



UNIVERSIDAD NACIONAL

Autónoma

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección

60-I-141

Señor MENDEZ HERNANDEZ EFRAIN.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Francisco A. Arroyo Carrasco, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOFISICO.

"ASPECTOS PARA LA INTERPRETACION DE AMBIENTES DE DEPOSITO
UTILIZANDO EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL"

- I INTRODUCCION.
 - II AMBIENTES DE DEPOSITO.
 - III EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL COMO IDENTIFICADOR DE AMBIENTES DE DEPOSITO.
 - IV PATRONES DE SEDIMENTACION DEL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL.
 - V EL ANALISIS DE SEÑALES COMO UNA HERRAMIENTA EN EL ESTUDIO DE LOS PATRONES DE SEDIMENTACION.
 - VI CONCLUSIONES.
- APENDICE.
BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración -- Escolar 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., 12 de Agosto de 1983.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

EXL
OARCH' MRV' gtg



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

A mis queridos padres
GRACIELA Y EFRAIN
quienes con su constante
estímulo, forjaron mi es
píritu de superación.

A mi hermana
ISABEL CRISTINA
como un aliciente más en
su vida, para que llegue
a disfrutar la satisfac-
ción de alcanzar una meta.

A mi tío
LIC. ANGEL MENDEZ CARRERA
quien me ha impulsado siem
pre a seguir adelante.

A mi inolvidable madrina (q.e.p.d.)
PROFA. MA. GUADALUPE FLORES DE REYES
como un homenaje a su memoria.

A mi padrino
PROF. J. CRUZ REYES SANCHEZ
de quien siempre he recibi
do una palabra de apoyo.

Con cariño a mi abuelita
AMALIA

A la memoria de mis abuelos
ANGEL, DANIEL E ISABEL
y en recuerdo de mi tía
MA. DEL CARMEN

A mis tíos, primos y
demás familiares.

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi agradecimiento al señor Ing. - Fco. Alejandro Arroyo Carrasco, por su atinada dirección y asesoramiento durante la elaboración de este trabajo.

Al señor Ing. Roboam León Sánchez, como un testimonio de agradecimiento por su valiosa ayuda a lo largo de mi formación profesional.

Al señor Ing. Andrés Tejero Andrade, por su disposición para esclarecer ciertas dudas que se me presentaron a lo largo de este trabajo.

A mis maestros, quienes con su sabiduría y paciencia nutrieron mi espíritu con la verdad.

A mis amigos, quienes con su amistad me dieron la pauta para caminar con alegría por el sendero de una vida sana.

A mi querida Facultad de Ingeniería.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que me dio la oportunidad de ingresar como alumno y la satisfacción de egresar como profesionista.

Mi agradecimiento se extiende a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, colaboraron en la elaboración del presente trabajo.

Lo más curioso es que todos aquellos que estudian seriamente esta ciencia de los números y figuras, caen en una especie de pasión. Verdaderamente lo que más placer proporciona no es el saber, sino el estudiar, no la posesión, sino la conquista, no el estar aquí, sino el llegar allá.

KARL FRIEDRICH GAUSS

I N D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. AMBIENTES DE DEPOSITO	3
1. El medio ambiente de depositación	3
2. Procesos de sedimentación	4
2.1. Intemperismo	4
2.2. Erosión	5
2.3. Transporte	5
2.4. Depositación	5
2.5. Diagénesis	6
3. Clasificación general de los ambientes de depositación	7
3.1. Ambientes de tipo continental	7
3.2. Ambientes de tipo transicional	7
3.3. Ambientes marinos	8
4. Procesos transgresivos y regresivos de la línea de costa	9
4.1. Procesos transgresivos	10
4.2. Procesos regresivos	12
4.3. Sistemas depositacionales formados bajo procesos regresivos	16
4.3.1. Sistemas deltaicos	16
4.3.2. Sistemas de barras de barrera y arenas costeras	17
4.4. Sistemas depositacionales formados bajo procesos transgresivos	19
III. EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL COMO IDENTIFICADOR DE AMBIENTES DE DEPOSITO	26
1. Introducción	26

	Pág.
2. Secuencia para identificar los ambientes de depositación utilizando el registro de potencial natural	26
2.1. Disponibilidad de un número suficiente de registros geofísicos dentro del área de estudio	27
2.2. Secciones transversales de correlación	27
2.2.1. Selección de la red de secciones transversales	27
2.2.2. Identificación de cuerpos marcadores de tiempo	29
2.2.3. Correlación estructural-estratigráfica de las secciones	31
2.3. Definición del probable ambiente de depositación a través de los patrones de curvas SP	33
 IV. PATRONES DE SEDIMENTACION DEL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL	 45
1. Introducción	45
2. Patrones de sedimentación de curvas SP	45
2.1. Patrón de sedimentación regresivo	47
2.2. Patrón de sedimentación transgresivo	50
 V. EL ANALISIS DE SEÑALES COMO UNA HERRAMIENTA EN EL ESTUDIO DE LOS PATRONES DE SEDIMENTACION	 64
1. Introducción	64
2. Conceptos fundamentales	65
2.1. Concepto de señal	65
2.2. Digitización de una señal	65
2.3. Contenido de energía en una señal digitizada	67
3. Cuantificación de la energía en un ambiente de depositación a través de la curva SP	71
4. Análisis espectral de una secuencia SP de sedimentación	74

	Pág.
VI. CONCLUSIONES	88
APENDICE	92
BIBLIOGRAFIA	108.

I. INTRODUCCION

Dentro de la Industria Petrolera, ya sea para fines de exploración o explotación de Hidrocarburos, es de primordial importancia conocer el Medio Ambiente en que se depositaron los sedimentos que más tarde dieron origen a una roca almacenadora, pues ello permitirá predecir con detalle, la continuidad horizontal y vertical (geometría) de las formaciones productoras, así como la variación que tengan también horizontal y verticalmente algunas de sus características y propiedades.

Actualmente las técnicas más utilizadas para la identificación de los Ambientes de Deposición de sedimentos, son a través de los Registros Geofísicos de pozos, debido a que éstos aportan la información más abundante y representativa de las formaciones del subsuelo.

El objetivo del presente trabajo, consiste en efectuar un estudio sobre la influencia de los Ambientes de Deposición en las características de las rocas resultantes, así como la serie de procedimientos a través de los Registros Geofísicos de pozos (en particular sobre el Registro de Potencial Natural o Espontáneo) para la identificación de los mismos.

El estudio ha sido enfocado hacia los Ambientes de Deposición bajo condiciones Transgresiva y Regresivas de la línea de costa, con el propósito de mostrar las técnicas de interpre-

tación utilizadas, pretendiendo sirva su análisis como base para hacer extensivo el estudio a los demás Ambientes de Deposición.

Finalmente y con fundamento en el Análisis de Señales, se plantean los principios de dos técnicas nuevas de interpretación a través del Registro de Potencial Espontáneo (SP):

- La cuantificación de la energía del agente de deposición.
- El Análisis espectral de una secuencia SP de sedimentación.

las cuales pretenden ser base de consideración, para su perfeccionamiento y desarrollo más amplio como dos futuras técnicas de aplicación, en el Análisis de los Ambientes de Deposición a través de los Registros Geofísicos de pozos.

II. AMBIENTES DE DEPOSITO*

1. EL MEDIO AMBIENTE DE DEPOSITACION

El medio ambiente de depositación, es el conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo las cuales se -- acumulan los sedimentos.

La conjunción de tales condiciones y de las características morfológicas del Area, influirán en forma directa en la -- textura de la roca resultante (composición, forma, tamaño, - - orientación y el arreglo interno de las componentes de la ro-- ca); así como en la estructura de la misma (tipo y grado de es-- tratificación, forma y tamaño del cuerpo, y estructuras sedi-- mentarias que presente, es decir, la disposición general que - adoptarán dichos cuerpos); así como también influirán en lo re-- lativo a las secuencias verticales, las facies asociadas, tipo y naturaleza de los contactos, flora, fauna, etc.

Es con lo anterior, la interrelación de los procesos de - sedimentación y la morfología de una región dada, lo que ha -- permitido realizar una clasificación de los ambientes de depo-- sitación. Sin embargo, antes de seguir adelante, vale la pena realizar una breve descripción de los procesos de sedimenta- - ción, que muestran el proceso que siguen los sedimentos desde-- que han sido derivados de alguna fuente, su transporte, depósi

* Frecuentemente se utiliza el término -depositación-.

to, compactación y cementación que los lleva a convertirse en una roca sedimentaria.

2. PROCESOS DE SEDIMENTACION

2.1. INTEMPERISMO

El intemperismo de las rocas, es la alteración de los materiales rocosos en o cerca de la superficie terrestre, expuestos a los agentes atmosféricos y a los efectos de la materia orgánica (plantas y vida animal).

En general se pueden distinguir dos tipos de intemperismo:

a) Intemperismo Físico o Mecánico: Es el proceso por medio del cual, la roca madre se va fragmentando en partículas de diferente tamaño debido principalmente a los efectos de temperatura y la acción de cuña del agua. Se le conoce también como desintegración.

b) Intemperismo Químico: Es el proceso mediante el cual se altera la composición de las rocas mediante reacciones químicas debidas primordialmente a agentes atmosféricos y materia orgánica.

Generalmente los dos tipos de intemperismo siempre actúan

juntos, el intemperismo mecánico ayudará al intemperismo químico mostrando partes de la roca para que este último actúe con mayor eficacia, asimismo el intemperismo químico debilitará la roca para una acción más enérgica del intemperismo mecánico.

2.2. EROSION

Es el proceso mediante el cual son puestas en movimiento las partículas resultantes del Intemperismo, las cuales desgastan la superficie terrestre socavando profundos valles y emparejando los desniveles topográficos. Evidentemente los agentes erosivos más poderosos son el agua, cuyo trabajo erosivo lo realiza mediante acción hidráulica, abrasión y solución, y el viento en forma de abrasión.

2.3. TRANSPORTE

Una vez que los sedimentos no consolidados que ha dejado el intemperismo han quedado a merced de los agentes erosivos, quedan disponibles para ser transportados hasta algún lugar de depósito.

Los agentes principales de transporte son las corrientes, el viento y los glaciares.

2.4. DEPOSITACION

Los sedimentos o material detrítico, son finalmente depo-

sitados cuando su agente de transporte deja de tener la energía suficiente para seguir desplazándolos; la pérdida de energía implica pérdida de fuerza y velocidad. Por ejemplo, cuando una corriente pierde velocidad perderá energía con lo cual no será capaz de transportar todo el material que había estado trasladando a la máxima velocidad; lo mismo ocurre con la acción del viento.

Con base en lo anterior, generalmente el depósito se realiza en forma clasificada (excepto en los glaciares). Las partículas sólidas comenzando por las más pesadas se sedimentarán primero, siguiendo en ese orden hasta depositarse por último - las de menor peso.

El material que es transportado por el agua en forma de solución (material disuelto), se deposita por precipitación.

2.5. DIAGENESIS

Es el proceso mediante el cual los sedimentos se convierten en rocas, compactándose los sedimentos y cementándose posteriormente. Finalmente puede ocurrir cristalización de nuevos minerales o aumento de tamaño de los ya existentes, este fenómeno trae como consecuencia cambios en la porosidad y permeabilidad primarias.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que una roca -

sedimentaria es el producto consolidado del material producido por los agentes del intemperismo, erosión, transporte, deposición y diagénesis.

3. CLASIFICACION GENERAL DE LOS AMBIENTES DE DEPOSITACION

Como se mencionó en un principio, la interrelación de los procesos de sedimentación y la morfología de una región dada, han servido como base para realizar una clasificación de los ambientes de depositación.

Esta clasificación considera tres ambientes generales:

3.1. AMBIENTES DE TIPO CONTINENTAL, en los cuales los procesos que dan lugar a la sedimentación son de tipo terrestre - tales como el viento y las corrientes superficiales. Ejemplos de este tipo de ambientes lo son el Eólico, en el cual el proceso responsable de la sedimentación es el viento y el Fluvial, el cual tiene como elemento característico a las corrientes o canales fluviales,

3.2. AMBIENTES DE TIPO TRANSICIONAL, los cuales son producto de una combinación de los procesos marinos y terrestres. Como una muestra de este tipo de ambientes podemos citar a los Deltas, los cuales son producto de la desembocadura de las corrientes superficiales en los mares bajo la influencia de las

aguas marinas, el agua de dichas corrientes es difundida dentro del agua estancada del mar, la corriente pierde energía y deposita su carga como un Delta.

3.3. AMBIENTES MARINOS, formados bajo la influencia de los procesos marinos tales como las mareas y el oleaje. Dependiendo de la posición dentro de la cuenca y de los tirantes de agua que se presenten, en el sistema marino se pueden presentar los siguientes subambientes o zonas:

- Zona costera o litoral.
- Zona de plataforma continental o nerítica.
- Zona de pendiente marina o batial (talud).
- Zona de levantamiento continental.
- Zona de piso marino o abisal.

dentro de cada una de las cuales se presentan factores y procesos de depositación característicos.

Dentro de cada ambiente general de depósito encontraremos subambientes que a pesar de encontrarse en áreas más restringidas se encuentran íntimamente ligados con los mismos por poseer en conjunto los mismos procesos básicos y relativamente la misma posición geográfica.

En cada uno de estos subambientes se origina una unidad litológica denominada "facie", la cual tiene el mismo tipo de

sedimentación, el mismo contenido de fósiles y la misma composición mineral, lo que la hace una porción de diferente naturaleza de un cuerpo sedimentario mayor, pero genéticamente relacionado con él.

Enfocaremos nuestro estudio a los procesos transgresivos y regresivos de la línea de costa, como factores de influencia significativa dentro de los sistemas de depositación transicional y marina (zona costera o litoral).

4. PROCESOS TRANSGRESIVOS Y REGRESIVOS DE LA LINEA DE COSTA

Dentro de los medios ambientes marino (zona costera o litoral) y transicional de depositación, las condiciones de depósito en gran parte son controladas por el movimiento relativo de la línea de costa.

- Cuando el proceso del movimiento de la línea de costa es hacia el continente, se tiene un proceso de carácter **TRANSGRESIVO**.

- Si por el contrario, el proceso del movimiento de la línea de costa es hacia la cuenca marina, se tiene un proceso **REGRESIVO**.

Los factores que originan los movimientos transgresivos o

regresivos de la línea de costa, dependen fundamentalmente de la estabilidad del fondo marino, así como de la rapidez del levantamiento o hundimiento del mismo debido a efectos tectónicos, y del volumen de sedimentos que penetran a la cuenca.*

4.1. PROCESOS TRANSGRESIVOS

Pueden ser ocasionados bajo las siguientes circunstancias:

a) Hundimiento gradual del fondo marino con un aporte de sedimentos a la cuenca más bajo y más lento que la velocidad de hundimiento, lo que trae consigo un movimiento gradual de la línea de costa hacia el continente (o transgresión),

Las unidades litológicas originadas en estas condiciones son de 3 tipos, todas ellas equivalentes en el tiempo de deposición, de este modo se tiene:

- Capas formadas de sedimentos continentales.
- Arenas marinas depositadas en forma discordante sobre las estrates continentales dentro del área en que la línea de costa se está moviendo y en un ambiente de alta energía en don

* Con excepción de algunas migraciones de la línea de costa, ocasionadas por cambios en el volumen de agua de las cuencas oceánicas, debidos a periodos de glaciaciones y desglaciaciones, se considera que a través del tiempo geológico la mayor parte de los movimientos de la línea de costa han sido resultado del balance de los factores mencionados. (Ref. 25).

de la mayor parte de los limos y arcillas se mantienen en suspensión.

- Lutitas marinas y limos, a cierta profundidad del nivel de las aguas y en un ambiente de baja energía.

En este tipo de transgresión se presenta una distribución amplia de los sedimentos, lo que explica la formación de arenas de tipo de manto.

b) Hundimiento gradual pero cíclico del fondo marino, el suministro de arenas en la cuenca es bajo en comparación con el aporte de lodos que es más abundante, sin embargo el aporte total de sedimentos es insuficiente como para equilibrar la velocidad de hundimiento, lo que trae consigo un movimiento relativo de la línea de costa hacia el continente (o transgresión).

Debido al menor aporte de arenas, no es posible que se formen mantos continuos por lo que sólo se deposita una serie de arenas de playa, las cuales se acuñan hacia la cuenca y se encuentran discordantemente sobre la superficie que es transgredida. Lodos y arcillas que se encuentran intercalando las cuñas de arena, muestran el movimiento cíclico del fondo marino.

Los cuerpos arenosos generalmente están compuestos en parte por arenas de playa, y en parte de arenas de barra de fuera de costa.

Pueden presentarse también en este caso capas delgadas, - escalonadas y discontinuas de carbonatos que se depositan a -- partir de las cuñas de arena y las cuales pueden alcanzar grandes extensiones.

c) El fondo marino está en hundimiento cíclico y la única variante es el mayor aporte de arenas como para formar mantos-continuos sobre la superficie discordante de la transgresión.- Existe también un aporte de carbonatos depositados hacia la -- cuenca a partir de las cuñas de arena que muestran un arreglo- en el que cortan oblicuamente a la litología interrumpiendo la continuidad de las capas de lodo.

En general los aspectos anteriores son los que dan lugar a un proceso transgresivo, mostrándose en secuencia vertical - capas arenosas en forma discordante sobre estratos continentales, disminuyendo el tamaño de grano en forma gradual y ascendente a limos y lutitas en la cima de la secuencia.

4.2. PROCESOS REGRESIVOS

Pueden ser ocasionados bajo las siguientes circunstancias:

a) Hundimiento gradual del fondo marino con un aporte de sedimentos mayor que la velocidad de hundimiento, lo que origina un retroceso de la línea de costa hacia la cuenca (o Regresión).

La depositación de los cuerpos arenosos se realiza por en cima de una línea base conocida como nivel de lodos, sobre la cual la energía es mayor e impide la depositación de sedimen--tos finos, depositándose hacia la cuenca por debajo de dicha línea. En general, los sedimentos continentales sobreyacen a los cuerpos de arenisca que a su vez cubren a los de lutita.

b) Levantamiento gradual del fondo marino, con un suministro alto a moderado de arenas y lodos, lo que ocasiona un re--troceso continuo de la línea de costa hacia la cuenca (o Regresión).

En este caso, se produce un cuerpo continuo de arena a lo largo y ancho de las diferentes posiciones de la línea de costa, mientras que por debajo de las diferentes líneas de depositación de lodos y hacia la cuenca, se forman depósitos conti--nuos de arcillas.

Las facies resultantes para este caso son parecidas a las tratadas en el anterior inciso, por lo que es difícil definir--si la cuenca estuvo en hundimiento gradual o en levantamiento--también gradual cuando se presentan estas características.

c) Levantamiento gradual del fondo marino con un aporte - limitado de arenas siendo el de lodos más abundante.

Con estas características, a lo largo de la línea de costa se desarrollan depósitos arenosos costeros y por debajo de

la línea de lodos, hacia la cuenca y en forma transicional depósitos arcillosos.

Conforme la línea de costa avanza hacia el mar, el resultado del intemperismo y erosión de las arenas, y de las capas continentales hace que dichos depósitos sean destruidos progresivamente.

En ocasiones las arenas pueden estar completamente aisladas y presentarse como lentes dentro de cuerpos lutíticos.

d) Levantamiento cíclico de la cuenca, siendo el aporte de arenas moderado pero constante y el de lodos abundante.

Bajo estas condiciones, la línea de costa se moverá hacia la cuenca en forma cíclica, produciendo cuerpos continuos de arena en forma de manto que pueden estar acunadas dentro de las lutitas subyacentes, los cuerpos de arena son cubiertos por capas continentales.

En este caso se presentan áreas de engrosamiento que demuestran áreas estacionarias de la línea de costa, mientras que las porciones adelgazadas corresponden a etapas de rápida regresión.

Hacia la cima de las capas arenosas se produce un depósito de carbón extenso, formado en zonas pantanosas.

e) El fondo marino está en una posición estable y estacio

naria con un aporte considerable y constante de sedimentos - - clásticos, lo que también originará una regresión de la línea de costa.

Para este caso, la superficie de depositación presenta - un progresivo avance mar adentro, y bajo las líneas de arenado, un adelgazamiento de las capas lutíticas.

Los procesos marinos (oleaje y mareas) suelen retrabajar la porción superior de la secuencia regresiva, dándole un aspecto erosivo o discordante.

En general los aspectos anteriores son los que dan lugar a una Regresión, cuya secuencia nos muestra en forma vertical y ascendente cuerpos lutíticos y un aumento gradual en el tamaño de grano, a capas arenosas en la cima que muestran un aspecto erosivo producido por el oleaje a que han quedado expuestas.

Existe un caso en el cual el hundimiento de la cuenca se compensa con la velocidad y volumen de sedimentos que a ella - entra, lo que hace que la línea de costa se mantenga estable y por ello no se efectúe transgresión ni regresión; resulta de - lo anterior, un cuerpo masivo y potente de arena a lo largo de la línea de costa, así como un espesor potente de lutitas hacia la cuenca siendo ambas unidades litológicas de la misma - - edad.

Resumiendo, se puede decir que toda emersión del fondo ma

rino siempre ocasionará una regresión, si esta emersión del -- fondo marino se produce con un aporte de sedimentos, ocasionará una regresión más rápida produciéndose estratos bien formados y delgados. Otro aspecto que dará lugar a una regresión, es un aporte de sedimentos a la cuenca manteniéndose estable el fondo marino.

Por el contrario, una subsidencia del fondo marino no -- siempre determinará una transgresión, pues habrá que considerar el aporte de sedimentos; si este es bajo y más lento que la velocidad de hundimiento, tal que no alcance a compensarlo, ocurrirá una transgresión, produciéndose estratos bien formados y delgados. En el caso en que el aporte de sedimentos es mayor que la velocidad de hundimiento, ocurrirá una regresión con la formación de estratos más gruesos.

4.3. SISTEMAS DEPOSITACIONALES FORMADOS BAJO PROCESOS REGRESIVOS

4.3.1. SISTEMAS DELTAICOS

Los sistemas deltaicos, son desarrollados en ambientes donde tienen influencia los procesos marinos y fluviales (desembocaduras de las corrientes superficiales en las cuencas oceánicas).

El flujo de la corriente, es contrarrestado por la fric-

ción a medida que el agua de dicha corriente se difunde dentro del cuerpo de agua estancada del mar, la corriente pierde energía y deposita su carga como un delta.

Como ya se analizó dentro de los procesos transgresivos y regresivos de la línea de costa, para el caso en que el fondo-marino se encuentra en una posición estable y estacionaria, y existe un aporte considerable y constante de sedimentos clásticos, se originará una regresión de la línea de costa. Para este caso, la superficie de depositación presenta un progresivo-avance mar adentro.

Por sus características, es considerado este caso como el responsable de la formación de la mayoría de los sistemas deltaicos (Ref. 1), ya que estos sistemas se desarrollan como una clara progradación* de los sedimentos clásticos (aportados por las corrientes superficiales que penetran al mar), en una cuenca relativamente estable.

4.3.2. SISTEMA DE BARRAS DE BARRERA Y ARENAS COSTERAS

Los ambientes donde se desarrolla este sistema, son aquellos donde los procesos marinos tales como oleaje, mareas y corrientes, predominan en la depositación de sedimentos; en - -

* El término "progradación", se refiere a la formación de cuerpos sedimentarios, debido al avance y depositación de los sedimentos mar adentro.

ellos, se originan generalmente facies arenosas, alargadas y paralelas a la línea de costa. Pueden formar parte de los sistemas deltaicos (localizándose marginalmente a los deltas), o bien, encontrarse en zonas costeras interdeltáicas. Pueden formarse también como sistemas independientes a lo largo de la línea de costa.

Los sedimentos que intervienen en el sistema, pueden provenir de las corrientes que penetran al mar, y en menor proporción como resultado de la erosión marina de áreas de la plataforma continental, siendo dispersados posteriormente por los procesos marinos.

Las barras de barrera comúnmente son cuerpos alargados de arena paralelos a la línea de costa, los cuales están separados del continente por un cuerpo de agua o una laguna.

