

0.1190 21.  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS ESPECTRAL Y ESTADISTICO DE LOS  
CAMBIOS DE POLARIDAD DEL CAMPO  
MAGNETICO TERRESTRE.

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTOR EN INGENIERIA

PRESENTA

M.I. ROSA ADRIANA ANGUIANO ROJAS

Director de Tesis

DR. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

DEDICO ESTE TRABAJO A LAS PERSONAS QUE POR EL AMOR QUE ME TIENEN Y POR EL AMOR QUE LES TENGO HAN SIDO EL MOTOR DE MI VIDA.

A mis Padres Adolfo y Rosita

A mis Hijos Joshua y Vincent

A mi Esposo Leonardo

A mis Hermanos

Con un profundo agradecimiento a los miembros del Comité Doctoral

**Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi**

**Dr. Jorge Carrera Bolaños**

**Dr Graham Sherwood John**

por todo su apoyo, ayuda y paciencia para la realización de este trabajo

Con un especial agradecimiento al **Dr. Felipe Lara Rosano** por haber reabierto el camino.

Existen ocasiones en que la palabra *Gracias* no es suficiente, sobre todo cuando el apoyo de alguien cambia por completo el destino de otro alguien. Esta es una de esas ocasiones; **GRACIAS Ing. Sergio F. Beltrán** por enseñarme a atar mi vida a las estrellas, y por todo el apoyo que de una manera tan incondicional he recibido de usted.

Debo agradecer también cada palabra de aliento y apoyo de la **Dra. Ana María Vázquez V.**, quien fue una gran consejera y maravillosa amiga.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
OF.14.94.60.2.SA.DOC

**M. en Ing. Rosa Adriana Anguiano Rojas**  
**Presente**

Le comunico que con base en la reglamentación vigente sobre procedimientos doctorales, aprobada por el Consejo Interno de la División de Estudios de Posgrado en su sesión del 14 de enero de 1992 y ratificada por el Consejo Técnico de esta Facultad en su sesión del 29 de enero de 1992, se le nombra su **Jurado Doctoral**, constituido por los siguientes profesores, miembros del Claustro Doctoral de esta Facultad, para los fines consiguientes:

<b>Presidente:</b>	<b>Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi</b>
<b>Primer Vocal:</b>	<b>Dr. Jorge Carrera Bolaños</b>
<b>Segundo Vocal:</b>	<b>Dr. Graham Sherwood John</b>
<b>Tercer Vocal:</b>	<b>Dr. Felipe Lara Rosano</b>
<b>Secretario:</b>	<b>Dr. Tomás González Morán</b>
<b>Suplente:</b>	<b>Dr. Fernando Samaniego Verduzco</b>
<b>Suplente:</b>	<b>Dr. Mario Ruiz Castellanos</b>

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Ciudad Universitaria, México, D.F., 9 de enero de 1995  
El Director de la Facultad

**Ing. José Manuel Covarrubias Solís**

Ejemplar para: M. en Ing. Rosa Adriana Anguiano Rojas.

AHC/NEUM/



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Expediente: 59987

UNIVERSIDAD NACIONAL,  
AVENIDA DE  
MEXICO

ACTA DE DEFENSA Y APROBACIÓN DE  
TEMA DE TESIS DE DOCTORADO EN INGENIERÍA

En la Cd. Universitaria, el 17 de enero de 1995,  
a las 11:00 h., se presentó Rosa Adriana Anguiano Rojas  
para la presentación oral y defensa del tema de tesis:

Análisis del Registro de Cambios de Polaridad del Campo Magnético Terrestre  
ante su Jurado Doctoral constituido por los siguientes profesores, miembros del Claustro Doctoral de la Facultad:

Presidente:	<u>Jaime Urrutia Fueniguchi</u>
Primer Vocal:	<u>Jorge Carrera Bolaños</u>
Segundo Vocal:	<u>Graham John Sherwood</u>
Tercer Vocal:	<u>Felipe Lara Posada</u>
Secretario:	<u>Terencio González Morán</u>
Primer Suplente:	<u>Fernando Samaniego Venderer</u>
Segundo Suplente:	<u>María Ruiz Castellanos</u>

quienes: 1) habiendo recibido la propuesta de investigación escrita, con una semana de anticipación, en un máximo de treinta cuartillas, 2) habiendo escuchado la presentación oral y practicado al alumno el interrogatorio respectivo, y 3) tomando en consideración que deben contemplarse las materias previstas en el punto 4. de la reglamentación vigente sobre políticas y procedimientos doctorales, aprobada por el Consejo Interno de la DEP-FI en su sesión del 14 de enero de 1992 y ratificada por el Consejo Técnico de la Facultad de Ingeniería en su sesión del 29 de enero de 1992, a saber: estado del arte, planteamiento del problema de investigación doctoral y su importancia, metodología y técnicas que piensa utilizar, resultados previstos, recursos, bibliografía, así como índice tentativo; decidieron por unanimidad Si (sí/no) recomendar al Jefe de la División la aprobación del tema de tesis, sujeta a las recomendaciones anexas, las cuales se consideran parte integral de esta acta.

<u>Jaime Urrutia Fueniguchi</u> Presidente	<u>Jorge Carrera Bolaños</u> Primer Vocal	<u>G. J. Sherwood</u> Segundo Vocal
<u>Felipe Lara Posada</u> Tercer Vocal	<u>Fernando Samaniego Venderer</u> Primer Suplente	<u>María Ruiz Castellanos</u> Segundo Suplente
<u>Terencio González Morán</u> Secretario		

El Jefe de la DEP-FI aprobó el tema de tesis

M. en Ing. José Abel Herrera Camacho  
El Jefe de la DEP-FI

Ejemplar original para: Jefatura de Informática

## RESUMEN

En este trabajo se ha hecho un análisis de las Escalas de Tiempo de Polaridades Geomagnéticas (Geomagnetic Polarity Time Scale GPTS) de Hertzler et al., 1968; (HDHPL-68); Harland et al., 1982 (HCLPSW-82); Harland et al., 1990 (HACCSS-90), Cande y Kent 1992 (CK-92), Baksi 1994 (B-94); Cande y Kent 1995 (CK-95); Wei 1995 (W-95). En el análisis estadístico se puede apreciar que en todas las GPTS se presenta una discontinuidad en el número de cambios de polaridad alrededor de los 50 Ma, la cual se ve con mayor claridad en las GPTS CK-92 y CK-95, cuando se incluyen los subchrons (intervalos de polaridad con duración menor a 0.03 Ma). Por otro lado en las primeras GPTS (HDHPL-68, HCLPSW-82 Y HACCSS-90), se puede observar que las líneas de tendencia para el número de casos de chrons con polaridad normal y de chrons con polaridad reversa son diferentes, mientras que para las GPTS CK-92, CK-95 y W-95, estas líneas son muy similares, lo que sugiere que en las GPTS más recientes existe una estabilidad entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa. Esto significa que más tarde o más temprano el número de reversiones y la duración de los mismos tiende a equilibrarse, cosa que puede observarse para los últimos 83 Ma. Sin embargo, también se observa una alternancia entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa a medida que la duración de estos aumenta; lo que hace suponer que existe una estructura estadística subyacente de algún tipo. También se presenta un análisis de la longitud de los chrons, y el comportamiento de los chrons antecedentes o consecuentes a un *chron largo*. En los diagramas de dispersión se puede apreciar una buena correlación entre los chrons de polaridad normal y los de polaridad reversa, sobre todo en las últimas GPTS, lo que sugiere que existe dependencia entre los dos estados.

Se realizaron pruebas con la función de autocorrelación considerando los niveles de ruido estadístico, encontrándose que para los últimos 18 Ma, la señal se puede considerar como independiente, sin embargo cuando se consideran los últimos 48 Ma, en las GPTS más recientes (CK-92, CK-95 y W-95), la señal de autocorrelación decrece a cero un poco después del *ancho de correlación estática* indicando cierta dependencia de la señal. Lo mismo sucede en la autocorrelación para los últimos 83 Ma. La autocorrelación de todas las GPTS excepto la de HDHPL-68, tiende a cero para un valor mayor del ancho de la correlación estática, lo que indica que para la mayoría de las GPTS existe dependencia en la señal. En cuanto al análisis espectral se detectaron frecuencias similares en los primeros 18 Ma, a pesar de los cambios que presentan las GPTS en el tiempo, y varias frecuencias en común para los últimos 48 Ma y de 48 a 83 Ma. De 0 a 83 Ma, encontramos varias frecuencias comunes correspondientes a 27.47 Ma (en 5 GPTS), de 9.26 Ma (en 5 GPTS), 4.88 Ma (en 5 GPTS), 3.19 Ma (en 6 GPTS) y 2.32 Ma (en 7 GPTS). En la parte fractal se encontraron valores muy similares de *dimensión fractal D* (entre 1.7 y 1.8) para todas las GPTS y para cada una de sus partes, lo que nos ratifica la naturaleza de fractal de campo magnético del tipo *self affine*. Se realizaron diagramas de fase encontrándose un comportamiento tipo *atractor*. Se realizó un estudio para obtener la frecuencia de transición de cada GPTS obteniéndose con la prueba  $\chi^2$  que existe dependencia de un estado a otro. Haciéndose independiente solo cuando la matriz de transición es de un orden muy grande, considerándose con esto que existe dependencia en los estados sucesivos de polaridad del campo magnético terrestre. Basados en la matriz de transición se generó una señal sintética para algunas de las GPTS y se aplicó el proceso seguido para la señal original observando que para esta señal sintética la función de autocorrelación, el espectro de amplitud de la autocorrelación, y los valores de dimensión fractal son muy similares indicando que con los valores de la matriz de transición se puede reconstruir a la señal estadísticamente hablando.

## SUMMARY

In this work we have analyzed the Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS) (Heirtzler et al., 1968; (HDHPL-68); Harland et al., 1982 (HCLPSW-82); Harland et al., 1990 (HACCSS-90), Cande and Kent 1992 (CK-92), Baksi 1994 (B-94); Cande and Kent 1995 (CK-95); Wei 1995 (W-95)). In the statistical analysis we can appreciate in all the GPTS a discontinuity around 50 Ma. This change is more clear in the GPTS CK-92 and CK-95 when we introduce the subchrons. On the other hand for the GPTS (HDHPL-68, HCLPSW-82 and HACCSS-90), we can see that the fitting lines for the cases of normal polarity chrons and for reverse polarity chrons are different; but this fitting lines are similar for the GPTS CK-92, CK-95 y W-95. This suggested that exists some stability in the normal polarity chrons with respect to the reversal polarity chrons. This means that the reversal number and the length of the chrons are in equilibrium. We observed that the number of the cases of normal polarity chrons and the number of the cases of reversal polarity chrons are alternate. We have examined the length of the polarity chrons and there is no evidence of any particular behavior about the precedent chrons or subsequent chrons to the occurrence of a long chron. In the scatter diagrams we can see a good correlation between the normal and reverse polarity in special in the GPTS (CK-92, CK-95 and W-95). The autocorrelation function, within statistical noise limits, shows that for the last 5 Ma and 18 Ma, the signal is uncorrelated (for all the scales). However, if we consider the last 48 Ma, the signal decreases to zero in the limit of the statistical noise; and for the CK-92, CK-95 and W-95, the function decreases to zero just after the static correlation width. For the last 83 Ma in all the scales the autocorrelation function has a width larger than the static correlation width. We consider that the sequence of polarity chrons presents some kind of correlation. On the other hand, in the spectral analysis we detect similar frequencies for the last 18 Ma, in spite of modification introduced in the scales and the different chrons length, and some common frequencies for the last 48 Ma and for 48 to 83 Ma. For the last 83 Ma, we found similar characteristic periodicities of 27.47 Ma (in 5 GPTS), 9.26 Ma (in 5 GPTS), 4.88 Ma (in 5 GPTS), 3.18 Ma (in 6 GPTS) and 2.33 Ma (in 7 GPTS). In the fractal analysis, we found a similar fractal dimension  $D$  (between 1.7 and 1.8) for all GPTS. Fractal analysis is performed for the intervals: 0 to 83 Ma, 0 to 5, 0 to 18 Ma, 0 to 48 Ma and 48 to 83 Ma, and shows a fractal behavior of the geomagnetic polarity reversals. We determined transition frequencies for each GPTS and obtain with a  $\chi^2$  test that there is some dependence between the two states. The Markov transition probability matrix becomes independent only for large orders. We generated a synthetic signal with the Markov transition matrix of some of the GPTS, and we obtained the autocorrelation function, the spectral amplitude and the fractal dimension. We could build the signal in the statistical sense with the Markov transition matrix.

# INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	<b><i>i</i></b>
<b>CAPITULO 1. ANTECEDENTES.</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CAMPO MAGNETICO DE LA TIERRA.</b>	<b>1</b>
1.1.1. CAMPO MAGNETICO PRINCIPAL	2
1.1.2. PALEOMAGNETISMO	3
1.1.3. LA FRONTERA NUCLEO MANTO	5
1.1.4. EL NUCLEO DE LA TIERRA	6
<b>1.2 ESCALA DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNETICAS (GPTS)</b>	<b>10</b>
1.2.1. METODOS QUE SE HAN USADO PARA MEDIR LA ESCALA DE TIEMPO.	10
1.2.2. BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS GPTS	14
<b>1.3 ESCALAS DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNETICAS (GPTS) ANALIZADAS EN ESTE TRABAJO</b>	<b>16</b>
1.3.1 ESCALA DE HEIRZTLER ET. AL., 1968 (HDHPL-68)	16
1.3.2 ESCALA DE HARLAND ET. AL., 1982 (HCLPSW-82)	18
1.3.3 ESCALA DE HARLAND ET. AL., 1990 (HACCSS-90)	19
1.3.4 ESCALA DE CANDE Y KENT 1992 (CK-92)	22
1.3.5 ESCALA DE BAKSI 1994 (B-94)	26
1.3.6 ESCALA DE CANDE Y KENT 1995 (CK-95)	27
1.3.7 ESCALA DE WEI 1995 (W-95)	28
1.3.8 SUPERCHRONS (SESGO EN LA POLARIDAD)	28
1.3.9 CORRELACION DE LAS GPTS EN EL TIEMPO	29
<b>CAPITULO 2. MARCO TEORICO.</b>	<b>37</b>
<b>2.1 ANALISIS ESTADISTICO</b>	<b>37</b>
2.1.1 INFERENCIA ESTADISTICA	38
<b>2.2 AUTOCORRELACION</b>	<b>40</b>
2.2.1 DEFINICION DE LA FUNCION DE AUTOCORRELACION	41
2.2.2 EVALUACION DEL RUIDO ESTADISTICO DE LA FUNCION DE CORRELACION ASOCIADO CON UN NUMERO DE MUESTRAS FINITAS DE REVERSIONES NO CORRELACIONADAS.	43
<b>2.3 ESPECTRO DE AMPLITUD DE LAS GPTS Y ESPECTRO DE AMPLITUD DE LA AUTOCORRELACION DE LAS GPTS.</b>	<b>45</b>
<b>2.4 FRACTALES</b>	<b>49</b>
2.4.1 CONJUNTO FRACTAL	50
2.4.2 FRACTALES <i>self-affine</i>	54
2.4.3 FRACTALES Y RUIDO	57
2.4.4 FRACTALES Y CAOS	58
2.4.5 ATRACTORES	59
<b>2.5 ANALISIS DE MARKOV</b>	<b>62</b>

## **CAPITULO 3. ANALISIS DE LAS ESCALAS DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNETICAS (GPTS).**

66

<b>3.1 ANALISIS ESTADISTICO</b>	<b>66</b>
3.1.1 DESCRIPCION DE LA GPTS HDHPL-68	66
3.1.2 DESCRIPCION DE LA GPTS HCLPSW-82	71
3.1.3 DESCRIPCION DE LA GPTS HACCSS-90	77
3.1.4 DESCRIPCION DE LA GPTS CK-92	82
3.1.5 DESCRIPCION DE LA GPTS CK-CHRON-92	87
3.1.6 DESCRIPCION DE LA GPTS CK-95	91
3.1.7 DESCRIPCION DE LA GPTS CK-CHRON-95	96
3.1.8 DESCRIPCION DE LA GPTS W-95	100
3.1.9 GPTS COMPARADAS	105
<b>3.2 AUTOCORRELACION DE LAS GPTS</b>	<b>135</b>
3.2.1 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HDHPL-68	135
3.2.2 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HCLPSW-82	136
3.2.3 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HACCSS-90	137
3.2.4 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-92	138
3.2.5 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-CHRON-92	140
3.2.6 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-95	141
3.2.7 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-CHRON-95	142
3.2.8 AUTOCORRELACION DE LA GPTS W-95	143
3.2.9 AUTOCORRELACION DE LA GPTS B-94	144
<b>3.3 ANALISIS ESPECTRAL DE LAS GPTS</b>	<b>153</b>
3.3.1 ANALISIS ESPECTRAL PARA LOS ULTIMOS 5 Ma.	153
3.3.2 ANALISIS ESPECTRAL PARA LOS ULTIMOS 18 Ma	153
3.3.3 ANALISIS ESPECTRAL PARA LOS ULTIMOS 48 Ma	156
3.3.4 ANALISIS ESPECTRAL DE LOS ULTIMOS 48 A 83 Ma	162
3.3.5 ANALISIS ESPECTRAL DE 0 A 83 Ma	168
3.3.6 GPTS COMPARADAS	173
<b>3.4 DIMENSION FRACTAL</b>	<b>187</b>
3.4.1 DIMENSION FRACTAL DE LAS GPTS	187
3.4.2 ESCALAS COMPARADAS	189
3.4.3 ATRACTORES	191
<b>3.5 ANALISIS DE MARKOV DE LAS GPTS</b>	<b>198</b>
3.5.1 GPTS HDHPL-68	198
3.5.2 GPTS HCLPSW-82	199
3.5.3 GPTS HACCSS-90	200
3.5.4 GPTS CK-92	202
3.5.5 GPTS CK-CHRON-92	203
3.5.6 GPTS CK-95	204
3.5.7 GPTS CK-CHRON-95	205
3.5.8 GPTS W-95	207

## **CAPITULO 4. CONCLUSIONES**

210

**ESCALA DE TIEMPO GEOLOGICO** 214

**BIBLIOGRAFIA** 215

# INTRODUCCIÓN

El proceso que produce el campo magnético ocurre en el núcleo de la Tierra, donde los fluidos en movimiento conducen por convección a simular un dínamo que genera el campo magnético global, el cual es aproximadamente simétrico respecto al eje de rotación de la Tierra. En tiempos irregulares el campo magnético invierte su dirección produciendo una reversión en la polaridad.

Debido a la propiedad que tienen algunos minerales de orientarse en la dirección del campo magnético en el momento en que se están formando, la historia del campo magnético se encuentra registrada en las rocas las cuales han servido como un registro de los cambios de polaridad que a su vez están asociados con otros fenómenos, por lo que sirven de referencia para dataciones o fechamientos. Como las rocas se reciclan, no se cuenta con un registro completo (al mismo, faltan datos, y cuando se hacen estudios sobre este registro, los datos con los que se cuenta son sólo una pequeña proporción del mismo. Por lo que tenemos un registro incompleto en el tiempo ya que de la edad total de la Tierra ( $\cong 4600$  Ma) y del posible comienzo del campo magnético terrestre, sólo se tiene un registro con relativa buena calidad para los últimos 100 Ma.

Las primeras observaciones de que las rocas estaban magnetizadas paralelamente al campo magnético terrestre existente fueron hechos por Delesse en 1849 y Melloni 1853. David (1904) y Brunhes (1906) reportaron magnetización remanente en flujos de lava en la dirección opuesta a el campo magnético presente (en Merrill y McElhinny, 1983). El uso potencial del magnetismo remanente en las rocas fue establecido por Mercanton (1926) quien propuso la deriva polar "*polar wandering*" y deriva continental y por Matuyama (1929) quien demostró que las lavas del Cuaternario tenían polaridad reversa mientras que las lavas más jóvenes tenían una polaridad normal.

Roche (1951, 1956) concluyó por muestreo realizado en rocas volcánicas que la reversión más reciente tuvo lugar en el Pleistoceno inferior, lo que sugirió que podría existir una secuencia de reversiones de polaridad en el registro geológico. Fue en los 1960's que el fechamiento isotópico K-Ar (Evernden, McDougall y Dalrymple) permitió datar rocas volcánicas con alguna precisión. Se realizaron estudios sistemáticos tanto en Estados Unidos como en Australia, para determinar la edad de los flujos de lavas jóvenes. Y en 1963, Cox presenta la primera escala de tiempo de polaridades magnéticas, siguiéndole la de McDougall y Tarling (1963, 1964) para los 4.5 Ma más recientes. Vine y Mathews (1963) y Morley y Larochelli (1964) reconocieron en forma independiente que las anomalías magnéticas observadas en el fondo oceánico eran debido a la magnetización alternada de los bloques en la parte superior de la corteza oceánica (en Merrill y McElhinny, 1983).

A partir de entonces las anomalías magnéticas en las zonas de apertura han provisto de la más importante fuente de información sobre reversiones magnéticas de la edad Oxfordiana a la fecha. La

principal razón es la alta fidelidad del registro y la continuidad en el proceso geológico de formación de nueva corteza en la cordillera central. Gracias a esto, en 1968, Heirtzler construye la primera escala interpolando las anomalías magnéticas. La Escala de Tiempo de Polaridades Magnéticas (Geomagnetic Polarity Time Scale, GPTS), se volvió una herramienta importante por lo que fue incluida en las escalas geológicas (como la de fósiles índices) y es usada para definir otros parámetros, por lo que es importante tener una escala precisa y completa. Esta GPTS se ha modificado a medida que se obtienen más y mejores datos (Harland et al., 1982; Harland et al., 1990; Cande y Kent, 1992, etc.) sin embargo, cada modificación de la GPTS implica modificaciones de otros parámetros, y aunque estos cambios parezcan menores son muy importantes, por ejemplo para la estimación de velocidades de placas, cociente medio de extrusión magmática, riesgo volcánico, parámetros cinemáticos, correlaciones secundarias, problemas estratigráficos, cambios climáticos, procesos globales, etc.. Los cambios de polaridad también llevan información sobre el funcionamiento del campo magnético por lo que grupos de investigadores en el geomagnetismo terrestres han tratado de encontrar su patrón de comportamiento y han estudiado a las primeras GPTS para encontrar periodicidad, dependencia, etc..

William Gilbert (1600) fue el primero en identificar que el magnetismo terrestre se origina dentro de la Tierra. Elsasser (1946, 1947) y Bullard (1949) fueron los primeros en discutir la teoría del dínamo en un sentido más moderno. El primer modelo teórico para las reversiones fue producido por Néel (1955) (en Merrill y McElhinny, 1983).

Algunas teorías proponen que existe algún tipo de mecanismo disparador de la reversión que deriva de una fuente de energía diferente a la fuente de energía que produce el campo magnético principal. Entre los modelos más aceptados está el de McFadden y Merrill, (1986) en el cual dos fuentes de energía están operando. Una de estas fuentes debe ser responsable principalmente de producir el campo mientras que la otra es asociada con las inestabilidades que en algún momento disturbán al campo. Asocian el proceso de reversión con cambios en las condiciones núcleo manto en donde debe de existir algún umbral donde se produzca la inestabilidad y la reversión ocurra; sugieren que dicho umbral no se alcanzó durante el superchron del Cretácico.

También se ha sugerido que existe alguna clase de efecto de memoria presente en las reversiones (Hoffman 1986, Mankin, et. al. 1985), y la existencia de periodicidad en el comportamiento de las reversiones (Negi y Tiwari, 1983, Naidu, 1971) del campo magnético terrestre.

El tiempo de duración promedio de los chrons de polaridad normal con respecto a los de polaridad reversa muestra una pequeña diferencia que aumenta o disminuye dependiendo de la GPTS de la que se trate. Algunos autores sugieren que el estado de polaridad reversa es menos estable (Phillips, 1977) que el normal, mientras que otros (Merrill y McFadden, 1994) señalan que las ecuaciones que gobiernan al geodínamo son insensibles al signo del campo magnético pues son generadas por un mecanismo que va de una polaridad a la otra, por lo que debe de esperarse la existencia de dos estados de polaridad con propiedades estadísticas similares.

El objetivo de este trabajo fue el investigar las características de la serie de tiempo de la Escala de Polaridades Geomagnéticas GPTS, y qué tanto las modificaciones efectuadas en ellas cambiaba el patrón de comportamiento de las mismas. De manera que convertimos a la GPTS en una señal de tipo telegráfica dándole un valor de +1 a la polaridad normal y de -1 a la polaridad reversa, por lo que consideramos su dirección y no su magnitud. Esta señal fue discretizada cada 0.01 Ma en algunos análisis y cada 0.02 Ma en otros.

Las preguntas que nos hicimos para analizar a la señal fueron:

1. ¿Cuales son las Escalas de Tiempo de Reversiones de Polaridad Magnética que se han propuesto?
2. ¿Cómo se han construido estas escalas?
3. ¿Cuales son las principales modificaciones que han sufrido estas escalas en el tiempo, y cuales son sus similitudes y diferencias?
4. ¿Como estos cambios en el tiempo alteran su espectro de frecuencia y si existen algunas frecuencias fundamentales predominantes?
5. ¿El campo magnético es periódico o no?
6. ¿Qué información se puede dar respecto a la estabilidad, dependencia, memoria, etc.?

Con el fin de dar respuesta a esta serie de inquietudes, en el primer capítulo se presenta un esbozo de lo que es el Campo Magnético Terrestre, el Paleomagnetismo como la ciencia que estudia a el magnetismo remanente en las rocas, las teorías más recientes de generación del campo basadas en el comportamiento del núcleo de la Tierra. También se señala como fue que se construyeron las primeras Escalas de Polaridades Geomagnéticas (GPTS) y la forma en que fueron calibradas. Cuales son las GPTS usadas en este trabajo y las características principales de generación de cada una de ellas y la correlación que existe entre ellas en el tiempo.

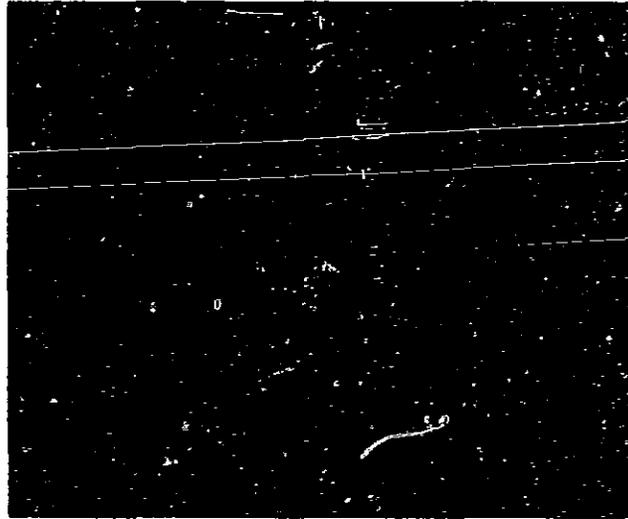
En el Capítulo dos se presenta el Marco Teórico comenzando con el análisis estadístico como herramienta fundamental para observar en el tiempo, a las GPTS, desde diferentes puntos de vista como son, sus tendencias, estabilidad, dependencia, etc. Mas adelante se presenta a la autocorrelación como una herramienta para determinar la dependencia en el tiempo de las GPTS; el análisis espectral para determinar frecuencias fundamentales y por lo tanto posible periodicidad; el análisis fractal que es una herramienta para diferenciar entre un caos determinístico y un movimiento aleatorio; y por último la aplicación de cadenas de Markov para establecer si existe alguna clase de memoria en la generación del campo magnético terrestre.

En el Capítulo 3 se presenta en forma detallada cada uno de los análisis descritos en el capítulo 2, en cada GPTS y sus implicaciones.

Por último en el Capítulo 4 se presentan las conclusiones de este estudio.

# CAPITULO 1

## ANTECEDENTES



Scientific American May 1993.

### 1.1 CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA.

El campo magnético de la tierra esta constituido por tres partes: pero debido a su magnitud las separaremos en dos grandes grupos. El campo magnético interno el cual se conoce también como principal y el campo magnético externo

1.- El campo magnético interno el cual varia relativamente lento y sobre cuyo origen y generación discutiremos más adelante. cambia su magnitud de un punto a otro de la Tierra siguiendo un efecto aproximadamente de dipolo. es decir varia de acuerdo a la Latitud y la Longitud.

2.- El campo magnético externo el cual es muy pequeño comparado con el campo magnético interno. varia muy rápidamente y se origina fuera de la Tierra. Muchos de las pequeñas componentes de este campo geomagnético parecen estar asociadas con corrientes eléctricas en capas ionizadas de la atmósfera superior. Las variaciones de esta porción del campo son mucho más rápidas que las del campo interno llamado también "*permanente*". Los principales causas de este campo magnético externo son:

a) Variaciones solares diurnas con un periodo de 24 horas y con un rango de 30 nT que varían según la latitud y la estación, y que están posiblemente controladas por la acción de vientos solares y corrientes en la ionosfera.

b) Tormentas magnéticas que son perturbaciones transitorias con amplitudes arriba de las 1000 nT en la mayoría de las latitudes y aún mayores en las regiones polares, donde se encuentran asociadas con las auroras boreales. Aún erráticamente, estas ocurren frecuentemente con un intervalo de 27 días y están correlacionadas con la actividad de manchas solares.

### 1.1.1 CAMPO MAGNÉTICO PRINCIPAL.

Hace 60 años la sismóloga Inge Lehmann dedujo que la tierra tenía un núcleo interno sólido, desde entonces el interés en el núcleo ha continuado especialmente por el papel que juega en la generación y mantenimiento del Campo Magnético Terrestre (Jacobs, 1995), ya que se considera que las propiedades del interior de la tierra, particularmente las del núcleo son importantes para evaluar las teorías que intentan determinar el origen del campo magnético terrestre ó principal.

La inversión de datos sísmicos para obtener la distribución de velocidades para ondas compresionales y de cizalla a través del interior de la tierra, ha provisto quizás de la mejor información sobre la estructura y composición del núcleo. Debido a que las ondas de cizalla no son transmitidas a través del núcleo externo, se deduce que éste es líquido (esto es de rigidez cero), y que el núcleo interno de la tierra es sólido.

Para explicar que es lo que genera al geodínamo, se han propuesto varias teorías, siendo las más aceptadas la que se refiere a la convección térmica y la que se refiere a la convección composicional. Braginsky (1963) sugiere que el enfriamiento de material en la frontera del núcleo interior podría separar la fracción pesada (principalmente de Fe), dejando detrás la fracción líquida más ligera que corresponde al núcleo externo que pudiera ser lo que anima ó da lugar a una convección de tipo composicional. Desde entonces ha sido aceptado que el proceso que produce el campo magnético principal ocurre en el núcleo de la Tierra, donde los fluidos en movimiento simulan un dínamo que genera el campo magnético global, el cual es aproximadamente simétrico respecto al eje de rotación de la Tierra. Y que por razones todavía no muy claras en tiempos irregulares invierte su dirección produciendo una reversión en la polaridad del campo magnético. Por convención se dice que la polaridad es normal cuando el campo en la superficie terrestre es dirigido hacia el norte, y la inclinación del campo es vertical, hacia el interior de la Tierra en el Norte magnético y hacia afuera en el Sur. La polaridad es reversa, cuando el campo invierte su polaridad (Harland et al., 1981). (Figura 1.1).

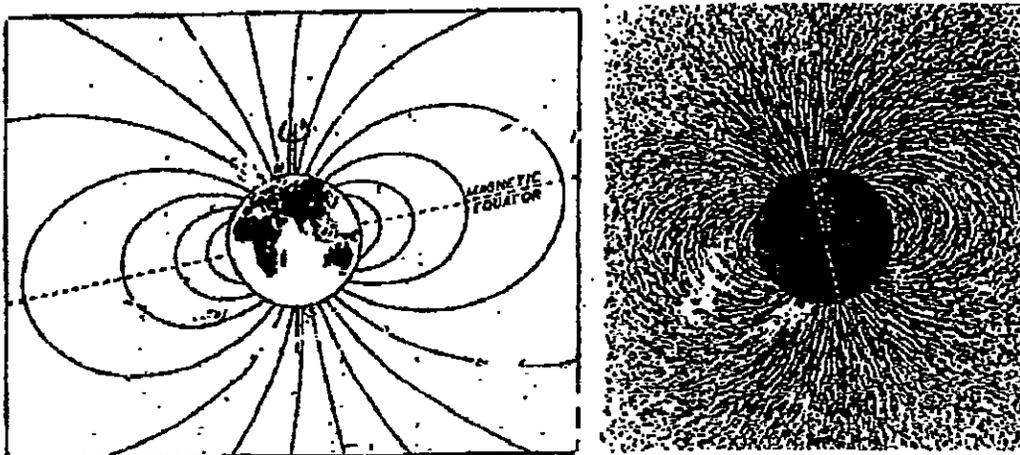


Figura 1.1. Se muestran las líneas de fuerza del Campo Magnético Terrestre

### 1.1.2 PALEOMAGNETISMO

La Historia del campo magnético ha sido investigada a través del **Paleomagnetismo** que es la ciencia que se encarga del estudio del campo magnético que quedó preservado en las rocas magnetizadas, se apoya en la teoría electromagnética y en la observación fundamental de que el campo magnético se produce cuando una partícula cargada eléctricamente está en movimiento. Todas las sustancias que contienen electrones responden al campo magnético donde a la relación entre la magnetización inducida ( $M$ ) y la intensidad del campo magnético ( $H$ ) aplicado esta dado por la susceptibilidad absoluta ( $X$ ) del material del que se trate. (Tarling, 1971).

$$M = XH$$

Esta magnetización es llevada a cabo debido a que en una estructura ordenada (mineral) existen direcciones "*fáciles*" de mínima energía a lo largo de los cuales los dipolos magnéticos prefieren alinearse. Esta alineación provoca la separación y formación de polos norte-sur en la superficie de cristal a pesar de que a esta separación se opone la mutua atracción de los polos. Este conflicto entre la fuerza magneto-cristalina y la magneto-estática es resuelto por el desarrollo de pequeños volúmenes "*dominios*" en los cuales los dipolos individuales están alineados espontáneamente y están separados uno de otro por pequeñas zonas llamadas "*Bloch walls*" o paredes de Bloch.

Cuando se aplica un campo magnético lo suficientemente grande, se puede mover una pared a través de varias barreras de energía, después que el campo es quitado, las fuerzas magnetoestáticas son incapaces de mover hacia atrás la pared a su posición original por lo que el material conserva una magnetización remanente isotermal (IRM).

Si un campo magnético mucho mayor se aplica, en particular ( $H_{sat}$ ) todos los posibles movimientos de la "*pared del dominio*" cruzan todas las barreras de energía hasta que el material sea magnéticamente saturado ( $M_{sat}$ ).

Dado que la temperatura es una medida del promedio del rango de vibración de los átomos en una substancia. A una cierta temperatura la magnetización en los granos permite la libre rotación en las diferentes direcciones de energía. En periodos prolongados, la magnetización de un cristal permite la relajación y un equilibrio en la dirección de menor energía (la dirección "*fácil*").

En presencia de un campo magnético, la relajación se lleva a cabo en la dirección "*fácil*" la cual es paralela al campo magnético aplicado por lo que la remanencia de éste es gradualmente construida. Esta remanencia dependiente del tiempo de exposición a un campo es llamada magnetización remanente viscosa (VRM). Para cualquier partícula el tiempo que se toma para que la magnetización se relaje a su valor de equilibrio térmico y dirección es llamado tiempo de relajación.

La temperatura a la cual la relajación ocurre se le conoce como *Temperatura de Bloqueo*. Cuando la magnetización se adquiere cerca de la temperatura de bloqueo, el bloqueo permanece por un tiempo

indefinido. La magnetización adquirida de esta forma es llamada magnetización termo-remanente (TRM). (Tarling, 1971). Esta forma de magnetización es la que se encuentra presente en las zonas de apertura.

David (1904) y Brunhes (1906) fueron los primeros en observar que algunos flujos de lava tenían una magnetización remanente opuesta al campo magnético presente en la Tierra. El problema era decidir si realmente había cambiado el campo magnético de la Tierra o si había existido algún mecanismo que produjera una magnetización termoremanente con sentido opuesto al campo magnético aplicado. El descubrimiento de que el campo geomagnético ha cambiado su polaridad muchas veces en el pasado fue uno de los más significativos del paleomagnetismo (Jacobs, 1995).

En 1955 con Néel se empezaron a elaborar los primeros modelos teóricos de un mecanismo de reversiones o cambios de polaridad.

Uno de los modelos más aceptados para explicar las reversiones del Campo Magnético es el sistema de Rikitake, que consiste en un sistema dinamo acoplado de dos discos (figura 1.2) (Keisuke Ito, 1980). Este sistema ha sido extensamente estudiado por integración numérica y es conocido por tener la propiedad de que las corrientes se revierten irregularmente (ver figura 2.15).

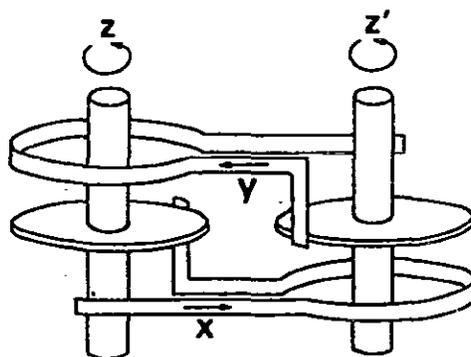


Figura 1.2 El sistema de dos discos acoplados de Rikitake es uno de los modelos más aceptados para explicar las reversiones del Campo Magnético Terrestre. (Keisuke, 1980).

En la actualidad se consideran a las reversiones en el campo magnético como cambios completos de polaridad, una vez que se ha dado esta reversión, generalmente permanece en la misma polaridad por algunos miles de Ka. Se cree que la frecuencia de reversiones en los últimos 80 Ma, se ha incrementado. En adición ha habido un número de excursiones o reversiones no concluidas donde el campo no ha permanecido ó no ha alcanzado la polaridad opuesta. Se ha pensado que una de las formas en la cual una reversión puede ser iniciada es el cambio en las condiciones de frontera núcleo manto, o en la frontera del núcleo interno. La parte más baja del manto es la que se considera como la fuente de las condiciones que afectan al geodínamo. A pesar de recibir menos atención, es de esperarse que la frontera del núcleo interno tenga también influencia en el campo geomagnético (Clement y Sixrude 1995).

### 1.1.3 LA FRONTERA NÚCLEO MANTO.

A cerca de 2900 kilómetros, descansa una de las más dramática estructuras de la tierra, la frontera entre el manto interno y el núcleo externo, la cual es de crucial importancia en el entendimiento de la evolución del planeta, (simplemente considérese el contacto entre un núcleo externo de fierro líquido con la roca del manto). Sus rasgos y características han cambiado inmensamente durante la historia de la tierra, y sus propiedades físicas ahora evidentes varían de lugar en lugar en la parte más profunda del manto. Para algunos estudiosos (i.e. Jeanloz y Lay 1993), los cambios físicos en la interfase entre el núcleo y el manto son más pronunciados que aquellos que separan a la litosfera de la astenosfera. Por otra parte, las variaciones en la región cercana a la frontera núcleo-manto, también influyen en la convección del manto de la tierra, lo que produce los movimientos de los continentes y la tectónica de placas.

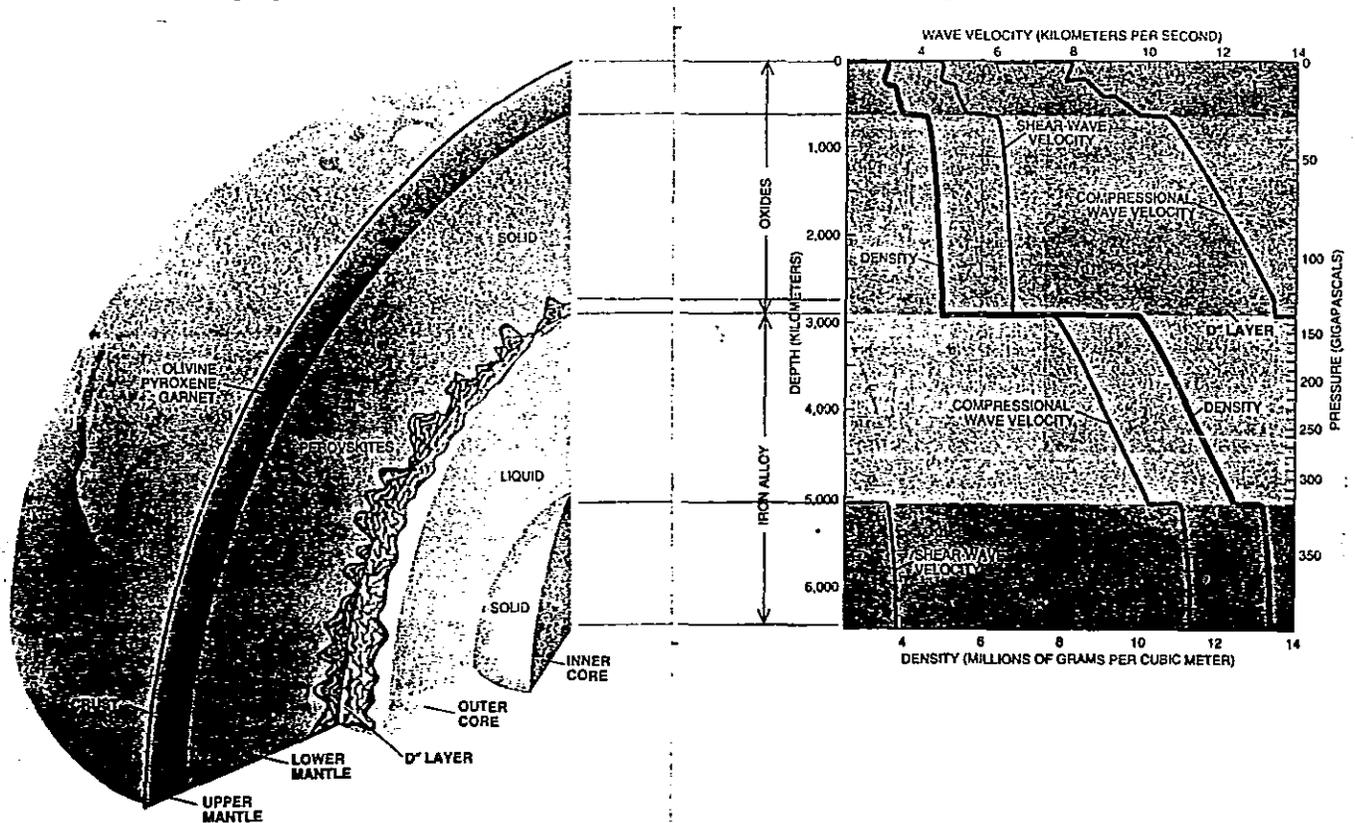


Figura 1.3 Un corte de la Tierra muestra las principales regiones del planeta. La corteza y el manto consisten en cristales óxidos tales como el olivino, piroxenos y granate en el manto superior y silicato de perovskita en el manto inferior. El núcleo es una aleación de hierro, líquido en la parte exterior y sólido en el centro. Las capas corresponden a las variaciones observadas en densidad y velocidad de ondas sísmicas a medida que ellas viajan a través de la Tierra. Tanto la densidad como la velocidad de las ondas crece como una función de la profundidad, excepto en la capa D'. Nótese que la energía sísmica puede propagarse como ondas transversales y ondas compresionales. Debido a que el líquido no tiene rigidez, las ondas transversales no pueden propagarse en el núcleo externo. El movimiento de ondas transversales reaparecen en el núcleo interno debido a que una fracción de las ondas compresionales se transforma en ondas transversales en la interfase líquida-sólida. (Jeanloz y Lay, 1993).

El comportamiento de las velocidades sísmicas lleva a concluir que, en la parte más baja del manto, justo antes de que el núcleo comience, el promedio de velocidades de las ondas sísmicas, no crece apreciablemente, y aparecen cambios significativos en la velocidad de región en región a la misma profundidad. Para los estándares geológicos, este comportamiento representa enormes variaciones en la

estructura o en la temperatura, o en ambas. Por lo que se ha nombrado a esta región como la capa D" la cual se deduce es de entre 200 a 400 km de espesor (Jeanloz y Lay, 1993). Se ha encontrado que esta región difiere drásticamente de el manto sobreyacente. El hecho de que las velocidades de las ondas sísmicas sean afectadas muestra que existen grandes estructuras dominantes en la capa D". Todavía la tomografía sísmica no puede explicar las causas de la variación en las propiedades físicas, por lo que podrían ser grandes estructuras químicamente distintas las que produjeran esta heterogeneidad sísmica, ó son las heterogeneidades, simplemente grandes diferencias en la temperatura en la base del manto. Estudios de la forma de onda sugieren que las regiones cercanas a la capa D" pueden ser más distintas de lo que alguna vez se había pensado. Por ejemplo las reflexiones han revelado que el espesor de la capa D" varía dramáticamente. La capa puede ser tan delgada que puede ser indetectable o puede ser tan ancha como de 400 km.

En la figura 1.3, se muestran las principales regiones del planeta. La corteza y el manto están compuestos por minerales como el olivino, el piroxeno y el granate en el manto superior; el silicato de peroskita (perovskite) en el manto inferior. El núcleo es un aleación de hierro, líquido en la parte externa y sólido en el centro. Todas las capas responden a las variaciones observadas en densidad y velocidad de ondas sísmicas como una función de la profundidad excepto, la capa D". Nótese que la energía sísmica puede propagarse como ondas de cizalla (ondas que oscilan perpendicularmente a la dirección del movimiento). y como ondas compresionales (ondas que se mueven en la dirección del movimiento). Debido a que los líquidos no tienen rigidez, las ondas de cizalla no se propagan en el núcleo externo. Las ondas de cizalla reaparecen en el núcleo interno debido a que una fracción de la onda compresional se transforma en onda de cizalla en la interfase líquida-sólida.

La capa D" se forma como el resultado de reacciones químicas entre el núcleo y el manto. En esencia, la roca del manto se disuelve parcialmente en el hierro líquido de el núcleo externo, produciendo una especie de lenguas metálicas que son depositadas en la frontera del núcleo-manto y que por convección se disparan a la parte superior del manto mientras que la parte superior se mueve a la región inferior.

#### **1.1.4 EL NÚCLEO DE LA TIERRA.**

Desde el descubrimiento del núcleo hasta la fecha se han propuesto varios modelos que pretenden explicar como fue el crecimiento-enfriamiento del núcleo y la formación del núcleo externo, así como la iniciación de las reversiones y el proceso que las ha generado hasta la actualidad (Jacobs, 1995).

Schloessin y Jacobs (1980) sugirieron que las reversiones eran el resultado de procesos competentes a la frontera núcleo-manto y núcleo interno. En su modelo de evolución de el núcleo, el apresurado enfriamiento en la frontera del núcleo interno, y un generalizado enfriamiento en la frontera de núcleo-manto, llevan a la formación de fases sólidas en estas dos fronteras resultando en un núcleo interno sólido, y en una capa de manto interior o bajo manto, la cual ellos identifican con la capa D" de Bullen. Movimientos en el núcleo externo son causados por corrientes producidas por inhomogeneidades en la densidad entre la

frontera manto-núcleo y núcleo interno. El concepto de dos procesos que completan en el núcleo externo fue más tarde investigado por Olson (1983) quien estudio el comportamiento del campo magnético durante una transición de polaridad basada en un modelo dinámico para la generación del campo magnético. Críticas a las reversiones del campo son las fluctuaciones en la "helicidad" del núcleo. Olson sugiere que estas fluctuaciones son causadas por un cambio en el nivel de turbulencia debido a dos fuentes de energía en competencia las cuales son: el calor perdido en la frontera núcleo-manto y la progresiva solidificación de el Hierro en la frontera del núcleo interno. El mostró por consideraciones simétricas que estas dos fuentes de energía producen helicidad (helicity) con dos signos opuestos. El efecto generado por el crecimiento del núcleo interno tiende a oponerse y desestabilizar el efecto generado por pérdida de calor en la frontera del manto-núcleo. El modelo de Olson, sin embargo, no toma en cuenta las componentes no dipolares que forman parte de la transición del campo.

McFadden et al. (1985) mantiene que las transiciones de polaridad no están caracterizadas por periodos significativos cuando cesa la convección en el núcleo externo, sin embargo, el proceso dinámico continua su actuación en el transcurso de la reversión. Estimaciones del libre decaimiento de el campo magnético de la tierra sugieren que un campo dipolar decaería más lentamente que un campo no dipolar. Esto es justo lo opuesto a lo observado durante una reversión. Esto es, parecería ser que las reversiones de el campo magnético no están asociadas con el libre decaimiento de el campo seguido por una reconstrucción de el campo; en lugar de eso ellas aparecen asociadas a un proceso dinámico.

McFadden y Merrill (1986) mostraron en un análisis estadístico de la secuencia de reversiones que los cambios observados en el rango de reversiones no son el resultado de cambios por inhibición o fomento del proceso de reversión. Esto es, debe de haber un proceso físico que dispare la reversión de una fuente de energía independiente a la que provoca el campo magnético principal.

McFadden y Merrill (1986) sugieren dos posibles modelos. En el primer modelo el movimiento del núcleo que genera el campo magnético principal resulta de una convección gravitacional asociada con el enfriamiento del núcleo externo en la frontera del núcleo interno. Las inestabilidades están generadas por la pérdida de calor, y por lo tanto, por el enfriamiento en la frontera núcleo manto lo que provoca zonas con mayor densidad y una especie de bolsas o globos fríos de fluidos que se hunden y desestabilizan la convección principal.

En su otro modelo, la convección del núcleo es debida principalmente al enfriamiento en la frontera núcleo manto. La fuente de cualquier inestabilidad es un ocasional escape o salida de material caliente expulsada en la frontera del núcleo interno, debido a un enfriamiento del núcleo externo, y el crecimiento del núcleo interno.

Una cuestión crucial en cualquiera de estos dos modelos es qué tanto tiempo toma a una bolsa o globo de material viajar a través del núcleo externo. Otra cuestión es que tan seguido estas bolsas son liberadas de la frontera núcleo-manto y de la frontera del núcleo interno. Al respecto Moffatt y Loper (1994), investigaron la dinámica de una boya formada por una bolsa de fluido soltado de una zona sensible en la frontera del núcleo interno. Ellos estimaron que el rango de crecimiento del núcleo interno,

considerándolo como uniforme es de  $10^{-11}$  m/s y que el tiempo de levantamiento de la bolsa o globo desde la frontera del núcleo interno a la frontera del núcleo con el manto es de  $\sim 100$  a. Inherente a su teoría es la presunción de que los globos o bolsas preservan su identidad a medida que ellos se levantan a través del núcleo externo.

Sin embargo St. Pierre (1994) llevó a cabo un estudio y encontró que los globos serían grandemente distorsionados después de levantarse sólo unos cientos de kilómetros desde la frontera del núcleo interno. Ellos serían rápidamente rotos en estructuras como placas alargadas en la dirección de rotación del campo magnético prevalente.

#### 1.1.4.1 CRECIMIENTO DEL NÚCLEO INTERNO

Es generalmente aceptado que el núcleo de la tierra fue formado muy temprano en la historia de la tierra. Allegre et al., (1982), apoyan un crecimiento inicial rápido seguido de un lento y continuo crecimiento del núcleo.

Ellos estiman que el 85% del núcleo fue formado durante los primeros 50-200 Ma y el restante 15% sobre el tiempo geológico siguiente. Han sido encontradas rocas con edades mayores a los 3500 Ma que poseen magnetización remanente, por lo que es muy probable que la Tierra haya tenido un núcleo externo fundido casi del mismo tamaño que el que tiene en el presente o por lo menos, del que ha tenido por un largo tiempo.

¿Cuándo se formó el núcleo interno sólido? es una cuestión más difícil, pero la convección composicional en el núcleo externo juega un papel dominante en el disparo (impulso) del dínamo terrestre, entonces una cuestión clave es determinar cuándo el núcleo interno empezó a formarse y cual ha sido su rango de crecimiento (Jacobs, 1995).

El tiempo durante el cual el núcleo interno fue formado y creció fue modelado por Buffett et al. (1992) basado en la conservación del calor global. El flujo de calor neto de el núcleo externo es equivalente a aquel perdido por el núcleo externo junto con aquél producido por el crecimiento del núcleo interno. Ellos asumen que las temperaturas a través del núcleo externo están determinadas por la temperatura de solidificación tratadas en función de la presión y por lo tanto de la profundidad. El radio del núcleo interno esta también determinado por la temperatura de solidificación. Ellos consideraron dos casos límites en los cuales el núcleo interno esta perfectamente aislado térmicamente y es perfectamente conductivo, hay pequeñas diferencias en sus soluciones para ambos casos. Sus soluciones están en función de la magnitud y tiempo de dependencia del flujo de calor ( $Q$ ) a través de la frontera núcleo manto. Buffett et al. (1992) usaron como ejemplo, valores máximos y mínimos probables de  $Q$  y obtienen el tiempo para que el núcleo interno crezca a su presente tamaño, de 1000 Ma y 3600 Ma, respectivamente

Más adelante Buffett y Lister (1994) consideraron con más detalle la importancia relativa de la convección termal y composicional en el núcleo externo. Ellos concluyen que una convección térmica puede contribuir significativamente a la energía "presupuestada" de el geodínamo, y sugieren que en la tierra

primitiva, cuando el núcleo interno fue más pequeño y  $Q$  probablemente más grande la convección térmica podría haber sido la fuente dominante de energía para el dínamo.

Stevenson et al. (1983), sugirieron que el modo de ponderar el geodínamo puede haber cambiado sobre el tiempo geológico. Antes de la formación del núcleo interno un dínamo "termal" operó en la tierra. Su modelo predice un campo magnético de baja intensidad alrededor de hace 2.5 Ga.

Hale (1987) reportó que los resultados paleomagnéticos apoyan dicho escenario. Las medidas Paleomagnéticas indican un abrupto crecimiento en la magnitud del campo magnético hace 2.7-2.1 Ga.

Buffert y Lister (1994) estiman que con  $Q=6 \times 10^{12}$  W, el núcleo interno podría crecer a su tamaño presente en 1.9 Ga, esto es hace 2.7 Ga. Si  $Q=4 \times 10^{12}$  W este podría tomar más tiempo, no alcanzando su tamaño sino hasta hace 1.8 Ga.

No debe olvidarse, sin embargo, que estos resultados son sólo una estimación basada en un modelo específico y valores vinculados con parámetros críticos de el núcleo de la tierra pero pobremente conocidos. En muchos modelos del geodínamo el núcleo interno es descartado o tratado como aislante.

Hallerbach y Jones (1993) recientemente consideraron los efectos de un conductor o conductividad finita en el núcleo interno, particularmente el resultado del acoplamiento electromagnético entre el núcleo interno y el externo. Incluyen y prescriben una fuerza de flotación (buoyancy) elegida para producir una corriente esencialmente termal independientemente de la latitud. Encontraron que el campo en el núcleo interno no se ajusta instantáneamente a el campo en el núcleo externo, pero tiene una escala de tiempo difusa en varios Ka. El campo magnético oscila fuertemente al profundizar en el núcleo externo, produciendo un campo dipolar externo relativamente estable. El núcleo interno por lo tanto, estabiliza el geodínamo. Las reversiones ocurren cuando débiles fluctuaciones exceden algún umbral, un escenario que recuerda el modelo probabilístico original de Cox (1968). Hollebach y Jones (1993) repitieron este modelo realizando los cálculos con otros valores de el radio del núcleo interno y del núcleo externo. Ellos encontraron que para radios de  $\frac{1}{4}$  o menos sus soluciones dejaban de existir, esto es, si el núcleo interno es tan pequeño, no se tiene control de el dínamo del núcleo externo.

¿El crecimiento del núcleo jugo o no un papel significativo en la iniciación de las reversiones?. El cambio en el radio del núcleo interno podría ser una tentadora explicación para la ausencia de reversiones por largo tiempo durante el superchron normal Cretácico en el Carbonífero Superior y el Superchron inverso Pérmico (Jacobs, 1995).

Clement y Sixrude (1995) han desarrollado un modelo del núcleo de la tierra en el cual el núcleo interno no es sólo anisotrópico elásticamente. Sino también anisotrópico en la conductividad eléctrica y susceptibilidad magnética.

La anisotropía elástica puede ser explicada por una orientación preferencial de una agregación policristalina de un paquete hexagonal cerrado de Fe. Clement y Sixrude (1995) sugieren que tales estructuras podrían también mostrar direcciones preferenciales de magnetización. Si este fuera el caso, podrían explicar varios aspectos del campo magnético terrestre y anomalías en el promedio de tiempo del campo, asimetría de polaridad, y el agrupamiento de caminos del polo geomagnético virtual recurrentes.

Ellos hacen hincapié en que su modelo es especulativo y dependiente de la magnitud de la susceptibilidad magnética del núcleo interno. Sin embargo el éxito de su modelo explica tres diferentes observaciones de el campo magnético de la Tierra, muestra una vez más que el núcleo interior de la tierra puede jugar un papel mucho más primordial en la historia de la tierra que el que originalmente se pensaba. (Jacobs, 1995).

Todos estos modelos sobre la generación del campo sugieren la existencia de dos mecanismos, uno que produce el campo magnético dipolar y otro que provoca la reversión del mismo.

## **1.2 ESCALA DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNÉTICAS<sup>1</sup> (GPTS).**

### **1.2.1 MÉTODOS QUE SE HAN USADO PARA MEDIR LA ESCALA DEL TIEMPO.**

Las GPTS han sido generadas y modificadas desde su origen a medida que las técnicas de datación y de calibración se han modificado. Las técnicas generalmente más usada son:

- a) Dataciones de flujos de lava usando métodos radiométricos.
- b) Por medio de sedimentos marinos con adecuados rangos de sedimentación (con núcleos de hasta 30 m de largo se pueden observar hasta 10 Ma).
- c) Usando magnetoestratigrafía en secuencias expuestas en los continentes o en mediciones de núcleos de pozos, secciones o perfiles, etc.; se basa en la estratigrafía, y requieren de una o más edades absolutas para comparar la sección magnetoestratigráfica con una secuencia de anomalías magnéticas.
- d) Usando anomalías magnéticas. Considerando que el patrón de anomalías magnéticas es causado por una secuencia de bloques magnetizados con polaridades normal y reversa que han sido producidos por la apertura en los ejes de cordillera. Lo importante aquí es determinar la edad absoluta de estos bloques con una adecuada calibración.
- e) Calibración con técnicas astrocronológicas que consideran la precesión del equinoccio y la excentricidad de la órbita de la Tierra usando inferencias de fase que relacionan estos ciclos orbitales y los ciclos sapropelíticos (Hilgen, 1991).

La GPTS tiene como principio que las rocas alrededor del mundo con la misma edad deben de tener la misma polaridad de magnetización.

#### **1.2.1.1 APERTURA DEL PISO OCEÁNICO.**

Ahora es generalmente aceptado que la corteza superior del manto, conocida como Litosfera, esta bajo tensión. Esto es, la litosfera es empujada y separada permitiendo que el magma alcance la superficie en

---

<sup>1</sup> Geomagnetic Polarity Time Scale.

zonas llamadas cordilleras oceánicas que son centros de apertura. Toda la corteza oceánica es parte de un sistema de cinturones moviéndose o surgiendo de las cordilleras oceánicas que eventualmente se sumergen en las trincheras oceánicas. (figura 1.4).

Un respaldo para la hipótesis de *apertura*, fue provista por Vine y Matthews (1963) y Morley y Larochelle (1964), los que interpretaron a las anomalías magnéticas observadas en el mar como bloques alternados con polaridad normal y polaridad reversa.

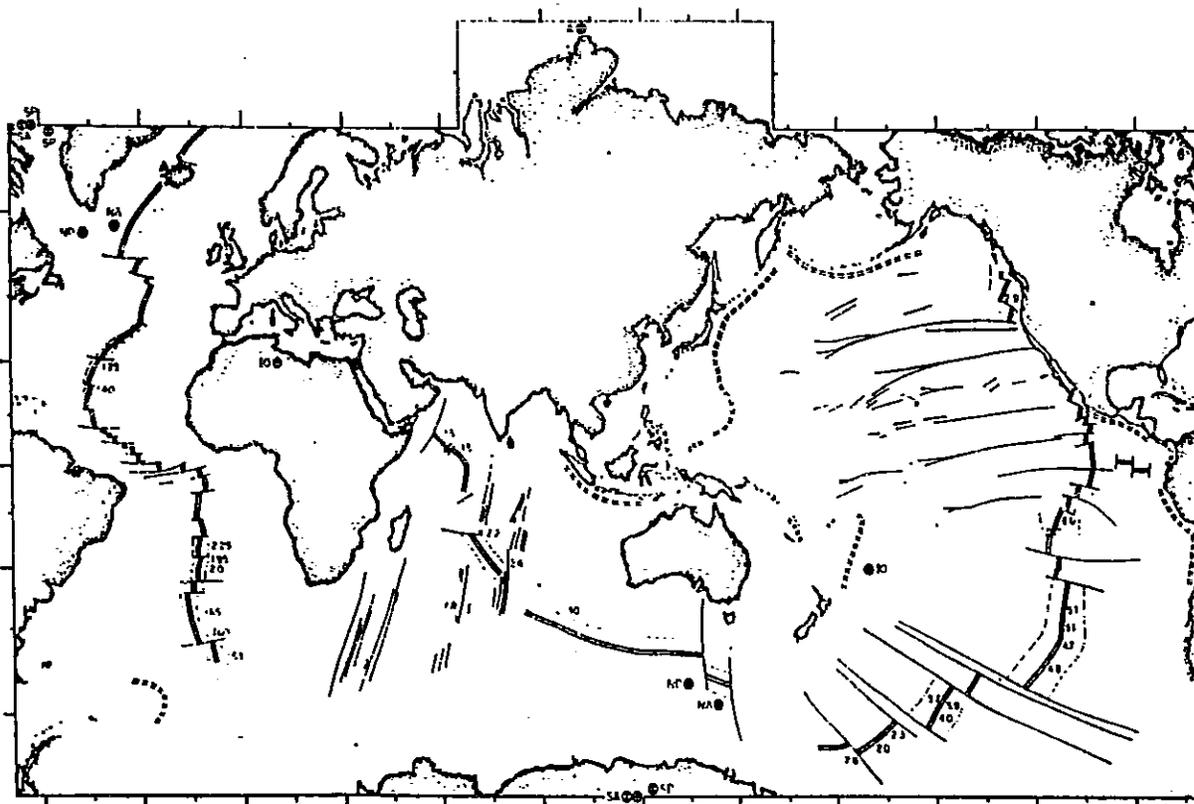


Figura 1.4. Localización de los ejes de las cordilleras oceánicas, las zonas de apertura, y las de subducción. La doble línea define los ejes de apertura y la doble línea punteada define las zonas de subducción; las líneas punteadas definen las isocronas de 10 Ma, los números cerca de los ejes dan la velocidad media de apertura en centímetros por año. (Heizler et al., 1968).

Ellos se dieron cuenta de que la nueva corteza era formada en las cordilleras oceánicas de acuerdo con la hipótesis de *apertura oceánica*; que se enfriaba y que a la temperatura de Curie se magnetizaba de manera paralela al campo magnético existente. Que el material cercano a las cordilleras oceánicas actúa como un registro del campo magnético pasado y de su polaridad, y que estos cambios algunas veces pequeños quedan registrados horizontalmente en el material arrojado una vez que se alejan del centro de apertura (Merrill y McElhinny, 1983).

### 1.2.1.2 ANOMALÍAS MAGNÉTICAS Y SU INTERPRETACIÓN.

Las anomalías magnéticas han provisto de una rica fuente de información sobre las reversiones magnéticas de la edad Oxfordiana (160 Ma) a la fecha. La principal razón para la alta fidelidad de el registro de las anomalías magnéticas es la marcada continuidad del proceso geológico en el cual se crea nueva corteza en la parte central a lo largo de la cordillera oceánica. La simetría observada en varios centros

de apertura jugó un importante papel en el convencimiento de los geofísicos de que las placas se estaban separando en un eje de apertura pero debido a la presencia de montañas oceánicas y otras irregularidades geológicas se producen pequeñas alteraciones que provocan algo de ruido en los perfiles magnéticos, i.e., la generación de *gaps* y duplicaciones debido al *brinco* de la cordillera a una nueva posición, cambios en la velocidad de las placas para diferentes tiempos, etc.

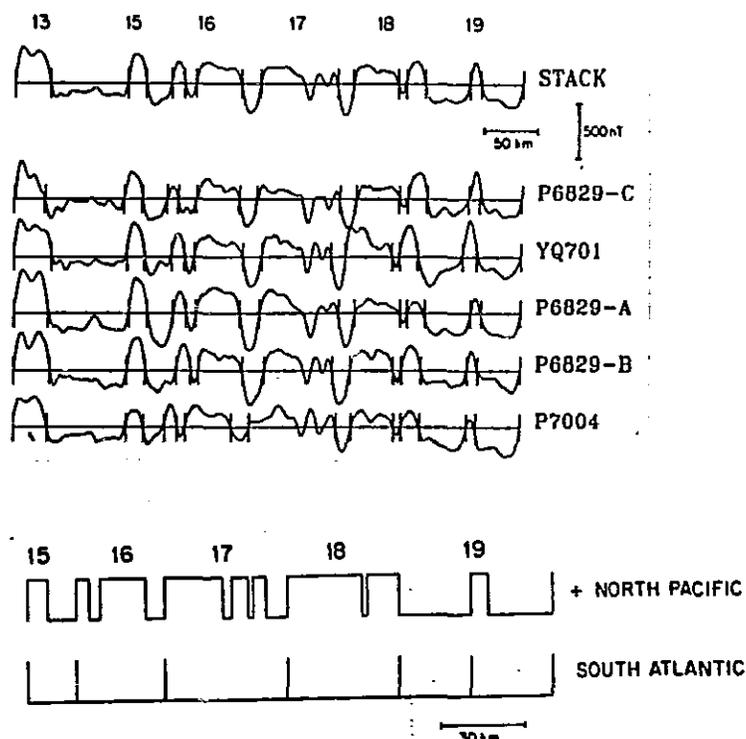


Figura 1.5. En la parte superior se muestran cinco perfiles del Pacífico Norte que han sido promediados y en donde las barras verticales construyen el ancho de las anomalías entre la 15 y la 20. En la parte inferior se dan las distancias entre la anomalía 15 y la 20 como una combinación de las distancias de categoría II del Atlántico Sur (abajo), y el detalle de el promedio de la longitud de las anomalías del Pacífico Norte. (Cande y Kent, 1992).

Para tratar de suavizar o detectar este ruido, se comparan los perfiles de diferentes partes del mundo para identificar aquellas anomalías que aparecen en todos ellos y que sean de alta calidad, y en esta forma determinar cuales anomalías corresponden a reversiones geomagnéticas reales (figura 1.5).

Para poder interpretar las anomalías magnéticas tenemos que considerar que la inversión de los datos de anomalías magnéticas no es única ya que existe un número infinito de modelos de distribución de magnetización para un patrón de anomalías. Asociado con este problema está el hecho de que la tierra misma actúa efectivamente como un filtro. El potencial magnético encima del piso oceánico puede ser descrito como una función de la distancia horizontal  $X$  en una tierra modelo en términos de sus componentes de Fourier.

$$\phi(x,0) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \frac{n\pi x}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x}{L}$$

donde  $2L$  es la longitud del trayecto en el cual las mediciones fueron tomadas. Debido a la expresión matemática que satisface la ecuación de Laplace. A medida que aumenta la elevación, existe un filtro exponencial de más alta longitud de onda que suaviza los datos. Esto tiene el efecto de que cualquier error en la medición de datos será grandemente amplificado en una continuación descendente. Lo que significa que una medición hecha lo más cercano a la fuente, en principio, es mejor, pero substancialmente más grande en el costo. Tampoco se puede esperar el obtener mucha información sobre las anomalías magnéticas de la corteza que tengan longitudes de onda más corta que la distancia de la fuente anómala a el instrumento. Por lo que el detalle de la historia del campo magnético obtenido por datos de satélite no son tan buenos como lo serían de datos de las anomalías obtenidas en el mar.

Un método para reducir este problema fue introducido por Blakely y Cox (1972), (en Merrill y McElhinny, 1983) quienes apilaron los datos obtenidos transversalmente de varios centros de apertura. Pero antes de hacer esto fue necesario la transformación al polo geográfico de los datos (reducción al polo) asumiendo un campo dipolar geocéntrico axial.

Lo anterior fue necesario debido a que las anomalías varían como una función de la latitud y una simple suma o apilamiento de la intensidad de la anomalía después de ajustarlas por los diferentes rangos de apertura podría resultar en una interferencia destructiva, a pesar de los reflejos históricos de reversiones idénticas. Blakely y Cox (1972) observaron que si todas las anomalías eran transformadas al polo suponiendo un campo axial dipolar geocéntrico, este problema podía ser eliminado, y que apilando los datos de las anomalías en esta forma el ruido podía reducirse.

La interpretación de los perfiles magnéticos comienza con el uso de *modelos geofísicos*, el más común es una corteza formada por una secuencia de prismas que están magnetizados alternadamente con un magnetismo normal y reverso los cuales se generan hasta encontrar el conjunto de prismas óptimos con un ancho  $w_i$  que ajustados a un perfil magnético dado, genera la mejor señal. Los diferentes espesores representan en términos estratigráficos un conjunto de zonas con polaridad magnética, relacionadas con la duración  $\tau_i$  de su *chron* de polaridad correspondiente por:

$$\tau_i = \frac{w_i}{v}$$

donde  $v$  es la mitad de la velocidad de apertura en el momento en que la corteza oceánica se formó. Razón por la cual es muy importante para el posterior desarrollo de la escala determinar con precisión la velocidad de apertura que tenía la corteza en el momento de la magnetización.

La longitud del intervalo de polaridad más corto detectable depende de la velocidad de apertura, la longitud del prisma más corto que puede ser detectado en el perfil magnético, y de la longitud de la escala de irregularidades en el proceso geológico por el cual se formo nueva corteza oceánica (Harland et al. 1982).

Idealmente un perfil *tipo* para cada sistema de cordilleras sería uno que pudiera ser usado para determinar la historia de apertura de esa cordillera.

En realidad, un sólo perfil magnético no refleja la historia completa de apertura de un sistema de cordilleras debido a irregularidades tales como periodos de apertura asimétrica, pequeños brincos de cordilleras, propagación del rift, etc.

Una representación más exacta de la historia de apertura puede ser obtenida determinando polos de rotación finita con espaciamentos cercanos, basados en anomalías magnéticas y direcciones de zonas de fractura a lo largo de toda la cordillera de apertura.

Los polos de rotación toman en cuenta la apertura asimétrica, los brincos de la cordillera y otras irregularidades locales en la apertura que pueden distorsionar la secuencia de anomalías magnéticas a lo largo de un perfil particular.

Los intervalos de tiempo en los que se mantiene una misma polaridad magnética, fueron llamados *épocas* y los intervalos cortos fueron llamados *eventos*.

Las épocas fueron llamadas con el nombre de pioneros en la ciencia del geomagnetismo como: Brunhes, Matuyama, Gauss y Gilbert, mientras que los eventos fueron llamados según su descubridor.

La subcomisión internacional de la clasificación estratigráfica más adelante adoptó el término de *chron* y *subchron* para reemplazar los términos de época y evento.

## 1.2.2 BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS GPTS.

Mercanton, (1926) (en Merrill y McElhinny, 1983) concluyó que las rocas alrededor del mundo de la misma edad debían de tener la misma polaridad de magnetización. En los 60s, se desarrolló un método para datar rocas volcánicas jóvenes por el método de K-Ar, de una manera más ó menos precisa (McDougall y Tarling 1964). Y se realizaron estudios sistemáticos para definir una GPTS usando la polaridad magnética y la determinación de la edad en flujos de lava jóvenes por K-Ar más adelante se haría con  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , tanto en Estados Unidos como en Australia.

Vine y Matthews (1963) sugirieron que las anomalías magnéticas en zonas de apertura podían estar relacionadas con el campo geomagnético.

Cox et al. (1964) compararon el resultado de varios estudios y propusieron una escala más detallada basada en 64 muestras.

Vine y Wilson (1965) usaron el modelo de Vine y Matthews para generar anomalías magnéticas sintéticas.

Pitman y Heirtzler (1966) generaron una GPTS para los últimos 10 Ma usando perfiles de la Cordillera Pacífico-Antártida y asumieron una apertura media de 4.5 cm/a que produce resultados consistentes con la GPTS publicada en ese tiempo.

Vine (1966) ensambló una escala de tiempo radiométrica compuesta basada en Cox et al. (1964) y en Doell y Dalrymple (1966). Vine (1968) usó esta escala de tiempo para determinar rangos de apertura para las algunas cordilleras (i.e. Juan de Fuca, Pacífico-Atlántico, Noroeste de la India, Atlántico Sur, etc.). Generó una escala de anomalías magnéticas para los últimos 11.5 Ma usando 19 datos de la cordillera Pacífico-Antártida y una velocidad media de apertura de 4.4 cm/a.

Vine (1968) examinó un perfil magnético obtenido en la misma zona y reconsideró la velocidad media de apertura proponiéndola como de 4.6 cm/a y generó una GPTS con una buena aproximación para los últimos 11 Ma; y demostró que el patrón de las anomalías era similar en carácter (rasgos) a aquellos perfiles magnéticos obtenidos de los océanos Atlántico Norte y Sur, el Océano Índico, y el Pacífico Norte, estos diferían solamente en los rangos de apertura. El entonces generó un modelo de bloques como fuente magnética entre aproximadamente la ahora llamada anomalía 21 y la 33, del perfil central del Pacífico Norte, los cuales siguiendo una extrapolación dieron edades de 50 a 75 Ma. Estos primeros resultados sustentaron la hipótesis de Vine y Matthews (1963).

Con el descubrimiento e interpretación de los perfiles de anomalías magnéticas, Heirtzler et al. (1968) generaron la escala de polaridades magnéticas HDHPL-68. Toman la escala de tiempo obtenida por datos radiométricos (Cox et al. 1964) hasta los 3.5 Ma y la extrapolan linealmente hacia atrás hasta los 76.33 Ma.

Gracias a la magnetoestratigrafía más adelante nuevos puntos de control se añadieron lo que debilitó la teoría de apertura constante (Ness 1980, Lowrie y Alvarez 1981, Berggren 1985, Harland et al., 1982, Harland et al., 1990). Pero no fue hasta Cande y Kent (1992) que se desarrolló una nueva GPTS basados otra vez en perfiles magnéticos de las cuencas oceánicas, siendo la primera vez después de Heirtzler (1968), que la escala se determinó nuevamente a partir de los perfiles de anomalías magnéticas. Sin embargo esta escala presenta problemas en la calibración en algunas edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (i.e 66.1 Ma para la frontera Cretácico-Terciario en vez de 65 Ma) aunque ya incorpora dataciones astronómicas para la primera parte de la escala.

Estudios más recientes (Shackleton 1989; Hilgen 1991a,b; Baksi 1993a, 1994) han venido a modificar la parte más joven de la escala con calibración astronómica y con edades de meseta  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Baksi (1993b) construye una nueva GPTS usando la técnica de Cande y Kent (1992), pero con otros puntos de calibración. En principio la escala de Baksi (1993b) tiene una mayor resolución y es más exacta que la GPTS convencional basada en interpolación lineal entre los puntos de calibración radiométrica y la secuencia de anomalías magnéticas (pero sólo la extiende hasta los 18 Ma aproximadamente). La discrepancia entre la edad radiométrica K-Ar y la edad calibrada astronómicamente es proporcionalmente constante.

Cande y Kent (1995) presentaron la revisión de dos de los 7 puntos de calibración de la escala de Cande y Kent (1992) proponiendo una edad de 65 Ma para la frontera entre el Cretácico/Paleógeno, en vez de los 66 Ma que habían utilizado para su primera escala. También realizan un ajuste a la cronología

geomagnética para el Cretácico Tardío y el Cenozoico que es consistente con la astrocronología para el Pleistoceno y el Plioceno; y con la nueva escala propuesta para el Mesozoico.

Casi simultáneamente Wei (1995) presenta su GPTS. En ella revisa los 5 puntos restantes de la escala CK-92, basado en datos recientes de fechamientos radioisotópicos y magnetoestratigráficos.

