito y base de Encanto.⁽²²⁾ Fig. No.IV-2a. Una secuencia media - formada por cuerpos tabulares de arena, separadas por cuellos - bien definidos de lutita la cual hacia la parte alta de esta porción se hace más potente; esta zona corresponde a la cima de la formación Encanto y a las formaciones Concepción Inferior y Superior⁽²²⁾ Figs. Nos. IV- 2 y 2a.

La tercera secuencia se encuentra separada por la discordancia ya mencionada y esta formada por cuerpos potentes de arena con delgadas intercalaciones de lutita; corresponde estratigráficamente a las formaciones Filisola y Paraje Solo.⁽²²⁾ Fig. No. IV-2.

4.- Comparación de rasgos del registro eléctrico de las diferentes arenas con los patrones establecidos.

Después de realizada la correlación el estudio se enfocó a realizar la comparación de rasgos eléctricos observados en los cuerpos de correlación con los patrones establecidos por algunos autores.

En general se observaron muy variados tipos o patrones - de curvas pero algunos de ellos con una distribución bien definida a lo largo de las secciones. Los patrones más comunes se pue-

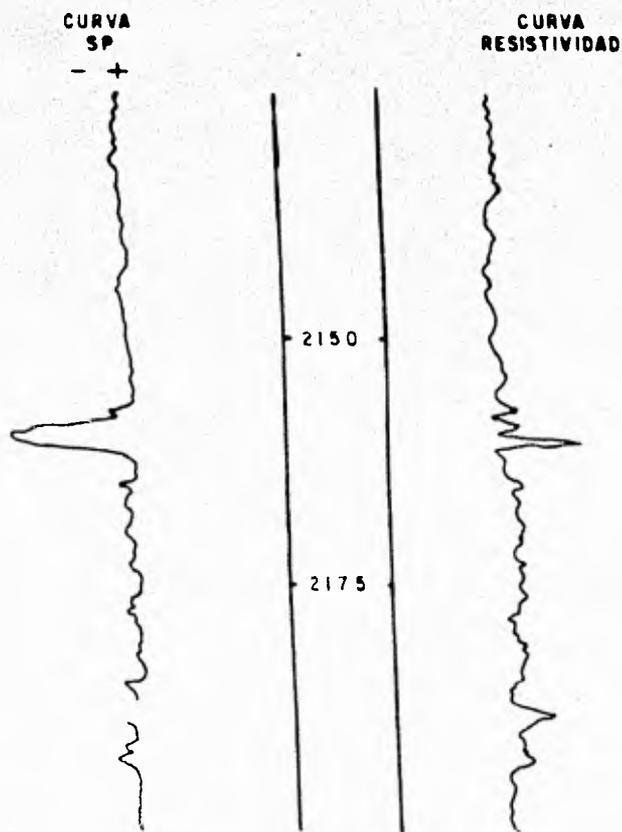


FIG. N.º IV-3: POZO; SAN RAMON N.º 27; PATRON DE LODOS DE PRODELTA⁽²⁷⁾

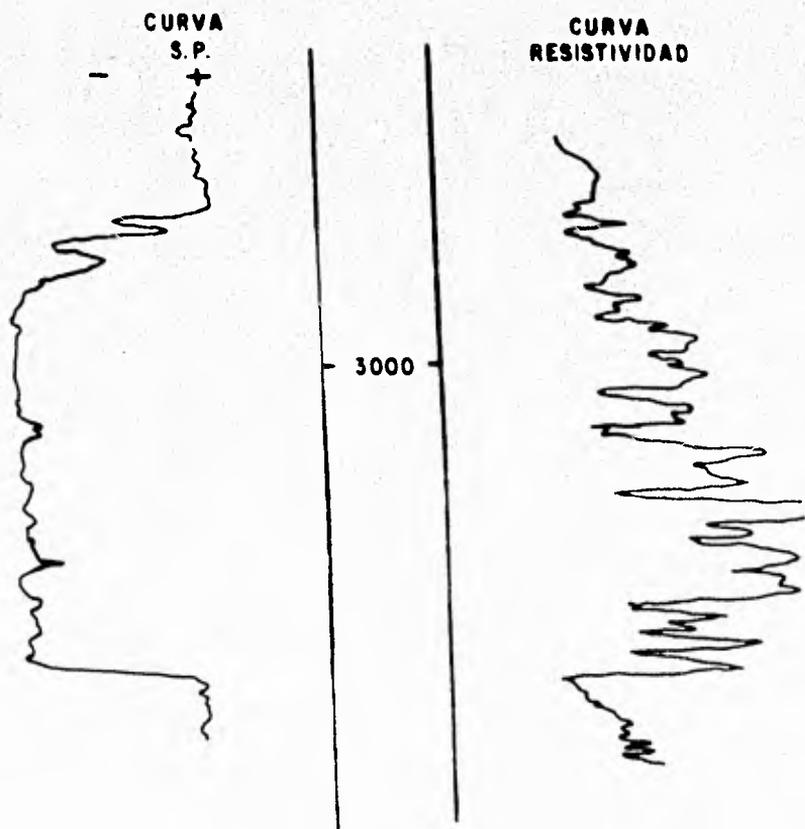


FIG. N.º IV-4: POZO, SAN RAMON N.º 6; PATRON DE CANAL⁽²⁾

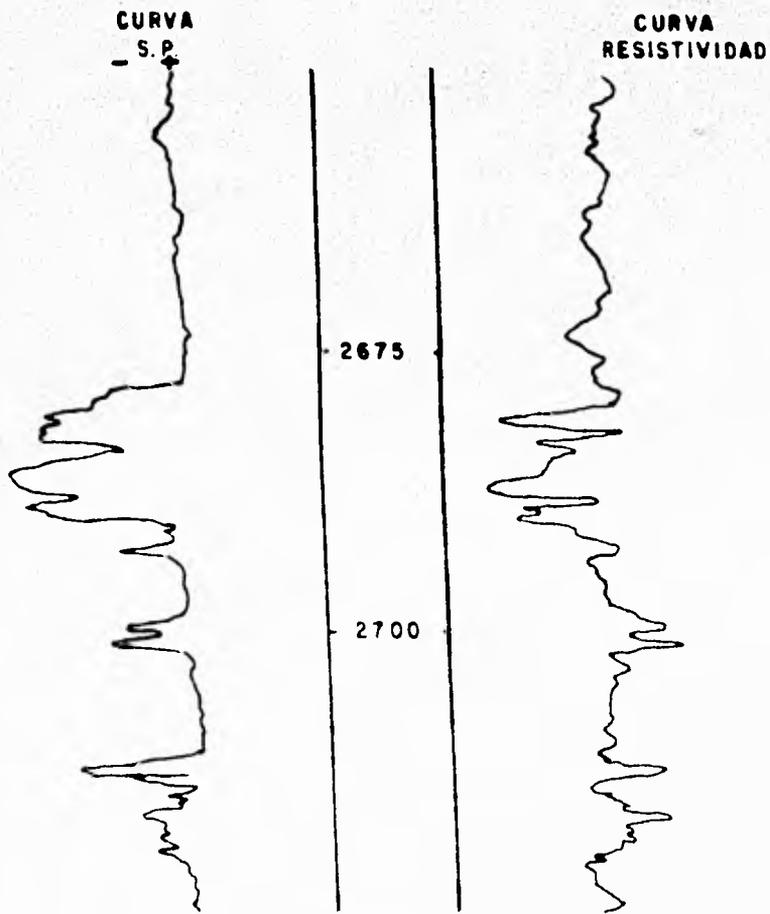


FIG. N.º IV-5: POZO, SAN RAMON N.º 15; PATRON DE BARRA⁽²²⁾

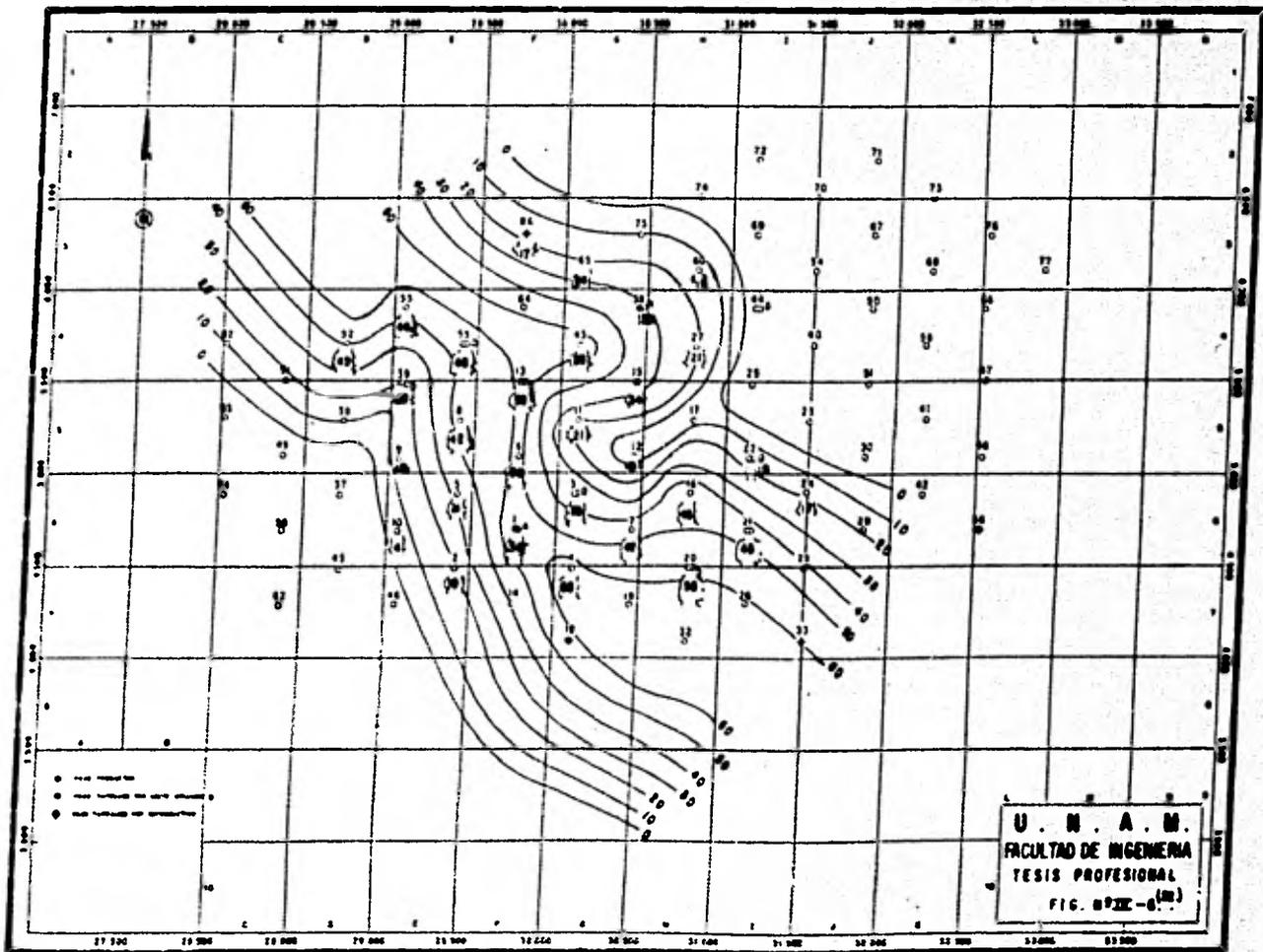
den observar en las siguientes Figs. Nos. IV-3, IV-4 y IV-5.

De la comparación de los patrones con la curva de los registros eléctricos de los pozos del campo San Ramón, se puede definir la existencia de arenas de canal, barras y sedimentos de prodelta, por lo que dentro de la secuencia del campo se estableció que existen depósitos deltáicos en los que se formaron depósitos de canal, barras, bordos, etc. (22)

En la Fig. No. IV-4 tenemos un claro ejemplo de una arena de canal, la cual corresponde al pozo San Ramón No. 8 (arena 20) el cual está situado en la parte central del campo. (22) Al realizar la correlación con los pozos; S.R.-9, S.R.-8, S.R.-13, S.R.-43, S.R.-59-A, S.R.-60, se pudo definir la continuidad de esta arena. A partir de la configuración de dicha arena se encontró la geometría de la misma, la cual adquiere una distribución como la observada en la Fig. No. IV-6, la cual es una distribución clara de una arena de canal. (22)

En la parte alta de la formación "Encanto" las formas que se observaron en los registros eléctricos corresponden de acuerdo con la comparación a ambientes de barras distales y canales. (22) Fig. No. IV-2.