Indistintamente se les conoce como islas de barrera o barras de barrera y la única diferencia estriba, en que las islas de barrera son complejos que sobresalen ligeramente por encima del nivel de las mareas y el oleaje, originándose por ello zonas vegetadas, dunas y terrazas pantanosas.

Las arenas de playa se distinguen de las barras de barrera por la carencia de una facie lagunar. Se inician generalmente en una porción localizada más hacia el continente, donde una zona de farallones o bordos indican antiguas posiciones de la costa, y abarcando también a la zona costera o litoral.

En general, este tipo de arenas se forma como resultado de la progradación de los sedimentos que fueron transportados por las corrientes a lo largo de la costa.

Las barras o islas de barrera y las arenas de playa, son facies que se desarrollan generalmente en condiciones regresivas de la línea de costa (las desarrolladas durante etapas transgresivas se analizarán más adelante), por lo que los depósitos en los dos casos presentan un incremento del tamaño de grano en forma vertical de abajo hacia arriba.

4.4. SISTEMAS DEPOSITACIONALES FORMADOS BAJO PROCESOS TRANSGRESIVOS

Los depósitos marinos transgresivos, pueden ocurrir localmente sobre deltas abandonados o regionalmente sobre depósitos eólicos, aluviales, interdeltaicos y deltaicos en una gran parte de la planicie costera que es transgredida.

Durante los periodos transgresivos, la porción hacia el mar de la parte continental está siendo atacada por la acción de las olas y corrientes marinas, erosionando la superficie sobre la que va avanzando. Los sedimentos son retrabajados y re depositados a lo largo de la nueva línea de costa, quedando como arenas de playa o marinas someras (las barras de barrera -- originadas bajo procesos transgresivos, quedan restringidas a

planicies deltaicas abandonadas, donde la acción de las olas - hace que los sedimentos sean re TRABAJADOS. Este proceso de re trabajamiento y la subsidencia del fondo marino, acarreará la formación de una serie de barras o islas de barrera que pueden quedar apiladas (Ref.1,9)). Los depósitos marinos transgresivos, adoptarán una clasificación en el tamaño de grano de grueso a fino, de abajo hacia arriba, como ha sido analizado en párrafos anteriores.

El tipo de sedimentación transgresiva, es muy importante porque produce capas de sedimentos marinos del tipo de manto muy característicos y útiles, como capas marcadoras para fines de correlación estratigráfica.

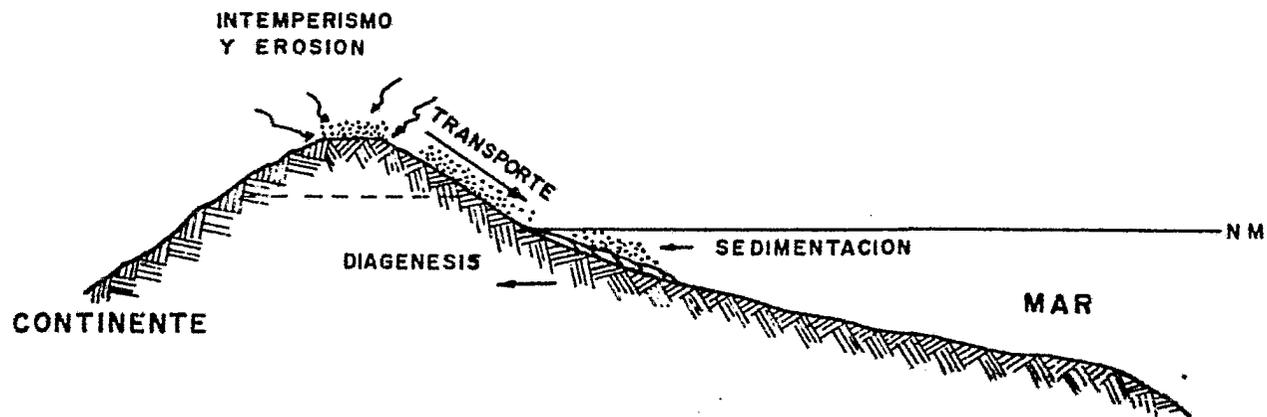


Fig. No. 2.1.- Procesos sedimentarios
(Tomado de ref. 1 ,p.1-10)

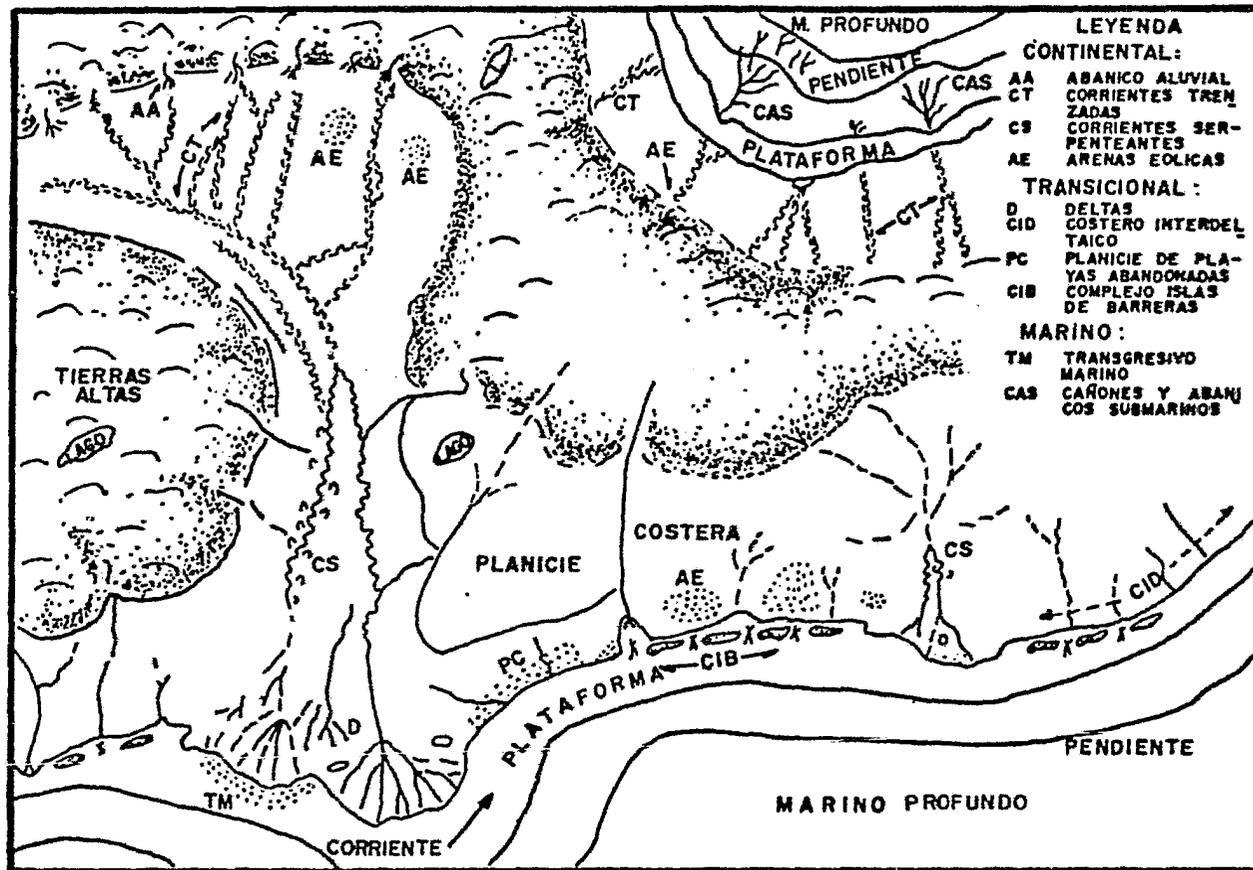


FIG. No.2.2 - ALGUNOS MODELOS COMUNES DE SEDIMENTACION CLASTICA

(TOMADO DE REF. I, P.III-134).

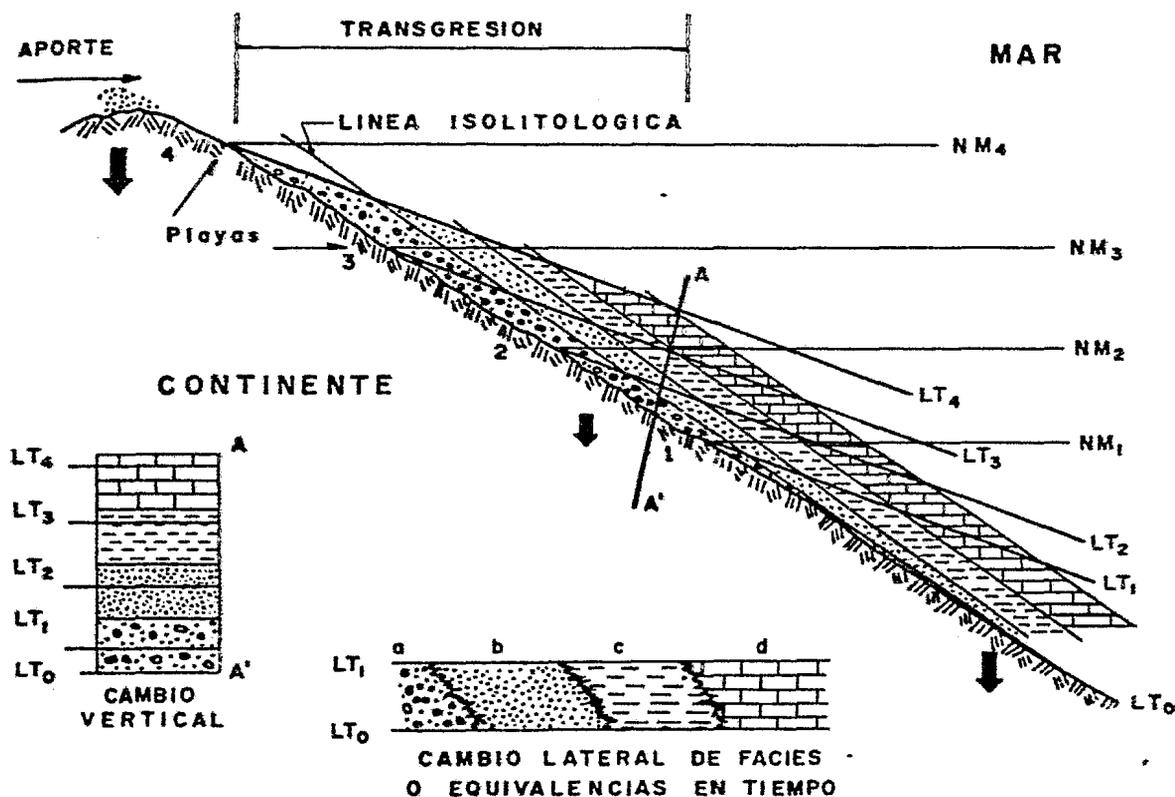


Fig. No. 2.3.- Generación de una transgresión.

Características :

De la cuenca:

- Fondo en hundimiento.
- El hundimiento es gradual.
- El aporte de sedimentos es menor que la velocidad de hundimiento.

De las facies o unidades sedimentarias resultantes:

- Amplia distribución de clásticos.
- Las unidades litológicas transgreden las líneas de tiempo.

(Tomado de ref. 1, p. III-179).

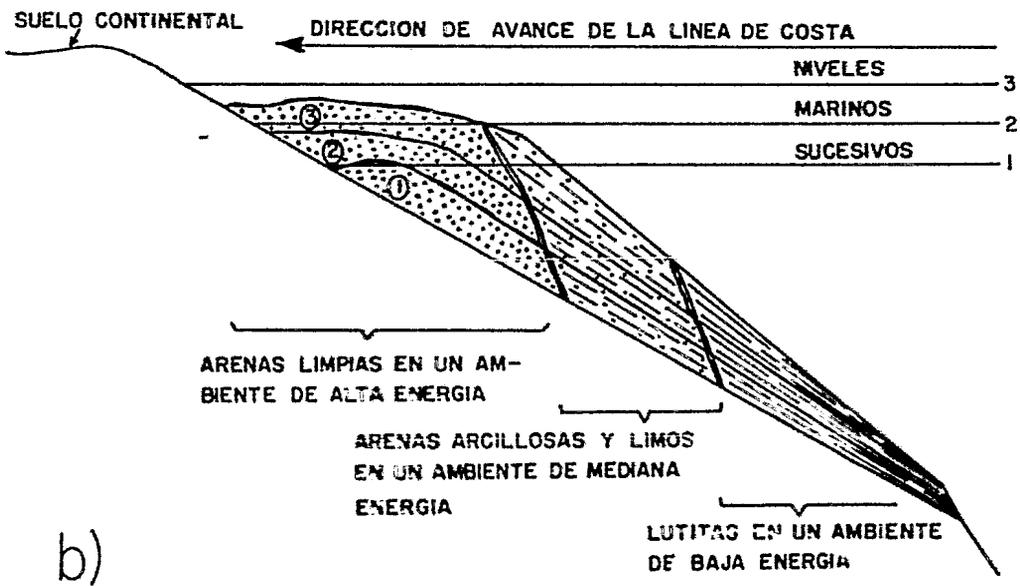
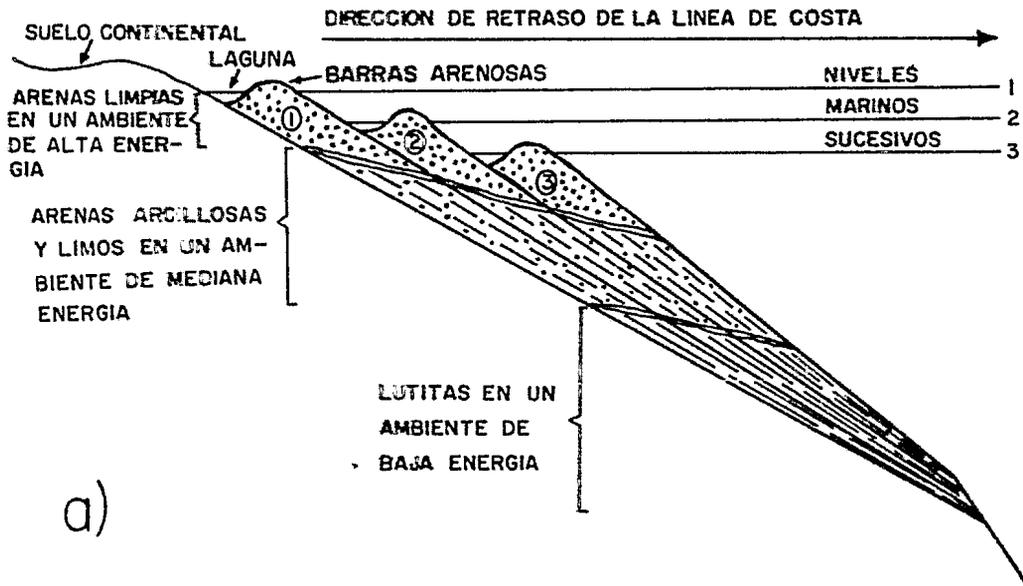


Fig.No.2.4 - Representación esquemática de sedimentación asociada con líneas de costa regresiva (a), y transgresiva b).

(Tomado de ref 9; p.13,14).

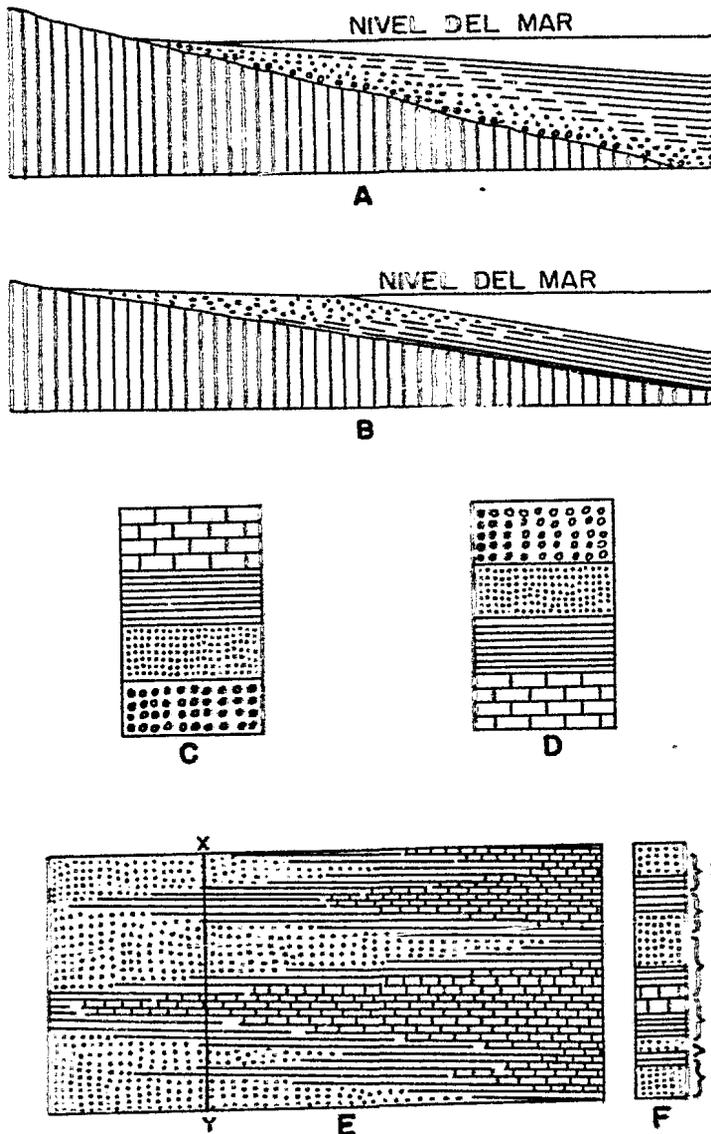


Fig.No.2.5- A,B. Esquemas de sedimentación en un mar transgresivo y en un mar regresivo.

C,D. Secciones ideales de depósito transgresivo y regresivo.

E Sección transversal de depósito durante transgresiones y regresiones sucesivas del mar (continente a la izquierda, mar a la derecha). Nótese que a la izquierda del diagrama predominan sedimentos de mar poco profundo, predominando los de mar profundo hacia la derecha.

F Sección columnar 'XY', tomada de la sección transversal 'E'.

(Tomado de ref 24; pags.76,77,79).

III. EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL COMO IDENTIFICADOR DE AMBIENTES DE DEPOSITO

1. INTRODUCCION

Debido a que los registros geofísicos de pozos son la información más abundante y representativa de las formaciones -- del subsuelo, constituyen un poderoso instrumento para la identificación de los ambientes de depositación antiguos, aspecto indispensable para definir la geometría de los cuerpos arenosos en cualquier estudio de evaluación de campos petroleros.

Tomando en cuenta lo anterior, se han elaborado técnicas de interpretación geológica basadas exclusivamente en dichos registros.

2. SECUENCIA PARA IDENTIFICAR LOS AMBIENTES DE DEPOSITACION UTILIZANDO EL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL

Con la experiencia adquirida por analistas en este tipo de trabajos, ha sido posible establecer una secuencia de procedimientos para identificar el o los probables medio ambientes de depositación antiguos, que han originado los diferentes -- cuerpos arenosos que forman las columnas geológicas, utilizando exclusivamente la información de los registros geofísicos de pozos, en particular el registro SP y el de resistividad.

Se describe a continuación la secuencia mencionada aplicable al área de un campo.

2.1. DISPONIBILIDAD DE UN NUMERO SUFICIENTE DE REGISTROS GEOFISICOS DENTRO DEL AREA DE ESTUDIO

Es de gran importancia el contar antes de comenzar el trabajo interpretativo, con un número suficiente de registros geofísicos que nos permitan realizar de manera satisfactoria el análisis del área deseada.

2.2. SECCIONES TRANSVERSALES DE CORRELACION

Es necesario para cualquier estudio de sedimentación, el construir secciones transversales de correlación a partir de los registros geofísicos de pozos, básicamente sobre el registro de potencial natural y el de resistividad.

2.2.1. SELECCION DE LA RED DE SECCIONES TRANSVERSALES

Antes de iniciar el estudio, se debe establecer la red de secciones transversales que se van a construir, si no se cuenta con un estudio regional sedimentológico, es recomendable -- que primero se construyan secciones transversales para un área en que se considere que se pueden definir diferentes medios de depositación y donde quede incluida el área del campo. Posteriormente se procede a la construcción de secciones locales, -

las cuales se simplificarán si se conocen los probables ambientes en el área y alrededor del campo en estudio.

Si se cuentan con estudios sedimentológicos del área y en base a la experiencia del analista, se puede inferir una probable posición de la línea de costa antigua, estableciendo la red de secciones transversales paralelas y perpendiculares a la misma (es decir, a rumbo y echado), esto facilitará la interpretación.

La Fig. (3.1), muestra un plano hipotético, con el establecimiento de redes de secciones transversales paralelas y perpendiculares a la probable línea de costa antigua (para este caso, se ha inferido un probable paralelismo entre la posición geográfica antigua y la actual).

Por su construcción, las secciones se clasifican en estructurales y estratigráficas:

a) Secciones estructurales.- Estas secciones se construyen tomando como nivel de referencia una cierta profundidad o bien el nivel del mar, de tal manera que los resultados que se obtengan muestren las condiciones actuales del subsuelo, o sea las condiciones al tiempo que se hace la interpretación. Fig. (3.2).

Para estudios geológicos encaminados a una adecuada explotación de los campos petroleros, este tipo de secciones son --

bastante apropiadas, pues la información requerida para tales trabajos debe ser a condiciones actuales.

b) Secciones estratigráficas.- Estas secciones se utilizan principalmente para estudios de sedimentación o en la reconstrucción de la Geología Histórica de un área dada. Se construyen tomando como nivel de referencia una línea de tiempo, que puede ser dada por fósiles índice o por cuerpos litológicos marcadores de tiempo, identificados por muestras de roca o por medio de los registros geofísicos de pozos, y a partir de las cuales se pueda reconstruir una etapa de sedimentación.

Si se desea reconstruir la Geología Histórica de un área dada, se elaboran secciones transversales estratigráficas a diferentes profundidades, las cuales pueden ser construidas a partir de las secciones estructurales. Para ello se requiere tener identificados diferentes tiempos dentro de la columna geológica, los cuales servirán como niveles de referencia para la reconstrucción de las distintas etapas de sedimentación que originó la columna (Fig.3.3).

2.2.2. IDENTIFICACION DE CUERPOS MARCADORES DE TIEMPO

Una capa índice o marcadora de tiempo, debe poseer una distribución geográfica relativamente amplia así como una posición estratigráfica constante.

Al trabajarse con secciones transversales formadas a partir del registro de potencial natural y el de resistividad, se hace necesario conocer las formas tipo sobre las curvas SP y de resistividad (curva normal corta amplificada) de las capas marcadoras de correlación (además de que la práctica ha demostrado que en estas curvas las características de las marcas -- son más notables), familiarizarse con ellas y estudiarlas para conocer su origen y su relación con los probables ambientes de depositación, todo lo anterior orientado a una selección adecuada de las marcas que serán utilizadas en la correlación.

Como una muestra de lo anterior, se presentan a continuación las características generales de dos de los principales cuerpos marcadores de correlación, así como sus características eléctricas sobre la curva de potencial natural y la de resistividad normal corta amplificada:

a) Capas delgadas de bentonita.- La bentonita, es una arcilla formada por la alteración de cenizas volcánicas. En razón de su origen, aparecen como mantos de vasta extensión de depositación, razón por la cual es considerada como uno de los principales cuerpos marcadores de correlación.

Este cuerpo generalmente se localiza en intervalos lutíticos, presentando las siguientes características eléctricas: reducción del valor de la curva de potencial natural (SP), así como una reducción en el valor de la resistividad comparados con los valores de las lutitas que lo encajanan.

Las Figs. (3.4, 3.5), muestran la identificación, por sus características eléctricas, de probables cuerpos bentoníticos.

b) Capas delgadas de areniscas calcáreas.- En un periodo-regresivo durante o después de la depositación de un cuerpo -- arenoso, existe precipitación de carbonatos originando una cementación en la parte superior del cuerpo, formando una capa - delgada de arenisca calcárea.