### **1.3 ESCALAS DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNETICAS (GPTS) ANALIZADAS EN ESTE TRABAJO.**

#### **1.3.1 ESCALA DE HEIRTZLER ET AL., 1968 (HDHPL-68).**

Esta escala es la primera en ser propuesta a partir de anomalías magnéticas. Dan por hecho que el patrón de anomalías magnéticas es causado por una secuencia de bloques, magnetizados con polaridad normal y reversa, que ha sido producto de la apertura del piso oceánico en los ejes de las cordilleras.

Determinan la edad absoluta de esta GPTS usando datos paleomagnéticos y paleontológicos.

Asumen que las anomalías magnéticas lineales subparalelas al eje de cordillera son debidas a las inversiones del campo magnético.

Trabajan con los perfiles del Pacífico Norte y Sur, del Océano Indico y del Atlántico Sur. Con cada perfil la GPTS generada difiere.

Heirtzler et al. (1968) propone su GPTS extrapolada basada en el perfil del Atlántico Sur, el cual es seleccionado como el mejor debido a que:

1. El patrón de anomalías del perfil del océano al Sur de la India no era suficientemente largo.
2. El perfil del pacífico Norte estaba muy distorsionado cerca de los ejes de cordillera para ser extrapolado.

La historia de apertura del Pacífico Sur era variable y daba una GPTS extrapolada demasiado joven.

##### **1.3.1.1 GENERACIÓN DE LA ESCALA DE HEIRTZLER ET AL., 1968 (HDHPL-68).**

Extrapolan la GPTS a partir de la época de Gilbert 3.35 Ma hacia atrás hasta cerca de los 80 Ma, gracias a un fechamiento asignado a una zona cercana a la anomalía 32 a la que se le asigna la edad de 73 Ma dada por Vine (1966), (en Heirtzler et al, 1968), para este punto. Al escoger la escala del Atlántico Sur suponen que el piso oceánico ha tenido un rango de apertura constante en la localidad del perfil V-20 para los últimos 80 Ma (figura 1.6).

Obtienen el tiempo de las inversiones magnéticas y su correspondiente edad para las anomalías de polaridad normal y polaridad reversa dividiendo la distancia del modelo de cuerpos magnetizados para el Atlántico Sur entre la apertura axial calculada por Dickson et al. (1968), para la zona como de 1.9 cm/a.

El éxito de la escala de HDHPL-68, puede ser calibrado por el hecho de que a pesar de que partes de la secuencia de reversiones fueron revisadas subsecuentemente casi la mitad de el espaciamento relativo original de reversiones (6C al 29) fueron usados virtualmente en casi todas las revisiones hasta Cande y Kent (1992). Es claro también que la escala de HDHPL-68 tiene errores y por lo tanto las escalas subsecuentes basadas en ella también.

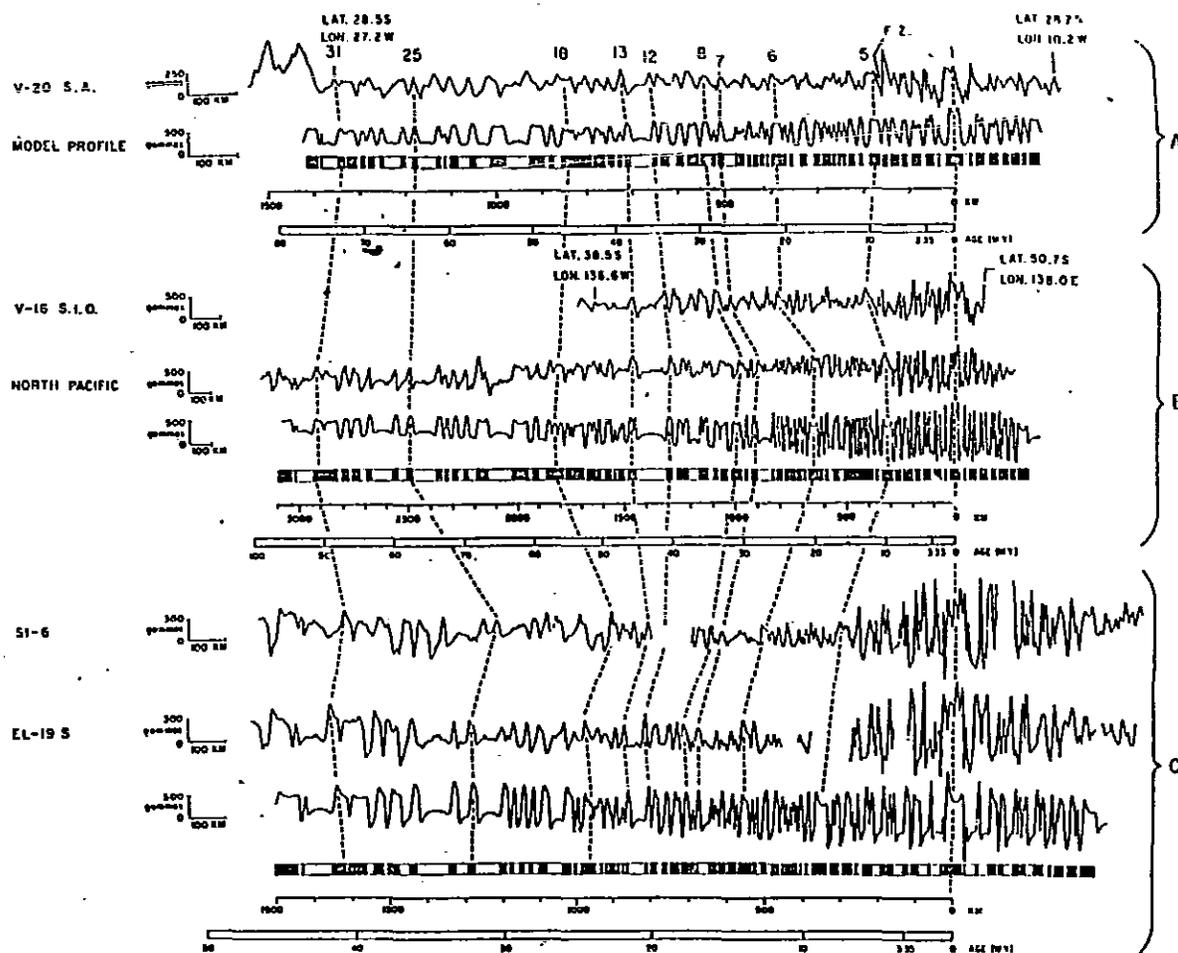


Figura 1.6 Muestra de los perfiles magnéticos de varios océanos. El del Atlántico Sur (S.A.), el del Sur de Océano Índico (S.I.O.) el del Pacífico Norte (N.P.) (SI-6, EL-19S). Debajo de cada perfil observado se muestran los perfiles teóricos calculados a partir de bloques magnetizados normal (negro) y reverso (blanco) (Heirtzler et al., 1968)..

### 1.3.1.2 ESCALA HDHPL-68 COMO BASE DE LAS ESCALAS SUBSECUENTES.

La evaluación de la GPTS de 1968 ha envuelto dos clases de revisiones.

#### *Revisión de anomalías:*

Talwani et al. (1971) propusieron la revisión de las edades relativas de las anomalías 2-4A.

Larson y Pitman (1972) añadieron las anomalías 33 y 34 a la secuencia.

Blakely (1974) apiló varios perfiles del Noreste del Pacífico y reviso la longitud relativa de las anomalías 4A a la 6.

Kligord et al. (1975) examinaron con remolques profundos varios segmentos de la cordillera del Pacífico y revisaron las anomalías 1 a la 3A.

Cande y Kristoffersen (1977) revisaron la longitud de las anomalías 30 a 34 con un análisis global.

LaBrecque et al. (1977) incorporaron estos cambios en su revisión de la escala de tiempo (LKC77) y borrararon la anomalía 14 de la secuencia ya que fue reconocida como un artificio de la escala de HDHPL-68.

Sin embargo LaBrecque et al. (1977) encontraron dificultades para empalmar las porciones revisadas de Heirtzler et al (1968). Por ejemplo, Blakely (1974) unió, sus revisiones de la longitud de las anomalías 4A a la 6 a la punta más joven de la anomalía 5 de HDHPL-68. Como la longitud relativa de la anomalía 4 a 5 en Blakely (1974) es considerablemente mayor que en HDHPL-68 y no se hizo ningún cambio a la edad de la anomalía 3A, la anomalía 3A a 4A es comprimida en LaBrecque et al. (1977), lo que se refleja en la escala de Harland et al., 1982 (HCLPSW-82) y que fue reconocido pero no resuelto por la escala de Harland et al., 1990 (HACCSS-90) (tomado de Cande y Keir 1992).

#### ***Revisión de edades de calibración.***

Heirtzler et al. (1968) asumen un rango de apertura constante en el Atlántico Sur y usan *un sólo punto* de calibración en la parte más vieja de la anomalía 2A para extrapolar las edades a la anomalía 33.

LaBrecque et al. (1977) *añade un punto* de calibración en la punta más vieja de la anomalía 29 basado en magnetoestratigrafía que coloca a la frontera del Cretácico/Paleogeno en la mayor parte del Chron C29r.

Todas estas escalas mantienen intacta la suposición de apertura constante en el Atlántico Sur.

Esfuerzos de calibración subsecuentes añadieron mayores puntos de control basados en el desarrollo de la magnetoestratigrafía lo que debilitó la teoría de una apertura constante en el Atlántico Sur (Ness, 1980; Lowrie y Alvarez, 1981; Harland et al., 1982; Harland et al., 1990; Berggren, 1985 y 1988).

### **1.3.2 ESCALA DE HARLAND ET AL., 1982 (HCLPSW-82).**

La escala de Harland et al., 1982, (HCLPSW-82), fue una modificación sutil de la escala de Lowrie y Alvarez (1981), en la cual 11 puntos de control bioestratigráfico son usados para ajustar linealmente la escala de LKC77 (LaBrecque et al, 1977). Sin embargo lo primero que hacen es abandonar los puntos de calibración para el Eoceno y Paleoceno, por que estos *"...parecen producir cambios poco reales en los rangos de velocidades de apertura y como el modelo corresponde a una velocidad de apertura casi constante, estos cambios de velocidad de apertura parecen ser sólo aparentes como resultado de la incertidumbre radiométrica"* (Harland et al., 1982), manteniendo así su hipótesis de apertura constante.

### 1.3.2.1 GENERACIÓN DE LA ESCALA HCLPSW-82.

La edad de frontera entre el Eoceno y Paleoceno fue encontrada por interpolación asumiendo una velocidad de apertura constante, asignando una edad de 57.8 Ma para dicha frontera, lo que producía una reducción en los cambios “*aparentes*” de velocidad que variaban de una velocidad rápida durante el Eoceno a una lenta durante el Paleoceno.

Asumen también que el cambio de velocidad de apertura en el Cretácico Tardío y el Terciario temprano en la escala de Lowrie y Alvarez (1981) era debido a “*pequeños errores*” en la edad radiométrica usada, más que debido a los cambios reales en la velocidad de apertura.

Usando datos calculados con una nueva constante de decaimiento, la edad de frontera entre el Cretácico, y el Terciario, fue tomado como de 65 Ma.

Así mismo realizaron un ajuste de cerca de 1 Ma en la frontera inferior y superior del Campaniano, basándose en los rangos de incertidumbre de las dataciones radiométricas.

Harland et al. (1982), usaron la escala de Ness et al. (1980) para calibrar la correlación estratigráfica de Lowrie y Alvarez (1981) y para identificar el intervalo de polaridad que contiene cada punto de calibración. Como el modelo de Lowrie y Alvarez (1981) tenía variaciones de velocidad de apertura muy drásticos, decidieron usar la escala de LaBrecque et al (1977) en vez de Lowrie y Alvarez (1981) obteniendo un conjunto de valores más consistentes con el modelo de apertura oceánica constante.

Harland et al (1982) atribuyeron estos grandes cambios “*aparentes*” en la velocidad de apertura a “*artificios*” resultado de la incertidumbre en las edades isotópicas de la frontera entre el Eoceno y Paleoceno, las cuales no estaban bien definidas por los datos isotópicos disponibles.

En resumen, la escala de Harland et al., 1982 (HCLPSW-82), esta basada en:

- a) 0-3.4 Ma en la de Mankinen y Dalrymple (1979).
- b) 3.4-10.3 Ma la escala de Ness et al (1980)
- c) 10.3 a 83 Ma la escala fue generada por ajuste lineal de la escala de Ness et al (1980), usando la correlación estratigráfica de LaBrecque et al. (1977).

La GPTS HCLPSW-82 esta dada con una precisión de 0.01 Ma.

### 1.3.3 ESCALA DE HARLAND ET AL., 1990 (HACCSS-90).

En Harland et al. (1982), se propuso una edad de 57 a 58 Ma para la frontera del Eoceno-Paleoceno con la cual se reduce grandemente el aumento de velocidad en el movimiento de placas durante el Eoceno y su aparente disminución durante el Paleoceno, que es implícita cuando se escoge la de 54.9 Ma, propuesta por Berggren et al (1985a, 1985b), quienes observan que existe diferencia en la estratigrafía propuesta. Esto es, se podría haber argumentado que mientras las edades numéricas usada para el Eoceno/Paleoceno y otros cronogramas pudieran ser analíticamente correctas, Harland et al. (1982) estaban asignándolas a una posición estratigráfica diferente.

Después de revisar las evidencias Harland et al. (1990) concluyen que ha habido cambios en los rangos de apertura del Atlántico Sur.

Para esta nueva escala HACCSS-90, Harland et al. (1990), se basan en la secuencia original de anomalías magnéticas de la escala de HDHPL-68.

En el último intervalo de 69.95 a 85.29 incorporaron los datos del Pacífico Norte recomendados por LaBrecque et al. (1977) quienes asumieron que la apertura del Pacífico Norte era constante entre las anomalías 23 a 34; usaron los puntos de control en la escala de HDHPL-68 para la parte más joven de la anomalía C23N que finalmente establecen a los 58.04 Ma y para la parte más vieja de la anomalía C29N la cual definen a los 69.44 Ma.

### 1.3.3.1 GENERACIÓN DE LA ESCALA HACCSS-90.

La escala fue generada considerando dos cosas:

#### *a) Fechamiento isotópico directo de las anomalías magnéticas.*

Para calibrar la secuencia de anomalías magnéticas en la escala de HACCSS-90 se usaron dos métodos; el primero por la datación de las reversiones magnéticas y el segundo por la determinación de fronteras a través de cronogramas<sup>2</sup> que pueden ser atados a la GPTS.

Las dataciones de anomalías son relativamente abundantes en el intervalo de 0-15 Ma. Para el intervalo que va del tiempo presente a hace 3.4 Ma, contaron con 350 dataciones de K-Ar de rocas extrusivas de muchas parte del mundo con su correspondiente polaridad magnética. La determinación de frontera por cronogramas aumento en importancia para chrons de mayor edad.

El segundo método de calibración se basa en la datación de la secuencia de anomalías bioestratigráficamente y entonces relacionan la bioestratigrafía con las edades isotópicas.

#### *b) Calibración de la escala de HDHPL-68 en relación al espacio entre anomalías con las edades isotópicas.*

Los valores de las dataciones de anomalías magnéticas fueron tomados de la escala de HDHPL-68 y graficados contra el tiempo en Ma. Un proceso similar se hizo con las edades del cronograma, encontrándose una razonable concordancia entre estos dos conjuntos de datos. Los dos conjuntos fueron por lo tanto combinados para calibrar la GPTS. Por inspección visual se ajustaron tres segmentos lineales a los

---

<sup>2</sup> Los cronogramas son contruidos para expresar la factibilidad estadística de algún valor de edad para la frontera estratigráfica que este siendo evaluada en particular [Harland et al. (p.105, 1990)]. Un cronograma es una gráfica de la función de error contra la edad que se trata de investigar (scanning age). La mejor estimación de la edad de calibración es tomada como la edad para la cual esta función es mínima. Obviamente, donde no existen datos en un intervalo investigado dado, no existe un mínimo único, sin embargo existe un rango en el cual el mínimo puede caer. La edad de los cronogramas para cada frontera, envuelve la influencia de todos los datos isotópicos disponibles pesados de acuerdo con los errores analíticos individuales. Cuando los combinamos con los datos de anomalías magnéticas datadas isotópicamente, ellos proveen de un conjunto de datos que hace que todos los datos isotópicamente disponibles y la información magnética sean más que unos pocos puntos claves. Esto es, una nueva determinación de la edad para una particular frontera o anomalía magnética, no altera grandemente la escala de tiempo a menos que muchos de los datos preexistentes sean rechazados o su error de estimación aumente substancialmente.

datos. El primero para el intervalo entre 0-3.4 Ma, el segundo para el intervalo de 9-50 Ma y el tercero para el intervalo de 50 a 90 Ma. No se usaron datos en el intervalo de 3.4 - 9 Ma (ver figura 1.7).

De 0-3.4 Ma, el conjunto de datos tiene un buen ajuste a la regresión lineal de la ecuación del primer segmento de recta. En el segmento que va de 9 a 50 Ma, existe una razonable congruencia entre los datos magnéticos y los datos del cronograma de 9 Ma a 41.4 Ma. A partir de aquí hay divergencia entre los datos del cronograma para la frontera entre

Bartonian\Lutetian	41.4 Ma
Lutetian\Ypresian	48 Ma
Ypresian\Thanetian	53.4 Ma

La parte más joven de la anomalía magnética C21N esta isotópicamente datada en 49.3 Ma y la estimación del cronograma esta datada en 45 Ma. Por lo que es 4 Ma más joven que la estimada. De 50 a 85 Ma, no hay datos de anomalías magnéticas en el intervalo, pero se contó con un buen control por los 4 cronogramas en este intervalo de tiempo, cada uno podría ser usado para calibrar un pequeño segmento lineal en la escala de anomalías magnéticas. Sin embargo el control es pobre y el punto Mastrichiano/Campaniano claramente cae fuera de la línea de mejor control de los datos y arbitrariamente toman una línea del Paleoceno al Campaniano, aproximadamente de 55 Ma a 79 Ma, con el deseo de no cambiar los datos de Harland et al. (1982) cuando no existen datos que sugieren dichos cambios, por lo tanto se fijaron la fronteras en:

Terciario/Cretácico en 65 Ma.

Campaniano/Santoniano en 83 Ma.

La escala de Harland et al. (1990) esta dada con una precisión de 0.01 Ma

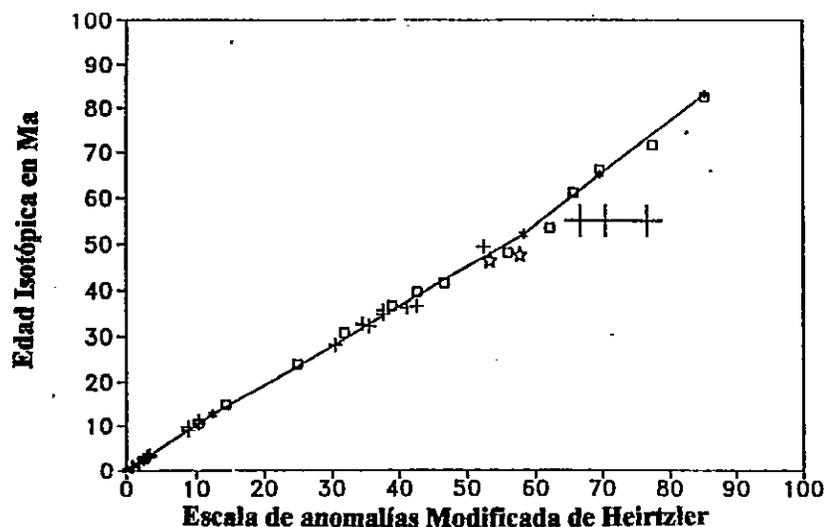


Figura 1.7 Calibración de la escala de tiempo de el Cenozoico con anomalías magnéticas del piso oceánico. Visualmente los datos pueden ser divididos en tres segmentos lineales. El primero y el segundo segmento se intersectan en el lugar del primer asterisco a la izquierda de la gráfica. El segundo y tercer segmentos se intersectan en el segundo asterisco en el centro de la gráfica. El tercer segmento se ajusta a los restantes tres asteriscos. La inversión de las pendientes de los tres segmentos son medidas de los rangos de apertura relativa en el Atlántico Sur (Harland et al., 1990).

### 1.3.3.2 RANGOS DE APERTURA RELATIVOS.

La inversión de las pendientes de los tres segmentos son medidas de los rangos de apertura relativa en el Atlántico Sur. Ellas son de

0.98	de	0-12 Ma	= 1
1.17	de	12-53 Ma	= 1.19
0.87	de	52-83 Ma	= 0.89

Este último valor se obtiene cuando se asocia un valor de 1 a la primera pendiente (figura 1.7).

Sin embargo si varios perfiles magnéticos están disponibles para la misma secuencia de anomalías, es posible determinar cuando hay cambios significativos en el rango de apertura de una cuenca oceánica sin referirse a la GPTS.

La comparación de los perfiles de anomalías del Atlántico Sur con otras cuencas oceánicas, sugieren que los rangos de apertura del Atlántico Sur cambian entre

C24 y C25	Paleoceno Tardío	59.43-60.53
C26 y C27	Paleoceno Medio	64.14-67.10

y que se mantienen constantes durante el

C11 y C24	Oligoceno Medio-Eoceno Temprano	33.15-59.43
-----------	---------------------------------	-------------

y del pre-Eoceno al Maastrichtiano, los datos de tiempo sugieren que la apertura constó de al menos cuatro episodios de corta duración

### 1.3.4 ESCALA DE CANDE Y KENT 1992 (CK-92).

Cande y Kent (1992) construyen una GPTS para el Cretácico Tardío y el Cenozoico basada en el análisis de perfiles magnéticos de cuencas oceánicas del mundo.

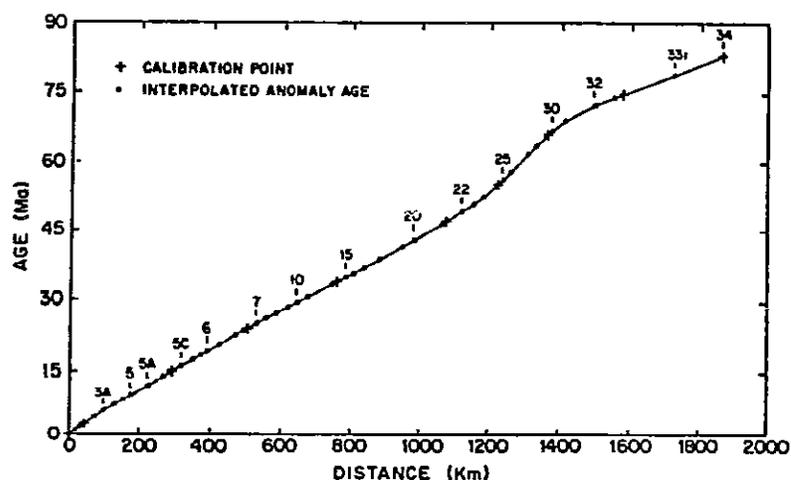


Figura 1.8 Las edades de las anomalías magnéticas (puntos) fueron determinadas por la interpolación de una curva de ajuste de una función de aproximación cúbica, a los puntos de calibración (cruces). (Cande y Kent, 1992)

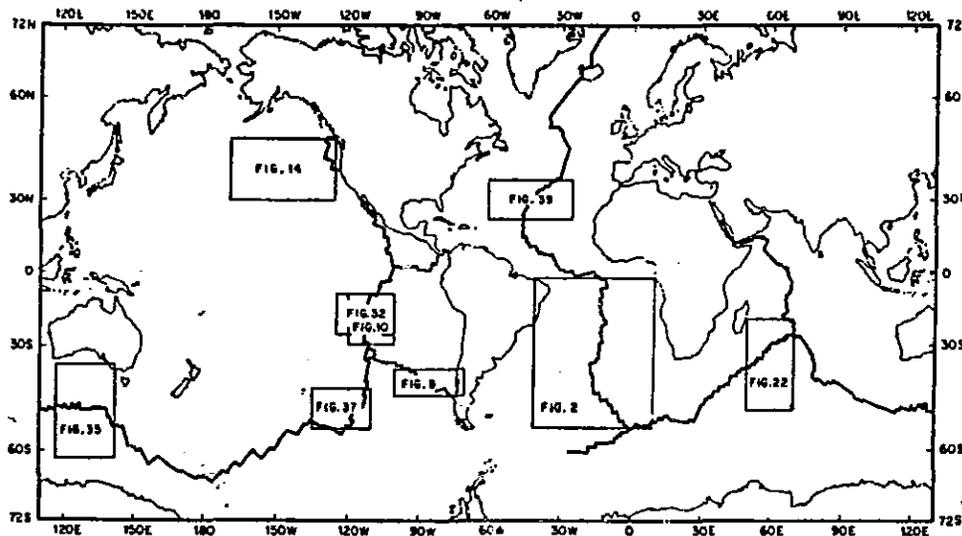


Figura 1.9 Mapa de referencia que muestra la localización de las áreas de donde se tomaron los datos para el estudio de Cande y Kent (1992).

Esta es la primera vez desde Heirtzler et al. (1968) que el ancho relativo de los intervalos de polaridad magnética para todo el Cretácico y el Cenozoico son determinados sistemáticamente a partir de perfiles magnéticos y no de GPTS anteriores. La secuencia de polaridades geomagnéticas es derivada basada principalmente en datos del Atlántico Sur como se muestra en la figura 1.5.

Espaciamentos anómalos en el Atlántico Sur fueron constreñidos por una combinación de polos de rotación finitos y promedios de perfiles apilados. La información para una escala más detallada fue derivada a partir de perfiles magnéticos de cordilleras de apertura rápida en el Pacífico y el Océano Índico e insertadas en la secuencia del Atlántico Sur.

Basados en la suposición de que los rangos de apertura del Atlántico Sur están variando suavemente pero no son necesariamente constantes, la GPTS fue generada por la interpolación de una función cúbica de ajuste (figura 1.8) de un conjunto de nueve puntos de calibración más una edad cero en el eje de la cordillera.

#### 1.3.4.1 GENERACIÓN DE LA ESCALA CK-92.

Cande y Kent (1992) buscaron perfiles magnéticos largos de diferentes océanos que individualmente fueran registros de alta fidelidad del patrón de reversiones en intervalos de 10 a 20 Ma. Se compararon pares de perfiles de diferentes cuencas oceánicas y se identificaron secciones de varios kilómetros de largo que parecían haberse formado con un rango de apertura constante (figura 1.9 y 1.10).

Un procedimiento que probó ser aceptable fue el *determinar una sección de referencia basada en el patrón de apertura del piso oceánico en un sólo sistema de cordilleras*. (figura 1.11).

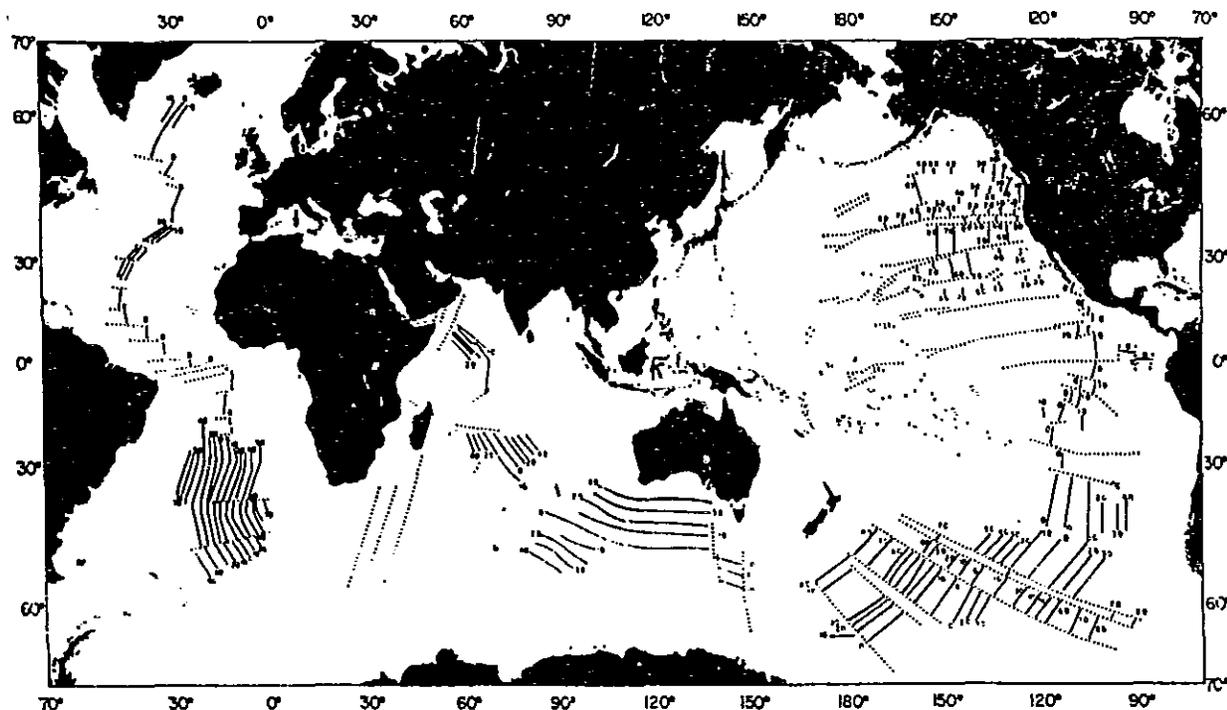


Figura 1.10 Mapa de Isocronos de el piso oceánico de acuerdo con el patrón de anomalías. Los números en las líneas de isocronos representan la edad en millones de años. Las líneas punteadas representan las zonas de fractura (Heirtzler et al., 1968).

Debido a que la apertura del fondo oceánico en el Atlántico Sur se ha preservado en ambos lados de la cordillera, es posible compensar los brincos de la cordillera y la apertura asimétrica de ésta, que están documentados para una larga base de datos de líneas de barco, líneas aeromagnéticas y observaciones altimétricas de satélite. Cande y Kent (1992) eligieron la cordillera del Atlántico Sur con base a su estructura, con una sección de referencia de la anomalía 34 al presente. Por muchas de las razones anteriores Heirtzler et al. (1968) también escogieron los perfiles de las anomalías del Atlántico Sur para usarlos como referencia.

Cande y Kent (1992) usaron una combinación de polos de rotación finita y apilamiento de perfiles del Atlántico Sur para construir la estructura de la GPTS.

Las distancias basadas en polos de rotación finita entre las anomalías seleccionadas están referidas como intervalos de *Categoría I*. Subdivisiones de estos intervalos basados en el apilamiento de perfiles de la anomalía seleccionada, están referidos como intervalos de *Categoría II*. Consideraron que para algunas porciones de la GPTS los intervalos de la *Categoría II* eran adecuados para definir el espaciamiento entre anomalías, e.g. entre anomalía 20 y 23, entre anomalía 33 y 34.

En muchos de los intervalos para encontrar el patrón de reversiones a detalle, fue necesario usar anomalías magnéticas de cordilleras con velocidades de apertura grandes. Tales como el Pacífico Norte y el Océano Índico. Esta subdivisión fina de las anomalías es referida como intervalos de *Categoría III*.

Una consecuencia de esta intercalación de perfiles es que no se tiene una resolución uniforme en toda la secuencia. Para compensar esto y reconociendo el origen ambiguo de estos cambios rápidos (Tiny Wiggles), Cande y Kent (1992) excluyeron los eventos con longitudes menores a 0.03 Ma, de la compilación

final de la GPTS. Sin embargo estos datos fueron introducidos en la escala, y en este trabajo, para realizar el análisis de la escala llamándola ahora como CK-CHRON-92.

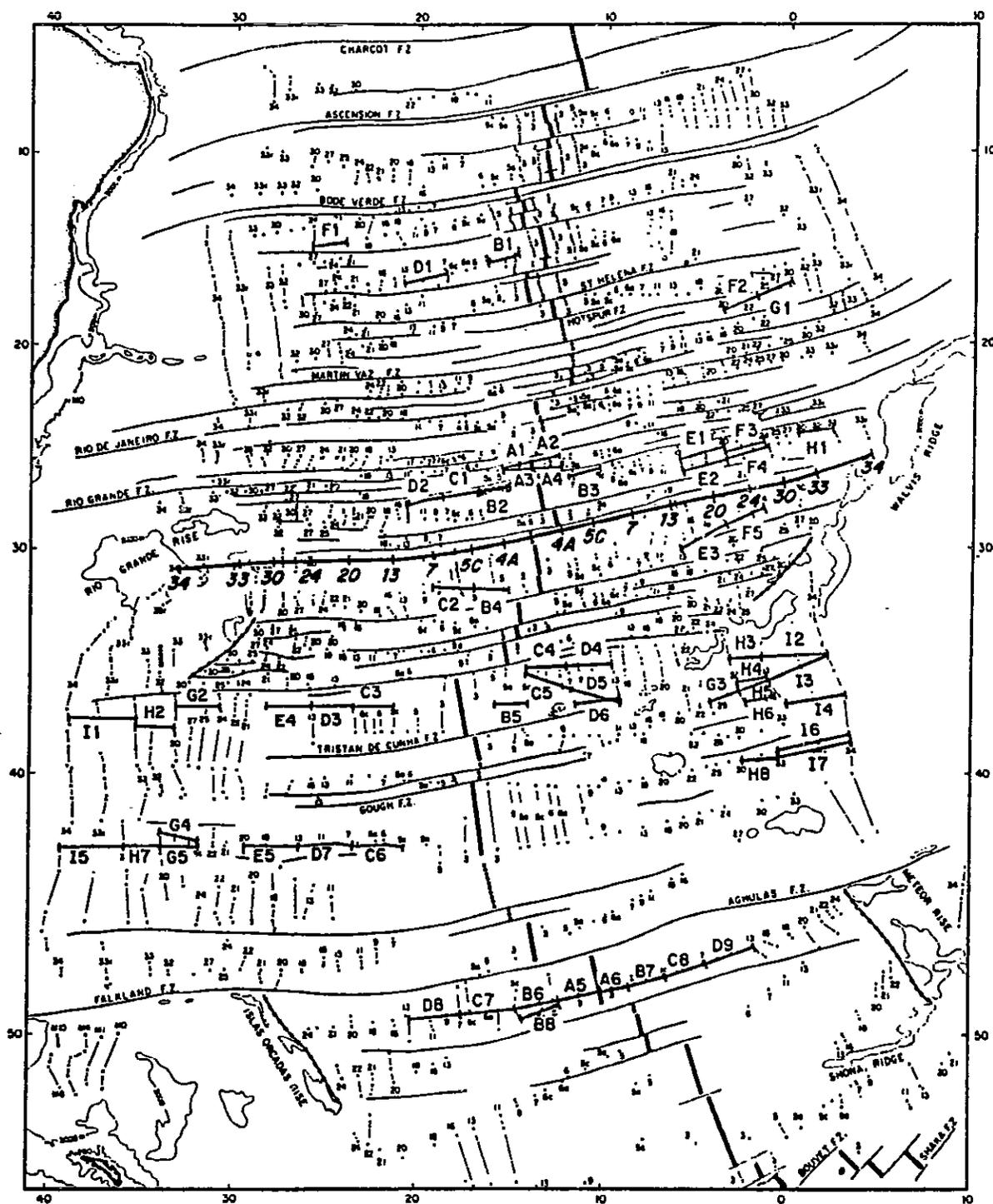


Figura 1.11. Localización de los perfiles en el Atlántico Sur. Se realiza un promedio de los perfiles, obteniendo las distancias entre anomalías de categoría II. La línea gruesa cerca de los 30° es la línea de flujo sintética obtenida por un conjunto de nueve polos de rotación, representando los intervalos de categoría I. (Cande y Kent, 1992)

### 1.3.4.2 AJUSTE DE LA ANOMALÍA CENTRAL Y LA SECUENCIA COMPUESTA.

Para cuantificar el ancho de la zona de emplazamiento de la corteza oceánica magnetizada, un pequeño pero sistemático ajuste de las distancias de las anomalías fue requerido antes de que la secuencia de reversiones fuera calibrado para generar la GPTS. El ancho de la zona de transición sobre la frontera de Brunhes/Matuyama en el Atlántico Sur es inferida por la forma que tienen las anomalías magnéticas y se estima que tiene aproximadamente 3 km. Como el desplazamiento a la frontera de polaridad debido a este efecto se espera que sea de cerca de la mitad de ancho de la zona de transición es necesario substrair 1.5 km de todas las distancias en la secuencia compuesta. Si no se hace esto no se obtiene una edad razonable para la frontera Brunhes/Matuyama. La corrección actual que usa Cande y Kent (1992) es de 1.29 km y fue determinada forzando la edad de frontera Brunhes/Matuyama a un valor igual predeterminado. La consecuencia de esta corrección es que el *offset* a la línea de flujo de referencia en el Atlántico Sur es reducido de cerca de 13.4 km a 12.2 km.

Esta nueva GPTS indica variaciones grandes en el rango de apertura del fondo oceánico en el Atlántico Sur.

<i>VELOCIDAD</i>	<i>ANOMALÍA</i>	<i>EDAD</i>
70 mm/a	33-34	<i>Companiano</i>
30 mm/a	≈ 27	<i>Paleoceno temprano</i>
55 mm/a	≈ 15	<i>Paleogeno-Eoceno Tardío</i>
32 mm/a		<i>Oligoceno-Mioceno Temprano al Reciente</i>

La historia derivada de la apertura del Atlántico Sur muestra una variación en las velocidades de apertura disminuyendo en el Cretácico Tardío de una velocidad de casi 70 mm/a alrededor de la anomalía 33-34 a una velocidad de cerca de 30 mm/a por la anomalía 27 para el Paleoceno Temprano. En el Paleogeno varían incrementándose a cerca de 55 mm/a cerca de la anomalía 15 en el Eoceno Tardío y disminuyendo gradualmente del Oligoceno-Mioceno Temprano a los rangos recientes de 32 mm/a. (Cande y Kent, 1992).

### 1.3.5 ESCALA DE BAKSI 1994 (B-94).

Baksi (1993b, 1994) utilizando edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  construye una GPTS siguiendo la escala de Cande y Kent (1992). En esta escala se tienen cambios marcados con respecto a las escalas previas, especialmente en el Mioceno Medio-Tardío. Las edades para los chrons del Mioceno-Tardío están de acuerdo con los valores derivados por técnicas astrocronológicas (Hilgen 1991a,b; Baksi 1993a,b; Baksi 1994).

En los últimos años se ha visto que muchas de las edades determinadas por K-Ar para reversiones magnéticas de 0 a 2 Ma tienen errores. Estudios radiométricos recientes han mostrado que valores derivados

de edades K-Ar para varios chrons en el rango de edades de 0 a 10 Ma son muy jóvenes. Por lo que Baksi (1993,1994) construye una nueva GPTS siguiendo los siguientes pasos:

a) Uso los intervalos de polaridad normal de corteza magnetizada listados por Cande y Kent (1992).

b) Uso puntos de liga derivados de edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , con lo que se obtuvo una edad para el subchron Olduvai < 1.73 Ma, significativamente más joven que 1.77-1.79 Ma obtenido por otras técnicas.

c) Utilizó datos radiométricos en rocas basálticas cuestionando la edad de 0.78 Ma para la frontera de Brunhes/Matuyama.

Las edades de interpolación para chrons de 0 a 17 Ma fueron obtenidas usando una curva de ajuste cúbica (Baksi, 1993b).

La interpolación lineal entre 1.78 y 9.67 Ma produce edades muy jóvenes por lo que el ajuste se hizo con una función cúbica obteniendo edades un poco mayores que los valores reportados por Cande y Kent (1992) pero es razonablemente concordante con los datos reportados astronómicamente (Baksi, 1994).

La falta de datos de calibración entre 2 y 10 Ma da una estructura de GPTS que pueden ser de entre 2 y 3% mayor que la sugerida por Cande y Kent (1992).

De 10 a 17 Ma, las edades obtenidas son considerablemente mayores que las obtenidas por Cande y Kent (1992) en aproximadamente 1 Ma. Esta escala muestra una gran concordancia con la edad de reversiones obtenidas:

- a) Utilizando las frecuencias forzadas de los ciclos de Milankovitch en ambientes sedimentarios y
- b) Fechamiento  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de rocas ígneas

Con lo que demuestra que las edades derivadas de mediciones con K-Ar para estas reversiones son muy jóvenes. Por ejemplo edades derivadas del K-Ar para la transición Brunhes/Matuyama (0.73 Ma), la terminación de los eventos Jaramillo y Olduvai (0.92 Ma y 1.65 Ma respectivamente) que son muy jóvenes por cerca de 7%, comparadas con los valores obtenidos en la escala B-94.

### 1.3.6 ESCALA DE CANDE Y KENT 1995 (CK-95)

En esta nueva escala Cande y Kent (1995) toman la edad de 65 Ma para la frontera del Cretácico/Paleogeno (K/P) en vez de la de 66 Ma usada para la calibración de la GPTS de CK-92. Dicha edad está basada en un cristal no marino de un estrato de Montana. Sin embargo, esta determinación de la edad es ahora considerada como anómalamente grande debido a problemas con la preparación de la muestra. Se basan en estudios realizados durante los 90's donde se ha usado un control astrocronológico (Shackleton et. al., 1990; Hilgen, 1991), para el Pleistoceno y el Plioceno; así como para la base de el subchron Thvera (C3n,4n) con una edad de 3.3. Ma donde se usaron dataciones de alta precisión  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . La estimación astrocronológica para la Brunhes/Matuyama (0.78 Ma) y Matuyama/Gauss (2.60 Ma) fueron usados para la calibración de CK-92; esto es la buena concordancia de CK-92 con la escala de tiempo astronómica para la parte más vieja del chon C2A (Gauss/Gilbert boundary) no es inesperada. Una

apreciable discrepancia, sin embargo, surge en el Plioceno temprano donde la escala astronómica da edades para los intervalos que constituyen el chron C3n, que son sistemáticamente más grandes que las edades obtenidas para la CK-92.

En resumen Cande y Kent (1995) presentaron la revisión de dos de los 7 puntos de calibración de la escala de Cande y Kent 1992 y proponen una edad de 65 Ma para la frontera entre el Cretácico/Paleogeno, en vez de la de 66 Ma que habían utilizado para su primera escala. También presentan un ajuste a la cronología geomagnética para el Cretácico Tardío y el Cenozoico que es consistente con la astrocronología para el Pleistoceno y el Plioceno y la nueva escala para el Mesozoico.

Para la curva de ajuste cúbica a los puntos de calibración, utilizan una edad astronómica de 5.23 Ma (Hilgen, 1991) para la frontera más vieja del subchron C3n.4n en vez del punto de calibración del chron C2A con una edad de 2.6 Ma para la frontera más joven del chron C2A (Matuyama/Gauss) usada en CK-92.

### 1.3.7 ESCALA DE WEI 1995 (W-95).

Hace una nueva revisión de los 5 puntos de calibración de la escala de CK-92 que en Cande y Kent (1995) no hicieron. Siguiendo el método de Cande y Kent (1992) usan una curva de ajuste cúbica para los puntos de calibración previamente revisados, las edades están dadas con una resolución de 0.001 Ma. Las diferencias entre las edades de las reversiones magnéticas revisadas por Wei (1995) y aquellas de Cande y Kent (1995), son generalmente menores de 0.3 Ma y la más grande diferencia (de cerca de 1.3 Ma) esta de el chron C5AA a el C6C en el Mioceno Temprano.

Concluyendo, las diferencias en las escalas de tiempo de polaridades magnéticas (GPTS) pueden ser vistas como el resultado de la variedad de los datos de calibración y metodologías que han sido usadas para construir las así como de los cambios hechos al espaciamiento relativo de los intervalos de polaridad (chrons).

### 1.3.8 SUPERCHRONS (SESGO EN LA POLARIDAD).

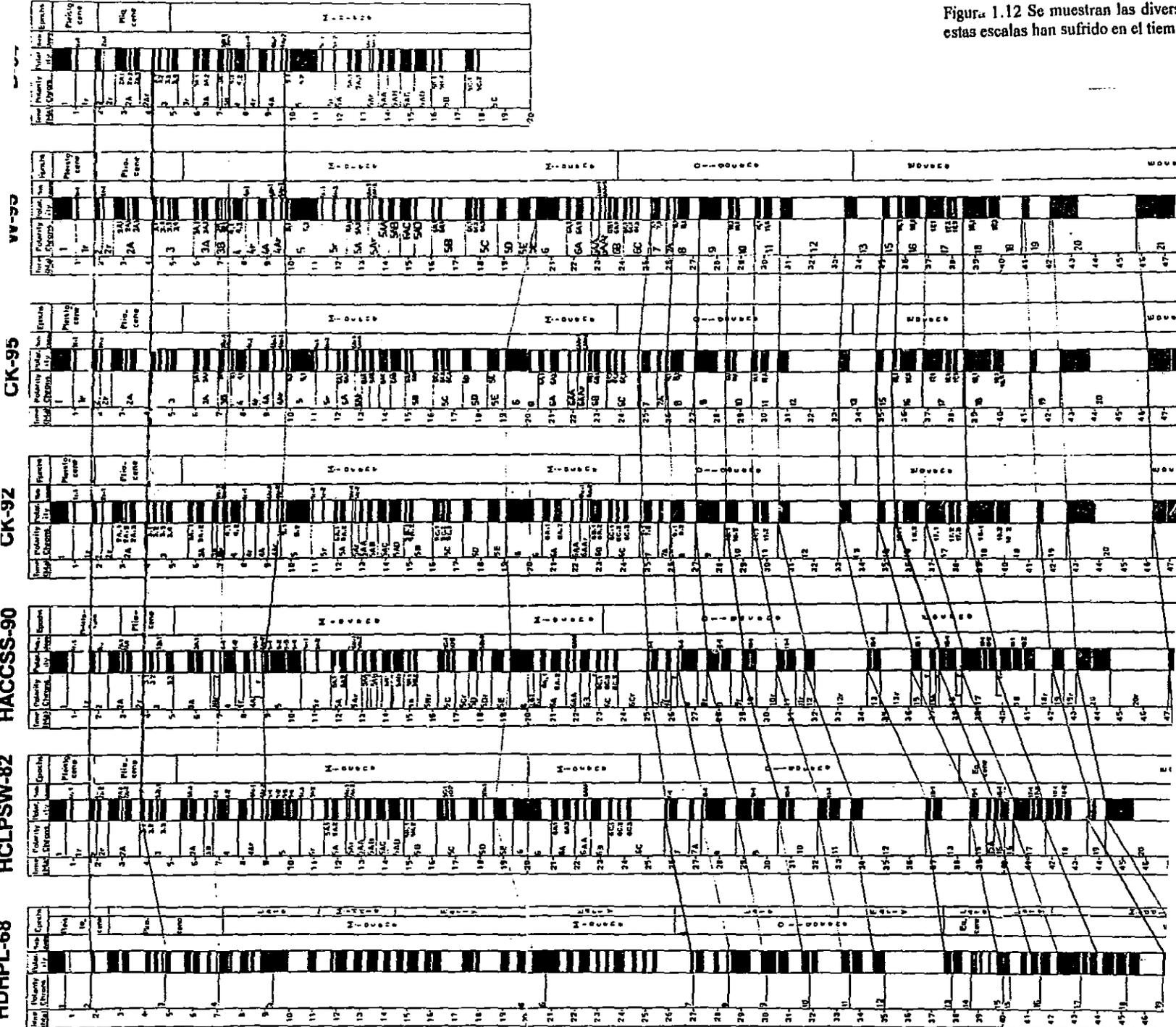
Descubrimientos paleomagnéticos han mostrado que el campo magnético ha presentado un *sesgo en la polaridad (polarity bias)* ya que por un tiempo muy largo permanece con polaridad normal o polaridad reversa. La duración de los intervalos de esta polaridad *constante* tiene rangos de 30 Ma a 100 Ma, lo cual es más que un orden de magnitud mayor que la duración de los chrons y subchrons durante el Cenozoico. Esta diferencia sugiere que el origen de este *sesgo en la polaridad* puede ser diferente que el de las reversiones individuales. Posiblemente como se vio en la sección 1.1.4.1 las reversiones individuales son el resultado de perturbaciones en el movimiento de los fluidos en la frontera núcleo-manto, y el *sesgo en la polaridad* refleja cambios de largo término en las condiciones del núcleo (crecimiento del núcleo interno). De cualquier forma en el intervalo en que se da esta estabilidad en la polaridad, se tiene un fenómeno

geomagnético distinto, el cual es útil para realizar correlaciones estratigráficas globales.

### **1.3.9 CORRELACIÓN DE LAS GPTS EN EL TIEMPO.**

Como se puede observar en la sección anterior, las GPTS han sufrido grandes cambios desde su origen, para mostrar esto en forma gráfica se presenta en la figura 1.12 cada una de las escalas y su correlación en el tiempo. Los valores numéricos de cada una de ellas se muestra en la tabla 1.1

Figura 1.12 Se muestran las diversas escalas han sufrido en el tiempo



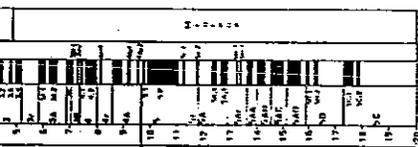


Figura 1.12 Se muestran las diversas GPTS correlacionadas en el tiempo, donde se puede observar que estas escalas han sufrido en el tiempo.

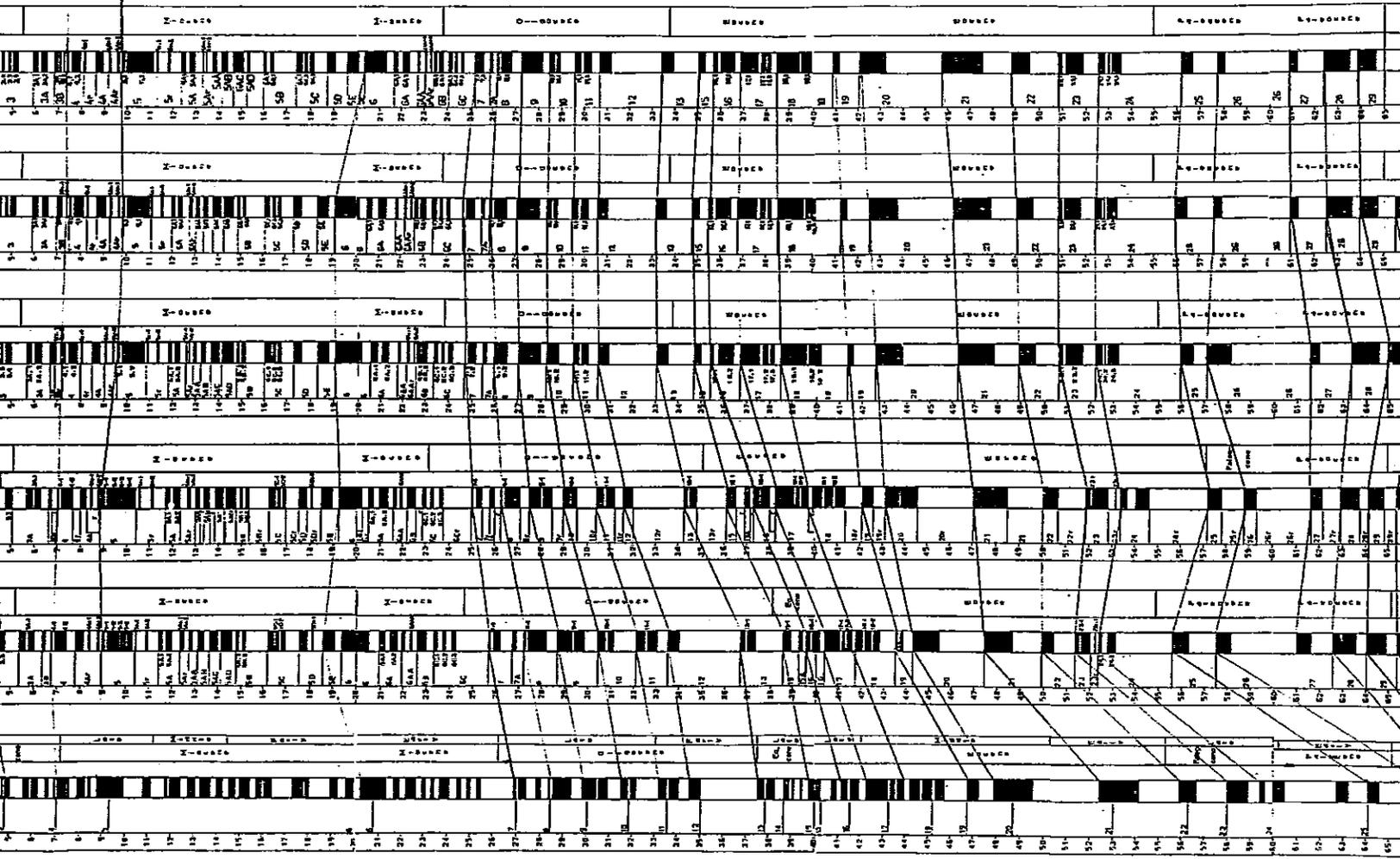


Figura 1.12 Se muestran las diversas GPTS correlacionadas en el tiempo, donde se puede observar cuales son los cambios que estas escalas han sufrido en el tiempo.

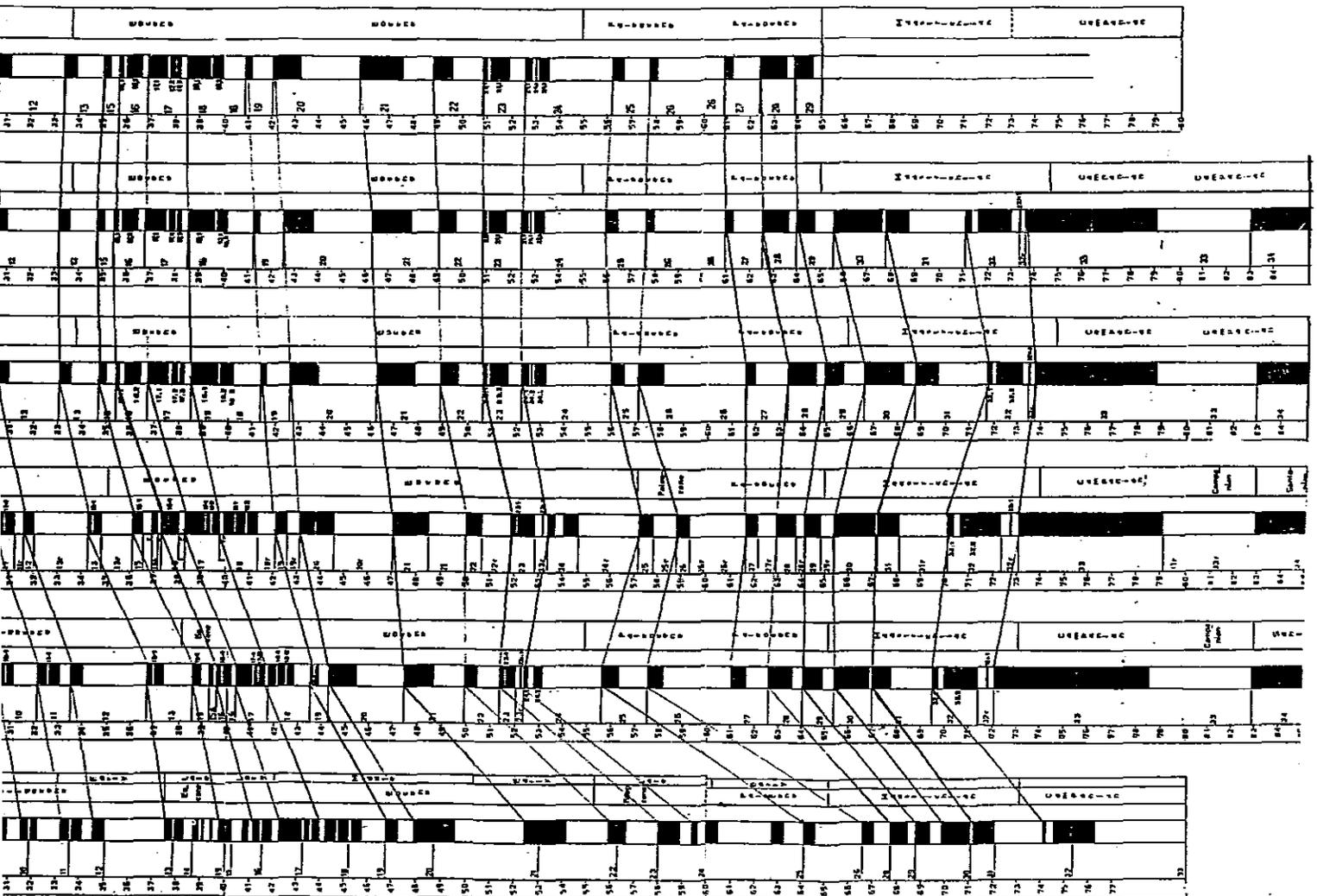


TABLA 1.1

HPL-68	POLAR	HCLPSW-82	POLAR	HACCSS-90	POLAR	CK-92	POLAR	CK-CHRON-92	POLAR	CK-95	POLAR	CK-CHRON-95	POLAR	W-95	POLAR	B-94	POLAR
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0.69	-1	0.73	-1	0.72	-1	0.78	-1	0.49	-1	0.78	-1	0.493	-1	0.78	-1	0.78	-1
0.89	1	0.92	1	0.91	1	0.884	1	0.5	1	0.99	1	0.504	1	0.99	1	0.99	1
0.95	-1	0.97	-1	0.97	-1	1.049	-1	0.78	-1	1.07	-1	0.78	-1	1.07	-1	1.05	-1
1.78	1	1.67	1	1.65	1	1.757	1	0.88	1	1.77	1	0.99	1	1.77	1	1.78	1
1.93	-1	1.87	-1	1.88	-1	1.983	-1	1.05	-1	1.95	-1	1.07	-1	1.95	-1	2.02	-1
2.48	1	2.01	1	2.08	1	2.197	1	1.2	1	2.14	1	1.201	1	2.14	1	2.14	1
2.93	-1	2.04	-1	2.09	-1	2.229	-1	1.21	-1	2.15	-1	1.211	-1	2.15	-1	2.15	-1
3.06	1	2.12	1	2.45	1	2.8	1	1.78	1	2.581	1	1.77	1	2.58	1	2.64	1
3.37	-1	2.14	-1	2.91	-1	3.054	-1	1.98	-1	3.04	-1	1.95	-1	3.04	-1	3.1	-1
4.04	1	2.48	1	2.98	1	3.127	1	2.2	1	3.11	1	2.14	1	3.11	1	3.17	1
4.22	-1	2.92	-1	3.07	-1	3.221	-1	2.23	-1	3.22	-1	2.15	-1	3.22	-1	3.27	-1
4.35	1	3.01	1	3.17	1	3.325	1	2.42	1	3.33	1	2.42	1	3.33	1	3.38	1
4.53	-1	3.05	-1	3.4	-1	3.553	-1	2.44	-1	3.58	-1	2.441	-1	3.58	-1	3.81	-1
4.68	1	3.15	1	3.87	1	4.033	1	2.6	1	4.18	1	2.581	1	4.18	1	4.12	1
4.77	-1	3.4	-1	3.99	-1	4.134	-1	3.05	-1	4.29	-1	3.04	-1	4.29	-1	4.23	-1
4.81	1	3.88	1	4.12	1	4.265	1	3.13	1	4.48	1	3.11	1	4.48	1	4.37	1
5.01	-1	3.98	-1	4.26	-1	4.432	-1	3.22	-1	4.62	-1	3.22	-1	4.62	-1	4.55	-1
5.61	1	4.12	1	4.41	1	4.611	1	3.33	1	4.8	1	3.33	1	4.8	1	4.74	1
5.88	-1	4.28	-1	4.48	-1	4.694	-1	3.55	-1	4.89	-1	3.58	-1	4.89	-1	4.82	-1
5.98	1	4.41	1	4.79	1	4.812	1	4.03	1	4.98	1	4.18	1	4.98	1	4.94	1
6.24	-1	4.49	-1	5.08	-1	5.046	-1	4.13	-1	5.23	-1	4.29	-1	5.23	-1	5.17	-1
6.57	1	4.59	1	5.69	1	5.705	1	4.26	1	5.894	1	4.48	1	5.829	1	5.82	1
6.7	-1	4.79	-1	5.98	-1	5.945	-1	4.43	-1	6.137	-1	4.62	-1	6.051	-1	6.06	-1
6.91	1	5.41	1	6.04	1	6.078	1	4.61	1	6.269	1	4.8	1	6.173	1	6.19	1
7	-1	5.7	-1	6.33	-1	6.376	-1	4.69	-1	6.567	-1	4.89	-1	6.45	-1	6.49	-1
7.07	1	5.78	1	6.66	1	6.744	1	4.81	1	6.935	1	4.98	1	6.795	1	6.86	1
7.46	-1	6.07	-1	6.79	-1	6.901	-1	5.05	-1	7.091	-1	5.23	-1	6.943	-1	7.01	-1
7.51	1	6.42	1	7.01	1	6.946	1	5.7	1	7.135	1	5.894	1	6.986	1	7.05	1
7.55	-1	6.55	-1	7.1	-1	6.981	-1	5.95	-1	7.17	-1	6.137	-1	7.019	-1	7.09	-1
7.91	1	6.77	1	7.17	1	7.153	1	6.08	1	7.341	1	6.269	1	7.183	1	7.25	1
8.28	-1	6.88	-1	7.56	-1	7.187	-1	6.38	-1	7.375	-1	6.567	-1	7.216	-1	7.28	-1
8.37	1	6.94	1	7.62	1	7.245	1	6.74	1	7.432	1	6.935	1	7.271	1	7.33	1
8.51	-1	7.34	-1	7.66	-1	7.378	-1	6.9	-1	7.562	-1	7.091	-1	7.398	-1	7.46	-1
8.79	1	7.39	1	8.02	1	7.464	1	6.95	1	7.65	1	7.135	1	7.483	1	7.54	1
9.94	-1	7.44	-1	8.29	-1	7.892	-1	6.98	-1	8.072	-1	7.17	-1	7.902	-1	7.96	-1
10.77	1	7.81	1	8.48	1	8.047	1	7.15	1	8.225	1	7.341	1	8.055	1	8.11	1
11.14	-1	8.18	-1	8.54	-1	8.079	-1	7.19	-1	8.257	-1	7.375	-1	8.088	-1	8.14	-1
11.72	1	8.4	1	8.78	1	8.529	1	7.24	1	8.699	1	7.432	1	8.543	1	8.59	1
11.85	-1	8.49	-1	8.83	-1	8.861	-1	7.38	-1	9.025	-1	7.562	-1	8.887	-1	8.92	-1
11.93	1	8.8	1	8.91	1	9.069	1	7.48	1	9.23	1	7.65	1	9.106	1	9.13	1
12.43	-1	8.87	-1	9.09	-1	9.149	-1	7.89	-1	9.308	-1	8.072	-1	9.191	-1	9.21	-1
12.72	1	8.98	1	9.14	1	9.428	1	8.05	1	9.58	1	8.225	1	9.49	1	9.5	1
13.09	-1	9.13	-1	9.48	-1	9.491	-1	8.08	-1	9.642	-1	8.257	-1	9.56	-1	9.57	-1
13.29	1	9.17	1	9.49	1	9.592	1	8.48	1	9.74	1	8.635	1	9.67	1	9.67	1
13.71	-1	9.47	-1	9.8	-1	9.735	-1	8.48	-1	9.88	-1	8.651	-1	9.827	-1	9.83	-1
13.96	1	9.48	1	9.83	1	9.777	1	8.53	1	9.92	1	8.699	1	9.874	1	9.87	1
14.28	-1	9.75	-1	10.13	-1	10.834	-1	8.86	-1	10.949	-1	9.025	-1	11.089	-1	11.08	-1
14.51	1	9.78	1	10.15	1	10.94	1	9.07	1	11.052	1	9.23	1	11.214	1	11.21	1
14.82	-1	10.03	-1	10.43	-1	10.989	-1	9.15	-1	11.099	-1	9.308	-1	11.273	-1	11.27	-1
14.98	1	10.05	1	10.57	1	11.378	1	9.43	1	11.476	1	9.58	1	11.738	1	11.73	1
15.45	-1	10.3	-1	10.63	-1	11.434	-1	9.49	-1	11.531	-1	9.642	-1	11.806	-1	11.8	-1
15.71	1	10.43	1	11.11	1	11.852	1	9.59	1	11.935	1	9.74	1	12.314	1	12.3	1
16	-1	10.48	-1	11.18	-1	12	-1	9.73	-1	12.078	-1	9.88	-1	12.495	-1	12.48	-1

TABLE 1.1

HDHPL-68	POLAR	HCLPSW-62	POLAR	HACCSS-90	POLAR	CK-92	POLAR	CK-CHRON-92	POLAR	CK-95	POLAR	CK-CHRON-95	POLAR	W-95	POLAR	B-94	POLAR
16.03	1	10.91	1	11.71	1	12.108	1	9.78	1	12.184	1	9.92	1	12.020	1	12.61	1
16.41	-1	10.99	-1	11.9	-1	12.333	-1	10.06	-1	12.401	-1	10.197	-1	12.004	-1	12.88	-1
17.33	1	11.47	1	12.05	1	12.618	1	10.07	1	12.678	1	10.205	1	13.256	1	13.22	1
17.8	-1	11.63	-1	12.34	-1	12.649	-1	10.32	-1	12.708	-1	10.446	-1	13.294	-1	13.26	-1
17.83	1	11.77	1	12.68	1	12.718	1	10.34	1	12.775	1	10.47	1	13.379	1	13.35	1
18.02	-1	12.03	-1	12.71	-1	12.764	-1	10.59	-1	12.819	-1	10.71	-1	13.436	-1	13.41	-1
18.91	1	12.36	1	12.79	1	12.941	1	10.6	1	12.991	1	10.726	1	13.654	1	13.62	1
19.26	-1	12.41	-1	12.84	-1	13.094	-1	10.83	-1	13.139	-1	10.949	-1	13.843	-1	13.82	-1
19.62	1	12.49	1	13.04	1	13.263	1	10.94	1	13.302	1	11.052	1	14.05	1	14.02	1
19.96	-1	12.54	-1	13.21	-1	13.476	-1	10.99	-1	13.51	-1	11.099	-1	14.312	-1	14.28	-1
20.19	1	12.76	1	13.4	1	13.674	1	11.38	1	13.703	1	11.476	1	14.555	1	14.53	1
21.31	-1	12.94	-1	13.64	-1	14.059	-1	11.43	-1	14.076	-1	11.531	-1	15.021	-1	15	-1
21.65	1	13.15	1	13.87	1	14.164	1	11.85	1	14.178	1	11.935	1	15.147	1	15.12	1
21.91	-1	13.41	-1	14.24	-1	14.608	-1	12	-1	14.612	-1	12.078	-1	15.677	-1	15.66	-1
22.17	1	13.65	1	14.35	1	14.8	1	12.11	1	14.8	1	12.184	1	15.901	1	15.89	1
22.64	-1	14.04	-1	14.79	-1	14.89	-1	12.33	-1	14.888	-1	12.401	-1	16.007	-1	15.99	-1
22.9	1	14.16	1	14.98	1	15.038	1	12.62	1	15.034	1	12.678	1	16.179	1	16.17	1
23.08	-1	14.63	-1	15.07	-1	15.162	-1	12.65	-1	15.155	-1	12.708	-1	16.32	-1	16.32	-1
23.29	1	14.82	1	15.23	1	16.035	1	12.72	1	16.014	1	12.775	1	17.289	1	17.33	1
23.4	-1	14.93	-1	15.35	-1	16.318	-1	12.76	-1	16.293	-1	12.819	-1	17.592	-1	17.65	-1
23.63	1	15.09	1	16.27	1	16.352	1	12.94	1	16.327	1	12.991	1	17.628	1	17.7	1
24.07	-1	15.23	-1	16.55	-1	16.515	-1	13.09	-1	16.488	-1	13.139	-1	17.8	-1	17.88	-1
24.41	1	16.2	1	16.59	1	16.583	1	13.26	1	16.556	1	13.302	1	17.872	1	18.01	1
24.59	-1	16.5	-1	16.75	-1	16.755	-1	13.48	-1	16.728	-1	13.51	-1	18.051	-1		
24.82	1	16.54	1	16.82	1	17.31	1	13.67	1	17.277	1	13.703	1	18.617	1		
24.97	-1	16.72	-1	16.99	-1	17.65	-1	14.06	-1	17.815	-1	14.076	-1	18.955	-1		
25.25	1	16.79	1	17.55	1	18.317	1	14.16	1	18.281	1	14.178	1	19.603	1		
25.43	-1	16.98	-1	17.87	-1	18.817	-1	14.61	-1	18.781	-1	14.612	-1	20.074	-1		
26.86	1	17.58	1	18.07	1	19.083	1	14.8	1	19.048	1	14.8	1	20.321	1		
26.98	-1	17.91	-1	18.09	-1	20.162	-1	14.89	-1	20.131	-1	14.888	-1	21.295	-1		
27.05	1	18.13	1	18.5	1	20.546	1	15.04	1	20.518	1	15.034	1	21.633	1		
27.37	-1	18.15	-1	19	-1	20.752	-1	15.16	-1	20.725	-1	15.155	-1	21.814	-1		
27.83	1	18.59	1	19.26	1	21.021	1	16.03	1	20.996	1	16.014	1	22.047	1		
28.03	-1	19.12	-1	20.23	-1	21.343	-1	16.32	-1	21.32	-1	16.293	-1	22.324	-1		
28.35	1	19.41	1	20.52	1	21.787	1	16.35	1	21.788	1	16.327	1	22.703	1		
28.44	-1	20.5	-1	20.74	-1	21.877	-1	16.51	-1	21.859	-1	16.488	-1	22.78	-1		
28.52	1	20.95	1	20.97	1	22.168	1	16.58	1	22.151	1	16.556	1	23.025	1		
29.33	-1	21.22	-1	21.37	-1	22.263	-1	16.75	-1	22.248	-1	16.726	-1	23.107	-1		
29.78	1	21.45	1	21.6	1	22.471	1	17.31	1	22.459	1	17.277	1	23.284	1		
30.42	-1	21.78	-1	21.75	-1	22.505	-1	17.65	-1	22.493	-1	17.615	-1	23.312	-1		
30.48	1	21.97	1	21.93	1	22.599	1	17.86	1	22.588	1	17.825	1	23.392	1		
30.93	-1	22.14	-1	22.03	-1	22.76	-1	17.89	-1	22.75	-1	17.853	-1	23.527	-1		
31.5	1	22.34	1	22.23	1	22.814	1	18.32	1	22.804	1	18.281	1	23.572	1		
31.84	-1	22.43	-1	22.6	-1	23.076	-1	18.82	-1	23.069	-1	18.781	-1	23.794	-1		
31.9	1	22.65	1	22.9	1	23.357	1	19.08	1	23.353	1	19.048	1	24.031	1		
32.17	-1	23.06	-1	23.05	-1	23.537	-1	20.16	-1	23.535	-1	20.131	-1	24.183	-1		
33.16	1	23.37	1	23.25	1	23.678	1	20.55	1	23.677	1	20.518	1	24.302	1		
33.55	-1	23.54	-1	23.38	-1	23.8	-1	20.75	-1	23.8	-1	20.725	-1	24.405	-1		
33.61	1	23.76	1	23.62	1	23.997	1	21.02	1	23.999	1	20.996	1	24.573	1		
34.07	-1	23.9	-1	23.78	-1	24.115	-1	21.34	-1	24.118	-1	21.32	-1	24.673	-1		
34.52	1	24.15	1	25.01	1	24.722	1	21.79	1	24.73	1	21.768	1	25.191	1		
35	-1	24.32	-1	25.11	-1	24.772	-1	21.88	-1	24.781	-1	21.859	-1	25.235	-1		
37.61	1	25.75	1	25.17	1	24.826	1	22.17	1	24.835	1	22.151	1	25.281	1		
37.82	-1	25.88	-1	25.45	-1	25.171	-1	22.26	-1	25.183	-1	22.248	-1	25.579	-1		

TABLA 1.1

HDHPL-68	POLAR	HCLPSW-82	POLAR	HACCSS-80	POLAR	CK-82	POLAR	CK-CHRON-92	POLAR	CK-95	POLAR	CK-CHRON-95	POLAR	W-95	POLAR	B-94
37.89	1	25.94	1	25.84	1	25.482	1	22.47	1	25.496	1	22.459	1	25.85	1	
38.26	-1	26.27	-1	26.01	-1	25.633	-1	22.5	-1	25.648	-1	22.493	-1	25.982	-1	
38.68	1	26.74	1	26.29	1	25.807	1	22.6	1	25.823	1	22.588	1	26.136	1	
38.77	-1	26.95	-1	26.37	-1	25.934	-1	22.76	-1	25.951	-1	22.75	-1	26.247	-1	
38.83	1	27.27	1	26.44	1	25.974	1	22.81	1	25.992	1	22.804	1	26.284	1	
38.92	-1	27.36	-1	27.13	-1	26.533	-1	23.08	-1	26.554	-1	23.069	-1	26.784	-1	
39.03	1	27.44	1	27.52	1	27.004	1	23.36	1	27.027	1	23.353	1	27.214	1	
39.11	-1	28.27	-1	28.07	-1	27.948	-1	23.54	-1	27.972	-1	23.535	-1	28.1	-1	
39.42	1	28.73	1	28.12	1	28.255	1	23.68	1	28.283	1	23.677	1	28.4	1	
39.47	-1	29.39	-1	28.51	-1	28.484	-1	23.8	-1	28.512	-1	23.8	-1	28.625	-1	
39.77	1	29.45	1	29	1	28.55	1	24	1	28.578	1	23.999	1	28.69	1	
40	-1	29.91	-1	29.29	-1	28.716	-1	24.11	-1	28.745	-1	24.118	-1	28.854	-1	
40.03	1	30.48	1	29.35	1	29.373	1	24.47	1	29.401	1	24.475	1	29.514	1	
40.25	-1	30.84	-1	29.58	-1	29.633	-1	24.48	-1	29.682	-1	24.486	-1	29.779	-1	
40.71	1	30.9	1	30.42	1	29.737	1	24.72	1	29.785	1	24.73	1	29.886	1	
40.97	-1	31.17	-1	30.77	-1	30.071	-1	24.77	-1	30.098	-1	24.781	-1	30.228	-1	
41.15	1	32.19	1	30.82	1	30.452	1	24.83	1	30.479	1	24.835	1	30.576	1	
41.46	-1	32.58	-1	31.21	-1	30.915	-1	25.17	-1	30.939	-1	25.183	-1	31.103	-1	
41.52	1	32.65	1	31.6	1	33.05	1	25.33	1	33.058	1	25.338	1	33.313	1	
41.96	-1	33.11	-1	32.01	-1	33.543	-1	25.34	-1	33.545	-1	25.354	-1	33.812	-1	
42.28	1	33.57	1	34.28	1	34.669	1	25.48	1	34.655	1	25.496	1	34.922	1	
43.26	-1	34.06	-1	34.44	-1	34.959	-1	25.63	-1	34.94	-1	25.648	-1	35.2	-1	
43.34	1	36.73	1	34.5	1	35.368	1	25.81	1	35.343	1	25.823	1	35.586	1	
43.56	-1	36.95	-1	34.82	-1	35.554	-1	25.93	-1	35.526	-1	25.951	-1	35.76	-1	
43.84	1	37.02	1	36.12	1	35.716	1	25.97	1	35.685	1	25.992	1	35.909	1	
44.01	-1	37.4	-1	36.32	-1	36.383	-1	26.33	-1	36.341	-1	26.347	-1	36.518	-1	
44.21	1	38.64	1	36.35	1	36.665	1	26.34	1	36.618	1	26.359	1	36.771	1	
44.69	-1	38.8	-1	36.54	-1	37.534	-1	26.53	-1	37.473	-1	26.554	-1	37.543	-1	
44.77	1	38.83	1	36.93	1	37.667	1	27	1	37.604	1	27.027	1	37.66	1	
45.24	-1	38.98	-1	37.16	-1	37.915	-1	27.36	-1	37.848	-1	27.389	-1	37.877	-1	
45.32	1	39.3	1	37.31	1	37.988	1	27.38	1	37.92	1	27.407	1	37.941	1	
45.79	-1	39.48	-1	37.58	-1	38.183	-1	27.59	-1	38.113	-1	27.616	-1	38.112	-1	
46.76	1	39.6	1	37.63	1	38.5	1	27.81	1	38.426	1	27.634	1	38.389	1	
47.26	-1	39.82	-1	38.01	-1	39.639	-1	27.95	-1	39.552	-1	27.972	-1	39.382	-1	
47.91	1	39.88	1	38.28	1	39.718	1	28.09	1	39.631	1	28.118	1	39.451	1	
49.58	-1	40.17	-1	39.13	-1	40.221	-1	28.1	-1	40.13	-1	28.13	-1	39.892	-1	
52.41	1	40.39	1	39.2	1	41.353	1	28.25	1	41.257	1	28.283	1	40.898	1	
54.16	-1	41.07	-1	39.39	-1	41.617	-1	28.48	-1	41.521	-1	28.512	-1	41.135	-1	
55.92	1	41.13	1	39.45	1	42.629	1	28.55	1	42.538	1	28.578	1	42.084	1	
56.86	-1	41.29	-1	39.77	-1	43.868	-1	28.72	-1	43.769	-1	28.745	-1	43.245	-1	
58.04	1	41.34	1	39.94	1	46.284	1	29	1	46.284	1	29.023	1	45.731	1	
58.94	-1	41.6	-1	40.36	-1	47.861	-1	29.01	-1	47.906	-1	29.037	-1	47.511	-1	
59.43	1	41.74	1	40.43	1	48.947	1	29.16	1	49.037	1	29.186	1	48.778	1	
59.69	-1	42.08	-1	40.83	-1	49.603	-1	29.18	-1	49.714	-1	29.193	-1	49.54	-1	
60.01	1	42.14	1	40.9	1	50.646	1	29.37	1	50.778	1	29.401	1	50.734	1	
60.53	-1	42.47	-1	41.31	-1	50.812	-1	29.63	-1	50.946	-1	29.662	-1	50.921	-1	
62.75	1	42.51	1	42.14	1	50.913	1	29.74	1	51.047	1	29.765	1	51.034	1	
63.28	-1	42.84	-1	42.57	-1	51.809	-1	30.07	-1	51.743	-1	30.098	-1	51.802	-1	
64.14	1	43.52	1	43.13	1	52.238	1	30.25	1	52.384	1	30.278	1	52.478	1	
64.62	-1	43.87	-1	44.57	-1	52.544	-1	30.26	-1	52.663	-1	30.292	-1	52.8	-1	
66.65	1	44.31	1	47.01	1	52.641	1	30.45	1	52.757	1	30.479	1	52.897	1	
67.1	-1	45.49	-1	48.51	-1	52.685	-1	30.92	-1	52.801	-1	30.939	-1	52.947	-1	
67.77	1	47.46	1	50.03	1	52.791	1	31.2	1	52.903	1	31.224	1	53.057	1	
68.51	-1	48.69	-1	50.66	-1	53.25	-1	31.22	-1	53.347	-1	31.243	-1	53.527	-1	

TABLA 1.1

HDHPL-63	POLAR	HCLPSW-82	POLAR	HACCSS-80	POLAR	CK-82	POLAR	CK-CHRON-82	POLAR	CK-85	POLAR	CK-CHRON-85	POLAR	W-86	POLAR	B-94	POLAR
68.84	1	49.91	1	51.85	1	55.981	1	31.45	1	55.904	1	31.473	1	56.113	1		
69.44	-1	50.43	-1	52.08	-1	56.515	-1	31.46	-1	56.351	-1	31.482	-1	56.584	-1		
69.93	1	51.39	1	52.13	1	57.8	1	31.83	1	57.554	1	31.844	1	57.691	1		
71.12	-1	51.57	-1	52.83	-1	58.197	-1	31.84	-1	57.911	-1	31.863	-1	58.027	-1		
71.22	1	51.8	1	53.15	1	61.555	1	32	1	60.82	1	32.018	1	60.85	1		
72.11	-1	52.02	-1	53.2	-1	61.851	-1	32.01	-1	61.276	-1	32.027	-1	61.188	-1		
74.17	1	52.22	1	53.39	1	63.303	1	32.17	1	62.499	1	32.187	1	62.359	1		
74.3	-1	52.26	-1	53.69	-1	64.542	-1	32.18	-1	63.634	-1	32.197	-1	63.479	-1		
74.64	1	52.36	1	54.05	1	64.911	1	32.43	1	63.976	1	32.446	1	63.621	1		
76.33	-1	52.55	-1	54.65	-1	65.732	-1	32.45	-1	64.745	-1	32.465	-1	64.613	-1		
		52.77	1	57.19	1	66.601	1	32.59	1	65.578	1	32.802	1	65	1		
		53.13	-1	57.8	-1	68.625	-1	32.6	-1	67.61	-1	32.612	-1				
		55.6	1	58.78	1	68.745	1	32.76	1	67.735	1	32.772	1				
		56.33	-1	59.33	-1	69.683	-1	32.77	-1	68.737	-1	32.782	-1				
		57.52	1	61.65	1	71.722	1	33.05	1	71.071	1	33.058	1				
		58.19	-1	62.17	-1	71.943	-1	33.26	-1	71.338	-1	33.266	-1				
		61	1	62.94	1	72.147	1	33.28	1	71.587	1	33.283	1				
		61.62	-1	63.78	-1	73.288	-1	33.54	-1	73.004	-1	33.545	-1				
		62.55	1	64.16	1	73.517	1	33.68	1	73.291	1	33.677	1				
		63.57	-1	64.85	-1	73.584	-1	33.69	-1	73.374	-1	33.694	-1				
		64.03	1	65.43	1	73.781	1	33.88	1	73.619	1	33.877	1				
		64.88	-1	67.14	-1	78.781	-1	33.89	-1	79.075	-1	33.895	-1				
		65.39	1	67.23	1	83	1	34.17	1	83	1	34.168	1				
		66.88	-1	68.13	-1			34.19	-1			34.184	-1				
		66.97	1	70.14	1			34.42	1			34.414	1				
		67.74	-1	70.42	-1			34.44	-1			34.43	-1				
		69.48	1	70.69	1			34.67	1			34.655	1				
		69.72	-1	72.35	-1			34.96	-1			34.94	-1				
		69.96	1	72.77	1			35.37	1			35.343	1				
		71.4	-1	72.82	-1			35.55	-1			35.526	-1				
		71.76	1	73.12	1			35.72	1			35.685	1				
		71.81	-1	79.09	-1			36.38	-1			36.341	-1				
		72.06	1	83	1			36.67	1			36.613	1				
		78.53	-1					37.53	-1			37.473	-1				
								37.67	1			37.604	1				
								37.92	-1			37.848	-1				
								37.99	1			37.92	1				
								38.18	-1			38.113	-1				
								38.5	1			38.426	1				
								39.64	-1			39.552	-1				
								39.72	1			39.631	1				
								40.22	-1			40.13	-1				
								41.35	1			41.257	1				
								41.62	-1			41.521	-1				
								42.63	1			42.536	1				
								43.87	-1			43.789	-1				
								46.28	1			46.264	1				
								47.86	-1			47.906	-1				
								48.95	1			49.037	1				
								49.6	-1			49.714	-1				
								50.65	1			50.778	1				
								50.81	-1			50.946	-1				
								50.91	1			51.047	1				
								51.61	-1			51.743	-1				

TABLA 1.1

HDHPL-68	POLAR HCLPSW-82	POLAR HACCS-90	POLAR CK-92	POLAR CK-CHRON-92	POLAR CK-95	POLAR CK-CHRON-95	POLAR W-95	POLAR B-94	POLAR
			52.24	1		52.384			1
			52.54	-1		52.863			-1
			52.64	1		52.757			1
			52.69	-1		52.801			-1
			52.79	1		52.903			1
			53.25	-1		53.347			-1
			53.48	1		53.55			1
			53.47	-1		53.558			-1
			53.8	1		53.686			1
			53.61	-1		53.694			-1
			53.82	1		53.892			1
			53.83	-1		53.901			-1
			53.97	1		54.031			1
			53.98	-1		54.04			-1
			54.17	1		54.223			1
			54.18	-1		54.232			-1
			54.49	1		54.524			1
			54.5	-1		54.533			-1
			54.74	1		54.757			1
			54.75	-1		54.766			-1
			54.95	1		54.956			1
			54.96	-1		54.965			-1
			55.07	1		55.066			1
			55.08	-1		55.075			-1
			55.31	1		55.286			1
			55.32	-1		55.296			-1
			55.61	1		55.565			1
			55.62	-1		55.574			-1
			55.98	1		55.904			1
			56.51	-1		56.391			-1
			56.83	1		56.675			1
			56.85	-1		56.69			-1
			57	1		56.833			1
			57.02	-1		56.849			-1
			57.16	1		56.976			1
			57.17	-1		56.984			-1
			57.43	1		57.216			1
			57.44	-1		57.224			-1
			57.59	1		57.381			1
			57.6	-1		57.377			-1
			57.8	1		57.554			1
			58.2	-1		57.911			-1
			58.76	1		58.413			1
			58.78	-1		58.431			-1
			59.38	1		58.973			1
			59.4	-1		58.992			-1
			59.61	1		59.179			1
			59.62	-1		59.189			-1
			59.82	1		59.367			1
			59.83	-1		59.376			-1
			60.26	1		59.76			1
			60.28	-1		59.779			-1
			60.64	1		60.098			1
			60.65	-1		60.107			-1

TABLA 1.1

68	POLAR HCLPSW-62	POLAR HACCSS-90	POLAR CK-92	POLAR CK-CHRON-92	POLAR CK-95	POLAR CK-CHRON-95	POLAR W-95	POLAR B-94	POLAR
				60.93	1		60.36		1
				60.94	-1		60.369		-1
				61.58	1		60.92		1
				61.95	-1		61.276		-1
				63.3	1		62.499		1
				64.54	-1		63.634		-1
				64.7	1		63.784		1
				64.73	-1		63.81		-1
				64.91	1		63.976		1
				65.73	-1		64.745		-1
				66.6	1		65.578		1
				68.63	-1		67.61		-1
				68.75	1		67.735		1
				69.68	-1		68.737		-1
				71.72	1		71.071		1
				71.94	-1		71.338		-1
				72.15	1		71.587		1
				73.29	-1		73.004		-1
				73.52	1		73.291		1
				73.58	-1		73.374		-1
				73.78	1		73.619		1
				78.78	-1		79.075		-1
				83	1		83		1

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

Como se puede observar la GPTS ha sufrido grandes cambios desde su origen, siendo esta ampliamente usada en el área de ciencias de la Tierra para determinar y correlacionar en el tiempo diferentes fenómenos geológicos así como su tiempo de duración, (entre ellos podemos destacar la determinación de las velocidades y el cambio de velocidad en el movimiento de placas, las edades de flujo de lava, etc.), notándose con ello la importancia de observar cuales son los cambios que la escala ha sufrido. Para determinar ello, se ha hecho un estudio comparativo de las escalas más representativas desarrolladas hasta la fecha siguiendo algunas técnicas que más adelante se describen.