Por encima de esta secuencia se tienen cuerpos arenosos que por comparación de sus rasgos eléctricos corresponden a cuerpos de planicie deltáica como son fundamentalmente arenas de canal intercaladas con cuerpos arcillosos interdistributarios Fig. No. IV-2, en ellos la secuencia de planicie deltáica se de-



fine con mayor precisión ya que en los rasgos de la curva del S.P., se ven más claramente, como cuerpos tabulares con una distribución más amplia. Donde se pueden observar los cuerpos arenosos con un buen desarrollo del S.P., separados por cuellos bien definidos de arcilla.

La parte superior de la columna se presenta como una secuencia continua de cuerpos arenosos que siguiendo el método de trabajo (comparación con los patrones establecidos) corresponden a arenas de canal, pero en una planicie en hundimiento.⁽²²⁾

Fig. No. IV-2.

5.- Elaboración de planos de distribución.

Después de realizada la comparación y la correlación, se realizó el vaciado de datos a los planos. Estos datos fueron fundamentalmente: la profundidad de las cimas de las formaciones, las cimas de los cuerpos más importantes, los espesores, etc.

Estos planos se configuraron con curvas de isoprofundidades o de isoespesores para obtener la distribución de los cuerpos que junto con los espesores obtenidos (planos de isopacas) permitieron definir su distribución y su geometría.

6.- Definición del tipo de ambiente de depositación en base a la forma de la curva, distribución y geometría.

La síntesis de toda la secuencia de trabajo para este tipo de estudios se tiene en la definición del ambiente de deposi

CAMPO "SAN RAMON"