Este cuerpo es característico por su valor de resistividad, ya que su aspecto calcáreo ocasiona una pérdida en su porosidad, originando que la curva SP prácticamente no deflexione, por el contrario, el valor de la resistividad debido a la compacidad presenta valores altos.

Cuando estos cuerpos tienen amplia distribución, es común encontrarlos en las cimas de los cuerpos arenosos (barras marinas por ejemplo).

Las Figs. (3.6, 3.7), muestran la identificación, por sus características eléctricas, de probables cuerpos delgados de areniscas calcáreas.

2.2.5. CORRELACION ESTRUCTURAL-ESTRATIGRAFICA DE LAS SECCIONES

Habiendo definido marcas eléctricas de correlación, la interpretación de las secciones será más confiable. La correla-

ción por medio de los registros geofísicos, generalmente se ha ce por comparación entre pozo y pozo de las formas o rasgos que presenten las curvas.

La interpretación de las secciones estructurales definirá la posición estructural de los cuerpos arenosos en estudio, -- mientras que la interpretación de las secciones estratigráfi-- cas ayudará a definir el tipo de ambiente que dio origen a dichos sedimentos depositados. La red de secciones utilizada pa-- ra la interpretación estratigráfica puede ser la misma que la-- utilizada para la interpretación estructural, tomando a partir de secuencias genéticas (grupos de intervalos genéticos), algu-- nos intervalos genéticos particulares a partir de las marcas - de correlación que ayuden a definir etapas individuales de se-- dimentación.

La correlación puede iniciarse considerando secuencias de estratos o intervalos grandes de sedimentación a partir de las marcas eléctricas identificadas, para posteriormente correla-- cionar al detalle, ya sea por grupos de arenas o por cuerpos - individuales.

Las Figs. (3.8 a 3.11), muestran los aspectos anteriores. De la correlación e interpretación efectuada a las secciones - - transversales se pueden obtener los siguientes aspectos:

a) Las deformaciones estructurales de las secuencias e in

crementos genéticos de los cuerpos arenosos.

- b) La presencia y características de las fallas estructurales.
- c) La continuidad o interrupción de las arenas individuales.
- d) El tipo de ambiente de depositación que dio origen a dichos cuerpos arenosos.

2.3. DEFINICION DEL PROBABLE AMBIENTE DE DEPOSITACION A TRAVES DE LOS PATRONES DE CURVAS SP

Con las secciones estratigráficas construidas y si se tiene ya identificado el intervalo estratigráfico al que se le pretende determinar el tipo de ambiente de depositación que lo originó, con base en la forma de dichas curvas y en comparación directa con los patrones de sedimentación de curvas SP dados por algunos autores como Visher y Pirson (Ref. 9, 10), se podrá definir el o los probables tipos de ambientes de depositación que dieron origen a los cuerpos arenosos que forman el incremento genético (el Capítulo IV de este trabajo, muestra en forma más detallada estos aspectos).

Para conocer la distribución areal de los distintos ambientes, se prepara un plano en donde se dibuja en cada localización de los pozos, el tramo de registro eléctrico (curvas SP y resistividad) correspondiente al intervalo estratigráfico del ambiente en estudio, lo que dará tanto su extensión horizontal como sus límites laterales con otros ambientes.

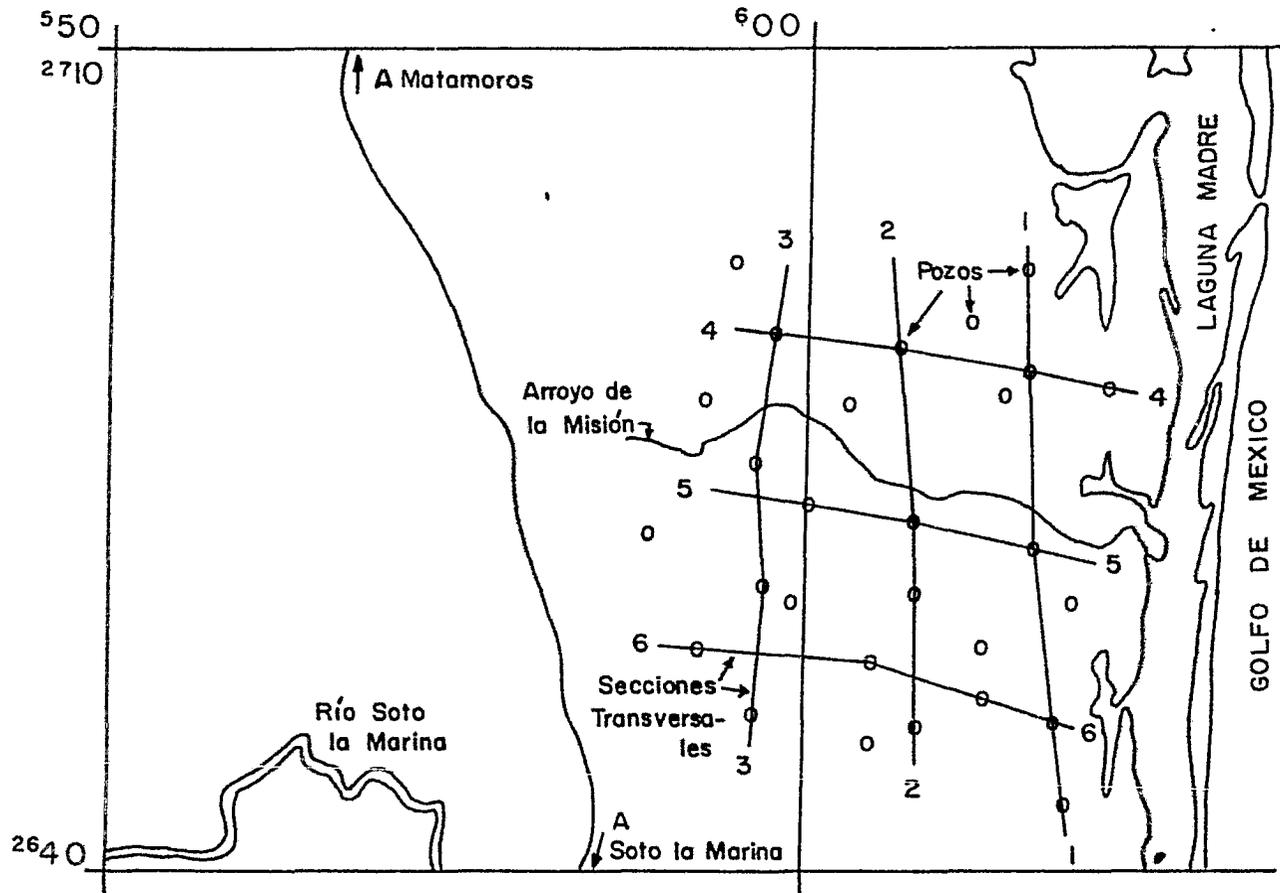


Fig.No.3.1 - Plano hipotético que muestra la disposición de secciones transversales formadas a partir de registros geofísicos de pozos.

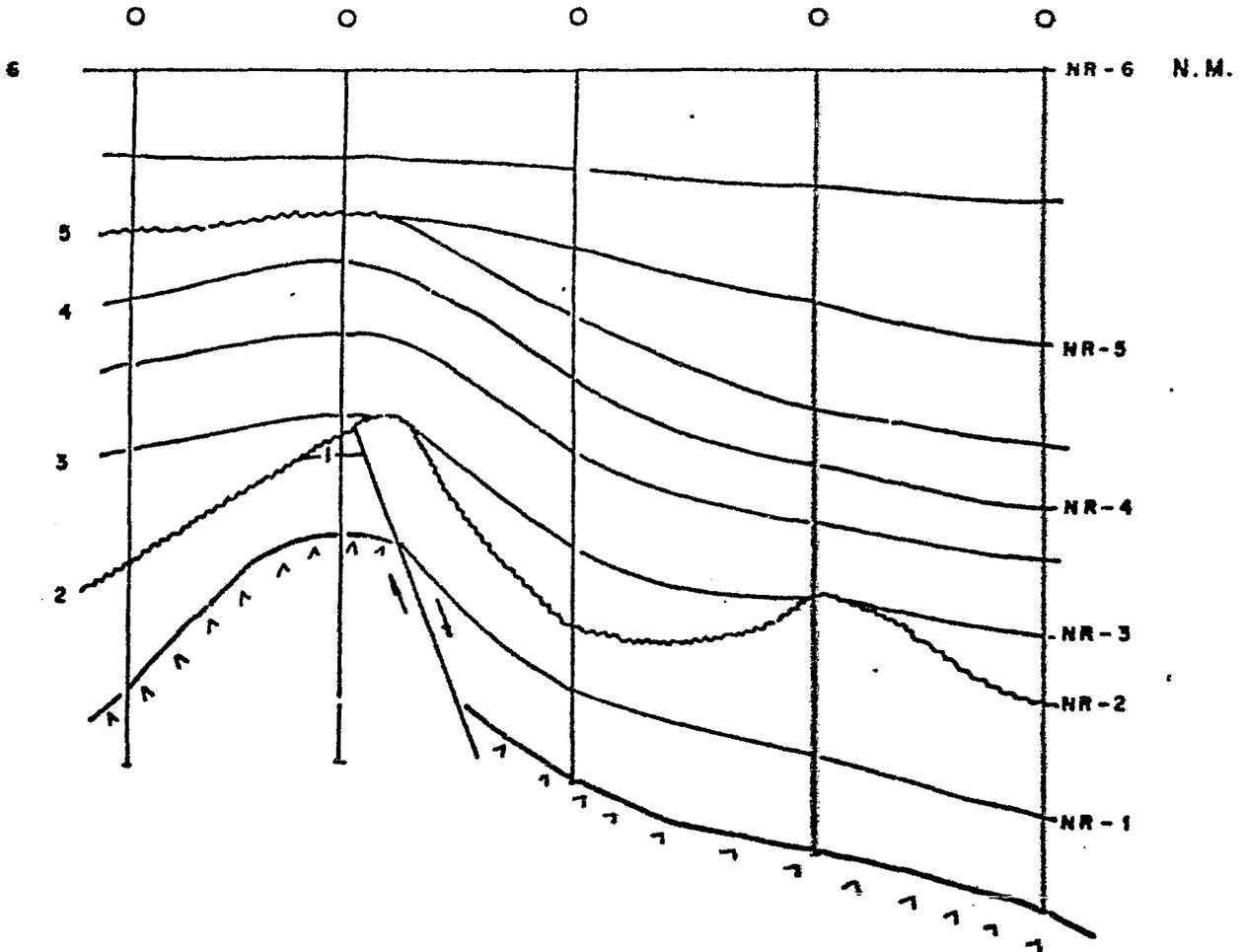


Fig. N°3.2 .- SECCION TRANSVERSAL ESTRUCTURAL TEORICA.
 (ETAPA VI DE LA FIG. N°3.3)
 (Tomado de ref. 1, p.V-30).

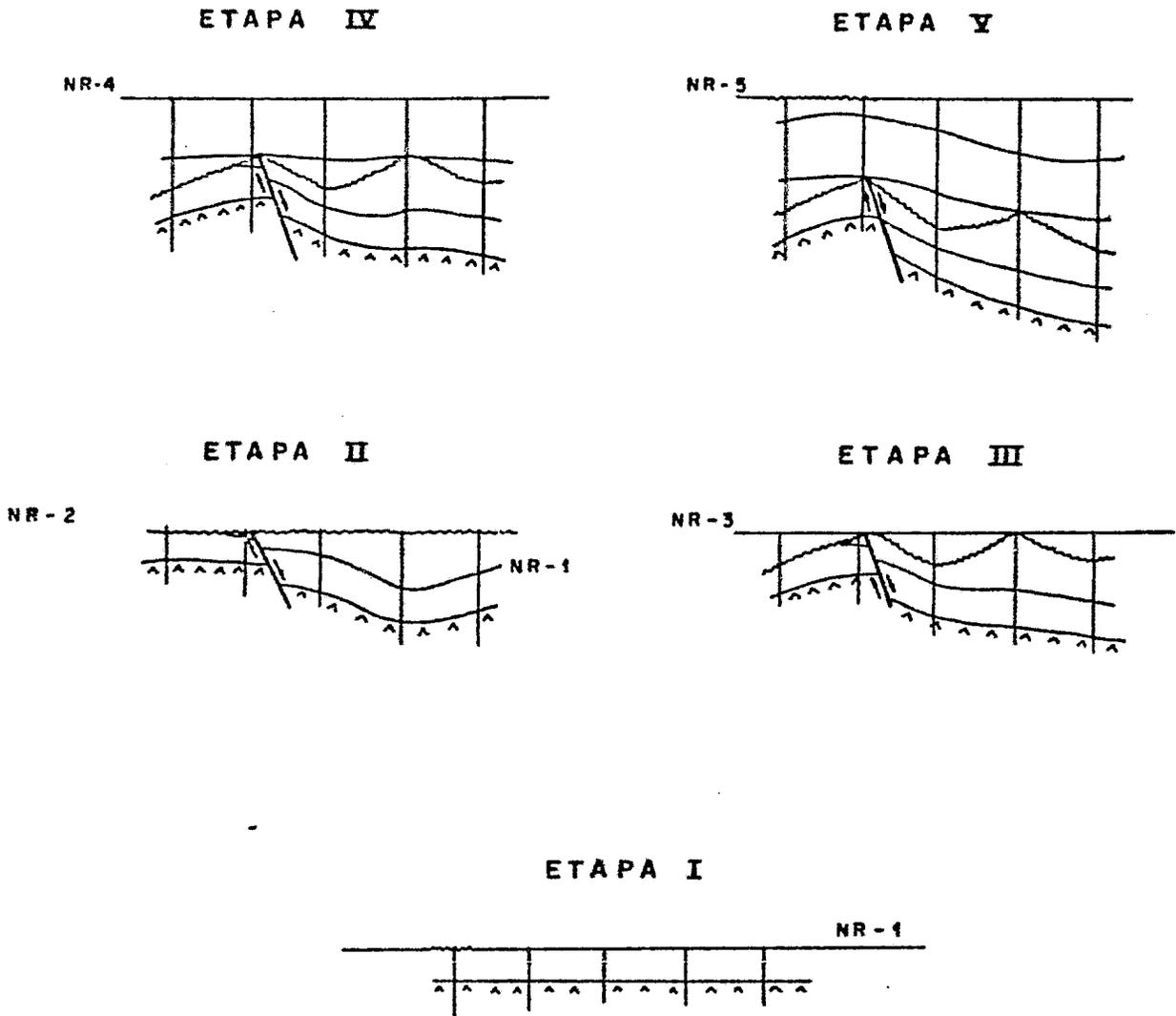
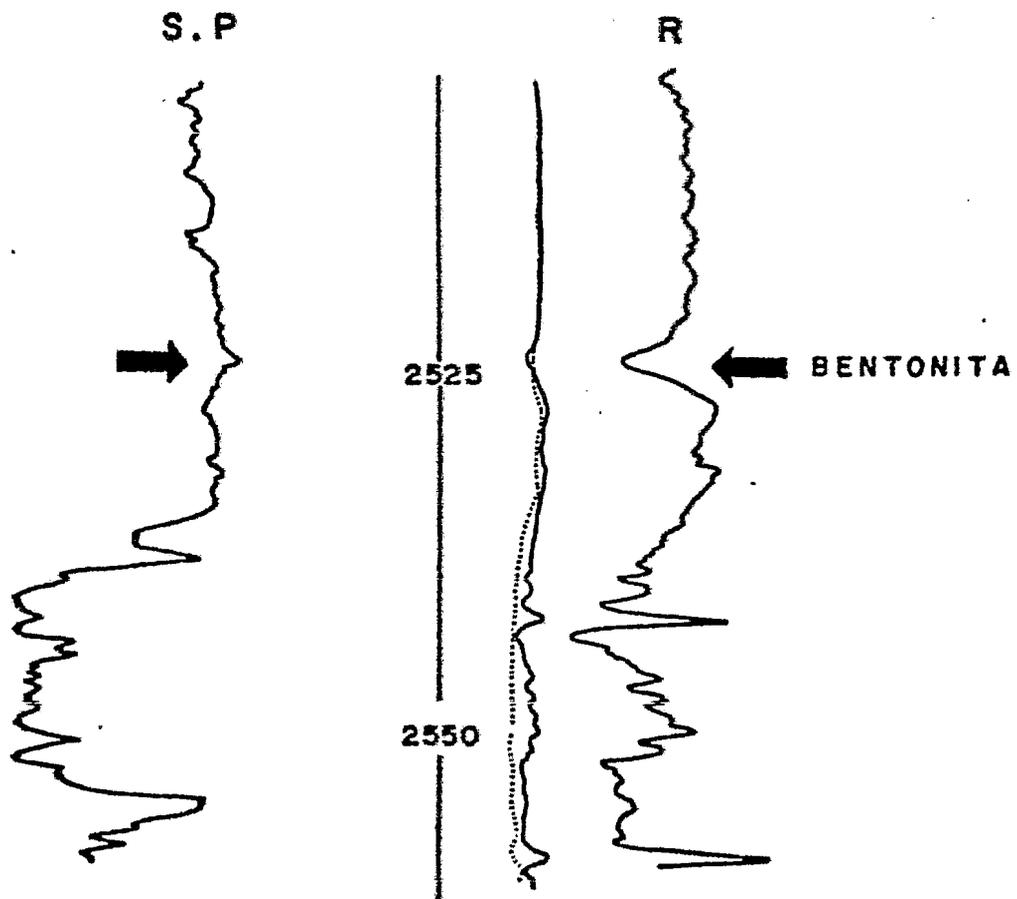


Fig. N° 33.-

SECCIONES TRANSVERSALES ESTRATIGRAFICAS USADAS EN LA RECONSTRUCCION DE LA GEOLOGIA HISTORICA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA Fig. N° 3.2 (ETAPA VI).

(Tomado de ref. 1, p.V-3i).

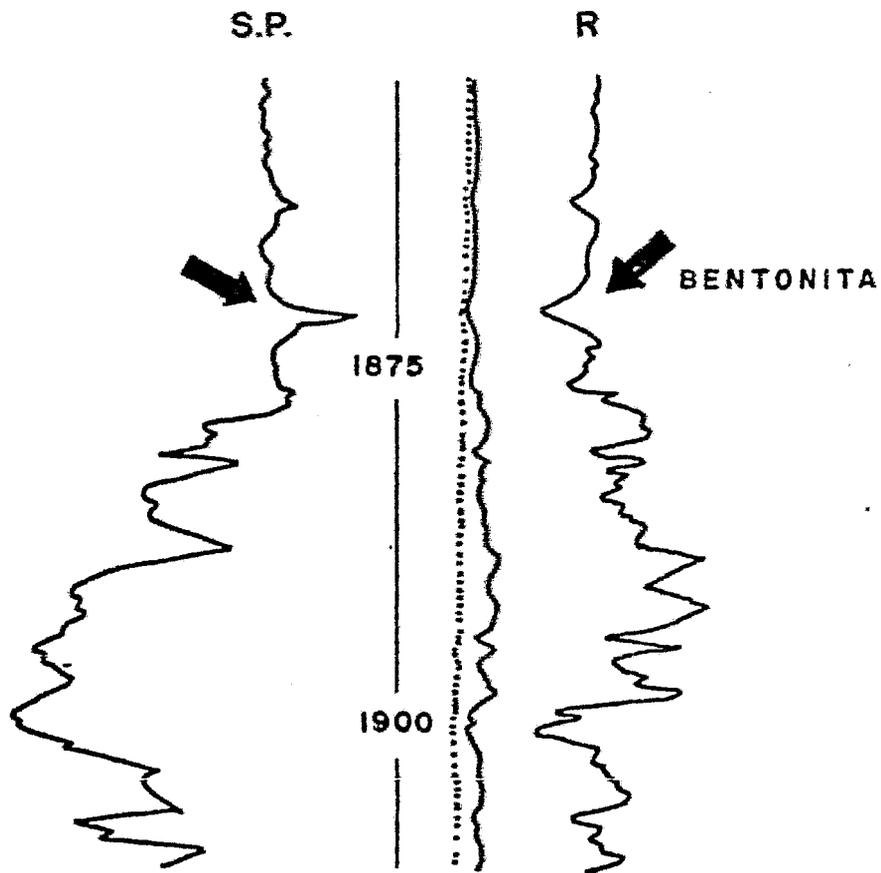
S. MAGALLANES N° 412



Esc. 1: 500

Fig. No. 3.4 .- Patrón de probable capa de bentonita .
(Tomado de ref. I, p VI - 41).

SANTA ANA N° D 404

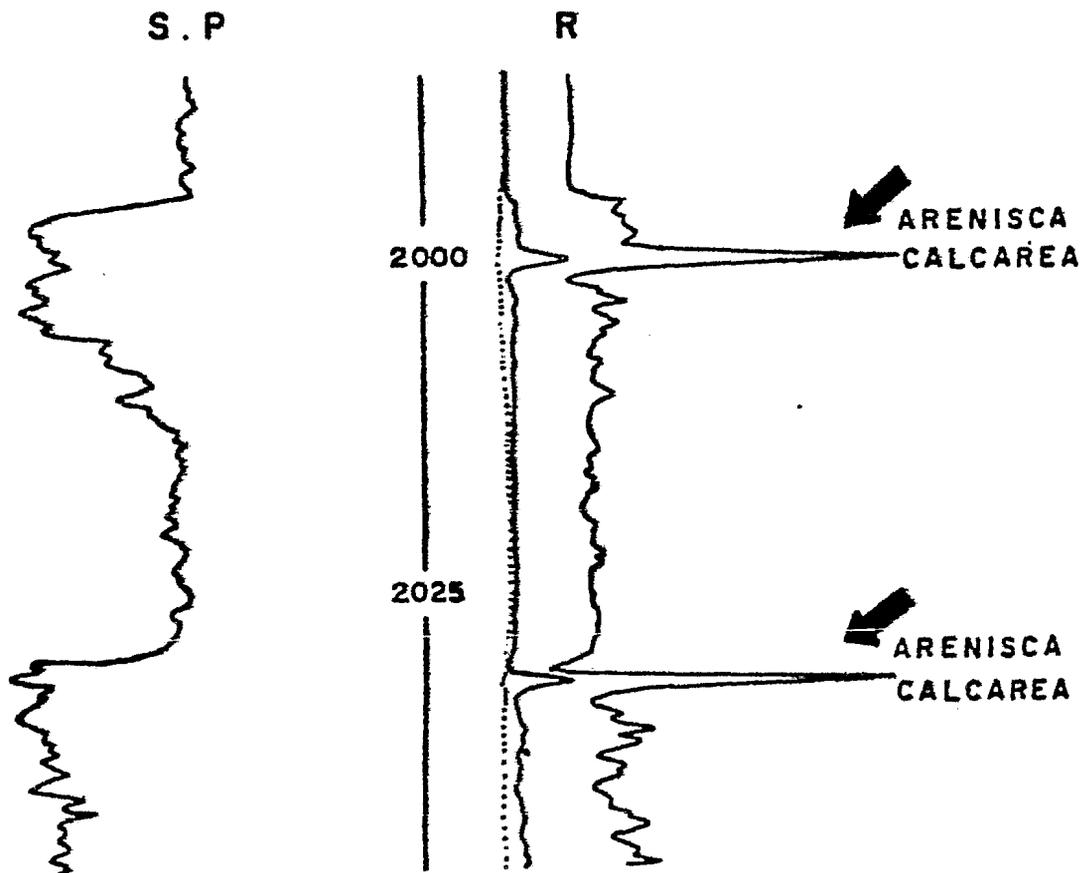


E S C. 1:500

Fig. No. 3.5.- Patrón de probable capa de bentonita.

(Tomado de ref. 1, p VI-50).