Otro aspecto importante a considerar es que la mayoría de los modelos de comportamiento del núcleo y de generación del campo magnético, se basan en las reversiones que ha sufrido el campo magnético.

#### 2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Heirtzler et al. (1968) observaron que en su GPTS, los eventos más antiguos eran generalmente los más largos, y construyeron las primeras gráficas para observar el número de reversiones ocurridas en periodos de 2, 5 y 10 Ma. Observaron que la frecuencia de reversiones era menor entre los 40 Ma y 80 Ma.

En la década de los 70s, se realizan varios estudios desde el punto de vista estadísticos basados en la escala de HDHPL-68, siendo los más representativos los realizados por Naidu (1971), quien separó la escala de polaridades en 8 secciones de 8 Ma cada una. Encontró que la estructura estadística de los intervalos cambiaba discontinuamente alrededor de los 50 Ma, y que los intervalos que pertenecen al primer grupo 0-48 Ma, parecían seguir una distribución gamma con parámetros  $m=0.33$  Ma, y  $k=2.0$  considerándola una secuencia estacionaria. No le fue posible determinar las características del segundo grupo 56-72 Ma, sin embargo por los datos con que contaban pensaron que la distribución era probablemente tipo gamma pero con  $m=0.6$  y  $k=3.6$ , y consideraron a esta parte de la escala como no estacionaria.

Phillips (1977) examina la secuencia de reversiones geomagnéticas dada por HDHPL-68 y obtiene que las reversiones son generadas por un proceso gamma. A pesar de la densidad de las propiedades estadísticas observadas que soportan este modelo, encontró que la estadística de los chrons de polaridad normal difería significativamente de los chrons de polaridad reversa. Esta asimetría, la cual no es precedida por el dínamo teórico o mecanismo de reversiones, la relacionó con la estabilidad de los estados normal y

reverso. Considero al estado inverso como menos estable en el periodo inmediatamente siguiente a la reversión. En base a estos resultados señala que el modelo estocástico más simple para describir las reversiones podría ser un proceso alternadamente renovada con una media variando en el tiempo y una distribución gamma para los intervalos de polaridad.

Phillips (1977) señala que los modelos desarrollados hasta ese momento presuponían que el núcleo no tenía ninguna memoria de la configuración de los fluidos pasado. Esto es, la probabilidad de tener unas reversiones en el tiempo después de las reversiones previas no dependen en nada de lo sucedido a priori del tiempo  $t=0$ ; condiciones que definen un proceso renovado.

McFadden (1984) señala que investigaciones previas de la secuencia de reversiones geomagnéticas habían mostrado que la no-estacionaridad de la distribución gamma provee de una buena descripción de los intervalos entre reversiones y señala que en estudios previos un buen ajuste de la distribución gamma ha sido interpretado como implicando que la secuencia que siguen las reversiones del campo geomagnético son un proceso gamma. Sin embargo demuestra que los datos incompletos de un proceso de Poisson puede llevar a una distribución de longitudes de intervalos esencialmente indistinguibles de una distribución gamma.

Para este trabajo dada las diversas conclusiones a las que han llegado diferentes autores, y considerando que no tenemos la certeza de que tan exacta es cada una de las GPTS, ni cual de las diferentes versiones es mejor, (aunque se supone que las últimas son más exactas). Decidimos en primer lugar estudiarlas y compararlas desde el punto de vista de una *inferencia estadística no paramétrica*, siguiendo diferentes procesos que más adelante se describen.

### 2.1.1 INFERENCIA ESTADÍSTICA.

Desde el punto de vista estadístico un modelo es una representación verbal, física o simbólica de un fenómeno real. Definiendo a los fenómenos aleatorios, como aquellos donde no es posible hacer predicciones del estado final. Para este tipo de fenómenos no hay modelo matemático que ligue las propiedades del fenómeno en forma exacta (Méndez; 1982).

La probabilidad es un modelo matemático para representar la regularidad estadística de un fenómeno aleatorio. La función que da la probabilidad para cada valor de la variable es la función de probabilidad P. Con la inferencia estadística se trata de determinar esta función de probabilidad, de manera que el modelo resulte útil y lo más sencillo posible, para representar un fenómeno aleatorio específico. Se considera que un modelo es útil cuando las soluciones a los problemas reales que se encuentran a través del modelo tienen correspondencia con la realidad. Por lo que existe una correspondencia uno a uno entre la función de probabilidad P y la función de distribución F. Es por esto que las inferencias respecto a P, se efectúan en el caso más general tratando de determinar F. En la determinación de F se pueden suponer diferentes grados del conocimiento del modelo.

Entre las situaciones más comunes están:

1. Suponer que  $F$  pertenece a una familia de funciones de distribución conocida pero su forma específica depende de los valores de parámetro desconocidos. Así la familia puede ser la distribución de Poisson y  $\lambda$  el parámetro desconocido. En este caso se presentan dos tipos de problemas: el primero es tratar de conocer el valor de  $\lambda$ , lo que se conoce como *estimación*; y el segundo consiste en investigar si  $\lambda$  se encuentra dentro de un rango de valores determinado o no, a lo que se conoce como *prueba de hipótesis*.
2. Suponer que se conoce la familia y algunas características específicas de los parámetros, en cuyo caso las pruebas de hipótesis se realiza con mayor información sobre los parámetros.
3. No se supone una familia determinada y se quieren determinar características generales de la frecuencia relativa (regularidad estadística) de ocurrencia de los eventos como por ejemplo sus parámetros de posición (moda, mediana, media): o sus parámetros de escala (como desviación estándar, rango, etc.). A esto se le conoce como inferencia no paramétrica.
4. Investigar si una función de distribución pertenece a una determinada familia, a lo que se le llama *bondad de ajuste*. (Méndez, 1982).

Debido a la controversia que ha existido sobre el tipo de distribución que mejor representa a la GPTS y debido a que esta ha venido evolucionando, decidimos observar a las diferentes escalas desde otro punto de vista.

Basados en la inferencia no paramétrica se obtendrá la media, varianza, y desviación estándar dados por;

$$x_m = \sum \frac{x_i}{N} \quad ; \quad Var = \sum \frac{(x_i - x_m)^2}{(N - 1)} \quad ; \quad Des = \sqrt{Var}$$

de cada una de los diferentes formas en que se estudiará a la GPTS, y que a continuación se detallan.

1. Se obtendrá el número de cambios de polaridad en cada una de las GPTS para intervalos de tiempo de cada 1 Ma, 2 Ma, 5 Ma y 10 Ma; así como las gráficas de polaridad acumulada, con el fin de observar su comportamiento y comparar las diferencias de cada GPTS. Estos intervalos de tiempo han sido tomados de manera arbitraria con el fin de tener algún punto de comparación.
2. Se obtendrá la distribución en el tiempo de todas las GPTS considerando el tamaño de los chrons normales, el tamaño de los chrons reverso, con el fin de compararlos y determinar la estabilidad de la escala. Se observará también el comportamiento acumulado de cada uno de ellos.
3. Es importante notar que el histograma de la longitudes de los chrons da más bien información indirecta, acerca del proceso dinámico subyacente. Esto es cuando miramos al histograma, uno sabe que un de longitud,  $\Delta_i$ , ha ocurrido  $i$  veces, pero nada es conocido acerca de cosas tales como. Cuál es la longitud de el chron precedentes, ó si tiene un chron corto más oportunidades de ocurrir después de un chron largo o no. Por lo que para poder observar esto se graficará la longitud de los intervalos contra el tiempo

y se determinará cada cuando ocurre un chron largo y el comportamiento de los chrons precedentes y consecuentes. También se observará la gráfica de longitud del chron acumulada para ver los cambios de pendiente que representan cambios grandes en el tamaño del chron respecto a los intervalos anteriores y posteriores.

4. Para que un proceso sea renovable, la polaridad de los chrons debe ser independiente. Una prueba que es elemental es graficar un diagrama de dispersión, de polaridad normal vs reversa. Si la longitud de los chrons es independiente, los puntos estarán dispersos sobre el plano y no se observará ninguna distribución sistemática de dichos puntos. Dado lo anterior se obtendrán las gráficas de dispersión para tratar de observar si existe tal dependencia en la señal.
5. También se presentan las tablas comparativas que presentan las principales características de cada una de las escalas.

## 2.2 AUTOCORRELACION

Naidu (1971) en la estadística de segundo orden encontró que existe una discontinuidad estadística alrededor de los 50 Ma en la GPTS de HDHPL-68. Que los intervalos de polaridad de 0-48 Ma forman una secuencia estacionaria, y que los intervalos del primer grupo 0-48 Ma, estaban correlacionados, es decir, no eran independientes. Y se basan tanto en el coeficiente de correlación como en el espectro de la función de densidad.. No dice mucho sobre el segundo grupo, pero si tienen alguna evidencia de que los intervalos no están correlacionados. También muestra que están de acuerdo con una distribución gamma.

Naidu (1975) Estudia la GPTS HDHPL-68 a través de la función de autocorrelación y concluye que no son independientes. Muestran que los intervalos de polaridad están gobernados por una distribución Poisson/gamma y que los parámetros estadísticos cambian drásticamente alrededor de los 48 Ma. Naidu (1974). Muestra con el estudio de la función de autocorrelación que el intervalo no es independiente y es gobernado por un modelo de Markov; esto es, los intervalos de polaridad están relacionadas con el intervalo de polaridad inmediatamente anterior. Usa la escala HDHPL-68 y obtienen la autocorrelación para intervalos de muestreo aleatorio y  $N=167$  muestras.

Ulrych y Clayton (1976) señalan que Naidu (1975) propone que los intervalos del campo geomagnético para el periodo de 0-76 Ma no son independientes y que esta conclusión, realmente, es importante porque sugiere que el mecanismo que gobierna a las reversiones del dínamo geomagnético posee una memoria. Señalan también que Naidu (1975), desarrolla su modelo en la base de la naturaleza exponencial de la autocorrelación, implicando en este modelo la suposición de estacionaridad durante este intervalo de tiempo, pero que sin embargo, el mismo Naidu (1971) muestra claramente que la estructura estadística de los intervalos de polaridad hace un marcado cambio alrededor de los 48 Ma y que este hecho tiene un pronunciado efecto al calcular la función de autocorrelación. Ulrych y Clayton (1976). Muestran

que mientras la autocorrelación de todos los datos tiene una forma exponencial, la autocorrelación desarrollada para los últimos 48 Ma es impulsiva con desplazamiento cero (zero lag), con lo que concluyen que los intervalos en este lapso de tiempo son independientes.

Naidu (1976), nuevamente concluye que los intervalos de las reversiones para los primeros 48 Ma son independiente. Y que la dependencia que se sugiere se debe a la utilización de todos los datos (0-76 Ma) que tiene propiedades diferentes.

Laj et al. (1979) señalan que, con los límites del ruido estadístico, los sucesivos intervalos de polaridad son estadísticamente independientes y están distribuidos en el tiempo de acuerdo a un proceso de Poisson.

Usan una función de autocorrelación que no es tan sensitiva a los eventos de polaridad cortos como la usada por Naidu (1971,1975) que si era por definición sensible a eventos cortos de cambios de polaridad. Laj y Nordemann (1979) usan la escala de HDHPL-68 y consideran a la señal como aleatoria y estacionaria.

Laj et al. (1979) hacen notar que Naidu (1976) mostró que mucho de el ancho de la función de autocorrelación se debía a la contribución de las reversiones de 48-73 Ma. El entonces divide a la señal en dos periodos uno de 0-48 Ma para el cual la secuencia no esta correlacionada, y otro de 48-72 Ma para el cual la secuencia esta correlacionada. Esta separación corresponde a un cambio en la duración media de los intervalos en la escala de HDHPL-68 siendo más grande en los periodos de 48-72 Ma que en el de 0-48 Ma y hacen notar que esto podría causar un incremento en el ancho de la correlación estática, la cual es como se ha mencionado, del orden de la duración media de los intervalos de polaridad. Laj et al. (1979), creen que este efecto y no la secuencia correlacionada causa un ancho mayor en la correlación de 48-72 Ma, realizada por Naidu (1976). Laj et al. (1979) analizan la serie de tiempo de las reversiones del campo geomagnético usando la función de correlación de una señal telegráfica obtenida de la escala de HDHPL-68 asignándole un valor de  $\pm 1$  a los intervalos de polaridad normal y reversa, y hacen el análisis para toda la secuencia comprimiendo en el tiempo los intervalos del último periodo con el fin de obtener la misma duración media dando como resultado una señal no correlacionada. Laj et al. (1979) consideraron a la señal como aleatoria y estacionaria.

Toda esta controversia por el tamaño de la escala utilizado para determinar la dependencia o independencia de la señal del campo geomagnético nos cuestiono sobre ¿qué pasaría si usamos sólo pequeñas partes de la GPTS?, ¿qué pasaría si en lugar de comprimir a la señal en el tiempo para uniformizar la duración media de los intervalos dividimos a la GPTS en pequeñas porciones y usamos la longitud media de cada parte?. ¿Cómo es el comportamiento de las otras GPTS?. En el siguiente capítulo se mostrarán los cambios y característica de cada GPTS cuando obtenemos la autocorrelación de toda la GPTS o lo hacemos por partes.

### 2.2.1 DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN

La función de autocorrelación es definida en la forma usual como

$$C(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T F(t)F(t + \tau)dt$$

donde  $F(t) = \pm 1$ , y  $\tau$  representa el desplazamiento o corrimiento de la señal una con respecto a otra.

Intuitivamente, podemos decir que la función de autocorrelación mide la correlación en el siguiente sentido. Si una señal fluctúa lentamente en promedio, entonces dos muestras sucesivas  $x_n$  y  $x_{n+1}$  tendrá casi el mismo valor y el producto será en promedio positivo. Contrariamente si la señal varía rápidamente, las dos señales tienen la posibilidad de tener el mismo signo o signo diferente (se considera por simplicidad que el valor promedio es cero). En este último caso, el producto es, en promedio, cero y se interpreta el valor de la función de autocorrelación diciendo que las variables no están correlacionadas. Entre más grande sea el valor de la función de autocorrelación las variables están más correlacionadas

La función de autocorrelación tiene como característica principal el ser sensible al tamaño de los chrons de la serie de tiempo de polaridades y el contener una información completa sobre el espectro de tiempo de la función analizada. En particular, nos indica si las reversiones siguen o no un proceso aleatorio. Si los cambios de polaridad y su duración fueran considerados completamente aleatorios, uno debería suponer que la función de autocorrelación es una función que decrece a cero en un tiempo de el orden de la duración media de la longitud de los chrons a lo que se conoce como *ancho de correlación estática*. Entonces en una forma simple se puede decir que si la función de correlación tienen un ancho apreciablemente mayor que el ancho de correlación estática, los cambios de polaridad están dinámicamente correlacionados, esto es, el mecanismo que los causa posee una memoria. Un caso extremo es el correspondiente a la existencia de un periodo subyacente ó eventualmente un mecanismo multiperiodico, para el cual la memoria se extiende sobre un tiempo infinito. En este caso el ancho de la función de correlación esta mal definido porque la función no decrece a cero para intervalos de tiempo largos.

Por otro lado la función de autocorrelación es sólo levemente sensible a chrons de polaridad cortos no detectados. Esto es, el resultado que se obtiene es válido con errores irrelevantes para chrons cortos de polaridad no detectados y da información sobre la dinámica de la serie de tiempo de reversiones de polaridad.

Basados en Laj et al. (1979) se obtuvo la función de autocorrelación. Primero se atribuyó el signo +1 a los chrons de polaridad normal, y -1 a los chrons de polaridad reversa y se interpoló a las diferentes GPTS cada 0.01 Ma, para los intervalos de 0-5 Ma, de 0-18 Ma, de 0-48 Ma y de 48 a 83 Ma; y cada 0.02 Ma para las GPTS de 0-83 Ma. A continuación se construyó una señal telegráfica como se muestra en la figura 2.1 y se realizó la operación de autocorrelación.

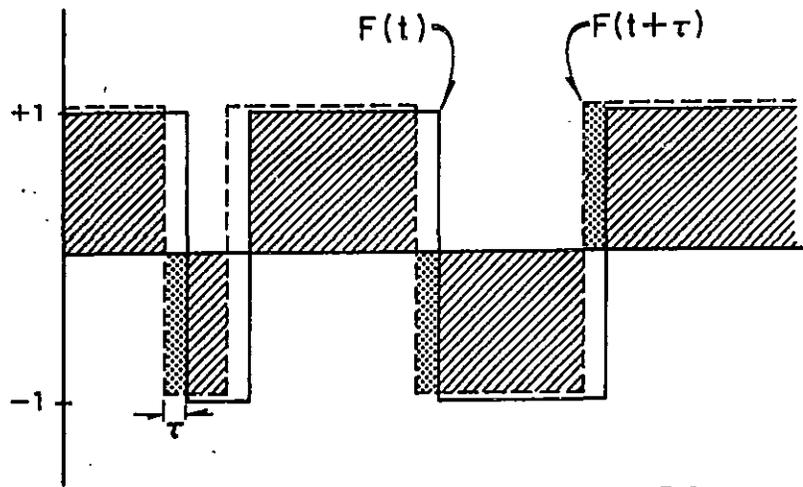


Figura 2.1. Representación esquemática de como la función de autocorrelación es obtenida. De la definición se tiene que para un valor particular de  $\tau$ ,  $C(\tau)$  es proporcional a el área achurada ( $F(t)$  y  $F(t+\tau)$  son del mismo signo) menos el área punteada ( $F(t)$  y  $F(t+\tau)$  son de signo opuesto). (Laj et al., 1979)

## 2.2.2 EVALUACIÓN DEL RUIDO ESTADÍSTICO DE LA FUNCIÓN DE CORRELACIÓN ASOCIADO CON UN NÚMERO DE MUESTRAS FINITAS DE REVERSIONES NO CORRELACIONADAS.

El cálculo del ruido estadístico (para un nivel de confianza del 95%) se realizó siguiendo el procedimiento de Laj et al. (1979), describiéndose a continuación el método matemático utilizado.

La cantidad a ser calculada es

$$\langle \delta C^2(t) \rangle = \frac{1}{(T-t)^2} \int_r^{r+T-t} dt_1 \int_r^{r+T-t} dt_2 [\langle \sigma(t_1) \sigma(t_1+t) \sigma(t_2) \sigma(t_2+t) \rangle - \langle C(t) \rangle^2] \quad 2.2.1$$

donde  $\sigma(t)$  es el valor en el tiempo  $t$  de una onda rectangular, esto es  $\sigma(t) = \pm 1$  y  $C(t) = \exp(-2|t|/t_0)$  es la función de autocorrelación de una onda de este tipo (Lee, 1960).

La función de correlación que aparece en la ecuación 2.2.1, es difícil de calcular, sin embargo, es posible el reducir a la usual correlación de dos términos en la siguiente forma (Van Kampen, 1976). Sea  $P(a, t_a; b, t_b)$  la probabilidad de que una onda de tipo Poisson este en un estado  $a$  en un tiempo  $t_a$  y en el estado  $b$  en un tiempo  $t_b$  ( $a$  y  $b$  solo pueden tener los valores de más o menos). Para calcular la función de autocorrelación, se deben de considerar cuatro funciones, dependientes sólo de  $t_b - t_a = \theta$  ( $\theta > 0$ ), las cuales son:

$$\begin{array}{ll} P(+, 0; +, \theta) & P(+, 0; -, \theta) \\ P(-, 0; +, \theta) & P(-, 0; -, \theta) \end{array}$$

Estas funciones están relacionados por un sistema de cuatro ecuaciones diferenciales lineales de primer orden de la forma

$$\frac{d}{d\theta} P(+,0;+, \theta) = \frac{1}{t_0} [P(+,0;- , \theta) - P(+,0;+, \theta)] \quad 2.2.2$$

donde  $1/t_0$  es la probabilidad de un cambio de polaridad por unidad de tiempo. Las otras tres ecuaciones diferenciales son análogas.

Usando estas funciones de probabilidad, la función de autocorrelación (para dos tiempos) se convierte en:

$$\langle \sigma(t_1) \sigma(t_2) \rangle = P(+,t_1;+, t_2) + P(-,t_1;- , t_2) - P(-,t_1;+, t_2) - P(+,t_1;- , t_2) \quad t_2 \geq t_1$$

La función de probabilidad de la función  $P$  obedece a la evolución de la ecuación 2.2.2 donde para condiciones limitantes,

$$\begin{aligned} P(+,t_1;+, t_1) &= P(-,t_1;- , t_1) = 1/2 \\ P(+,t_1;- , t_1) &= P(-,t_1;+, t_1) = 0 \end{aligned}$$

Después de la resolución, se obtiene que

$$\langle \sigma(t_1) \sigma(t_2) \rangle = \exp(-2|t_2 - t_1|/t_0) \quad t_2 \geq t_1$$

Una simple generalización de este resultado permite el cálculo de los cuatro términos de la función de correlación que aparecen en 2.2.1. Como

$$\langle \sigma(t_a) \sigma(t_b) \sigma(t_c) \sigma(t_d) \rangle = \exp[-2(t_d - t_c)/t_0] \exp[-2(t_b - t_a)/t_0] \quad t_d \geq t_c \geq t_b \geq t_a \quad 2.2.3$$

y se puede reescribir la expresión 2.2.1 en la forma

$$\langle \delta C^2(t) \rangle = \frac{2}{(T-t)^2} \int_0^{T-t} dt_1 \int_0^{t_1} dt_2 [\langle \sigma(t_1) \sigma(t_1+t) \sigma(t_2) \sigma(t_2+t) \rangle - \exp(-2|t|/t_0)] \quad 2.2.4$$

Entonces 2.2.3 muestra que el integrando en 2.2.4 es cero cuando  $t_1 + t \geq t_2$  y que de otra manera, se tiene que

$$\begin{aligned} \langle \delta C^2(t) \rangle &= \frac{2}{(T-t)^2} \int_0^{T-t} dt_1 \int_{t_1-t}^{t_1} dt_2 [\exp(-2|t_1 - t_2|/t_0) - \exp(-2|t|/t_0)] \\ &= \frac{t_0}{(T-t)} \phi\left(\frac{t}{t_0}\right) = \langle \delta C(\infty) \rangle \phi\left(\frac{t}{t_0}\right) \end{aligned}$$

donde  $\phi(x) = 1 - \exp(-x) - x \exp(-x)$ .

En el límite cuando  $x \rightarrow 0$ , esta expresión se convierte en

$$\phi(x) \underset{x \rightarrow 0}{\cong} \frac{x^2}{2} + O(x^3) + \dots$$

Esto es  $\langle \delta C^2(t) \rangle$  es cero cuando  $t \rightarrow 0$ , lo cual es lo que esperamos porque para  $t = 0$ , el valor normalizado de la autocorrelación  $C(0) = 1$ , esta perfectamente determinado. Cuando  $t \rightarrow \infty$ ,  $\phi(x) = 1$  y, sustituyendo  $N = (T-t)/t_0$  (número de reversiones en el periodo  $T-t$ ),  $\langle \delta^2 C(\infty) \rangle$  se convierte en

$$\langle \delta^2 C(\infty) \rangle = \frac{1}{2N} \approx \sigma^2 \quad 2.2.5$$

y que es la forma en que se determina el nivel de ruido estadístico.

En nuestro caso, como la función de autocorrelación no esta normalizada, se multiplicará el nivel de ruido, por el tiempo de duración de la señal  $T$ , obteniéndose así que el nivel de ruido estadístico esta determinado por  $2\sigma$ .

### 2.3 ESPECTRO DE AMPLITUD DE LAS GPTS, Y ESPECTRO DE AMPLITUD DE LA AUTOCORRELACION DE LAS GPTS.

Es evidente que cualquier modelo que intente representar al campo magnético necesitará forzosamente simular las reversiones del campo magnético y por lo tanto sus frecuencias. Por lo que es muy importante estudiar como estas frecuencias de reversiones se han modificado a medida que la escala se ha modificado, y estas modificaciones en las frecuencias deben de ser consideradas cuando se genera un modelo que represente al campo magnético.

En 1982 surge la GPTS de Harland et al. (1982) (HCLPSW-82) y Raup (1985) basado en esta GPTS sugiere una periodicidad de 30 Ma para el campo magnético y lo asocia con extinciones biológicas. Sin embargo Lutz (1985) señala que no existe tal periodicidad y que esta se debe al proceso matemático desarrollado para observar la periodicidad (Método de Stothers). Stothers (1986) presenta otro escrito señalando la existencia de la periodicidad y presentando un análisis mucho mas detallado. Lutz (1988) presenta otro estudio señalando que la periodicidad encontrada anteriormente puede deberse al efecto de tomar un intervalo de tiempo tan largo (165 Ma), para determinarla

Dado lo anterior y tratando de determinar si existe alguna frecuencia fundamental que se mantenga en las GPTS, se procedió a realizar el análisis espectral para cada una de las GPTS, basados en lo que a continuación se describe.

Una serie de tiempo, puede ser unívoca y completamente descrita como la suma de un número de cosenoidales cada una con una amplitud, frecuencia y fase única. Por lo que esta serie de tiempo puede ser sintetizada por las componentes individuales de frecuencia. Este proceso de descomponer una señal en sus componentes cosenoidales es llevado a cabo matemáticamente por la transformada de Fourier.

Por lo tanto, una serie de tiempo puede ser representada en el dominio físico como  $x(t)$ , o en el dominio de la frecuencia en términos de la amplitud a partir de la transformada de Fourier  $X(f,T)$  donde  $f$  es la frecuencia. La cantidad  $X(f,T)$  es generalmente un número complejo a partir del cual se puede obtener la fase de la señal aplicando la Transformada de Fourier a  $x(t)$  en el intervalo  $0 < t < T$ , la cual está dada por

$$X(f,T) = \int_0^T x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad 2.3.1$$

La ecuación complementaria que relaciona a  $x(t)$  con  $X(f,T)$ , es la transformada inversa de Fourier

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f, T) e^{i2\pi ft} df \quad 2.3.2$$

Como se mencionó anteriormente, la forma en que la serie de Fourier reconstruye a una función es a través de una suma infinita de funciones cosenoidales, las cuales al sumarse con diferentes ángulos de fase generan la señal original. Cada una de estas señales tiene una amplitud definida. En el espectro de amplitud por lo tanto, se pueden observar cuáles son las principales componentes de frecuencia de la señal.

Por otro lado la autocorrelación es una medida de la similitud de la señal. La función de autocorrelación conserva sólo los valores para los cuales se presenta una cierta "similitud" en la señal; descartando los valores para los cuales esta no existe, lo que provoca que al obtener el espectro de la autocorrelación, se conserven aquellas componentes de frecuencia que tienen similitud y se descarten aquellas que no lo tienen. Es decir resalta aquellas frecuencias en las que existe similitud en la señal, y disminuye aquellas en las que no la hay. En una señal puramente aleatoria, la función de autocorrelación sería de tipo impulsivo, en el dominio del tiempo mientras que la transformada de la función de autocorrelación, la cual representa el "espectro de poder" o "densidad espectral", tendría un espectro de densidad sobre todas las frecuencias. Esta clase de señal es generalmente llamada "ruido blanco" (Por analogía con la luz blanca que contiene todas las frecuencias). El análisis del espectro de poder puede ser visto como un método para determinar la fracción de la varianza total a ser asignada para frecuencias sobre un cierto intervalo.

Como ejemplo se presenta una señal periódica de tipo cuadrado (como la generada para las diferentes GPTS en este trabajo), con un periodo  $T_0=10$  (figura 2.2a) y un intervalo de muestreo  $\Delta T=1$ . De esta señal se obtuvo la transformada de Fourier (figura 2.2b) en donde se pueden observar claramente, que la principal componentes de frecuencia se encuentra en  $f = 1/T_0 = 0.1$ , al obtener la autocorrelación (figura 2.2c). Se puede observar como la señal conserva la periodicidad original y va disminuyendo de valor de

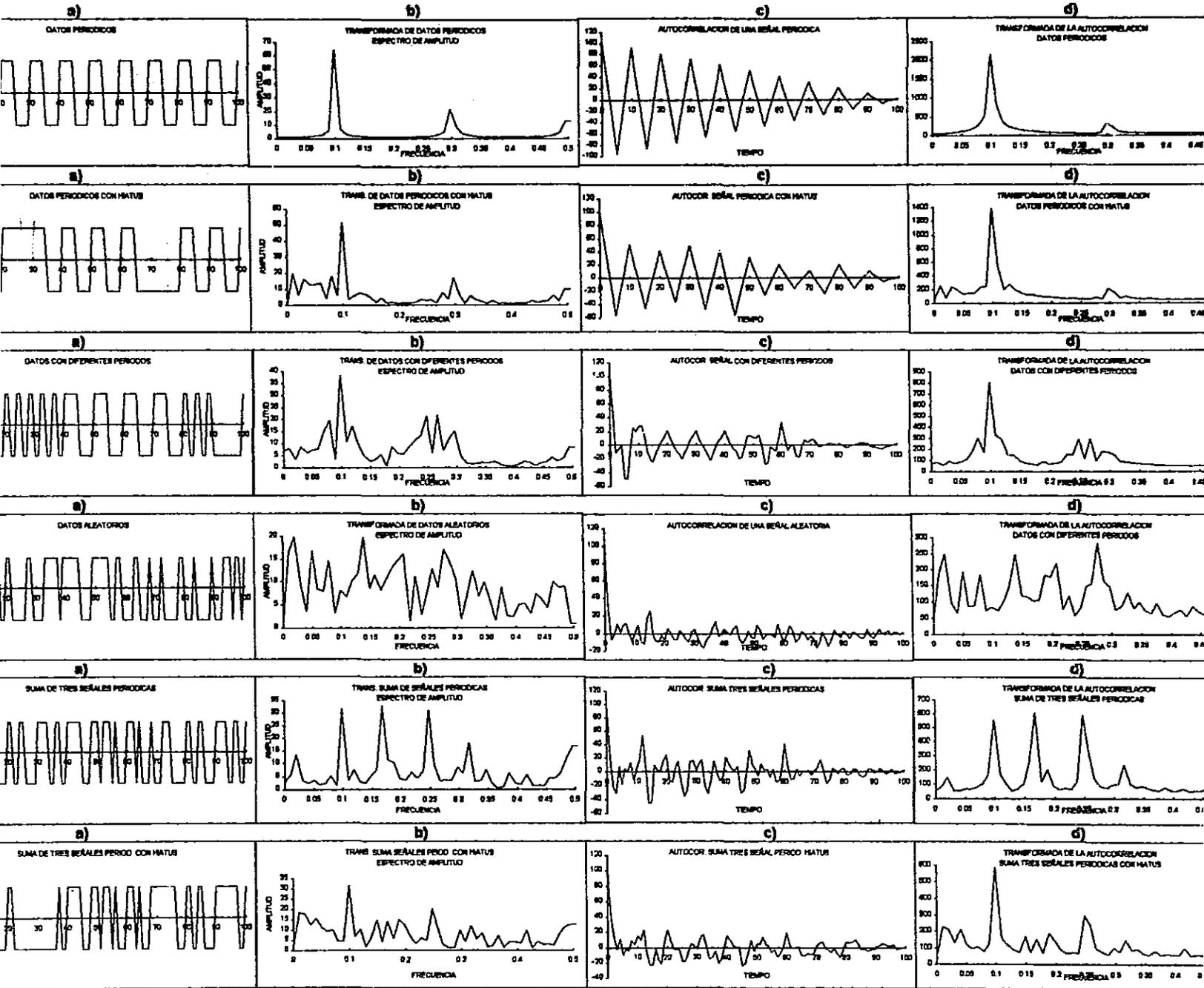
manera paulatina conservando valores medibles durante todo el intervalo  $T$ , lo que corrobora lo presentado en la sección 2.2. En la figura 2.2d, se presenta el espectro de amplitud de la función de autocorrelación el cual contiene la misma información que el espectro de poder. Si se compara la figura 2.b con la 2.d se puede observar como la componente principal de frecuencia se mantiene mientras que la que no lo es se atenúa.

A continuación se supusieron dos zonas de *hiatus* entre 25 y 30, y entre 70 y 75 (figura 2.3a) y se obtuvo su transformada de Fourier (figura 2.3b), en la cual aún se pueden observar claramente las componentes de frecuencia principales aunque ahora se les ha agregado otras menos notables. En cuanto a la autocorrelación, (figura 2.3c) se puede observar un cambio en la tendencia de la función respecto al caso anterior, la disminución de la señal ya no es tan constante, sin embargo, se sigue observando periodicidad en la señal. En la figura 2.3d, se presenta el espectro de amplitud de la autocorrelación y se puede observar claramente como varias de las frecuencias son suavizadas destacándose sólo la correspondiente a 0.1 que representa a la periodicidad original.

Como siguiente caso se generó la misma señal periódica, pero ahora se intercaló otro periodo ( $T_o=4$ ) entre 20 y 40 y entre 80 y 90 (figura 2.4a). Al obtenerse la transformada (figura 2.4b), se puede observar que la componente de frecuencia en  $f=0.1$  se sigue conservando pero ahora se anexan otras más, observándose dos picos alrededor de 0.25 que es la frecuencia esperada para  $T_o=4$ . Con respecto a la autocorrelación (figura 2.4c), esta se vuelve más impulsiva, conservando aunque con menos amplitud todavía algunos picos y la periodicidad principal, el descenso de valor de la señal es más drástico y no tan paulatino como en los casos anteriores. En la figura 2.4 d se presenta el espectro de amplitud de la autocorrelación en donde se puede observar como se mantiene la frecuencia de  $f=0.1$  y dos pequeños picos alrededor de 0.25.

A continuación se generó una señal construida aleatoriamente (figura 2.5a) de la cual se obtuvo su transformada (figura 2.5b) observándose un comportamiento totalmente irregular en el espectro de amplitud de la transformada de Fourier con componentes de frecuencia notables pero sin ninguno sobresaliente respecto a los otros y que se conservan así durante casi todo el espectro. En la autocorrelación (figura 2.5c), como es de esperarse por tratarse de una señal aleatoria, se tiene una señal impulsiva que desciende drásticamente y en donde no se observa ninguna periodicidad aparente en la señal.

Para continuar con nuestro desarrollo, se presenta una señal que esta construida como la suma de otras tres (figura 2.6a). La primera con un periodo de  $T_o=4$ , la segunda con un periodo de  $T_o=6$  y la tercera con un periodo  $T_o=10$ , se sumaron y dividieron entre tres siendo necesario multiplicar por tres cuando el valor obtenido en el paso anterior era diferente de  $\pm 1$ . Para esta señal se obtuvo la transformada de Fourier (figura 2.6b) dentro de la cual se pudo observar claramente las componentes principales de frecuencia en  $f=0.1$  que corresponde a  $T_o=10$ , en  $f=0.1666$  que corresponde a  $T_o=6$  y en  $f=0.25$  que corresponde a  $T_o=4$ .



Con respecto a la autocorrelación se tiene una señal de tipo impulsivo en la que no se observa para tiempos mayores una periodicidad aparente. En la figura 2.6d, sin embargo, se pueden apreciar las tres componentes espectrales muy bien definidas disminuyendo (o suavizando) lo que no corresponde a la periodicidad de la señal.

Para terminar con este *experimento* a la señal anterior se le agregaron varios *hiatus* con el fin de comparar su comportamiento (figura 2.7a). En la transformada (figura 2.7b) se puede observar que aún se conservan dos de las componentes principales de frecuencia y la otra disminuye su valor, sin embargo aún se observa la periodicidad y pensando que en la señal original se generó un *hiatus* aproximadamente del 30 % de los datos, es aceptable la resolución. Con respecto a la autocorrelación (figura 2.7c), se sigue observando un comportamiento impulsivo y un descenso rápido pero con una cierta periodicidad en los cruces. En la figura 2.7d, se observan resaltadas las componentes de frecuencia correspondientes a  $f=0.1$  y  $f=0.25$ , sin embargo la correspondiente a  $f=1.666$  es indistinguible.

Debe de notarse que la periodicidad de la señal se aprecia mejor en el espectro cuando se suman diferentes periodos (figura 2.6) que cuando se intercala un periodo en otro (figura 2.4).

En conclusión se puede decir que el análisis del espectro es una buena forma de identificar periodicidad subyacentes en bandas caóticas, sin embargo, en la práctica puede ser difícil el distinguir por medio del espectro entre las señales periódicas y aleatorias. Dado lo anterior se decidió obtener el espectro de amplitud de la GPTS y el espectro de amplitud de la autocorrelación de cada una de ellas.

## 2.4 FRACTALES

El término *fractal* fue concebido por Benoit Mandelbrot y se refiere a la geometría de los objetos caracterizados por *self-similarity* (similitud de mismo), que es la propiedad de un objeto si su estructura geométrica en una escala, es la misma que para otra escala, es decir, objetos que tienen la misma estructura para todas las escalas y cada parte del objeto fractal puede ser visto como la escala reducida de un total (Medio, 1993).

Como explicaremos más adelante, la geometría fractal es una extensión de la geometría clásica. Pero, ¿Qué tan grande es un fractal? ¿ Cuando son dos fractales similares en algún sentido?. ¿ Qué medidas experimentales se pueden hacer para decirnos si dos fractales pueden ser métricamente equivalentes.

Existen varios números asociados a los fractales que pueden ser usados para compararlos; ellos son generalmente referidos como la *dimensión fractal* y son un intento de cuantificar un sentimiento subjetivo que se tiene de cuan densamente el fractal ocupa el espacio métrico en el cual descansa. La *dimensión fractal* provee de una medida objetiva para comparar fractales y es importante porque ella puede ser definida en conexión con datos del mundo real que pueden ser medidos de manera experimental.

## 2.4.1 CONJUNTO FRACTAL.

Un conjunto fractal queda definido como:

$$N_n = \frac{C}{r_n^D} \quad 2.4.1$$

Donde  $N_n$  es el número de objetos (i.e. fragmentos) con una dimensión lineal característica  $r_n$ ;  $C$  es una constante de proporcionalidad, y  $D$  es la dimensión fractal.

La dimensión fractal puede ser un entero, en cuyo caso, es equivalente a la dimensión Euclidiana. La dimensión Euclidiana de un punto es cero, de una línea es uno, de un cuadrado es dos, y de un cubo es tres. En general la dimensión fractal no es un entero, sino una dimensión fraccionada, lo que da origen al término *fractal*.

Para poder determinar  $D$  se reescribe 2.4.1 de manera que:

$$D = \frac{\ln \left[ \frac{N_{n+1}}{N_n} \right]}{\ln \left[ \frac{r_{n+1}}{r_n} \right]} \quad 2.4.2$$

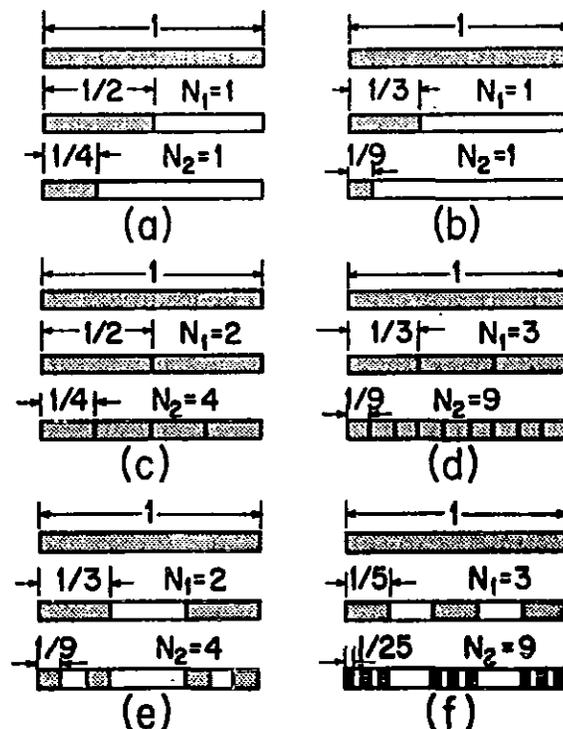


Figura 2.8 En el orden uno un segmento de línea de una unidad de longitud es dividida en pequeños segmentos de igual tamaño. Una fracción de estos segmentos es *retenida*. La construcción es repetida para ordenes mayores. Los primeros dos ordenes están ilustrados. (a) Un segmento de línea es dividido en dos partes y una es retenida;  $D = \ln 1 / \ln 2 = 0$  (dimensión fractal de un punto). (b) Un segmento de línea es dividido en tres partes y una es retenida;  $D = \ln 1 / \ln 3 = 0$  (dimensión fractal de un punto). (c) Un segmento de línea es dividido en dos partes y ambas son retenidas;  $D = \ln 2 / \ln 2 = 1$  (dimensión fractal de una línea). (d) Un segmento de línea es dividido en tres partes y dos son retenidas  $D = \ln 2 / \ln 3 = 0.6309$  (dimensión fractal no-entera; esta construcción es también conocida como un conjunto de Cantor). (e) Un segmento de línea es dividido en cinco partes y tres son retenidas;  $D = \ln 3 / \ln 5 = 0.6826$  (dimensión fractal no-entera). (Turcotte, 1992)

Donde  $D$  representa la *dimensión fractal* que cuando no es entera se le conoce como conjunto de *Cantor* y que los matemáticos reconocen como una construcción "*patológica*". Y donde  $r_1$  representa la primera partición y  $r_n$  es la partición número  $n$ .

Se puede demostrar que

$$\frac{r_n}{r_o} = \left[ \frac{r_1}{r_o} \right]^n \quad 2.4.3$$

donde  $r_o$ , es la longitud inicial, y  $r_n$ , la longitud de la línea en la partición número  $n$ .

Es decir, cuando  $n \rightarrow \infty$ ,  $r_n \rightarrow 0$  este es el límite del conjunto de Cantor conocido como *polvo de Cantor* (Cantor dust) ya que se encuentra entre la dimensión cero (punto) y la dimensión uno (línea). (Figura 2.8).

Si repetimos el proceso de la figura 2.8 para áreas, en vez de líneas obtendremos la dimensión de la *carpeta de Sierpinski* (Sierpinski carpet) (figura 2.9) la cual representa la dimensión fractal entre la dimensión uno (línea) y dos (área).

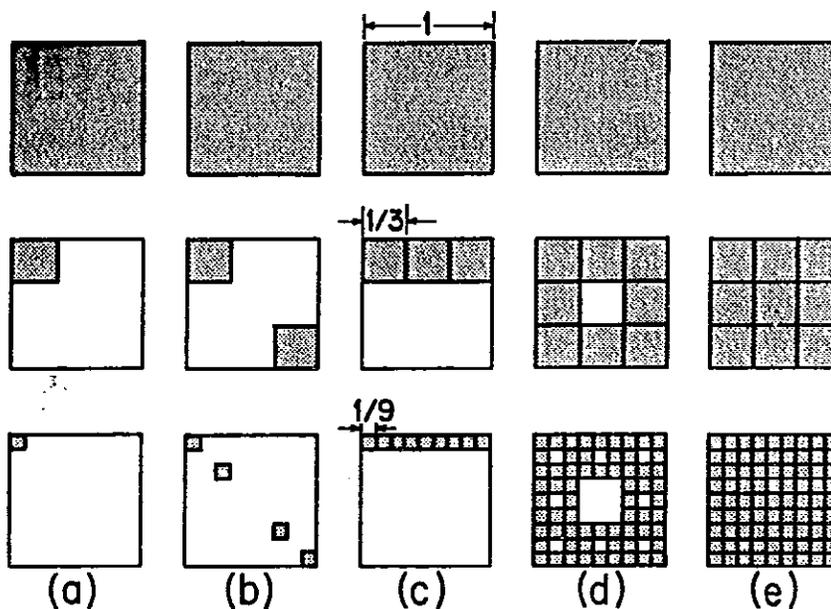


Figura 2.9 En el orden uno una unidad cuadrada esta dividida en nueve cuadrados más pequeños de igual área con  $r_1 = 1/3$ . En el orden 2 los restantes cuadrados están divididos en nueve cuadrados más pequeños de igual área con  $r_2 = 1/9$ . Se muestran cinco ejemplos en los cuales varios números de cuadrados  $N$ , son retenidos. (a)  $N_1 = 1$ ,  $N_2 = 1$ ,  $D = \ln 1 / \ln 3 = 0$ . (b)  $N_1 = 2$ ,  $N_2 = 4$ ,  $D = \ln 2 / \ln 3 = 1$ . (d)  $N_1 = 8$ ,  $N_2 = 64$ ,  $D = \ln 8 / \ln 3 = 1.8928$  (también conocido como una carpeta de Sierpinski). (e)  $N_1 = 9$ ,  $N_2 = 81$ ,  $D = \ln 9 / \ln 3 = 2$ . (Turcotte, 1992)

Si continuamos con la siguiente dimensión, y repetimos el proceso para volúmenes (cubo), obtendremos la dimensión de *esponja de Merger* (Merger Sponge), la cual representa la dimensión fractal para objetos de dimensión entre dos (áreas) y tres (volúmenes) (figura 2.10).

Se puede utilizar esta última configuración (esponja de Merger) para modelar fluidos en un medio poroso, con una distribución fractal de porosidad, etc.

Para que exista un fractal, este debe ser estadísticamente invariable (invarianza de escala) (Figura 2.11) Como un ejemplo de esto se tiene que para un triángulo.

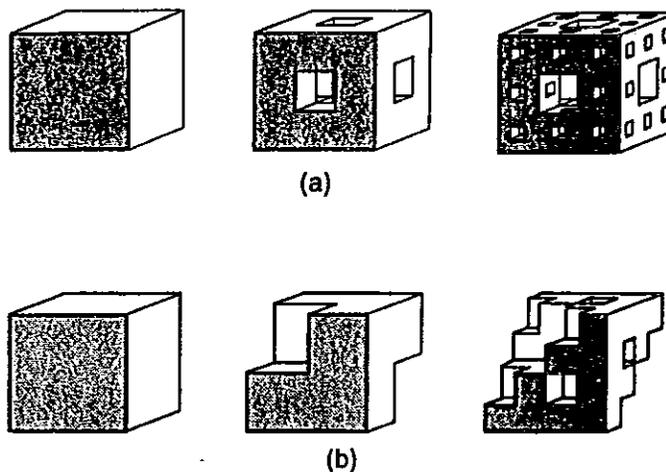


Figura 2.10 (a) En el primer orden la unidad cúbica es dividida en 27 cubos pequeños de igual tamaño con  $r_1 = 1/3$ , 20 cubos son retenidos, entonces  $N_1 = 20$ , En el segundo orden  $r_2 = 1/9$  y 400 de los 729 cubos son retenidos, entonces  $N_2 = 400$ ;  $D = \ln 20 / \ln 3 = 2.727$ . Esta construcción es conocida como la esponja de Merger. (b) En el primer orden la unidad cúbica esta dividida en ocho pequeños cubos de igual tamaño con  $r_1 = 1/2$ . Dos cubos diagonales opuestos son removidos entonces los seis cubos son retenidos y  $N_1 = 6$ . En el segundo orden  $r_2 = 1/4$  y 36 de los 64 cubos son retenidos de manera que  $N_2 = 36$ ;  $D = \ln 6 / \ln 2 = 2.585$ . (Turcotte, 1992).

$$\begin{aligned} N_0 &= 3 & r_0 &= 1 \\ N_1 &= 12 & r_1 &= 1/3 \\ N_2 &= 48 & r_2 &= 1/9 \end{aligned}$$

Los lados son de "escala invariable"

Para poderlo cuantificar se considero la longitud del perímetro, la longitud de un perímetro  $P_n$  de una isla fractal puede estar dado por

$$P_n = r_n N_n \quad 2.4.4$$

donde  $r_n$  es la longitud del lado de orden  $n$  y  $N_n$  es el número de lados para ese orden  $n$  y  $N_n$  es el número de lados. Sustituyendo en 2.4.1,

$$P_n = \frac{C}{r_n^{D-1}} \quad 2.4.5$$

por lo tanto:

$$D = 1 + \frac{\ln \left[ \frac{P_{n+1}}{P_n} \right]}{\ln \left[ \frac{r_{n+1}}{r_n} \right]} \quad 2.4.6$$

Por lo que el perímetro aumenta cuando  $n$  aumenta.

El perímetro de una isla de Koch es determinístico, el de una línea de costa por ejemplo es estadístico.

El perímetro de una línea de costa puede ser diferente a diferentes escalas, pero las diferencias no permiten a la escala ser determinadas. Por lo que la línea de costa es un *fractal estadístico*, mientras que el triángulo isla de Koch, tiene una escala máxima o mínima infinita, la línea de costa tiene una escala máxima y una mínima (de 1 mm, a  $10^3$  o  $10^4$  km), lo que significa 9 ordenes de magnitud.

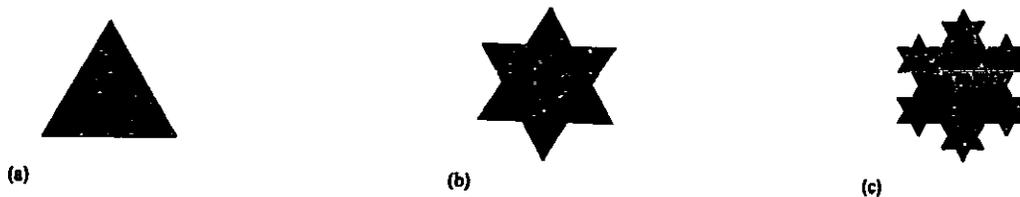


Figura 2.11 La isla triádica de Koch. (a) Un triángulo equilátero con tres lados de longitud unitaria. (b) tres triángulos con lados de longitudes iguales  $r_1 = 1/3$  están colocados en el centro de cada lado. El perímetro es ahora constituido por los 12 lados y  $N_1 = 12$ . (c) Doce triángulos con lados de longitud  $r_2 = 1/9$  son colocados en el centro de cada lado. El perímetro esta ahora constituido por 48 lados y  $N_2 = 48$ ;  $D = \ln 4 / \ln 3 = 1.26186$ . La longitud de el perímetro en (a) es  $P_0 = 3$ , en (b) es  $P_1 = 4$ , y en (c)  $P_2 = 16/3 = 5.333$ . (Turcotte, 1993)

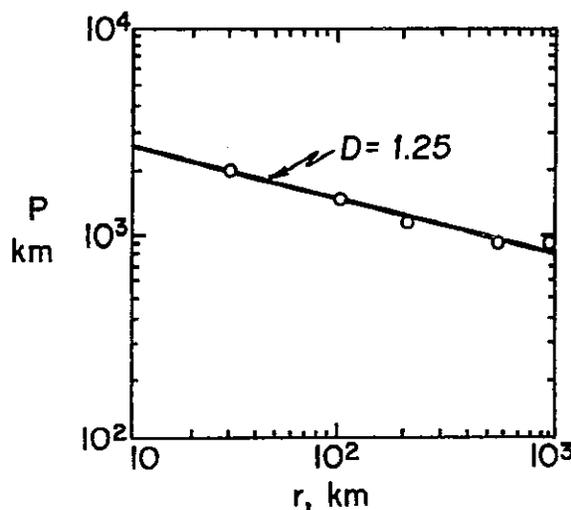


Figura 2.12 La longitud  $P$  de la línea oeste de la Gran Bretaña como una función de la longitud  $r$ . Los datos se correlacionan con 2.4.5 usando  $D=1.25$ . (Turcotte, 1992).

Como un ejemplo, la longitud de la línea de costa de la Gran Bretaña esta dada en la figura 2.12, usando diferentes escalas, la longitud de la línea de costa es graficada contra longitudes, para mediciones hechas a diferentes escalas, en un papel log-log. Si los puntos definen una línea recta, el resultado es estadísticamente un fractal., y es estadísticamente invariable (de escala invariable) en este rango de escalas. Como se muestra los datos se correlacionan bien si se toma a  $D=1.25$ .

Para que una distribución sea fractal es necesario que el número de objetos  $N$  con características de dimensión lineal más grandes que  $r$  satisfagan la relación 2.4.7.

$$N = \frac{C}{r^D} \quad 2.4.7$$

## 2.4.2 FRACTALES *self - affine*

Este tipo de fractales se caracteriza por conformarse bajo un transformación afín, las diferentes coordenadas están escaladas por diferentes factores. Si un objeto es escalonado usando una transformación afín, el objeto es descrito como si fuera *self-affine* y generalmente son tratados cuantitativamente usando técnicas espectrales.

Para ello se debe de considerar una función mono-valuada en un tiempo  $x(t)$ , que es aleatoria pero tiene un espectro específico (Turcotte , 1992). Un ejemplo podría ser la medición del campo magnético terrestre como una función del tiempo en un punto de la superficie terrestre, y es en este sentido en el que se aplica el estudio fractal en este trabajo.

Una consideración fundamental en una serie de tiempo es la correlación entre los valores de  $x(t+\tau)$  y  $x(t)$ . Mientras más largo es el intervalo  $\tau$  se espera que la correlación entre los dos valores decrezca.

Para que la serie de tiempo sea un fractal del tipo (self-affine), es necesario que la diferencia en la serie de tiempo  $x(t+\tau)-x(t)$  satisfaga la condición de probabilidad.

$$P \left[ \frac{x(t+\tau) - x(t)}{\tau^H} < x' \right] = F(x') \quad 2.4.8$$

donde la medición de Hausdorff  $H$  es constante.

Los valores puntuales de  $x$  son aleatorios pero están correlacionados con los valores adyacentes por 2.4.8. Si los puntos adyacentes están totalmente incorrelacionados entonces  $H=0$  y el resultado es ruido blanco. Entre más grande sea el valor de  $H$ , se suaviza la dependencia de  $x$  en  $t$ .

$$H = 2 - D \quad 2.4.9$$

Esto es la definición básica de la dimensión fractal para una serie de tiempo. Para  $1 < D < 2$  se requiere que  $0 < H < 1$ ; que es la definición que se da para ruido fraccionario Browniano.

Como se vio en la sección 2.3 una serie de tiempo puede ser prescrita en el dominio físico como  $x(t)$ , o en el dominio de la frecuencia en términos de la amplitud a partir de la transformada de Fourier  $X(f, T)$  donde  $f$  es la frecuencia y que es definida como:

$$X(f, T) = \int_0^T x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad 2.4.10$$

cuya ecuación complementaria es la transformada inversa de Fourier definida como:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f, T) e^{i2\pi ft} df \quad 2.4.11$$

La cantidad  $|X(f, T)|^2 df$  es la contribución de la *energía total* de  $x(t)$  para aquellas componentes de frecuencia que se encuentren entre  $f$  y  $f+df$ . Las barras verticales en  $|X|$  se refieren al valor absoluto de la cantidad compleja. La *potencia* es obtenida por la división entre  $T$ . Por lo que el espectro de potencia de  $x(t)$  está definido por

$$S(f) = \frac{1}{T} |X(f, T)|^2 \quad 2.4.12$$

En el límite  $T \rightarrow \infty$ . El producto  $S(f)df$  es la potencia en la serie de tiempo asociado con el rango de frecuencia entre  $f$  y  $f+df$ .

Para una serie de tiempo que es fractal el espectro de potencia tiene una ley dependiente de la frecuencia.

$$S(f) \approx f^{-\beta} \quad 2.4.13$$

Para obtener la relación entre el exponente  $\beta$  y la dimensión fractal  $D$ , se consideran dos series de tiempo  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  relacionados por

$$x_2(t) = \frac{1}{r^H} x_1(rt) \quad 2.4.14$$

La propiedad fundamental de los fractales de series de tiempo "*self-affine*", es que  $x_1(t)$  tiene las mismas propiedades estadísticas que  $x_2(t)$ . La transformada de Fourier de  $x_2(t)$  está dada por:

$$X_2(f, T) = \int_0^T x_2(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad 2.4.15$$

substituyendo 2.4.14 y haciendo el cambio de variable de  $t' = rt$  se obtiene que

$$X_2(f, T) = \int_0^{rT} \frac{x_1(t')}{r^H} e^{-\frac{i2\pi ft'}{r}} \frac{dt'}{r} \quad 2.4.16$$

comparando 2.4.16 con 2.4.10 se tiene que:

$$X_2(f, T) = \frac{1}{r^{H+1}} X_1\left(\frac{f}{r}, rT\right) \quad 2.4.17$$

De la definición de el espectro de potencia dado en 2.4.12 se obtiene que

$$S_2(f) = \frac{1}{T} |X_2(f, T)|^2 = \frac{1}{r^{2H+1}} \frac{1}{rT} \left| X_1\left(\frac{f}{r}, rT\right) \right|^2 \quad 2.4.17$$

$$= \frac{1}{r^{2H+1}} S_1\left(\frac{f}{r}\right) \quad 2.4.18$$

Donde 2.4.18 se obtiene muy fácilmente si se aplica la propiedad de escalamiento de la transformada de Fourier.

Como  $x_2$  es propiamente reescalada con la versión  $x_1$ , su espectro de poder debe ser propiamente rescatado. Por lo que se puede escribir como

$$S(f) = \frac{1}{r^{2H+1}} S\left(\frac{f}{r}\right) \quad 2.4.19$$

De la ecuación 2.4.13 y 2.4.9 se obtiene que la relación entre la potencia  $\beta$  y la dimensión fractal  $D$  es

$$\beta = 2H + 1 = 5 - 2D \quad 2.4.20$$

Parámetro a determinar en el análisis de las GPTS.

### 2.4.3 FRACTALES Y RUIDO.

Para los físicos, los cambios impredecibles de cualquier cantidad  $V$  variando en el tiempo  $t$  es conocido como *ruido*. Ejemplos de ruidos típicos  $V(t)$ , se muestran en la figura 2.13 (Barnsley et al., 1988).

A la izquierda de cada muestra se presenta su espectro de poder o de densidad espectral  $S_v(f)$ , que da una estimación de las fluctuaciones medias cuadradas en la frecuencia  $f$ , y, consecuentemente, las variaciones sobre el tiempo de el orden de  $1/f$ .

Las trazas hechas por cada uno de estos ruidos es una curva fractal y como se vio hay una relación directa entre la dimensión fractal y la pendiente logarítmica del espectro de densidad.

En la figura 2.13 (a), se muestra el *ruido blanco*. Este puede ser producido por un generador pseudo-aleatorio y esta completamente incorrelacionado de punto a punto. Su espectro de densidad es una línea plana, que representa iguales valores en todas la frecuencias, (como la luz blanca).

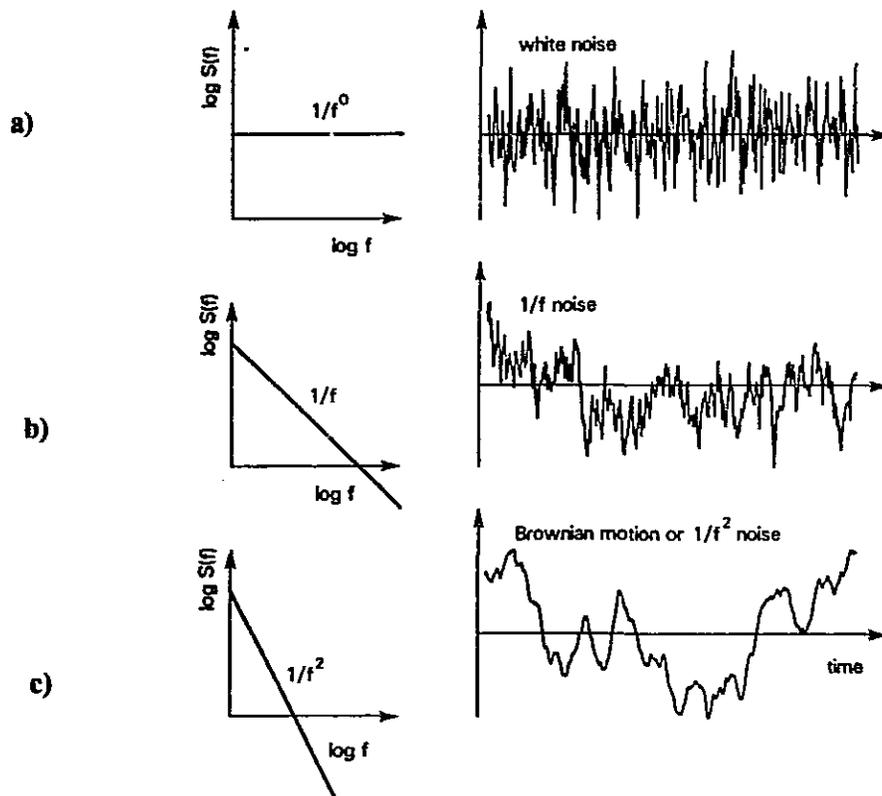


Figura 2.13. Ejemplo de ruidos típicos.  $V(t)$ , las variaciones aleatorias de una cantidad en el tiempo. a) *ruido blanco*, el más aleatorio. b) *ruido-1/f*, uno intermedio pero del tipo encontrado muy comúnmente en las fluctuaciones de la naturaleza. Su origen es todavía, un misterio. c) *Movimiento Browniano* o de *caminata al azar*. A la izquierda de cada ejemplo se encuentra una representación gráfica de el espectro de densidad,  $S_v(f)$ . (Barnsley et al., 1988).

En la figura 2.13 (c), se presenta el movimiento Browniano, la idea básica del movimiento Browniano es el verla como una caminata al azar en dos direcciones (random-walk). El más correlacionado de los ejemplos de ruido. Este consta de más bajas frecuencias que de altas, y su espectro de densidad es

bastante inclinado. Este varía como  $1/f^2$ . Formalmente el movimiento Browniano de la figura 2.13 (c) es la integral del ruido blanco (Figura 2.13 a). En la figura 2.13 (b) se muestra un tipo de ruido intermedio conocido como *ruido-1/f* debido a la forma funcional del espectro de densidad. En general el término *ruido-1/f* es aplicado a cualquier cantidad fluctuando  $V(t)$  con  $S_v(f)$  variando como  $1/f^\beta$  con  $0.5 < \beta < 1.5$ . Tanto el *ruido blanco* como el *ruido 1/f* está bien entendido en términos matemáticos y físicos. Sin embargo el origen del *ruido 1/f*, permanece en el misterio (Barnsley et al., 1988), después de 60 años de investigación, pero representa el más común tipo de ruido encontrado en la naturaleza.

En estudios que se han hecho con la música se observó que los espectros de densidad  $1/f$  parecen ocurrir para cantidades mucho más relacionadas con “*significados*” (melodías musicales).

Este tipo de análisis es sorprendentemente insensible a diferentes tipos de música, con excepción de alguna moderna (Barnsley et al., 1988), donde las fluctuaciones de las melodías se aproximan a ruido blanco, en las bajas frecuencias. Los grandes filósofos griegos, concordaban en considerar a el arte cuanto este imitaba a la naturaleza (pintura, escultura, drama, etc.) pero se preguntaban ¿a qué imitaba la música?. Las mediciones sugieren que la música imita las formas características en que nuestro mundo cambia en el tiempo. Tanto la música como el *ruido-1/f* es un estado intermedio entre lo aleatorio y lo predecible; como lo son los fractales, donde, en este caso en el tiempo, aún la parte más pequeña refleja el total.

Esto hace posible el uso de fractales, en el análisis de señales que como la música se comporten como *ruido-1/f* <sup>$\beta$</sup>  y se espera que puede ser aplicado para el campo magnético terrestre como el fenómeno natural que es.

#### 2.4.4 FRACTALES Y CAOS

El ejemplo de un comportamiento caótico en la naturaleza es la turbulencia de fluidos. Ha sido ampliamente reconocido que la turbulencia de fluidos debe ser tratada estadísticamente y que el apropiado espectro estadístico es un fractal.

Debido a que los fluidos en el interior de la tierra que generan el campo magnético se consideran turbulentos no es de sorprenderse que ellos sean también caóticos (Turcotte, 1992).

La dimensión fractal provee de una herramienta importante, por medio de la cual se puede intentar el dar una caracterización cuantitativa de un *atractor-extraño* caótico. Puede también ser usado, al menos en principio, para distinguir entre el caos determinístico y movimiento aleatorio. (Medio, 1993).

El concepto (y la medición) de la dimensión fractal no es solamente necesario para entender la estructura geométrica fina de un *atractor-extraño*, sino que también es una herramienta fundamental para realizar un análisis cuantitativo de tal *atractor* (Medio, 1993)

Por lo tanto un *conjunto caótico* es aquel que posee órbitas que son inestables (Barnsley, 1988) y es aquí donde los fractales entran en un sistema dinámico. Usualmente, el conjunto de puntos cuyas órbitas son

inestables forman un fractal. Entonces estos fractales están dados por una regla precisa, ellos son simplemente un conjunto caótico de un sistema dinámico.

## 2.4.5 ATRACTORES

En el campo de las Ciencias de la Tierra, encontramos fenómenos caóticos y donde quiera que exista caos, invariablemente encontramos fractales. Como es bien conocido, los sistemas físicos disipativos están sujetos a fuerzas débiles que aproximan al sistema a un estado de equilibrio que es independiente de las condiciones iniciales. A medida que la fuerza aumentan una secuencia de transiciones se lleva a cabo y finalmente llegan a un estado final que es caótico y turbulento (Korvin, 1992).

Como el sistema es descrito por ecuaciones determinísticas, se ha establecido que hay algunas ecuaciones que paradójicamente tienen una impredecible solución caótica. Por lo que no se puede predecir el estado del sistema tiempo más tarde. Existe un conjunto de relativamente baja dimensión llamado **atractor**. Generalmente el atractor tiene una dimensión fraccional (strange attractor) y a medida que el tiempo pasa, la órbita debe visitar los puntos de este fractal en una manera aparentemente casual.