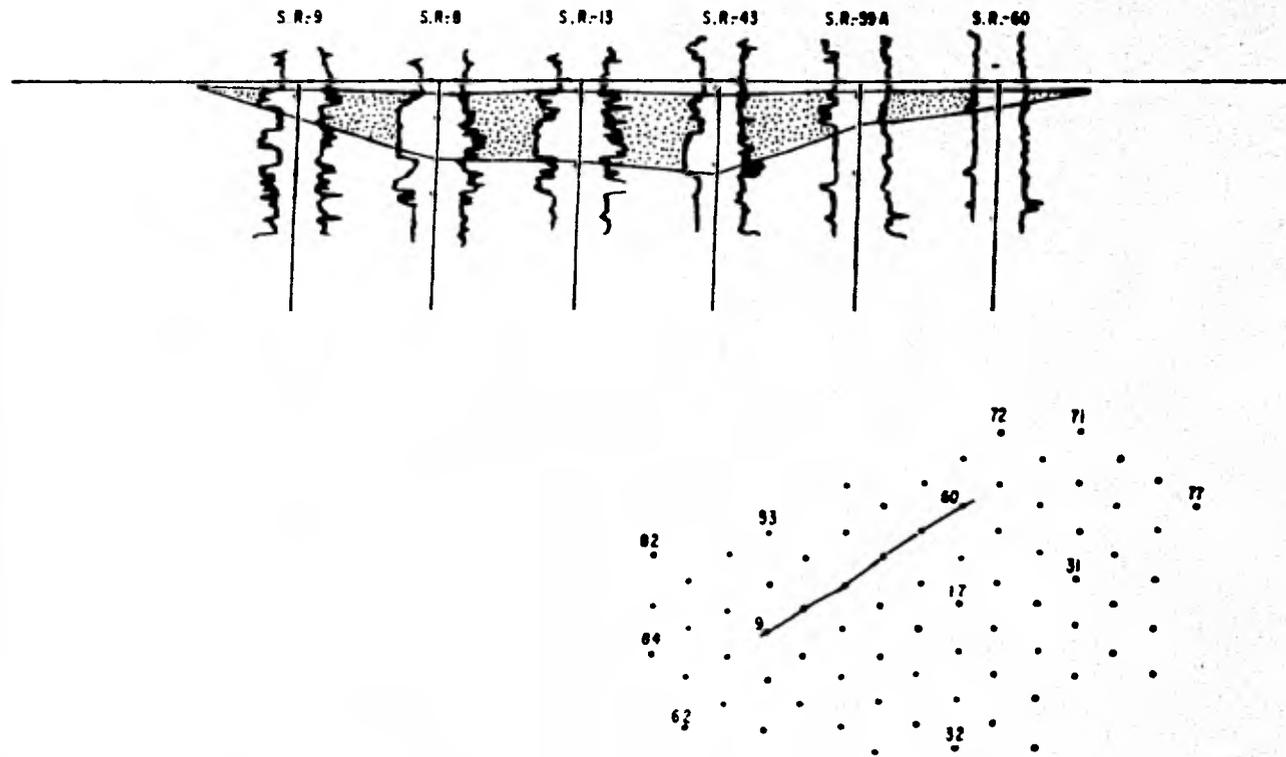


FIG. N^o. IX-7- SECCION ESTRATIGRAFICA QUE MUESTRA LA GEOMETRIA TRANSVERSAL DE UN CANAL. (20)

tación de los cuerpos arenosos; en este caso, después de analizar los patrones de los registros eléctricos, la distribución y la geometría además de algunas características litológicas - se pudo definir que en el campo San Ramón, los sedimentos más antiguos de la columna se depositaron sobre una paleotopografía desarrollada por el levantamiento de la sal.⁽²²⁾ En la porción que actualmente es el flanco norte de la estructura, se depositó una serie de cuerpos arenosos sobre una secuencia arcillosa, posiblemente de prodelta o plataforma Fig. No. IV-2.

Estos cuerpos arenosos por los rasgos del registro eléctrico que presentan como se puede observar en la sección de correlación, Fig. No. IV-7, que incluye los pozos; S.R.-9, S.R.-8, S.R.-13, S.R.-43, S.R.-59-A, S.R.-60, parecen corresponder a arenas de canal, lo que se comprueba por la distribución y geometría (Fig. No. IV-6) de los cuerpos.⁽²²⁾

En general en muchos cuerpos de la porción norte del campo se observa, en base a sus rasgos eléctricos (comparados con los patrones establecidos) su geometría, su distribución, el carácter fluvio-deltaico, de los sedimentos, mientras que en el Sur los rasgos eléctricos nos hacen pensar en sedimentos de prodelta sección⁽²²⁾ y-13 Fig. No. IV-8.

Además en algunas porciones de esta secuencia se observan algunos comportamientos eléctricos y de distribución, que hacen pensar en cambios transicionales entre ambientes de canal -- distributario y el del margen distal como en el caso de la arena 21 o 22,⁽²²⁾ donde se presentan cuerpos arenosos gruesos de forma