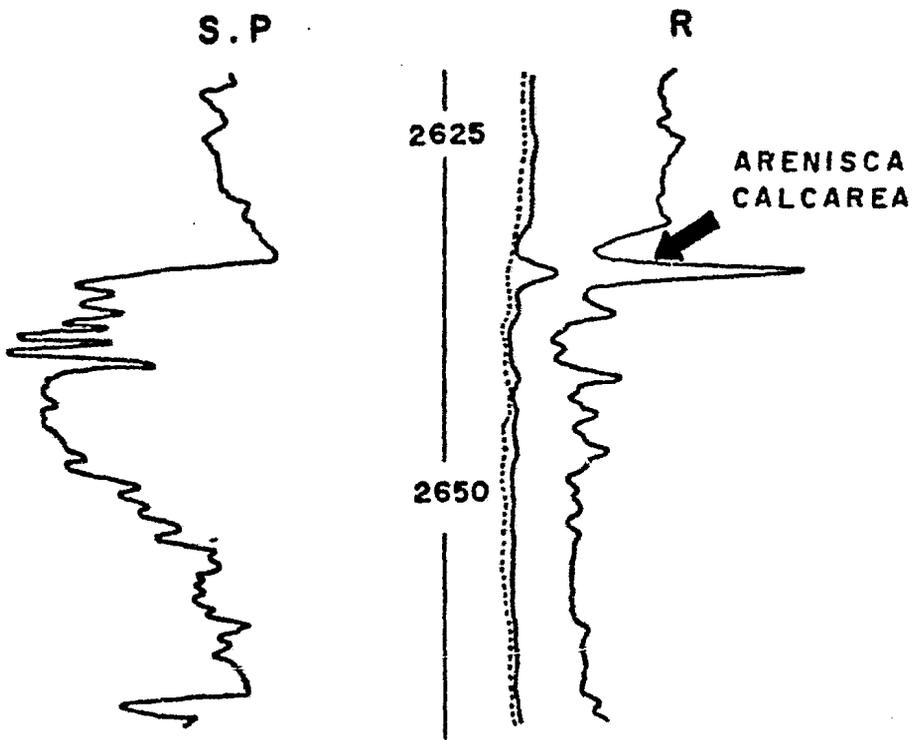
5 PRESIDENTES N° 52-T



Esc. 1:500

Fig. No. 3.6 .- Patrón de probables cuerpos de arenisca calcarea.
(Tomado de ref.1, p.VI-35).

TUPILCO N° 59



Esc. 1:500

Fig. No. B 7 = Perfil de probante e se de marican calcárea.

Financ. de ref. I. n. VI 500

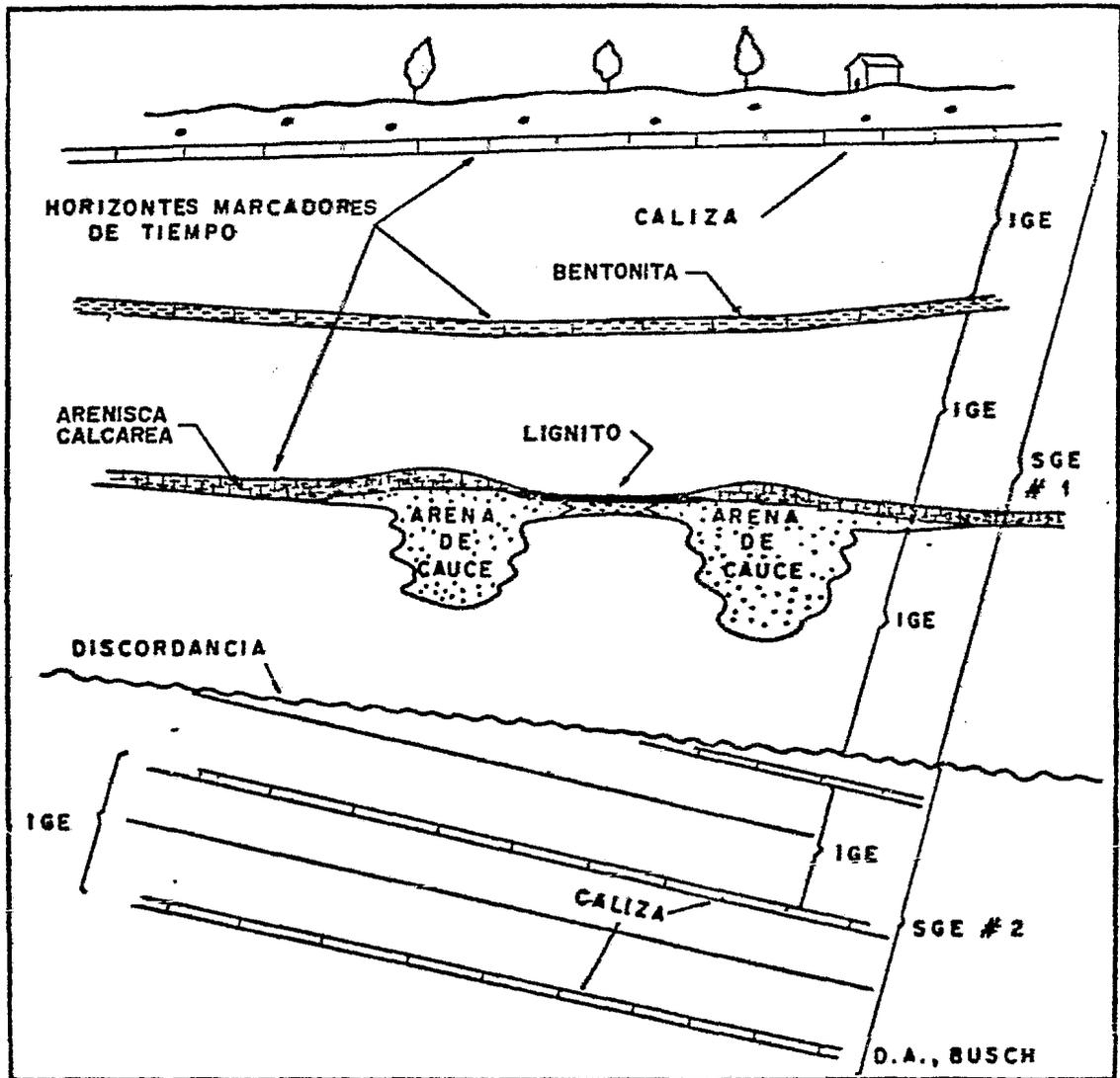
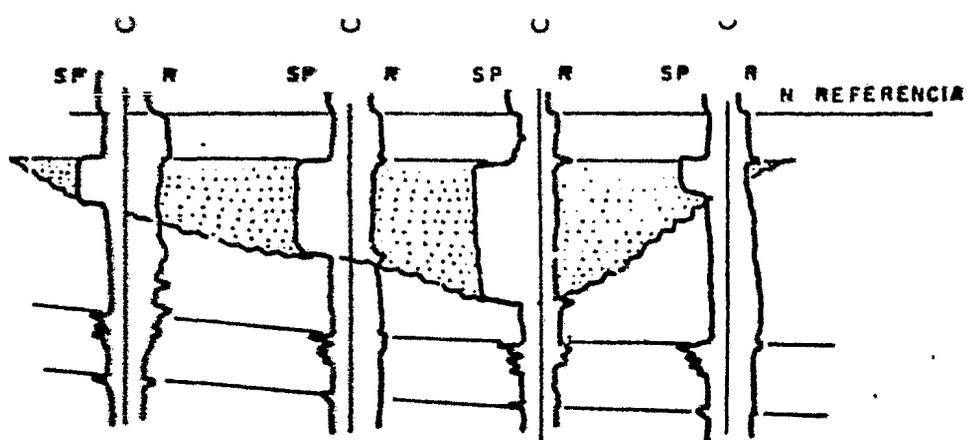
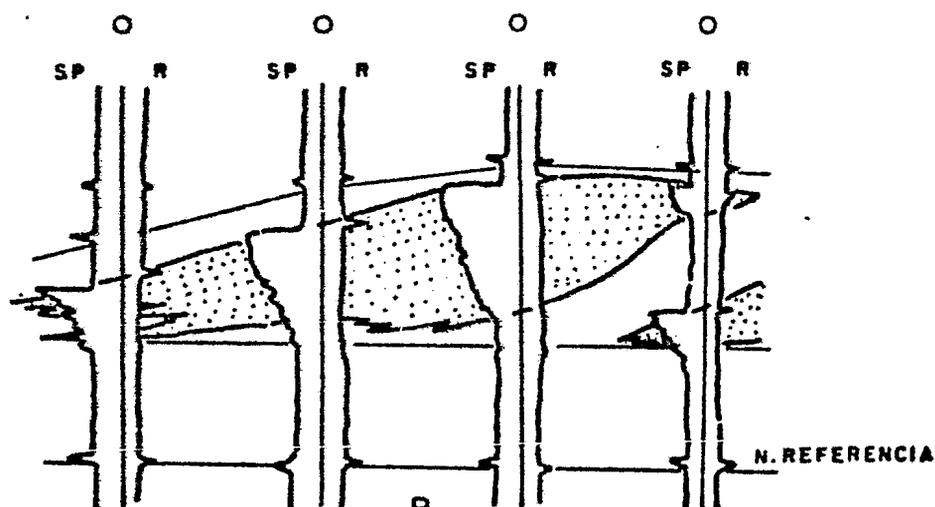


Fig. No. 3.8 .-Ejemplo de Incremento Genético de Estratos (IGE) y de Secuencia Genética de Estratos (SGE).

(Tomado de ref. I, VI-54)



A



B

Fig. No. 3.-9.- Secciones Transversales estratigráficas teóricas

A.- El nivel de referencia arriba del cuerpo are-
noso B.- El nivel de referencia por debajo.

(Tomado de ref. 1, p.V-29).

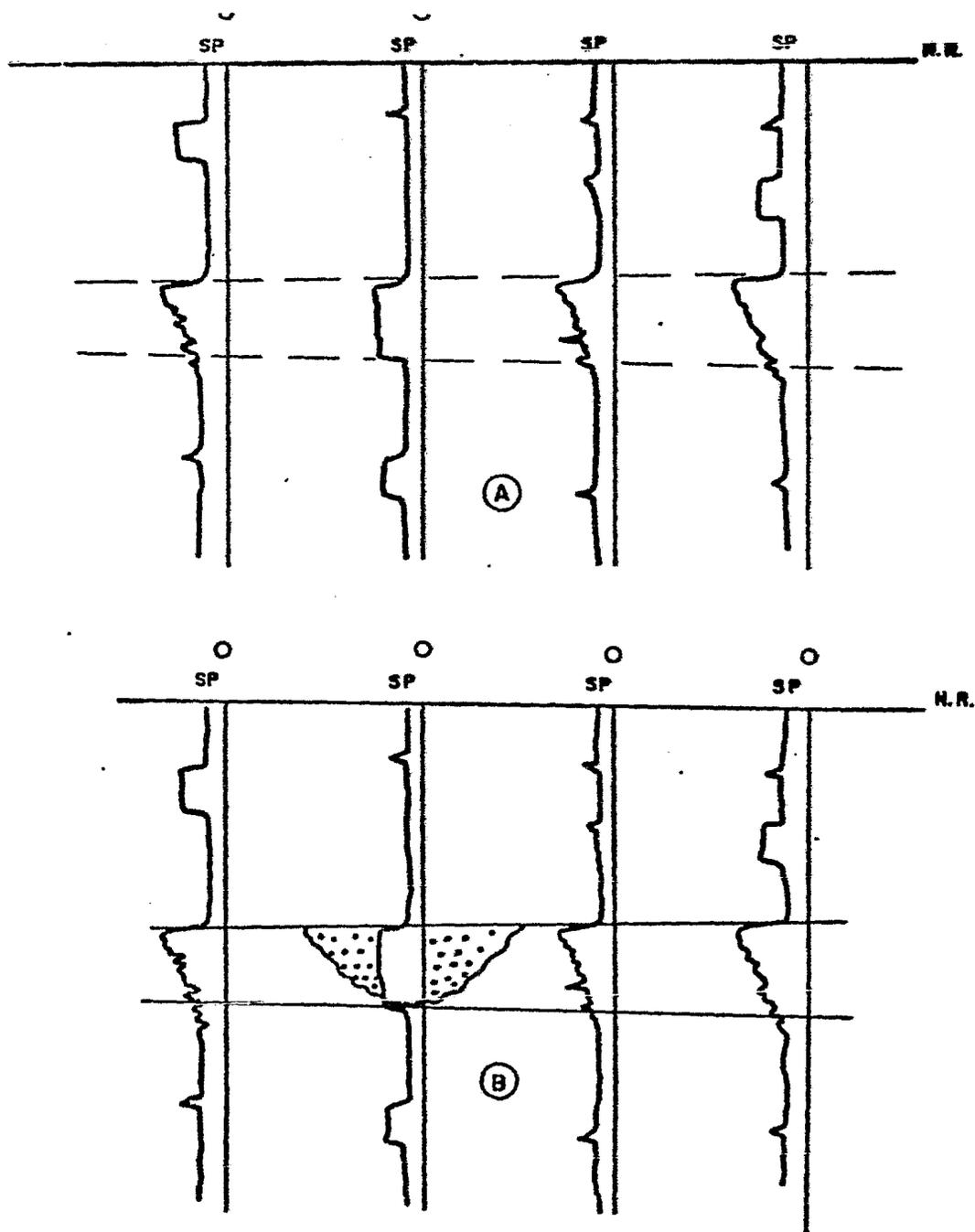


Fig. No. 3. 10 .- Ejemplo de error de correlación en el caso de cuerpos de diferente origen pero con la misma posición estratigráfica . A.- Correlación errónea, B.-Correlación correcta.

(Tomado de ref.1,p.V-27).

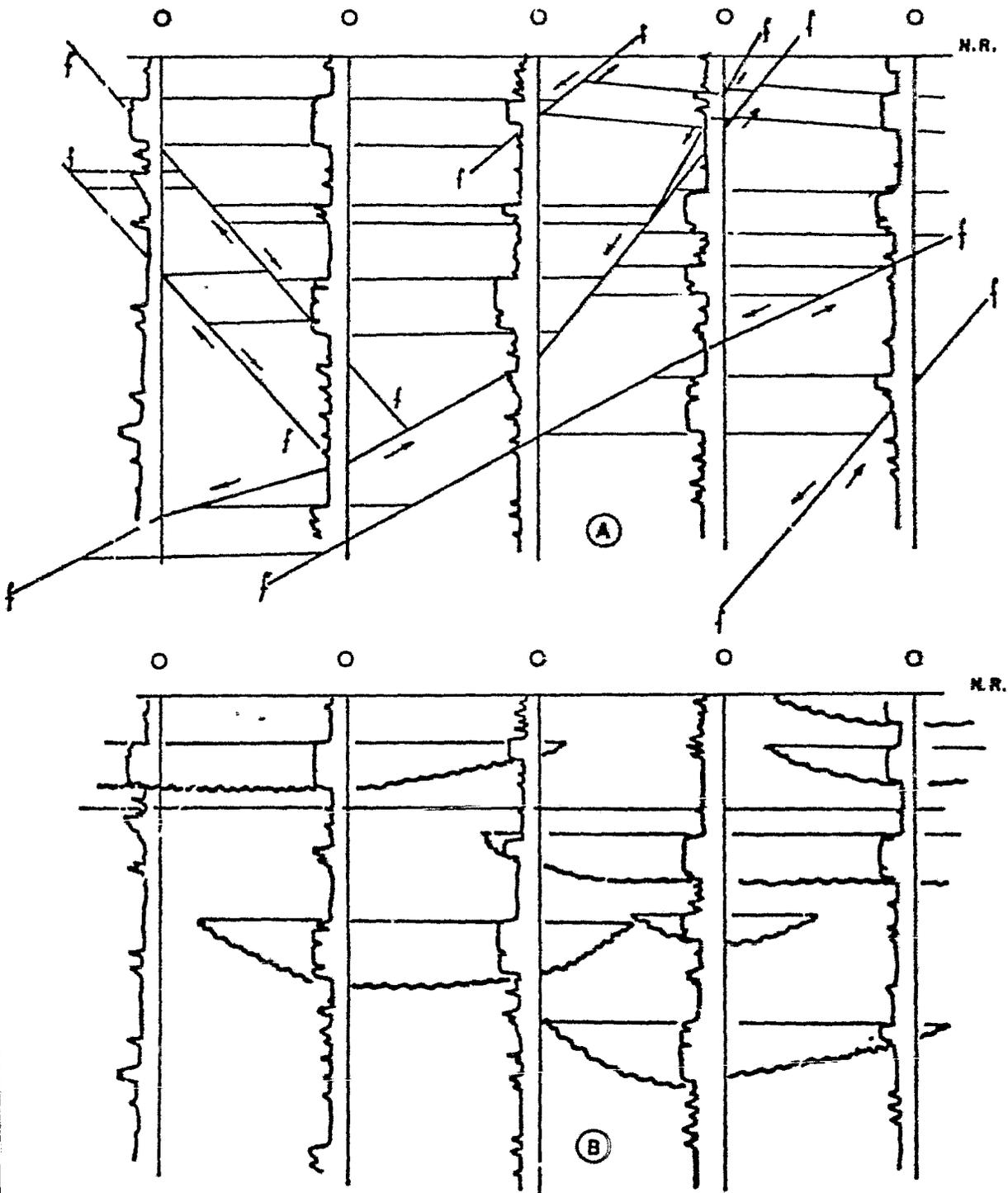


Fig. No. 3 || - Ejemplo de error de correlación entre cuerpos arenosos del mismo origen con diferente posición estratigráfica.- (A) Incorrecta, (B) correcta. (Tomado de ref 1, p V-26)

IV. PATRONES DE SEDIMENTACION DEL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL

1. INTRODUCCION

Cada ambiente de depositación originará para sus facies - resultantes, determinadas características en cuanto a textura, estructura y geometría principalmente.

Con base en lo anterior, además del análisis de muestras-litológicas de ambientes de depositación antiguos y recientes - y del estudio de un sinnúmero de registros geofísicos, ha sido posible establecer diversos patrones de sedimentación, útiles - para la identificación de los ambientes de depositación de - - clásticos.

2. PATRONES DE SEDIMENTACION DE CURVAS SP

El estudio se enfocará a los patrones de curvas "SP" - - ("self potencial" o potencial natural), obtenidas del registro de potencial espontáneo o natural, dado que los parámetros que éste registra, están estrechamente asociados con la litología, la cual depende del medio ambiente de depositación, además de - apegarse mucho a las características reales del subsuelo al me - dir directamente una propiedad natural del mismo y no indución - dola como lo hacen algunos otros registros.

Para una mejor comprensión de este tipo de patrones, se hace necesario conocer en forma breve las características y acción del registro de potencial natural que da lugar a las curvas "SP", para ello se pide consultar el Apéndice que aparece al final de este trabajo.

En esta técnica de identificación e interpretación, se usan las siguientes características de las curvas "SP" (una vez localizada la porción de la curva que se desee analizar):

- a) La naturaleza del contacto superior de la arena con la lutita; si este es abrupto, gradual* liso o gradual dentado.
- b) La porción central de la curva; si es lisa o dentada.
- c) La naturaleza del contacto en la base del cuerpo arenoso; si es abrupto, gradual liso o gradual dentado.

Considerando pues, las variaciones de los contactos superiores e inferiores y de la parte media de la curva, se pueden indicar en forma cualitativa y aproximada los siguientes aspectos:

- a) La litología del sedimento.
- b) La textura del cuerpo arenoso.
- c) La energía del agente de depositación.

* Frecuentemente se utiliza el término -transicional-.

d) El tipo de cambio de un medio ambiente a otro.

Las Figuras (4.1) y (4.2), muestran los aspectos anteriores.

Visher y Pirson (Ref. 9,10), entre otros autores han establecido diversos modelos de patrones de sedimentación, para la identificación de los ambientes de depositación de clásticos, dentro de los cuales se pueden citar a los dos siguientes:

- 1) Patrón de Sedimentación Regresivo.
- 2) Patrón de Sedimentación Transgresivo.

Ambos son objeto del presente estudio y los cuales a continuación se analizarán.

2.1. PATRON DE SEDIMENTACION REGRESIVO

En una secuencia regresiva el tamaño de grano se incrementa hacia arriba. Al estar asociado el tamaño de grano con la energía del agente de depositación es posible decir que la energía se incrementa también en forma ascendente.

Un patrón SP típico de una secuencia regresiva (Fig.4.3a), muestra en orden ascendente un cambio gradual de lutita a arena y en su parte superior un cambio brusco de arena a lutita, el máximo valor de la curva SP se encuentra cerca de la cima de la arena.

En este modelo se incluyen los ambientes de barras o islas de barrera, cuerpos paralelos a la línea de costa y los de aguas marinas someras.

Dentro de este medio ambiente de depositación (el cual -- puede ser reconocido en forma ascendente), se puede situar el frente de costa de olas de baja energía (grano fino), el frente de costa intermedio (cambio gradual de grano fino a grano grueso), y el frente de costa superior de alta energía (grano grueso). En la cima de la secuencia se reconoce el medio ambiente de playa, el cual se traduce en una superficie de erosión representada por un cambio brusco de arena a lutita.

Relacionando una secuencia regresiva con su patrón SP correspondiente, se puede hablar de los siguientes aspectos:

A) Primeramente, unidades basales arcillosas de pobre clasificación que son depositadas en una zona de baja energía, en un medio ambiente de reducción (ausencia de luz y poco oxígeno) en las profundidades marinas (parte inferior del patrón SP).

B) A medida que la línea de costa va retrocediendo, -- unidades sedimentarias son depositadas a niveles de mar más someros y sobre las anteriores; las facies cambian a neríticas de menor reducción (mayor cantidad de luz y oxígeno), y el tamaño de grano cambia en forma transicional de más fino o arcil-

lloso a más grueso o arenoso (parte media del patrón SP). Frecuentemente este cambio se realiza en forma cíclica oscilante, causando interlaminaciones de limos y lutitas (en el patrón SP, este cambio se manifiesta como una respuesta gradual dentada o con lengüetas que reflejan las laminaciones sedimentarias (Fig. 4.3b)).

C) Se desarrolla una unidad de arenas limpias más alta y de mejor clasificación, la cual corresponde a sedimentos litorales de olas de alta energía (parte superior del patrón y donde se alcanza el más alto desarrollo SP de la curva). Esta porción superior de la secuencia puede en ocasiones estar cubierta por una arena retrabajada, detritos de carbonatos o bien por arenas y lutitas marinas altamente horadadas por organismos, que se manifiesta por una reducción del SP.

D) En la cima de la secuencia se reconoce el medio ambiente de playa, expuesto a la erosión marina de los sedimentos previamente depositados, por lo que la forma de la curva SP en su parte superior presenta un cambio abrupto.

La apariencia general de la envolvente de las lengüetas SP, caracteriza la rapidez de la depositación de las arenas regresivas:

a) Una regresión lineal con arrastre marino constante, --

aparece como una línea recta inclinada.

b) Una regresión desacelerada con arrastre marino decreciente, constantemente aparece como un "cuerno de luna", del cual el centro de curvatura es hacia la derecha o SP positivo.

c) Una regresión acelerada con arrastre marino de incremento constante, aparece como un "cuerno de luna", del cual el centro de curvatura es hacia la izquierda o SP negativo.

Los aspectos anteriores aparecen ilustrados en la Fig. -- (4.4).

Una vez terminada la secuencia regresiva, puede conducirse la línea de costa a una secuencia transgresiva o a una nueva secuencia regresiva.

2.2. PATRON DE SEDIMENTACION TRANSGRESIVO

La forma típica del patrón SP de Sedimentación Transgresiva es la de un "medio árbol de navidad", con las características contrarias a las dadas para el modelo marino Regresivo -- (Fig. 4.5a).

Debido a que el proceso transgresivo se inicia con la erosión marina, (debido al oleaje principalmente), de los sedimentos pertenecientes a la superficie continental sobre la que va avanzando la línea de costa, el contacto en la base es erosivo.

manifestándose en la curva SP un cambio abrupto, presentándose el más alto valor SP de la curva; a partir de entonces el tamaño de grano disminuye en forma gradual hacia arriba lo mismo - que la energía del agente de depositación.