Medio (1993), define a un *atractor* como un punto en el diagrama de fase (phase space) hacia el cual una historia de tiempo envuelve como transeúnte y *die out*. Y a un *atractor extraño* (strange attractor) un punto fijo en el diagrama de fase en el cual las órbitas son caóticas.

El más famoso ejemplo de comportamiento caótico fue (Korvin, 1992) descubierto por Lorenz (1963) quien uso un simple conjunto de ecuaciones diferenciales no-lineales. Que en su forma estándar (Lanford 1982 y West, 1985) son

$$\begin{aligned}\frac{dA}{dt} &= Pr(B - A) \\ \frac{dB}{dt} &= rA - B - AC \\ \frac{dC}{dt} &= -bC + AB\end{aligned}\tag{2.4.21}$$

donde  $t$  es un tiempo adimensional,  $A$  es proporcional a la intensidad del movimiento convectivo,  $B$  es proporcional a la diferencia de temperatura entre las corrientes ascendentes y descendentes y  $C$  describe la desviación con respecto a la vertical;  $r$ ,  $b$ , y  $Pr$  son constantes.

Lorenz (1963) uso  $b=8/3$ ,  $Pr=10$ ,  $r=28$  y obtuvo una solución caótica que más tarde se probó (Grassberger y Procaccia, 1983 a,b) tiene una dimensión fractal de  $\cong 2.05$  (Korvin, 1992) (figura 2.14).

La ecuación de Lorenz simula la convección del manto, mientras que el modelo de disco acoplado de Rikitake simula el campo magnético dipolar (Turcotte, 1992).

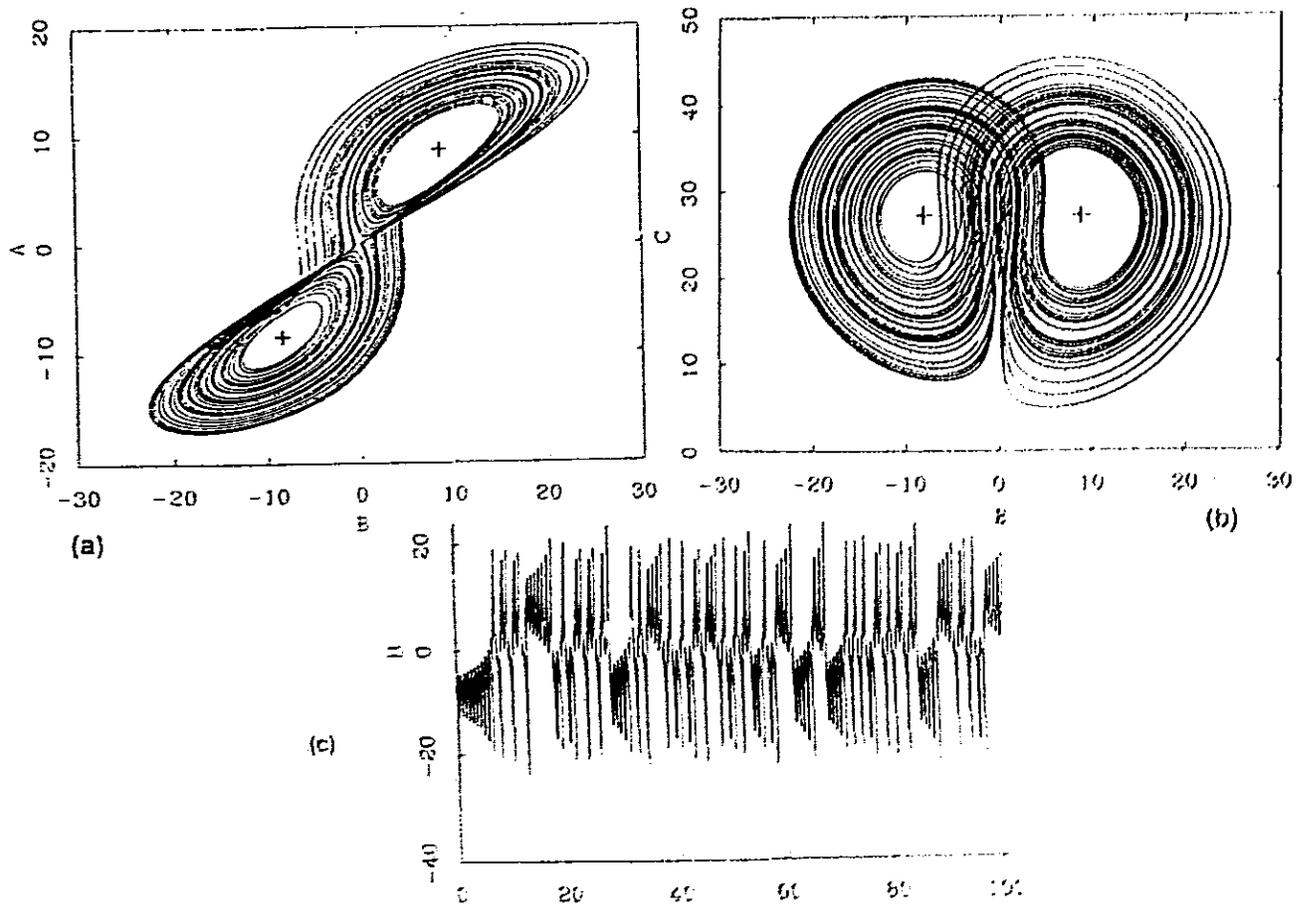


Figura 2.14. Se presenta una solución numérica de la ecuación de Lorenz con  $Pr = 10$ ,  $\sigma = 8/3$ ,  $r = 28$ . La solución en el espacio de fase ABC es mostrada proyectando (a) en el plano BA y (b) en el plano BC (c) dependencia en el tiempo de el coeficiente B (Turcotte, 1992)

En la figura 2.15, se muestra el comportamiento de un *atractor-extraño* derivado de la solución numérica de el dinamo de dos discos acoplados, de Rikitake dada por un conjunto de tres ecuaciones diferenciales no lineales que determinan la evolución del dinamo de Rikitake (Turcotte, 1992).

$$\begin{aligned}
 \frac{dX_1}{dt} + \mu X_1 &= Y_1 X_2 \\
 \frac{dX_2}{dt} + \mu X_2 &= (Y_1 - A) X_1 \\
 \frac{dY_1}{dt} &= 1 - X_1 X_2 \\
 Y_2 &= Y_1 - A
 \end{aligned}
 \tag{2.4.22}$$

y cuya solución esta dada por

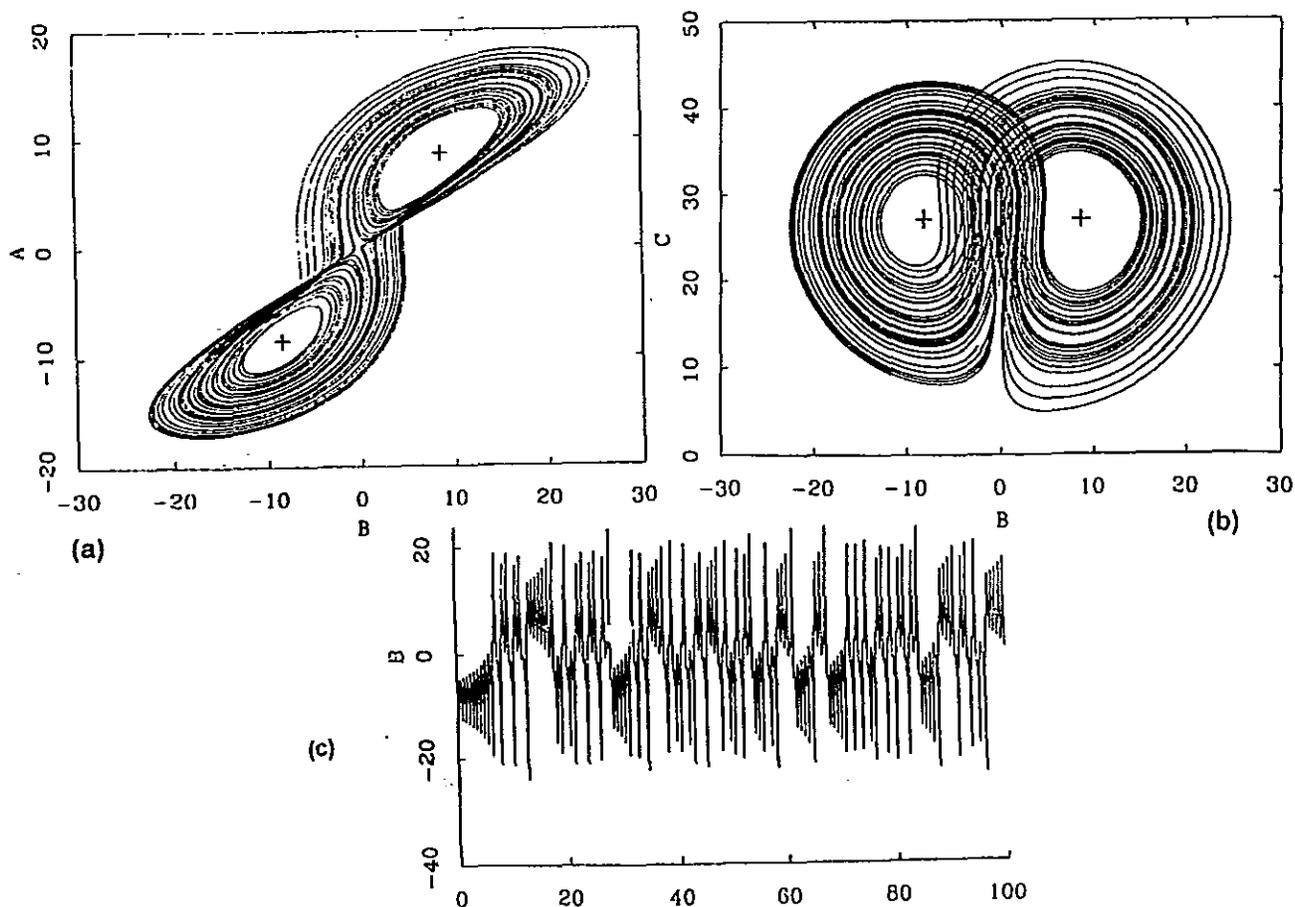


Figura 2.14. Se presenta una solución numérica de la ecuación de Lorenz con  $Pr = 10$ ,  $b = 8/3$ ,  $r = 28$ . La solución en el espacio de fase ABC es mostrada proyectando (a) en el plano BA y (b) en el plano BC (c) dependencia en el tiempo de el coeficiente B. (Turcotte, 1992)

En la figura 2.15, se muestra el comportamiento de un *atractor-extraño* derivado de la solución numérica de el dínamo de dos discos acoplados, de Rikitake dada por un conjunto de tres ecuaciones diferenciales no lineales que determinan la evolución del dínamo de Rikitake (Turcotte, 1992).

$$\begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} + \mu X_1 &= Y_1 X_2 \\ \frac{dX_2}{dt} + \mu X_2 &= (Y_1 - A) X_1 \\ \frac{dY_1}{dt} &= 1 - X_1 X_2 \\ Y_2 &= Y_1 - A \end{aligned} \tag{2.4.22}$$

y cuya solución esta dada por:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \pm K \\
 X_2 &= \pm K^{-1} \\
 Y_1 &= \mu K^2 \\
 Y_2 &= \mu K^{-2}
 \end{aligned}
 \tag{2.4.23}$$

donde

$$A = \mu (K^2 - K^{-2}) \tag{2.4.24}$$

para  $\mu = 1$  y  $k = 2$ , donde los puntos singulares se encuentran en  $X_2 = \pm 1/2$ ;  $Y = 4$ , y están mostrados en el plano de fase  $X_2 Y_1$ . La solución del *atractor-extraño* es muy similar a la dada para la ecuación de Lorenz (figura 2.14).

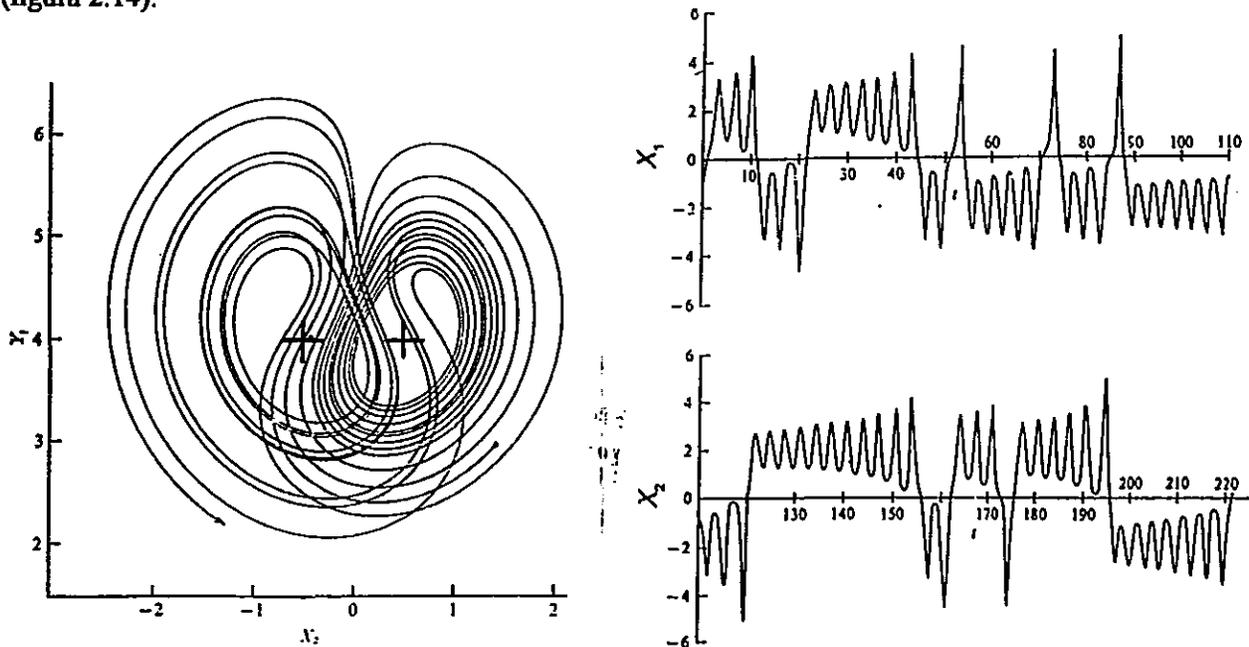


Figura 2.15. Solución numérica de la ecuación de el dínamo de dos discos asociados de Rikitake en el espacio de fase  $X_1 X_2 Y_1$  proyectado en el plano  $X_2 Y_1$ . Los puntos singulares corresponden a las polarizaciones normales y reversas de el campo magnético,  $X_2 = \pm 0.5$ ,  $Y_1 = 4$ . En la figura se muestra la evolución en el tiempo de  $X_1$  y  $X_2$ . (Turcotte, 1992)

El tiempo de evolución de la solución de la figura 2.15 también es muy similar a la ecuación de Lorenz dada en 2.14c.

El modelo de Rikitake es claramente una burda simplificación de el complejo flujo de fluidos que ocurre en el interior de la tierra.

Otra vez esto puede tomarse como evidencia de que la acción del dínamo en el núcleo es caótica. Debe de enfatizarse sin embargo que hay una diferencia fundamental entre la ecuación de Lorenz y la ecuación del dínamo de Rikitake. Las ecuaciones de Lorenz están derivadas directamente de la apropiada ecuación de convección termal. Las ecuaciones del dínamo de Rikitake están aplicadas rigurosamente a el modelo del dínamo pero la relación del modelo del dínamo con la dinámica del núcleo es completamente *ad-hoc*.

Por lo expuesto se hará un estudio de las GPTS, para observar si estas presentan un comportamiento tipo atractor, aunque no necesariamente se ajuste al modelo de Rikitake.

## 2.5 ANÁLISIS DE MARKOV

En muchas investigaciones, se pueden crear una secuencia de datos que pueden ser sucesiones ordenadas de estados mutuamente excluyentes. Las observaciones pueden hacerse usando intervalos equiespaciados, o ellos pueden ser tomados en el punto en el que un cambio ocurra. En el primer caso, se espera obtener el mismo estado, esto es, varias observaciones sucesivas pueden concebiblemente caer en la misma categoría (Davis J.C., 1986).

Eso obviamente puede no pasar, si las observaciones son tomadas sólo donde el estado cambia. Sin embargo, lo que ahora nos interesa es la naturaleza de la transición de un estado a otro, más que la posición relativa de los estados en la secuencia.

Con esta técnica se sacrifica toda la información acerca de la posición de la observación, pero provee a cambio de información de la tendencia que se tiene de que un estado siga al otro.

La matriz de frecuencia de transición  $F$  es aquella en la que se muestra el número de veces que un tipo  $x$  de estado es seguido por otro.

Para estudiar al campo magnético, consideramos un espaciamento constante en la serie de tiempo de cada GPTS de 0.02 Ma, y procedimos a la construcción de la matriz a la que expresaremos como:

$$F = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad 2.5.1$$

donde  $a$ : es el número de veces que pasa de un estado normal a un estado normal  $N \rightarrow N$

$b$ : es el número de veces que el campo pasa de un estado normal a uno reverso  $N \rightarrow R$

$c$ : número de veces que el campo pasa de un estado reverso a uno normal  $R \rightarrow N$

$d$ : número de veces que el campo pasa de un estado reverso a uno reverso  $R \rightarrow R$

para un intervalo de 0.02 Ma.

La matriz de transición tiene  $n$  observaciones por lo tanto hay  $(n-1=f)$  transiciones. La matriz es leída de renglones a columnas, esto es por ejemplo, la transición de un estado  $N$  a un estado  $R$ , esta dado por  $b$ .

La matriz de frecuencia de transición es una forma concisa de expresar la incidencia de un estado seguido por otro. Nótese que el total de cambios por renglón y el de las columnas será el mismo. Es decir

$(a+b) + (c+d)$ , debe ser igual a  $(a+c) + (b+d)$ , y que en general la matriz de frecuencia de la transición  $F$  es asimétrica donde generalmente  $a_{ij} \neq a_{ji}$  si la secuencia comienza y termina con un estado diferente.

La tendencia de un estado para suceder a otro puede ser enfatizado cuando se convierten las frecuencias a fracciones decimales o porcentajes. Si cada elemento en el renglón  $i$ -ésimo esta dividido por el total del renglón  $i$ -ésimo el resultado fraccional expresa el número relativo de veces que el estado  $i$  es sucedido por otro estado. En un sentido probabilístico, esta es la estimación de la probabilidad condicional  $P(j/i)$ , la probabilidad que el estado  $j$  sea el siguiente estado a ocurrir, dado que el presente estado es  $i$  (aquí se introduce la notación  $P(i \rightarrow j)$  que puede ser leída como la probabilidad de que el estado  $i$  sea seguido por el estado  $j$ ).

$$G = \begin{bmatrix} \frac{a}{a+b} & \frac{b}{a+b} \\ \frac{c}{c+d} & \frac{d}{c+d} \end{bmatrix} \quad 2.5.2$$

donde  $G$  representa la  $P(i \rightarrow j)$  probabilidad de que el estado  $i$  sea seguido por el estado  $j$  y se conoce como cadena de Markov de primer orden.

Si se divide el total de los renglones de la matriz de la frecuencia de transición  $F$  por el número total de transiciones se obtienen las porciones relativas de los estados presentes en la muestra.

$$P(I) = \begin{bmatrix} \frac{a+b}{t} \\ \frac{c+d}{t} \end{bmatrix} \quad 2.5.3$$

donde  $t$  representa el número de cambios totales y  $P(I)$  es el vector de probabilidad marginal.

Por otro lado, tenemos que la probabilidad conjunta de dos eventos  $A$  y  $B$  es

$$P(A,B) = P(B/A) P(A) \quad 2.5.4$$

considerando que

$$P(B/A) = P(A,B)/P(A) \quad 2.5.5$$

Entonces la probabilidad que el estado  $B$  siga al estado  $A$  es la probabilidad de que ambos estados  $A$  y  $B$  ocurran divididas por la probabilidad de que el estado  $A$  ocurra. Si la ocurrencia de los estados  $A$  y  $B$  son independientes (como en nuestro caso).

$$P(A,B) = P(A)P(B) \quad 2.5.6$$

y

$$P(B/A) = P(A)P(B)/P(A) = P(B) \quad 2.5.7$$

Esto es, la probabilidad de que el estado  $B$  siga a el estado  $A$  es simplemente la probabilidad de que el estado  $B$  ocurra, que esta dada por el elemento apropiado en el vector de probabilidad marginal.

Por ejemplo

$$P(B/A)=P(B/B)=P(B) \quad 2.5.8$$

Esto nos permite predecir que la "matriz de transición de probabilidad"  $T$ , que deberá lucir como si la ocurrencia de un estado en un punto de el intervalo fuera completamente independiente del punto anterior o posterior.

La matriz de transición de probabilidad esperada, consistiría en renglones que fueran todos idénticos dados por el vector de probabilidad.

$$T = \begin{bmatrix} \frac{a+b}{t} & \frac{c+d}{t} \\ \frac{a+b}{t} & \frac{c+d}{t} \\ \frac{a+b}{t} & \frac{c+d}{t} \end{bmatrix} \quad 2.5.9$$

que representa a la *matriz de transición de probabilidad esperada*  $E$  la cual, se puede comparar con la matriz de probabilidad que actualmente se tiene, para probar la hipótesis que los estados (magnéticos  $N$  y  $R$ ) son independientes del estado precedente inmediato. Esto es hecho usando la prueba  $\chi^2$ , primero convirtiendo la probabilidad en números de ocurrencia esperados multiplicando cada renglón por su correspondiente total de ocurrencia.

$$E = \begin{bmatrix} \frac{a+b}{t}(a+b) & \frac{c+d}{t}(a+b) \\ \frac{a+b}{t}(c+d) & \frac{c+d}{t}(c+d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g & h \\ i & j \end{bmatrix} \quad 2.5.10$$

La prueba  $\chi^2$  se lleva a cabo considerando que cada elemento de la matriz de frecuencia de transición constituye una categoría, tanto con la observación como el número esperado de la transición. Estos son comparadas por

$$\chi^2 = \sum \frac{(F-E)^2}{E} \quad 2.5.11$$

donde  $F$  es el número de transiciones observadas de un estado al otro y  $E$  es el número de transiciones esperada si los estados sucesivos son independientes. La prueba tiene  $(m-1)^2$  grados de libertad donde  $m$  es

el número de estados (un grado de libertad es perdido para cada renglón, porque la probabilidad en los renglones suma 1). Como con otros tipos de pruebas  $\chi^2$ , cada categoría debe tener una frecuencia esperada para al menos cinco transiciones. Éste no es el caso para este ejemplo, pero se puede hacer todavía una prueba conservadora de independencia, calculando las categorías cuyas frecuencias esperadas son grandes.

Con la prueba  $\chi^2$  se puede determinar si la hipótesis de independencia para estados sucesivos es correcta ó no, y si existe una tendencia significativa para que ciertos estados sigan a otros.

Una secuencia en la cual el estado en un punto es parcialmente dependiente, en un sentido probabilístico, de el estado precedente es llamado *cadena de Markov*, que es un estado intermedio entre secuencias completamente aleatorias y determinísticas. Es decir exhibe propiedades de una cadena de Markov de primer orden.

$$\chi^2 = \frac{(a-g)^2}{g} + \frac{(b-h)^2}{h} + \frac{(c-i)^2}{i} + \frac{(d-j)^2}{j} \quad 2.5.12$$

Para calcular 2 pasos (cadena de segundo orden) de la matriz de transición de probabilidad, se puede estimar cual es el estado de 2 observaciones anteriores a un punto dado. Este proceso es equivalente a obtener la matriz de transición de probabilidad multiplicada por si misma, es decir la matriz al cuadrado, que describe las propiedades de segundo orden de Markov. Se hace la prueba  $\chi^2$  otra vez y se determina la independencia.

Si esta matriz se eleva un número de veces suficiente, se alcanza un estado estable en el cual los renglones llegan a ser iguales al vector de probabilidad fijo, en otras palabras la matriz de transición de probabilidad se hace independiente y no cambiará con potenciaciones adicionales.

Se notará que existe más elevadas probabilidad de transición de un estado al mismo estado. Y es obvio que esta probabilidad de transición esta relacionada con el tamaño tomado como unidad de muestreo (para este caso 0.02 Ma). El seleccionar una distancia apropiada entre el muestreo puede ser un problema "molesto" si la observación esta muy cercana, la matriz de transición reflejará la longitud del *estado* más largo. Si el espaciamiento es demasiado grande algunos cambios de polaridad pueden perderse (Davis J.C.,1986). Por esta razón se pensó en un intervalo de 0.02 Ma para el intervalo de muestreo. Una vez obtenida la matriz de transición se generará una señal sintética basada en la probabilidad de ocurrencia de un evento dado por la matriz de transición de primer orden de Markov y se observará su comportamiento..

**Nota:** Para aplicar cada una de las técnicas que se describieron, se realizaron una serie de programas los cuales fueron especialmente diseñados para trabajar con las GPTS.

## CAPITULO 3

# ANÁLISIS DE LAS ESCALAS DE TIEMPO DE POLARIDADES GEOMAGNÉTICAS (GPTS).

### 3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

A continuación se hace una descripción detallada de cada una de las GPTS según lo visto en la sección 2.1. Los intervalos de 1 Ma, 2 Ma, 5 Ma y 10 Ma fueron tomados de una manera arbitraria para compararlos con estudios anteriores (Heizler et al., 1968), y son sólo una forma de representar a las GPTS.

Para cada una de las gráficas presentadas, se obtuvieron curvas de ajuste de 2º y 6º grado para observar su tendencia. También se presenta su media, desviación estándar y varianza.

Las GPTS han sufrido cambios, la mayoría de ellas han cambiado con la introducción de nuevos chrons pero sobre todo con el corrimiento a otra posición de los mismos, este tipo de corrimiento en el tiempo de la posición de los chrons se puede ver claramente en la figura 1.12. . La introducción de nuevos subchrons puede ser más apreciada en las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 (tabla 1.1).

#### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS HDHPL-68.

Cuenta con 86 cambios de polaridad normal, y 86 cambios de polaridad reversa. El chron más grande se encuentra entre 49.58 y 52.41 Ma con una duración de 2.83 Ma y una polaridad reversa. El chron más pequeño se encuentra entre el intervalo 40.00 y 40.03 Ma con una duración de 0.03 Ma y una polaridad reversa. El promedio aritmético de los chrons con polaridad normal es de 0.42 Ma, mientras que el promedio para los chrons con polaridad reversa es de 0.47 Ma (ver tabla 3.18).

##### 3.1.1.1 Gráficas de cambios de polaridad.

###### *Intervalos cada 1 Ma.*

El intervalo donde hay un mayor número de cambios de polaridad se encuentra entre hace 4 y 5 Ma con 7 cambios siguiendo el intervalo entre 39 y 40 Ma con 6 cambios, existen varios intervalos que no contienen cambios; como son lo que van de 35 a 37 Ma, de 48 a 49 Ma, de 50 a 52 Ma, de 53 a 54 Ma, de 57 a 58 Ma de 61 a 62 Ma, de 70 a 71 Ma de 73 a 74 Ma de 75 a 76 Ma. Se observa una discontinuidad marcada alrededor de los 50 Ma. (Ver figura 3.1a).

### *Intervalos cada 2 Ma.*

Tenemos dos intervalos con valores máximos, uno entre 4 y 6 Ma con 11 cambios de polaridad y el otro entre 38 y 40 Ma con 11 cambios, siguiendo el intervalo entre 6 y 8 Ma con 10 cambios de polaridad. También se observa la discontinuidad en los datos alrededor de los 50 Ma; entre 50 y 52 Ma no tenemos cambios. (Ver figura 3.2a).

### *Intervalos cada 5 Ma.*

Los intervalos con mayor cantidad de cambios de polaridad, se encuentra entre 5 y 10 Ma con 19 cambios siguiendo el intervalo entre 40 y 45 Ma con 17 cambios. También se nota un cambio en la continuidad después de los 50 Ma. (Ver figura 3.3a).

### *Intervalos cada 10 Ma.*

El intervalo con la mayor cantidad de cambios de polaridad se encuentra entre 0 y 10 Ma con 35 cambios siguiendo el intervalo entre 20 y 30 Ma con 29 cambios. Nuevamente se nota un cambio después de los 50 Ma. (Ver figura 3.4a).

## **3.1.1.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.**

### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se puede hacer un ajuste con dos líneas rectas que se cruzan a los 43 Ma aproximadamente. También se realizó un ajuste polinomial de 6° grado, y cuya ecuación esta representada en la gráfica de la figura 3.5a y cuyo ajuste<sup>1</sup> esta representado por  $R^2$ .

### *Intervalos cada 2 Ma*

Se pueden apreciar dos líneas rectas que se ajustan bastante bien, y que se cruzan a los 43 Ma. También se realizó un ajuste polinomial de 6° grado, el cual también representa a los datos bastante bien. (Ver figura 3.6a).

### *Intervalos cada 5 Ma*

Se pueden apreciar 2 líneas rectas que se ajustan bastante bien, y que se cruzan a los 43 Ma aproximadamente. También se presenta el ajuste por un polinomio de 6° grado que es bastante bueno. (Figura 3.7a).

---

<sup>1</sup> En el análisis de regresión, R es un valor calculado que indica la validez de una línea de tendencia para pronóstico. El valor R cuadrado ayuda a determinar la línea que mejor se ajusta. Un valor R cuadrado cercano a 0 indica un ajuste deficiente; un valor cercano a 1 indica un ajuste adecuado y por lo tanto, una línea de tendencia significativa.

### *Intervalos cada 10 Ma*

Se pueden apreciar 2 líneas rectas que se ajustan bastante bien y que se cruzan entre los 45 a 46 Ma aproximadamente. Sin embargo como en las gráficas de los intervalos anteriores, el ajuste polinomial de 6° grado es bastante bueno (figura 3.8a).

El hecho de que estas gráficas puedan ajustarse con dos distintas rectas nos indica que existe un cambio significativo en el comportamiento del campo al cambiar la pendiente.

### **3.1.1.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal tienen una duración de entre 0.4 y 0.5 Ma, con 17 casos (19.8%) siguiendo los que tienen una duración de entre 0.3 y 0.4 con 16 casos (18.6%). El 90% de los casos de chrons con polaridad normal tienen duraciones que están entre 0 y 0.9 Ma. (Ver figura 3.9a).

#### *Polaridad Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma, con 22 casos (25.9%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.2 y 0.3 Ma con 15 casos (17.6%). El 90% de los casos tiene duraciones que varían de 0 a 1 Ma. (Ver figura 3.10a).

#### *Polaridad Normal + Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal y reversa se encuentra entre los 0 y 0.1 Ma con 30 casos (17.5%), siguiendo los que tienen entre 0.2 y 0.3 Ma con 28 casos (16.4%). El 90% de los casos de chrons con polaridad tienen longitudes de chron de entre 0 y 1 Ma. (Ver figura 3.11a).

### **3.1.1.4 Gráficas comparativas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa con duraciones de chron que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12a se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración

que cae en cada intervalo de tiempo . En la figura 3.13a, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir; los casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 a 0.1, son más que los de polaridad normal que tienen esta duración, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.3 a 0.4 los casos de chrons con polaridad normal son más que los casos de chrons con polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

### **3.1.1.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo .**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa cuyas duraciones o longitudes de chron oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

#### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14a se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

#### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15a, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa

#### *Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16a, se observan los valores del número de casos de chrons de polaridad en forma acumulada, para los casos de chrons con polaridad normal más los chrons con polaridad reversa en los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

### **3.1.1.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17a y tabla 3.1).

En la tabla 3.1 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo. Es decir que por ejemplo para el chron L1, los dos chrons que ocurrieron antes (dos chrons más

antiguos) disminuyen en duración hasta la ocurrencia del chron largo, mientras que los dos chrons que ocurrieron después (que son más jóvenes que el L1) tuvieron un aumento en su duración.

**Tabla 3.1**

No. DE CHRON. HDHPI-68	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	0.95	0.83	3	A	D	reversa
L2	8.79	1.15	30	D	A	normal
L3	16.41	0.92	20	D	A	reversa
L4	18.02	0.89	3	D	~I	reversa
L5	20.19	1.12	4	A	A	normal
L6	25.43	1.43	16	A	A	reversa
L7	28.52	0.81	8	A	D	normal
L8	32.17	0.99	8	D	A	reversa
L9	35	2.61	5	D	A	reversa
L10	42.28	0.99	22	A	D	normal
L11	45.79	0.97	10	D	D	reversa
L12	49.58	2.83	3	D	~I	reversa
L13	56.66	1.38	3	A	A	reversa
L14	60.53	2.22	5	D	D	reversa
L15	64.62	2.03	3	A	D	reversa
L16	69.93	1.19	6	A	D	normal
L17	72.11	2.06	2	D	D	reversa
L18	74.69	1.69	2	D	-----	normal

Para esta GPTS, se encontraron 18 chrons largos, en donde 12 son de polaridad reversa. Antes de un chron largo, la duración de los dos anteriores desciende en 8 casos y asciende en 7 casos, mientras que para los 2 chrons más jóvenes desciende en 8 casos y en 8 asciende lo que nos indica que para esta GPTS parece no existir ningún tipo de patrón en el comportamiento de los chrons anteriores o posteriores a la ocurrencia de un chron largo.

En la figura 3.18a, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste con un polinomio de 6° grado que muestra la tendencia.

En la figura 3.19a se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante.

En la figura 3.20a, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron pares ordenados del número de casos de chrons de polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa para observar si existe alguna dependencia entre ellos y aunque no se observa ninguna tendencia en particular es de notarse que un gran número de valores se encuentran restringidos para ambas polaridades entre 0 y 5 casos de chrons con polaridad normal vs chrons con polaridad reversa.

### 3.1.1.7 Tabla de resultados.

En la tabla 3.2, se puede observar la media, la varianza y la desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

Tabla 3.2

HDHPL-68	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.45	0.23	0.48
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.22	2.57	1.60
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	4.38	7.51	2.74
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	10.69	31.56	5.62
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	21.38	111.70	10.57
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	5.90	95.60	9.78
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	2.97	28.18	5.31
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	2.93	26.92	5.19

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS HCLPSW-82.

Cuenta con 98 cambios de polaridad normal, y 98 cambios de polaridad reversa. La longitud del chron más grande se encuentra entre 72.06 y 78.53 Ma con una duración de 6.47 Ma y una polaridad normal. El chron más pequeño se encuentra entre el intervalo 9.47 y 9.48 Ma con una duración de 0.01 Ma y una polaridad reversa. El promedio aritmético de los chrons de polaridad normal es de 0.4 Ma, mientras que el de la polaridad reversa es de 0.41 Ma (ver Tabla 3.18).

### 3.1.2.1 Gráficas de cambios de polaridad

#### *Intervalos cada 1 Ma*

El intervalo de tiempo donde hay un mayor número de cambios de polaridad se encuentra entre HACE 10 y 11 Ma con 7 cambios de polaridad y entre 12 y 13 Ma con 7 cambios de polaridad. Los intervalos de tiempo que no contienen cambios de polaridad son de 35 a 36 Ma, de 46 a 47 Ma, de 54 a 55 Ma, de 59 a 60 Ma, de 68 a 69 Ma, de 70 a 71 Ma, de 73 a 78 Ma. Se observa un descenso paulatino en el número de cambios de polaridad a medida que aumenta la edad. (Ver figura 3.1b).

#### *Intervalos cada 2 Ma*

Tenemos dos intervalos con un máximo de cambios de polaridad uno entre 2 y 4 Ma y otro entre 8 y 10 Ma con 12 cambios, siguiendo los intervalos entre 6 y 8 Ma, entre 10 y 12 Ma y entre 12 y 14 Ma con 10 cambios de polaridad de polaridad cada uno. No se nota un descenso en el número de cambios al aumentar el tiempo, encontrándose que en los intervalos entre 74 y 78 Ma no tenemos cambios. (Ver figura 3.2b).

#### *Intervalos cada 5 Ma*

Tenemos dos intervalos con un número de cambios de polaridad máximo, uno entre 5 y 10 Ma y el otro entre 10 y 15 Ma con 25 cambios de polaridad. Se nota un descenso en el número de cambios de polaridad entre 45 y 50 Ma, para aumentar un poco y posteriormente volver a disminuir a medida que aumenta la edad. (Ver figura 3.3b).

#### *Intervalos cada 10 Ma*

El intervalo con la mayor cantidad de cambios de polaridad, se encuentra en el intervalo de 0 a 10 Ma, con 48 cambios de polaridad siguiendo el intervalo entre 10 y 20 Ma con 40 cambios de polaridad. En esta GPTS a diferencia, de las demás se nota un descenso casi lineal de el número de cambios de polaridad, a medida que aumenta la edad. (Ver figura 3.4b). (Esto puede deberse a la forma en que fue generada esta GPTS).

### 3.1.2.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se observa un aumento gradual en la gráfica observando dos pequeños cambios de pendiente o pequeños escalones (que sugiere un descenso brusco en el número de cambios de polaridad) entre los 40 y 45 Ma. En la figura 3.5b, se presenta un ajuste con un polinomio de 6° grado que representa bastante bien el comportamiento de los datos.

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

Al igual que en la gráfica anterior, se pueden observar dos pequeños cambios de pendiente haciendo escalonada a la curva, la cual se ajusta bastante bien con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.6b).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

Al igual que la anterior se observa que el número de cambios de polaridad acumulados disminuye a medida que aumenta la edad y se ajusta bastante bien a la curva de el polinomio de 6° grado mostrado en la gráfica (Ver figura 3.7b).

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

Se nota un incremento menor a medida que aumenta la edad, indicando que los cambios de polaridad decrecen a medida que aumenta la edad. El ajuste del polinomio de 6° grado es perfecto en los puntos de la distribución acumulada. (Ver figura 3.8b).

### **3.1.2.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontrarán en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal, son los que tienen una duración de entre 0.1 y 0.2 Ma, con 22 casos (22.7%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.0 y 0.1 Ma con 18 casos (18.6%). El 90% de los casos tienen duraciones de entre 0 y 0.8 Ma. (Ver figura 3.9b).

#### *Polaridad Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa tiene duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 26 casos (26.8%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.2 y 0.3 Ma con 17 casos (17.5%). El 90% de los casos tiene una duraciones de entre 0 a 1.1 Ma. (Ver figura 3.10b).

#### *Polaridad Normal + Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal y polaridad reversa, tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 44 casos (22.7%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 y 0.2 Ma con 38

casos que representan el 19.6%. El 90% de los casos de chrons con polaridad normal los chrons de polaridad reversa tiene una duraciones de entre 0 y 1 Ma. (Ver figura 3.11b).

Lo anterior nos indica un comportamiento casi similar en cuanto a las longitud de los chrons con polaridad normal, respecto a los chrons con polaridad reversa, sólo que los primeros presentan su máximo número de casos entre 0.1 y 0.2 Ma y los segundos están entre 0 y 0.1 Ma.

#### **3.1.2.4 Gráfica Comparativa del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa cuyas longitudes oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 y 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12b se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13b, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, los casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma son más que los de polaridad normal, de 0.1 a 0.2 Ma, los casos de chrons con polaridad normal con esta duración son más que los de chrons con polaridad reversa, de 0.2 a 0.3 Ma, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.3 a 0.4 Ma los casos de chrons con polaridad normal son más que los casos de chrons con polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

#### **3.1.2.5 Gráfica acumulada de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

##### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14b se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6º grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

##### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15b, se observan la línea de ajuste que representa un polinomio de 6º grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

##### *Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16b, se observan los valores de números de casos acumulados de polaridad normal los chrons de polaridad reversa para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

### 3.1.2.6 Gráfica de Longitud del Chron.

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17b y tabla 3.3).

Tabla 3.3

No. DE CHRON. HCLPSW-82	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS DOS CHRONS MAS JÓVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	15.23	0.97	75	A	A	reversa
L2	19.41	1.09	12	A	A	normal
L3	24.32	1.43	16	A	A	reversa
L4	27.44	0.83	8	~A	D	normal
L5	31.17	1.02	8	D	A	reversa
L6	34.06	2.67	5	~D	A	reversa
L7	37.4	1.24	3	D	A	reversa
L8	45.49	1.97	25	D	~A	reversa
L9	53.13	2.47	13	D	D	reversa
L10	58.19	2.81	3	A	D	reversa
L11	65.39	1.49	9	A	D	normal
L12	67.74	1.74	2	D	I	reversa
L13	69.96	1.44	2	I	A	normal
L14	72.06	6.47	3	D	no hay	normal

En la tabla 3.3 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la

columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

Para esta GPTS, se encontraron 14 chrons largos, en donde 9 son de polaridad reversa. Antes de un chron largo, la duración de los dos anteriores desciende en 4 casos y asciende en 8 casos, mientras que para los 2 chrons más jóvenes desciende en 7 casos y en 6 asciende lo que nos indica que para esta GPTS no se puede precisar ningún tipo de patrón en el comportamiento de los chrons anteriores o posteriores a la ocurrencia de un chron largo.

En la figura 3.18b, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste con un polinomio de 6° grado que muestra la tendencia.

En la figura 3.19b se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante.

En la figura 3.20b, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron pares ordenados del número de casos de chrons de polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa para observar si existe alguna dependencia entre ellos y aunque no se observa ninguna tendencia en particular es de notarse que un gran número de valores se encuentran restringidos para ambas polaridades entre 0 y 5 casos de chrons con polaridad normal vs casos de chrons con polaridad reversa para intervalos similares.

### 3.1.2.7 Tabla de resultados

En la tabla 3.4 se puede observar la media, la varianza y la desviación estándar de los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

**Tabla 3.4**

<b>HCLPSW-82.</b>	<b>XM</b>	<b>VAR</b>	<b>DES</b>
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.40	0.39	0.62
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.47	3.94	1.99
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	4.88	11.86	3.44
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	12.19	59.50	7.71
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	24.38	208.55	14.44
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	3	77.97	8.83
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	1.51	20.04	4.48
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	1.49	20.29	4.50

### 3.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS HACCSS-90

Cuenta con 98 cambios de polaridad normal, y 97 cambios de polaridad reversa. La longitud del chron más grande se encuentra entre 73.12 y 79.09 Ma con una duración de 5.97 Ma y una polaridad normal. El chron más pequeño se encuentra entre el intervalo 9.48 y 9.49 Ma con una duración de 0.01 y una polaridad reversa. El promedio aritmético de los chrons de polaridad normal es de 0.41 Ma, mientras que el de la polaridad reversa es de 0.45 Ma (Ver tabla 3.18).

#### 3.1.3.1 Gráficas de cambios de polaridad.

##### *Intervalos cada 1 Ma*

En el intervalo donde hay un número mayor de cambios de polaridad es entre hace 8 y 9 Ma con 7 cambios siguiendo con 6 cambios los intervalos entre 7 y 8 Ma, 9 y 10 Ma, 12 y 13 Ma, 16 y 17 Ma, 39 y 40 Ma. Los intervalos que no contienen cambios están entre 33 y 34 Ma, 35 y 36 Ma, 45 y 47 Ma, 49 y 50 Ma, 55 y 57 Ma, 60 y 61 Ma, 66 y 67 Ma, 69 y 70 Ma, 71 y 72 Ma, 74 y 79 Ma, 80 y 82 Ma. Se aprecia visualmente un cambio en el comportamiento de la GPTS alrededor de los 47 Ma. Si embargo, parece existir una disminución en el número de cambios de polaridad a medida que aumenta la edad. (Ver figura 3.1f).

##### *Intervalos cada 2 Ma*

El intervalo con el mayor número de cambios de polaridad se encuentra entre 8 y 10 Ma con 13 cambios, siguiendo otro entre 12 y 14 Ma con 11 cambios. No existen cambios de polaridad en el intervalo entre 74 y 78 Ma y entre 80 y 82 Ma. Se nota que el número de cambios va descendiendo conforme aumenta el tiempo en Ma, pero se observa un descenso drástico un poco antes de los 50 Ma. (Ver figura 3.2.f)

##### *Intervalos cada 5 Ma*

Tenemos un intervalo con un máximo de cambios entre los 5 y 10 Ma con 26 cambios de polaridad siguiendo el intervalo entre 10 y 15 Ma con 24 cambios. Se nota un descenso drástico en el intervalo que va de los 45 a los 50 Ma. (Ver figura 3.3f)

##### *Intervalos cada 10 Ma*

El máximo número de cambios de polaridad lo tenemos en el intervalo de 0 a 10 Ma, con 46 cambios siguiendo el intervalo entre 10 y 20 Ma con 40 cambios. Se puede observar que existe un descenso casi lineal, con respecto al tiempo, exceptuando el intervalo entre los 40 y 50 Ma donde se observa una baja apreciable. (Ver figura 3.4f).

### 3.1.3.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se observa un aumento gradual en la gráfica exceptuando dos pequeños cambios de pendiente o pequeños escalones (que sugiere un descenso brusco en el número de cambios de polaridad). En la figura 3.5f, también se presenta un ajuste con un polinomio de 6° grado que representa el comportamiento de los datos.

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

Al igual que en la gráfica anterior, se pueden observar dos pequeños cambios de pendiente haciendo escalonada a la curva, la cual se ajusta con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.6f).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

En la figura 3.7f, se muestran los datos con la curva de ajuste el cual es mejor que para la gráfica de intervalos cada 2 Ma..

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

Se nota un incremento menor a medida que aumenta la edad, indicando que los cambios de polaridad decrecen a medida que aumenta la edad. Estos datos se ajustaron con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.8f)

### 3.1.3.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentran en un cierto intervalo de tiempo.

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal tienen una duración de entre 0.2 a 0.3 Ma con 20 casos (20.8%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 y 0.2 Ma con 19 casos (19.8%). El 90% de los casos tienen duraciones que se encuentran en el intervalo entre 0 y 0.8 Ma. (Ver figura 3.9f).

#### *Polaridad Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa tienen una duración de entre 0 a 0.1 Ma con 26 casos (27.1%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 a 0.2 Ma con 19 casos (19.8%). El 90% de los casos tienen una duración de entre 0 y 1.2 Ma. (Ver figura 3.10f)

#### *Polaridad Normal + Reversa*

El mayor número de casos tienen duraciones de entre 0 a 0.1 Ma con 43 casos (22.44%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 y 0.2 Ma con 38 casos (19.8%). El 90% de los casos tienen duraciones que se encuentran entre el intervalo de 0 y 0.9 Ma. (Ver figura 3.11f).

Predominan los chrons de polaridad normal con duraciones entre 0.1 y 0.3 Ma y los chrons de polaridad reversa que tienen duraciones de entre 0 y 0.2 Ma.

#### **3.1.3.4 Gráficas comparativas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa con longitudes que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12f se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13f, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1 Ma, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.1 a 0.2 Ma, los casos de chrons con polaridad normal son iguales que los de polaridad reversa, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

#### **3.1.3.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

#### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14f se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

#### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15f, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

### ***Polaridad Normal+Reversa.***

En la figura 3.16f, se observan los valores acumulados para la suma de casos de chrons con polaridad normal los chrons de polaridad reversa para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

### **3.1.3.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17c y tabla 3.5).

En la tabla 3.5 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

Para esta GPTS, se encontraron 16 chrons largos, en donde 11 son de polaridad reversa y 5 son de polaridad normal. Antes de un chron largo, la duración de los dos anteriores desciende en 6 casos y asciende en 9 casos, mientras que para los 2 chrons más jóvenes desciende en 8 casos y en 8 asciende lo que nos indica que para esta GPTS no se puede precisar ningún tipo de patrón en el comportamiento de los chrons anteriores o posteriores a la ocurrencia de un chron largo.

En la figura 3.18f, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste, el cual no fue tan bueno debido a la variabilidad de las longitudes de los chrons.

En la figura 3.19f se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante excepto en el último brinco alrededor de los 73 Ma.

En la figura 3.20c, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron pares ordenados del número de casos de chrons de polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa para observar si existe alguna dependencia entre ellos y aunque no se observa ninguna tendencia en particular es de notarse que un gran número de valores se encuentran restringidos para ambas polaridades de 0 a 5 casos de chrons con polaridad normal vs casos de chrons con polaridad reversa para intervalos similares. La regresión lineal se muestra en la gráfica.

### **3.1.3.7 Tabla de resultados.**

En la tabla 3.6, se puede observar la media, la varianza y al desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

Tabla 3.5

No. DE CHRON HACCSS-90.	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	15.35	0.92	73	A	A	reversa
L2	19.26	0.97	12	A	A	normal
L3	23.78	1.23	16	A	A	reversa
L4	29.58	0.84	17	D	A	reversa
L5	32.01	2.25	5	~D	A	reversa
L6	34.82	1.30	3	D	A	reversa
L7	38.28	0.85	10	A	D	normal
L8	41.31	0.83	10	D	D	reversa
L9	44.57	2.44	3	D	D	reversa
L10	50.66	1.19	3	A	A	reversa
L11	54.65	2.54	9	D	D	reversa
L12	59.33	2.32	3	A	D	reversa
L13	65.43	1.71	6	A	D	normal
L14	68.13	2.01	2	D	~A	reversa
L15	70.69	1.66	2	~A	A	normal
L16	73.12	5.97	3	D	no hay	normal

Tabla 3.6

HACCSS-90	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.43	0.44	0.65
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.34	3.91	1.98
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	4.62	12.24	3.50
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	11.41	65.26	8.08
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	21.56	253.77	15.93
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	3.23	81.13	9.01
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	1.62	20.31	4.51
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	1.62	21.77	4.67

### 3.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS CK-92

Cuenta con 93 cambios de polaridad normal y 92 con polaridad reversa. El chron más grande se encuentra entre 73.78 y 78.78 Ma con una duración de 5 Ma y una polaridad normal. El chron más pequeño se encuentra en el intervalo de 12.62 y 12.65 con una duración de 0.03 Ma y una polaridad normal. El promedio aritmético de chrons con polaridad normal es de 0.41 Ma, mientras que el promedio de chrons con polaridad reversa es de 0.49 Ma. (Ver tabla 3.18).

#### 3.1.4.1 Gráficas de cambios de polaridad.

##### *Intervalos cada 1 Ma*

Tenemos 4 intervalos de tiempo con un máximo de 7 cambios de polaridad, estos van de 4 a 5 Ma, de 9 a 10 Ma, de 12 a 13 Ma, de 22 a 23 Ma. Los intervalos que no contienen cambios están entre 31 y 33 Ma, 44 y 46 Ma, 54 y 55 Ma, 59 y 61 Ma, 62 y 63 Ma, 67 y 68 Ma, 70 y 71 Ma, 74 y 78 Ma y de 79 a 82 Ma. (Ver figura 3.1c).

##### *Intervalos cada 2 Ma*

Tenemos un número máximo de cambios de polaridad, en el intervalo de tiempo que va de 22 a 24 Ma, con 13 cambios siguiendo el intervalo de tiempo que esta entre 6 y 8 Ma con 12 cambios. Aquí se nota una discontinuidad en el intervalo de 44 a 46 Ma pues no existen cambios de polaridad en este intervalo de tiempo. Otros intervalos que tampoco contienen cambios se encuentra entre los 74 y 78 Ma y entre los 80 y 82 Ma. (Ver figura 3.2c).

##### *Intervalos cada 5 Ma*

Tenemos un intervalo de tiempo con un máximo de cambios de polaridad entre los 5 y 10 Ma, con un total de 26 cambios de polaridad, siguiendo el intervalo de tiempo entre 20 y 25 Ma con 24 cambios. Se observa un descenso paulatino en el número de cambios que es más marcado entre los 40 y 50 Ma. (Ver figura 3.3c).

##### *Intervalos cada 10 Ma*

El número máximo de cambios de polaridad lo tenemos en el intervalo de tiempo de 0 y 10 Ma con 46 cambios de polaridad siguiendo el intervalo de tiempo entre 20 y 30 Ma con 40 cambios. Se puede observar un cambio alrededor de los 40 y 50 Ma donde el número de cambios desciende, para volver a incrementarse en el siguiente intervalo de tiempo. (Ver figura 3.4c).

### 3.1.4.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

En la figura 3.5c, se puede observar el comportamiento de los cambios de polaridad en forma acumulada para intervalos de tiempo tomados cada 1 Ma. A medida que aumenta la edad la pendiente de la curva disminuye indicando que el número de cambios de polaridad por millón de años también. La curva de ajuste es un polinomio de 6° grado cuya expresión se da en la misma figura.

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

En la gráfica de la figura 3.6c, se puede observar el comportamiento de los cambios de polaridad en forma acumulada para intervalos de tiempo tomados cada 2 Ma. A medida que aumenta la edad, la pendiente de la curva disminuye indicando que el número de cambios también. La curva de ajuste es un polinomio de 6° grado cuya expresión se da en la misma figura.

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

En la gráfica de la figura 3.7c, se puede observar el comportamiento de los cambios de polaridad en forma acumulada para intervalos de tiempo de cada 5 Ma. A medida que aumenta la edad, la pendiente de la curva disminuye indicando que el número de cambios también. La curva de ajuste es un polinomio de 6° grado cuya expresión se da en la misma figura.

#### *Intervalo cada 10 Ma.*

Los datos para este intervalo parecen variar más dando como resultado que la pendiente de la curva de ajuste lo haga también, lo que nos indica que el cambio de polaridad para cada intervalo de 10 Ma es también más variado, no dependiendo exclusivamente de la edad (ver figura 3.8c).

### 3.1.4.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentran en un cierto intervalo de tiempo.

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal, tienen una duración que cae en los intervalos de 0 a 0.1 Ma y de 0.1 a 0.2 Ma con 20 casos en cada intervalo, representando el 22% cada uno. El 90% de los casos se encuentra en el intervalo entre 0 y 1 Ma. (Ver figura 3.9c).

### *Polaridad Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa tienen duraciones de entre 0.1 a 0.2 Ma con 26 casos (28.9%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 16 casos (17.8%). El 90% de los casos se encuentra en el intervalo entre 0 y 1.2 Ma (Ver figura 3.10c).

### *Polaridad Normal + Reversa*

El mayor número de casos tiene duraciones de entre 0.1 a 0.2 Ma con 46 casos (25.4%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 36 casos (19.9%). El 90% de los casos tiene duraciones que van de 0 a 1.1 Ma. (Ver figura 3.11c).

Para esta GPTS, se puede observar que la mayoría de los chrons tienen duraciones de entre 0 y 0.2 Ma tanto para la polaridad normal como para la polaridad reversa.

#### **3.1.4.4 Gráficas comparativas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y .2 Ma, etc..

En la figura 3.12c se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. Para esta GPTS, a diferencia de las anteriores, el primer intervalo tiene un número mayor de casos de chrons con polaridad normal que el de polaridad reversa. En la figura 3.13c, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

#### **3.1.4.5 Gráficas Acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14c se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

#### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15c, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

#### *Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16c, se observan los valores de polaridad acumulados para la suma de casos de chrons con polaridad normal los chrons de polaridad reversa para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

#### **3.1.4.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17d y tabla 3.7).

En la tabla 3.7 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo. Para esta GPTS, se encontraron 18 chrons largos, en donde 10 son de polaridad reversa y 8 son de polaridad normal. Antes de un chron largo, la duración de los dos anteriores desciende en 9 casos y asciende en 8 casos, mientras que para los 2 chrons más jóvenes desciende en 8 casos y en 10 asciende lo que nos indica que para esta GPTS no se puede precisar ningún tipo de patrón en el comportamiento de los chrons anteriores o posteriores a la ocurrencia de un chron largo.

En la figura 3.18c, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste con un polinomio de 6° grado, que muestra la tendencia.

En la figura 3.19c se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante excepto en el chron de 5 Ma de longitud el cual se encuentra a partir de los 73 Ma.

En la figura 3.20d, se puede observar la gráfica de dispersión, donde se graficaron pares ordenados de número de casos de chrons con polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa.

#### **3.1.4.7 Tabla de resultados.**

En la tabla 3.8, se puede observar la media, la varianza y la desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

Tabla 3.7

No. DE CHRON. CK-92	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	9.78	1.06	46	A	A	normal
L2	15.16	0.87	24	A	A	reversa
L3	19.08	1.08	10	A	A	normal
L4	27.00	0.94	31	A	A	normal
L5	30.92	2.13	10	D	D	reversa
L6	33.54	1.13	1	A	D	reversa
L7	36.67	0.87	8	A	D	normal
L8	38.5	1.14	5	D	D	normal
L9	40.22	1.13	2	D	D	reversa
L10	43.87	2.42	3	D	A	reversa
L11	49.6	1.4	3	A	A	reversa
L12	53.25	2.73	9	D	D	reversa
L13	56.52	1.28	1	A	D	reversa
L14	58.2	3.36	3	A	D	reversa
L15	66.6	2.02	6	~D	D	normal
L16	69.68	2.04	2	D	~A	reversa
L17	72.15	1.14	2	~A	A	normal
L18	73.78	5	3	D	--	normal

Tabla 3.8

CK-92	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.45	0.44	0.66
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.22	4.07	2.02
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	4.38	13.17	3.63
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	10.82	68.15	8.26
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	20.44	261.53	16.17
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	3.61	84.96	9.22
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	1.80	21.24	4.61
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	1.80	22.08	4.70

### **3.1.5 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS CK-CHRON-92.**

Cuenta con 147 cambios de polaridad normal y 146 con polaridad reversa. El chron más grande se encuentra entre 73.78 y 78.78 Ma con una duración de 5 Ma y una polaridad normal. El chron más pequeño se encuentra entre 29.157 y 29.164 Ma con una duración de 0.007 y una polaridad normal. Cabe hacer notar que casi todos los chrons grandes de CK-92 desaparecen. (Ver tabla 3.18).

#### **3.1.5.1 Gráficas de cambios de polaridad.**

##### *Intervalos cada 1 Ma*

Los intervalos donde hay 9 cambios de polaridad son entre 10 y 11 Ma, 32 y 33 Ma, y 53 y 54 Ma. Existen varios intervalos que no contienen cambios 44 a 46 Ma, 62 a 63 Ma, 67 a 68 Ma, 70 a 71 Ma, 74 a 78 Ma, 79 a 82 Ma. (Ver figura 3.1g).

##### *Intervalos cada 2 Ma*

El intervalo con mayor número de cambios de polaridad se encuentra entre 32 y 34 Ma con 17 cambios de polaridad, siguiendo el intervalo entre 54 y 56 Ma con 15 cambios. Los intervalos que no contienen cambios van de 44 a 46 Ma, de 74 a 78 Ma, de 80 a 82 Ma. (Ver figura 3.2g).

##### *Intervalos cada 5 Ma*

Tenemos un número de cambios de polaridad máximo en el intervalo entre 30 y 35 Ma con 35 cambios siguiendo el intervalo entre 25 y 30 Ma con 30 cambios. Se nota un descenso drástico en el número de cambios entre los 40 y 50 Ma. (Ver figura 3.3g).

##### *Intervalos cada 10 Ma*

El número máximo de cambios de polaridad lo tenemos en el intervalo entre 20 y 30 Ma con 56 cambios siguiendo los intervalos entre 0 y 10 Ma y entre 50 y 60 Ma con 54 cambios cada uno. Se observa un cambio en la tendencia entre los 40 y 50 Ma. (Ver figura 3.4g).

#### **3.1.5.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.**

##### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se realizó el ajuste polinomial de 6° grado, el cual es menor para la GPTS CK-CHRON-92 que para la CK-92 (figura 3.5g). Se distinguen dos zonas que tienen una pendiente mayor, una esta entre los 22 y 35

Ma y la otra entre los 50 y 60 Ma teniendo el intervalo intermedio una pendiente mucho menor (lo que indica un descenso en el número de cambios)

#### *Intervalos cada 2 Ma*

Se pueden apreciar las mismas características que en la gráfica para intervalos de 1 Ma. También se le ajusta este polinomio (Figura 3.6g).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

En esta gráfica son apreciables dos cambios de pendiente (Ver figura 3.7f).

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

Se marcan más los cambios de pendiente, el polinomio de 6° grado tiene un ajuste menor para estos datos. (Ver figura 3.8).

### **3.1.5.3 Gráfica de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentran en cierto intervalo de tiempo.**

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal, se encuentran en los intervalos de 0 a 0.1 Ma con un total de 66 casos (45.8%) siguiendo los que tienen duraciones desde 0.2 a 0.3 Ma con 24 casos (16.7%). El 90% de los intervalos se encuentran entre los 0 y 0.6 Ma.

#### *Polaridad Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa, se encuentra en los intervalos de 0.1 a 0.2 Ma con 49 casos (33.8%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.2 y 0.3 Ma con 36 casos (24.8%). El 90% de los casos se encuentra entre el intervalo de 0 y 0.6 Ma.

#### *Polaridad Normal + Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad tanto normal como reversa tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 92 casos (31.8%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 y 0.2 Ma con 69 casos (23.9%). El 90% de los casos tiene una duraciones de entre 0 y 0.6 Ma. (Ver figura 3.11g)/

#### **3.1.5.4 Gráficas comparativas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12g se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13g, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.3 a 0.4 los casos de chrons con polaridad normal son más que los casos de chrons con polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

#### **3.1.5.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa en intervalos que oscilan entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

##### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14g se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

##### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15g, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

##### *Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16g, se observa los valores de frecuencia de polaridad acumulados para la suma de casos de chrons con polaridad normal los chrons de polaridad reversa para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

#### **3.1.5.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17e y tabla 3.9).

En la tabla 3.9 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

**Tabla 3.9**

<b>No. DE CHRON CK-CHRON- 92</b>	<b>POSICIÓN</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>No. CHRON INTER- MEDIO</b>	<b>ORDEN DE LOS 2 CHRONES +JOVENES</b>	<b>ORDEN DE LOS 2 CHRONES +ANTIGUOS</b>	<b>POLARIDAD</b>
L1	15.16	0.87	85	A	A	reversa
L2	19.08	1.08	12	A	A	normal
L3	36.67	0.86	95	A	D	normal
L4	38.5	1.14	5	D	D	normal
L5	40.22	1.13	2	D	D	reversa
L6	43.87	2.41	3	D	A	reversa
L7	61.95	1.35	65	A	A	reversa
L8	66.6	2.03	6	~D	D	normal
L9	69.68	2.04	2	D	~A	reversa
L10	72.15	1.14	2	~A	A	normal
L11	73.78	5	3	D	---	normal

Lo primero que hay que observar es que al aumentar el número de chrons con la introducción de los subchrons en la GPTS, el número de chrons largos disminuye con respecto a los GPTS anteriores teniendo 11 chrons largos de los cuales 6 son de polaridad normal y 5 de polaridad reversa. El orden de los dos chrons más antiguos es ascendente en 6 casos y descendente en 4 mientras que el orden de los 2 chrons más jóvenes es ascendente en 5 casos y descendente en 6 por lo que no se observa ningún patrón predominante.

En la figura 3.18g, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste con un polinomio de 6° grado, el cual no fue tan bueno debido a la variabilidad de las longitudes de los chrons; sin embargo, muestra la tendencia..

En la figura 3.19g se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante, mejor que en CK-92.

En la figura 3.20e, se puede observar una cierta tendencia en la regresión lineal.

### 3.1.5.7 Tabla de resultados.

En la tabla 3.2, se puede observar la media, la varianza y al desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

Tabla 3.10

CK-CHRON-92	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.28	0.24	0.48
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	3.52	7.38	2.72
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	6.95	25.75	5.07
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	17.18	139.15	11.80
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	32.44	525.53	22.92
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	5.71	320.25	17.90
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	2.84	102.89	10.14
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	2.86	83.36	9.13

### 3.1.6 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS CK-95.

Consta de 93 cambios de polaridad normal y 92 con polaridad reversa. El chron más largo se encuentra entre 73.62 y 79.07 Ma con una duración de 5.46 Ma y una polaridad normal. El chron más pequeño se encuentra entre 2.14 y 2.15 Ma con una duración de 0.01 Ma y una polaridad normal. El promedio aritmético de los chrons con polaridad normal es 0.42 Ma y el de los chrons con polaridad reversa es de 0.48 Ma. (Ver tabla 3.18).

#### 3.1.6.1 Gráficas de cambios de polaridad.

##### *Intervalos cada 1 Ma*

Los intervalos donde hay 8 cambios de polaridad son entre 7 y 8 Ma, 9 y 10 Ma, 12 y 13 Ma, siguiendo los intervalos entre 4 y 5 Ma, 22 y 23 Ma, con 7 cambios. Existen varios intervalos que no contienen cambios de polaridad, de 31 a 32 Ma, de 32 a 33 Ma, de 44 a 45 Ma, de 45 a 46 Ma, de 48 a 49 Ma, de 54 a 55 Ma, de 58 a 60 Ma, de 66 a 67 Ma, de 69 a 71 Ma, de 72 a 73 Ma, de 74 a 79 Ma, de 80 a 82 Ma. (Ver figura 3.1d).

*Intervalos cada 2 Ma*

El intervalo con el mayor número de cambios de polaridad se presenta entre 22 y 24 Ma con 13 cambios, siguiendo los intervalos entre 6 y 8 Ma, 8 y 10 Ma, 12 y 14 Ma, con 12 cambios. Existen varios intervalos que no contienen cambios de polaridad como el de 44 a 46 Ma, 58 a 60 Ma, 74 a 78 Ma y de 80 a 82 Ma. (Ver figura 3.2d).

*Intervalos cada 5 Ma*

El número de cambios de polaridad máximo se encuentra entre los 5 y 10 Ma con 26 cambios, siguiendo el intervalo entre 20 y 25 Ma con 24 cambios. Se nota un descenso paulatino ligeramente acentuado alrededor de los 45 Ma, y que se marca más al final de la GPTS. (Ver figura 3.3d).

*Intervalos cada 10 Ma*

El número máximo de cambios de polaridad se observa entre 0 y 10 Ma con 46 cambios siguiendo el intervalo entre 20 y 30 Ma con 40 cambios. Se observa un cambio en la tendencia entre 40 y 50 Ma. (Ver figura 3.4d).

**3.1.6.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.***Intervalos cada 1 Ma.*

Se observa una sucesión ascendente con pequeños escalones, se muestra el ajuste obtenido con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.5d).

*Intervalos cada 2 Ma.*

Se observa una sucesión ascendente con pequeños escalones, se muestra el ajuste obtenido con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.6d).

*Intervalos cada 5 Ma.*

Se observa una sucesión ascendente con pequeños escalones entre 15 y 20 Ma y 45 y 50 Ma. (Ver figura 3.7d).

*Intervalos cada 10 Ma.*

Se observa un ascenso casi continuo que se ajusta bastante bien al polinomio de 6° grado representado en la expresión de la figura 3.8d.

**3.1.6.3 Gráfica de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentran en un cierto intervalo de tiempo.**

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal, tienen una duración de entre 0.1 y 0.2 Ma con 22 casos (24.2%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 con 19 casos (20.9%). El 90% de los casos se encuentran entre 0 y 1.1 Ma. (Ver figura 3.9d).

#### *Polaridad Reversa*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa se encuentran en el intervalo de entre 0.1 y 0.2 Ma con 24 casos (26.7%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 18 casos (20.0%). El 90% de los casos se encuentra entre el intervalo que va de 0 a 1.2 Ma. (Ver figura 3.10 d).

#### *Polaridad Normal + Reversa.*

El mayor número de casos chrons con polaridad normal y reversa se encuentran entre el intervalo de 0.1 a 0.2 Ma con 46 casos (25.4%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 37 casos (20.4%). El 90% de los casos se encuentra entre el intervalo que va de 0 a 1.1 Ma. (Ver figura 3.11d).

### **3.1.6.4 Gráfica Comparativa del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa con longitudes que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12d se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13d, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, etc. (ver Tabla 3.17).

### **3.1.6.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

*Polaridad Normal.*

En la figura 3.14d se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

*Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15d, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

*Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16d, se observan los valores de polaridad acumulados, para la suma de casos de chrons con polaridad normal más los chrons de polaridad reversa, para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

Tabla 3.11

No. DE CHRON CK-95	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	9.92	1.03	46	A	A	normal
L2	15.15	0.86	24	A	A	reversa
L3	19.05	1.08	10	A	A	normal
L4	27.03	0.94	31	A	A	normal
L5	30.94	2.12	10	D	D	reversa
L6	33.54	1.11	1	A	A	reversa
L7	36.62	0.85	6	A	D	normal
L8	38.43	1.13	5	D	D	normal
L9	40.13	1.13	2	D	D	reversa
L10	43.79	2.47	3	D	A	reversa
L11	49.71	1.06	3	A	A	reversa
L12	53.35	2.56	9	D	D	reversa
L13	57.91	3.01	3	A	D	reversa
L14	65.58	2.03	6	D	D	normal
L15	68.74	2.33	2	D	A	reversa
L16	71.59	1.42	2	A	A	normal
L17	73.62	5.46	3	D	---	normal

### 3.1.6.6 Gráfica de Longitud del Chron.

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17f y tabla 3.11).

En la tabla 3.11 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

En la figura 3.18d, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste, con un polinomio de 6° grado el cual muestra la tendencia.

Para esta GPTS se encontraron 17 chrons largos, en donde 8 son de polaridad normal y 9 son de polaridad reversa. Antes de un chron largo existe aumento en el tamaño del chron para 9 casos y en 7 casos el tamaño del chron disminuye. Después del chron largo en 9 casos los dos chrons siguientes ascienden, mientras que en 8 casos los chrons disminuyen.

Tabla 3.12

CK-95	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.45	0.45	0.67
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.22	4.54	2.13
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	4.38	13.46	3.67
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	10.82	68.28	8.26
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	20.44	261.52	16.17
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	3.35	80.93	9
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	1.67	20.85	4.57
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	1.67	20.11	4.48

En la figura 3.19d se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente con pequeños escalones.

En la figura 3.20f, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron pares ordenados del número de casos de chrons de polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa se observa una marcada tendencia representada en la línea de ajuste, lo que habla de una posible dependencia entre la polaridad normal y reversa.

### 3.1.6.7 Tabla de resultados.

En la tabla 3.12, se puede observar la media, la varianza y la desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

## 3.1.7 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS CK-CHRON-95

Consta de 147 cambios de polaridad normal y 146 cambios de polaridad reversa. El chron más largo se encuentra entre 73.619 y 79.075 Ma con una duración de 5.456 y una polaridad normal. El chron más pequeño va de 29.186 a 29.193 Ma con una duración de 0.007 Ma y una polaridad positiva. El promedio aritmético de los chrons con polaridad normal es de 0.267, y el promedio aritmético de los chrons con polaridad reversa es de 0.302. (Ver tabla 3.18).

### 3.1.7.1 Gráfica de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

Los intervalos de tiempo en el que hay mayor número de cambios de polaridad son entre 32 y 33 Ma y entre 54 y 55 Ma con 10 cambios. Existen varios intervalos que no contienen cambios; entre 44 y 46 Ma, 48 y 49 Ma, 66 y 67 Ma, 69 y 71 Ma, 72 y 73 Ma, 74 y 79 Ma, 80 y 82 Ma. (Ver figura 3.1h).

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

El intervalo de tiempo en el que existe mayor número de cambios de polaridad esta entre 32 y 34 Ma con 18 cambios, siguiendo el intervalo de tiempo entre 54 y 56 Ma con 17 cambios. No existen cambios de polaridad de 44 a 46 Ma, entre 74 y 78 Ma y entre 80 y 82 Ma. (Ver figura 3.2h).

#### *Intervalos cada 5 Ma*

El mayor número de cambios de polaridad se encuentra entre los 30 y 35 Ma con 35 cambios siguiendo los intervalos de tiempo entre 25 y 30 Ma, y entre 55 y 60 Ma con 30 cambios. Existe un descenso muy marcado en el número de cambios entre los 40 y 50 Ma y entre los 75 y 85 Ma. (Ver figura 3.3h).

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

El mayor número de cambios de polaridad se da en los intervalos entre los 20 y 30 Ma y los 50 y 60 Ma con 56 cambios, siguiendo el intervalo entre 0 y 10 Ma con 54 cambios. Se nota un descenso drástico entre los 40 y 50 Ma y entre los 80 y 90 Ma. (Ver figura 3.4h)

### 3.1.7.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se puede observar un aumento *ondulatorio* en la gráfica de los cambios de polaridad acumulados, lo que nos indica que no son constantes, la pendiente de la curva lo que nos indica, es que el número de cambios ha aumentado o disminuido. Se muestra la curva de ajuste de un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.5h).

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

Se puede observar un aumento *ondulatorio* en la gráfica de los cambios de polaridad acumulados, lo que nos indica que no son constantes, la pendiente de la curva lo que nos indica, es que el número de cambios ha aumentado o disminuido. El cambio más abrupto lo tenemos alrededor de los 50 Ma. Se muestra la curva de ajuste de un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.6h).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

Se puede observar un aumento *ondulatorio* en la gráfica de los cambios de polaridad acumulados, lo que nos indica que no son constantes, la pendiente de la curva lo que nos indica, es que el número de cambios ha aumentado o disminuido. Se muestra la curva de ajuste de un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.7h).

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

A diferencia de las anteriores, en esta gráfica se pueden observar dos grandes *subidas* divididas por un cambio en la pendiente alrededor de los 50 Ma. (Ver figura 3.8h).

### 3.1.7.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del cron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal que se encuentran entre 0 y 0.1 Ma con 65 casos (45%) siguiendo los chrons de polaridad normal que se encuentran entre 0.2 y 0.3 Ma con 24 casos (17%). El 90 % de los casos se encuentra entre 0 y 0.5 Ma. (Ver figura 3.9h).

*Polaridad Reversa.*

El mayor número de casos chrons de polaridad reversa que se encuentra entre 0.1 y 0.2 Ma con 53 casos (37%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.2 y 0.3 Ma con 33 casos (23%). El 90% de los casos se encuentra entre 0 y 0.6 Ma. (Ver figura 3.10h).

*Polaridad Normal+Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa que se encuentran entre 0 y 0.1 Ma con 92 casos (32%), siguiendo los que tienen duraciones de entre 0.1 y 0.2 Ma con 76 casos (26%). El 90% de los casos se encuentra entre 0 y 0.6 Ma. (Ver figura 3.11h).

**3.1.7.4 Gráficas comparativas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa cuyas longitudes oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12h se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13h, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, etc. (Ver Tabla 3.17).

**3.1.7.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

*Polaridad Normal.*

En la figura 3.14h se muestra la gráfica de valores acumulados de chrons con polaridad normal. Se presenta un polinomio de 6° grado que ajusta a lo curva.

*Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15h, se muestran los valores acumulados de chrons con polaridad reversa y se presenta una línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

*Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16h, se observan los valores acumulados de chrons con polaridad normal y de chrons con polaridad reversa para los respectivos intervalos, y su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

**Tabla 3.13**

No. DE CHRON. CK-CHRON-95	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	15.155	0.859	85	A	A	reversa
L2	19.048	1.083	12	A	A	normal
L3	36.618	0.855	95	A	D	normal
L4	38.426	1.126	5	D	D	normal
L5	40.130	1.127	2	D	A	reversa
L6	43.789	2.475	3	D	A	reversa
L7	49.714	1.064	3	A	A	reversa
L8	61.276	1.223	61	A	A	reversa
L9	65.578	2.032	6	D	D	normal
L10	68.737	2.334	2	D	A	reversa
L11	71.587	1.417	2	A	A	normal
L12	73.619	5.456	3	D	---	normal

**3.1.7.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son  $\frac{1}{4}$  de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (Ver figura 3.17g y tabla 3.13).

En la tabla 3.13 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

Para esta GPTS se encontraron 12 chrons largos en donde 6 son de polaridad normal y 6 son de polaridad reversa. Antes de un chron largo los dos anteriores siguen un orden ascendente en 8 de los casos y

un orden descendente en los otros 3. Este es la primera GPTS en la que se ve una tendencia a aumentar el tamaño del chron antes de que ocurra un chron largo. Después de un chron largo tenemos 6 casos en que los siguientes dos chons ascienden y 6 casos en que los siguientes 2 chrons descienden.

En la figura 3.18h, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste que nos muestra la tendencia de los datos.

En la figura 3.19h se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente casi constante.

En la figura 3.20g, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron pares ordenados del número de casos de chrons de polaridad normal vs el número de casos de chrons con polaridad reversa para observar si existe alguna dependencia entre ellos y aunque no se observa ninguna tendencia en particular, se muestra la línea de regresión de los datos.