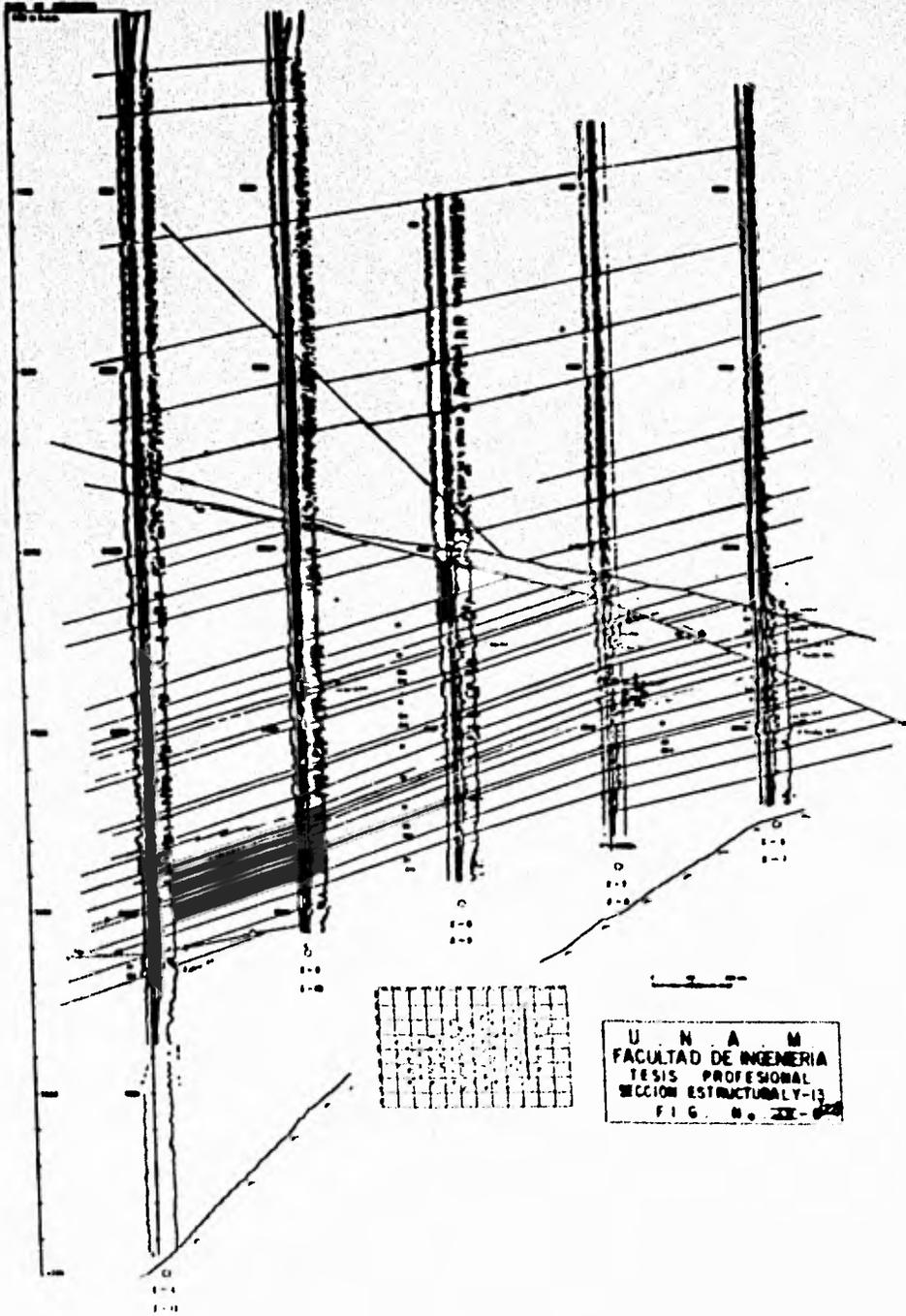
5.8-70
0.0 100

5.8-79
0.0 200

5.8-88
0.0 300

5.8-41
0.0 400

5.8-02
0.0 500



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
SECCION ESTRUCTURAL-13
FIG. N.º 22

tabular cambiando hacia el Sur, transicionalmente a ambiente de posible prodelta secciones Y-8 e Y-11.⁽²²⁾

Conforme se fueron depositando los sedimentos más jóvenes, la influencia de los promontorios o levantamientos locales de la sal en el control de la sedimentación fue disminuyendo; y se tiene una distribución más generalizada en los cuerpos arenosos de la parte superior de la formación Encanto. Aquellas zonas donde se depositó la fracción más gruesa de sedimentos en las arenas más profundas, son rellenadas por sedimentos y dejan de ser las únicas áreas de captación de sedimentos y la distribución se hace más homogénea o generalizada.

Después de la sedimentación de la arena 14 se tienen condiciones de depósito de porción distal o marginal de delta, de ahí el carácter arcilloso de más de 300 m. de sedimentos con algunas intercalaciones arenosas como son las arenas 13 y 12 de dicha formación. Sección Z-9⁽²²⁾ Fig. No.IV-9.

Una progradación del sistema deltáico se inicia con el depósito de la arena 11 y esto marca el carácter más acentuado de ambiente de planicie deltáica que se observa en todos los sedimentos más jóvenes a la formación Encanto. Esta progradación con variaciones locales de avance y retroceso de la línea de costa se ve interrumpida por un levantamiento de la cuenca antes del depósito de la formación Filisola lo que originó las condiciones para la erosión de una gran parte de la columna.