Similarmente que con el modelo regresivo, se sitúan los siguientes aspectos para una secuencia transgresiva y su correspondiente patrón SP de sedimentación:

A) En la base de la secuencia se reconoce el medio ambiente de playa, expuesto a la erosión marina de los sedimentos, debido al oleaje del frente de costa que comienza a avanzar hacia el continente, por lo que la base de la curva SP presenta un cambio abrupto.

Ya iniciada la secuencia transgresiva, se presenta una unidad de arenas limpias de buena clasificación correspondiente a sedimentos litorales de olas de alta energía (parte inferior de la curva SP).

B) A partir de entonces y a medida que la línea de costa avanza hacia el continente, las unidades sedimentarias depositadas presentan un cambio gradual en el tamaño de grano, de más grueso o arenoso a más fino a arcilloso (parte media del patrón SP).

Si los movimientos del fondo marino causantes del proceso

transgresivo, son realizados de una manera cíclica oscilante, -causarán interlaminaciones de limos y lutitas en esta parte de la secuencia, reflejándose como una respuesta gradual dentada o con lengüetas que reflejan las laminaciones sedimentarias -- (Fig. 4.5b).

C) En la cima de la secuencia, son desarrolladas unidades arcillosas de pobre clasificación, depositadas en una zona de baja energía y de reducción (ausencia de luz y poco oxígeno) - en las profundidades marinas (parte superior de la curva SP).

La forma que adopta la envolvente de las lengüetas SP, ca racteriza la rapidez de la depositación de las arenas transgre sivas, de esta forma e inversamente a la secuencia regresiva - tenemos:

a) Una transgresión lineal con arrastre marino constante, aparece como una línea recta inclinada.

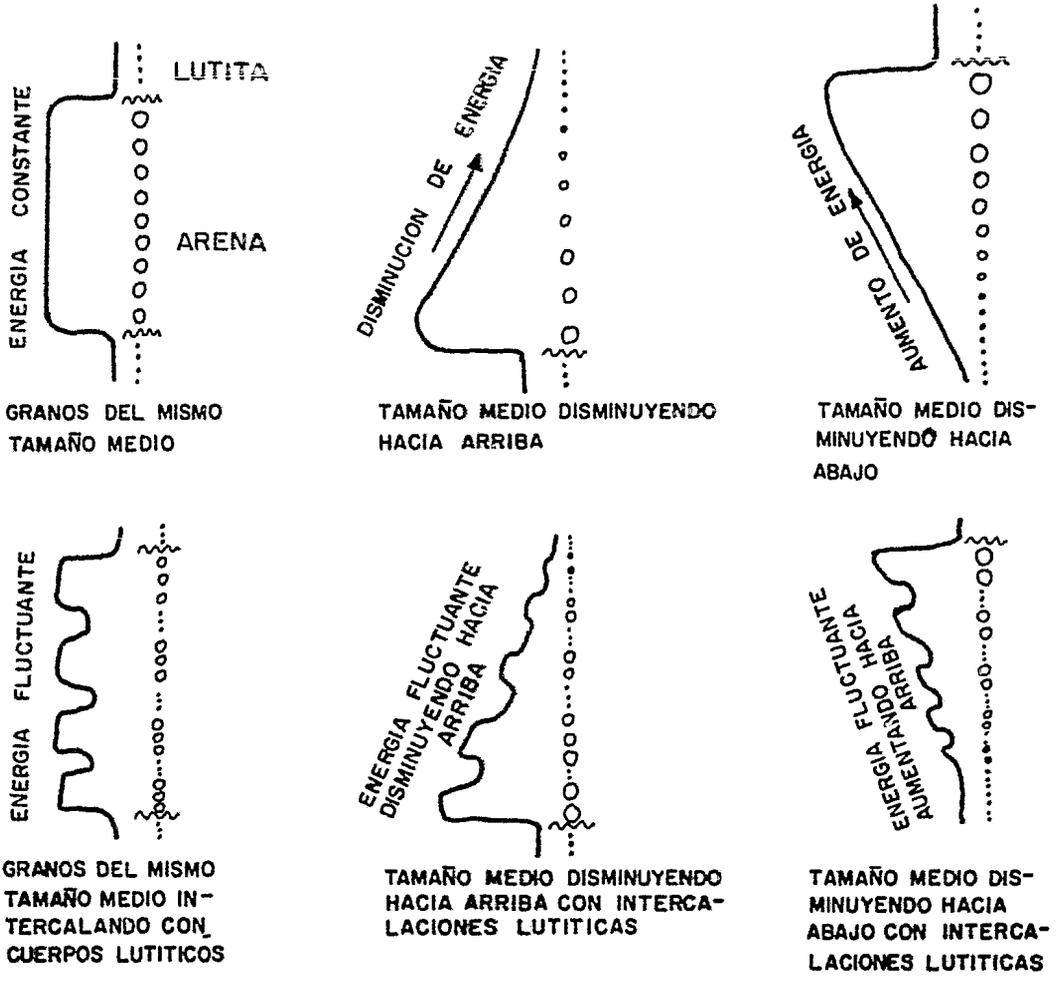
b) Una transgresión desacelerada con arrastre marino de-- creciente, aparece como un "cuerno de luna", del cual el cen-- tro de curvatura es hacia la izquierda o SP negativo.

c) Una transgresión acelerada con arrastre marino de in-- cremento constante, aparece también como un "cuerno de luna", - del cual el centro de curvatura es hacia la derecha o SP posi-- tivo.

Dichos aspectos aparecen ilustrados en la Fig.(4.6).

El proceso transgresivo causará menor volumen de sedimentación cuando es comparado con la secuencia regresiva, porque el proceso fundamental es erosión y redepositación por acción de las olas sobre una zona sedimentaria disminuida a medida -- que la línea de costa avanza.

Las Figs. (4.7 a 4.10), muestran secuencias reales de sedimentación regresiva y transgresiva sobre diversos Registros de Potencial Natural.



TIPOS DE CONTACTO



Fig. No. 4.1 - Aspectos litológicos y texturales de los sedimentos y de energía del agente de deposición que pueden ser obtenidos de la curva SP. (Tomado de ref.1, p V-22).

TIPOS DE CONTACTOS

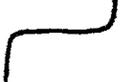
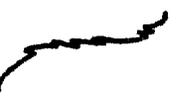
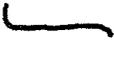
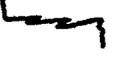
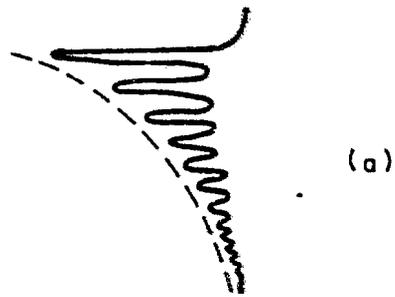
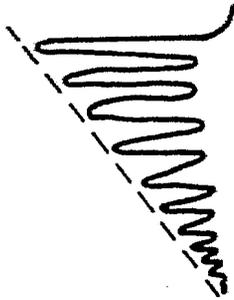
		ABRUPTO	G R A D U A L		
			ACELERADO	LINEAL	RETARDADO
SUPERIOR	LISO				
	DENTADO				
INFERIOR	LISO				
	DENTADO				

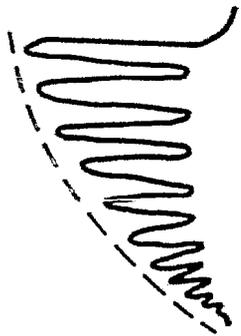
Fig.No. 4.2 - Tipos de cambios (contactos) de un medio ambiente a otro, definidos por la curva SP.
(Tomado de ref.1, p.V-23).



(a)



(b)



(c)

Fig. No. 4.4.- Tipo de regresión con base en la apariencia general de la envolvente de las lengüetas SP.

(a) Regresión acelerada.

(b) Regresión lineal.

(c) Regresión desacelerada.

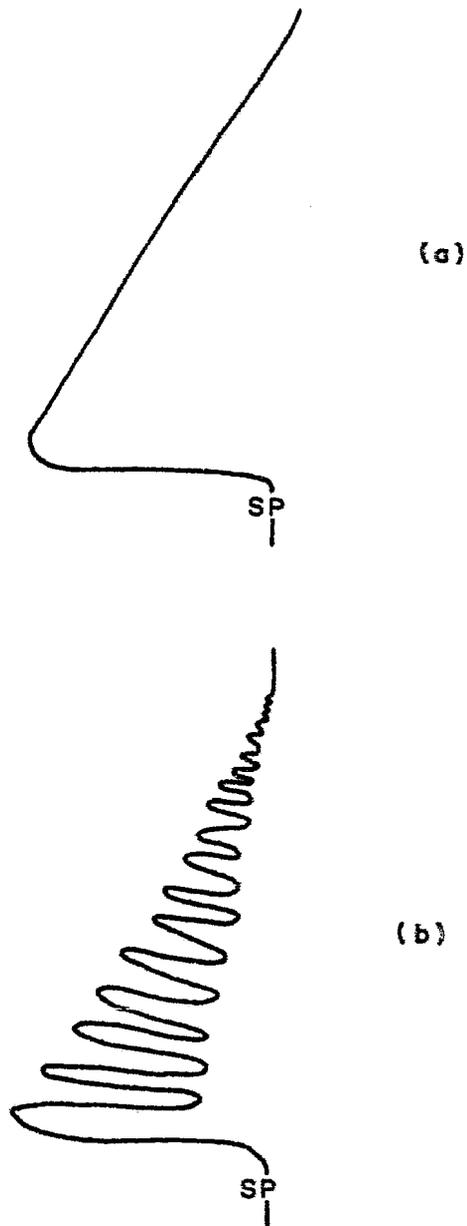


Fig.No. 4.5.- (a) Patrón SP de sedimentación transgresiva.

(b) Ejemplo hipotético sobre la curva SP, de una secuencia transgresiva cíclica oscilante.

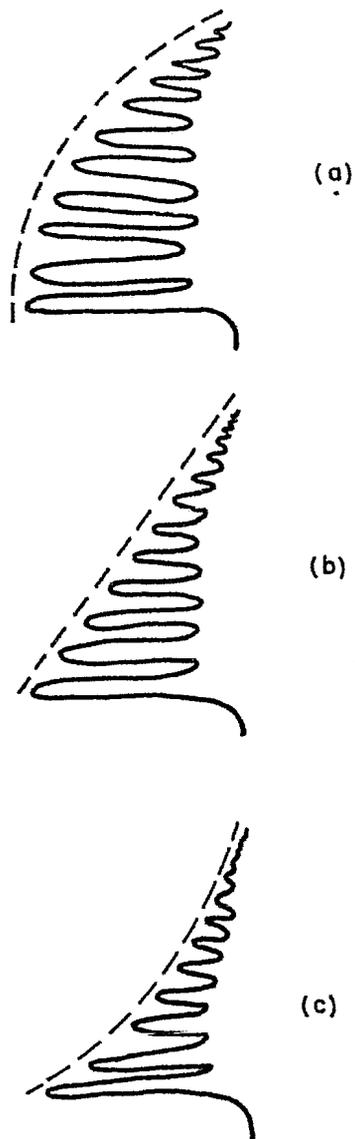


Fig.No. 4.6.- Tipo de transgresión con base en la apariencia general de la envolvente de las lengüetas SP.

- (a) Transgresión acelerada.
- (b) Transgresión lineal.
- (c) Transgresión desacelerada.

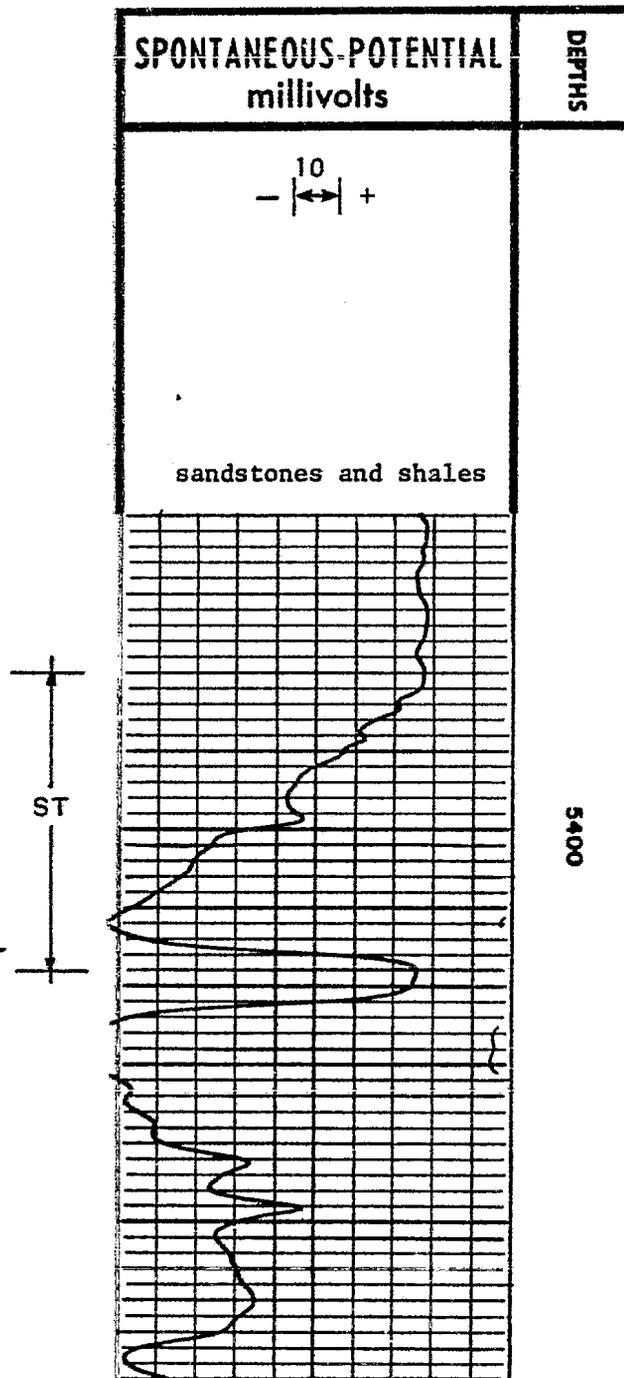


Fig.No. 4.7 :- Secuencia real de sedimentación transgresiva(ST),sobre un registro de potencial natural o espontáneo (SP).

(Tomado de ref. ,p.10-25).

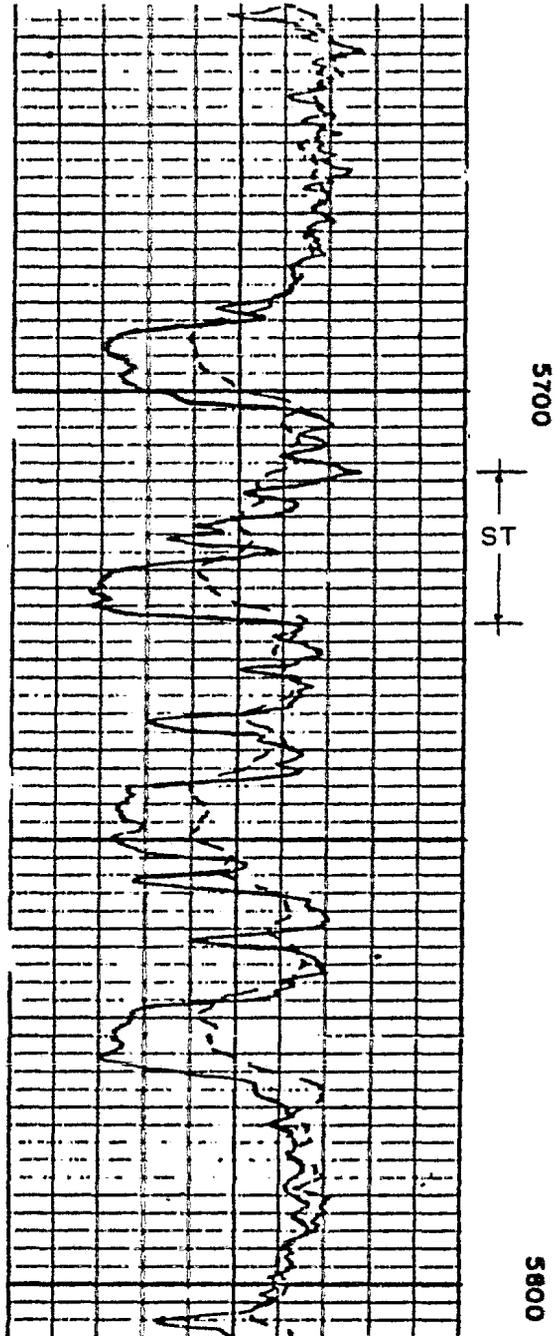


Fig.No.4.9:- Secuencia real de sedimentación transgresiva(ST), sobre la curva SP.

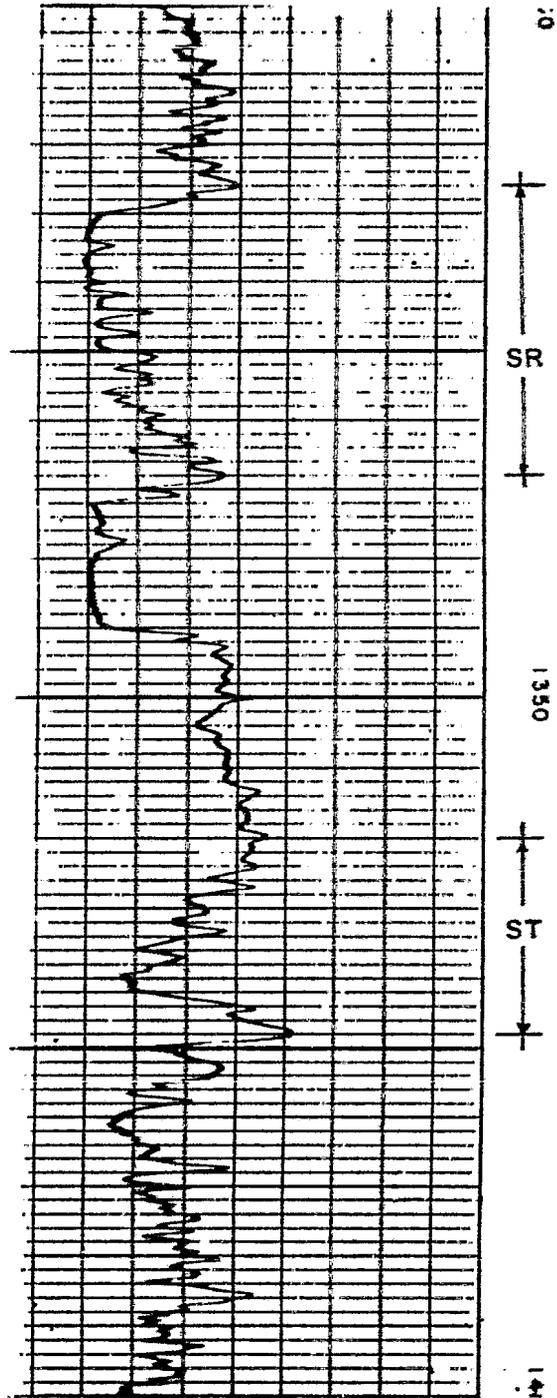


Fig.No.4.10: Secuencias reales de sedimentación regresiva (SR) y transgresiva (ST), sobre un registro f.P.

V. EL ANÁLISIS DE SEÑALES COMO UNA HERRAMIENTA EN EL ESTUDIO DE LOS PATRONES DE SEDIMENTACION

1. INTRODUCCION

El Análisis de señales ha sido anteriormente aplicado por diversos autores a los registros geofísicos de pozos, como una herramienta que proporcione una mejor calidad de interpretación así como una comprensión del comportamiento físico-matemático de los mismos. Entre otros aspectos el Análisis de señales ha sido enfocado hacia:

- a) Análisis de los registros geofísicos de pozos como sistemas lineales.
- b) Técnicas de filtrado para la eliminación de componentes no deseadas en la señal obtenida.
- c) Técnicas de correlación para la identificación de eventos similares en dos o más registros que se presuponen tienen equivalencia estratigráfica (Ref. 18,19,20).

El enfoque que a continuación se le dará al Análisis de señales, pretende ser tema de discusión y base para futuros trabajos de aplicación del mismo, dentro de las técnicas geofísicas para el estudio de los ambientes de depositación.. Por otra parte, se seguirá restringiendo el estudio a los Patrones de Sedimentación Transgresivo y Regresivo, considerándolos como base de referencia para hacer extensivo el estudio a los -

demás Patrones de Sedimentación.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1. CONCEPTO DE SEÑAL

La palabra -señal-, es un término genérico que permite de notar la variación en el dominio del tiempo o de la distancia de cualquier cantidad física.

Puesto que la curva SP, es un registro de las variaciones (con respecto a la profundidad) del potencial de las formaciones atravesadas por la sonda móvil dentro del pozo, es posible considerarla como una señal en el dominio de la distancia.

2.2. DIGITIZACION DE UNA SEÑAL

Es necesario para poder aplicar convenientemente los procesos del Análisis de señales, efectuar la digitización de la señal analógica con el propósito de manipularla en forma digital.

Se denomina "digitización", al proceso de convertir una señal continua a una secuencia de valores de igual espaciamiento, que representen la amplitud de la señal en cada intervalo de muestreo. Es claro que al reducir el intervalo de muestreo,

conducirá a una reconstrucción más exacta de la señal en cuestión.

Un patrón de sedimentación SP nos indica por su forma y rasgos característicos una secuencia de sedimentación, razón por la cual un patrón es estandar y general para efectos de comparación con alguna porción de la curva SP que nos indique una secuencia real de sedimentación. Se deduce de lo anterior, que un Patrón de Sedimentación SP no tenga magnitudes físicas determinadas y para el efecto de su estudio como una señal en el dominio de la distancia, se le puedan dar dimensiones arbitrarias sin perder por ello su forma original.

Las Figuras (5.1) y (5.2) muestran a los Patrones de Sedimentación Tránsgresivo y Regresivo, digitizados bajo un intervalo de muestreo de una unidad de distancia.

Por lo que respecta al dominio de las frecuencias*, una señal que no contiene componentes espectrales mayores que la frecuencia f_n (señal de banda limitada), esta determinada en forma única (en el dominio del tiempo) por sus valores en in-

*El "Análisis de Fourier", permite representar a una señal como un conjunto de componentes sinuoidales de diferente frecuencia por medio de la Transformada de Fourier. De este modo, una señal aparte de poder ser representada en el dominio del tiempo, también puede ser representada en el dominio de las frecuencias, con lo cual se especifican los espectros de amplitud y fase (amplitud y fase de las diferentes componentes de frecuencia) (Ref. 15 a 18).

tervalos uniformes menores o iguales que $\Delta t = 1/2f_n$ segundos.

Supóngase una función $f(t)$ con Transformada de Fourier -- $F(\omega)$ (Fig.5.3a). Al muestrearse la función bajo un intervalo $\Delta t=T_0$ (Fig.5.3b), la función de densidad espectral $F_s(\omega)$ de la función muestreada $f_s(t)$, resulta en ser una réplica periódica de $F(\omega)$ (esto, como una aplicación del Teorema general de muestreo y del Teorema de la Convención en la frecuencia, - ref. 14,18,29).

Es claro que para obtener toda la información deseada, -- los espectros deberán de encontrarse separados o adyacentes como en los casos (c) y (d) de la Fig. (5.3), ello es, la separación entre espectros deberá estar definida por:

$$\text{Separación entre espectros } (\varphi) = f_0 - 2fn \geq 0$$

lo que lleva a tener que seleccionar un intervalo de muestreo:

$$\Delta t = T_0 \leq 1/2 f_n$$

El elegir un intervalo de muestreo mayor que $T_0=1/2f_n$, -- llevará a tener un traslapamiento de ciclos (Fig. 5.3e) y como consecuencia que se pierda parte de la información. El intervalo máximo de muestreo $T_0=1/2f_n$, se conoce como intervalo de Nyquist, mientras que la frecuencia más alta (f_n), contenida en una señal es llamada Frecuencia de Nyquist.