### 3.1.7.7 Tabla de resultados.

En la tabla 3.14, se puede observar la media, la varianza y al desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

Tabla 3.14

CK-CHRON-95	XM	VAR	DES
LONGITUD DEL CHRON	0.28	0.25	0.5
CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma	3.52	7.72	2.78
CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma	6.95	26.73	5.17
CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma	17.18	144.28	12.01
CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma	32.44	544.53	23.34
No. CASOS (NORMAL + REVERSO)	5.31	309.07	17.58
No. CASOS POLARIDAD NORMAL	2.65	95.71	9.78
No. CASOS POLARIDAD REVERSA	2.65	81.86	9.05

### 3.1.8 DESCRIPCIÓN DE LA GPTS W-95

Cuenta con 87 cambios de polaridad normal de 86 cambios de polaridad reversa y va de 0 a 65 Ma. El chron más largo se encuentra entre 58.027 y 60.850 con una duración de 2.823 Ma y una polaridad reversa. En El chron más pequeño se encuentra entre el intervalo 2.140 y 2.150 con una duración de 0.01 Ma y de polaridad normal. El promedio aritmético de los chrons de polaridad normal es de 0.329 Ma mientras que para los chrons de polaridad reversa es de 0.427. (Ver tabla 3.18).

### 3.1.8.1 Gráficas de cambios de polaridad.

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

El intervalo de tiempo en el que hay mayor número de cambios de polaridad esta entre 23 y 24 Ma con 8 cambios siguiendo los intervalos entre 4 y 5 Ma, entre 7 y 8 Ma, entre 9 y 10 Ma con 7 cambios. Existen varios intervalos que no contienen cambios entre 10 y 11 Ma, entre 32 y 33 Ma, entre 44 y 45 Ma, entre 46 y 47 Ma, entre 54 y 56 Ma, entre 59 y 60 Ma. (Ver figura 3.1e).

#### *Intervalos cada 2 Ma.*

El intervalo de tiempo en el que hay mayor número de cambios de polaridad esta entre 6 y 8 Ma con 13 cambios siguiendo los intervalos entre 22 y 24 Ma, y entre 24 y 26 Ma con 12 cambios. En el intervalo entre 54 y 56 Ma no tenemos ningún cambio. (Ver figura 3.2e).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

El mayor número de cambios de polaridad lo tenemos en el intervalo de tiempo entre 5 y 10 Ma con 26 cambios, siguiendo el intervalo entre 20 y 25 Ma con 23 cambios. Existe un descenso en el número de cambios entre los 40 y 50 Ma. (Ver figura 3.3e)

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

El mayor número de cambios de polaridad se observa en el intervalo de tiempo entre 0 y 10 Ma con 46 cambios siguiendo el intervalo entre 20 y 30 Ma con 42 cambios, también se observa un descenso gradual en el intervalo entre los 40 y 50 Ma que aumenta nuevamente después de este periodo. (Ver figura 3.4e)

### 3.1.8.2 Gráficas acumuladas de cambios de polaridad

#### *Intervalos cada 1 Ma.*

Se observa que existe un incremento *ondulado* en el número de cambios de polaridad acumulados sugiriendo que el número de cambios de polaridad no se mantiene constante respecto al tiempo (Ver figura 3.5e).

#### *Intervalos cada 2 Ma*

Lo mismos que en la figura anterior se observa un comportamiento *ondulado*. Se obtuvo su curva de ajuste con un polinomio de 6° grado. (Ver figura 3.6e).

#### *Intervalos cada 5 Ma.*

Se observa un crecimiento más *constante* en la curva acumulada sugiriendo, para este intervalo, que el número de cambios de polaridad decrece con el tiempo, pero de una manera más *uniforme*. (Ver figura 3.7e).

#### *Intervalos cada 10 Ma.*

Se puede observar que para este intervalo la gráfica acumulativa de número de cambios de polaridad puede ser perfectamente representada por la línea de ajuste mostrada (Ver figura 3.8e).

### **3.1.8.3 Gráficas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes que se encuentran en un cierto intervalo de tiempo.**

En esta sección se trató de determinar el número de chrons cuyas longitudes o tamaños se encontraran en un cierto rango, para poder de esta manera obtener cual es la longitud del chron que prevalece en la escala.

#### *Polaridad Normal.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal se encuentra entre 0.1 y 0.2 Ma con 24 casos (27.9%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 17 casos (19.8%). El 90% de los casos tienen una duración de entre 0 y 0.8 Ma. (Ver figura 3.9c).

#### *Polaridad Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad reversa se encuentra entre 0.1 y 0.2 Ma con 21 casos (24.4%) siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 17 casos (19.8%). El 90% de los casos tiene una duración de entre 0 y 1.2 Ma. (Ver figura 3.10e).

#### *Polaridad Normal+Reversa.*

El mayor número de casos de chrons con polaridad normal y reversa se encuentran entre 0.1 y 0.2 Ma con 45 (26.2%) casos siguiendo los que tienen duraciones de entre 0 y 0.1 Ma con 34 casos (19.8%). El 90% de los casos tienen una duración de entre 0 y 1 Ma. (Ver figura 3.11e).

### **3.1.8.4 Gráficas comparativas de número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Comparan el número de casos de chrons con polaridad normal ó reversa cuyas longitudes oscilen entre 0 y 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc..

En la figura 3.12e se puede observar cual es el *tamaño* comparativo entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración

que cae en cada intervalo de tiempo. En la figura 3.13e, se observa una tendencia a la alternancia entre los casos de chrons con polaridad normal y los casos de chrons con polaridad reversa, es decir, para los primeros intervalos de 0 a 0.1, los casos de chrons con polaridad reversa son iguales a los de polaridad normal, de 0.1 a 0.2, los casos de chrons con polaridad normal son más que los de polaridad reversa, de 0.2 a 0.3, los casos de chrons con polaridad reversa son más que los de polaridad normal, etc. (ver Tabla 3.17).

### **3.1.8.5 Gráficas acumuladas del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa con longitudes de chron que se encuentren en un cierto intervalo de tiempo.**

Son determinadas a partir del número de casos de chrons con polaridad normal y/o reversa en intervalos que oscilen entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc..

#### *Polaridad Normal.*

En la figura 3.14e se observa la línea de ajuste que representa a un polinomio de 6° grado y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad normal.

#### *Polaridad Reversa.*

En la figura 3.15e, se observa la línea de ajuste que representa un polinomio de 6° grado, y los valores acumulados para los casos de chrons con polaridad reversa.

#### *Polaridad Normal+Reversa.*

En la figura 3.16e, se observan los valores de polaridad acumulados para la suma de casos de chrons con polaridad normal los chrons de polaridad reversa, para los respectivos intervalos, así como su línea de ajuste por un polinomio de 6° grado.

### **3.1.8.6 Gráfica de Longitud del Chron.**

Se realizó un análisis de la duración de los chrons en donde se tomaron como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y que son ¼ de vez más largo que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo. (ver figura 3.17h y tabla 3.1).

En la tabla 3.15 se muestran los chrons considerados como largos, su posición, la duración de los mismos. En la columna 4 se muestra, el número de chrons que existen entre un chron largo y otro. En la columna 5 y 6 se muestra el orden que tuvieron los chrons precedentes y consecuentes a la ocurrencia de un chron largo.

Para esta GPTS se encontraron 11 chrons largos en donde 4 son de polaridad normal y 7 son de polaridad reversa. Los dos chrons anteriores tienen un orden ascendente para 5 de los casos y en 6 es

descendente. Para los chrons posteriores en 6 de los casos son ascendentes y 5 son descendentes. No se observa ningún patrón o comportamiento definido.

Tabla 3.15

No. DE CHRON W-95	POSICIÓN	DURACIÓN	No. CHRONS INTER-MEDIOS	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +JOVENES	ORDEN DE LOS 2 CHRONS +ANTIGUOS	POLARIDAD
L1	9.874	1.215	46	A	A	normal
L2	16.32	0.964	24	A	A	reversa
L3	20.321	0.974	10	A	A	normal
L4	27.214	0.886	31	A	A	normal
L5	31.103	2.210	10	D	D	reversa
L6	33.812	1.11	1	A	D	reversa
L7	38.389	0.993	12	D	D	normal
L8	39.892	1.006	2	D	D	reversa
L9	43.245	2.486	3	D	A	reversa
L10	53.527	2.586	13	D	D	reversa
L11	56.58	1.107	1	A	D	reversa
L12	58.027	2.823	1	A	D	reversa

Tabla 3.16

W-95	XM	VAR	DES
<b>LONGITUD DEL CHRON</b>	0.38	0.21	0.46
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/1 Ma</b>	2.65	4.20	2.05
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/2 Ma</b>	5.21	12.86	3.59
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/5 Ma</b>	13.23	60.69	7.79
<b>CAMBIOS DE POLARIDAD C/10 Ma</b>	24.57	259.95	16.12
<b>No. CASOS (NORMAL + REVERSO)</b>	5.93	127.07	11.27
<b>No. CASOS POLARIDAD NORMAL</b>	2.97	34.89	5.91
<b>No. CASOS POLARIDAD REVERSA</b>	2.97	30.25	5.50

En la figura 3.18e, se observan las longitudes de los chrons de polaridad normal y polaridad reversa respecto al tiempo para toda la GPTS, y se realizó un ajuste.

En la figura 3.19e se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de los chrons. Se observa una pendiente con pequeños saltos.

En la figura 3.20h, se puede observar la gráfica de dispersión donde se graficaron y en donde se presenta la línea de regresión, para los datos.

### 3.1.8.7 Tabla de resultados.

En la tabla 3.16, se puede observar la media, la varianza y la desviación estándar para los diferentes conceptos determinados para esta GPTS.

## 3.1.9 GPTS COMPARADAS

En esta sección se compararon las seis GPTS; la HDHPL-68, HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-CHRON-92, CK-95, CK-CHRON-95 y la W-95.

En la Tabla 3.18, se presentan algunas características importantes de las GPTS. Se debe considerar que el tamaño en tiempo de las GPTS es diferente, por ejemplo en W-95, la GPTS va de 0-65 Ma, mientras que en la de CK-92 la GPTS va de 0-83 Ma, en esta tabla, se puede observar cual es el número de cambios de polaridad totales, el promedio de duración para la polaridad normal y la reversa, el chron más grande para cada GPTS, el chron más pequeño, el chron normal más largo, el chron reverso más largo, etc.. También se puede observar que para todas las GPTS, el promedio de duración de la polaridad normal, es menor que el promedio de duración de la polaridad reversa.

En la figura 3.1 se muestra el número de reversiones que presentan las GPTS para intervalos de 1 Ma. En esta figura es muy notoria una especie de discontinuidad entre los 45 y 50 Ma para todas las escalas, y se puede observar en todas ellas un cambio de comportamiento del campo alrededor de esta edad. La pendiente de la línea de tendencia de la regresión es muy similar para las GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-95, con un valor que va de -0.057 a -0.058. Mientras que las GPTS de CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 y la W-95, tienen valores en la pendiente de la línea de tendencia que van de -0.062 a -0.064. Quedando la pendiente de la línea de tendencia de la GPTS de HDHPL-68, fuera de los grupos anteriores, con una pendiente de -0.037.

En la figura 3.2 se muestra el número de reversiones que presentan las GPTS para intervalos de 2 Ma. En esta figura se observaron las discontinuidades en las GPTS entre los 44 y 48 Ma para todas ellas. La pendiente de las líneas de tendencia de la regresión es muy similar para las GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-95 con valores que van de -0.22 a -0.23. Mientras que las GPTS CK-CHRON-92, CK-CHRON-95 y W-95, las que tienen una pendiente en la línea de tendencia que va de -0.25 a -0.26; quedando la pendiente de la línea de tendencia de la GPTS HDHPL-68 fuera del grupo con una pendiente de -0.015.

En la figura 3.3 se muestra el número de reversiones que presentan las GPTS para intervalos de 5 Ma, en esta figura como en la 1 y 2 es muy notoria una discontinuidad entre los 40 y 50 Ma. La pendiente de la línea de tendencia de la regresión lineal es muy similar en las GPTS HCLPSW-82, CK-92, CK-95 y HACCSS-90, con una pendiente de -1.41, para las primeras tres y de -1.43 para la última. Mientras que la pendiente de los CK-CHRON-92, CK-CHRON-95 y W-95, tienen valores que van de -1.60 a -1.63; quedando la pendiente de la línea de tendencia de la GPTS HDHPL-68 fuera del grupo con -1.

En la figura 3.4 se muestra el número de reversiones que presentan las GPTS para intervalos de cada 10 Ma, observando como esta se ha modificado de presentar una tendencia francamente lineal en la GPTS de HDHPL-68 y HCLPSW-82 a una que presenta dos o tres curvaturas acentuadas en la de CK-95 y W-95. La pendiente de la línea de tendencia de la regresión lineal es muy similar en GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90 CK-92 y CK-95 con valores que van de -5.5 a -5.79. Mientras que la pendiente de las GPTS CK-CHRON-92, CK-CHRON-95 y W-95 tiene valores que van de -6.5 a -6.8, quedando la pendiente de la línea de tendencia de la GPTS HDHPL-68 fuera del grupo con un pendiente de -4. Se debe hacer notar que en la figura existe un ajuste casi perfecto de la regresión lineal de la GPTS HCLPSW-82 donde  $R^2 = 0.967$ , pero esta tendencia puede deberse a que cuando se elaboró la GPTS, se considero una velocidad de apertura constante y se eliminaron aquellos puntos en que no fueran coherentes con esta suposición. También debe de notarse que para todas las GPTS exceptuando las GPTS HCLPSW-82, CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95, existe una mejor ajuste con la línea polinomial de 6° grado siendo en la W-95 perfecta.

En la figura 3.5 se presenta la curva de cambios de polaridad promedio acumulada para cada 1 Ma. El comportamiento de las GPTS en esta figura es muy similar entre la HDHPL-68, HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-95 y W-95. Siendo las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 diferentes al primer grupo, pero muy parecidas entre si.

En la figura 3.6 se presenta la curva de cambios de polaridad promedio acumulada para cada 2 Ma. Siendo las GPTS CK-CHRON 92 y CK-CHRON-95 muy similares entre si, pero diferentes de las otras GPTS.

En la figura 3.7 se presenta la curva de cambios de polaridad promedio acumulada para cada 5 Ma, así como su curva de ajuste en base a un polinomio de 6° grado. Se observa un cambio en el comportamiento en las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 con respecto a las otras.

En la figura 3.8 se presenta la curva de cambios de polaridad promedio acumulada para cada 10 Ma, así como su curva de ajuste en base a un polinomio de 6° grado. Se observa un cambio en el comportamiento en las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 con respecto a las otras escalas. Debe de observarse que en la GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 que el número de reversiones no disminuye precisamente con la edad.

En la figura 3.9 se muestran curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de chrons con polaridad normal cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma,

etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92 -92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

En la figura 3.10 se muestran las curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de chrons con polaridad reversa cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma, etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92 -92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

Se destaca una notable correlación entre las curvas de ajuste de polaridad normal y la polaridad reversa en las GPTS de CK-92, CK-95 y W-95 ver figura 3.9 y 3.10, lo que nos indica que existe estabilidad en estas GPTS sin embargo cuando comparamos las curvas de ajuste de la polaridad normal y la polaridad reversa de las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 se puede observar que estas curvas de ajuste no son tan similares siendo mucho mayor el número de casos que caen entre el intervalo 0 y 0.1 Ma de polaridad normal (figura 3.9) mientras que el mayor número de casos de chrons con polaridad reversa caen en el intervalo entre 0.1 y 0.2 Ma (figura 3.10). Esto nos puede indicar que al introducir estos llamados subchrons, en la GPTS de tiempo esta pierde la estabilidad que presentaba anteriormente, existiendo un número mayor de chrons con longitudes pequeñas de polaridad positiva.

En la figura 3.11 se muestran las curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de chrons con polaridad normal y reversa en su conjunto y cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma, etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92 -92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92, CK-95 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

En la figura 3.12 se puede observar cuantos de estos chrons son de polaridad positiva y cuantos de polaridad negativa. Se pueden comparar las diferentes GPTS y observar que en la GPTS de HDHPL-68, HCLPSW-82 y HACCSS-90 el mayor número de chrons tienen una longitud de entre 0 y 0.1 Ma. mientras que en las GPTS de CK-92, CK-95 y W-95 podemos observar como el mayor número de chrons tienen una duración de entre 0.1 y 0.2 Ma, si no se introducen los subchrons. La GPTS de CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 muestran un comportamiento similar al primer grupo tomando en consideración la diferencia en el número de casos según la escala que se trate.

En la figura 3.13 se presenta en forma comparativa el número de casos de chrons con polaridad normal y polaridad reversa de las GPTS. Se puede observar que el número de casos de duración entre 0 y 0.1 Ma para polaridad normal y polaridad reversa se alternan, es decir en la GPTS de HDHPL-68 por ejemplo el número de casos de chrons con polaridad normal que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma es menor que el número de casos de chrons con polaridad reversa para el intervalo entre 0 y 0.1 Ma. Para el siguiente intervalo el número de casos de chrons con polaridad normal es mayor que el reverso, etc.. En la Tabla 3.17, se muestra como es la secuencia de estos cambios de polaridad marcándose en líneas punteadas

los intervalos en los que existe alternancia, lo que sugiere que existe un proceso subyacente que marca el comportamiento.

En la figura 3.14 se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons de polaridad normal que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las GPTS. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que en las otras GPTS.

En la figura 3.15 se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons con polaridad reversa de los chrons de polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las escalas. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que las otras GPTS.

En la figura 3.16 se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons de polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las GPTS. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que en las otras GPTS.

En la figura 3.17 se presentan las longitudes de los chrons con respecto al tiempo, separando las gráficas cada 20 Ma, para tener una mejor visión del comportamiento, las gráficas del lado izquierdo son de tipo *barra* y nos muestra el tamaño del chron, mientras que el lado derecho nos muestra la longitud del chron, en forma real tanto horizontal como verticalmente. Aquí también se muestran los chron más largos considerando como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y son  $\frac{1}{4}$  de vez más largos que el chron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del chron contra el tiempo.

En la figura 3.18 se presentan las longitudes de los chrons en el tiempo para toda la escala. La línea de tendencia para las GPTS. Como puede observarse, hay un aumento substancial en la duración de los cambios de polaridad a medida que retrocedemos en el tiempo en las dos formas de representación.

En la figura 3.19 se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de chron de las diferentes GPTS, se puede observar que existe una pendiente casi constante con pequeños brincos en la pendiente para las GPTS.

En la figura 3.20 se presentan las gráficas de dispersión del número de casos de chrons con polaridad normal vs el número de casos de chrons de polaridad reversa que tienen duraciones de 0 a 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc. Se obtuvo la regresión lineal para cada GPTS, obteniéndose en algunas de ellas valores

de ajuste mayores de 0.9, lo que nos indica que existe alguna relación de dependencia entre los cambios de polaridad.

Se puede observar que para casi todas las figuras se forman dos grupos quedando fuera de ellos la HDHPL-68.

Tabla 3.17

GPTS	HDHPL-68	HCLPSW-82	HACCSS-90	CK-92	CK-CHRON-92	CK-95	K-CHRON-95	W-95
0-0.1	R > N	R > N	R > N	N > R	N > R	N > R	N > R	R = N
0.1-0.2	N > R	N > R	N = R	R > N	R > N	R > N	R > N	N > R
0.2-0.3	R > N	R = N	N > R	N > R	R > N	N > R	R > N	R > N
0.3-0.4	N > R	N > R	R = N	R = N	N = R	R = N	N > R	R > N
0.4-0.5	N > R	R > N	N > R	N > R	N > R	N > R	N > R	N > R
0.5-0.6	R > N	N = R	R > N	N > R	R > N	R > N	R > 0	R > N
0.6-0.7	N = R	R = N	N > R	R > N	R > N	R > N	N > R	R > N
0.7-0.8	N > R	N > 0	N > R	N = R	N > 0	N > 0	N > 0	N > 0
0.8-0.9	R > N	N > 0	N > R	R = N	R = N	R > N	R > N	N > 0
0.9-1.0	R > N	R > 0	R > N	N > 0	N > 0	N > 0	0 = 0	R = N
1.0-1.1	0 = 0	N > R	0 = 0	R > N	R > N	N > R	N = R	R > 0
1.1-1.2	N > R	R = N	R > 0	N = R	N > R	R > N	N = R	R > N
1.2-1.3	0 = 0	R > N	R > 0	N > R	N > 0	N = R	N = R	N = R
1.3-1.4	R > N	0 = 0	0 = 0	R > 0	R > 0	0 = 0	0 = 0	0 = 0
1.4-1.5	R > N	N > R	N > R	0 = 0	0 = 0	N > R	N > 0	0 = 0

Tabla 3.18

GPTS	HDEPL-68 (0-76.33) Ma	HCLPSW-82 (0-78.53) Ma	BACCSS-90 (0-83) Ma	CK-92 (0-83) Ma	CK-CHRON-92 (0-83) Ma	CK-95 (0-83) Ma	CK-CHRON-95 (0-83) Ma	W-95 (0-65) Ma
TOTAL DE CAMBIOS DE POLARIDAD	172	196	196	185	293	185	293	173
PROMEDIO DE DURACION DE LA POLARIDAD NORMAL	0.42	0.4	0.41	0.41	0.26	0.42	0.267	0.329
PROMEDIO DE DURACION DE LA POLARIDAD REVERSA	0.47	0.41	0.45	0.49	0.31	0.48	0.302	0.427
CHRON MAS LARGO	(49.58-52.41)	(72.06-78.53)	(73.12-79.09)	(73.78-78.78)	(73.78-78.78)	(73.62-79.07)	(73.619-79.075)	(58.027-60.850)
	2.83 (R)	6.47 (N)	5.97 (N)	5 (N)	5	5.46 (N)	5.46 (N)	2.823(R)
CHRON MAS CORTO	(40.0-40.03)	(9.47-9.48)	(9.48-9.49)	(12.62-12.65)	(29.157-29.164)	(2.14-2.15)	(29.186-29.193)	(2.14-2.15)
	0.03 (R)	0.01 (R)	0.01 (R)	0.03 (N)	0.007 (N)	0.01 (N)	0.007 (N)	0.01 (N)
CHRON NORMAL MAS LARGO	(52.41-54.16)	(72.06-78.53)	(73.12-79.09)	(73.78-78.78)	(73.78-78.78)	(73.62-79.07)	(73.619-79.075)	(45.731-47.511)
	1.75 (N)	6.47 (N)	5.97 (N)	5 (N)	5 (N)	5.46 (N)	5.456 (N)	1.78 (N)
CHRON REVERSO MAS LARGO	(49.58-52.41)	(58.19-61)	(79.09-83)	(78.78-83.00)	(78.78-83.00)	(79.07-83)	(79.075-83)	(58.027-60.850)
	2.83 (R)	2.81 (R)	3.91 (R)	4.22 (R)	4.22 (R)	3.93 (R)	3.925 (R)	2.823 (R)
CHRON NORMAL MAS CORTO	(7.51-7.55)	(2.12-2.14) (18.13-18.15)	(18.07-18.09)	(12.62-12.65) (2.20-2.23) (6.95-9.98) (7.15-7.19) (8.05-8.08) (12.62-12.65) (22.47-22.51)	(29.157-29.164)	(2.14-2.15)	(29.186-29.193)	(2.14-2.15)
	0.04 (N)	0.02 (N)	0.02 (N)	0.03 (N)	0.007 (N)	0.01 (N)	0.007 (N)	0.01 (N)
CHRON REVERSO MAS CORTO	(40.00-40.03) (17.80-17.83) (16.00-16.03)	(9.47-9.48)	(9.48-9.49)	(16.32-16.35)	(31.32-31.46) (10.06-10.07)	(16.29-16.33)	(10.197-10.205)	(17.592-17.628)
	0.03 (R)	0.01 (R)	0.01 (R)	0.03 (R)	0.01(R)	0.03 (R)	0.008 (R)	0.036 (R)

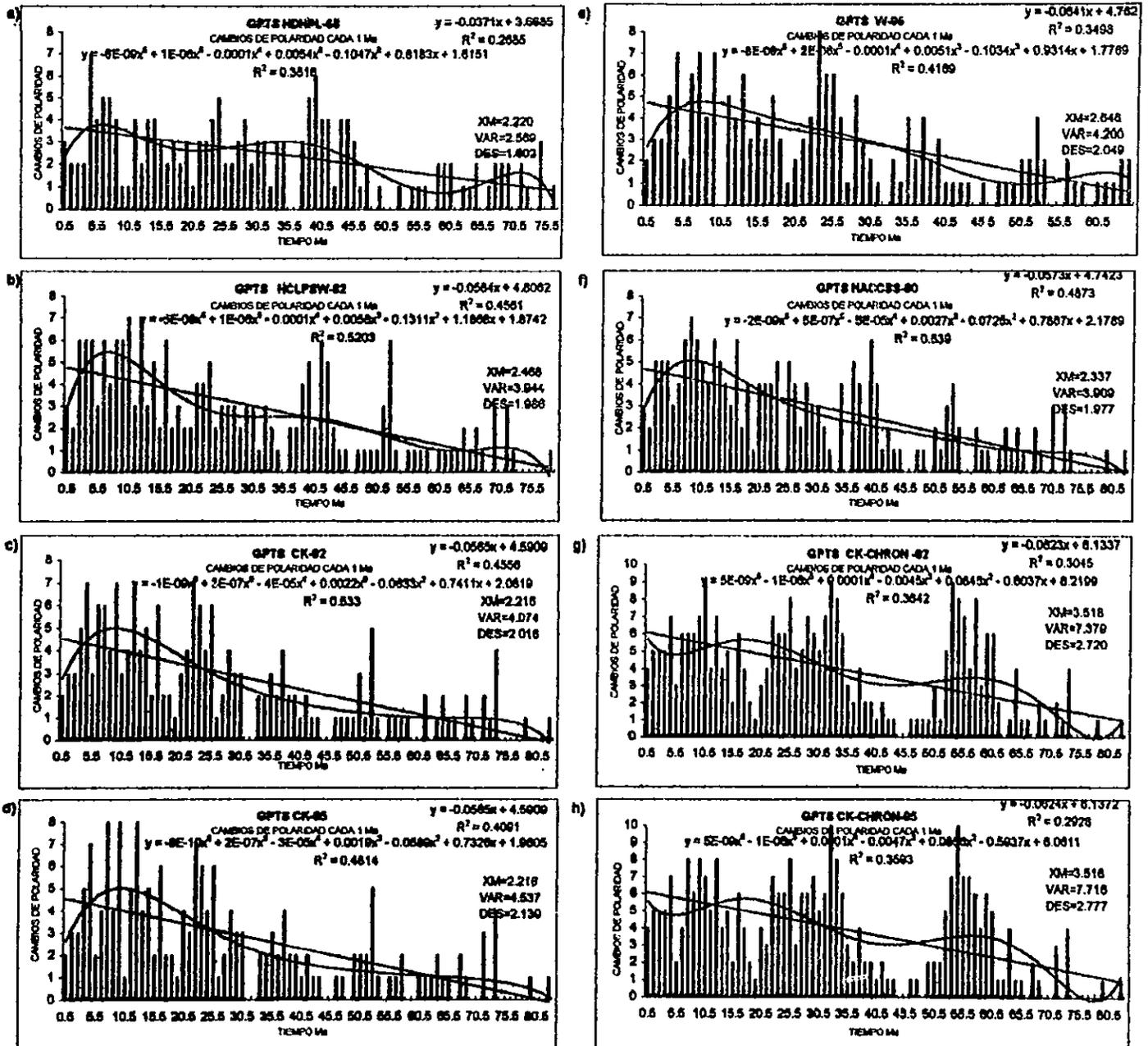


Figura 3.1. En esta figura se muestra el número de cambios de polaridad para cada 1 Ma de cada una de las GPTS. Las líneas gruesas representan las líneas de tendencia para un polinomio de 6° grado y para una línea recta, cuyas ecuaciones se muestran en cada gráfica. Cabe hacer notar que la pendiente de la recta de ajuste en la GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92 y CK-95 son muy similares. Se debe observar que la escala W-95 difiere, pero que su duración sólo llega a los 65 Ma. También se muestra la media, la varianza y la desviación estándar de cada escala.

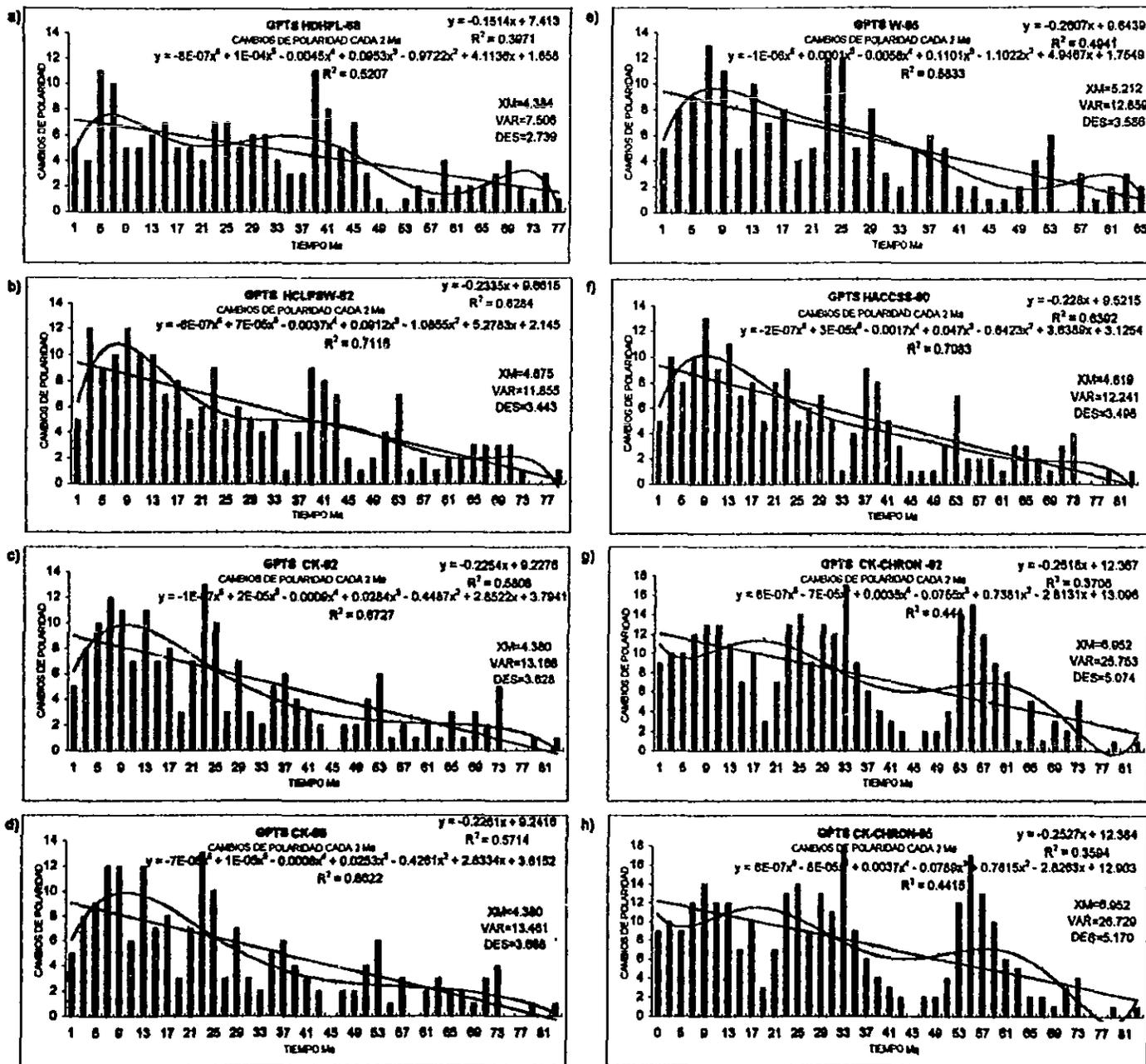


Figura 3.2. En esta figura se muestra el número de cambios de polaridad para cada 2 Ma de cada una de las GPTS. Las líneas gruesas representan las líneas de tendencia para un polinomio de 6º grado y para una línea recta, cuyas ecuaciones se muestran en cada gráfica. Cabe hacer notar que la pendiente de la recta de ajuste en la GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92 y CK-95 son muy similares. Se debe observar que la escala W-95 difiere, pero que su duración sólo llega a los 65 Ma. También se muestra la media, la varianza y la desviación estándar de cada escala.

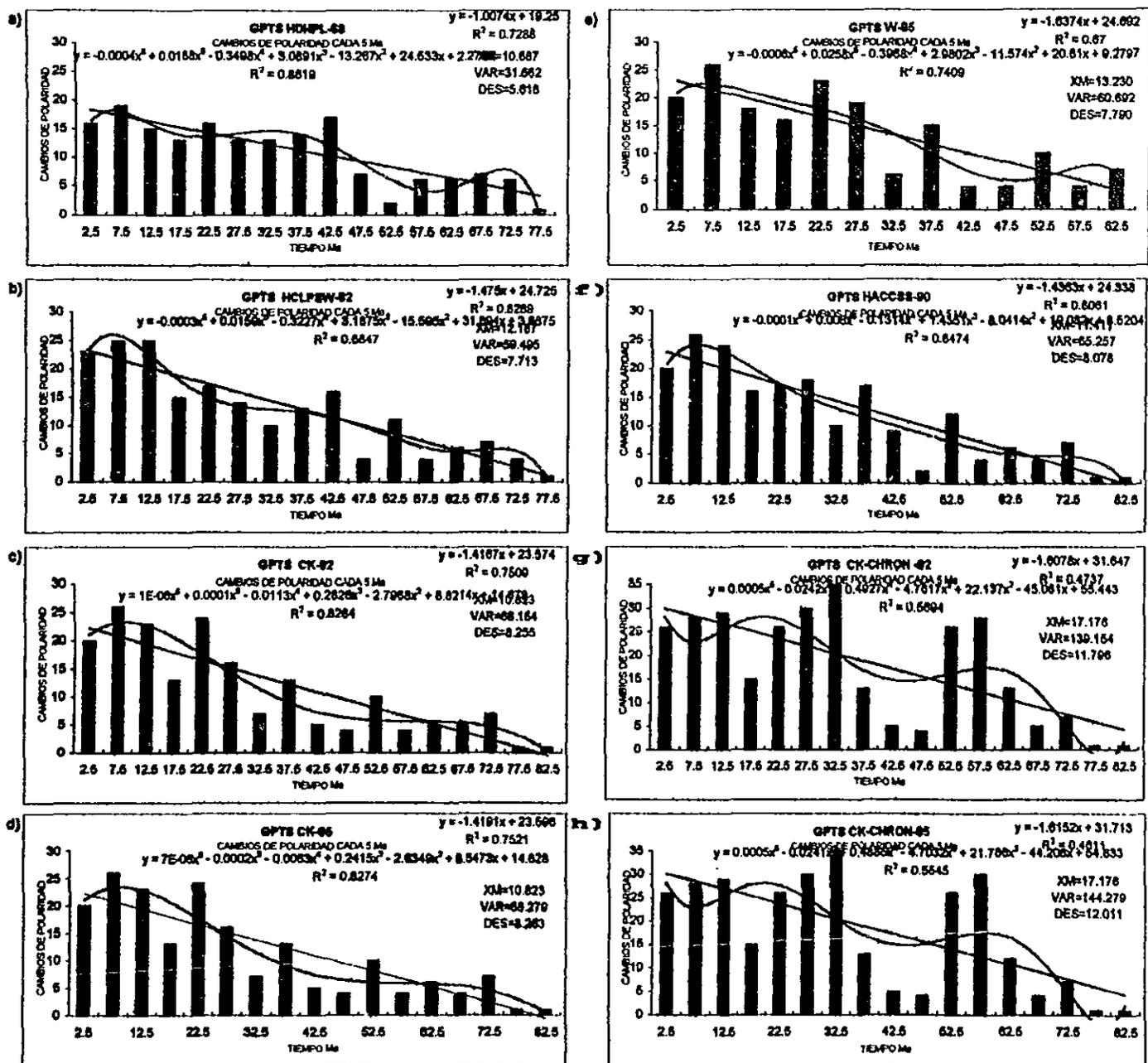


Figura 3.3. En esta figura se muestra el número de cambios de polaridad para cada 5 Ma de cada una de las GPTS. Las líneas gruesas representan las líneas de tendencia para un polinomio de 6° grado y para una línea recta, cuyas ecuaciones se muestran en cada gráfica. Cabe hacer notar que la pendiente de la recta de ajuste en la GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92 y CK-95 son muy similares. Se debe observar que la escala W-95 difiere, pero que su duración sólo llega a los 65 Ma. También se muestra la media, la varianza y la desviación estándar de cada escala.

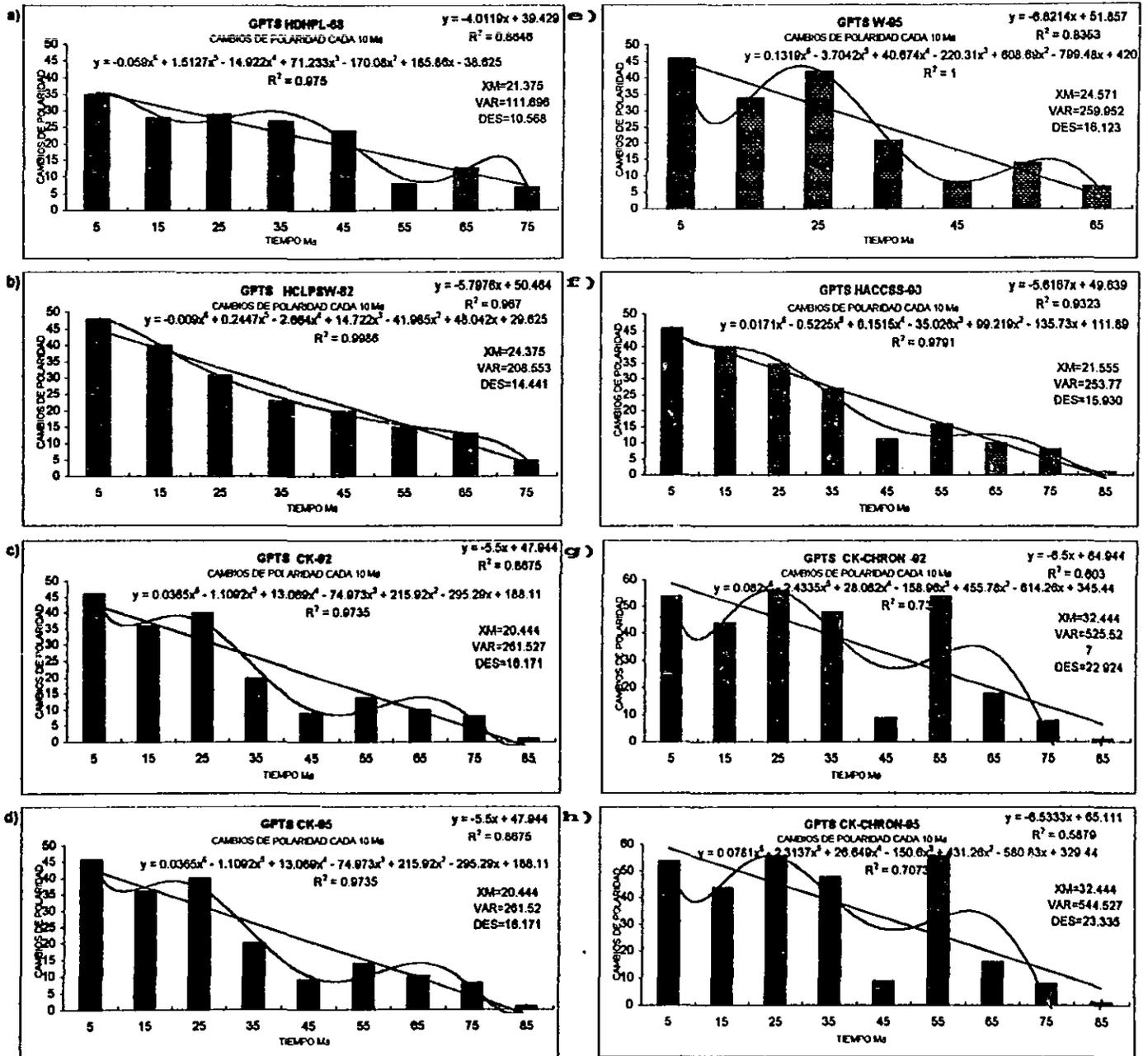


Figura 3.4. En esta figura se muestra el número de cambios de polaridad para cada 10 Ma de cada una de las GPTS. Las líneas gruesas representan las líneas de tendencia para un polinomio de 6º grado y para una línea recta, cuyas ecuaciones se muestran en cada gráfica. Cabe hacer notar que la pendiente de la recta de ajuste en la GPTS HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92 y CK-95 son muy similares. Se debe observar que la escala W-95 difiere, pero que su duración sólo llega a los 65 Ma. También se muestra la media, la varianza y la desviación estándar de cada escala.

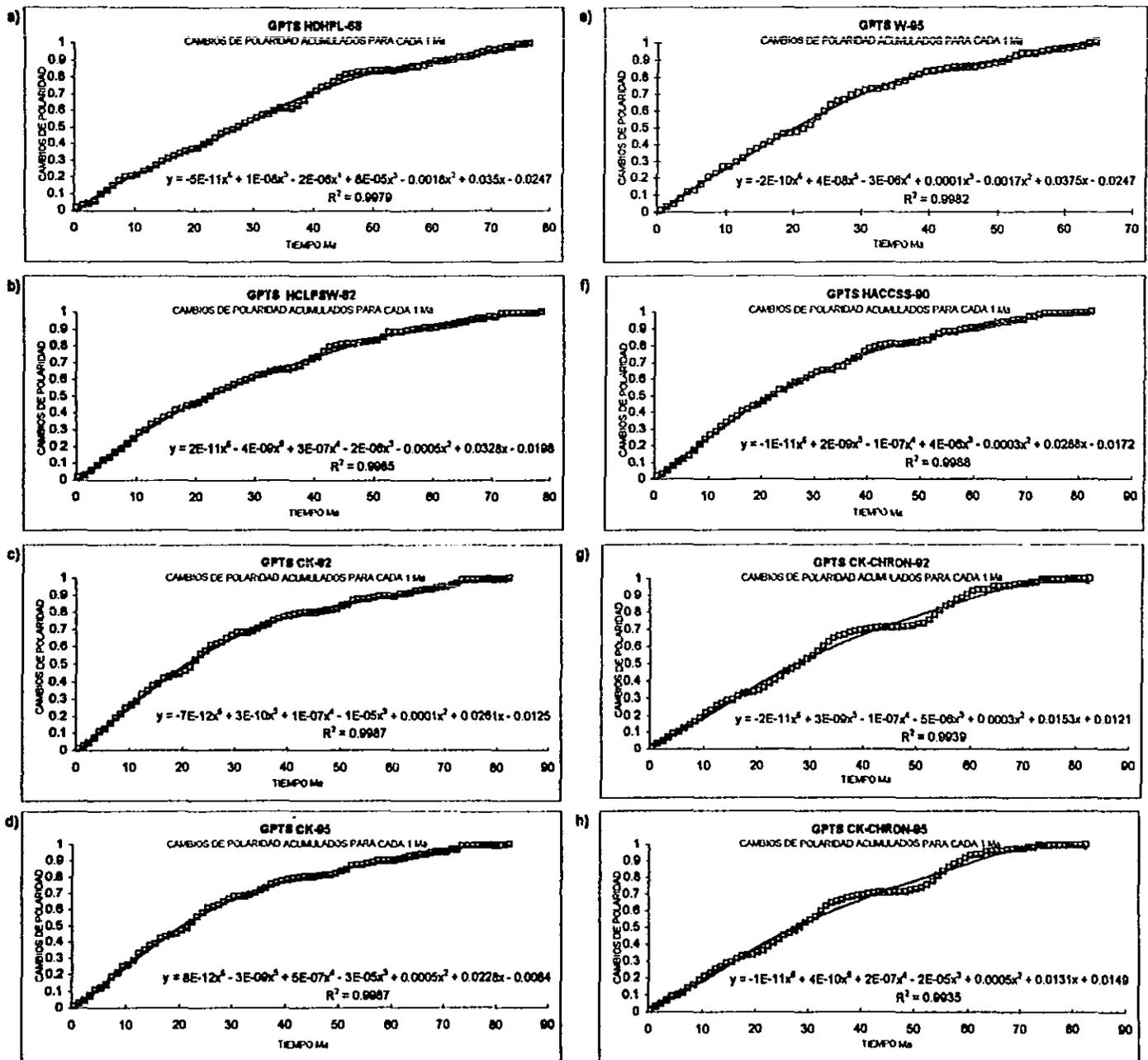


Figura 3.5. Se muestra el número de cambios de polaridad de cada 1 Ma en forma acumulada. La línea continua representa la línea de ajuste. Debe observarse que existen variaciones marcadas en el número de cambios de polaridad que se ven reflejados en un cambios brusco de pendiente en la GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95.

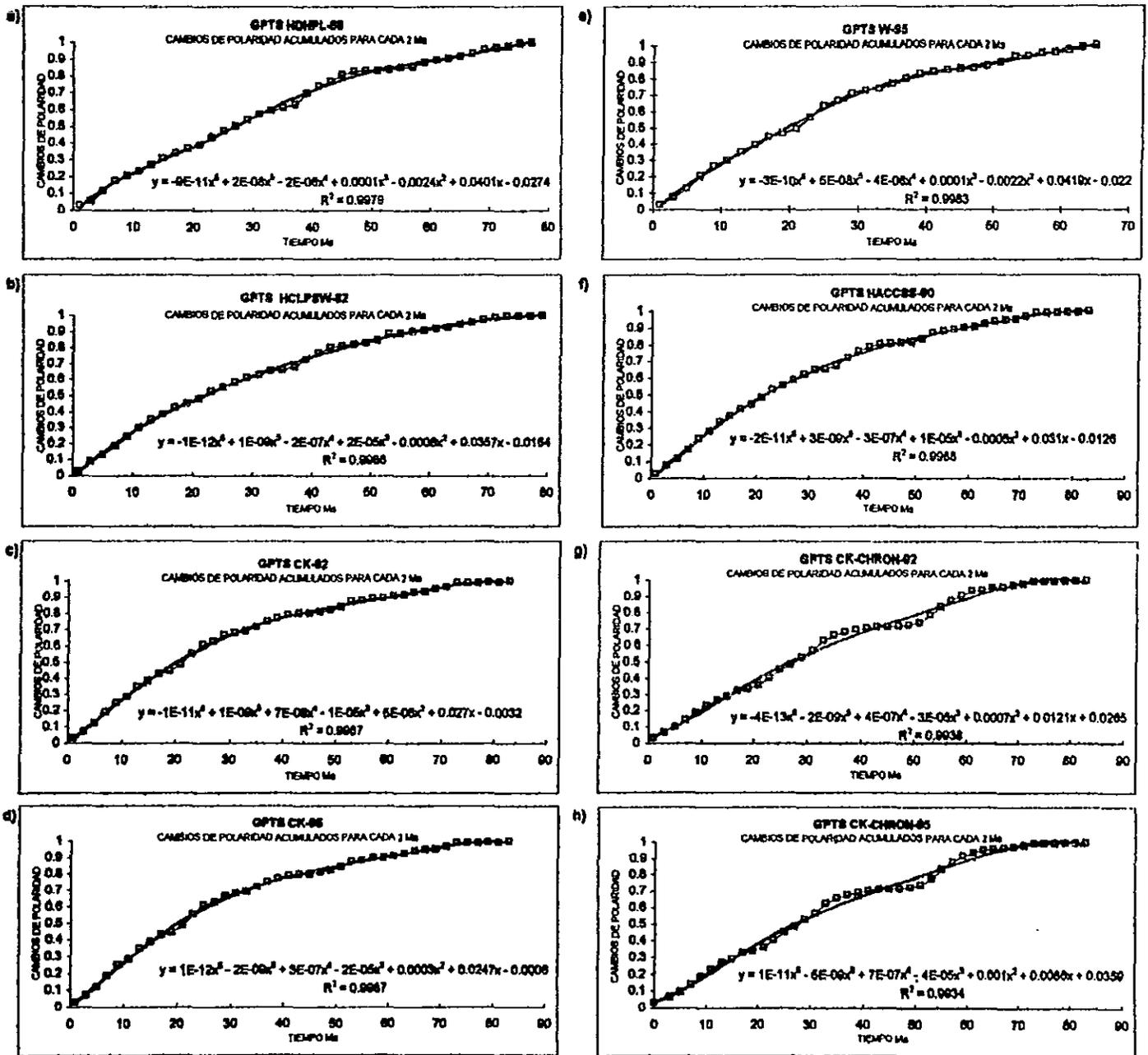


Figura 3.6. Se muestra el número de cambios de polaridad de cada 2 Ma en forma acumulada. La línea continua representa la línea de ajuste. Debe observarse que existen variaciones marcadas en el número de cambios de polaridad que se ven reflejados en un cambios brusco de pendiente en la GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95.

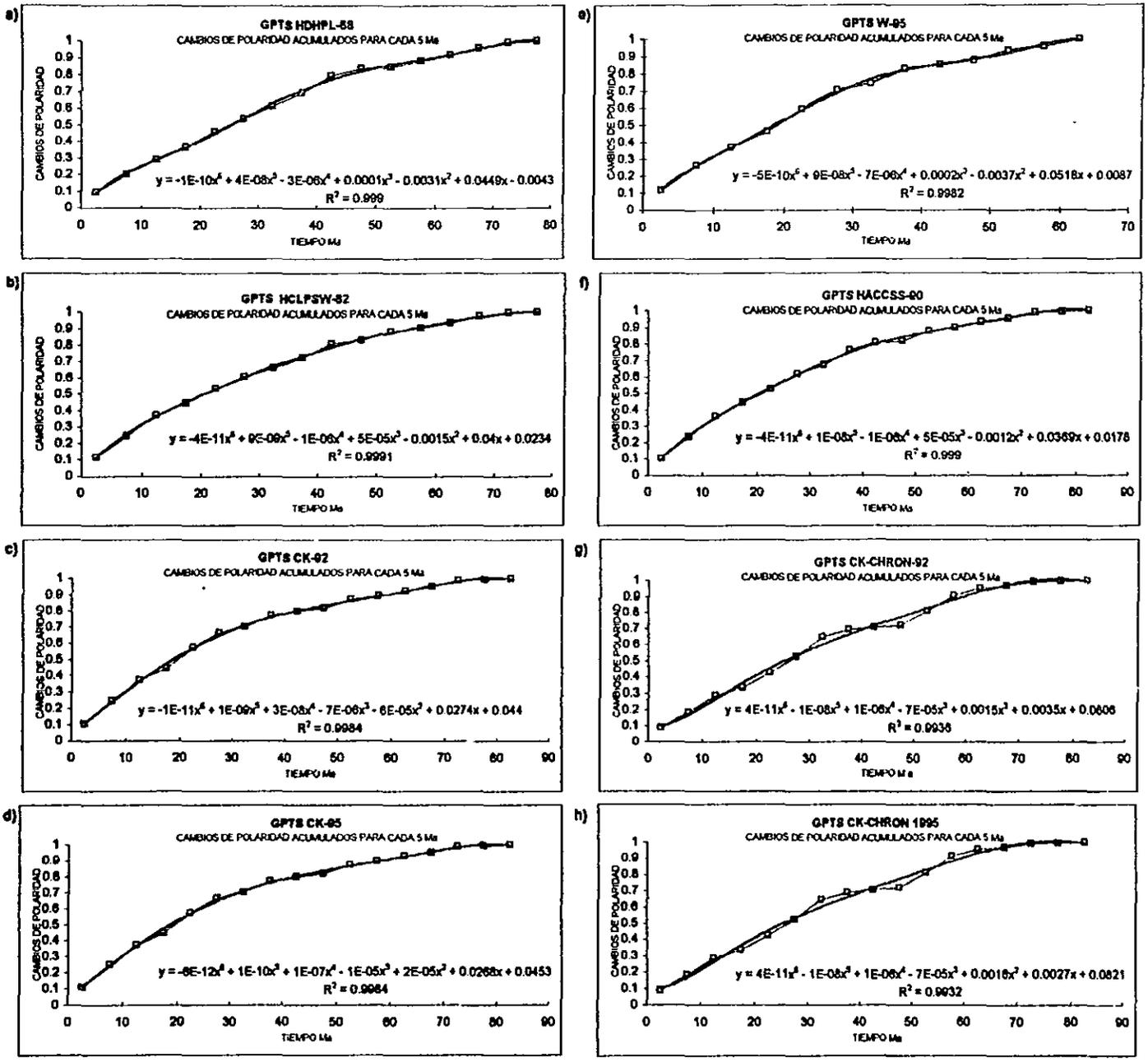


Figura 3.7. Se muestra el número de cambios de polaridad de cada 5 Ma en forma acumulada. La línea continua representa la línea de ajuste. Debe observarse que existen variaciones marcadas en el número de cambios de polaridad que se ven reflejados en un cambios brusco de pendiente en la GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95.

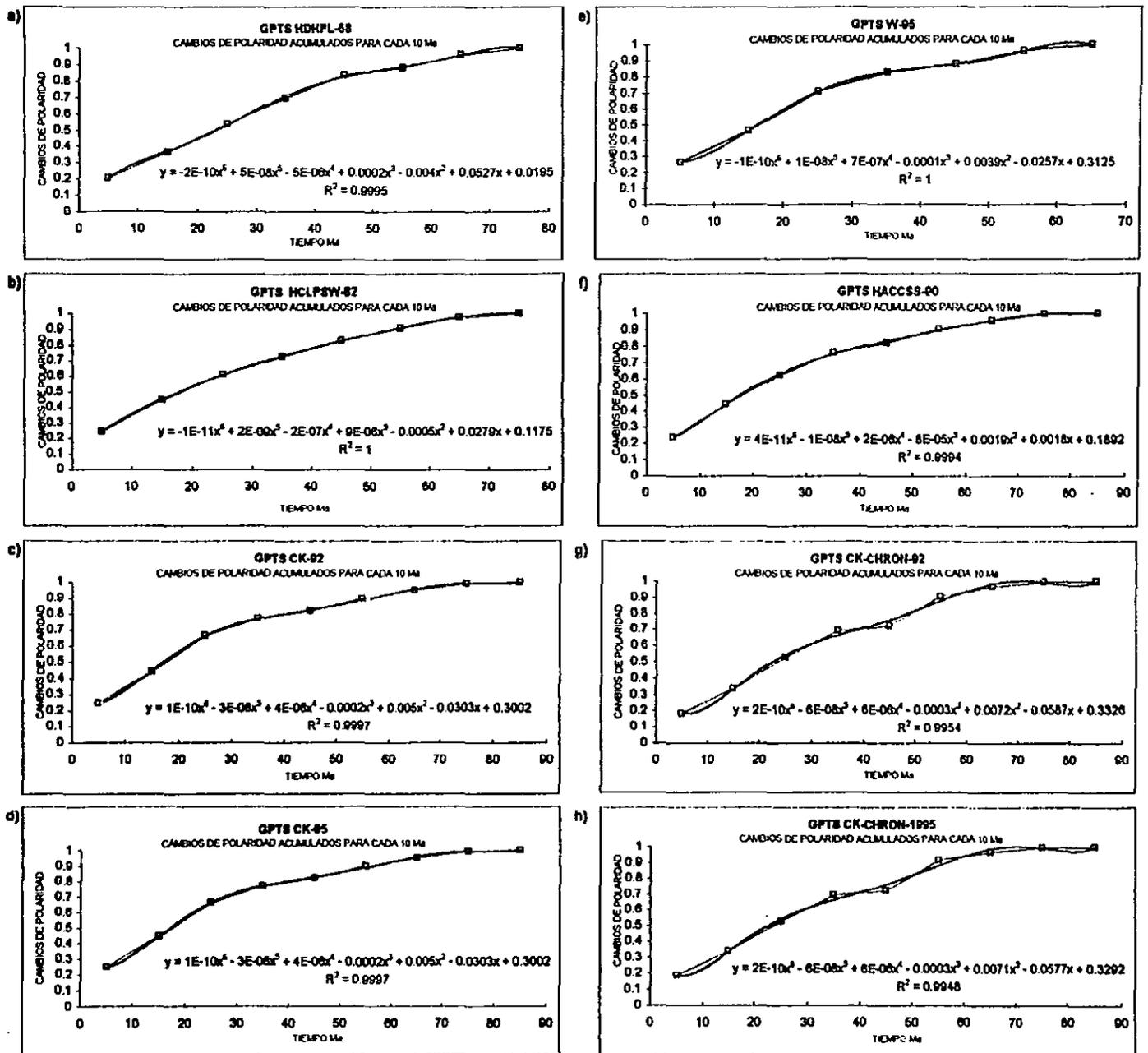


Figura 3.8. Se muestra el número de cambios de polaridad de cada 10 Ma en forma acumulada. La línea continua representa la línea de ajuste. Debe observarse que existen variaciones marcadas en el número de cambios de polaridad que se ven reflejados en un cambios brusco de pendiente en la GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95.

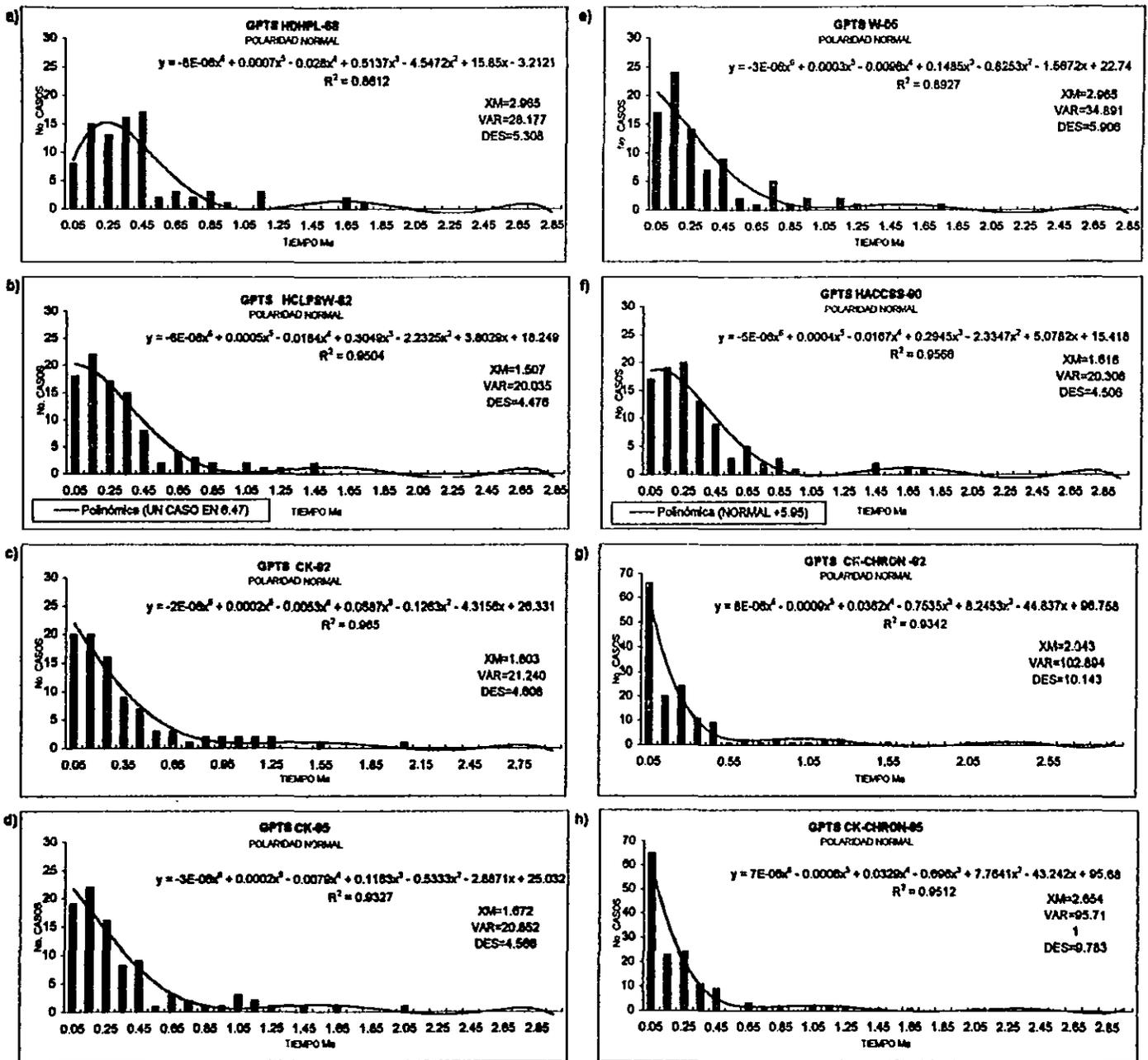


Figura 3.9. Se muestran las curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de chrons con polaridad normal cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma, etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92-92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

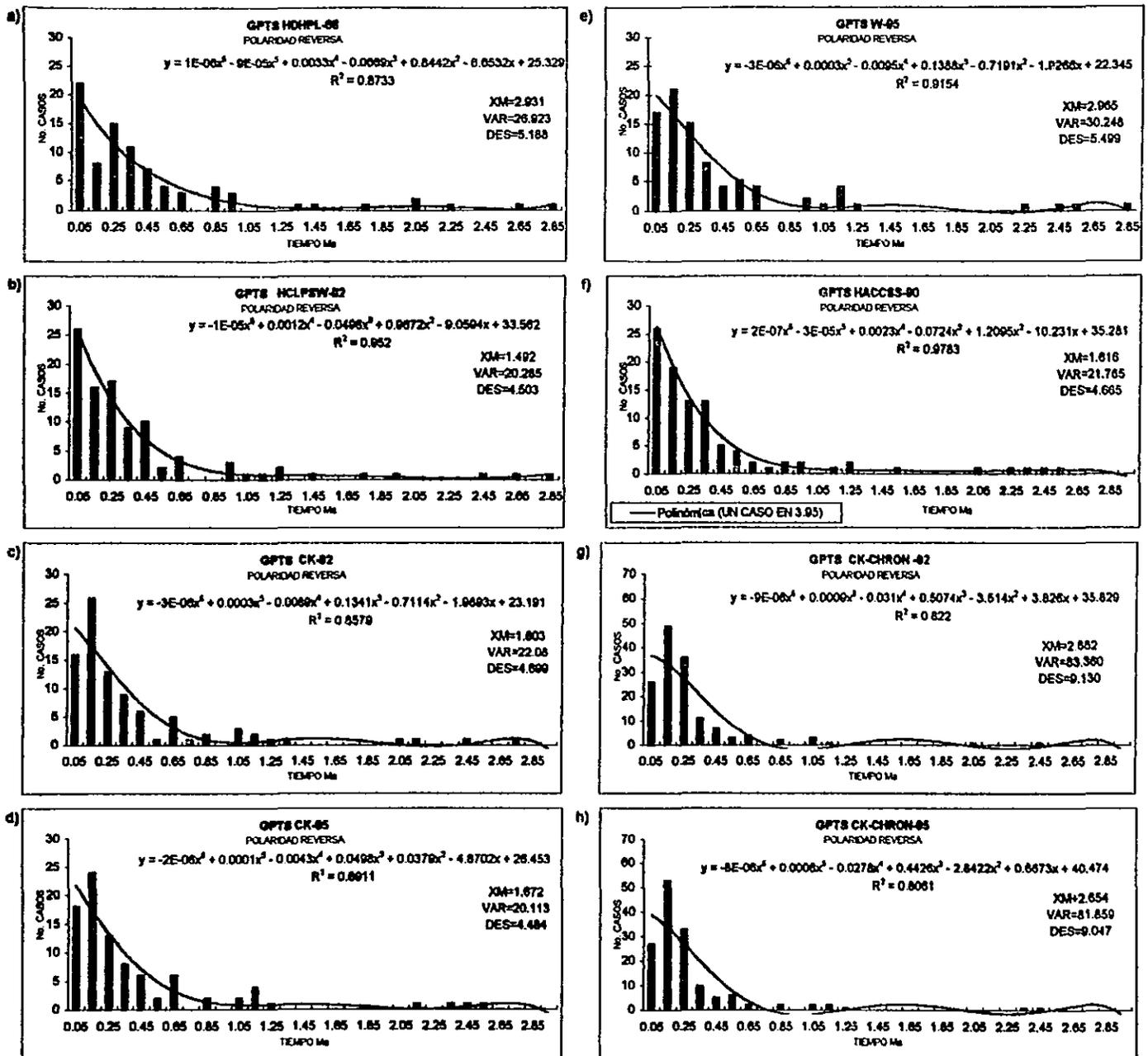


Figura 3.10. Se muestran las curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de chrons con polaridad reversa cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma, etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92 -92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

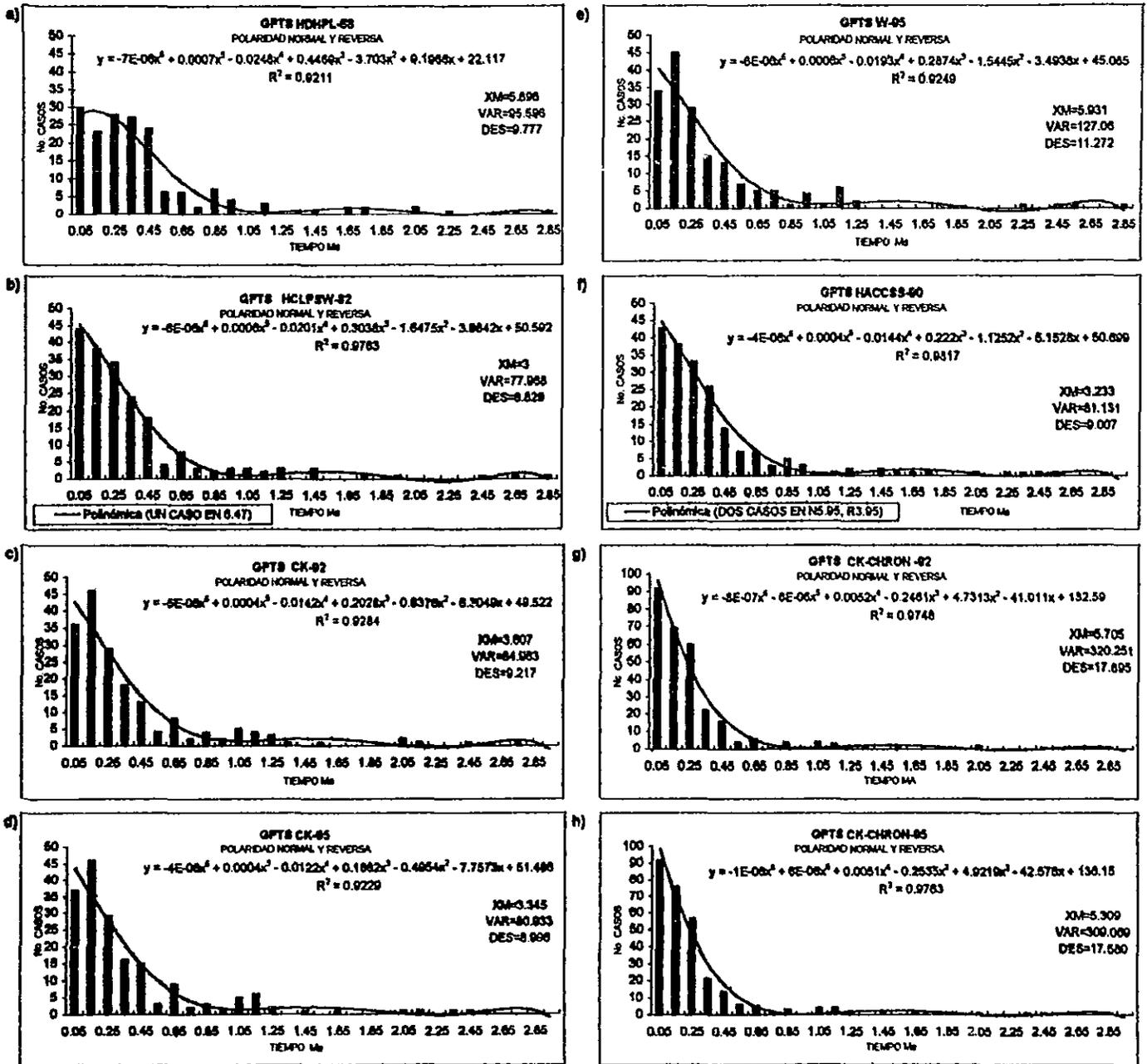


Figura 3.11. Se muestran las curvas de ajuste y su ecuación para las diferentes GPTS, para el número de casos de crons con polaridad normal y reversa en su conjunto y cuya duración esta entre 0 y 0.1 Ma, entre 0.1 y 0.2 Ma, etc. Se observan tendencias similares entre la CK-CHRON-92 -92 y CK-CHRON-95; entre la HCLPSW-82 y HACCSS-90; entre la CK-92, CK-95 y W-95; quedando nuevamente la HDHPL-68 fuera del esquema.

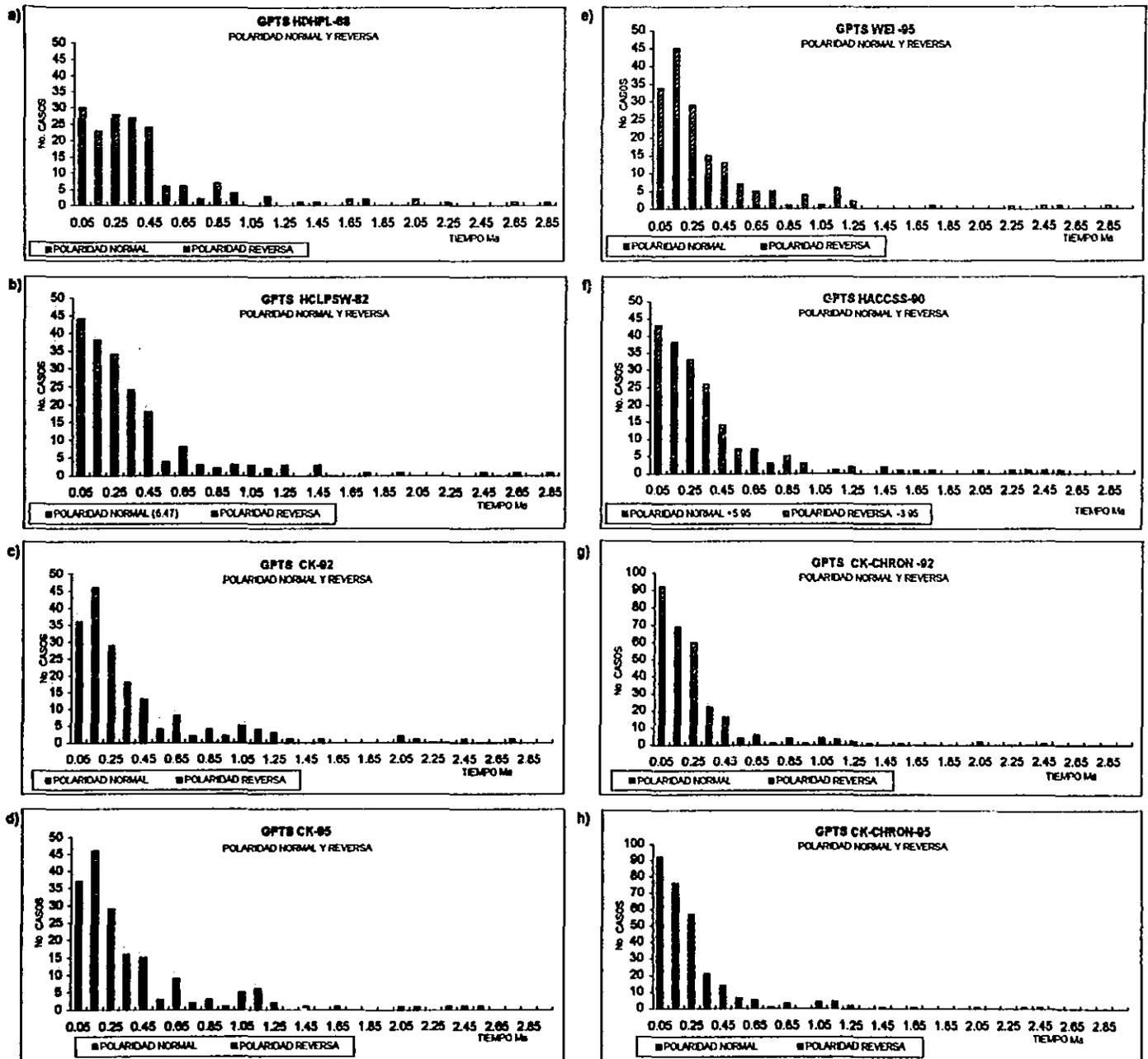


Figura 3.12. Se pueden observar cuantos de estos chrons son de polaridad positiva y cuantos de polaridad negativa. Se pueden comparar las diferentes GPTS y observar que en la GPTS de HDHPL-68, HCLPSW-82 y HACCSS-90 el mayor número de casos tienen una longitud de entre 0 y 0.1 Ma, mientras que en las GPTS de CK-92, CK-95 y W-95 podemos observar como el mayor número de casos tienen una duración de entre 0.1 y 0.2 Ma, si no se introducen los subchrons. La GPTS de CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 muestran un comportamiento similar al primer grupo tomando en consideración la diferencia en el número de casos según la escala que se trate.

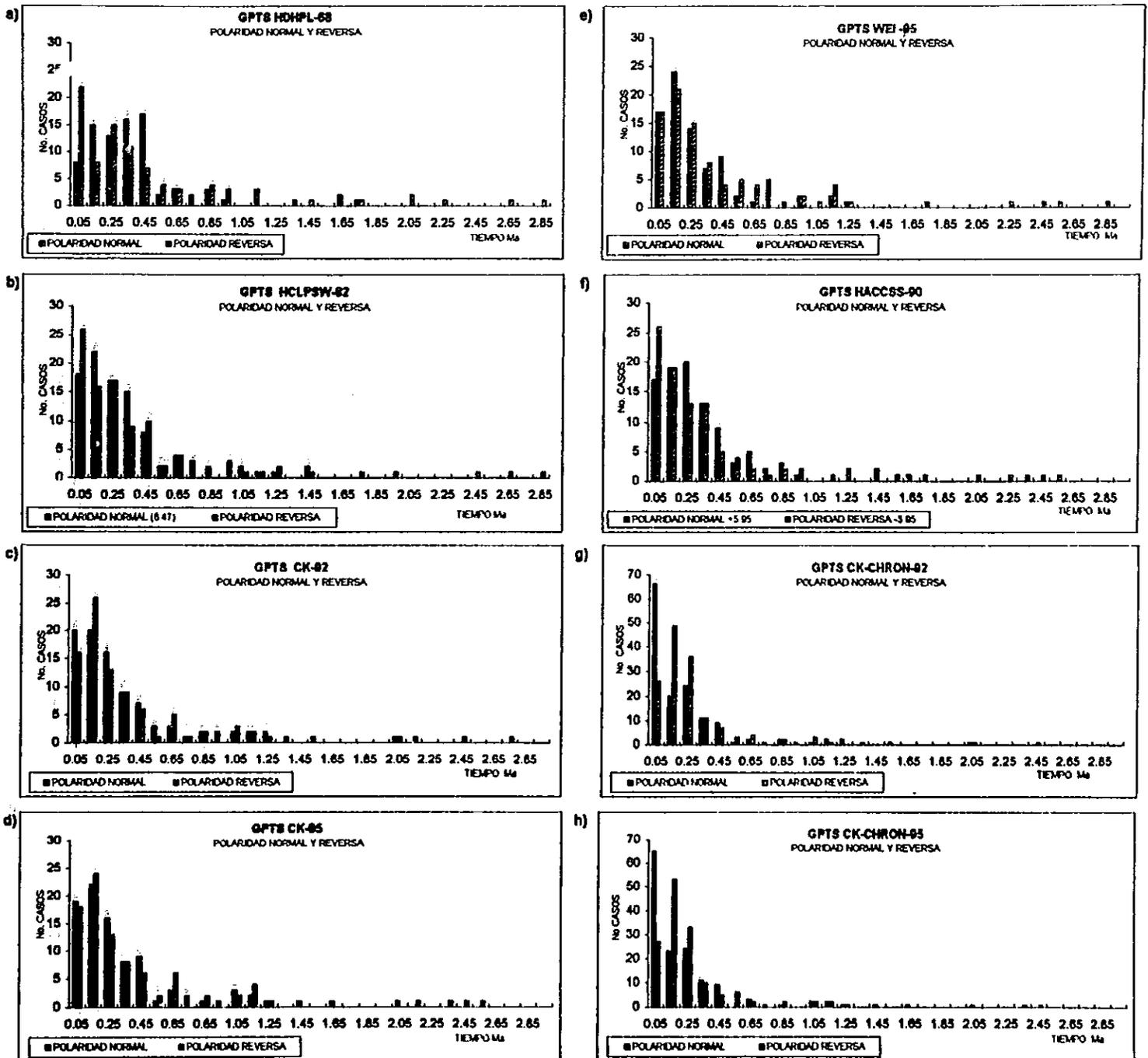


Figura 3.13. Se presenta en forma comparativa el número de casos de chrons con polaridad normal y polaridad reversa de las GPTS. Se puede observar que el número de casos de duración entre 0 y 0.1 Ma para polaridad normal y polaridad reversa se alternan, es decir en la GPTS de HDHPL-68 por ejemplo el número de casos de chrons con polaridad normal que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma es menor que el número de casos de chrons con polaridad reversa para el intervalo entre 0 y 0.1 Ma. Para el siguiente intervalo el número de casos de chrons con polaridad normal es mayor que el reverso, etc.. En la Tabla 3.17, se muestra como es la secuencia de estos cambios de polaridad marcándose en líneas punteadas los intervalos en los que existe alternancia, lo que sugiere que existe un proceso subyacente que marca el comportamiento.