El levantamiento intenso de la masa de sal, ocasionó una mayor erosión en la porción Sureste y Noreste del campo. - Posterior a este levantamiento y erosión el ambiente de sedimentación se marca netamente como planicie deltáica o fluvio-deltáica en constante progradación por el aporte intenso de sedimentos, lo cual se conjuga con el hundimiento de la cuenca de depósito.- Este hundimiento posiblemente se inicia como resultado de la disolución del casquete de la sal y prosiguió conforme se fueron depositando más sedimentos sobre esta área.

Los sedimentos depositados sobre la superficie de erosión en hundimiento corresponden a las formaciones Filisola y Paraje Solo, formando una secuencia de arenas apiladas características de un ambiente de planicie deltáica con el fondo de la cuenca en hundimiento.

Después del depósito de estas formaciones parece ser - que se tuvieron condiciones más continentales recientes, aunque lógicamente siempre dentro de una planicie costera.

V.- CONCLUSIONES

1.- El registro eléctrico es una herramienta que se ha utilizado con diferentes fines dentro de la industria petrolera desde que esta se inició.

2.- Los principios en los que se basan los registros eléctricos son fundamentalmente, electroquímicos y electrocinéticos.

3.- Las determinaciones que se obtienen con este tipo de herramientas, pueden ser cualitativas y cuantitativas.

4.- Una de las principales aplicaciones que actualmente se pueden hacer con el registro eléctrico, es la determinación del ambiente de depósito, lo cual es de trascendental importancia para la mejor explotación de los yacimientos.

5.- La determinación del ambiente de depósito se puede lograr siguiendo los patrones establecidos por diferentes autores, pero se requiere del apoyo de planos estructurales e isopacas de los sedimentos, además del análisis de las tendencias de distribución y geometría de los cuerpos.

6.- Existen una gran diversificación de los ambientes de depósito de ahí que también existan diferentes comportamientos de la curva del S.P., lo que trae como resultado diferen-

tes patrones.

7.- Para la utilización de los registros eléctricos en la determinación del ambiente de depósito es necesario - seguir los siguientes pasos:

- a).- Definición de marcas de tiempo.
- b).- Construcción de secciones transversales
- c).- Definición del tipo de arena de acuerdo con los patrones ya establecidos.
- d).- Definición de la línea de costa antigua
- e).- Obtención de la geometría de los cuerpos
- f).- Definición del probable tipo de ambiente de depositación.

8.- En el campo de San Ramón, donde se utilizó esta técnica para definir su ambiente de depósito, de la comparación de los rasgos de un registro eléctrico a otro se pudieron observar rompimientos abruptos en la secuencia y ausencia de sedimentos.

9.- De acuerdo con los patrones establecidos fué posible identificar tres importantes secuencias de depósito perfectamente diferenciables.

10.- Por medio de la comparación de los patrones establecidos con los rasgos mostrados por los registros eléctricos fué posible determinar la existencia de arenas de canal, barran y sedimentos de prodelta, formando todo ello parte de un posible

complejo deltáico.

La mayor parte de la producción de hidrocarburos corres
ponde a los sedimentos de planicie deltáica como los canales dis
tributarios y barras.

VI.- RECOMENDACIONES

1.- Considerando que muchos de los campos petroleros del país cuentan con registros eléctricos como única información apropiada para determinar su ambiente de depósito, es - recomendable interpretar o reinterpretar sus condiciones de depósito siguiendo esta técnica y en aquellos casos donde - existen muestras o núcleos, compaginar esa información con la de los registros.

2.- La utilización de este método permitirá obtener una nueva información adicional a la que ya se ha sacado a muchos de los registros eléctricos.

3.- En el caso de proyectos de recuperación secundaria conviene tener definido el ambiente de depósito para definir el arreglo y distribución de los pozos, no solo en función de su contenido de hidrocarburos sino de su continuidad y mejor desarrollo de las características petrofísicas que seguirán tendencias de distribución de acuerdo a los ambientes de depósito.

4.- Para el caso del campo San Ramón es necesario definir el ambiente de depósito de los campos cercanos para contar con elementos que permitan un mejor desarrollo o explotación integral de toda el área.