2.3. CONTENIDO DE ENERGIA EN UNA SEÑAL DIGITIZADA

Sea una señal digitizada, definida por sus amplitudes en-

cada intervalo de muestreo:

$$X_s = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

La energía total de la señal, estará definida por la suma del cuadrado de las amplitudes de las muestras:

$$E_t = \frac{1}{N} \sum x_i^2 = x_0^2 + x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2$$

donde "N", representa el número total de muestras, mientras -- que $\frac{1}{N}$, un factor opcional de normalización.

Asimismo, la distribución de la energía dentro de la se-- ñal estará definida por la Energía Parcial E_p . Por ejemplo:

Para $t=0$	$E_{p_0} = x_0^2$
$t=\Delta t$	$E_{p_1} = x_0^2 + x_1^2$
$t=2\Delta t$	$E_{p_2} = x_0^2 + x_1^2 + x_2^2$
.	.
:	:
.	.
$t=n\Delta t$	$E_{p_n} = x_0^2 + x_1^2 + \dots + x_n^2 = E_t$

El concepto anterior permite considerar que la energía to tal de una señal está distribuida a través de su rango de du ración, asimismo justifica el hecho de que diversos tipos de se-- ñales tengan un espectro común de amplitud, como se verá a con tinuación.

Un conjunto de señales con un mismo intervalo de duración

y un mismo contenido total de energía, las cuales difieren sólo por la distribución de la misma, poseerán un mismo contenido de frecuencias, es decir, un espectro de amplitud común, pero un espectro de fase diferente.

Consideremos el siguiente grupo de señales, digitizadas - bajo un intervalo de muestreo de 0.004 segs.:

- Señal a):

$$S_t = (1.0, -0.60, -0.71, 0.24, 0.16)$$

cuyo contenido parcial y total de energía es:

$$\begin{aligned} t=0 & \quad E_{p_0} = 1.0^2 = 1.0 \\ t=\Delta t & \quad E_{p_1} = 1.0^2 + 0.6^2 = 1.36 \\ t=2\Delta t & \quad E_{p_2} = 1.0^2 + 0.6^2 + 0.71^2 = 1.8641 \\ t=3\Delta t & \quad E_{p_3} = 1.0^2 + 0.6^2 + 0.71^2 + 0.24^2 = 1.9217 \\ t=4\Delta t & \quad E_{p_4} = 1.0^2 + 0.6^2 + 0.71^2 + 0.24^2 + 0.16^2 = 1.9473 = E_t \end{aligned}$$

- Señal b):

$$S_t = (0.16, 0.24, -0.71, -0.60, 1.0)$$

con un contenido parcial y total de energía de:

$$\begin{aligned} t=0 & \quad E_{p_0} = 0.16^2 = 0.0256 \\ t=\Delta t & \quad E_{p_1} = 0.16^2 + 0.24^2 = 0.0832 \\ t=2\Delta t & \quad E_{p_2} = 0.16^2 + 0.24^2 + 0.71^2 = 0.5873 \\ t=3\Delta t & \quad E_{p_3} = 0.16^2 + 0.24^2 + 0.71^2 + 0.60^2 = 0.9473 \\ t=4\Delta t & \quad E_{p_4} = 0.16^2 + 0.24^2 + 0.71^2 + 0.60^2 + 1.0^2 = 1.9473 = E_t \end{aligned}$$

- Señal c):

$$S_t = (0.40, 0.18, -1.25, 0.18, 0.40)$$

cuyo contenido parcial y total de energía es:

$$\begin{aligned} t=0 & \quad E_{p_0} = 0.40^2 = 0.16 \\ t=\Delta t & \quad E_{p_1} = 0.40^2 + 0.18^2 = 0.1924 \\ t=2\Delta t & \quad E_{p_2} = 0.40^2 + 0.18^2 + 1.25^2 = 1.7549 \\ t=3\Delta t & \quad E_{p_3} = 0.40^2 + 0.18^2 + 1.25^2 + 0.18^2 = 1.7873 \\ t=4\Delta t & \quad E_{p_4} = 0.40^2 + 0.18^2 + 1.25^2 + 0.18^2 + 0.40^2 = 1.9473 = E_t \end{aligned}$$

Es observable que los tres tipos de señales poseen un mismo rango de duración, así como un mismo contenido total de energía, lo que ocasiona que al aplicarles la Transformada de Fourier aparezcan con igual contenido de frecuencias (un mismo espectro de amplitud), lo que las diferencia entre sí es la distribución de la energía total a lo largo de las mismas y lo que determinará un espectro de fase diferente (Fig.5.4).

La señal (a), tiene la mayor parte de su energía concentrada al principio. A este tipo de señales se les conoce como "Señales de fase mínima".

La señal (b), tiene concentrada la mayor parte de la energía al final de la misma. Señales de este tipo se les denomina como "Señales de fase máxima".

En la señal (c), el mayor aporte de energía se encuentra-

localizado en su parte media y en forma simétrica. A este modelo de señales se les conoce como "Señales de fase lineal".

La Fig.(5.4), muestra los aspectos anteriores.

3. CUANTIFICACION DE LA ENERGIA EN UN AMBIENTE DE DEPOSITACION A TRAVES DE LA CURVA SP

Anteriormente se estableció la relación existente entre la energía imperante en un ambiente de depositación con el tamaño de grano depositado, dicha relación transportada al análisis sobre la curva SP mostraba, por ejemplo, que en una secuencia-regresiva el tamaño de grano aumentaba gradualmente de más fino o arcilloso a más grueso o arenoso, lo que representaba en forma cualitativa, un aumento de la energía del agente de depositación, inversamente ocurría con la secuencia transgresiva.

Es posible conforme al concepto de distribución de energía en una señal, determinar cuantitativamente el aumento o disminución de la energía del agente de depositación de acuerdo a la energía de la señal SP, así como del mismo modo es posible cuantificar la energía total imperante en toda la secuencia en base al contenido total de energía en una señal.

Sea el Patrón de Sedimentación Transgresivo digitizado bajo un intervalo de muestreo de una unidad de distancia y mostrado en la Fig. (5).

El patrón muestra una disminución gradual de la energía del agente de depositación correspondiente a una disminución gradual del tamaño de grano. La misma Fig. (5) muestra la cuantificación de dicha disminución de energía a través de la energía parcial de la señal.

Considerando ahora al Patrón de Sedimentación Regresivo digitizado (Fig.6), se observa un aumento gradual de la energía del agente de depositación que corresponde a un aumento también gradual del tamaño de grano, dicho aspecto puede ser cuantificado por el mismo sistema utilizado para el Patrón de Sedimentación Transgresivo y el cual es mostrado en la Fig. (6).

En particular, el hecho de que los Patrones Transgresivo y Regresivo representen dos secuencias de depositación inversas, lleva a que ambos patrones para efectos de comparación con secuencias reales, tengan las mismas dimensiones y con ello un mismo contenido total de energía, pero distribuida en forma opuesta.

Lo anterior trae como resultado que si se aplica la Transformada de Fourier a ambos patrones, aparezcan con un mismo contenido de frecuencias, es decir, un mismo Espectro de Amplitud (Figs.7a,8a), pero un Espectro de Fase diferente, el cual estará en función de la distribución de energía, así vemos de

acuerdo a las cuantificaciones de la energía parcial efectuadas a ambos patrones que:

El mayor aporte de energía en el Patrón de Sedimentación-Transgresivo se encuentra concentrado al principio de la señal, lo que la hace aparecer como una "Señal de Fase mínima", con las características de fase mostradas en la Fig.(7b).

Inversamente, en el Patrón de Sedimentación Regresivo, la mayor concentración de energía se observa al final de la señal, lo que la hace aparecer como una "Señal de Fase máxima", con el Espectro de Fase mostrado en la Fig:(8b).

Cabe aclarar que ya en secuencias reales de sedimentación transgresivas y regresivas, a pesar de ser estas de carácter opuesto, las señales SP correspondientes no poseerán un mismo contenido total de energía, debido primordialmente a la variación en los factores siguientes:

a) Espesor de sedimentos depositados, lo que traerá como consecuencia variaciones en la longitud de la señal SP.

b) Carácter del proceso transgresivo o regresivo, si se efectúa en forma continua u oscilante, lo que dará a la señal-SP una variación lisa o dentada.

En general, lo que se ha querido demostrar es que es posible cuantificar la variación de la energía que imperó en una -

secuencia de sedimentación, a través del Registro SP.

En la actualidad se trabaja solamente en forma cualitativa, determinando la variación de la energía a través de la variación en la forma de la curva SP. Los aspectos mostrados -- ayudarían entre otras cuestiones, a manipular este parámetro - en forma exacta dentro de estudios sedimentológicos, así como para efectos de correlación sobre secciones transversales, formadas a partir de este tipo de registro.

4. ANALISIS ESPECTRAL DE UNA SECUENCIA SP DE SEDIMENTACION

El hecho de que una secuencia de depositación se vea influenciada por eventos geológicos tanto de tipo regional como de tipo local, ha llevado a proponer en este apartado, una -- técnica de trabajo potencialmente interesante, la cual estriba en constatar matemáticamente la existencia de tales eventos, a través de la descomposición de la señal SP (que represente dicha secuencia), en una serie de componentes de diferente frecuencia.

Para el efecto, se considerará al intervalo de la curva - SP que se desee analizar, como una señal continua, no periódica e integrable en el dominio de la distancia. Bajo estas condiciones es posible representar a la señal SP como un conjunto

de componentes sinusoidales (armónicas) de diferentes frecuencias, a través del Análisis de Fourier.

Ya en el apartado anterior, desde un punto de vista geológico, se asoció el contenido de energía de una señal a la persistencia de la energía en el medio de depositación.

Con base en lo anterior, y en que el Espectro de Energía de una señal además de establecer la composición de armónicas de la misma, proporciona la fracción de energía aportada por cada componente sinusoidal, desechando toda información concerniente a la fase (usualmente de muy difícil o imposible interpretación geológica), dicho Espectro reúne las características necesarias para el tipo de Análisis a efectuar.

La Fig.(9), muestra parte de un Registro de Potencial Espontáneo, el cual ha sido tomado en el pozo "Ocs G 2398 Well#1", del Campo "High Island Block A-273", Texas.

Sobre la curva SP, y en el intervalo 5907-5930ft., es posible identificar una Secuencia de Sedimentación Regresiva con las siguientes características:

- a) Espesor de sedimentos igual a 23 ft.
- b) Proceso de carácter oscilante, manifestado por una res puesta gradual dentada.

Dicho intervalo ha sido digitizado bajo un espaciamento de muestreo de una unidad de distancia ($\Delta x=1$), a partir del cual se obtuvo su Espectro de Energía (La Frecuencia de Nyquist es de 0.5 ciclos/ft).

A partir del Análisis del Espectro de Energía (Fig.10), ha sido posible identificar cuatro grupos de frecuencias espaciales bien definidas, dentro de los cuales tres de ellos se han asociado a eventos geológicos de diversos caracteres, y un cuarto grupo a posibles ruidos o señales no deseables en el perfil analizado:

GRUPO 1: Correspondiente a bajas frecuencias, alta potencia y alta longitud de onda, asociado a eventos geológicos de carácter regional y causantes del efecto regresivo (debido posiblemente a un levantamiento gradual del fondo marino).

GRUPO 2: Este grupo de frecuencias ha sido relacionado a una asociación de eventos geológicos a menor escala, de influencia en la formación de secuencias litológicas en ambientes relacionados con el proceso regresivo sedimentario (islas de barrera, barras arenosas regresivas a lo largo de la línea de costa, arenas costeras, etc.).

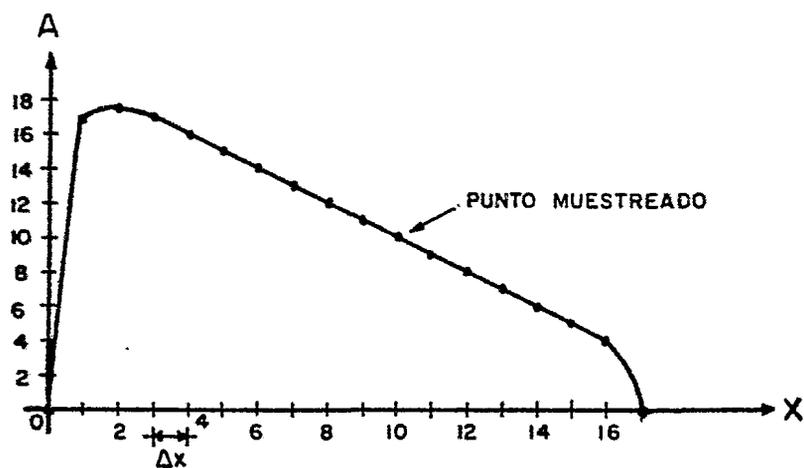
GRUPO 3: Asociado a eventos de carácter local, relacionados con el ambiente en particular analizado. Es posible referirlo a la respuesta de un proceso de carácter cíclico local,

productor de las intercalaciones lutíticas en la secuencia regresiva analizada.

GRUPO 4: Este grupo corresponde a bajas longitudes de onda y baja energía, el cual ha sido asociado a ruido.

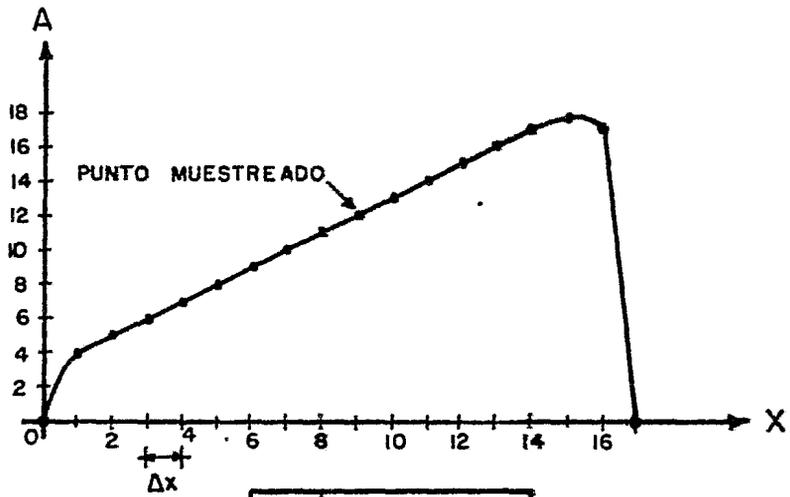
La poca literatura existente sobre el tema, así como el no haber podido contar con registros de pozos adyacentes al -- analizado y carecer de información geológica de la zona, ha impedido el hacer un análisis más depurado de los argumentos expuestos, tratando los mismos tan solo en forma cualitativa.

La técnica propuesta requiere de confirmación por medio - de estudios tectónicos, estructurales y estratigráficos así como de su uso más generalizado, quedando en pie este trabajo para futuras consideraciones.



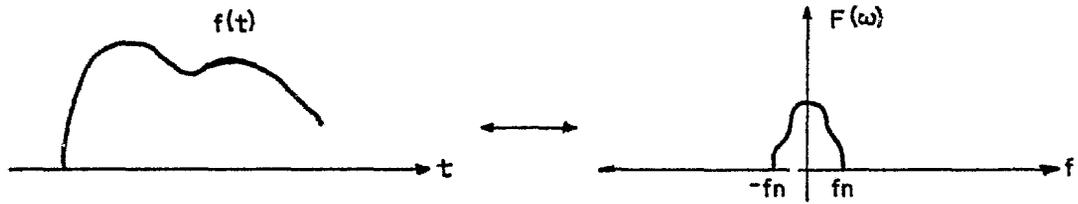
X	AMPLITUD
0	0.0
Δx	17.0
$2\Delta x$	17.5
$3\Delta x$	17.0
$4\Delta x$	16.0
$5\Delta x$	15.0
$6\Delta x$	14.0
$7\Delta x$	13.0
$8\Delta x$	12.0
$9\Delta x$	11.0
$10\Delta x$	10.0
$11\Delta x$	9.0
$12\Delta x$	8.0
$13\Delta x$	7.0
$14\Delta x$	6.0
$15\Delta x$	5.0
$16\Delta x$	4.0
$17\Delta x$	0.0

Fig. No. 5.1.- Patrón de sedimentación transgresivo, digitizado bajo un intervalo de muestreo de una unidad de distancia.

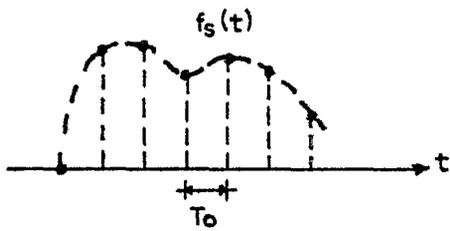


X	AMPLITUD
0	0.0
Δx	4.0
$2\Delta x$	5.0
$3\Delta x$	6.0
$4\Delta x$	7.0
$5\Delta x$	8.0
$6\Delta x$	9.0
$7\Delta x$	10.0
$8\Delta x$	11.0
$9\Delta x$	12.0
$10\Delta x$	13.0
$11\Delta x$	14.0
$12\Delta x$	15.0
$13\Delta x$	16.0
$14\Delta x$	17.0
$15\Delta x$	17.5
$16\Delta x$	17.0
$17\Delta x$	0.0

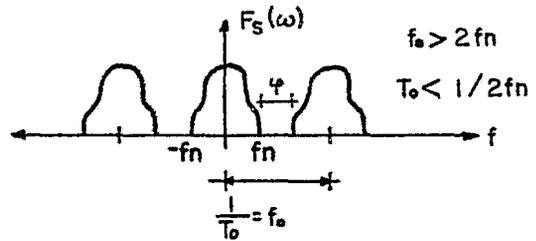
Fig. No. 5.2. — Patrón de sedimentación regresivo, digitizado bajo un intervalo de muestreo de una unidad de distancia.



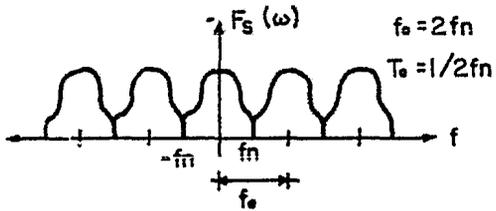
(a)



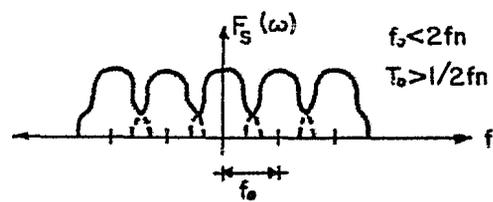
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. No. 5.3

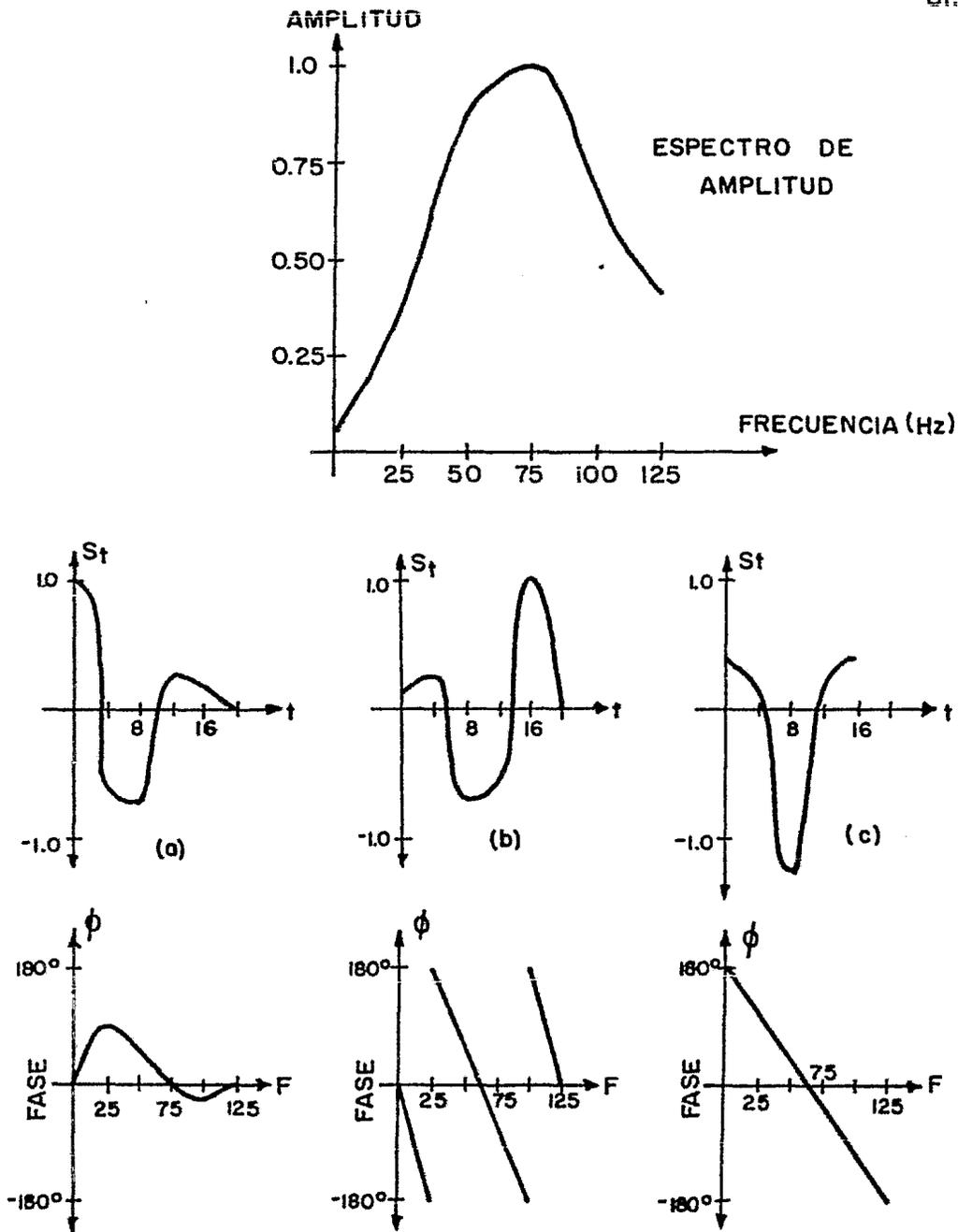
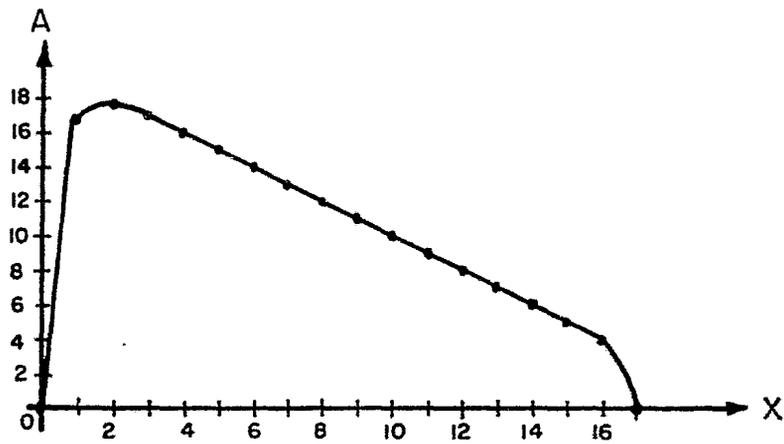


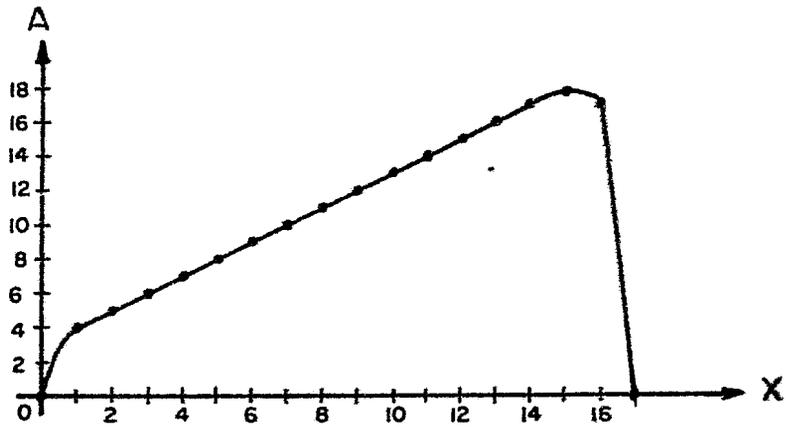
Fig.No.5.4.- Grupo de señales con un mismo contenido total de energía, pero distribuida en diferente forma, lo que produce un mismo Espectro de amplitud pero diferente Espectro de fase. a) Señal de fase mínima; b) Señal de fase máxima; c) Señal de fase lineal.
(Tomado de ref.25).