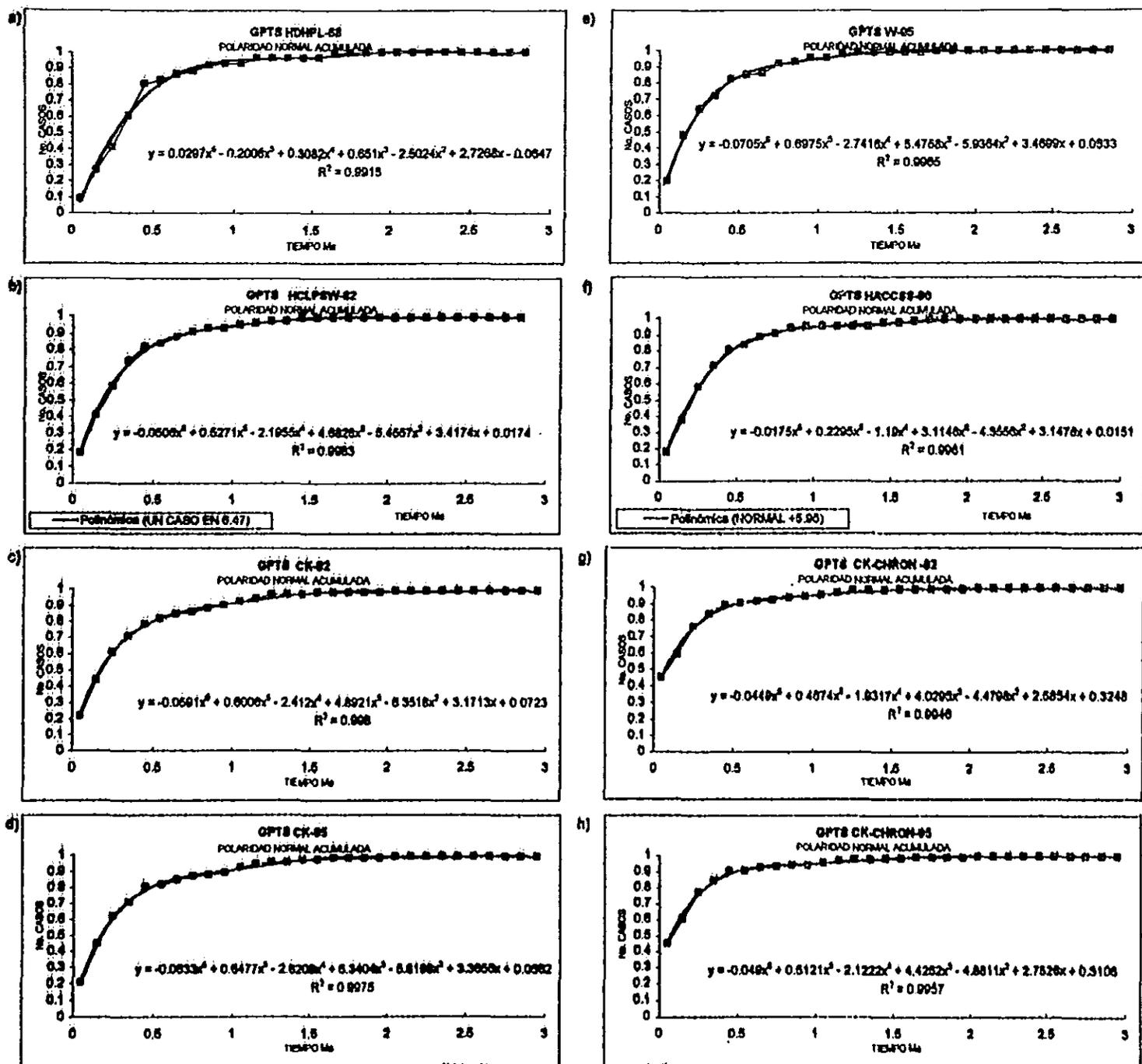


Figura 3.14. Se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons de polaridad normal que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las escalas. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que en las otras GPTS.

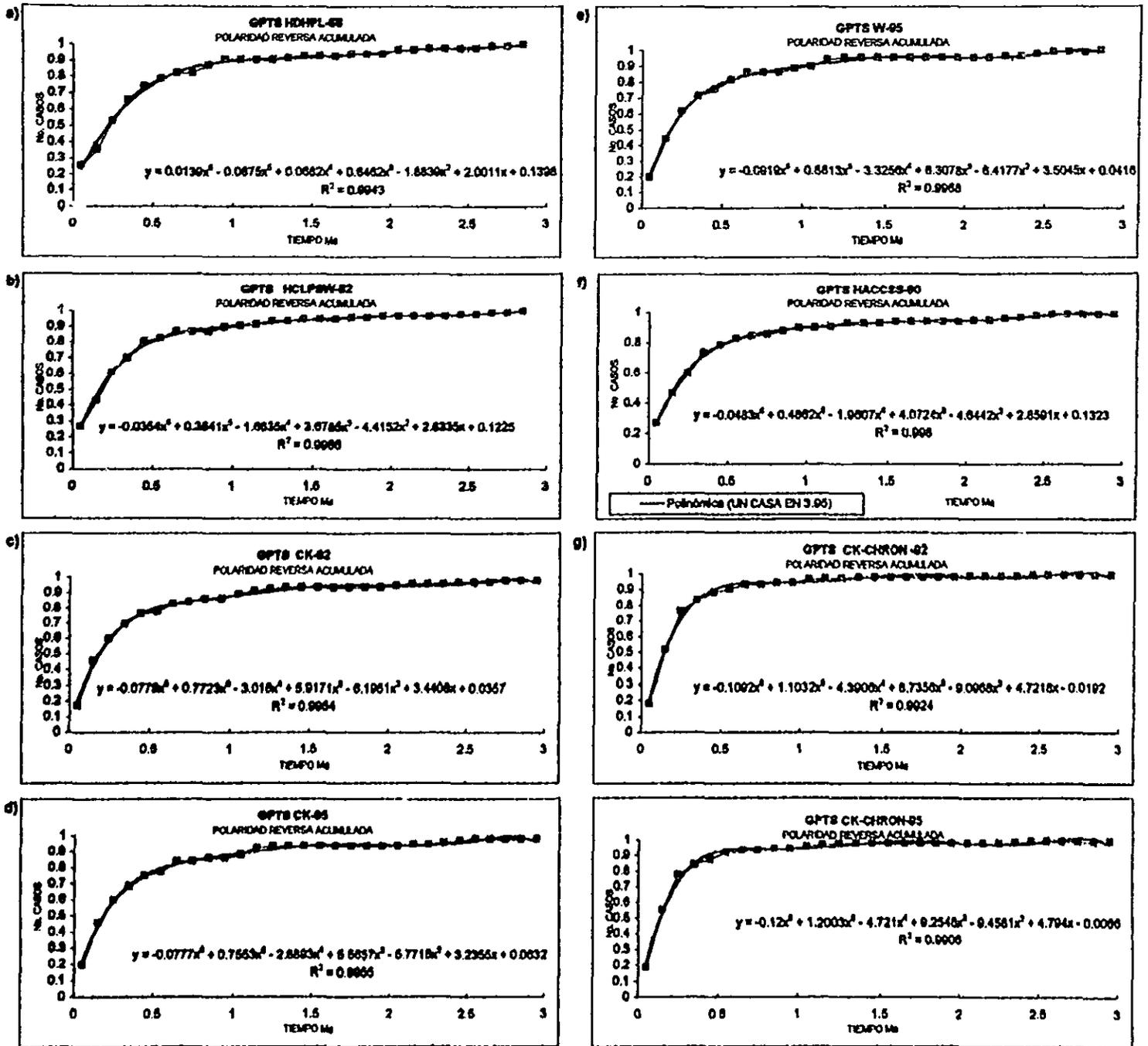


Figura 3.15. Se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons con polaridad reversa de los chrons de polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las escalas. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que las otras GPTS.

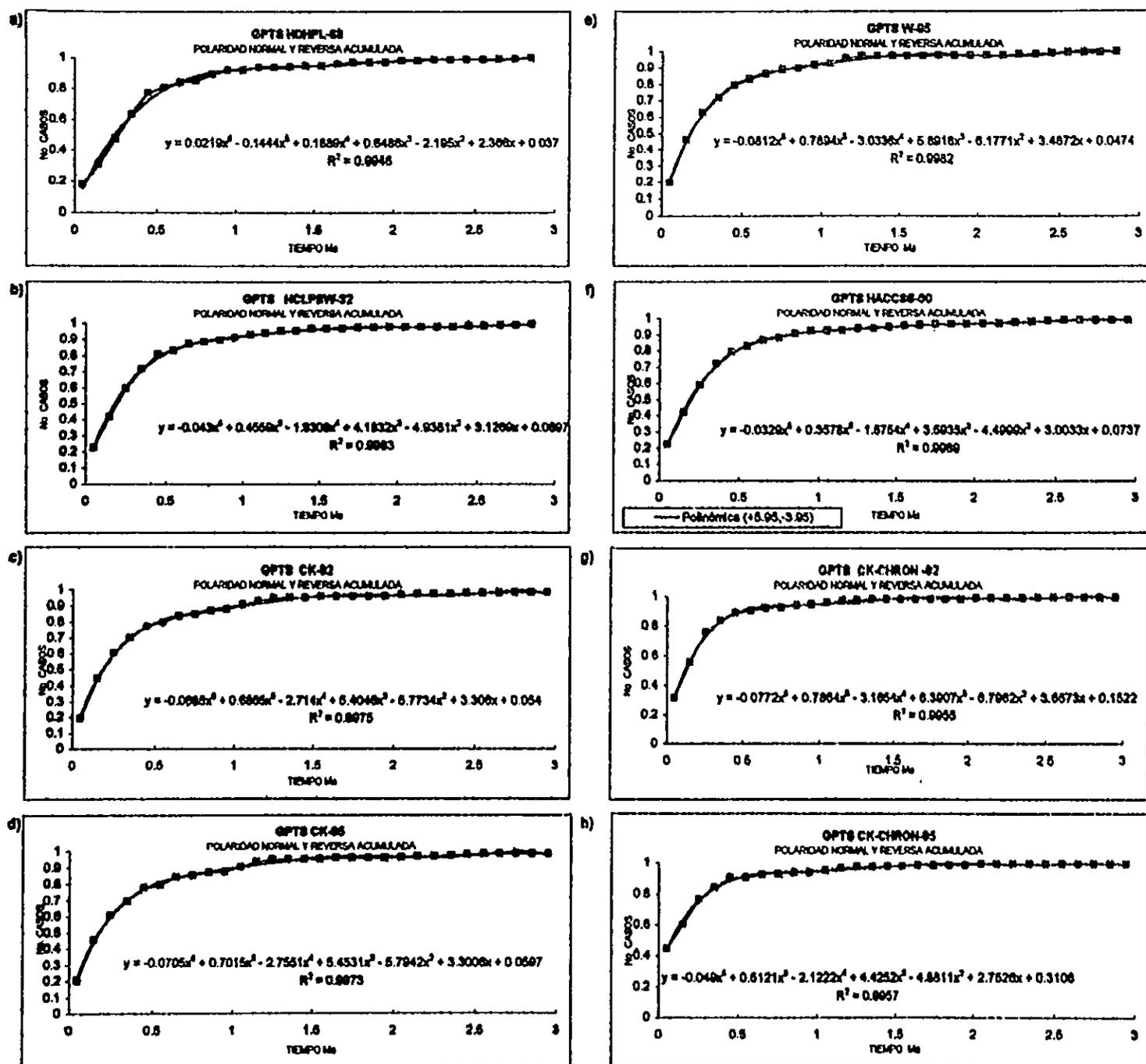


Figura 3.16. Se presentan las curvas de ajuste para el acumulado del número de casos de chrons de polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa que tienen una duración de entre 0 y 0.1 Ma, 0.1 y 0.2 Ma, etc., para las escalas. Nuevamente se observan comportamientos similares entre la GPTS de HCLPSW-82, HACCSS-90, entre CK-92, CK-95 y W-95; entre CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95. Marcándose una diferencia con la HDHPL-68 en la cual la pendiente entre los 0 y 0.5 Ma es más constante que en las otras GPTS.

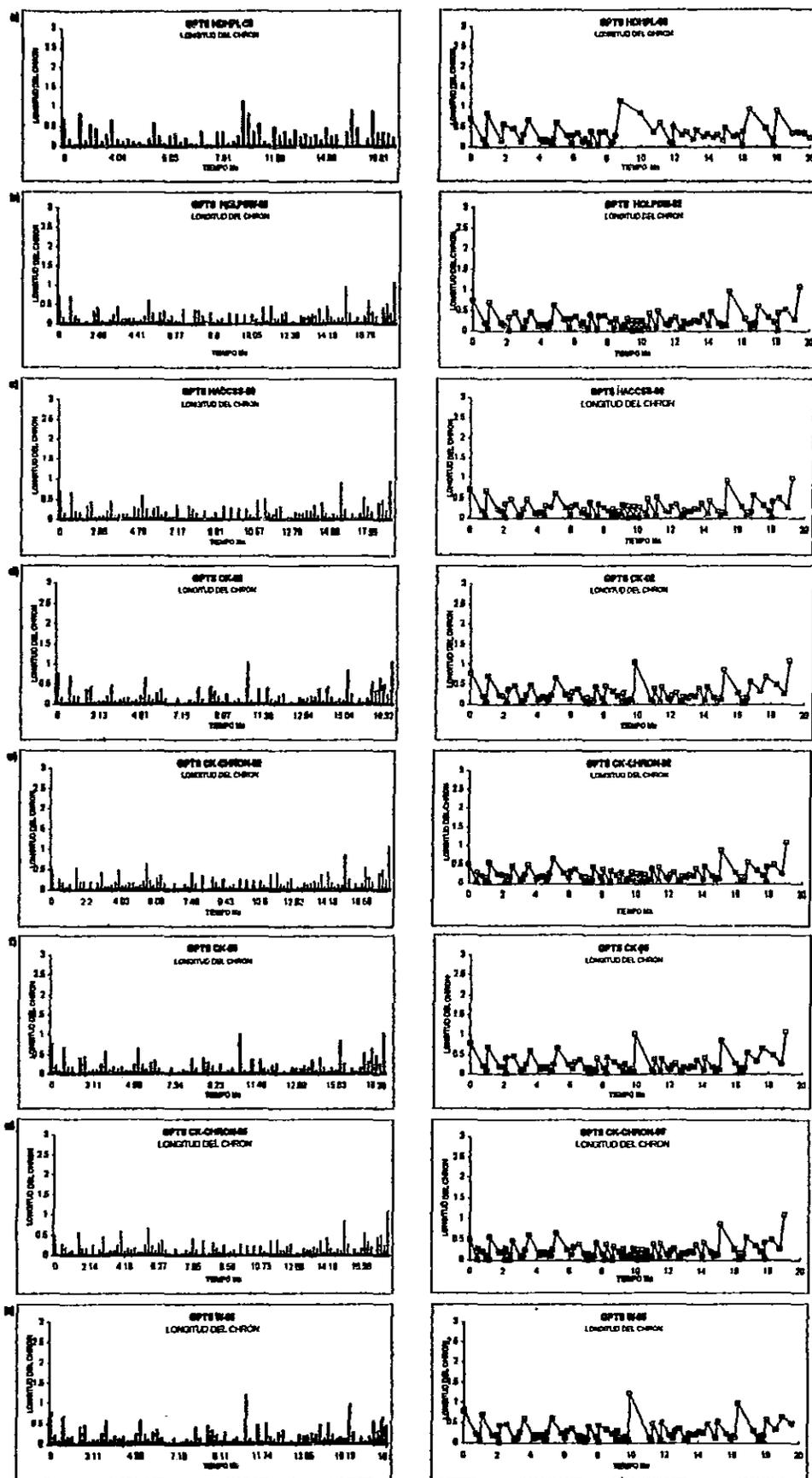


Figura 3.17. Se presentan las longitudes de los chrons con respecto al tiempo, separando las gráficas cada 20 Ma, para tener una mejor visión del comportamiento, las gráficas del lado izquierdo son de tipo *barra* y nos muestra el tamaño del cron, mientras que el lado derecho nos muestra la longitud del cron, en forma real tanto horizontal como verticalmente. Aquí también se muestran los chrons más largos considerando como chrons largos a aquellos que tienen una duración de más de 0.8 Ma y son  $\frac{1}{4}$  de vez más largos que el cron anterior o posterior. Para ello se graficó la longitud del cron contra el tiempo.

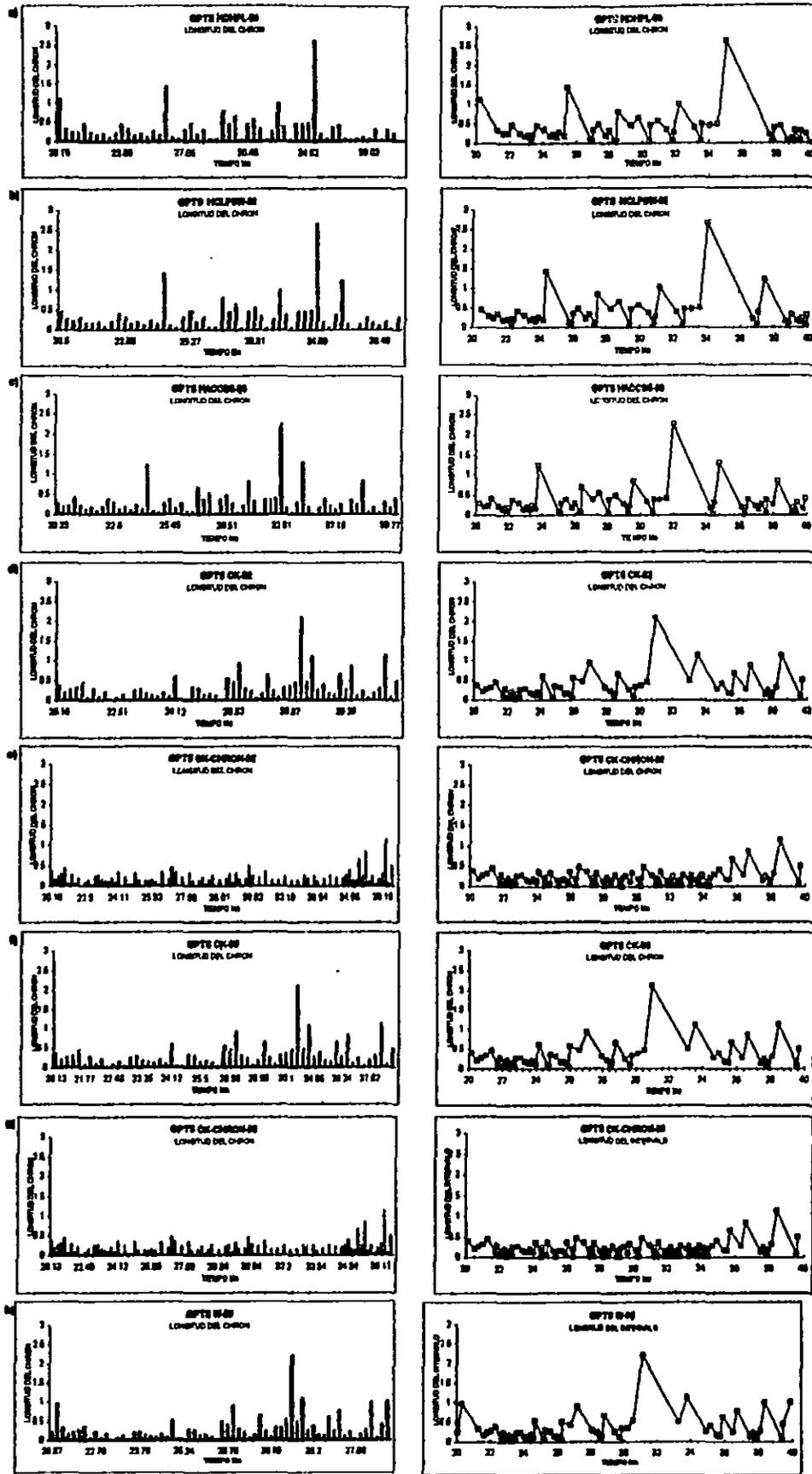


Figura 3.17 (continuación).

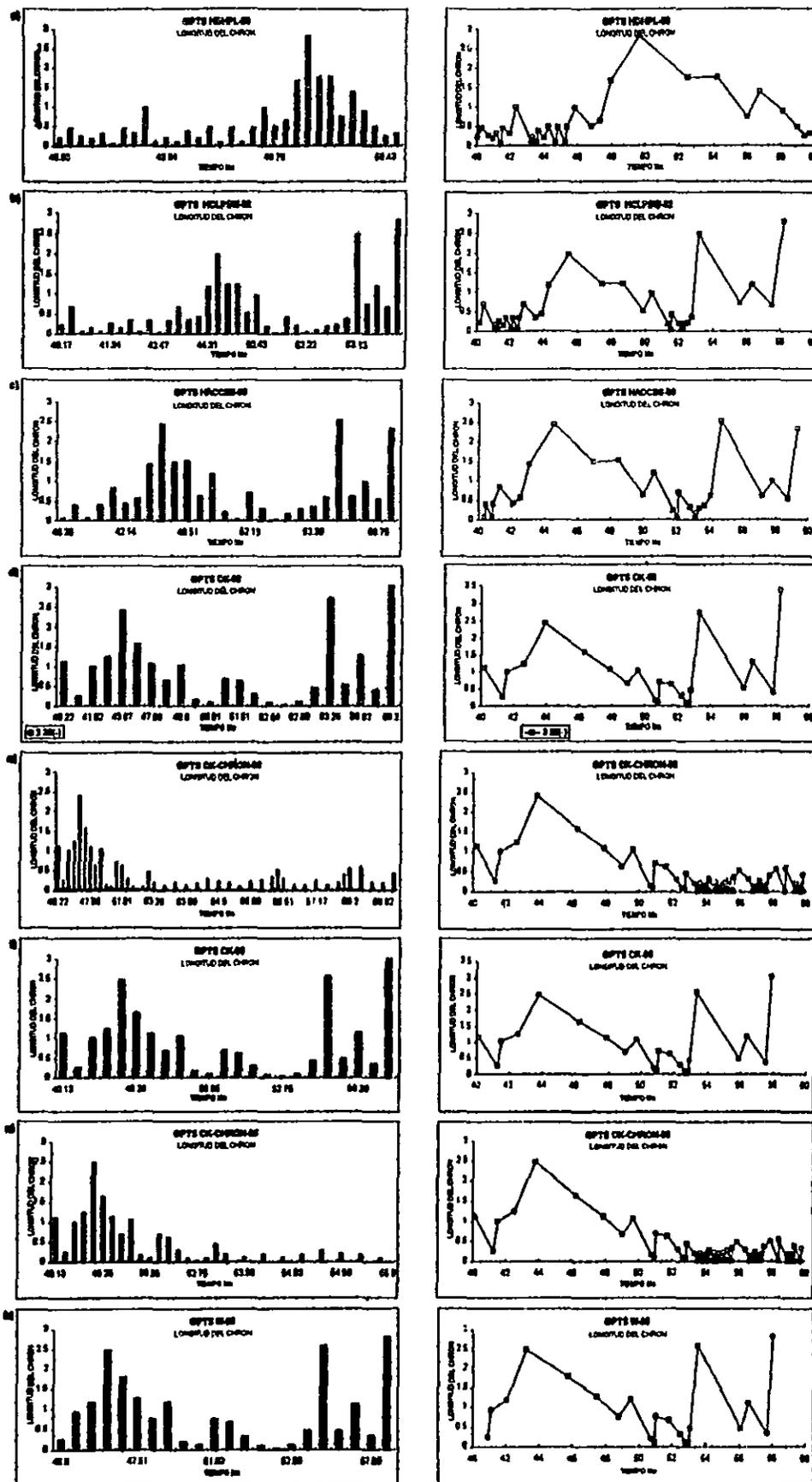


Figura 3.17 (continuación).

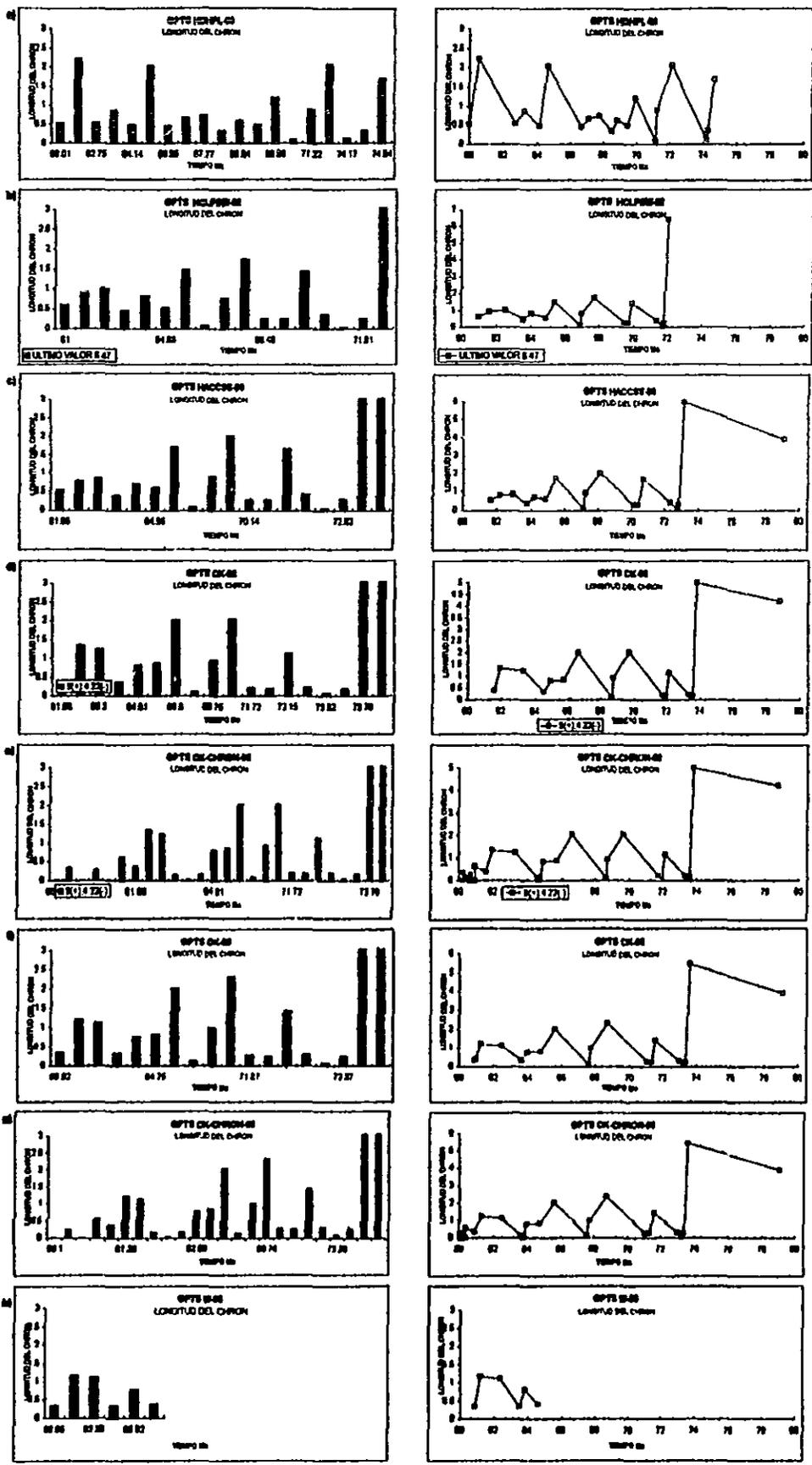


Figura 3.17 (continuación).

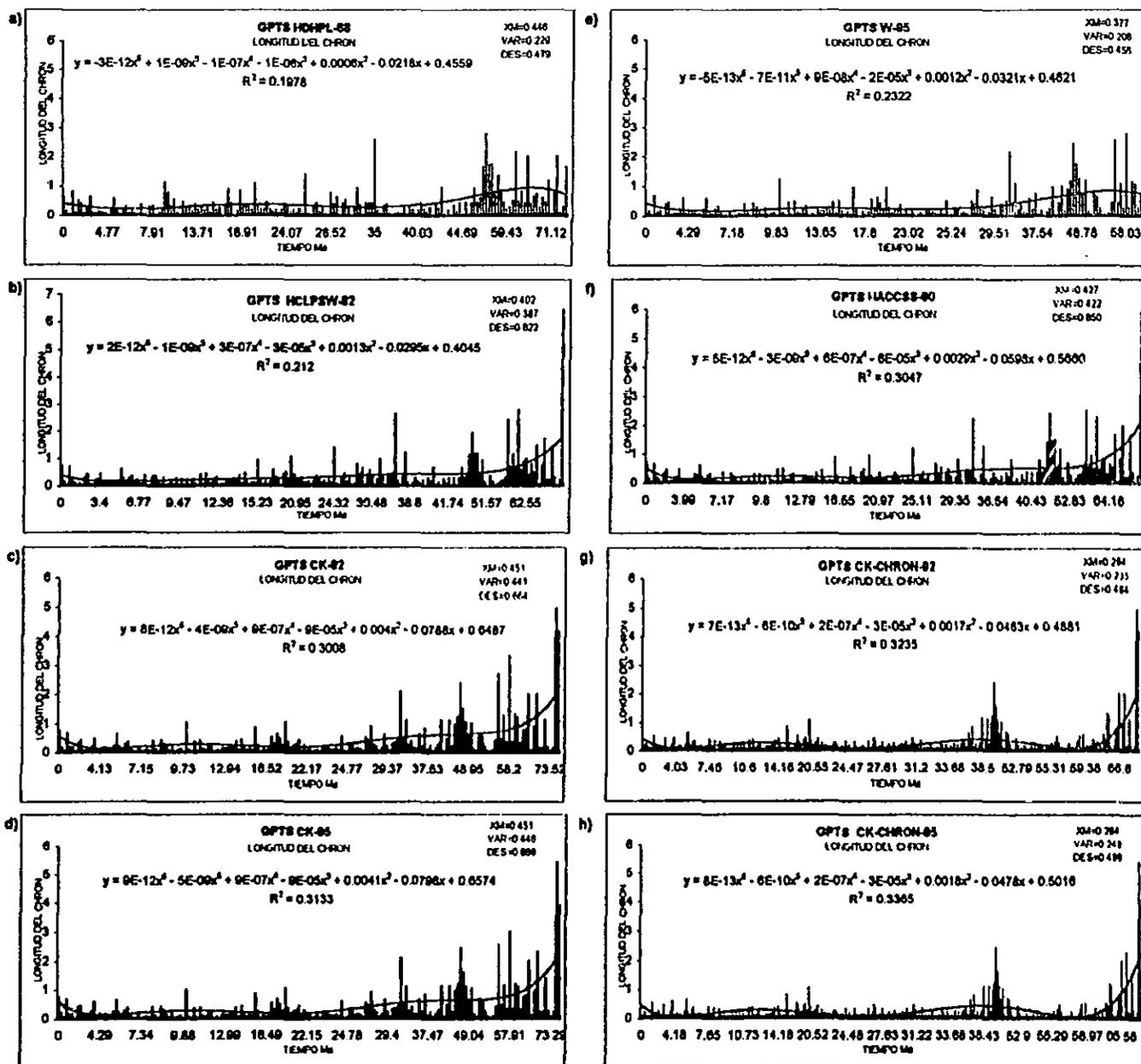


Figura 3.18. Se presentan las longitudes de los chrons en el tiempo para toda la escala. La línea de tendencia para las GPTS. Como puede observarse, hay un aumento substancial en la duración de los cambios de polaridad a medida que retrocedemos en el tiempo en las dos formas de representación.

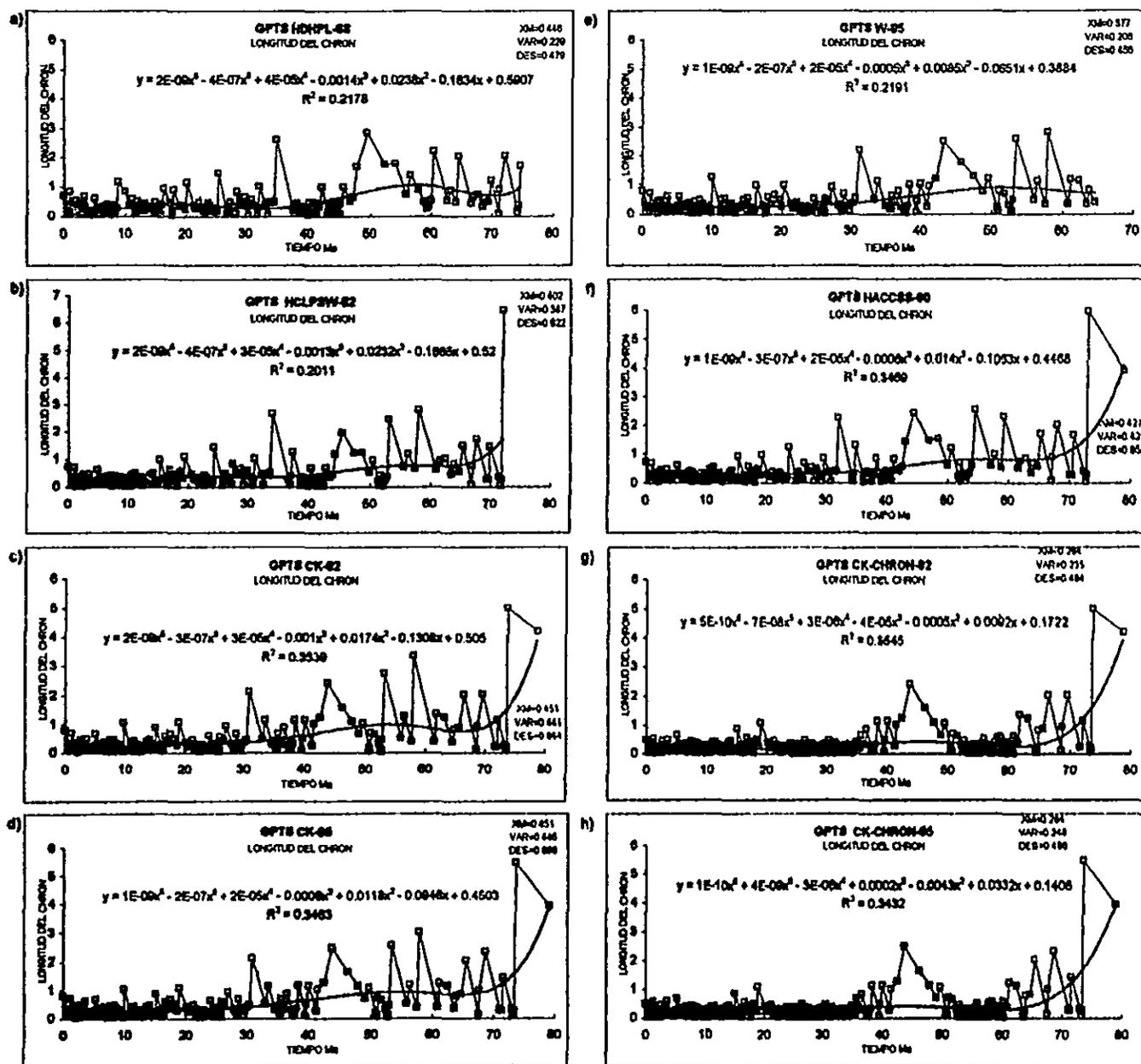


Figura 3.18 (continuación).

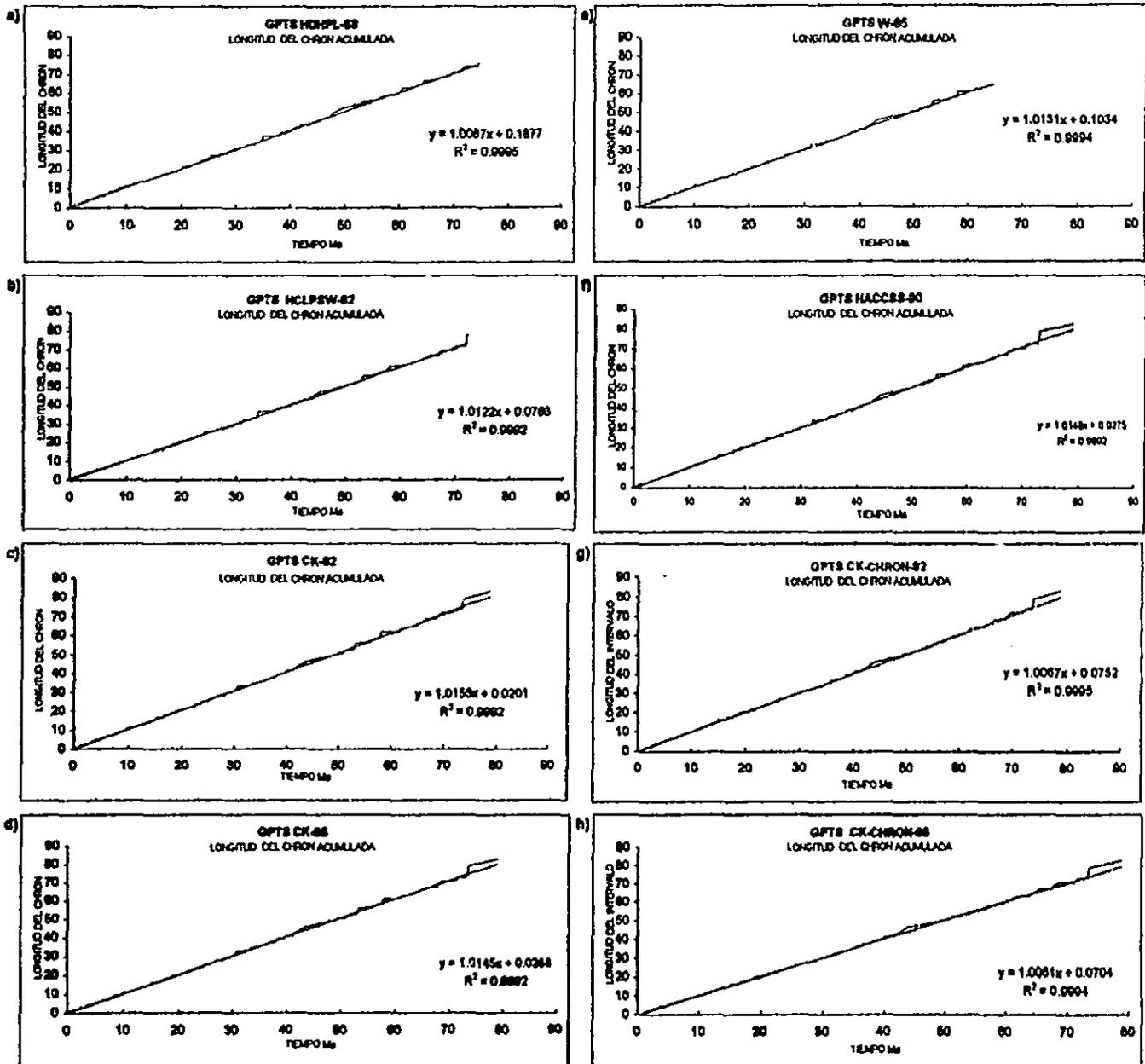


Figura 3.19. Se muestra la gráfica acumulada de las longitudes de chron de las diferentes GPTS, se puede observar que existe una pendiente casi constante con pequeños brinco en la pendiente para las GPTS, lo que provoca que no exista un ajuste perfecto entre la regresión lineal y los datos.

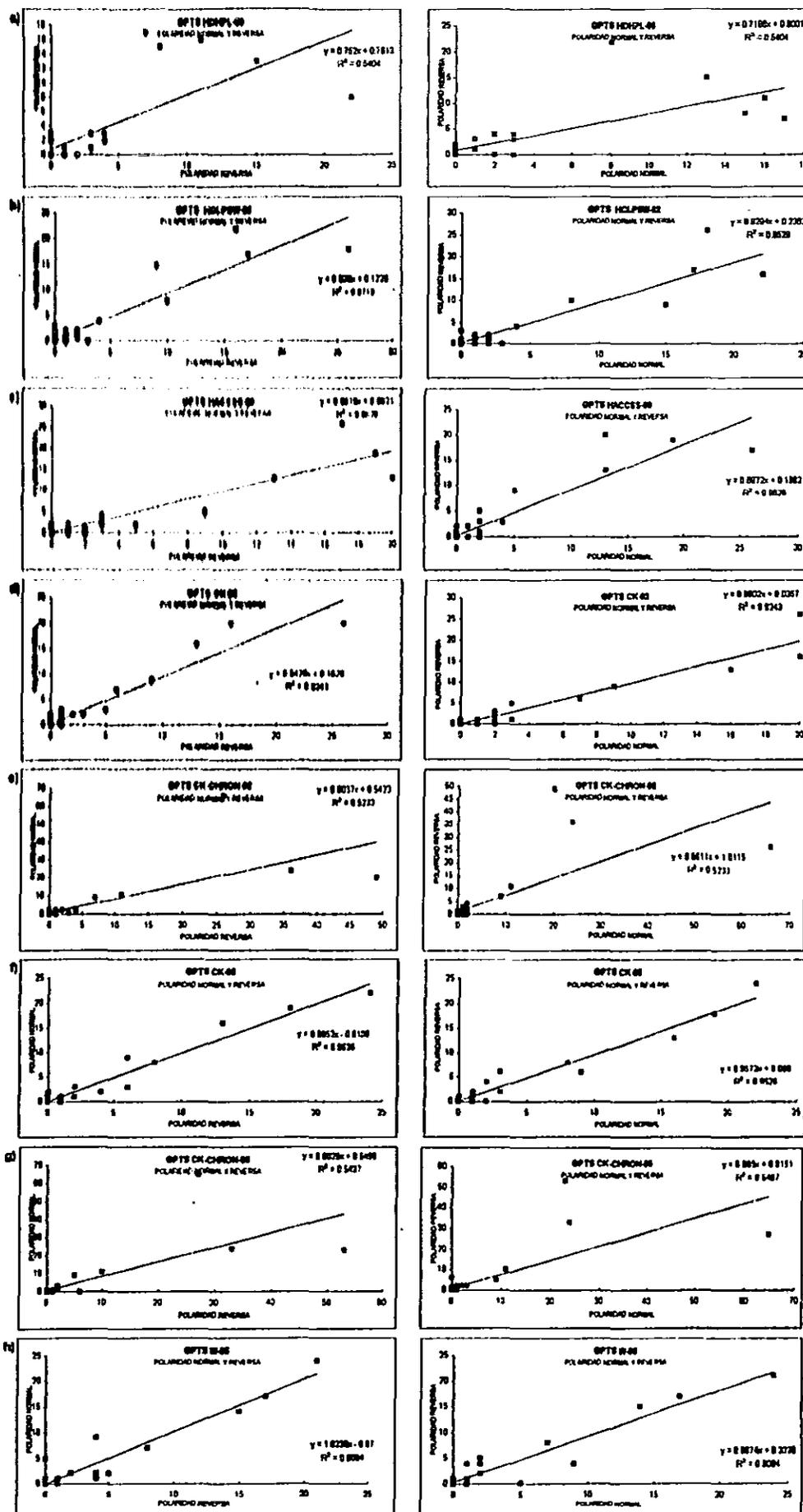


Figura 3.20. Se presentan las gráficas de dispersión del número de cambios de polaridad normal contra el número de cambios de polaridad reversa para intervalos de 0 a 0.1 Ma, de 0.1 a 0.2 Ma, etc. Se obtuvo la regresión lineal para cada GPTS, obteniéndose en algunas de ellas valores de ajuste mayores de 0.9, lo que nos indica que existe una relación real entre los cambios de polaridad.

## **3.2 AUTOCORRELACION DE LAS GPTS.**

Para realizar este análisis se asignó el valor de +1 a los chrons con polaridad normal y de -1 a los chrons con polaridad reversa, a continuación se interpoló a la serie de tiempo así obtenida cada 0.01 Ma para los segmentos de 0 a 5 Ma, de 0 a 18 Ma, de 0 a 48 Ma y de 48 a 83 Ma.

Como se vio en la sección 2.2, para poder definir la dependencia de una señal es necesario que su función de autocorrelación descienda a cero en un tiempo menor que la duración media de la longitud de los chrons para el intervalo de tiempo con el que se este trabajando, a lo que se le conoce como *ancho de correlación estática*. Para definir cual era este valor, se obtuvo para cada parte de la escala el promedio de la duración de los chrons el cual se encuentra dada en la tabla 3.19 en donde se muestra la duración promedio de los chrons de polaridad normal, la duración promedio de los chrons de polaridad reversa y la duración promedio de los chrons para las dos polaridades, en cada segmento de la serie.

Basados en la sección 2.2.2 se realizó la evaluación del ruido estadístico para la función de autocorrelación de cada segmento de serie.

### **3.2.1 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HDHPL-68.**

#### **3.2.1.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21a se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m = 0.28$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c = 0.51$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.1.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22a se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m = 0.31$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.28 < X_c < 0.29$ , que es menor que el ancho de correlación estática lo que sugiere independencia de la señal.

### **3.2.1.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23a se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.34$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.4 < X_c < 0.41$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.1.4 Autocorrelación de 48 a 76.33 Ma.**

En la figura 3.24a se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 76.33 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.98$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=1.34$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.1.5 Autocorrelación de 0 a 76.33 Ma.**

En la figura 3.25a se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 76.33 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.45$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.78 < X_c < 0.8$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática por lo que podemos presumir que la GPTS HDHPL-68, es independiente en el tiempo.

## **3.2.2 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HCLPSW-82.**

### **3.2.2.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21b se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.35$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.2.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22b se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la

señal desciende a cero cuando  $X_c=0.39$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.2.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23b se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.30$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.55$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

### **3.2.2.4 Autocorrelación de 48 a 76.52 Ma.**

En la figura 3.24b se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 76.52 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.88$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=2.42$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.2.5 Autocorrelación de 0 a 76.52 Ma.**

En la figura 3.25b se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 76.52 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.40$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.14 < X_c < 2.16$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente.

## **3.2.3 AUTOCORRELACION DE LA GPTS HACCSS-90.**

### **3.2.3.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21f se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.34 < X_c < 0.35$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.3.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22f se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.41 < X_c < 0.42$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.3.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23f se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.31$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.64 < X_c < 0.65$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo después, lo que nos indica una cierta dependencia de la señal.

### **3.2.3.4 Autocorrelación de 48 a 83 Ma.**

En la figura 3.24f se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.99$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.68 < X_c < 2.69$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.3.5 Autocorrelación de 0 a 83 Ma.**

En la figura 3.25f se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.43$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $1.84 < X_c < 1.86$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente.

## **3.2.4 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-92.**

### **3.2.4.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21c se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la

señal desciende a cero cuando  $X_c=0.37$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.4.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22c se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.37 < X_c < 0.38$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.4.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23c se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.33$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.61 < X_c < 0.62$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

#### **3.2.4.4 Autocorrelación de 48 a 83 Ma.**

En la figura 3.24c se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=1.00$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.52 < X_c < 2.53$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

#### **3.2.4.5 Autocorrelación de 0 a 83 Ma.**

En la figura 3.25c se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.45$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.42 < X_c < 2.44$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente. También cabe destacar que esta dependencia se puede observar más claramente cuando en el segmento que va de 0 a 48 Ma como en el que va de 48-83 Ma

### **3.2.5 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-CHRON-92.**

#### **3.2.5.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21g se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.18$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.36 < X_c < 0.37$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.5.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22g se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.19$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.37 < X_c < 0.38$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.5.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23g se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.6 < X_c < 0.61$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico la señal desciende justo después del ancho de correlación estática, lo que nos indica una cierta dependencia.

#### **3.2.5.4 Autocorrelación de 48 a 83 Ma.**

En la figura 3.24g se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.42$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.47 < X_c < 2.48$ . Aquí se puede observar que para el nivel de ruido estadístico<sup>1</sup>, la señal desciende a cero tiempo después de el ancho de correlación estático lo que nos indica una cierta dependencia.

#### **3.2.5.5 Autocorrelación de 0 a 83 Ma.**

---

<sup>1</sup>Debido a que nuestro intervalo de interpolación es de 0.01 Ma para la mayoría de los casos, existen algunos subchrons menores a esa longitud que se pierden en el muestreo.

En la figura 3.25g se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.28$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.34 < X_c < 2.36$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente. Cabe hacer notar que la señal es dependiente para los segmentos de 0 a 48 Ma y de 48 a 83 Ma, por lo que es de esperarse que exista una dependencia de 0 a 83 Ma.

### 3.2.6 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-95.

#### 3.2.6.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.

En la figura 3.21d se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.42 < X_c < 0.43$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### 3.2.6.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.

En la figura 3.22d se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.39$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### 3.2.6.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.

En la figura 3.23d se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.32$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.61 < X_c < 0.62$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

#### 3.2.6.4 Autocorrelación de 48 a 83 Ma.

En la figura 3.24d se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.92$  y se obtuvo que la

señal desciende a cero cuando  $X_c=2.53$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

### **3.2.6.5 Autocorrelación de 0 a 83 Ma.**

En la figura 3.25d se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.45$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.48 < X_c < 2.5$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente. También cabe destacar que esta dependencia se puede observar más claramente cuando en el segmento que va de 0 a 48 Ma como en el que va de 48-83 Ma

## **3.2.7 AUTOCORRELACION DE LA GPTS CK-CHRON-95.**

### **3.2.7.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21h se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.18$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.42 < X_c < 0.43$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.7.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22h se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.19$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.76$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### **3.2.7.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.**

En la figura 3.23h se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.63 < X_c < 0.64$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido

estadístico la señal desciende a cero después del ancho de la correlación estática, lo que nos indica una cierta dependencia.

#### **3.2.7.4 Autocorrelación de 48 a 83 Ma.**

En la figura 3.24h se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.41$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.47 < X_c < 2.48$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico la señal desciende después del ancho de correlación estática lo que nos sugiere que la señal es dependiente.

#### **3.2.7.5 Autocorrelación de 0 a 83 Ma.**

En la figura 3.25h se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 83 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.28$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $2.44 < X_c < 2.46$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico, la señal decae a cero después de el ancho de correlación estática con lo que se puede considerar a la señal como dependiente. También cabe destacar que esta dependencia se puede observar tanto en el segmento que va de 0 a 48 Ma como en el de 48-83 Ma

### **3.2.8 AUTOCORRELACION DE LA GPTS W-95.**

#### **3.2.8.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.**

En la figura 3.21e se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.22$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.42 < X_c < 0.43$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

#### **3.2.8.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.**

En la figura 3.22e se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.47$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### 3.2.8.3 Autocorrelación de 0 a 48 Ma.

En la figura 3.23e se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 48 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.33$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.62 < X_c < 0.63$ . Aquí se puede observar que para los niveles de ruido estadístico y el ancho de correlación estática de la señal desciende justo en el límite, lo que nos indica una cierta *dependencia-independencia*.

### 3.2.8.4 Autocorrelación de 48 a 65 Ma.

En la figura 3.24e se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 48 a 65 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.74$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $X_c=0.76$ . Aquí se puede observar una señal independiente aún sin considerar el ruido estadístico, aunque debe de considerarse que se está trabajando con un segmento menor de tiempo en esta GPTS, pues sólo llega hasta los 65 Ma.

### 3.2.8.5 Autocorrelación de 0 a 65 Ma.

En la figura 3.25e se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 65 Ma con un intervalo de interpolación de 0.02 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.38$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.7 < X_c < 0.72$ . Considerando los niveles de ruido estadístico la señal decae a cero aún después del ancho de correlación estática, lo que nos lleva a considerar que existe una cierta dependencia en la señal la cual es más visible en los últimos 48 Ma.

## 3.2.9 AUTOCORRELACION DE LA GPTS B-94.

### 3.2.9.1 Autocorrelación de 0 a 5 Ma.

En la figura 3.21i se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 5 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.23$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.38 < X_c < 0.39$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### 3.2.9.2 Autocorrelación de 0 a 18 Ma.

En la figura 3.22i se obtuvo la función de autocorrelación para la escala de 0 a 18 Ma con un intervalo de interpolación de 0.01 Ma, la duración media de los chrons fue de  $X_m=0.24$  y se obtuvo que la señal desciende a cero cuando  $0.43 < X_c < 0.44$ . Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico, se puede observar que la señal corta este nivel en un valor menor al ancho de correlación estática.

### 3.2.10 COMPARACIÓN DE LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN DE LAS GPTS.

En la figura 3.21, se muestra la autocorrelación para todas las GPTS de 0 a 5 Ma, observándose que para este segmento, todas las series tienen un comportamiento similar descendiendo a cero siempre después del ancho de correlación estática, sin embargo si se toma en cuenta los niveles de ruido estadístico, para el número de chrons que se encuentran en este intervalo, la señal se puede considerar como independiente.

En la figura 3.22, se muestra la autocorrelación para todas las GPTS de 0 a 18 Ma observándose que para este segmento de la serie, todas ellas tienen un comportamiento similar descendiendo la señal a cero siempre después del ancho de correlación estática. Sin embargo si se consideran los niveles de ruido estadístico para el número de chrons que se encuentran en este intervalo, la señal se puede considerar como independiente ya que desciende rápidamente antes de llegar al nivel del ruido estadístico. Cabe hacer notar que las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95, debido que tienen un mayor número de muestras tienen niveles de ruido un poco menores lo que hace que la señal descienda y llegue al nivel de ruido estadístico casi en el punto donde se encuentra el ancho de correlación estática cuyo valor es también menor.

En la figura 3.23 se muestra la autocorrelación de 0 a 48 Ma, se puede observar que excepto la GPTS HDHPL-68, las GPTS tienden a descender a cero después del ancho de correlación estática, aún considerando el nivel de ruido estadístico lo que nos hace suponer que cuando se toma un mayor número de muestras existe una mayor dependencia en la señal de unas con respecto a otras.

En la figura 3.24 se presenta la autocorrelación de 48 a 83 Ma (o menor según la GPTS), se puede observar que las GPTS HDHPL-68, HCLPSW-82, HACCSS-90 y W-95 son independientes, esto puede deberse a que el número de muestras es poco y hace que la señal se comporte de esta manera (sobre todo en la W-95). Sin embargo las GPTS CK-92, CK-CHRON-92, CK-95 y CK-CHRON-95, se encuentran en el límite, comportándose como si fueran señales dependientes, ya que aún considerando el nivel de ruido, la señal desciende a cero después del ancho de correlación estática.

En la Figura 3.25 se tiene la autocorrelación de 0 a 83 Ma y se puede observar que considerando el nivel de ruido estadístico, sólo la GPTS HDHPL-68 desciende a cero a la altura del ancho de la correlación

estática, todas las demás GPTS lo hacen después sugiriendo que realmente existe una dependencia en la señal de serie de tiempo de polaridades geomagnéticas.

En la figura 3.26 se presenta la comparación de la función de autocorrelación de cada segmento de tiempo para todas las GPTS, marcándose la similitud en la parte inicial de todas ellas (excepto la HDHPL-68) en los segmentos de 0 a 5 Ma, de 0 a 18 Ma, y en la de 0 a 48 Ma. En la GPTS HDHPL-68, la señal desciende a cero más rápidamente.

En la tabla 3.19, se muestra el promedio de duración de los chrons tanto de polaridad normal como de polaridad reversa, y el promedio de duración total para los diferentes segmentos de la GPTS. Cada uno de estos valores fue considerado para determinar el ancho de correlación estática de cada GPTS en cada segmento de serie.

Tabla 3.19

DURACIÓN PROMEDIO DE LOS INTERVALOS DE POLARIDAD															
DURACIÓN PROMEDIO	0-5 Ma			0-18 Ma			0-48 Ma			48-83 Ma			0-83Ma		
	N	R	T	N	R	T	N	R	T	N	R	T	N	R	T
HDHPL-68	0.26	0.34	0.28	0.31	0.3	0.31	0.33	0.34	0.34	0.84	1.13	0.98	0.42	0.47	0.45
HCLPSW-82	0.19	0.26	0.23	0.20	0.23	0.22	0.29	0.32	0.30	0.94	0.81	0.88	0.4	0.41	0.40
HACCSS-90	0.22	0.26	0.24	0.21	0.23	0.22	0.29	0.32	0.31	0.96	1.01	0.99	0.41	0.45	0.43
CK-92	0.22	0.26	0.24	0.21	0.25	0.23	0.31	0.3	0.33	0.89	1.12	1.00	0.41	0.49	0.45
CK-CHRON-92	0.18	0.2	0.19	0.18	0.21	0.19	0.22	0.25	0.23	0.38	0.46	0.42	0.26	0.31	0.28
B-94	0.23	0.27	0.25	0.23	0.25	0.24									
CK-95	0.22	0.28	0.25	0.21	0.25	0.23	0.30	0.34	0.32	0.92	0.91	0.92	0.42	0.48	0.45
CK-CHRON-95	0.18	0.21	0.19	0.17	0.21	0.19	0.22	0.25	0.23	0.39	0.44	0.41	0.26	0.30	0.28
W-95	0.22	0.28	0.25	0.22	0.25	0.23	0.30	0.35	0.33	0.51	0.96	0.74	0.33	0.42	0.38

Cabe resaltar que de 0 a 5 Ma y de 0 a 18 Ma, en todas las GPTS la función de autocorrelación se comporta como independiente, esto se puede deber a que la secuencia no es lo suficientemente larga para mostrar si existe alguna dependencia en la señal, lo que quizá si se alcanza a detectar cuando se toma la autocorrelación de 0 a 48 Ma, o en su caso de 0 a 83 Ma.

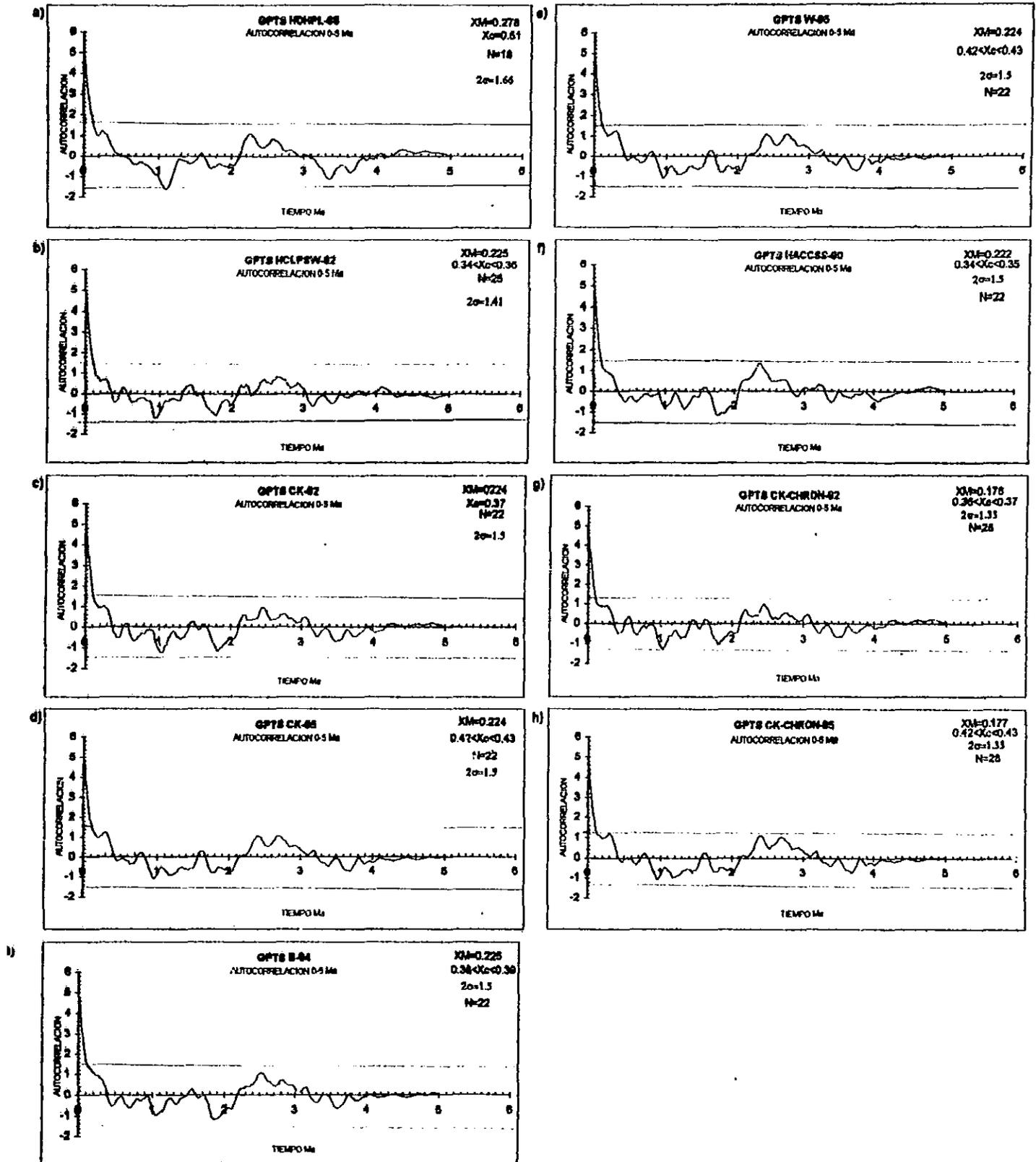


Figura 3.21. Se muestra la autocorrelación para todas las GPTS de 0 a 5 Ma, observándose que para este segmento todas las GPTS tienen un comportamiento similar descendiendo la señal a cero siempre después del ancho de correlación estática, sin embargo si se toma en cuenta los niveles de ruido estadístico, para el número de chrons que se encuentran en este intervalo, la señal se puede considerar como independiente ya que asciende rápidamente a cero hasta antes de llegar al nivel de ruido estadístico.

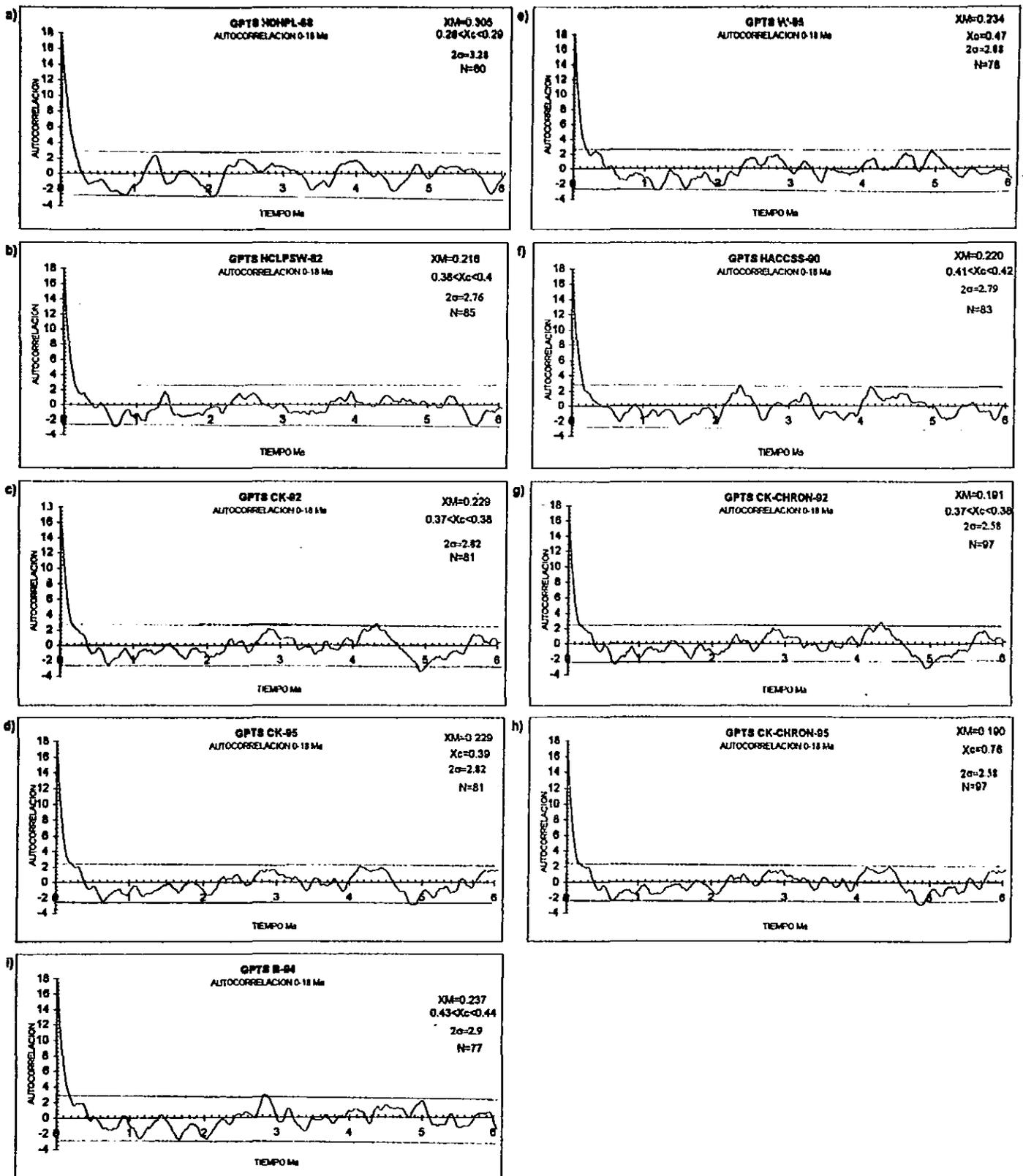


Figura 3.22. Se muestra la autocorrelación para todas las GPTS de 0 a 18 Ma observándose que para este segmento de la serie, todas ellas tienen un comportamiento similar descendiendo la señal a cero siempre después del ancho de correlación estática. Sin embargo, si se observan los niveles de ruido estadístico para el número de chrons que se encuentran en este intervalo, la señal se puede considerar como independiente ya que desciende rápidamente hasta antes de llegar al nivel de ruido estadístico. Cabe hacer notar que las GPTS CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95, debido que tienen un mayor número de muestras tienen niveles de ruido un poco menores lo que hace que la señal descienda y llegue al nivel de ruido estadístico casi en el punto donde se encuentra el ancho de correlación estática cuyo valor es también menor.

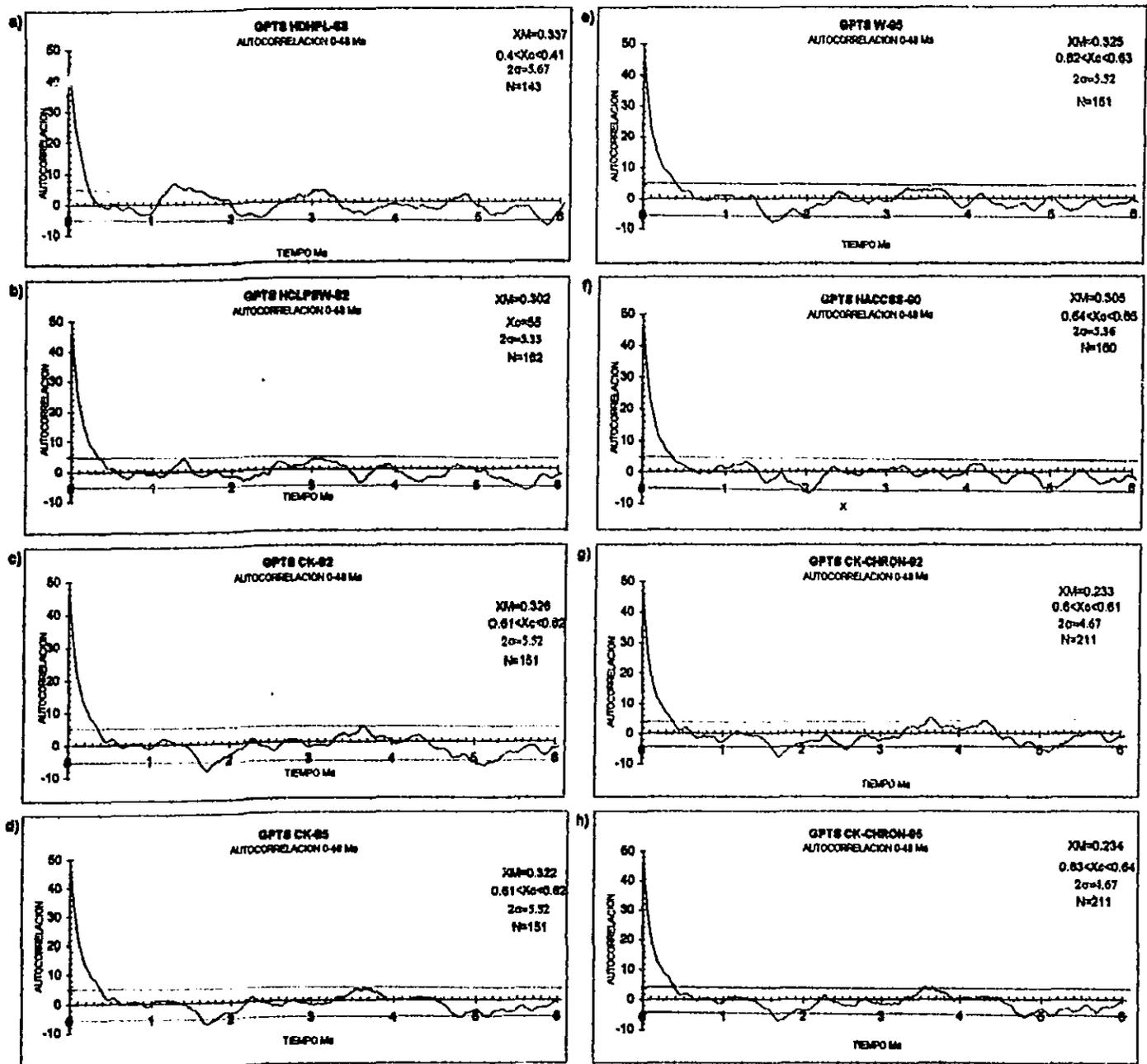


Figura 3.23. En la autocorrelación de 0 a 48 Ma, se puede observar que excepto la GPTS HDHPL-68, las GPTS tienden a descender a cero después del ancho de correlación estática, aún considerando el nivel de ruido estadístico. Lo que nos hace suponer que cuando se toma un mayor número de chrons, existe una mayor dependencia en la señal.

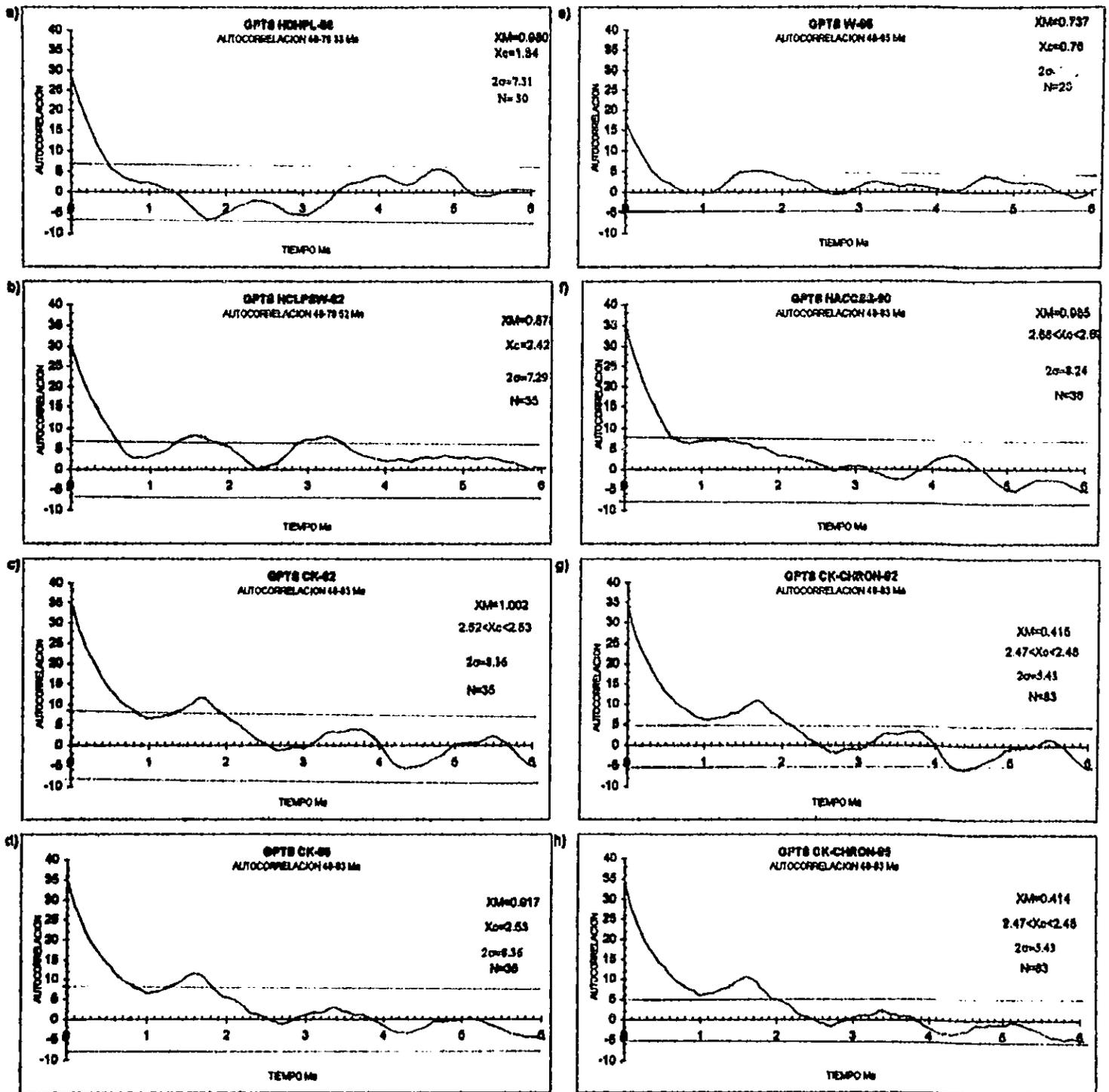


Figura 3.24. Para la autocorrelación de 48 a 83 Ma (o menor según la GPTS), se puede observar que las GPTS HDHPL-68, HCLPSW-82, HACCS-90 y W-90 son independientes, esto puede deberse a que el número de muestras es poco y hace que la señal se comporte de esta manera (sobre todo en la W-95). Sin embargo las GPTS CK-92, CK-CHRON-92, CK-95 y CK-CHRON-95, se encuentran en el límite comportándose como si fueran señales dependientes, ya que aún considerando el nivel de ruido, la señal desciende a cero después del ancho de correlación estática.