REFERENCIAS

- 1.- "A History of well Logging" Hamilton M. Johnson.
- 2.- "Introducción al método Schlumberger de perfilaje de pozos" (Documento Schlumberger No. 8) Schlumberger Well. surveying corporation 1958.
- 3.- Doll, H.G. "The S.P. Log: Theoretical Analysis and Principles of Interpretation".
Doll, H.G. "The S.P. Log in Shaly Sands", Trans. AIME, - Vol. 189, 1950.
- 4.- What are Well-Logging Methods?, L.A. Puzin. Schlumberger Sureco, S.A.
- 5.- Archie, G.E. "The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Characteristics, "Pet. Tech., Vol. 5, - 1942.
- 6.- Poupon, A., Log, M.E., and Tixier, M.P. "A Contribution to Electrical Log Interpretation in Shaly Sands"., Jour Pet - Tech., June, 1954.
- 7.- Winsauer, W.O., Shearin, H.M., Jr., Masson, P.H., and Williams, M.: "Resistivity of Brine Saturated Sands in Relation to Pore Geometry"., AAPG Bulletin, Vol. 36, No. 2, Feb., - 1952.
- 8.- Valle G.V., y Oviedo de L.A., "Notas sobre procedimiento para identificar el origen de los cuerpos arenosos". (Capítulos I, II y III). Proyecto D-5230. División de Evaluación de Formaciones. Subdirección de tecnología de la Explotación I.M.P. 1976.

- 9.- Le Blanc, R.J.-"Geometry of Sandstone Reservoir Bodies".
Am. Assoc. Petroleum Geologists. Memoir 18, 1972. 133-190
P.P.
- 10.- Ayala C.A., "Notas sobre Paleontología".
- 11.- Leon, V.R. y Cobos, B.M. "Determinación del medio ambiente de sedimentación de una arena del área Rodador Zona Sur, a partir de Análisis Granulométricos. Revista I.M.P., Octubre de 1976.
- 12.- Sahu, K.B. Depositional Mechanisms From the Size Analysis of Clastic Sediments". Journal of Sedimentary Petrology,- Vol. 34, No. 1.p 73-83 March, 1964.
- 13.- Visher, G.S. "Grain Size Distribution and Depositional - Processes"., Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 39, - No. 3, P. 1074-1106 September, 1969.
- 14.- Pérez M.J.D., "Notas sobre procedimientos para identificar el origen de los cuerpos arenosos".(Capitulos IV, V y VII). Proyecto D-5230. División de Evaluación de Formaciones. Subdirección de Tecnología de la Explotación, I.M.P. 1979.
- 15.- Pérez M.J.D., y Valle G.V.", Notas sobre procedimientos para identificar el origen de los cuerpos arenosos" (Capitulo VI) Proyecto D-5230. División de Evaluación de Formaciones. Subdirección de Tecnología de la Explotación. I.M.P. 1979.
- 16.- Saitta, B.S. and Visher, G.S. "Subsurface Study of the Southern portion of the Bluejacket Delta". Oklahoma City Geological Society, 1968 P. 52-68.
- 17.- Visher, G.S.- "Use of the Vertical Profile in Environmental Reconstruction". Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., V.49 No. 18, January/1965, P. 42-61.

- 18.- Fons, Lloyd: "Geological Applications of well Logs. SPWLA Tenth Annual Logging Simposium", May 25-28, 1969.
- 19.- Pirson, S.J. "Geologic Well Log Analysis." Guy-Publ., Houston, Texas, 370 P. 1970.
- 20.- Fisher, W.L. Brown, L.F. Jr. Scott, A.J. and Mc. Gwen J. H. "Delta Systems in the Exploration for Oil and Gas". A Research Colloquium, Bureau of Economic Geology. The University of Texas at Austin. August 27-29, 1969.
- 21.- Rodríguez M.I.A., "Interpretación de ambientes sedimentarios a partir de secciones sísmicas "Tesis profesional. - 1980. U.N.A.M.
- 22.- Oviedo de L.A., "Estudio del campo San Ramón". Evaluación de Formaciones. Subdirección de Tecnología de la Explotación. I.M.P. 1980.