X	ENERGIA PARCIAL
0	0.0
Δx	289.0
$2\Delta x$	595.25
$3\Delta x$	867.5
$4\Delta x$	1107.75
$5\Delta x$	1318.0
$6\Delta x$	1500.25
$7\Delta x$	1656.5
$8\Delta x$	1788.75
$9\Delta x$	1909.75
$10\Delta x$	2009.75
$11\Delta x$	2090.75
$12\Delta x$	2154.75
$13\Delta x$	2203.75
$14\Delta x$	2239.75
$15\Delta x$	2264.75
$16\Delta x$	2280.75
$17\Delta x$	2280.75

--- → Energía total.

Fig.No. 5.5.- Cuantificación de la variación de energía en el patrón SP de sedimentación transgresivo.



X	ENERGIA PARCIAL
0	0.0
Δx	16.0
$2\Delta x$	41.0
$3\Delta x$	77.0
$4\Delta x$	126.0
$5\Delta x$	190.0
$6\Delta x$	271.0
$7\Delta x$	371.0
$8\Delta x$	492.0
$9\Delta x$	624.25
$10\Delta x$	780.5
$11\Delta x$	962.75
$12\Delta x$	1173.0
$13\Delta x$	1413.25
$14\Delta x$	1685.5
$15\Delta x$	1991.75
$16\Delta x$	2280.75
$17\Delta x$	2280.75

-----> Energía total.

Fig.No.5.6.- Cuantificación de la variación de energía en el patrón SP de sedimentación regresivo.

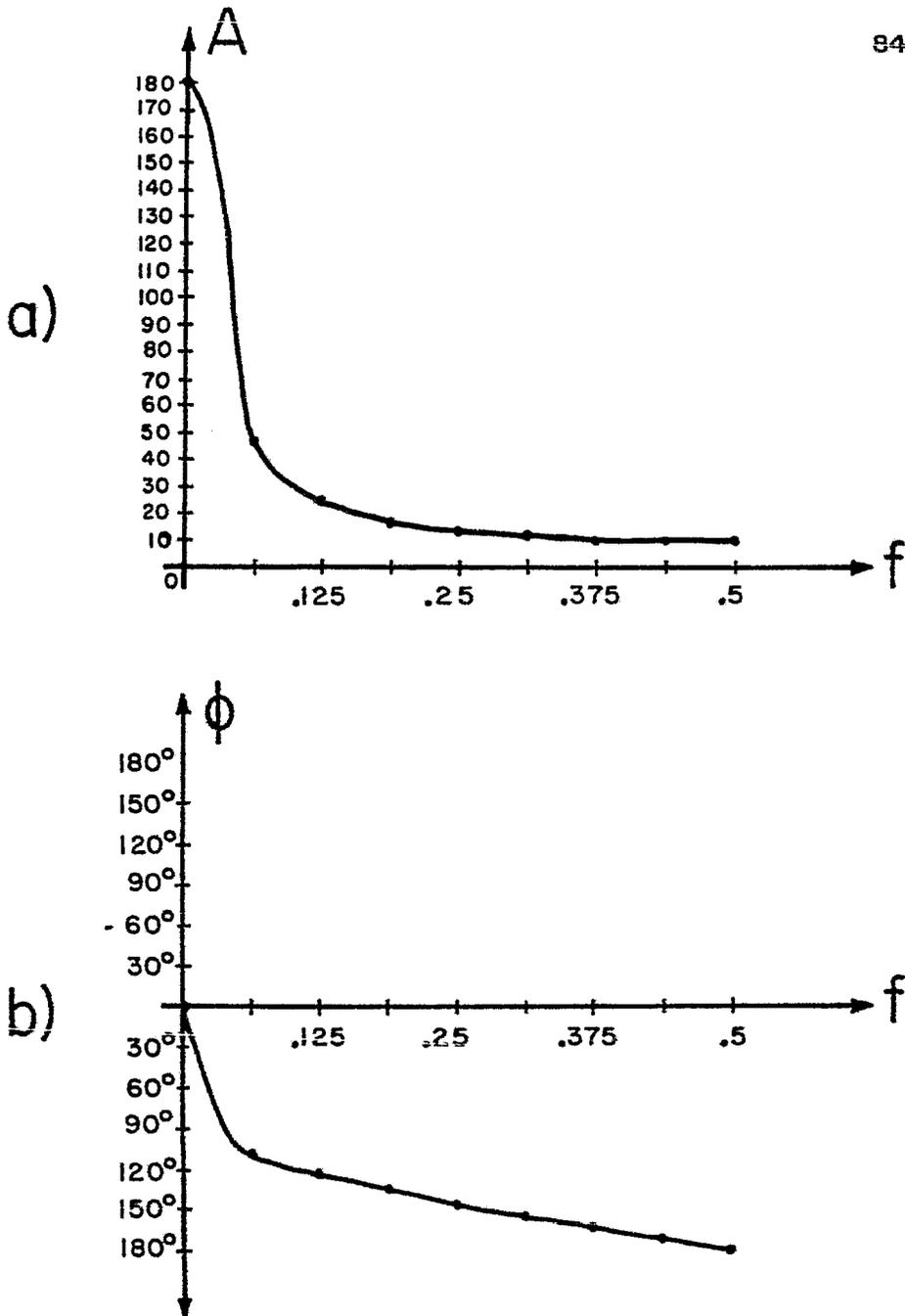


Fig No. 57.- Espectros de Amplitud (a) y Fase (b), del patrón SP de sedimentación transgresivo.

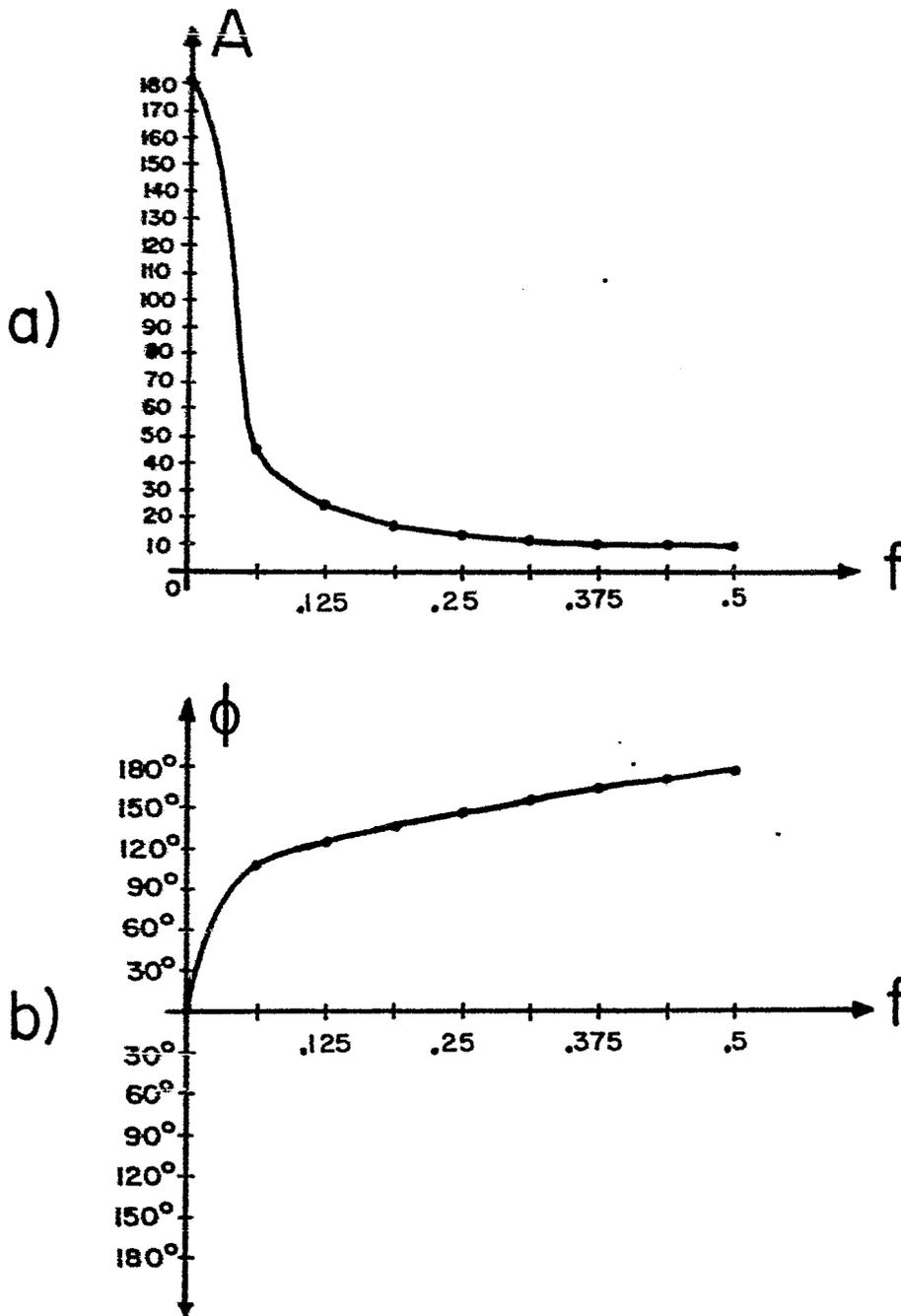


Fig.No. 5.8- Espectros de Amplitud (a) y Fase (b), del patrón SP de sedimentación regresivo.

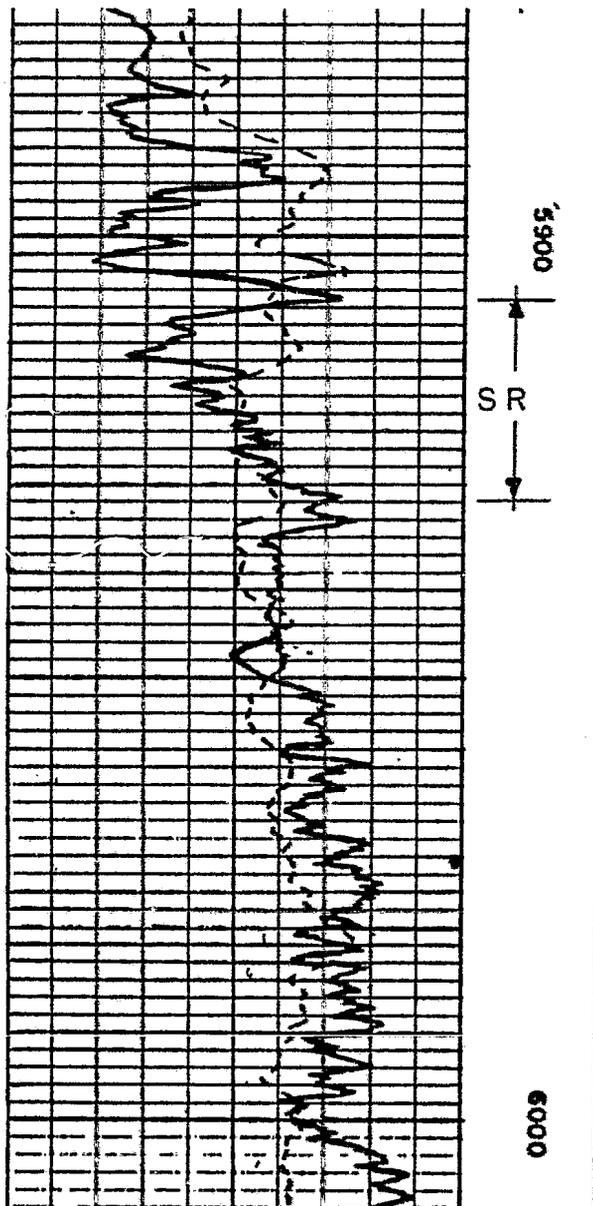


Fig. No. 5.9.— Parte de un registro de potencial natural. En el intervalo 5907-5930, se identifica una secuencia de sedimentación regresiva (SR).

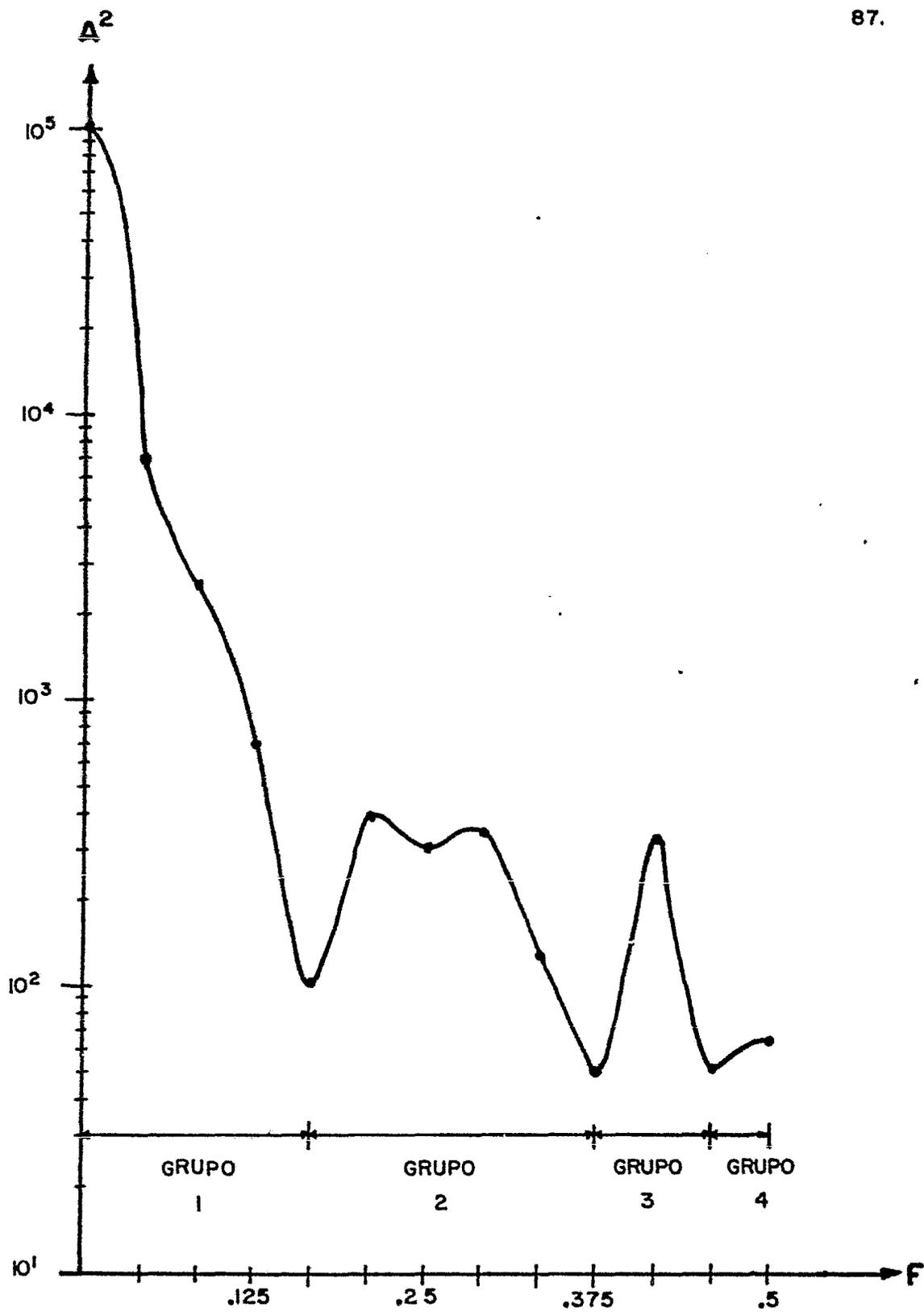


Fig.No.5.10- Espectro de energía del intervalo marcado en el registro de la Fig.5.9.

VI. CONCLUSIONES

En la Industria Petrolera el conocer el medio ambiente de depositación en que se originó cualquier cuerpo productor, permitirá definir sus características geométricas así como sus -- tendencias de porosidad y permeabilidad, aspectos que conducirán a una adecuada explotación del mismo.

El Registro de Potencial Espontáneo (SP) debido a que registra parámetros que están estrechamente asociados con la litología, se ha convertido en la actualidad en una poderosa herramienta para el estudio de los medio ambientes de depositación.

Cada ambiente de depositación, originará para sus facies-resultantes determinadas características en cuanto a geometría, textura y estructura principalmente.

Es por ello que cada ambiente de depositación puede ser -- representado por un patrón característico de sedimentación.

Visher y Pirson (Referencias 9,10), entre otros autores, -- han definido Patrones de Sedimentación sobre el Registro de Potencial Espontáneo (SP), útiles para la identificación de los ambientes de depositación de clásticos.

La conjunción de tales patrones con la construcción de --

secciones estructurales y estratigráficas formadas a partir de tal tipo de registro, proporcionan los elementos necesarios para la identificación de un ambiente de depositación en particular, así como también ayudarán a definir las características geométricas y la distribución de algunas propiedades de las unidades sedimentarias depositadas. Así, por ejemplo, de acuerdo a las secuencias transgresivas y regresivas analizadas en Capítulos anteriores, si se ha identificado una secuencia regresiva, se tendrá que el tamaño medio de los granos será mayor y su clasificación será mejor en la cima del cuerpo arenoso, siendo una arena limpia en esta parte, aumentando el contenido arcilloso gradualmente hacia la base. De acuerdo a lo anterior los valores de porosidad y permeabilidad serán mayores en la cima e irán disminuyendo hacia la base. El caso contrario se tendría en una secuencia transgresiva.

El Análisis de señales ha sido anteriormente utilizado en el estudio de los registros geofísicos de pozos para proporcionar una mejor calidad de interpretación, enfocándolo entre otros aspectos, hacia técnicas de filtrado y correlación, así como para proporcionar una comprensión del comportamiento físico-matemático de los mismos.

En el presente trabajo, se ha propuesto la utilización del Análisis de señales como un procedimiento más en el estudio de las características imperantes en los ambientes de depo

situación antiguos, bajo las siguientes técnicas:

a) LA CUANTIFICACION DE LA ENERGIA DEL AGENTE DE DEPOSITACION.- La técnica expuesta, demostró que es posible cuantificar la variación de la energía que imperó en una secuencia de sedimentación, considerando a la curva SP como una señal en el dominio de la distancia y obteniendo su contenido parcial y total de energía a través de las muestras que resultan de digitalizarla.

La utilización de la técnica anterior, permitiría manejar este parámetro en forma más precisa (y ya no tan solo en forma cualitativa), para efectos de correlación sobre secciones transversales formadas a partir del Registro de Potencial Espontáneo, así como para efectos de conocer con mayor exactitud las condiciones geológicas iniciales, bajo las cuales se depositaron los sedimentos en un Ambiente determinado y que dan características distintivas a las unidades litológicas posteriormente desarrolladas.

b) EL ANALISIS ESPECTRAL DE UNA SECUENCIA DE SEDIMENTACION - SP: El conocimiento de que la depositación de sedimentos en un ambiente determinado se ve influenciado por eventos geológicos tanto a nivel regional como local, sugirió la posibilidad de constatar matemáticamente su existencia.

La descomposición de la señal SP (que representó una Se--

cuencia de Sedimentación Regresiva), en una serie de componentes individuales de diferente frecuencia a través del Análisis de Fourier, permitió visualizar la técnica de interpretación sugerida, la cual resultó potencialmente interesante.

Al analizar el Espectro de Energía de la secuencia SP utilizada, fue posible identificar cuatro paquetes de frecuencias bien definidas, tres de los cuales fueron asociados a eventos geológicos de diferente escala pero relacionados entre sí, y un cuarto grupo, el cual fue asociado con ruido.

El tipo de interpretación sugerido pretende ser base de consideración para el refinamiento de la técnica expuesta, así como para hacerla extensiva a los demás ambientes de deposición, lo que finalmente puede proveer de un instrumento de trabajo sumamente interesante en el análisis paleoambiental, tanto a nivel regional como local de cuencas sedimentarias.

Desafortunadamente no fue posible durante el desarrollo de este trabajo, el obtener información de registros geofísicos correspondientes a una sola zona, lo que ha impedido el hacer un análisis más depurado de las técnicas expuestas, teniendo que recurrir a registros obtenidos a través de literatura y a algunos registros aislados de pozos americanos.

APENDICEEL REGISTRO DE POTENCIAL NATURAL O ESPONTANEO

Se entiende por un "registro geofísico de pozo", cualquier operación que lleva a la obtención gráfica (en función de la profundidad) de algunos datos característicos de las formaciones atravesadas por una perforación.

El Registro de Potencial Espontáneo (SP), es un registro de las diferencias de potencial que se producen naturalmente entre un electrodo colocado en la superficie y otro electrodo-movible, sumergido en la columna del lodo conductivo de perforación dentro del pozo.

En la práctica, el electrodo movible dentro del pozo va en la misma sonda con que se obtienen simultáneamente otros registros, mientras que el electrodo superficial es colocado en un medio húmedo que puede ser la presa del lodo de perforación. La Fig.(1) ilustra la disposición general de los instrumentos de medida.

Dado que el electrodo de superficie es estacionario, su potencial es constante, por lo tanto, las diferencias de potencial medidas corresponden a las variaciones en el potencial de las formaciones atravesadas a medida que la sonda móvil se desliza dentro del pozo, dichas mediciones, son graba-

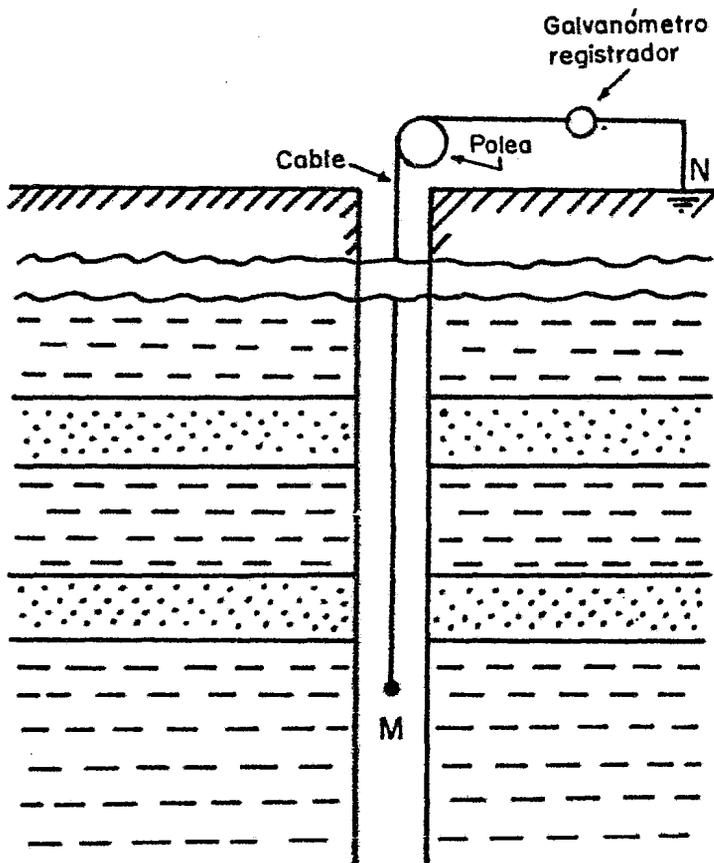


Fig.No. 1.- Disposición de los instrumentos de medida para la obtención del registro de potencial natural o espontáneo.
(Tomado de ref.7).

das sobre papel fotográfico en el camión de registros en la su perficie.

Sobre la película de registro, el perfil SP aparece a la izquierda, la escala de profundidades aparece al centro, mientras que del lado derecho se encuentra la curva de otro registro que puede ser simultáneamente tomado y con la cual, la curva SP puede ser fácilmente correlacionada. Las escalas utilizadas generalmente en el registro SP son de 10 ó 20 milivots - por división.