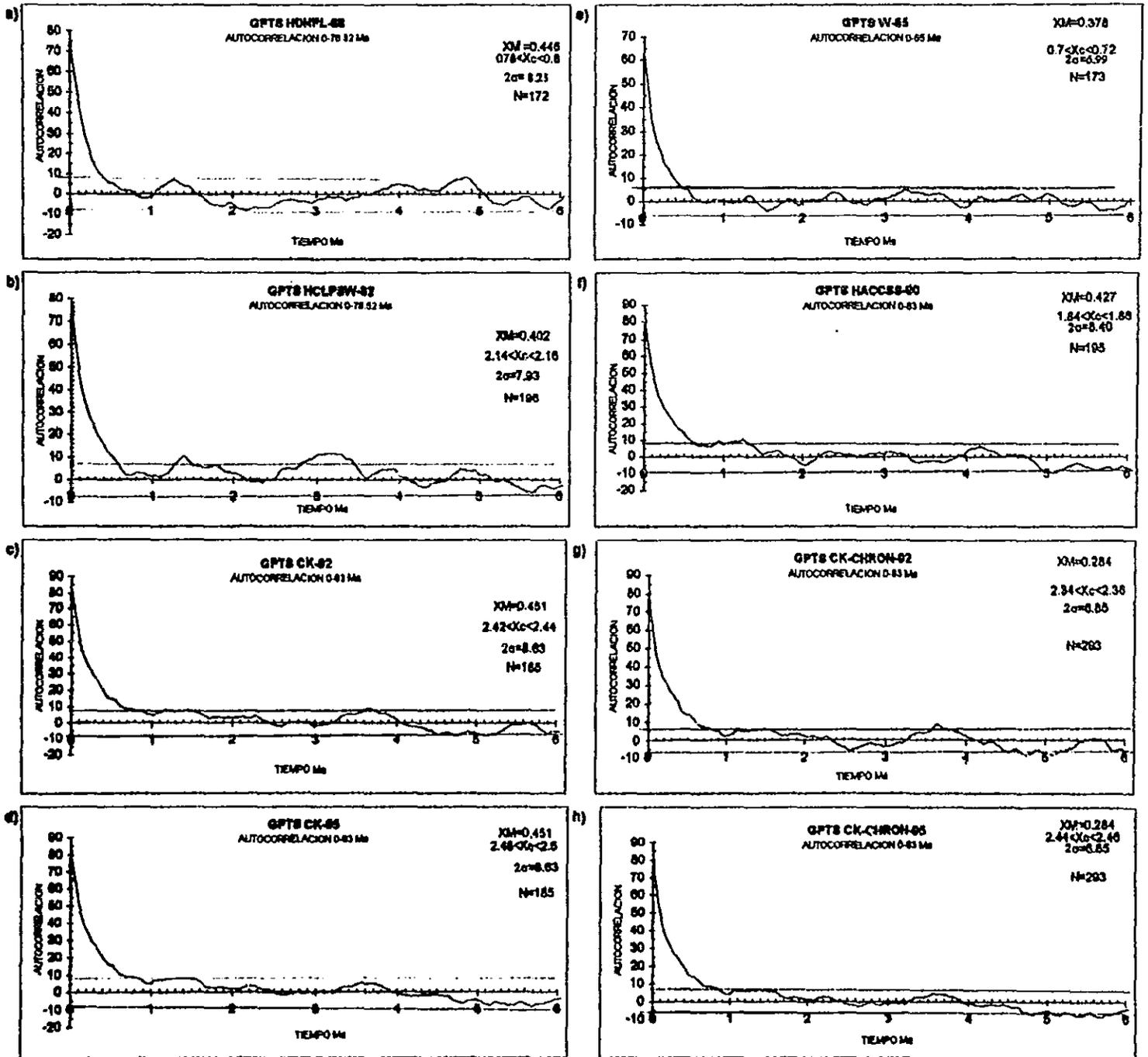


Figura 3.25 En la autocorrelación de 0 a 83 Ma (figura 3.25) se puede observar que considerando el nivel de ruido estadístico, sólo la GPTS HDHPL-68 desciende a cero a la altura del ancho de la correlación estática, todas las demás GPTS lo hacen después sugiriendo que realmente existe una dependencia en la señal de serie de tiempo de polaridades geomagnéticas.

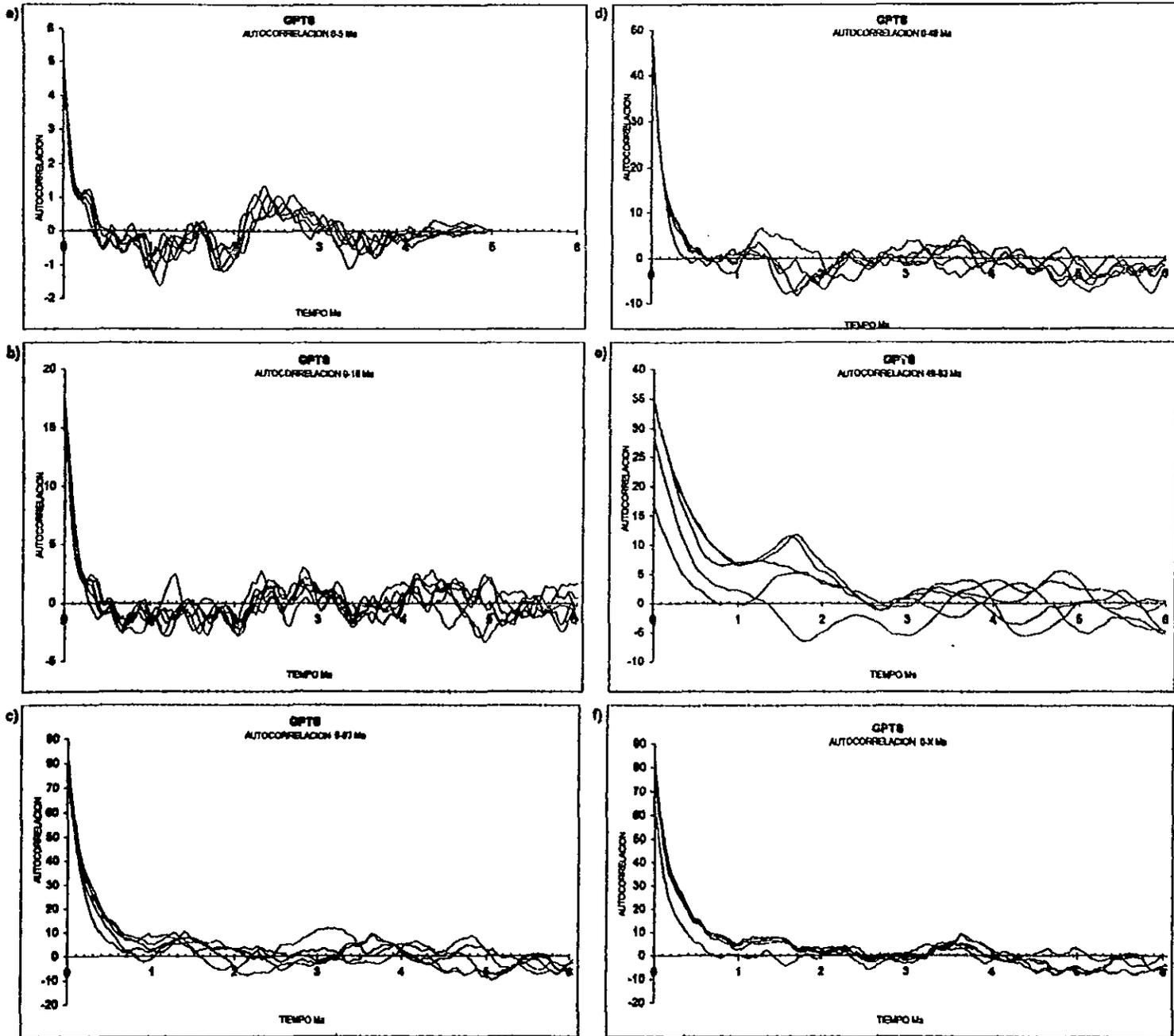


Figura 3.26. Se presenta la comparación de cada segmento de tiempo para todas las GPTS, marcándose la similitud en la parte inicial de todas ellas (excepto la HDHPL-68) en los segmentos de 0 a 5 Ma, de 0 a 18 Ma, y en la de 0 a 48 Ma. En la GPTS HDHPL-68, la señal desciende a cero más rápidamente.

### 3.3 ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS GPTS.

Las GPTS han sufrido cambios en dos sentidos, por la incorporación de nuevos chrons que dividen a los anteriores al intercalarse en ellos y por el posicionamiento de los ya existentes en otro punto en el tiempo. De manera intuitiva se puede decir que los cambios que se ven más fuertemente reflejados en el espectro de la GPTS serán los causados por la inserción de nuevos chrons, mientras que los cambios de posición en el tiempo provocarán un cambio en la fase o en la mejor o peor definición de algunas componentes de frecuencia. El espectro de amplitud de una señal refleja las principales componentes de frecuencia que están formando esa señal. Debido a esto cualquier cambio en el tiempo se verá reflejado en las frecuencias que están formando esa señal. En esta sección se presenta el espectro de amplitud de la señal así como es espectro de amplitud de la autocorrelación en el cual se resaltan las componentes de frecuencias reales y hace disminuir las causadas aleatoriamente.

#### 3.3.1 ANÁLISIS ESPECTRAL PARA LOS ÚLTIMOS 5 Ma.

Se obtuvo el espectro de amplitud de las GPTS para los últimos 5 Ma, observándose que para todas las GPTS se tienen 3 puntos en común tanto en el espectro de amplitud como en el espectro de amplitud de la señal de autocorrelación de cada GPTS, y un punto (P4), que se encuentra en todos los espectros de amplitud, exceptuando los de la GPTS de HDHPL-68 y HCLPSW-82 (ver figuras 3.27 y 3.28 y tabla 3.20), sin embargo, este punto (P4) prácticamente desaparece en el espectro de la autocorrelación para todas las GPTS exceptuando las generadas en 1995.

Tabla 3.20

PUNTOS COMUNES EN GPTS 0-5 Ma		
	F(1/Ma)	T(Ma)
<b>P1</b>	0.399	2.5
<b>P2</b>	0.798	1.25
<b>P3</b>	1.397	0.71
<b>P4</b>	1.793	0.55

#### 3.3.2 ANÁLISIS ESPECTRAL PARA LOS ÚLTIMOS 18 MA.

En la figura 3.29 y 3.30 se pueden observar las principales frecuencias para las GPTS para los últimos 18 Ma.

### **3.3.2.1 GPTS HDHPL-68**

En la figura 3.29a y 3.30a se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 4 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo. Cabe destacar que el número de punto se designo tratando de correlacionarlo con las demás GPTS.

### **3.3.2.2 GPTS HCLPSW-82.**

En la figura 3.29b y 3.30b se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 6 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 5 en el espectro de amplitud de la autocorrelación.. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo

### **3.3.2.3 GPTS HACCSS-90**

En la figura 3.29g y 3.30g se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 5 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 5 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.4 GPTS CK-92.**

En la figura 3.29c y 3.30c se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 7 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 4 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.5 GPTS CK-CHRON-92.**

En la figura 3.29h y 3.30h se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 4 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 4 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.6 GPTS B-94.**

En la figura 3.29d y 3.30d se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 7 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 7 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.7 GPTS CK-95.**

En la figura 3.29e y 3.30e se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 6 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 6 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.8 GPTS CK-CHRON-95.**

En la figura 3.29j y 3.30j se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 6 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 6 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.9 GPTS W-95.**

En la figura 3.29i y 3.30i se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 7 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 3 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.21 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### **3.3.2.10 GPTS COMPARADAS.**

En las figuras 3.29f y 3.30f se muestra la sobreposición de todas las GPTS, y se puede observar los puntos en donde existe correlación entre ellas. En la tabla 3.21, se puede observar mejor el corrimiento que tienen algunas de las GPTS respecto a las otras. sin embargo se puede apreciar que existe en general una notable coherencia entre estos puntos.

Tabla 3.21

PARA LOS ÚLTIMOS 18 Ma								
GPTS	P <sub>1</sub> (f)	P <sub>2</sub> (f)	P <sub>3</sub> (f)	P <sub>4</sub> (f)	P <sub>1</sub> (t)	P <sub>2</sub> (t)	P <sub>3</sub> (t)	P <sub>4</sub> (t)
HDHPL-68	0.33	0.44	0.77	0.89	3.03	2.27	1.29	1.12
HCLPSW-82	0.27	0.44	0.72	0.83	3.7	2.27	1.38	1.2
HACCSS-90	0.27	0.44	0.66	0.94	3.7	2.27	1.51	1.06
CK-92	0.27	0.5	0.66	0.88	3.7	2	1.51	1.12
CK-CHRON-92	0.27	0.5	0.66	0.88	3.7	2	1.51	1.12
B-94	0.27	0.39	0.66	0.83	3.7	2.56	1.51	1.2
CK-95	0.27	0.5	0.72	0.83	3.7	2	1.38	1.2
CK-CHRON-95	0.27	0.5	0.72	0.83	3.7	2	1.38	1.2
W-95	0.27	0.39	0.72	0.83	3.7	2.56	1.38	1.2

P<sub>1</sub> es más uniforme, P<sub>2</sub> entre se encuentra entre 0.39 y 0.5. Cabe hacer notar la diferencia entre este pico para las cuatro GPTS más recientes, donde B-94, W-95 tienen la misma frecuencia en tres puntos mientras que CK-92, CK-CHRON-92, CK-95 y CK-CHRON-95, forman otro grupo para este pico. El punto 3 se encuentra entre las frecuencias de 0.67 y 0.78 (1/Ma).

### 3.3.3 ANÁLISIS ESPECTRAL PARA LOS ÚLTIMOS 48 MA.

#### 3.3.3.1 GPTS HDHPL-68

En la figura 3.31a y 3.32a se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.22 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo. Cabe destacar que el número de punto se designo tratando de correlacionarlos con las demás GPTS.

Tabla 3.22

HDHPL-68			
0-48 Ma			
	$F(1/Ma)$	Amp	T(Ma)
$P_1$	<u>0.083</u>	21.66	12.04
$P_2$	<u>0.146</u>	12.63	6.84
$P_3$	<u>0.208</u>	10.9	4.81
$P_4$	<u>0.292</u>	10.45	3.42
$P_5$	<u>0.625</u>	27.25	1.6
$P_6$	0.75	19.31	1.33
$P_7$	0.792	12.73	1.26
$P_8$	<u>1.000</u>	16.29	1

## 3.3.3.2 GPTS HCLPSW-82

En la figura 3.31b y 3.32b se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.23 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.23

HCLPSW-82			
0-48 Ma			
	$F(1/Ma)$	Amp	T(Ma)
$P_1$	<u>0.083</u>	23.98	12.04
$P_2$	<u>0.146</u>	9.45	6.84
$P_3$	<u>0.292</u>	18.50	3.42
$P_4$	0.354	15.95	2.82
$P_5$	<u>0.625</u>	19.5	1.6
$P_6$	<u>0.771</u>	16.41	1.29
$P_7$	<u>0.812</u>	14.68	1.23
$P_8$	1.000	15	1

### 3.3.3.3 GPTS HACCSS-90

En la figura 3.31f y 3.32f se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.24 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.3.4 GPTS CK-92

En la figura 3.31c y 3.32c se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.25 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.24

HACCSS-90			
0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.104</u>	27.93	9.61
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.167</u>	9.41	5.98
<b>P<sub>3</sub></b>	0.229	20.2	4.36
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.292</u>	23.85	3.42
<b>P<sub>4</sub>'</b>	0.416	11.53	2.4
<b>P<sub>5</sub></b>	0.729	14.18	1.37
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.771</u>	17.76	1.29
<b>P<sub>7</sub></b>	0.854	15.90	1.17
<b>P<sub>8</sub></b>	<u>0.937</u>	11.64	1.06

### 3.3.3.5 GPTS CK-CHRON-92

En la figura 3.31g y 3.32g se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.26 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.25

CK-92			
0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.104</u>	26.87	9.61
P <sub>2</sub>	<u>0.208</u>	16.55	4.8
P <sub>3</sub>	<u>0.250</u>	19.57	4
P <sub>4</sub>	<u>0.312</u>	30.08	3.2
P <sub>5</sub>	<u>0.521</u>	19.30	1.92
P <sub>6</sub>	<u>0.708</u>	13.32	1.41
P <sub>7</sub>	<u>0.833</u>	12.31	1.2
P <sub>8</sub>	<u>0.937</u>	14.08	1.06

Tabla 3.26

CK-CHRON-92			
0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.104</u>	19.97	9.61
P <sub>2</sub>	<u>0.167</u>	11.86	5.98
P <sub>3</sub>	<u>0.25</u>	28.3	4
P <sub>4</sub>	<u>0.312</u>	17.66	3.2
P <sub>5</sub>	<u>0.521</u>	24.88	1.92
P <sub>6</sub>	<u>0.708</u>	15.49	1.41
P <sub>7</sub>	<u>0.833</u>	9.45	1.2
P <sub>8</sub>	<u>0.937</u>	14.2	1.06

### 3.3.3.6 GPTS CK-95.

En la figura 3.31d y 3.32d se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.27 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.3.7 CK-CHRON-95

En la figura 3.31h y 3.32h se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.28 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.27

CK-95			
0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.104</u>	28.4	9.61
P <sub>2</sub>	<u>0.208</u>	17.84	4.8
P <sub>3</sub>	<u>0.250</u>	22.43	4
P <sub>4</sub>	<u>0.312</u>	28.29	3.2
P <sub>5</sub>	<u>0.521</u>	20.34	1.92
P <sub>6</sub>	<u>0.708</u>	12.19	1.41
P <sub>7</sub>	<u>0.812</u>	14.26	1.23
P <sub>8</sub>	<u>0.937</u>	13.38	1.06

Tabla 3.28

CK-CHRON-95			
0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.104</u>	26.57	9.61
P <sub>2</sub>	<u>0.208</u>	17.59	4.8
P <sub>3</sub>	<u>0.250</u>	21.09	4
P <sub>4</sub>	<u>0.312</u>	26.09	3.2
P <sub>5</sub>	<u>0.521</u>	19.46	1.92
P <sub>6</sub>	<u>0.708</u>	10.92	1.41
P <sub>7</sub>	<u>0.812</u>	13.47	1.23
P <sub>8</sub>	<u>0.937</u>	13.37	1.06

### 3.3.3.8 GPTS W-95

En la figura 3.31e y 3.32e se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.29 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.29

W-95 0-48 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.104</u>	22.45	9.61
<b>P<sub>2</sub></b>	0.187	17.6	5.34
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.250</u>	22.45	4
<b>P<sub>4</sub></b>	0.333	22.49	3
<b>P<sub>4</sub>'</b>	0.396	20.7	2.52
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.521</u>	12.56	1.92
<b>P<sub>6</sub></b>	0.687	11.81	1.45
<b>P<sub>7</sub></b>	0.812	26.62	1.23
<b>P<sub>8</sub></b>	0.926	13.1	1.09

Tabla 3.30

PUNTOS EN COMÚN DE LAS GPTS HDHPL-68 Y HCLPSW-82 0-48 Ma		
F(1/Ma)	T(Ma)	GPTS
0.083	12.04	2
0.146	6.85	2
0.292	3.42	3 <sup>1</sup>
0.625	1.6	2
1.000	1	2

<sup>1</sup> Este punto también es común para la GPTS de HACSS-90.

### 3.3.3.9 GPTS COMPARADAS.

Se puede observar que la HDHPL-68, es muy similar a HCLPSW-82, teniendo como frecuencias comunes, con valores altos de amplitud, los puntos presentados en la tabla 3.30.

En la tabla 3.31, se pueden observar cuales son los puntos en común entre las diferentes GPTS, donde en la última columna, se presenta el número de GPTS que contienen el punto.

Tabla 3.31

<b>PUNTOS EN COMÚN DE LAS GPTS HACCS-90, CK-92, CK-CHRON-92, CK-95, CK-CHRON-95, W-95.</b>		
<b>0-48 Ma</b>		
<b>F(1/Ma)</b>	<b>T(Ma)</b>	<b>GPTS</b>
0.104	9.61	6
0.167	5.98	2
0.208	4.8	3
0.25	4	5
0.312	3.2	4
0.521	1.92	5
0.708	1.41	4
0.833	1.2	2
0.812	1.23	4
0.937	1.06	5

### 3.3.4 ANÁLISIS ESPECTRAL DE LOS ÚLTIMOS 48 A 83 MA.

#### 3.3.4.1 GPTS HDHPL-68

En la figura 3.33a y 3.34a se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.32 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo. Cabe destacar que el número de punto se designo tratando de correlacionarlos con las demás GPTS.

### 3.3.4.2 GPTS HCLPSW-82.

En la figura 3.33b y 3.34b se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.33 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

**Tabla 3.32**

<b>HDHPL-68</b>			
<b>48-76.33Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	0.035	9.73	28.57
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.176</u>	36.35	5.68
<b>P<sub>3</sub></b>	0.282	27.98	3.54
<b>P<sub>4</sub></b>	0.459	10.11	2.18
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.529</u>	9.80	1.89
<b>P<sub>6</sub></b>	0.600	6.72	1.66
<b>P<sub>7</sub></b>	0.776	7.72	1.28
<b>P<sub>8</sub></b>	0.847	12.91	1.18

**Tabla 3.33**

<b>HCLPSW-82</b>			
<b>48-78.52Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	0.033	55.01	30
<b>P<sub>2</sub></b>	0.098	19.92	10.2
<b>P<sub>3</sub></b>	0.229	11.82	4.36
<b>P<sub>4</sub></b>	0.360	10.29	2.77
<b>P<sub>5</sub></b>	0.426	8.47	2.34
<b>P<sub>5</sub>'</b>	<u>0.524</u>	11.21	1.90
<b>P<sub>6</sub></b>	0.623	22.62	1.6
<b>P<sub>7</sub></b>	0.721	13.21	1.38

### 3.3.4.3 GPTS HACCSS-90.

En la figura 3.33f y 3.34f se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.34 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.34

HACCSS-90			
48-83Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.029</u>	39.24	34.48
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.086</u>	45.22	11.62
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.171</u>	23.38	5.84
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.257</u>	17.11	3.89
<b>P<sub>5</sub></b>	0.314	13.84	3.18
<b>P<sub>5</sub>'</b>	0.428	16.82	2.33
<b>P<sub>5</sub>''</b>	0.514	10.69	1.94
<b>P<sub>6</sub></b>	0.571	13.89	1.75
<b>P<sub>7</sub></b>	0.714	16.41	1.4
<b>P<sub>8</sub></b>	0.914	11.94	1.09

### 3.3.4.4 GPTS CK-92.

En la figura 3.33c y 3.34c se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.35 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.4.5 GPTS CK-CHRON-92

En la figura 3.33 g y 3.34g se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.36 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.35

CK-92			
48-83 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.029</u>	47.71	34.48
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.086</u>	44.7	11.62
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.200</u>	22.06	5
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.257</u>	16.58	3.89
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.371</u>	14.12	2.69
<b>P<sub>6</sub></b>	0.543	30.12	1.84
<b>P<sub>6</sub>'</b>	0.571	29.75	1.75
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.686</u>	10.22	1.45
<b>P<sub>8</sub></b>	0.800	10.32	1.25

Tabla 3.36

CK-CHRON-92			
48-83Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.029</u>	43.44	34.48
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.086</u>	45.03	11.63
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.200</u>	20.58	5
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.257</u>	16.36	3.89
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.371</u>	13.37	2.69
<b>P<sub>5</sub>'</b>	<u>0.486</u>	6.08	2.05
<b>P<sub>6</sub></b>	0.543	28.59	1.84
<b>P<sub>6</sub></b>	0.571	28.55	1.75
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.686</u>	9.81	1.45
<b>P<sub>8</sub></b>	0.800	9.8	1.25

### 3.3.4.6 GPTS CK-95.

En la figura 3.33d y 3.34d se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud

y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.37 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo

**Tabla 3.37**

<b>CK-95</b>			
<b>48-83 Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.029</u>	45.44	34.48
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.086</u>	57.81	11.63
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.200</u>	31.3	5
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.286</u>	15.02	3.49
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.371</u>	10.03	2.7
<b>P<sub>5</sub>'</b>	<u>0.486</u>	10.27	2.05
<b>P<sub>6</sub></b>	0.628	22.25	1.59
<b>P<sub>7</sub></b>	0.743	10.65	1.34
<b>P<sub>8</sub></b>	0.857	9.64	1.16

### 3.3.4.7 GPTS CK-CHRON-95

En la figura 3.33h y 3.34h se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.38 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.4.8 GPTS W-95

En la figura 3.33e y 3.34e se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 8 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 8 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.39 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.4.9 GPTS COMPARADAS

En la tabla 3.40, se pueden observar cuales son los puntos en común entre las diferentes GPTS, donde en la última columna, se presenta el número de GPTS que contienen el punto.

Tabla 3.38

CK-CHRON-95			
48-83Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.029</u>	41.04	34.48
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.086</u>	56.74	11.62
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.200</u>	29.82	5
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.286</u>	14.99	3.49
<b>P<sub>4</sub>'</b>	<u>0.371</u>	9.74	2.69
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.486</u>	10.12	2.05
<b>P<sub>6</sub></b>	0.628	20.93	1.59
<b>P<sub>7</sub></b>	0.743	10.13	1.34
<b>P<sub>8</sub></b>	0.857	9.33	1.16

Tabla 3.39

W-95			
48-65 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	0	16.73	-----
<b>P<sub>2-3</sub></b>	<u>0.176</u>	6.88	5.68
<b>P<sub>4</sub></b>	0.294	3.03	3.4
<b>P<sub>5</sub></b>	0.412	6.02	2.42
<b>P<sub>6-7</sub></b>	0.588	9.07	1.7
<b>P<sub>8</sub></b>	0.823	3.70	1.21
<b>P<sub>9</sub></b>	0.941	4.25	1.06

En las figuras 3.32i y 3.33i, se muestran las principales componentes de frecuencia que son comunes en las CiPTS.

Tabla 3.40

<b>PUNTOS EN COMÚN DE LAS GPTS HDHPL-68,  HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-CHRON-  92, CK-95, CK-CHRON-95, W-95.</b>		
<b>48- X Ma</b>		
<b>F(1/Ma)</b>	<b>T(Ma)</b>	<b>GPTS</b>
0.029	34.48	5
0.086	11.62	5
0.200	5	4
0.257	3.89	3
0.286	3.49	2
0.371	2.69	4
0.486	2.05	3
0.543	1.84	2
0.571	1.75	2
0.686	1.45	2
0.800	1.25	2

### 3.3.5 ANÁLISIS ESPECTRAL DE 0 A 83 MA.

#### 3.3.5.1 GPTS HDHPL-68

En la figura 3.35a y 3.36a se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 10 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 10 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.41 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

#### 3.3.5.2 GPTS HCLPSW-82.

En la figura 3.35b y 3.36b se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 10 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 10 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.42 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.41

<b>HDHPL-68</b>			
<b>0-76.33Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.026</u>	22.66	38.46
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.079</u>	30.65	12.66
<b>P<sub>3</sub></b>	0.144	23.95	6.94
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.183</u>	36.2	5.46
<b>P<sub>4</sub>'</b>	0.223	36.05	4.48
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.275</u>	57.04	3.64
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.327</u>	16.59	3.06
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.393</u>	16.55	2.54
<b>P<sub>8</sub></b>	0.445	36.27	2.25
<b>P<sub>9</sub></b>	<u>0.537</u>	20.09	1.86
<b>P<sub>10</sub></b>	<u>0.616</u>	28.92	1.62

Tabla 3.42

<b>HCLPSW-82</b>			
<b>0-78.52Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.038</u>	55.13	26.32
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.089</u>	84.09	11.24
<b>P<sub>4</sub></b>	0.204	24.89	4.90
<b>P<sub>5</sub></b>	0.267	45.70	3.74
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.318</u>	26.80	3.14
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.357</u>	35.74	2.80
<b>P<sub>7</sub>'</b>	<u>0.395</u>	29.59	2.53
<b>P<sub>8</sub></b>	<u>0.433</u>	19.89	2.31
<b>P<sub>9</sub></b>	<u>0.535</u>	25.64	1.87
<b>P<sub>10</sub></b>	<u>0.624</u>	77.38	1.6

Tabla 3.43

HACCSS-90			
0-83Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.036</u>	56.65	27.77
P <sub>2</sub>	<u>0.084</u>	94.54	11.90
P <sub>3</sub>	<u>0.108</u>	81.59	9.26
P <sub>4</sub>	<u>0.205</u>	36.11	4.88
P <sub>5</sub>	0.229	46.63	4.37
P <sub>6</sub>	<u>0.253</u>	35.87	3.95
P <sub>7</sub>	0.301	46.81	3.32
P <sub>8</sub>	0.422	52.85	2.37

## 3.3.5.4 GPTS CK-92.

En la figura 3.35c y 3.36c se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 9 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 9 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.44 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.44

CK-92			
0-83 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	<u>0.036</u>	55.56	27.77
P <sub>2</sub>	<u>0.072</u>	62.38	13.88
P <sub>3</sub>	0.133	<u>38.87</u>	7.52
P <sub>4</sub>	<u>0.205</u>	45.56	4.88
P <sub>5</sub>	<u>0.242</u>	47.37	4.13
P <sub>6</sub>	<u>0.314</u>	40.87	3.18
P <sub>7</sub>	<u>0.362</u>	42.28	2.76
P <sub>8</sub>	<u>0.435</u>	23.05	2.30
P <sub>9</sub>	<u>0.543</u>	39.61	1.84

### 3.3.5.5 GPTS CK-CHRON-92

En la figura 3.35g y 3.36g se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 9 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 9 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.45 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

### 3.3.5.6 GPTS CK-95.

En la figura 3.35d y 3.36d se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 10 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 10 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.46 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.45

<b>CK-CHRON-92</b>			
<b>0-83Ma</b>			
	<b>F(1/Ma)</b>	<b>Amp</b>	<b>T(Ma)</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.024</u>	46.25	41.67
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.084</u>	49.70	11.90
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.108</u>	97.46	9.26
<b>P<sub>4</sub></b>	0.193	37.28	5.18
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.241</u>	56.91	4.15
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.313</u>	28.13	3.19
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.361</u>	38.97	2.77
<b>P<sub>8</sub></b>	<u>0.434</u>	18.90	2.30
<b>P<sub>9</sub></b>	<u>0.543</u>	38.01	1.84
<b>P<sub>9</sub>'</b>	0.566	38.25	1.77

### 3.3.5.7 GPTS CK-CHRON-95

En la figura 3.35h y 3.36h se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 10 puntos bien definidos en el espectro de amplitud

y 10 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.47 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.46

CK-95			
0-83 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.036</u>	55.75	27.77
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.072</u>	86.68	13.89
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.108</u>	108.18	9.2
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.205</u>	49.59	4.87
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.253</u>	44.46	3.95
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.313</u>	42.96	3.19
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.361</u>	40.55	2.77
<b>P<sub>8</sub></b>	<u>0.434</u>	31.02	2.30
<b>P<sub>9</sub></b>	<u>0.518</u>	53.30	1.93
<b>P<sub>10</sub></b>	<u>0.626</u>	32.69	1.6

Tabla 3.47

CK-CHRON-95			
0-83Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
<b>P<sub>1</sub></b>	<u>0.036</u>	43.15	27.77
<b>P<sub>2</sub></b>	<u>0.072</u>	78.33	13.89
<b>P<sub>3</sub></b>	<u>0.108</u>	104.11	13.88
<b>P<sub>4</sub></b>	<u>0.205</u>	49.58	4.87
<b>P<sub>4</sub>'</b>	<u>0.253</u>	42.29	3.95
<b>P<sub>5</sub></b>	<u>0.313</u>	38.12	3.19
<b>P<sub>6</sub></b>	<u>0.361</u>	36.3	2.77
<b>P<sub>7</sub></b>	<u>0.434</u>	27.57	2.30
<b>P<sub>8</sub></b>	<u>0.518</u>	52.01	1.93
<b>P<sub>10</sub></b>	<u>0.626</u>	30.51	1.6

### 3.3.5.8 GPTS W-95

En la figura 3.35e y 3.36e se pueden observar tanto el espectro de amplitud de esta GPTS como el espectro de amplitud de la autocorrelación, observándose 9 puntos bien definidos en el espectro de amplitud y 9 en el espectro de amplitud de la autocorrelación. En la tabla 3.48 se presentan los puntos de las frecuencias más representativas para esta GPTS, así como su equivalente en el tiempo.

Tabla 3.48

W-95 0-65 Ma			
	F(1/Ma)	Amp	T(Ma)
P <sub>1</sub>	0	36.43	∞
P <sub>2</sub>	<u>0.077</u>	32.07	12.98
P <sub>3</sub>	<u>0.108</u>	21.89	9.25
P <sub>4</sub>	<u>0.185</u>	34.4	5.40
P <sub>5</sub>	<u>0.277</u>	26.3	3.61
P <sub>6-7</sub>	<u>0.308</u>	32.35	3.24
P <sub>8</sub>	<u>0.400</u>	25.16	2.5
P <sub>9</sub>	<u>0.523</u>	25.01	1.91
P <sub>10</sub>	0.600	26.35	1.67

### 3.3.6 GPTS COMPARADAS

En la tabla 3.49, se pueden observar cuales son los puntos en común entre las diferentes GPTS, donde en la última columna, se presenta el número de GPTS que contienen el punto. La primera columna presenta el valor de la frecuencia y el exponente representa en número de GPTS que tienen ese valor. En la segunda y tercera columna se presenta la frecuencia promedio y el periodo promedio.

En las figuras 3.35 y 3.36, se muestran las principales componentes de frecuencia que son comunes en las GPTS.

En la figura 3.37 se muestran las graficas comparativas del espectro de amplitud para los diferentes intervalos en las GPTS.

En la figura 3.38 se muestra el espectro de amplitud de la autocorrelación para los diferentes intervalos de tiempo, mostrándose también la frecuencia en común para estos intervalos.

En esta figura en los intervalos que van de 0 a 83 Ma y de 48 a 83 Ma, sólo se sobrepusieron aquellas GPTS con la misma duración, debido a las limitaciones de paquete de graficación.

Tabla 3.49

<b>PUNTOS EN COMÚN DE LAS GPTS HDHPL-68, HCLPSW-82, HACCSS-90, CK-92, CK-CHRON-92, CK-95, CK-CHRON-95, W-95.</b>			
<b>0- X Ma</b>			
<b>F(1/Ma)</b>	<b>F(1/Ma) prom</b>	<b>T(Ma)</b>	<b>GPTS</b>
0.024 <sup>1</sup> -0.026 <sup>1</sup>	0.025	40	2
0.036 <sup>4</sup> -0.038 <sup>1</sup>	0.036	27.47	5
0.072 <sup>3</sup> -0.077 <sup>1</sup> - 0.079 <sup>1</sup>	0.074	13.44	5
0.084 <sup>2</sup> -0.089 <sup>1</sup>	0.086	11.68	3
0.108	0.108	9.26	5
0.183-0.185	0.184	5.43	2
0.204 <sup>1</sup> -0.205 <sup>4</sup>	0.204	4.88	5
0.241 <sup>1</sup> -0.242 <sup>1</sup>	0.241	4.14	2
0.253	0.253	3.95	3
0.275 <sup>1</sup> -0.277 <sup>2</sup>	0.276	3.62	3
0.308-0.318	0.313	3.19	6
0.393-0.395-0.4	0.396	2.52	3
0.42 <sup>1</sup> -0.43 <sup>3</sup> -0.44 <sup>1</sup>	0.430	2.32	7
0.523 <sup>1</sup> -0.535 <sup>1</sup> - .537 <sup>1</sup> -0.543 <sup>2</sup>	0.536	1.86	5
0.6-0.616-0.624 <sup>3</sup>	0.613	1.63	5

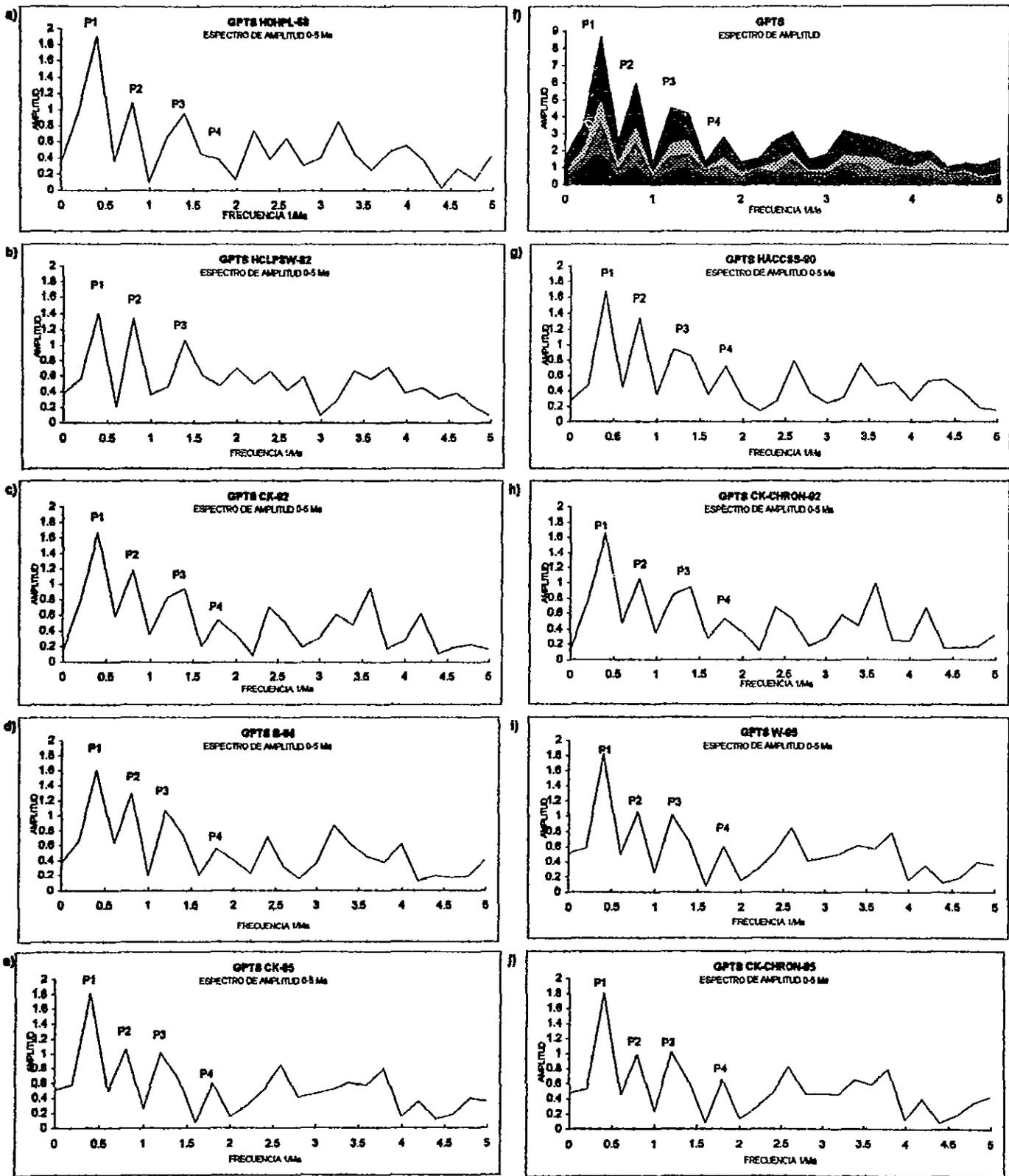


Figura 3.27. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 5 Ma. Se pueden apreciar 4 picos en frecuencias similares para todas las GPTS.

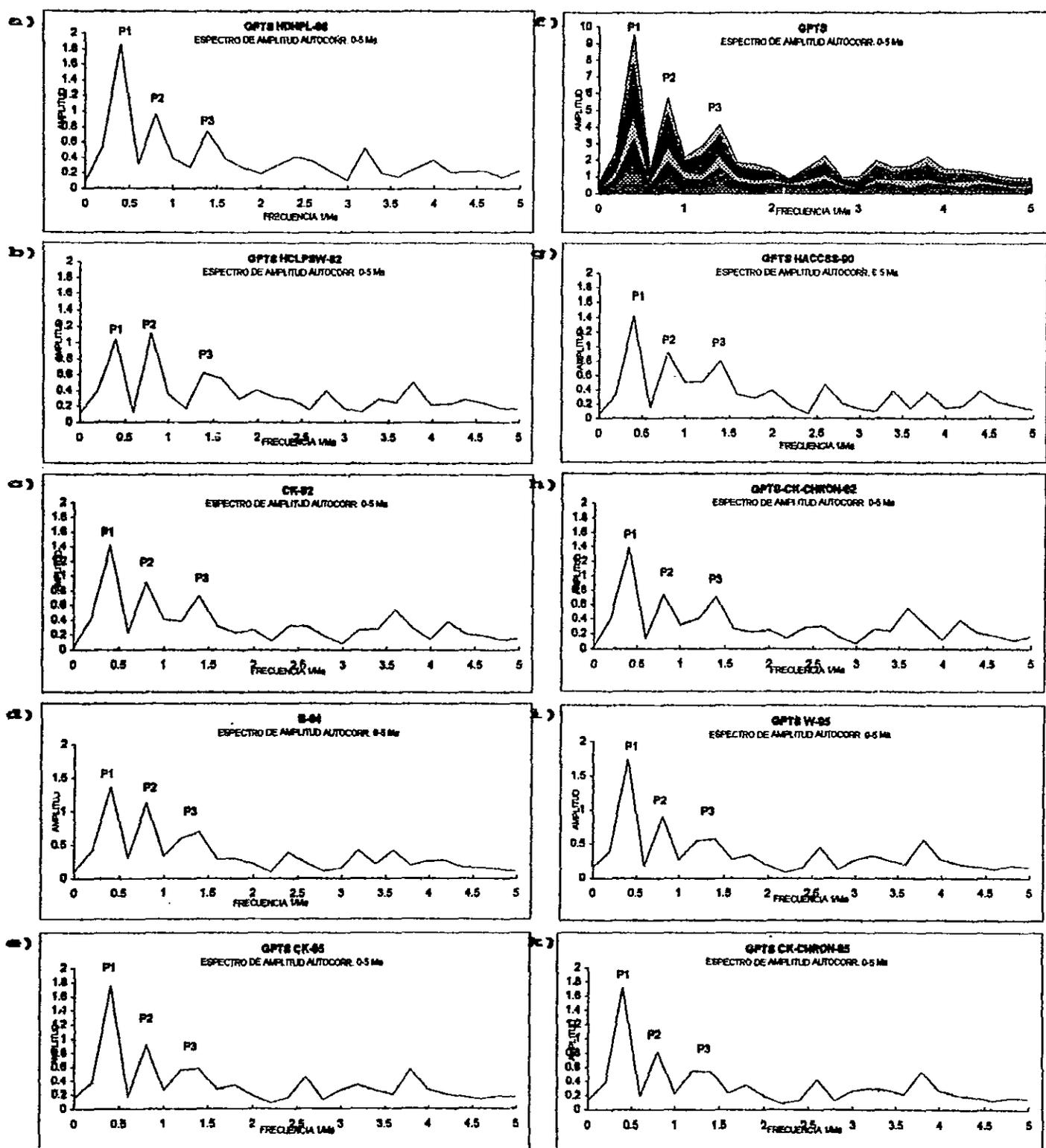


Figura 3.28. En esta figura se muestra el espectro de amplitud de la función de autocorrelación para las diferentes GPTS, se puede observar que existen 3 picos en frecuencias similares para todas las GPTS.

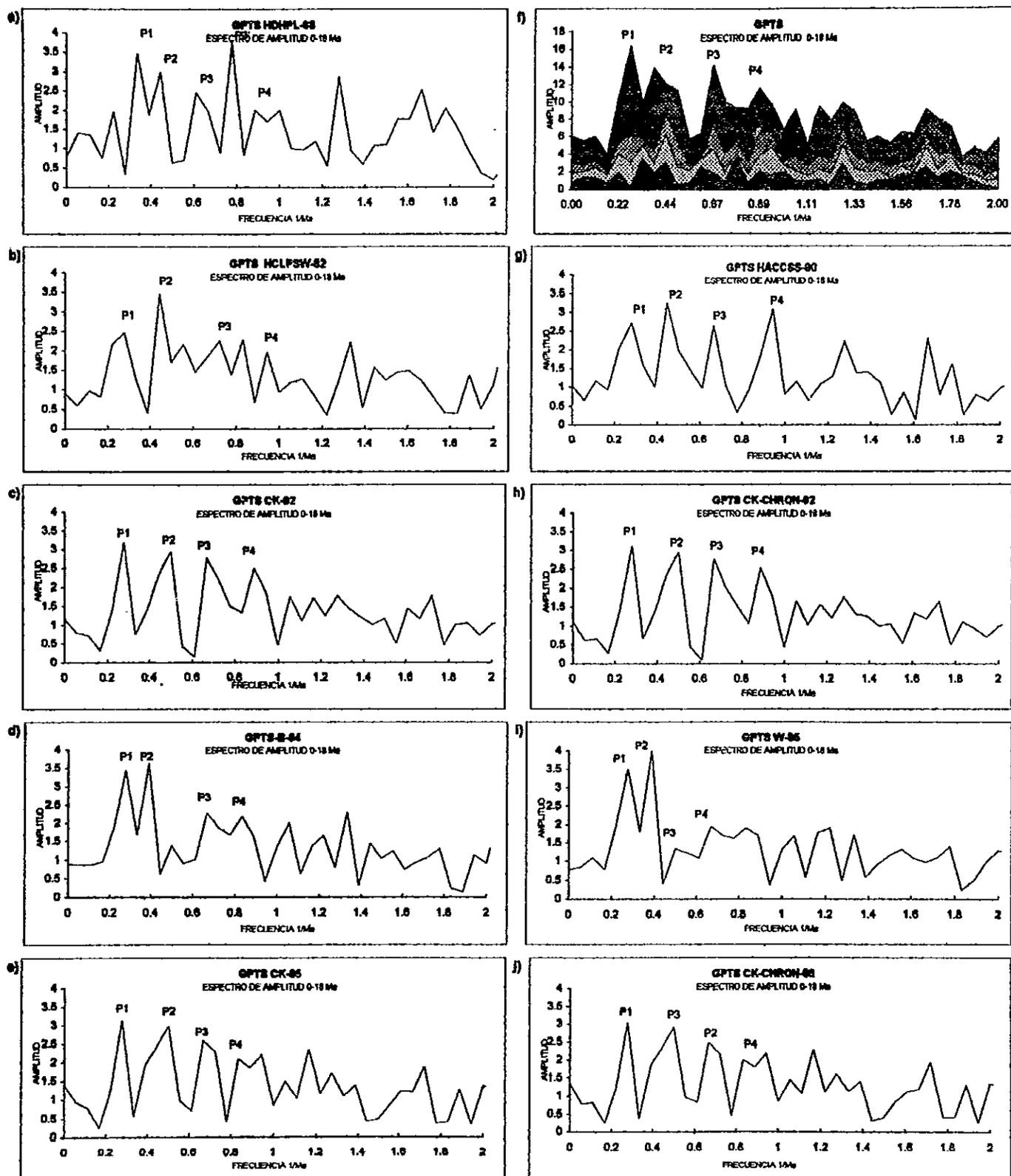


Figura 3.29. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 18 Ma. Se pueden apreciar cuatro picos sobresalientes en la frecuencia, pero éstos no coinciden tan bien como en los casos anteriores.

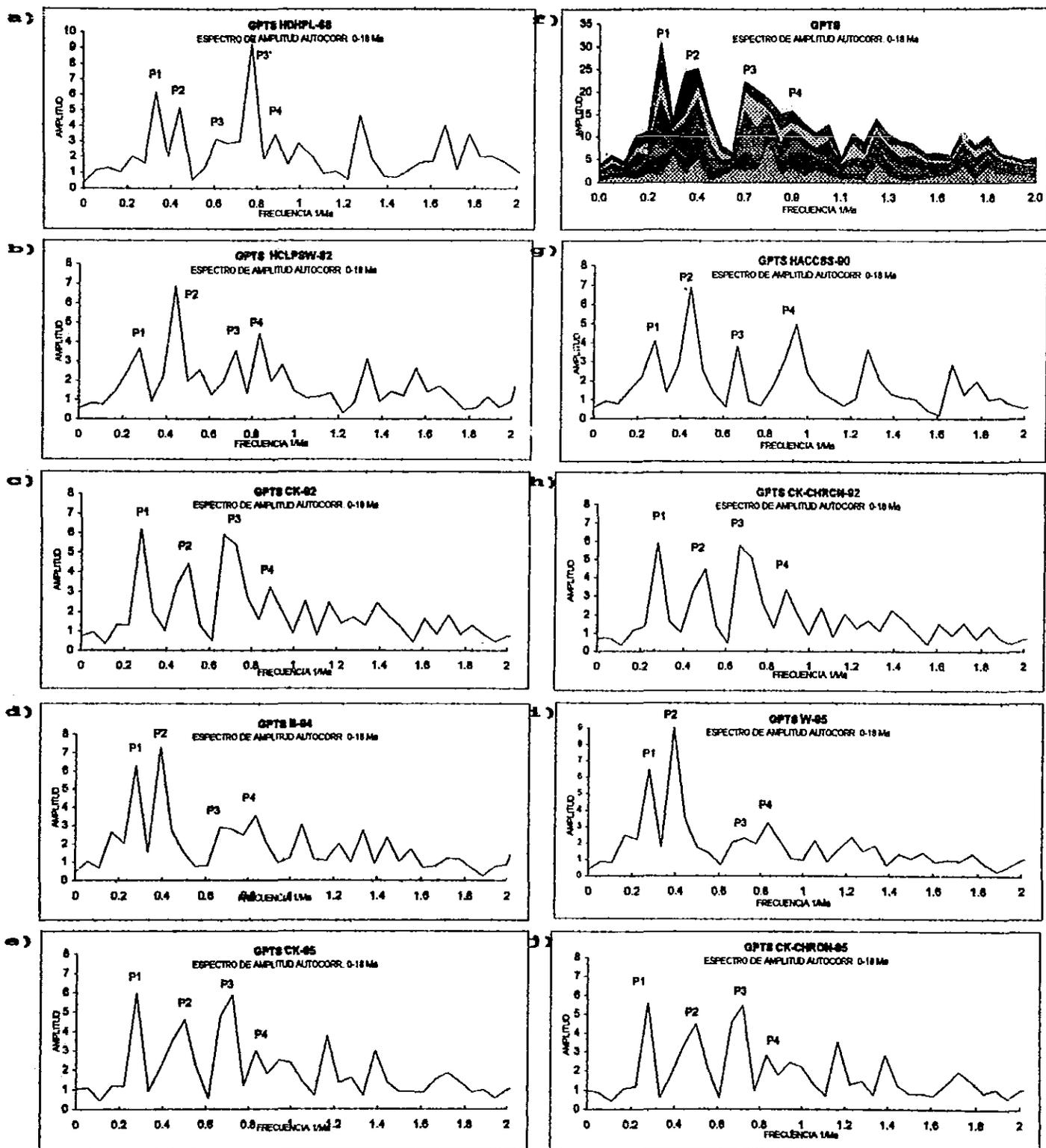


Figura 3.30. En esta figura se muestra el espectro de amplitud de la función de autocorrelación para las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 18 Ma, se puede observar que existen 4 picos sobresalientes en la frecuencia, pero éstos no coinciden tan bien como en los casos anteriores.

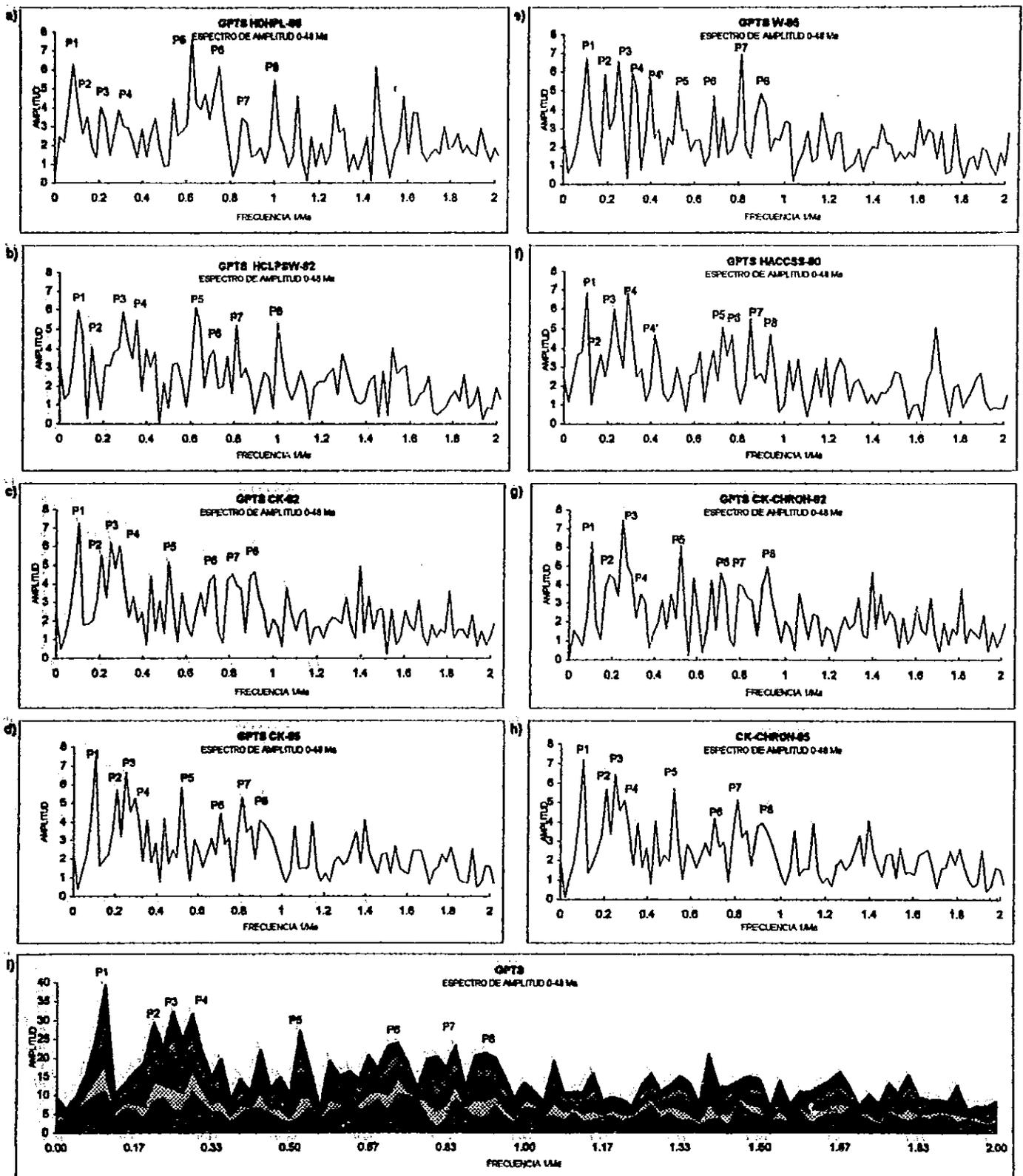


Figura 3.31. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 48 Ma. Se pueden apreciar varios picos sobresalientes en la frecuencia, pero éstos no coinciden tan bien como en los casos anteriores, sin embargo se ven mejor definidas en la figura 3.31i.

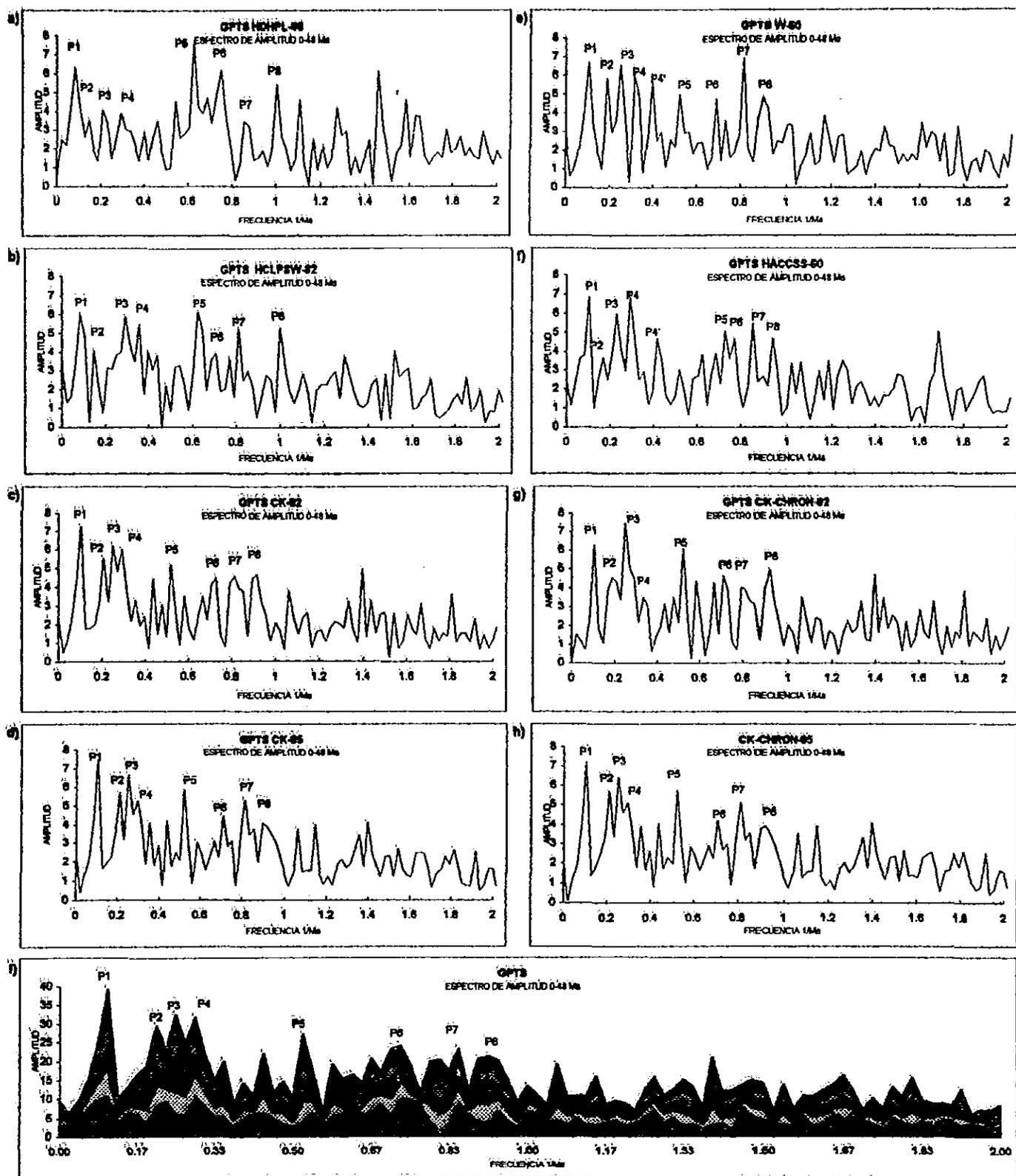


Figura 3.31. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 48 Ma. Se pueden apreciar varios picos sobresalientes en la frecuencia, pero éstos no coinciden tan bien como en los casos anteriores, sin embargo se ven mejor definidas en la figura 3.31i.

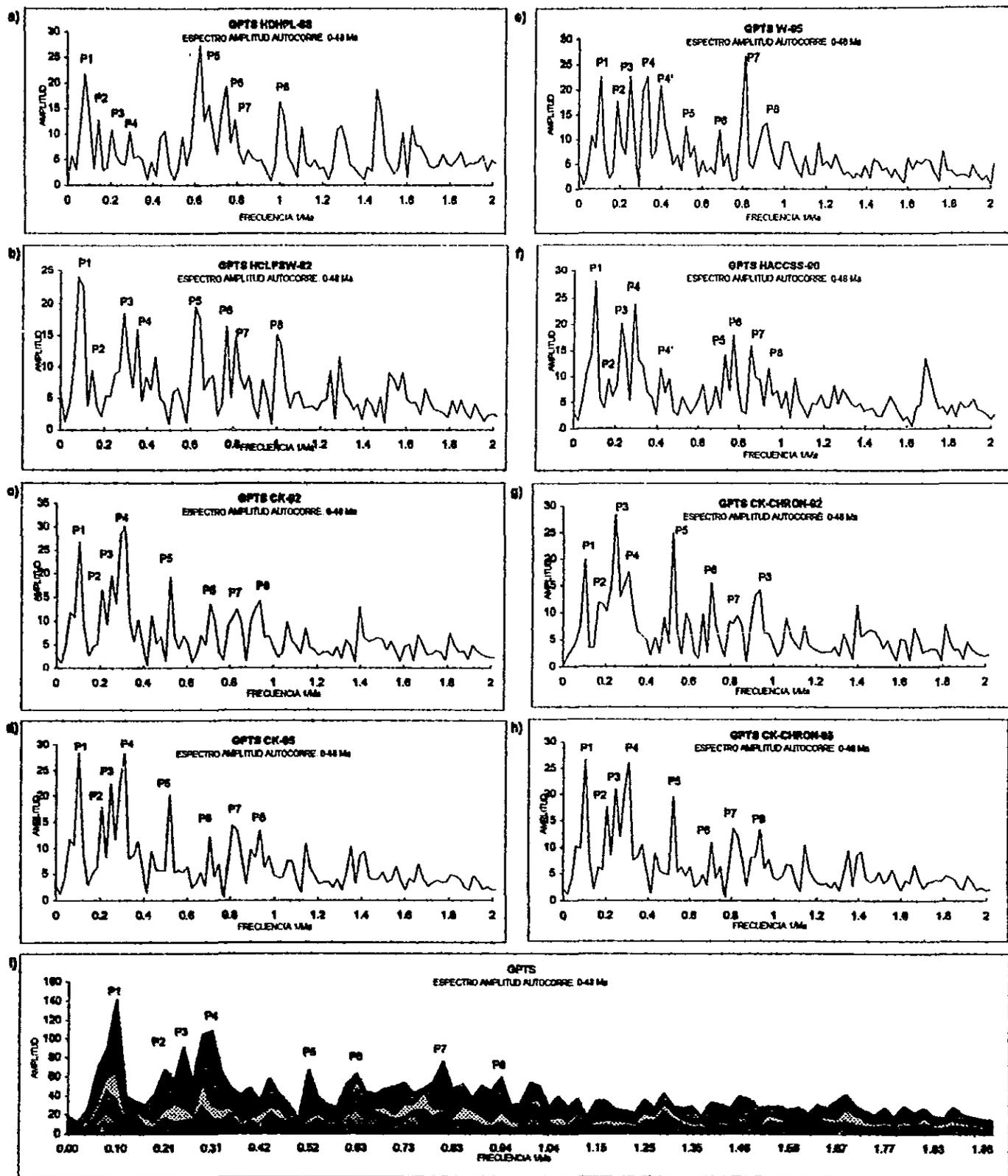


Figura 3.32. En esta figura se muestra el espectro de amplitud de la función de autocorrelación para las diferentes GPTS para el intervalo de tiempo de 0 a 48 Ma, se puede observar que existen varios picos sobresalientes en la frecuencia, pero éstos no coinciden tan bien como en los casos anteriores. Sin embargo estos picos se ven mejor definidos en la figura 3.32i.

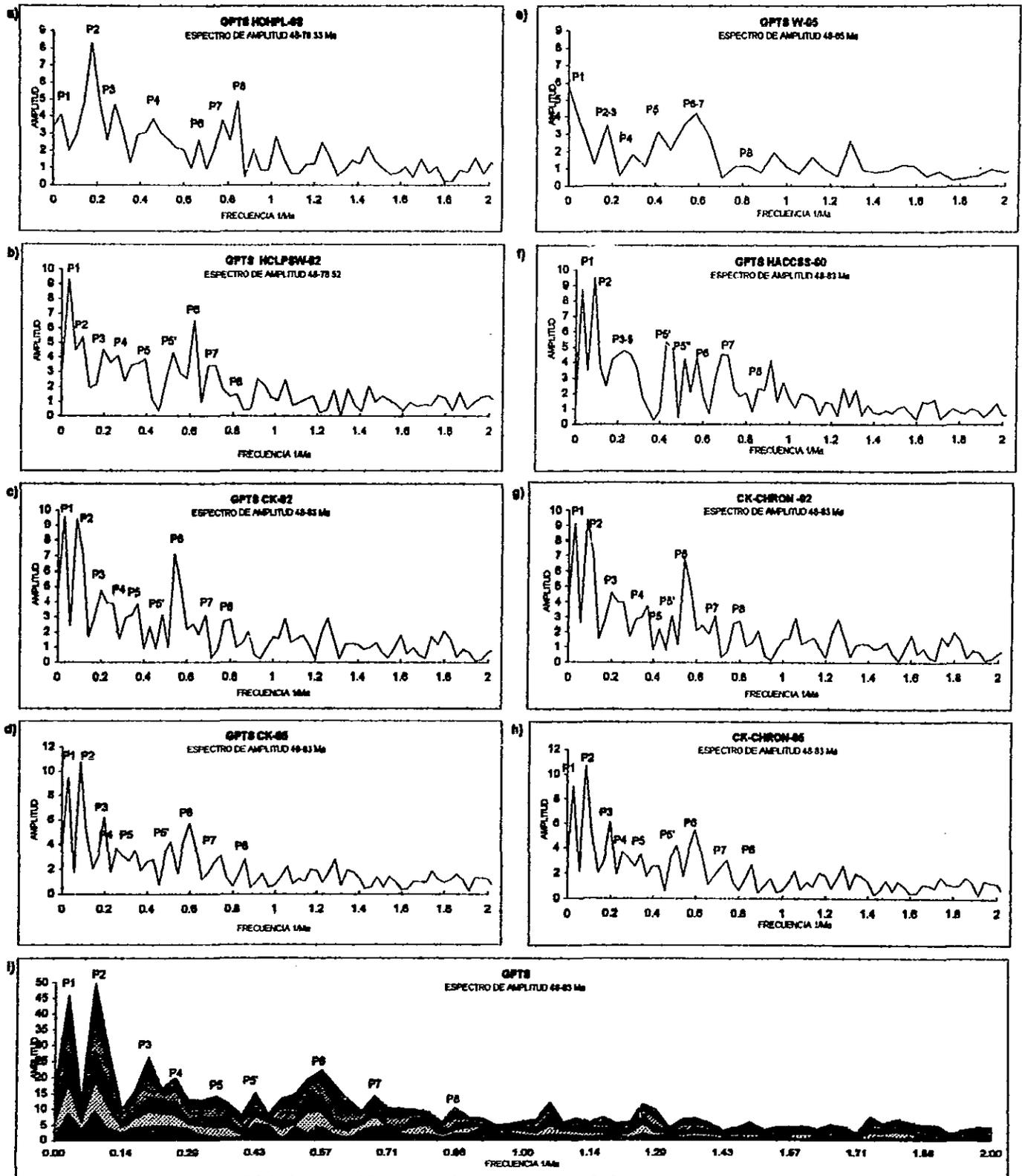


Figura 3.33. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS de los 48 Ma hacia atrás dependiendo de la GPTS. Se pueden apreciar varios picos sobresalientes en la frecuencia.

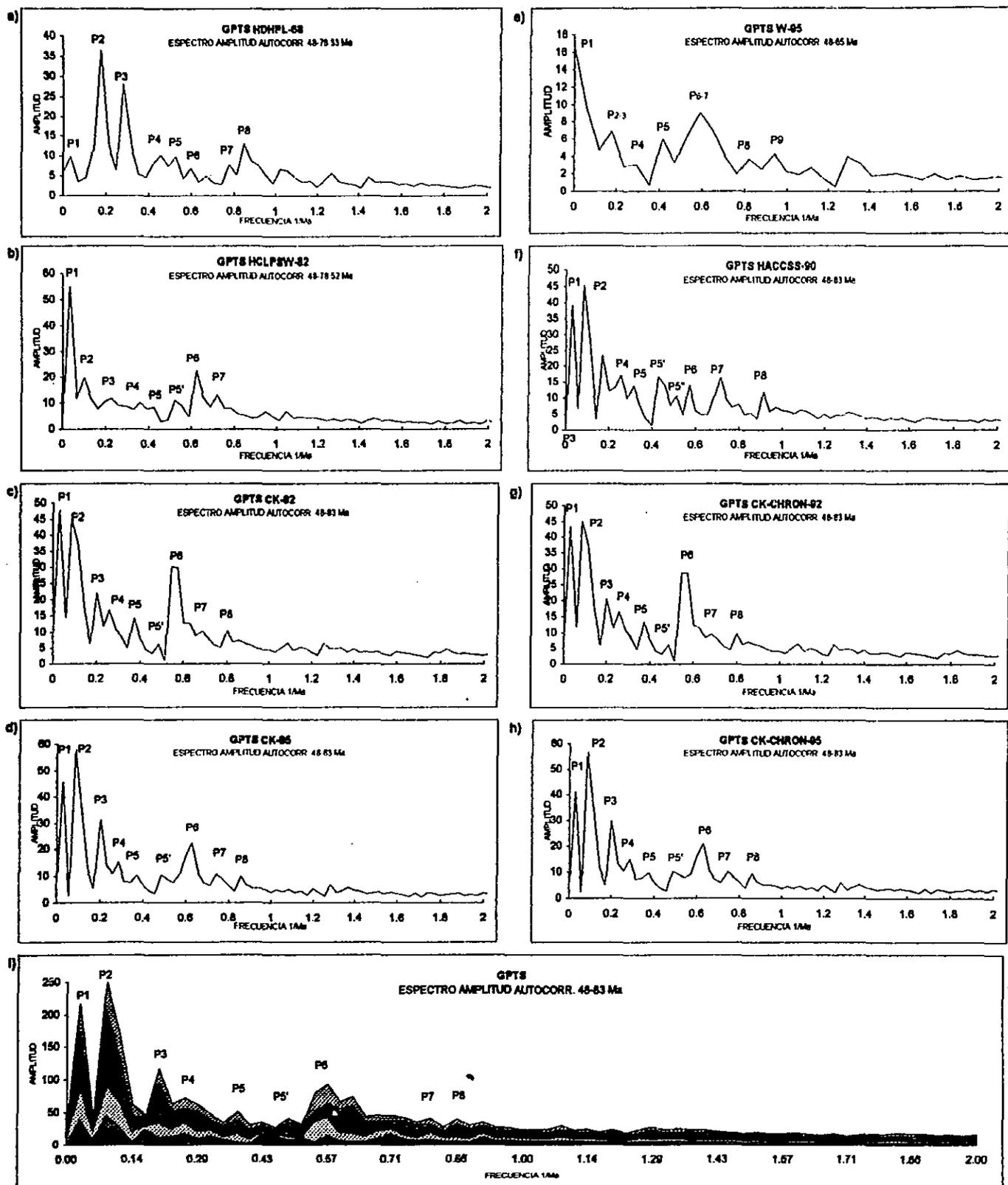


Figura 3.34. En esta figura se muestra el espectro de amplitud de la función de autocorrelación para las diferentes GPTS de los 48 Ma hacia atrás dependiendo de la GPTS, se puede observar que existen varios picos sobresalientes en la frecuencia.

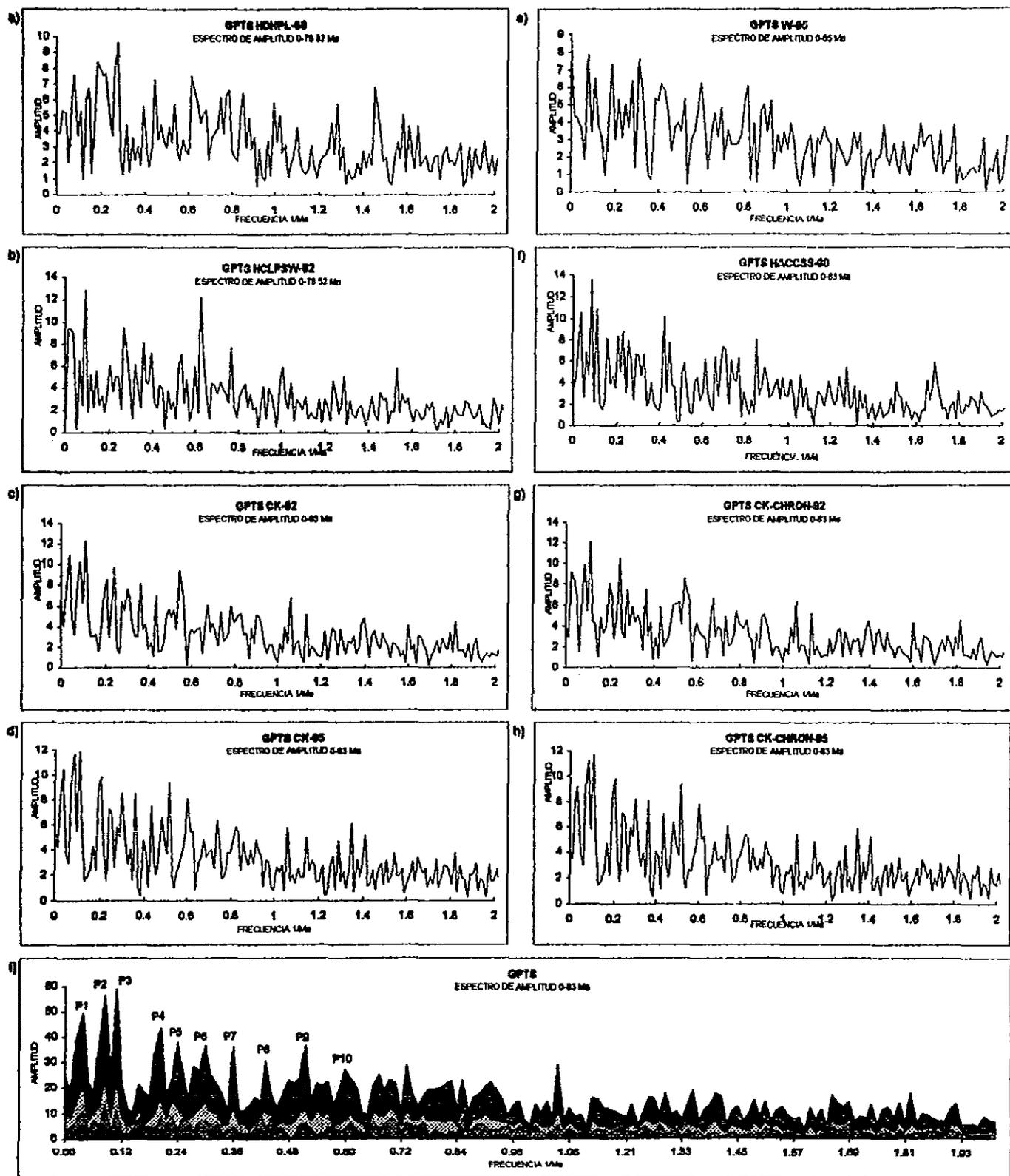


Figura 3.35. Aquí se muestra el espectro de amplitud de las diferentes GPTS para toda la GPTS. Se pueden apreciar varios picos sobresalientes en la frecuencia, los que se ven mejor definidos en la figura 3.35i.