En general, es posible reconocer en el perfil SP una línea base más o menos bien definida, la cual se mantiene prácticamente constante en tramos grandes y correspondiente al potencial de las lutitas (capas sedimentarias impermeables), esta línea es conocida como LINEA BASE DE LUTITAS. Las deflexiones hacia la izquierda (o negativas) con respecto a dicha línea base, generalmente indican capas permeables, tales como las arenas, o sea que la curva SP en el registro no tiene punto cero, el potencial puede ser negativo o positivo, según la curva se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha de la línea base de lutitas. Aunque la curva de potencial espontáneo indica zonas permeables, no hay relación directa entre la magnitud de la deflexión y la permeabilidad de la capa.

La Fig. (2) muestra esquemáticamente parte de un registro de potencial espontáneo, el cual ha sido tomado en conjunto --

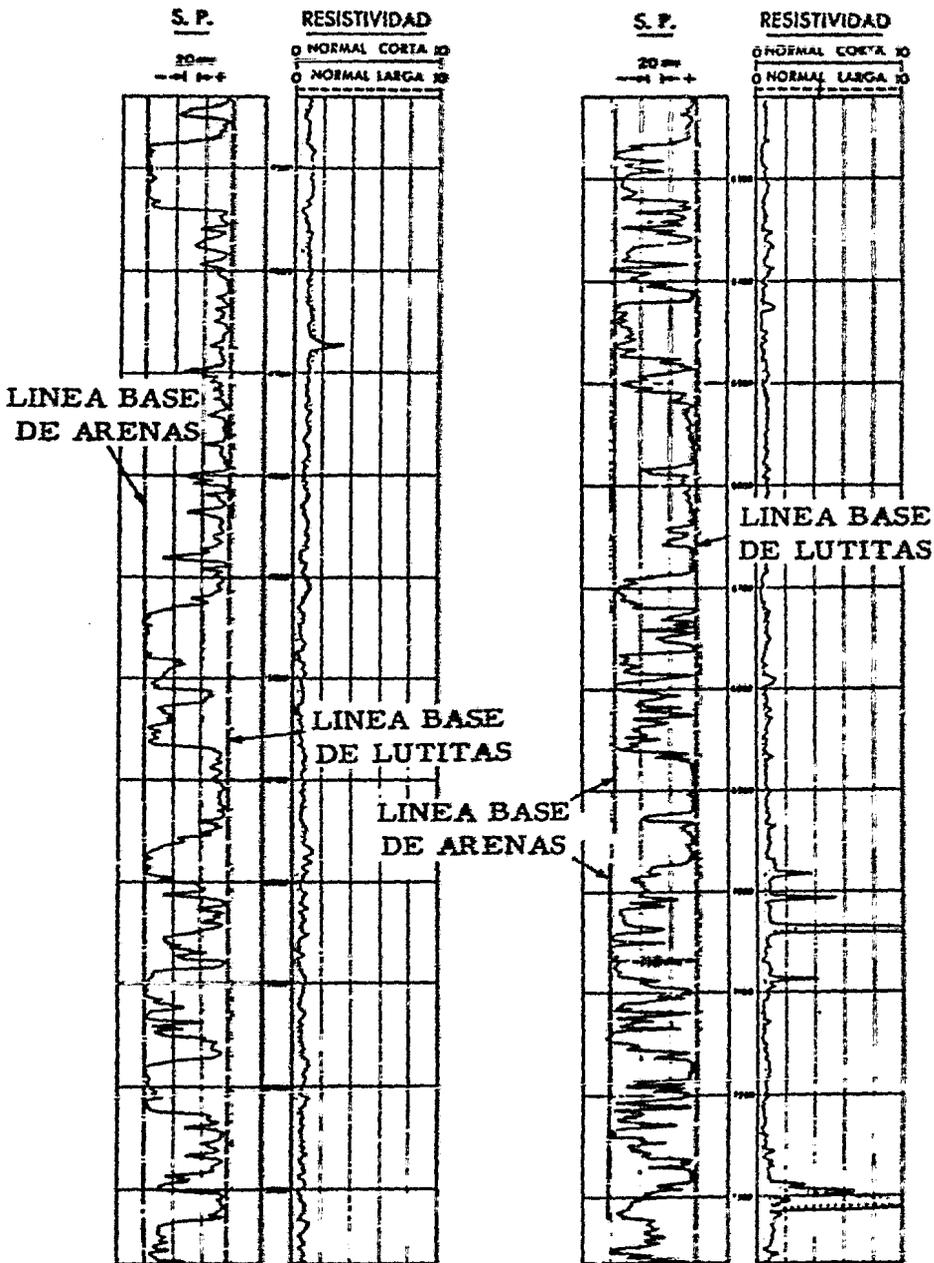


Fig. No. 2.- Ejemplo de registro de SP en regiones de Arena-Lutita (Cortesía de Schlumberger. Ref. 7).

con un registro de resistividad.

Con lodos de perforación ordinarios (usualmente base - - - agua), la curva de potencial espontáneo permite obtener los si guientes aspectos:

- a) Determinación de capas permeables.
- b) Localizar sus límites (excepto cuando las formaciones son demasiado resistentes).
- c) Correlación de capas pozo a pozo.
- d) Cualitativamente conocer el contenido de arena-arcilla de una capa.
- e) Determinación de la resistividad del agua intersticial de las formaciones.

Antes de seguir adelante, conviene analizar dos conceptos de importancia fundamental dentro del estudio de las fuentes - que dan origen al potencial espontáneo de las formaciones:

- a) Conducción de la electricidad a través de las rocas.

Salvo pocas excepciones (menas metálicas por ejemplo), - - las rocas son consideradas como no conductoras de la electricidad. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en alguna proporción, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por agua, a lo que una formación debe su conductividad eléctrica.

Normalmente, el agua es un mal conductor de la electricidad, pero muchas sustancias (electrolitos) cuando se disuelven en el agua se descomponen formando partículas cargadas - - (iones), de carga positiva (cationes) y de carga negativa (aniones), los cuales debido a su movilidad originan las corrientes eléctricas en las disoluciones acuosas.

Las aguas de las formaciones y los lodos utilizados en la perforación, contienen generalmente varios elementos químicos en solución, siendo el Cloruro de Sodio (sal común) el predominante. Consideremos Cloruro de Sodio (NaCl) como electrolito, cuando se disuelve en agua, se disocia en iones de Sodio (Na^+) y en iones de Cloro (Cl^-), conservándose de esta forma la carga (cuando un átomo pierde un electrón, otro lo gana). Si una corriente eléctrica llega a ser establecida, ésta será proporcional a la diferencia de potencial aplicada, temperatura, concentración y tamaño de los iones.

Resulta en conjunto, que las rocas conteniendo electrolitos en sus poros se comportan como conductores iónicos de la corriente eléctrica.

b) Concepto de invasión de las formaciones

La gran mayoría de los lodos utilizados durante la fase de perforación de un pozo, son suspensiones de partículas sólidas en líquidos como por ejemplo agua (lodo base agua) o acei-

te (lodo base aceite). Se referirá el estudio, exclusivamente a los lodos que tienen como base el agua.

Entre otros aspectos, un lodo de perforación tiene acción enfriadora y lubricante, elimina los recortes de la barrena -- del fondo del agujero, así como los restos de posibles derrumbes y el tratar de evitar dichos derrumbes. El lodo de perforación utilizado, ejerce presión sobre las paredes del pozo, ocasionando que la parte líquida del lodo de perforación se infiltre en las capas permeables, mientras que las partículas sólidas asociadas al líquido se depositan sobre la cara expuesta de las capas permeables (paredes del pozo), formando el denominado "enjarre", que tiende a reducir e impedir posteriormente infiltraciones de líquidos dentro del pozo.

Considérese una formación permeable con un 100% de agua - contenida. Yendo del pozo hacia adentro de la formación, se - distinguen varias zonas:

- 1) En primer término se tiene el lodo de perforación.
- 2) Zona de enjarre.
- 3) Zona barrida o lavada, en donde ha ocurrido el máximo desplazamiento del agua de la formación por el filtrado del lodo, se considera el desplazamiento prácticamente completo.
- 4) Zona invadida, esta zona comprende también la zona barrida antes descrita y se define como la zona que abarca la in-

vasión del filtrado del lodo, en general dentro de esta zona, - cada vez existirá menos invasión del filtrado del lodo, hasta llegar a la zona no contaminada.

5) Zona no contaminada o no invadida, es la zona que no ha sido alcanzada por el filtrado del lodo, y los poros se encuentran llenos del agua de la formación permeable.

La Fig.(3), muestra esquemáticamente la disposición de -- las zonas antes mencionadas.

ORIGEN DEL POTENCIAL ESPONTANEO

Dado que las variaciones de diferencia de potencial que son registradas en el perfil SP, son debidas a variaciones en el potencial del electrodo móvil dentro del pozo (pues el electrodo de superficie está sometido a un potencial constante), - conviene analizar brevemente las fuentes que dan origen a dichos cambios en el potencial de las formaciones atravesadas -- por la sonda.

Bajo condiciones usuales, la experiencia ha demostrado -- que las deflexiones de la curva SP corresponden a variaciones de potencial en la columna del lodo conductivo de perforación, debidas a corrientes que fluyen alrededor de la intersección - de las capas permeables, las arcillas y lutitas adyacentes y - la columna de lodo. A su vez, Fuerzas Electromotrices de dife

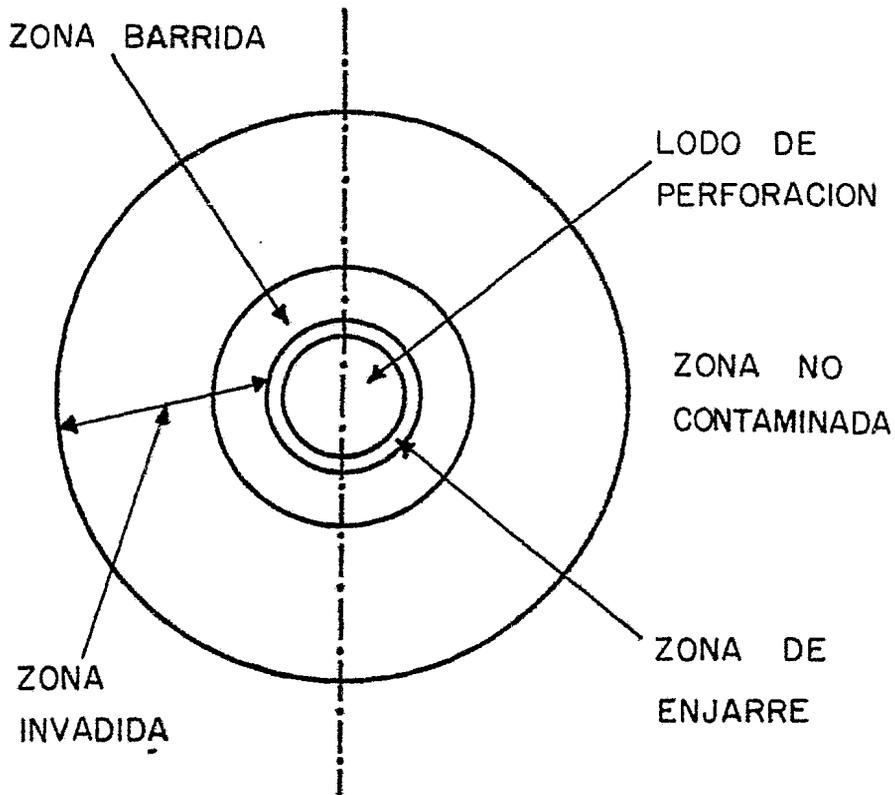


Fig. No. 3 :- Sección horizontal a través de una capa permeable acuífera durante una perforación, que muestra la disposición de las zonas afectadas por el lodo de perforación y su filtrado. (Tomado de ref.7).

rente naturaleza son las productoras de dichas corrientes que crean en el lodo las variaciones de potencial medibles por el registro SP.

Analicemos pues, las principales fuentes de potencial que originan la curva SP.

- Potencial de Electrofiltración o electrocinético

Es un hecho aceptado en Electroquímica que, cuando se hace pasar un electrolito a través de una membrana permeable, se observa una diferencia de potencial entre ambos lados de la membrana, creándose una Fuerza Electromotriz (fem) de electrofiltración, proporcional a la caída de presión a través de la membrana, es decir, al ritmo de filtración.

Este fenómeno se verifica en el contacto lodo de perforación-capa permeable. La membrana permeable corresponde al enjarre y el electrolito al filtrado del lodo. Puesto que la presión hidrostática del lodo en las paredes del pozo es más grande que la presión en la formación permeable, hace que los fluidos del lodo se filtren a través del enjarre dentro del cuerpo permeable, esto ocasionará que una fem aparezca, primeramente donde la diferencia de presión es máxima, esto es, a través del enjarre y siguiendo la dirección del flujo. La fem producida dependerá de la naturaleza del filtrado y del filtro (fluidos del lodo y enjarre), y de la diferencia de presión. Como un resultado, para una formación dada, la fem será unifor

me a todo lo largo del contacto lodo-cuerpo permeable.

Una larga experiencia ha demostrado que en general este efecto es comparativamente pequeño y prácticamente insignificante en relación al Potencial Electroquímico que a continuación se analizará.

- Potencial Electroquímico

Estudios en Electroquímica han llevado a demostrar que -- cuando dos soluciones de diferente concentración (electrolitos) son puestas en contacto, se observa una diferencia de potencial producida a través del límite que las separa.

Las condiciones que prevalecen en la perforación de un pozo y que llévan a desarrollar este efecto electroquímico, son que las formaciones permeables contienen agua intersticial con soluciones más concentradas de Cloruro de Sodio (NaCl) que el agua del filtrado del lodo (considerando un lodo con base de agua), el fenómeno electroquímico entonces, se puede presentar de dos maneras: a) a través del contacto directo entre ambas soluciones (Potencial de Difusión o de contacto de líquidos), - b) separadas ambas soluciones por una lutita (Potencial de Membrana).

a) Potencial de Difusión o de contacto de líquidos

Este Potencial aparece en el límite entre el filtrado del

lodo de perforación (zona invadida) y el agua de formación en los estratos permeables (zona no invadida).

Debido a la diferencia de concentraciones de las dos soluciones en contacto, habrá un movimiento de iones de (Na^+) y de (Cl^-) de la solución de mayor concentración (agua de la formación) a la de menor concentración (agua del filtrado del lodo). Sin embargo el ion Sodio (Na^+) , es más grande, poseyendo una fuerte afinidad por el agua, mientras que el ion Cloro (Cl^-) es más pequeño y con afinidad más débil por el agua, lo que hace que los iones Cloro (Cl^-) se desplacen más rápidamente que los iones de Sodio (Na^+) . En consecuencia, la solución más débil (agua del filtrado del lodo) se hace más negativa, y la más fuerte (agua de la formación), más positiva, presentándose en el contacto entre ambas soluciones una diferencia de potencial o Fuerza Electromotriz que es el Potencial de Difusión o de contacto de líquidos.

b) Potencial de Membrana

El fenómeno electroquímico entre dos soluciones de diferente concentración, se vuelve a presentar en el sistema, pero ahora a través de una capa lutítica.

La estructura interna de la lutita, hace que este tipo de roca se comporte como una membrana catiónica, es decir, que sólo permite el paso de cationes o iones positivos (tales como -

el sodio) repeliendo e impidiendo el pasaje de los negativos - (como el Cloro). De este modo, cuando un trozo de lutita separa dos soluciones de Cloruro de Sodio de diferentes concentraciones, los iones sódicos (Na^+) de ambas soluciones migrarán a través de la lutita, siendo naturalmente mayor el número de iones sódicos (Na^+) que pasen de la solución más concentrada (agua de la formación) que de la menos concentrada (lodo de perforación). El efecto resultante, es que el límite entre la lutita y la solución menos concentrada (lodo de perforación), se cargará positivamente, mientras que el límite entre el cuerpo lutítico y la solución más concentrada (agua de la formación) quedará con una carga predominantemente negativa. Como resultado de lo anterior, una diferencia de potencial o Fuerza Electromotriz se desarrolla a través del cuerpo lutítico.

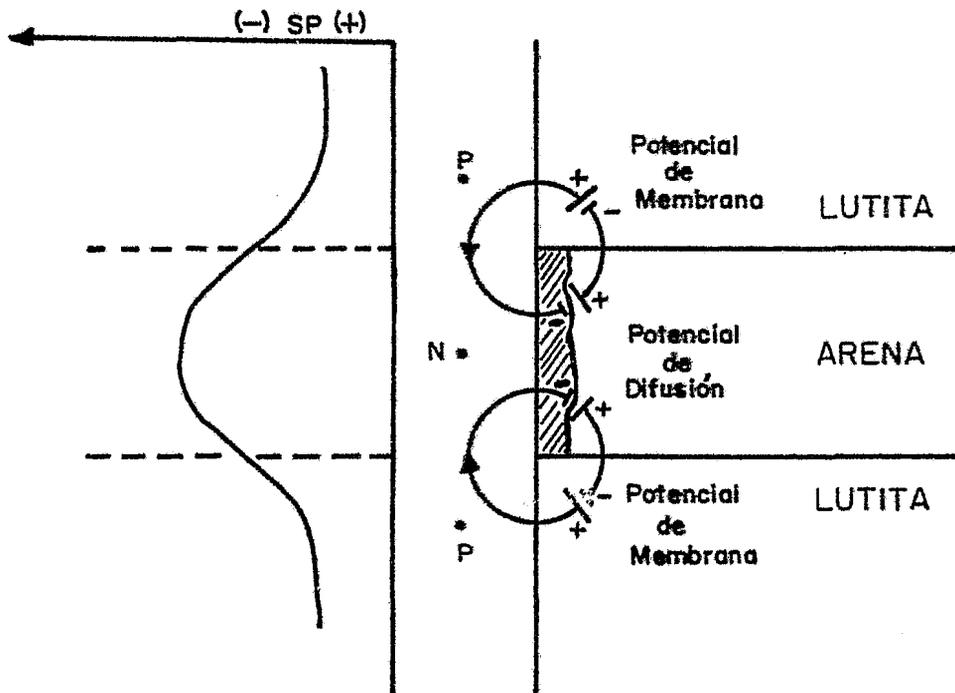
Asumiendo que la contribución del Potencial de Electrofiltración al potencial total medible por el registro SP, es relativamente insignificante en comparación al aporte del Potencial Electroquímico, se puede establecer que el Potencial Espontáneo está constituido principalmente por dos componentes electroquímicas que actúan a manera de Fuerzas Electromotrices, las cuales pueden ser representables por dos elementos voltaicos o pequeñas baterías, dispuestas en serie con sus polaridades tales como han sido encontradas con las consideraciones precedentes (Fig.4). La Fuerza Electromotriz total del siste-

ma de acuerdo a la teoría de circuitos, será la suma de los -- dos potenciales, el de Difusión y el de Membrana.

Las Fuerzas Electromotrices del sistema, son las productoras de las corrientes eléctricas que fluyen por dentro de la arena, a través de la lutita, hacia adentro del pozo y nuevamente hacia la arena (Fig.4), corrientes que crean las variaciones de potencial en la columna del lodo de perforación medibles por el registro SP.

En un punto "P" de la columna del lodo de perforación situado frente a la lutita, el potencial será positivo con respecto a un punto "N" de la columna del lodo situado frente a una arena. Dado que las deflexiones de la curva SP son leídas con respecto a la línea base de lutitas, las deflexiones situadas frente a las capas permeables (arenas) serán negativas, aspecto ya mencionado al principio de este Apéndice. Por lo que respecta a los contactos de una capa permeable frente a dos capas impermeables, dichos límites (horizontales) aparecerán -- (Fig.4) en los puntos de inflexión de la curva SP (para la demostración de esta regla, consultar las referencias dadas al final de este trabajo).

El análisis anterior corresponde a una introducción a la teoría e interpretación cualitativa de la curva SP; para ahondar más en los anteriores aspectos así como en la interpretación cuantitativa del mismo, favor de consultar las referencias.



▨ Zona invadida por el filtrado del lodo.

Fig. No. 4.- Representación esquemática de las corrientes resultantes del potencial de membrana y del potencial de difusión, así como la curva SP obtenida.

Es observable, que el potencial disminuye en el sentido de la corriente (i), de esta manera será mayor en una lutita que en una arena.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Ing. Vicente Valle González y Amador Oviedo de León; 1976. Proyecto D-5230: "Notas sobre procedimientos para identificar el origen de los cuerpos arenosos", Publicación del Instituto Mexicano del Petróleo.
- 2) Krumbein and Sloss; 1969. "Estratigrafía y Sedimentación", Unión Tipográfica, Edit. Hispano-Americana.
- 3) Chester R. Longwell and Richard F. Flint; 1978. "Geología Física", Edit. Limusa.
- 4) Leet and Judson; 1979. "Fundamentos de Geología Física", - Edit. Limusa
- 5) Orlando Gómez Rivero; 1975. "Registros de Pozos", Parte - I: Teoría e Interpretación, Publicado por Orlando Gómez - Rivero, Derechos reservados.
- 6) Douglas W. Hilchie; 1978. "Applied Openhole Log Interpretation for Geologists and Engineers", Published by Douglas W. Hilchie, Inc.
- 7) _____; 1958. "Introducción al Método Schlumberger de perfilaje de pozos", Documento No. 8, Schlumberger Well - Surveying Corporation.
- 8) _____; 1971. "Well Logging", SPE Reprint Series No. - 1, Society of Petroleum Engineers of AIME.
- 9) Sylvain J. Pirson; 1981. "Geologic Well Log Analysis", - Gulf Publishing Co.
- 10) Visher, G.S.; 1965. "Use of the Vertical Profile in Environmental Reconstruction", Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., Vol. 49, No. 1.

- 11) Paul E. Tippens; 1981. "Física, conceptos y aplicaciones", Mc. Graw Hill.
- 12) Mc. Cray and Cole; 1978. "Tecnología de la perforación de pozos petroleros", Compañía Edit. Continental, S.A., México.
- 13) Mansour Javid and Egon Brenner; 1978. "Analysis, Transmission, and Filtering of signals", Robert E. Krieger Publishing Co., Mc. Graw Hill, Inc.
- 14) B.P. Lathi; 1980. "Introducción a la teoría y sistemas de comunicación", Edit. Limusa.
- 15) Georgi P. Tolstov; 1962. "Fourier Series", Dover publication, Inc.
- 16) Hwei P. Hsu; 1973. "Análisis de Fourier", Fondo Educativo Interamericano.
- 17) Ender's A. Robinson; 1980. "Geophysical Signal Analysis", Prentice-Hall, Inc.
- 18) Ing. Francisco A. Arroyo Carrasco; 1981. "Teoría de señales y su aplicación en el Análisis de Registros Geofísicos de pozos", Tesis Profesional, Fac. de Ingeniería, UNAM.
- 19) Lindseth, R.O.; 1966. "Application of signal theory to well log interpretation", Engineering data Processors, LTD. Calgary, Alberta.
- 20) Branisa, F.; 1974. "Filtering of well log curves", Short-Note, Geophysics, V. 39.
- 21) Barcat, C; García Marra; Vázquez, J.; 1980. "Interpretación Geológica del Análisis Espectral de un Perfil de Potencial Espontáneo", Dirección de Exploración, Y.P.F., República Argentina, Trabajo presentado en la XXXV reunión a nivel de expertos, ACPFI, México.

- 22) Ing. Arturo Ramírez Cuéllar; 1983. "Notas de clase del - curso de Computación digital aplicada a la Geofísica", Materia impartida dentro de la carrera de Ingeniería Geofísica, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 23) Joseph R. Curray; 1964. "Transgressions and Regressions", Shepard Commemorative Volume, Edited by Robert L. Miller, The MacMillan Co. New York.
- 24) F.H. Lahee; 1952. "Field Geology", Mc Graw-Hill Book Company.
- 25) R.E. Sheriff; 1973. "Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics", Published by Society of Exploration Geophysicists .