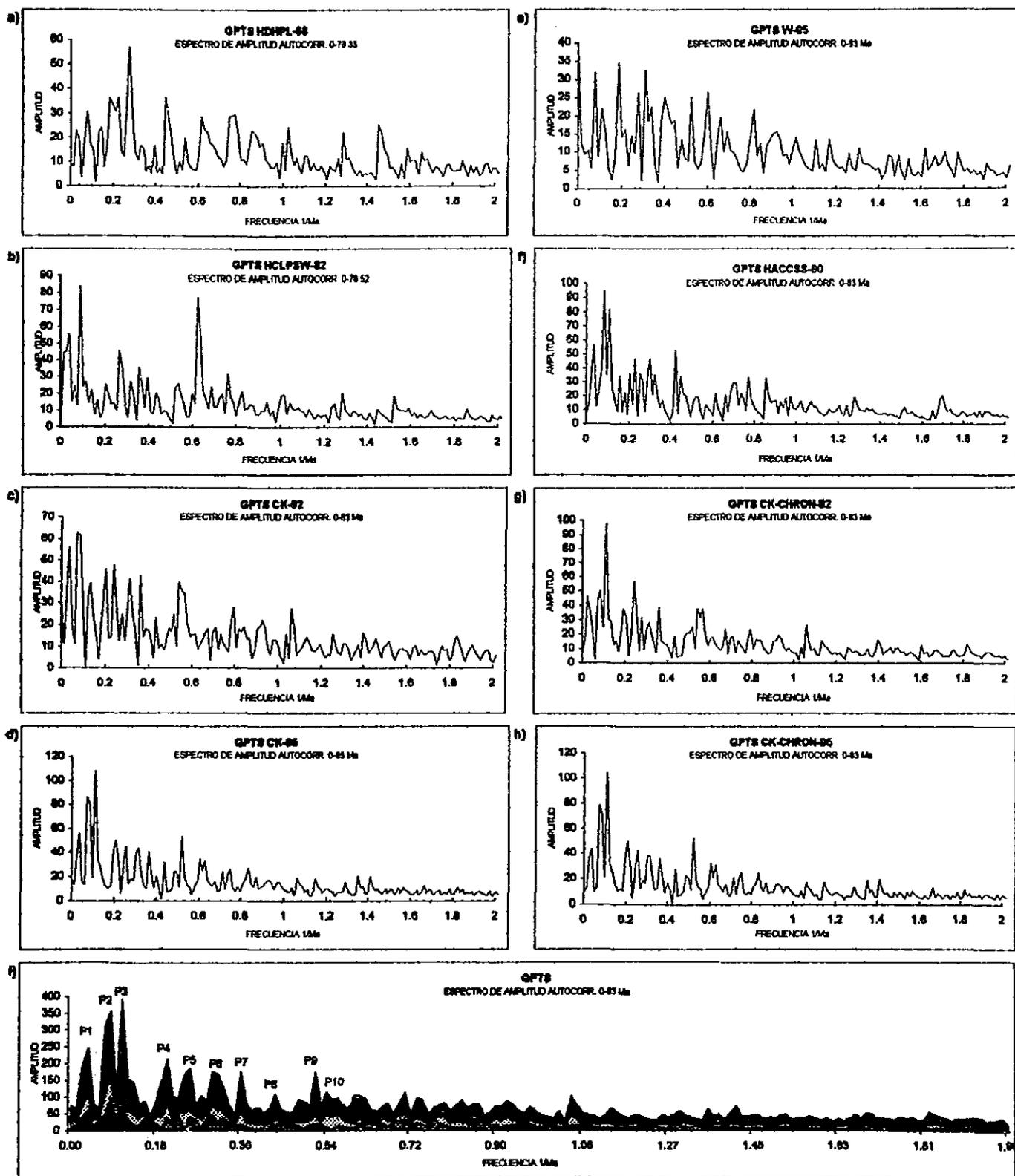


Figura 3.36. En esta figura se muestra el espectro de amplitud de la función de autocorrelación para las diferentes GPTS toda el intervalo. Se puede observar que existen varios picos sobresalientes en la frecuencia, los que se ven mejor definidos en la figura 3.36i en la cual se muestran sólo las GPTS definidas de 0 a 83 Ma.

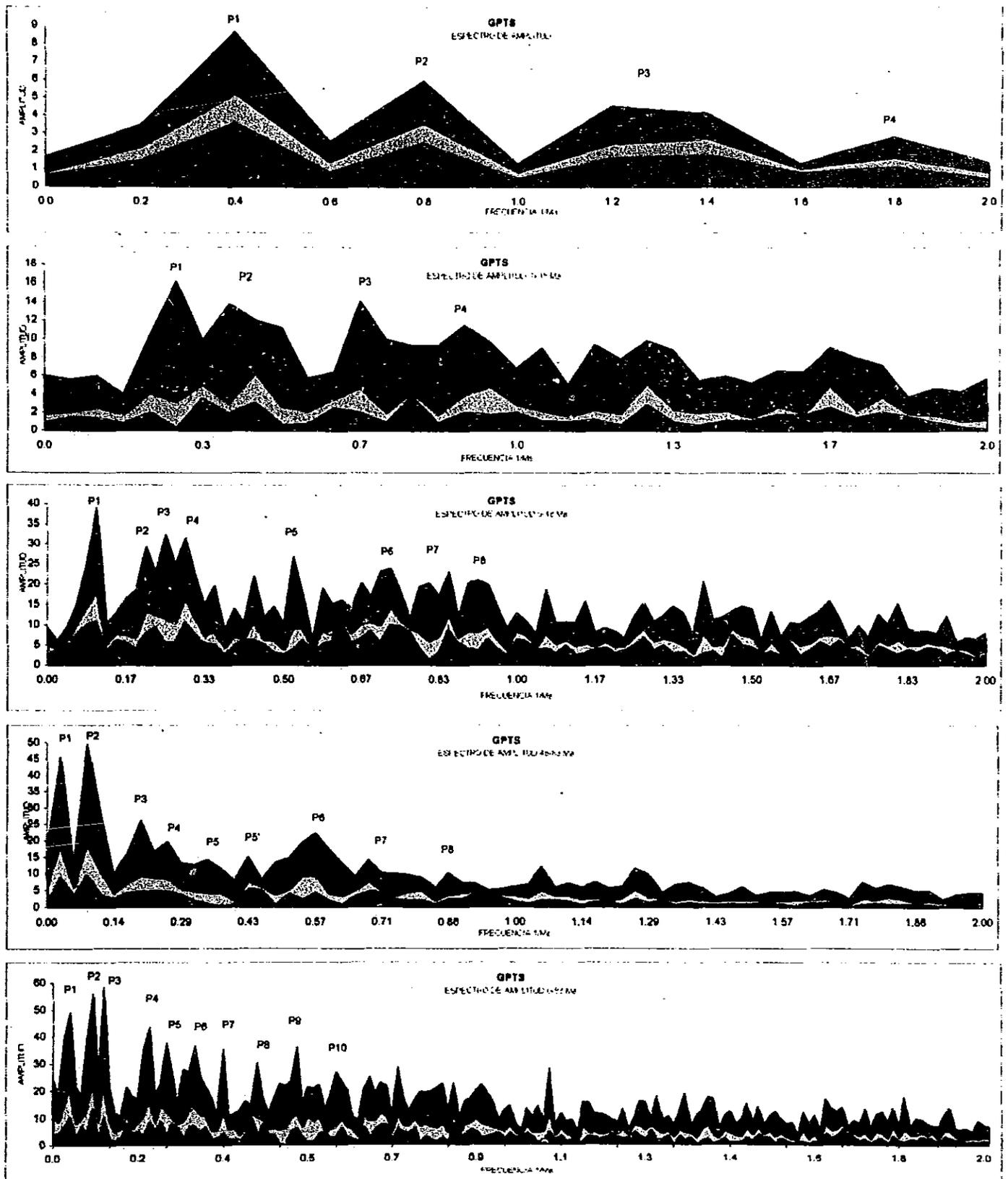


Figura 3.37. Se presentan las graficas comparativas de los espectros de amplitud de las GPTS para los diferentes intervalos o segmentos de la GPTS.

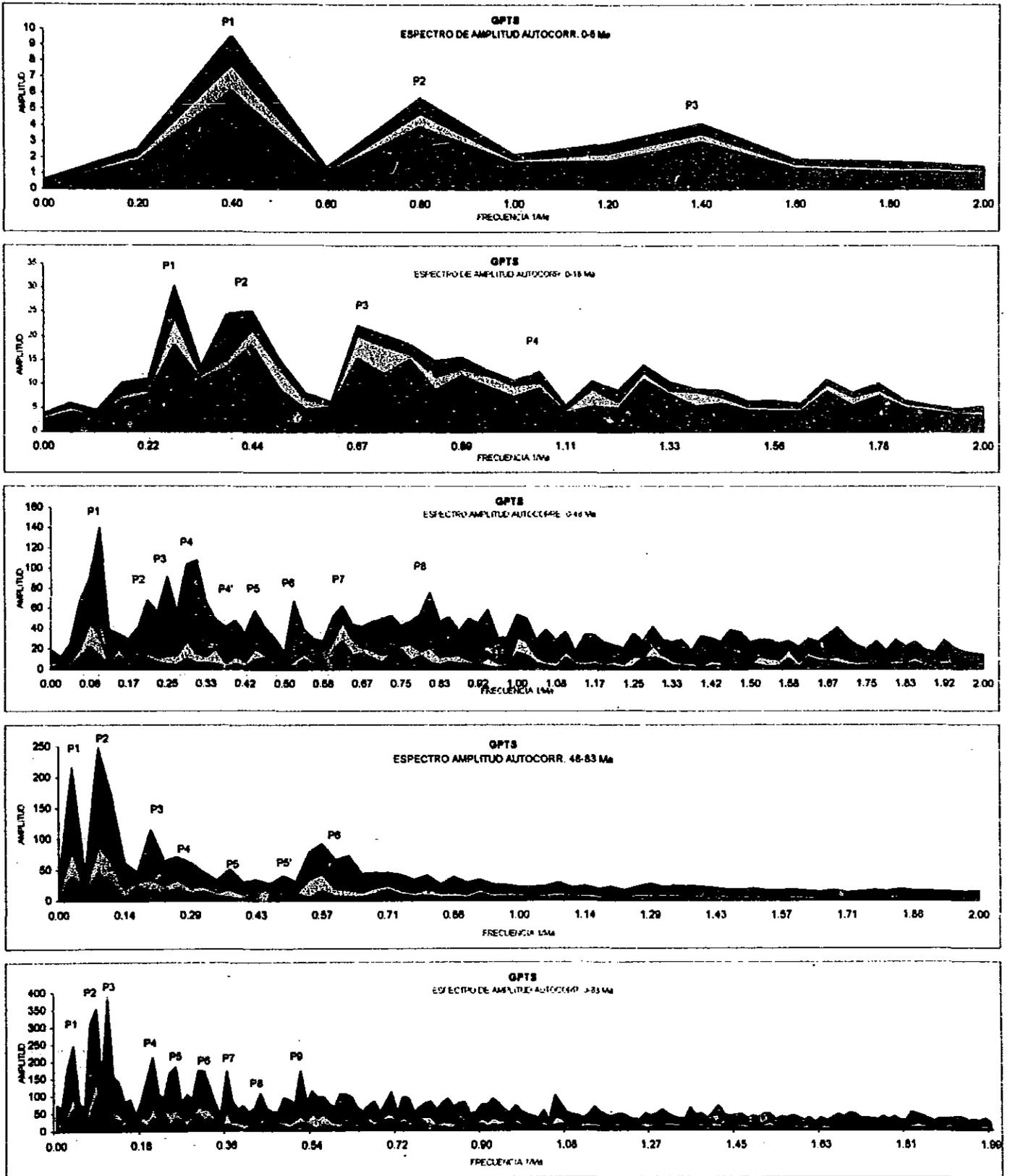


Figura 3.38. Se presenta el espectro de amplitud de la autocorrelación y la relación que existe en la frecuencia de los diferentes segmentos de las GPTS.

## 3.4 DIMENSIÓN FRACTAL.

En esta sección se obtuvo la dimensión fractal de los diferentes intervalos o segmentos de la GPTS en donde *la pendiente de la recta de ajuste representa el valor de  $\beta$  según lo visto en la sección 2.4.*

### 3.4.1 DIMENSIÓN FRACTAL DE LAS GPTS.

#### 3.4.1.1 Dimensión fractal de la GPTS HDHPL-68.

La dimensión fractal para esta GPTS es de  $D=1.72$  ( $\beta=1.55$ ), y para los diferentes segmentos  $D=1.66$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.71$  de 0 a 18 Ma;  $D=1.69$  de 0 a 48 Ma; y de  $D=1.56$  de 48 a 76.33 Ma. Observándose que la dimensión fractal disminuye para el intervalo de 48 a 76.33 Ma (figuras 3.39a, 3.40a, 3.41a, 3.42a, 3.43a, tabla 3.50).

#### 3.4.1.2 Dimensión fractal de la GPTS HCLPSW-82.

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.77$  ( $\beta=1.46$ ), y para los diferentes segmentos de esta escala  $D=1.82$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.83$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.81$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.71$  de 48 a 78.52 Ma. Observándose que la dimensión fractal disminuye para la parte más antigua de la GPTS (ver figuras 3.39b, 3.40b, 3.41b, 3.42b, y 3.43b, tabla 3.50).

#### 3.4.1.3 Dimensión fractal de la GPTS HACCSS-90.

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.75$  ( $\beta=1.49$ ) y para los diferentes segmentos de esta escala  $D=1.70$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.76$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.71$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.58$  de 48 a 83 Ma. Observándose que la dimensión fractal disminuye para la parte más antigua de la GPTS (ver figuras 3.39f, 3.40f, 3.41f, 3.42f, y 3.43f).

#### 3.4.1.4 Dimensión fractal de la GPTS CK-92.

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.75$  ( $\beta=1.51$ ) y para los diferentes segmentos  $D=1.70$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.78$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.71$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.59$  de 48 a 83 Ma. Se puede observar que

la dimensión fractal aumenta cuando se toma el intervalo de 0 a 18 Ma, y disminuye para la parte mas antigua de la escala (ver figuras 3.39c, 3.40c, 3.41c, 3.42c, y 3.43c, tabla 3.50).

#### **3.4.1.5 Dimensión fractal de la GPTS CK-CHRON-92.**

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.87$  ( $\beta=1.26$ ) y para los diferentes segmentos de  $D=1.74$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.83$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.79$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.76$  de 48 a 83 Ma. Se observa una variación en la dimensión fractal que va de 1.74 a 1.83 para los diferentes segmentos o intervalos de la GPTS (ver figuras 3.39g, 3.40g, 3.41g, 3.42g, y 3.43g, tabla 3.50).

#### **3.4.1.6 Dimensión fractal de la GPTS CK-95.**

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.74$  ( $\beta=1.52$ ) y para los diferentes segmentos  $D=1.70$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.78$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.71$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.57$  de 48 a 83 Ma. Se observa que la dimensión fractal va de 1.7 a 1.78 para los primeros tres segmentos, disminuyendo su valor cuando se toma la GPTS de 48 a 83 Ma (ver figuras 3.39d, 3.40d, 3.41d, 3.42d, y 3.43d, tabla 3.50).

#### **3.4.1.7 Dimensión fractal de la GPTS CK-CHRON-95.**

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.86$  ( $\beta=1.28$ ) y para los diferentes segmentos  $D=1.78$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.83$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.78$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.74$  de 48 a 83 Ma. Se observa que la dimensión fractal aumenta para el segmento que va de 0-18 Ma y disminuye para cuando es mayor de 48 Ma (ver figuras 3.39h, 3.40h, 3.41h, 3.42h, y 3.43h, tabla 3.50).

#### **3.4.1.8 Dimensión fractal de la GPTS W-95.**

La dimensión fractal para esta GPTS es  $D=1.77$  ( $\beta=1.46$ ) y para los diferentes segmentos  $D=1.70$  de 0 a 5 Ma;  $D=1.74$  de 0 a 18 Ma,  $D=1.73$  de 0 a 48 Ma, y  $D=1.61$  de 48 a 83 Ma. Se observa que la dimensión disminuye para el segmento de 48 a 65 Ma (ver figuras 3.39e, 3.40e, 3.41e, 3.42e, y 3.43e, tabla 3.50).

#### **3.4.1.9 Dimensión fractal de la GPTS B-94.**

Para esta GPTS sólo se obtuvo la dimensión fractal para los segmentos de 0 a 5 Ma con  $D=1.72$  Ma y de 0 a 18 Ma con  $D=1.76$ .

### 3.4.2 ESCALAS COMPARADAS.

#### 3.4.2.1 Intervalo de 0 a 5 Ma.

En la figura 3.39 se puede observar que excepto para la GPTS HDHPL-68, la HCLPSW-82, y las GPTS donde se incluyen los subchrons, el valor de  $\beta$  (ver tabla 3.42) es muy similar encontrándose entre  $1.56 < \beta < 1.62$  y donde la dimensión fractal de encuentra entre  $1.69 < D < 1.72$  para las GPTS CK-92, CK-95, B-94, W-95 y HACCSS-90. Se debe hacer notar también que al introducir los subchrons en las GPTS CK-92 y CK-95, para obtener las GPTS que denominamos CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95,  $D$  aumenta a 1.74 y 1.78 respectivamente (lo que es lógico si se considera que es mucho más nutrida la serie).

#### 3.4.2.2. Intervalo de 0 a 18 Ma.

En la figura 3.40 se puede observar que el valor de  $\beta$  varia para todas la GPTS de  $1.33 < \beta < 1.57$  que corresponde a una dimensión fractal de entre  $1.71 < D < 1.83$ . Sin embargo para las GPTS CK-92, CK-95, B-94, W-95 y HACCSS-90, se encuentran en valores mas cercanos de entre  $1.43 < \beta < 1.51$  que corresponden a valores de  $1.74 < D < 1.79$ .

#### 3.4.2.3. Intervalo de 0 a 48 Ma.

En la figura 3.41 se puede observar que el valor de  $\beta$  varia para todas las GPTS de  $1.38 < \beta < 1.61$  que corresponde a una dimensión fractal de entre  $1.69 < D < 1.81$  cuyos valores extremos corresponden a las GPTS HDHPL-68 y HCLPSW-82. Sin embargo para las GPTS CK-92, CK-95, B-94, W-95 y HACCSS-90, se encuentran en valores mas cercanos de entre  $1.54 < \beta < 1.58$  donde  $1.70 < D < 1.72$ .

#### 3.4.2.4 Intervalo de 48 a 83 Ma.

En la figura 3.42 se puede observar que el valor de  $\beta$  varia para todas las GPTS de  $1.52 < \beta < 1.88$  que representa una dimensión fractal variando de  $1.55 < D < 1.74$  siendo estos valores extremos correspondientes a las GPTS CK-CHRON-95 y HDHPL-68. Sin embargo para las GPTS CK-92, CK-95, B-94, W-95 y HACCSS-90, se encuentran en valores mas cercanos de entre  $1.78 < \beta < 1.83$  donde  $1.58 < D < 1.61$ .

### 3.4.2.5 Intervalo de 0 a 83 Ma.

En la figura 3.43 se puede observar que el valor de  $\beta$  varia de entre  $1.26 < \beta < 1.55$  que corresponden a las CK-CHRON-92 y HDHPL-68 encontrándose que para las GPTS HACCSS-90 ( $\beta=1.49$ ,  $D=1.75$ ); CK-92 ( $\beta=1.51$ ,  $D=1.75$ ); CK-95 ( $\beta=1.52$ ,  $D=1.74$ ); se tienen valores muy similares mientras que las CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 tienen valores de dimensión fractal de  $D=1.87$  y  $D=1.86$  respectivamente, y las HCLPSW-82 y W-95 presentan valores similares de 1.77.

Tabla 3.42

$D = (5-\beta)/2$	0-5 Ma	0-18 Ma	0-48 Ma	48-X Ma	0-83 Ma
<b>HDHPL-68</b>	D=1.659 $\beta=1.683$	D=1.715 $\beta=1.571$	D=1.693 $\beta=1.615$	D=1.556 $\beta=1.888$	D=1.724 $\beta=1.552$
<b>HCLPSW-82</b>	D=1.820 $\beta=1.359$	D=1.833 $\beta=1.334$	D=1.812 $\beta=1.376$	D=1.713 $\beta=1.573$	D=1.768 $\beta=1.463$
<b>HACCSS-90</b>	D=1.692 $\beta=1.616$	D=1.762 $\beta=1.477$	D=1.708 $\beta=1.584$	D=1.585 $\beta=1.831$	D=1.755 $\beta=1.491$
<b>CK-92</b>	D=1.703 $\beta=1.593$	D=1.779 $\beta=1.440$	D=1.713 $\beta=1.573$	D=1.590 $\beta=1.819$	D=1.746 $\beta=1.508$
<b>CK-CHRON-92</b>	D=1.741 $\beta=1.517$	D=1.826 $\beta=1.348$	D=1.794 $\beta=1.412$	D=1.756 $\beta=1.487$	D=1.868 $\beta=1.264$
<b>CK-95</b>	D=1.705 $\beta=1.590$	D=1.787 $\beta=1.426$	D=1.709 $\beta=1.581$	D=1.569 $\beta=1.862$	D=1.739 $\beta=1.521$
<b>CK-CHRON-95</b>	D=1.785 $\beta=1.429$	D=1.836 $\beta=1.3281$	D=1.777 $\beta=1.445$	D=1.739 $\beta=1.521$	D=1.859 $\beta=1.282$
<b>W-95</b>	D=1.705 $\beta=1.590$	D=1.744 $\beta=1.511$	D=1.729 $\beta=1.540$	D=1.607 $\beta=1.785$	D=1.769 $\beta=1.461$
<b>B-94</b>	D=1.717 $\beta=1.566$	D=1.764 $\beta=1.472$			

Concluyendo, los valores de dimensión fractal  $D$  considerando la GPTS completa van de  $1.72 < D < 1.77$  para todas las GPTS excepto las CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 donde  $D=1.86$ . En la tabla 3.50 se presentan los valores de  $\beta$  y  $D$  para las GPTS y sus segmentos. Como se vio en la sección 2.4.3 en términos generales  $0.5 < \beta < 1.5$  para el denominado *ruido-1/f* que es uno de los ruidos más

comúnmente encontrados en la naturaleza y se puede observar que los valores encontrados de  $\beta$  en este trabajo para todas las GPTS fluctúan entre  $1.28 < \beta < 1.55$  lo que nos indica un comportamiento intermedio entre una señal aleatoria y una predecible y en donde un fractal (para este caso en tiempo) refleja en su parte más pequeña la total.

En la tabla 3.50 también se puede observar que tomando las escalas por segmentos de 0-5 Ma, de 0-18 Ma, de 0-48 Ma y de 0-83 Ma, se tienen valores muy similares que varían dependiendo de la GPTS en 1 o 2 décimas cuando mucho el valor de la dimensión fractal, lo que nos indica un comportamiento similar de *self-affine*.

### 3.4.3 ATRACTORES

Se gráfica la distancia de cada punto contra la de su sucesor en el tiempo.

Para observar si la GPTS presentaba un comportamiento de tipo-atractor se obtuvieron los diagramas de fase graficando la longitud del primer chron normal vs el primer chron reverso, y así sucesivamente para cada una de las GPTS. En todos ellos se puede observar un desplazamiento alrededor de un punto en un área relativamente restringida. Por lo que se puede considerar que el campo magnético tiene un comportamiento tipo atractor. (Figura 3.44).

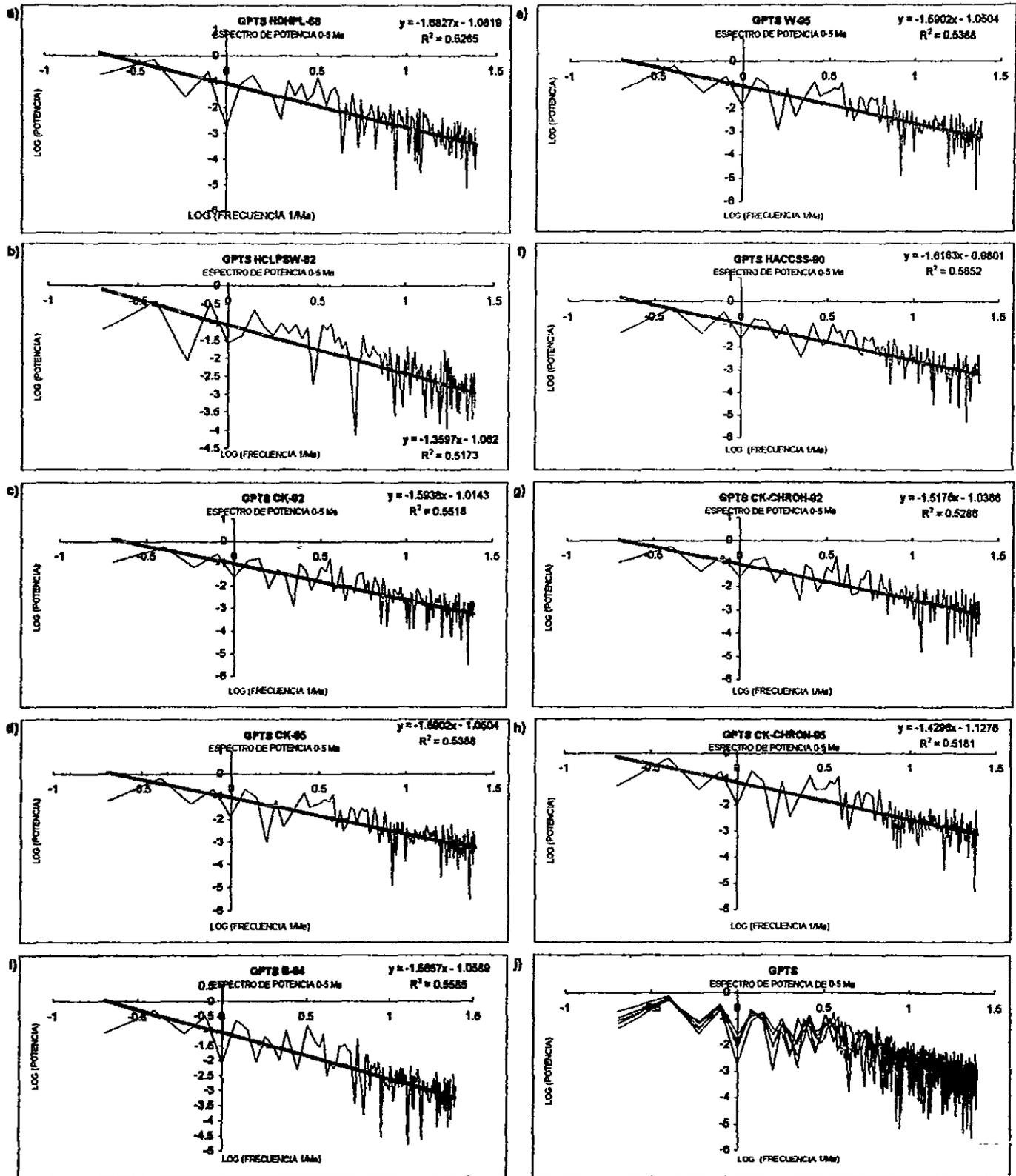


Figura 3.39. Se presenta el espectro de potencia de la diferentes GPTS para el intervalo de 0 a 5 Ma. La pendiente de la curva de ajuste representa el valor de  $\beta$  para este segmento.

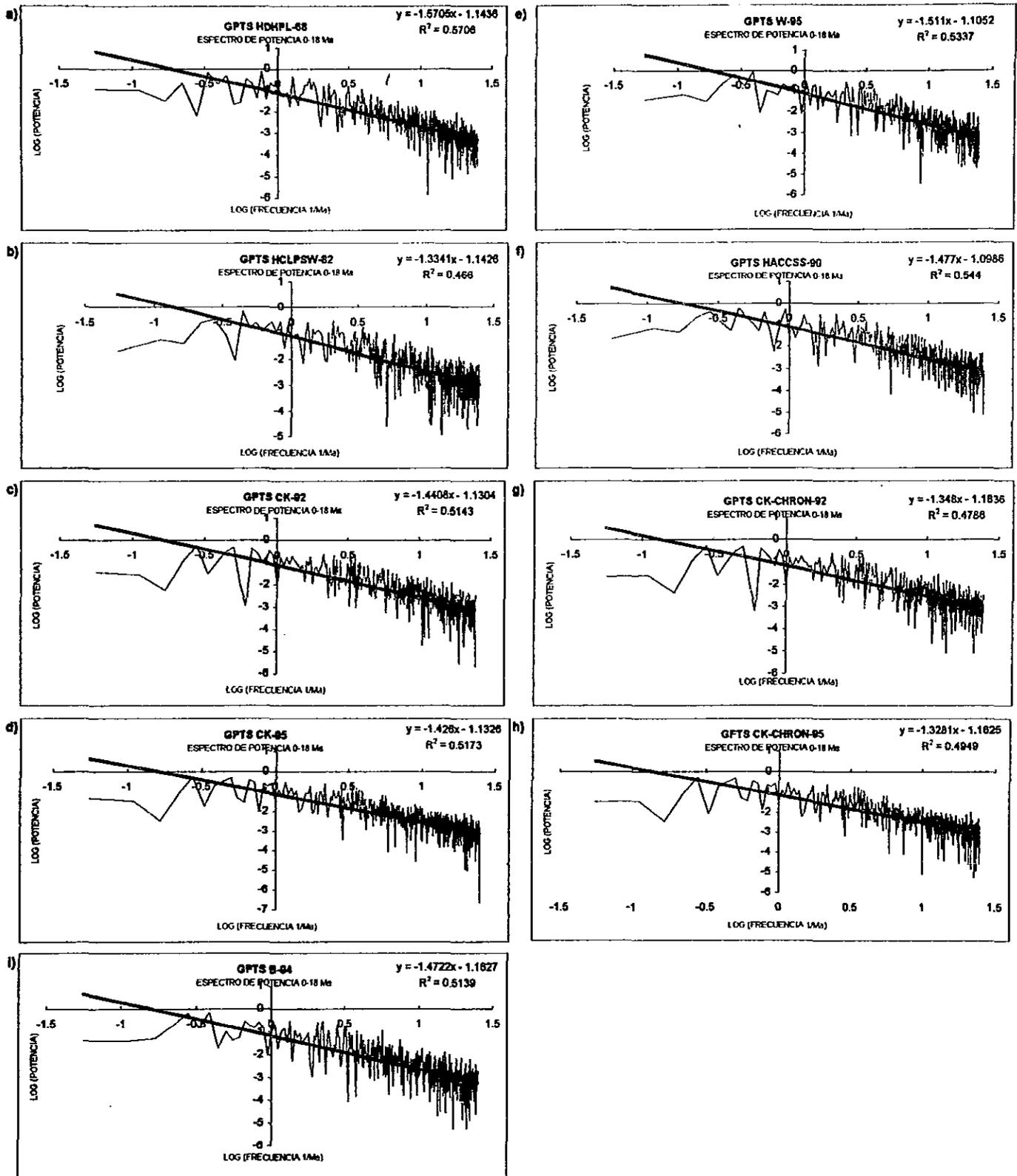


Figura 3.40. Se presenta el espectro de potencia de las diferentes GPTS para el intervalo de 0 a 18 Ma. La pendiente de la curva de ajuste representa el valor de  $\beta$  para este segmento.

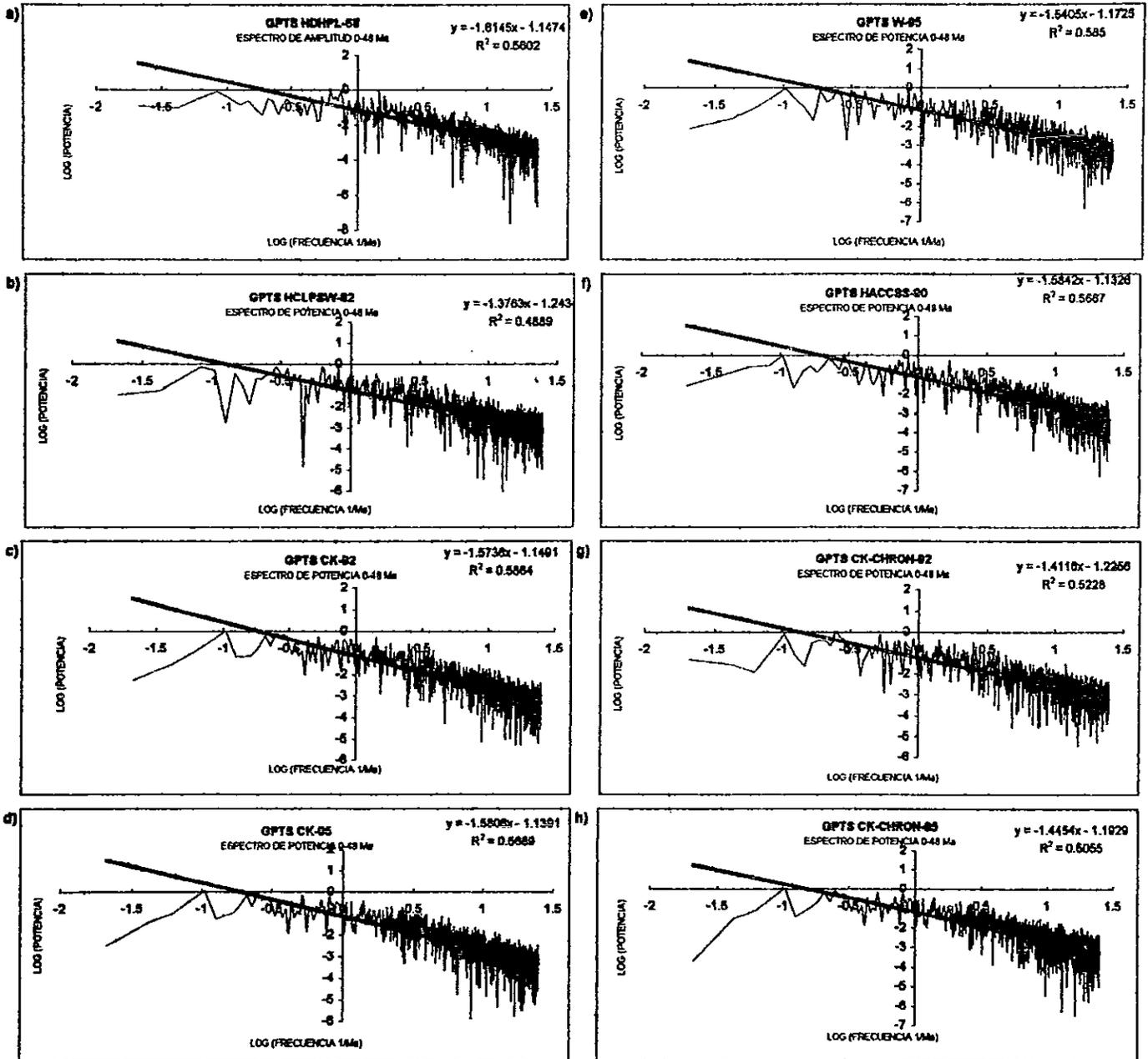


Figura 3.41. Se presenta el espectro de potencia de las diferentes GPTS para el intervalo de 0 a 48 Ma. La pendiente de la curva de ajuste representa el valor de  $\beta$  para este segmento.

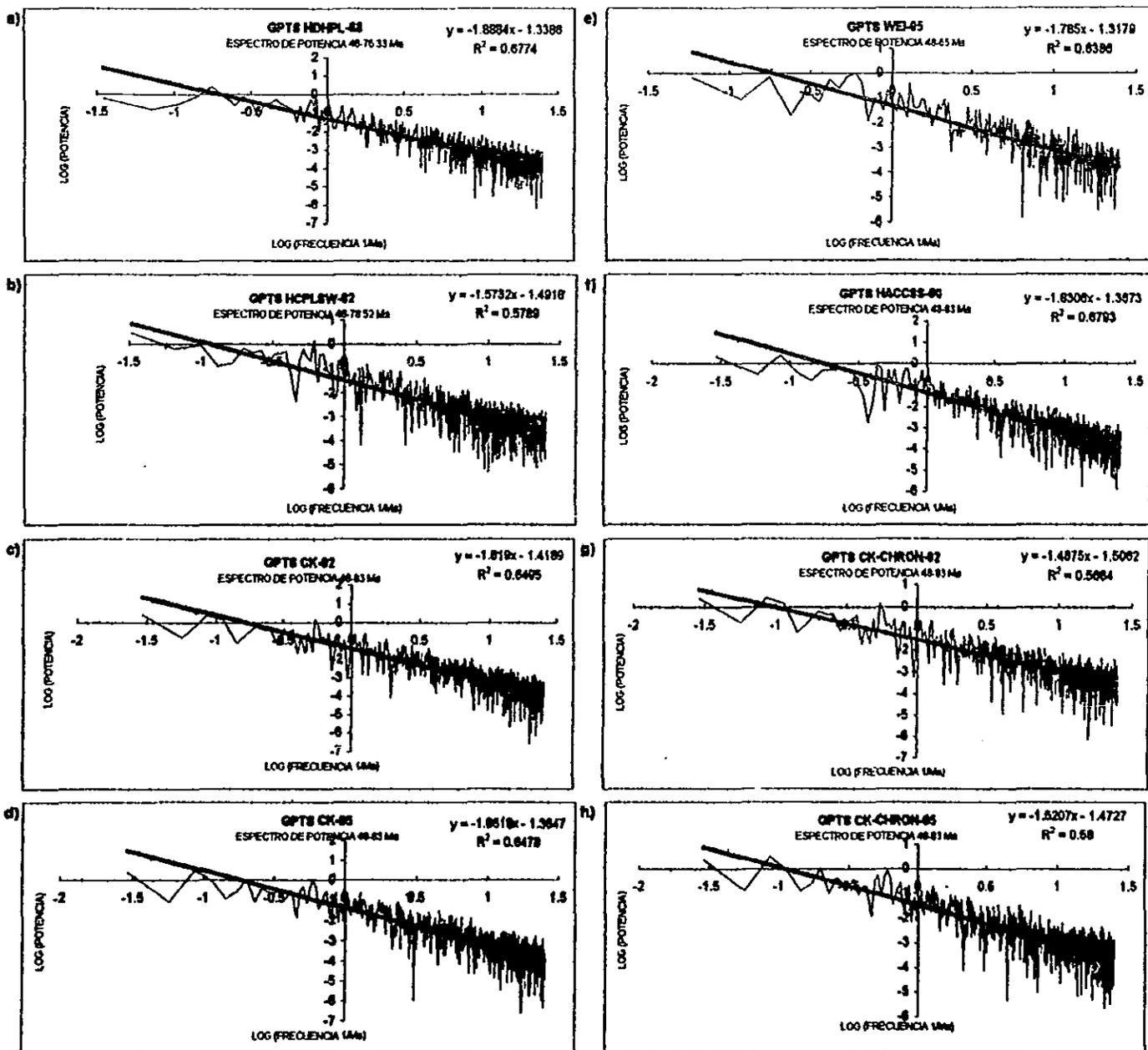


Figura 3.42. Se presenta el espectro de potencia de la diferentes GPTS para el intervalo de 48 a 83 Ma (o el correspondiente valor según la GPTS). La pendiente de la curva de ajuste representa el valor de  $\beta$  para este segmento.

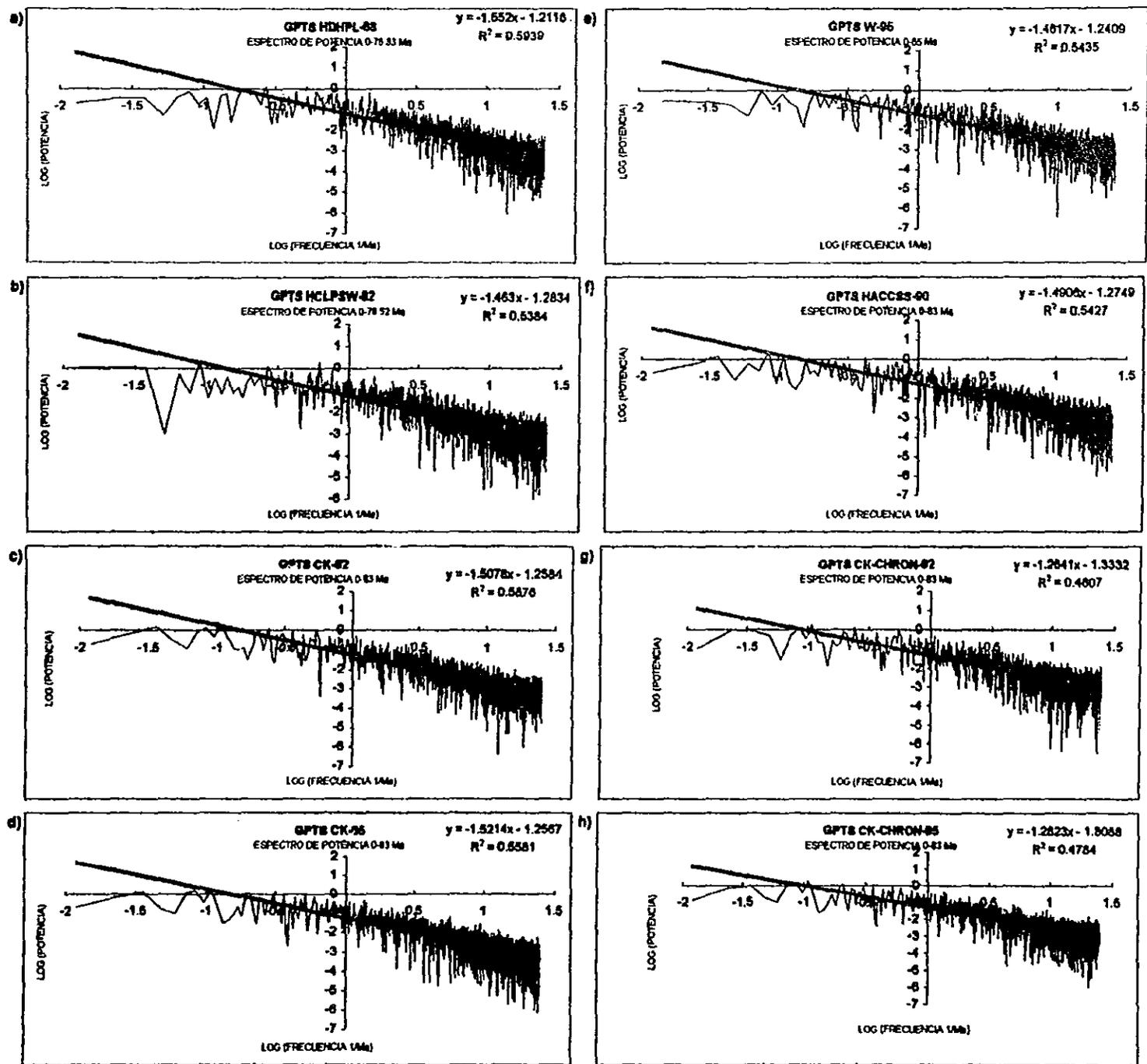


Figura 3.43. Se presenta el espectro de potencia de la diferentes GPTS para el intervalo o segmento de 0 a 83 Ma (o el correspondiente valor según la GPTS). La pendiente de la curva de ajuste representa el valor de  $\beta$  para este segmento.

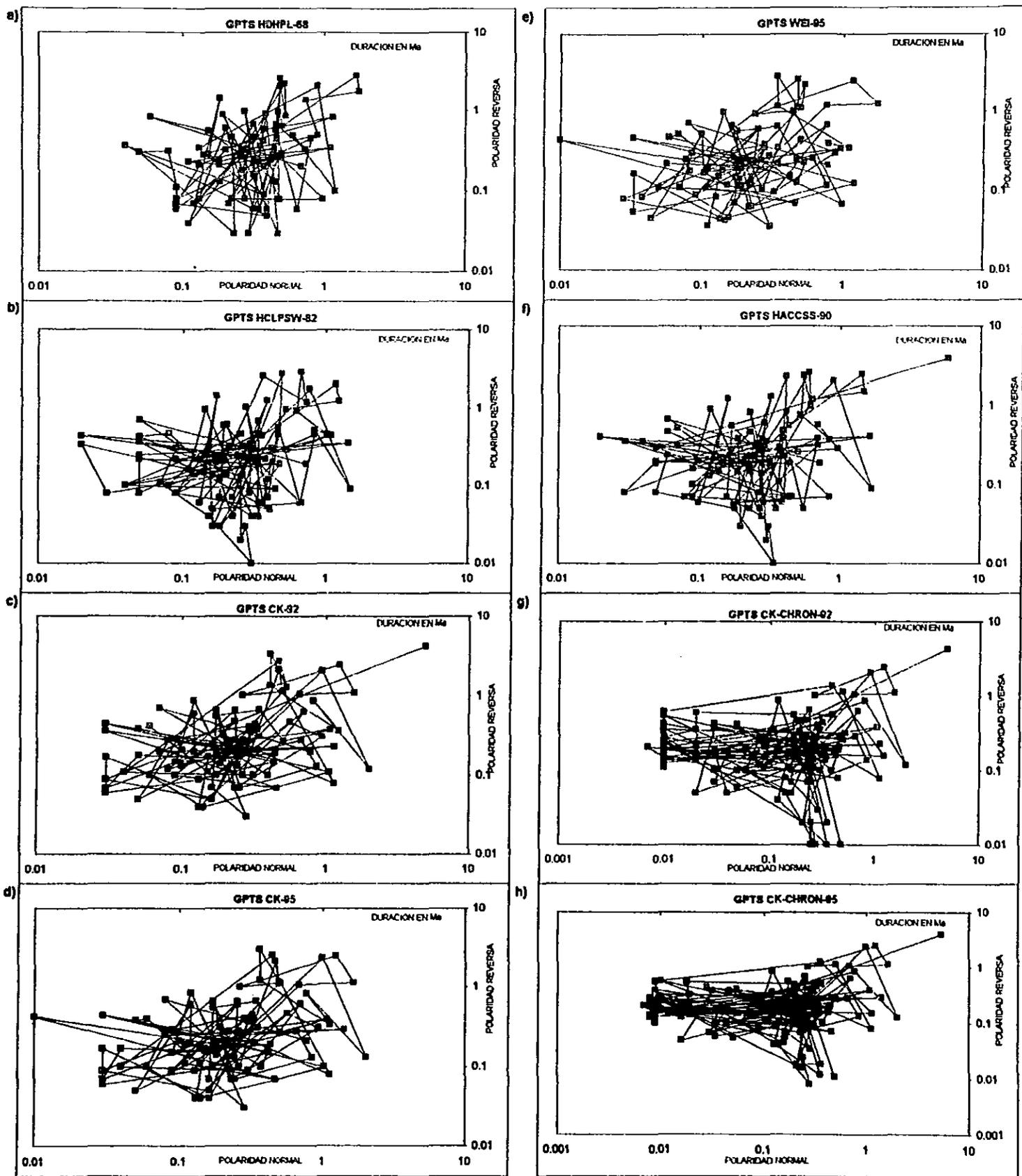


Figura 3.44. Se presenta el diagrama de fase de las diferentes GPTS, el cual fue construido graficando pares ordenados de los chron normales vs los chron reversos.

### 3.5 ANÁLISIS DE MARKOV DE LAS GPTS.

En esta parte de nuestra investigación realizamos el análisis utilizando cadenas de Markov según lo señalado en la sección 2.5. Se obtuvo la matriz de frecuencia de transición, la matriz de transición esperada, y se realizó la prueba  $\chi^2$  para determinar la dependencia o independencia de la secuencia de la GPTS, para cadenas de Markov de primer orden.

Así mismo se obtuvo la matriz de transición de orden  $n$  para tratar de determinar en que punto se obtiene un estado estable en la matriz de transición. Una vez obtenidos estos datos de cada GPTS se generó la señal sintética para algunas GPTS basados en su matriz de transición.

#### 3.5.1 GPTS HDHPL-68.

##### MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN

1720.000	85.000
85.000	1923.000

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1805

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2008

TOTAL DE EVENTOS= 3813

##### MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)

0.953	0.047
0.042	0.958

##### VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL

0.473
0.527

##### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA

0.473	0.527
0.473	0.527

##### MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA

854.452	950.548
950.548	1057.452

VALOR DE Xi CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3161.557

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2**

0.9100	0.0900
0.0809	0.9191

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4**

0.8354	0.1646
0.1479	0.8521

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.7223	0.2777
0.2496	0.7504

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5910	0.4090
0.3676	0.6324

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.4997	0.5003
0.4498	0.5502

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4747	0.5253
0.4722	0.5278

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4734	0.5266
0.4734	0.5266

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4734	0.5266
0.4734	0.5266

**3.5.2 GPTS HCLPSW-82****MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1856.000	97.000
97.000	1876.000

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1953**

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 1973**

**TOTAL DE EVENTOS= 3926**

**MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)**

0.950	0.050
0.049	0.951

**VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL**

0.497
0.503

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA**

0.497 0.503

0.497 0.503

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA**

971.526 981.475

981.475 991.526

**VALOR DE XI CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3188.327**

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2**

0.9056 0.0944

0.0935 0.9065

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4**

0.8289 0.1711

0.1694 0.8306

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.7160 0.2840

0.2811 0.7189

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5925 0.4075

0.4033 0.5967

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.5154 0.4846

0.4796 0.5204

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4981 0.5019

0.4968 0.5032

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4975 0.5025

0.4975 0.5025

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4975 0.5026

0.4975 0.5026

**3.5.3 GPTS HACCSS-90**

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1888.000 97.000

97.000 2068.000

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1985**

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2165

TOTAL DE EVENTOS= 4150

MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)

0.951 0.049  
0.045 0.955

VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL

0.478  
0.522

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA

0.478 0.522  
0.478 0.522

MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA

949.452 1035.548  
1035.548 1129.452

VALOR DE XI CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3408.95

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2

0.9068 0.0932  
0.0854 0.9146

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4

0.8303 0.1697  
0.1556 0.8444

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8

0.7158 0.2842  
0.2605 0.7395

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16

0.5865 0.4135  
0.3792 0.6208

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32

0.5007 0.4993  
0.4578 0.5422

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64

0.4793 0.5207  
0.4774 0.5226

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128

0.4783 0.5217  
0.4783 0.5217

MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256

0.4783 0.5217  
0.4783 0.5217

### 3.5.4 GPTS CK-92

#### MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN

1809.000	92.000
91.000	2158.000

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1901

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2249

TOTAL DE EVENTOS= 4150

#### MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)

0.952	0.048
0.040	0.960

#### VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL

0.458
0.542

#### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA

0.458	0.542
0.458	0.542

#### MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA

870.795	1030.205
1030.205	1218.795

VALOR DE XI CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3445.247

#### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2

0.9075	0.0925
0.0773	0.9227

#### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4

0.8307	0.1693
0.1415	0.8585

#### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8

0.7141	0.2859
0.2391	0.7609

#### MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16

0.5782	0.4218
--------	--------

0.4322 0.5678

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4568 0.5432

0.4542 0.5458

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4554 0.5446

0.4554 0.5446

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4554 0.5446

0.4554 0.5446

### **3.5.5 CK-CHRON-92**

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1831.000 146.000

145.000 2028.000

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1977**

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2173**

**TOTAL DE EVENTOS= 4150**

**MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)**

0.926 0.074

0.067 0.933

**VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL**

0.476

0.524

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA**

0.476 0.524

0.476 0.524

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA**

941.814 1035.186

1035.186 1137.814

**VALOR DE XI CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3065.222**

0.7613 0.2387  
0.2157 0.7843

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.6310 0.3690  
0.3334 0.6666

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5212 0.4788  
0.4326 0.5674

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.4788 0.5212  
0.4709 0.5291

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4747 0.5253  
0.4746 0.5254

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4747 0.5253  
0.4747 0.5253

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4747 0.5253  
0.4747 0.5253

### **3.5.6 GPTS CK-95**

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1839.000 92.000  
91.000 2128.000

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1931**

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2219**

**TOTAL DE EVENTOS= 4150**

**MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)**

0.952 0.048  
0.041 0.959

**VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL**

0.465  
0.535

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA**

0.465 0.535

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA**

898.497	1032.503
1032.503	1186.497

**VALOR DE XI CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3446.796**

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2**

0.9089	0.0911
0.0784	0.9216

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4**

0.8333	0.1667
0.1435	0.8565

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.7183	0.2817
0.2425	0.7575

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5843	0.4157
0.3578	0.6422

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.4901	0.5099
0.4389	0.5611

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4640	0.5360
0.4614	0.5386

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4626	0.5374
0.4626	0.5374

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4626	0.5374
0.4626	0.5374

**3.5.7 GPTS CK-CHRON-95****MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1823.000	146.000
145.000	2036.000

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1969**

**TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 2181**

**MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)**

0.926 0.074  
0.066 0.934

**VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL**

0.474  
0.526

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA**

0.474 0.526  
0.474 0.526

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA**

934.207 1034.792  
1034.792 1146.207

OR DE  $\chi^2$  CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 3064.827

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2**

0.8621 0.1379  
0.1236 0.8764

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4**

0.7603 0.2397  
0.2149 0.7851

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.6296 0.3704  
0.3321 0.6679

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5194 0.4806  
0.4309 0.5691

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.4769 0.5231  
0.4690 0.5310

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4728 0.5272  
0.4727 0.5273

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4727 0.5273  
0.4727 0.5273

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4727 0.5273

**3.5.8 GPTS W-95****MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN**

1327.000	86.000
86.000	1751.000

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 1 = 1413

TOTAL DE EVENTOS EN EL RENGLÓN 2 = 1837

TOTAL DE EVENTOS= 3250

**MATRIZ DE PROBABILIDAD P(i-j)**

0.939	0.061
0.047	0.953

**VECTOR DE PROBABILIDAD MARGINAL**

0.435
0.565

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD ESPERADA**

0.435	0.565
0.435	0.565

**MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICIÓN ESPERADA**

614.329	798.671
798.671	1038.329

VALOR DE  $\chi^2$  CUADRADA DE PRIMER ORDEN= 2587.77

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 2**

0.8848	0.1152
0.0886	0.9114

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 4**

0.7931	0.2069
0.1591	0.8409

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 8**

0.5620	0.3380
0.2600	0.7400

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 16**

0.5261	0.4739
0.3645	0.6355

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 32**

0.4495	0.5505
0.4234	0.5766

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 64**

0.4352 0.5648

0.4345 0.5655

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 128**

0.4348 0.5652

0.4348 0.5652

**MATRIZ DE TRANSICIÓN DE PROBABILIDAD DE ORDEN 256**

0.4348 0.5652

0.4348 0.5652

**3.5.9 SEÑAL SINTÉTICA.**

Una vez generada la matriz de transición se generó una señal sintética con el fin de observar el comportamiento de ésta. Se obtuvo la función de autocorrelación, el espectro de amplitud de la autocorrelación y su dimensión fractal. Ver figura 3.45.

Como se puede observar, la señal sintética tiene el mismo comportamiento que la real, lo que nos indica que la matriz de frecuencia de transición realmente reconstruye a nuestra señal original.

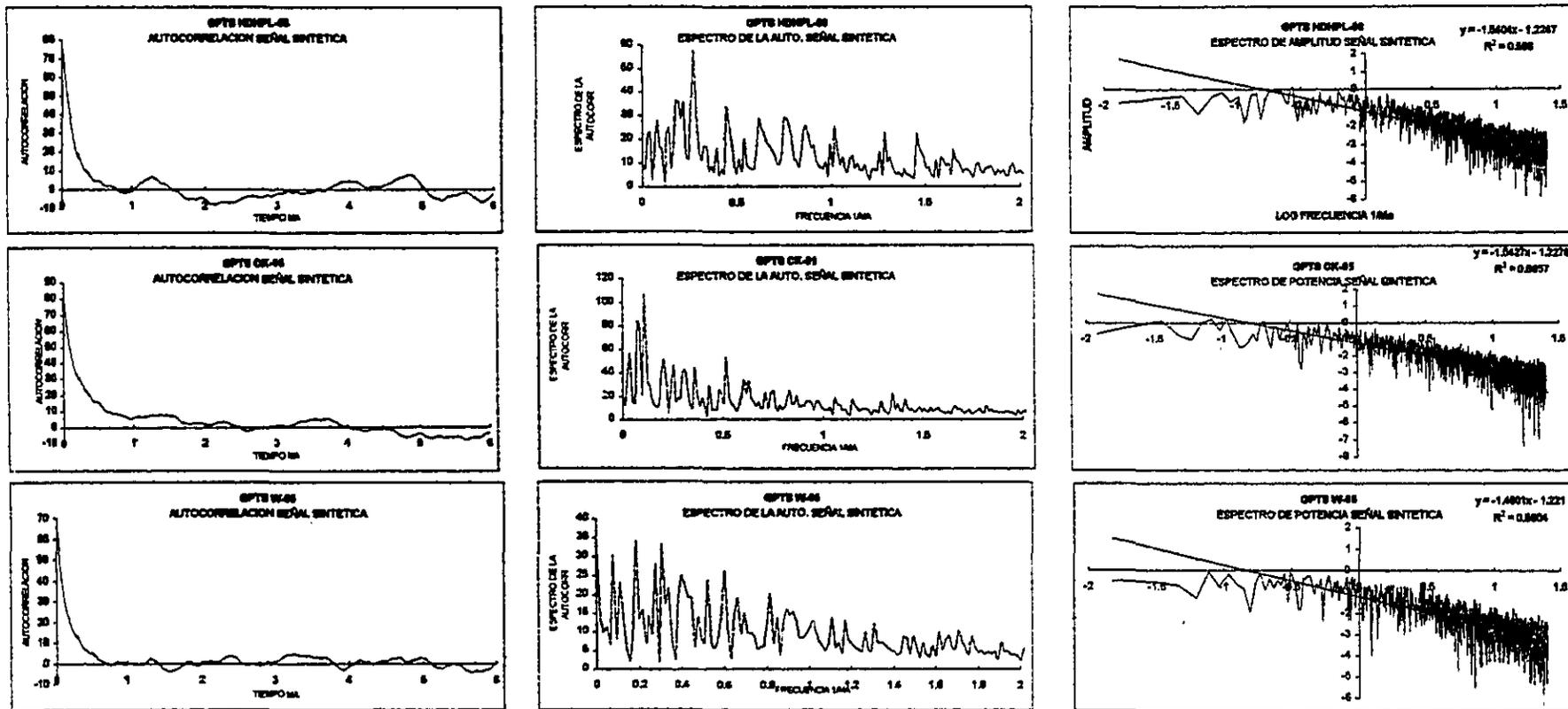


Figura 3.45. Se presenta la función de autocorrelación, el espectro de amplitud de la autocorrelación, y el espectro de amplitud de la señal sintética de donde se determinó la dimensión fractal. Se puede observar que el comportamiento de la GPTS real y de su señal sintética es muy similar.

## **CAPITULO 4**

### **CONCLUSIONES**

En este trabajo se han observado a las GPTS Heirtzler et al., 1968 (HDHPL-68); Harland et al., 1982 (HCLPSW-82); Harland et al., 1990 (HACCSS-90); Cande y Kent 1992 (CK-92); Baksi 1994, (B-94); Cande y Kent 1995 (CK-95); Wei 1995 (W-95); desde diferentes puntos de vista tratando de determinar cuales son los cambios que existen entre ellas, lo que en primera instancia se puede observar en la figura 1.12, y como estos cambios han influido en su comportamiento. Como quedo de manifiesto en la sección 3.1, las líneas de tendencia de las GPTS más recientes (CK-92, CK-95 y W-95) presentan una mayor similitud en el número de chrons de polaridad normal y el número de chrons de polaridad reversa. Esto sugiere que existe una estabilidad en los estados de polaridad normal y los de polaridad reversa, que se ve mejor reflejado en las GPTS más recientes (figura 3.9 y 3.10). También se puede observar una alternancia en el número de chrons con polaridad normal y el número de chrons con polaridad reversa en cada GPTS. Por ejemplo, entre 0 y 0.1 en la GPTS HDHPL-68 el número de casos de chrons con polaridad normal es menor que el número de casos de chrons con polaridad reversa; entre 0.1 y 0.2 el número de casos de chrons con polaridad normal es mayor que el número de casos de chrons con polaridad reversa, etc. (tabla 3.17, figura 3.13) lo que indica una posible estructura estadística subyacente en el comportamiento del campo magnético.

Por otro lado al hacer el análisis de el comportamiento de los chrons anteriores y posteriores a la existencia de un chron largo (figura 3.17) no se pudo determinar ninguna tendencia definida por lo que no parece existir ningún comportamiento específico respecto a la duración de los chrons precedentes o consecuentes a un chron largo, ni con respecto a el número de chrons intermedios entre la aparición de un chron largo y otro. Lo que si se puede observar es que a medida que aumenta la edad la duración de los chrons tiende a ser mayor (figura 3.18).

Con respecto a la dependencia de la GPTS se obtuvo una gráfica de dispersión para cada una de ellas (figura 3.20) encontrando que en las primeras GPTS no parece existir correlación entre el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa de una cierta duración, sin embargo en las GPTS más recientes HACCSS-90, CK-92, CK-95 y W-95, el coeficiente de correlación es mayor que 0.9 con una pendiente de entre 0.96 y 1.02 ( $\approx 1$ ), lo que nos indica que existe un equilibrio en el número de casos de chrons con polaridad normal que tienen una duración entre 0 y 0.1, entre 0.1 y 0.2, entre 0.2 y 0.3, etc.; y el número de casos de chron con polaridad reversa que tienen esta misma duración. Esto quiere decir que más tarde o más temprano, van a existir el mismo número de chrons de polaridad normal y el mismo número de chrons de polaridad reversa que tengan la misma duración (o muy aproximada).

En la sección 3.2 se obtuvo la función de autocorrelación de cada una de las GPTS para determinar la dependencia en la señal. Cuando la autocorrelación se obtiene para el intervalo de 0 a 5 Ma y de 0 a 18 Ma, la señal es independiente para la mayoría de las GPTS (figura 3.21 y 3.22). Cuando se toma la autocorrelación de 0 a 48 Ma y de 48 a 83 Ma (figura 3.23 y 3.24) se tiene un comportamiento dependiente sobre todo en las GPTS más recientes (CK-92, CK-95, W-95). Cuando la autocorrelación se toma para el intervalo de 0 a 83 Ma, las GPTS tienen un comportamiento que indica que existe dependencia en la señal, a excepción de la HDHPL-68. El hecho de que la señal se comporte como independiente para los intervalos de 0 a 5 Ma y de 0 a 18 Ma puede deberse a que la información usada no es suficiente para que quede de manifiesto su dependencia.

En la sección 3.3.6 se puede observar que a pesar de los cambios sufridos en el tiempo, los cuales se muestran en la figura 1.12, las GPTS tienen un comportamiento en la frecuencia muy similar (figura 3.37 y 3.38). Para los últimos 5 Ma e incluso para los últimos 18 Ma estas frecuencias son aun más similares lo que es de esperarse pues es en este intervalo de tiempo en donde se han hecho menos cambios en la GPTS. Sin embargo, si se observa la tabla 1.1 se comprenderá que las únicas GPTS que no tienen cambios una con respecto a la otra en los últimos 5 Ma son la CK-95 y la W-95. Por otro lado, cuando se añaden chrons o subchrons, lo que se hace es alterar la frecuencia de la señal, sin embargo, se puede observar que aún incluyendo los subchrons en la CK-CHRON-92 y CK-CHRON-95 el espectro de amplitudes no varía mucho con respecto a las otras GPTS, lo que es de tomarse en consideración.

Para los siguientes intervalos de las GPTS de 0 a 18 Ma, de 0 a 48 Ma, de 48 a 83 Ma e incluso de 0 a 83 Ma, las GPTS presentan componentes de frecuencia parecidas ya que aunque se encuentren un poco desplazadas unas con respecto a otras tienen comportamientos similares como se puede apreciar en las figuras 3.37 y 3.38 aún con la inclusión de los subchrons CK-CHRON-92 Y CK-CHRON-95. Lo que nos indica que a pesar de los cambios sufridos (desplazamiento en el tiempo en la posición de los chrons e inclusión de subchrons en las GPTS), existen valores de frecuencias representativos en las GPTS que deben ser considerados como tales. De estos primeros análisis se pudo concluir que realmente existe alguna periodicidad en las GPTS (tabla 3.49).

El comportamiento del campo magnético terrestre ha sido considerado por algunos autores como aleatorio mientras que otros lo han considerado como periódico (Negi y Tiwari, 1983; Gaffin, 1989; McFadden, 1984; Naidu 1975; Ulrych y Clayton 1976; Naidu 1971; Merrill y Mcfaden, 1994). En la sección 3.4 se realizó el análisis de la GPTS para obtener la dimensión fractal la cual se encontró de entre  $1.7 < D < 1.8$  para todas las GPTS y se pudo determinar la existencia de un comportamiento fractal del llamado *self-affine* cuya espectro es del tipo *ruido-1/f*, que se presenta en la mayoría de los fenómenos en la naturaleza y que es característico de un fenómeno intermedio que se encuentran entre lo predecible y lo aleatorio (figura 3.43).

En esta sección también se obtuvieron los diagramas de fase (figura 3.44) para cada una de las GPTS observándose un comportamiento tipo *atractor* que caracteriza a fenómenos en donde a medida que el

tiempo pasa la órbita debe visitar los puntos del fractal en una manera *aparentemente casual*. Como se vio anteriormente uno de los modelos más aceptados para representar a el campo magnético es el sistema de dos discos acoplados de Rikitake, del cual se presenta su atractor en la figura 2.15, y se puede decir que el campo magnético presenta un comportamiento de este tipo sin ser necesariamente el mismo.

En la sección 3.5 se realizó un análisis de las GPTS a través de *cadena de Markov* para determinar la naturaleza de la transición de un estado a otro, los resultados obtenidos nos muestran que existe una cierta dependencia en el sentido probabilístico de los dos estados, es decir que el proceso tiene memoria. La matriz de transición se vuelve independiente sólo cuando alcanza ordenes muy grandes. La matriz de transición de primer orden de las GPTS (HDHPL-68, CK-92, CK-95) fue utilizada para generar una señal sintética de la cual se obtuvo su función de autocorrelación, el espectro de amplitud de la autocorrelación y la dimensión fractal observándose que no existe casi ninguna diferencia entre la señal original y la señal sintética, lo que nos indica que la matriz de transición puede reconstruir a la señal original conservando sus propiedades espectrales y estadísticas.

Todo lo descrito hasta ahora nos hace suponer que el campo magnético terrestre tiene un comportamiento aparentemente aleatorio cuando toma la polaridad, pero que existe otro proceso con una estructura o patrón regular, que nos puede indicar cuando existen las condiciones adecuadas para que este cambio puede darse.

### **En conclusión:**

1. Existe una estabilidad en los estados de polaridad normal y polaridad reversa que se ve mejor reflejado en las últimas GPTS.
2. Existe un equilibrio en el número de casos de chrons con polaridad normal y chrons con polaridad reversa con un mismo intervalo de duración.
3. No existe evidencia de que los eventos anteriores o posteriores sigan un comportamiento preferente al ocurrir un chron largo, ni que sea necesario un número determinado de eventos para que ocurra el chron largo.
4. Existe una alternancia en el número de casos de chrons con polaridad normal y el número de casos de chrons con polaridad reversa dependiendo de su duración lo que sugiere una estructura estadística subyacente en el comportamiento del campo magnético terrestre.
5. La GPTS ha sufrido modificaciones y sin embargo sigue conservando características espectrales que muestran un comportamiento consistente en la frecuencia que puede ser indicativo de periodicidad subyacente.
6. Por la autocorrelación de las GPTS se pudo determinar que existe dependencia en la señal de las GPTS más recientes.
7. Las GPTS presentan un comportamiento fractal que es característico de fenómenos que se encuentran en un estado intermedio entre lo predecible y lo aleatorio.

8. El análisis por cadenas de Markov mostró que existe una tendencia a que los cambios de polaridad sean parcialmente dependientes en el sentido probabilístico que es un estado intermedio entre una secuencia completamente aleatoria y una determinística.
9. Utilizando la matriz de transición se obtuvo la señal sintética generada para las GPTS HDHPL-68, CK-95 y W-95 y se pudieron reconstruir las propiedades espectrales y estadísticas de cada una de ellas con lo que se puede establecer que a través de la matriz de transición podemos reconstruir las características estadísticas y espectrales de las GPTS.
10. La presencia en todos los análisis realizados de una cierta dependencia sin estar plenamente definida como tal, nos hace suponer que uno de los dos mecanismos de generación del campo magnético puede ser determinístico (el que hace que se den las condiciones propicias para el cambio de polaridad) mientras que el otro puede ser dado al azar (la polaridad que adquiriera el campo).

Los siguientes pasos para este estudio podrían ser el tratar de determinar si existe alguna correlación entre los periodos determinados espectralmente en las GPTS y fenómenos de otro tipo, y el tratar de encontrar un modelo que se adapte mejor a el comportamiento estadístico del campo para los últimos 83 Ma.



D9AG

# DECADE OF NORTH AMERICAN GEOLOGY GEOLOGIC TIME SCALE

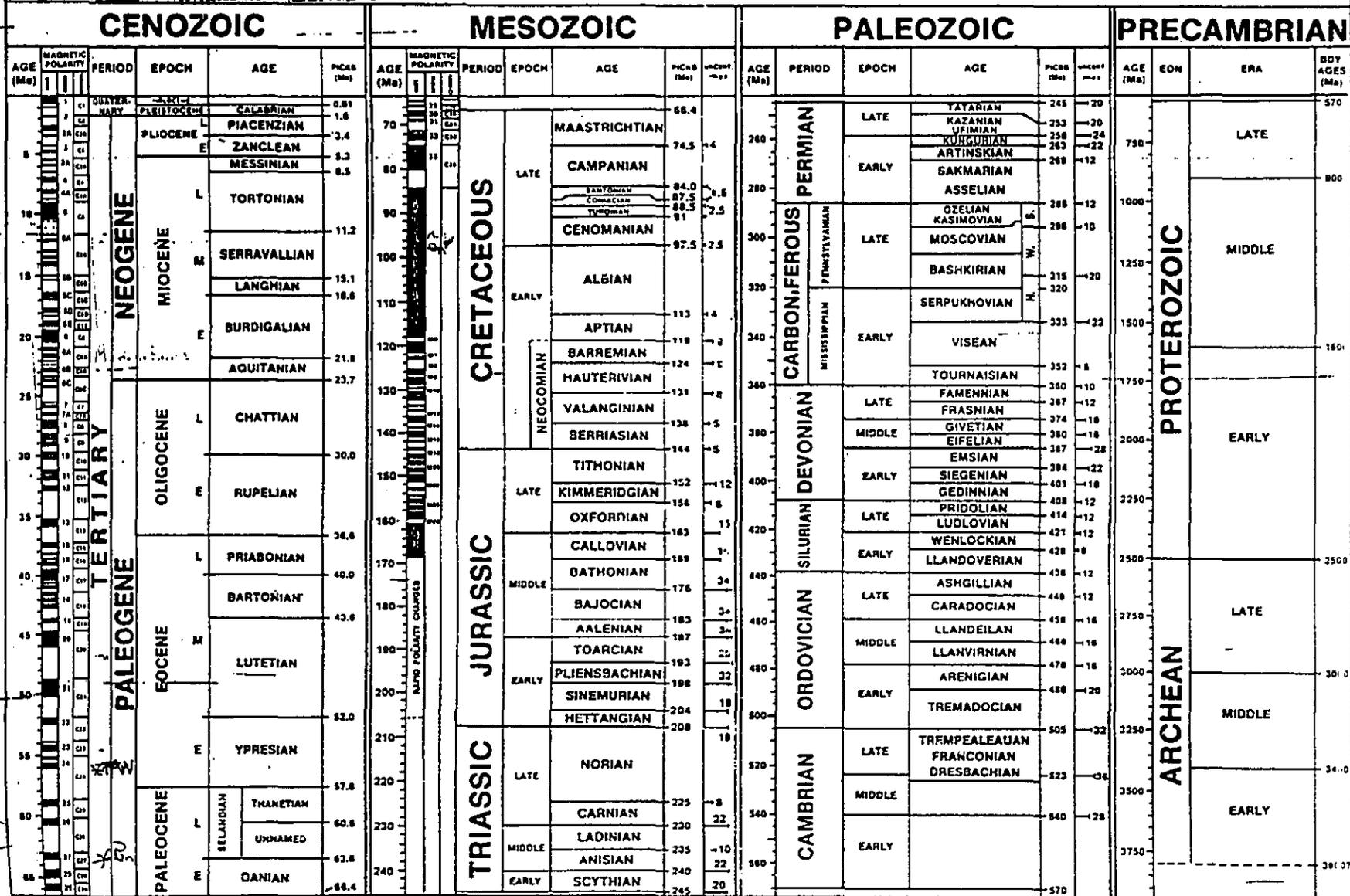
GEOLOGICAL SOCIETY  
OF AMERICA

Fig. 6C. Decade of North American Geology 1983, Geologic Time Scale, Geological Society of America, Boulder, CO 80301, USA.

## BIBLIOGRAFIA

Allegre, C.J., B. Dupré, and O. Brévar. *Chemical aspects of the formation of the core*, Philos. Trans. R. Soc. London A, 306, 49, 1982.

Baksi A.K., *A new calibration Point for the Late Miocene section of the geomagnetic polarity time scale  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of lava flows from Akaroa Volcano, New Zealand*. Geophysical Research Letters, Vol. 20 No. 8 P. 667-670, April 23, 1993.

Baksi A.K., *A geomagnetic polarity time scale for the period 0-17 Ma, based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau ages for selected fiel reversals*. Geophysical Research letters, Vol. 20, No. 15 p. 1607-1610, August 6, 1993.

Baksi A.K., *Concordant sea-floor spreading rates obtained from geochronology, astrochronology and space geodesy*. Geophysical Research Letters, Vol. 21, No.2, 133-136, 1994.

Barnsley M., *Fractals Everywhere*. Academic Press, Inc., 1988.

Barnsley M., Devancy R.L., Otto Peitgen H., Saupe D., Richard B.F., *The Science of Fractal Images*. Springer Verlag New York Inc., 1988

Blakely R.J. and Cox A. *Evidence for shorth geomagnetic polarity intervals in the early Cenozoic*. J. Geophys. Res. 77, 7065. (1972).

Braginsky, S.I., *Structure of the F layer and reasons for convection in the Earth's core*. Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 149, 1311, 1963.

Berggren, W.A., D.V., Kent, J.J. Flynn. *Paleogene geochronology and chronostratigraphy, The chronology of the geological record*. Mem. Geol. Soc. Am., 10, 141-195, 1985a.

Berggren W.A., D.V.Kent and J.J. Flynn and J.A. Van Couvering. *Cenozoic geochronology*. Geol. Soc. Am. Bull., 96, 1407-1418, 1985b.

Buffett, B.A., H.E. Huppert, J.R. Lister, and A.W. Woods, *Analytical model for solidification of the Earth's core*. Nature, 356,329, 1992.

Buffett, B.A., and J. R. Lister, *The relative importance of thermal and compositional convection in the dynamo problem (abstract)*. The 4th SEDI symposium, Whistler Mountain B.C., Canada, p.76, 1994.

Cande, S.C. and Y. Kristoffersen. *Late Cretaceous magnetic anomalies in the North Atlantic*. Earth Planet. Sci. Lett., 35, 215-224, 1977.

Cande S.C. and Kent D.V., *A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous an Cenozoic*. Journal of geophysical research, vol. 97, No. B10, p. 13, 1917-13,951. 1992.

Cande S.C. and Kente D.V., *Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic*. Journal of Geophysical Research. Vol. 100 No. B4, p.6093-6095. April 10, 1995.

Clement, B.M., and L.Stixrude. *Inner core anisotropy, anomalies in the time-averaged paleomagnetic field and polarity transition paths*, Earth Planet. Sci. Lett. 130, 75, 1995.

Cox, A., Doell, R.R. and Dalrymple, G.B. *Reversals of the earth's magnetif field*. Science 144, 1537, 1964.

Cox, A. *Length of geomagnetic polarity intervals*. J. Geophys. Res, 73, 3247, 1968.

- Cox, A. *Geomagnetic Reversals*. Science v. 163, p. 237-245, 1969.
- Davis J.C., *Statistics and Data Analysis in Geology*. Ed. Wiley and Sons, (second edition) 1988.
- Dickson, G.O., W.C. Pitman, III, and J.R. Heirtzler. *Magnetic anomalies in the South Atlantic an ocean floor spreading*. J. Geophys. Res., 73(6), 1968.
- Doell R.R., G.B.A Dalrymple and CS. Grommé. *Pliocene geomagnetic polarity epochs*. Earth Planetary Sci., Letters 2, 163, 1967.
- Gaffin S., *Phase difference between sea level and Magnetic reversal rate*. Nature, Vol. 329, October 1987.
- Gaffin S., *Analysis of scaling in the geomagnetic polarity reversal record*. Physics of the Earth and Planetary Interior. (1989).
- Hale, C.J.. *Paleomagnetic data suggest link between Archaean-Proterozoic boundary and inner-core nucleation*. Nature, 329,233, 1987
- Harland W.B., AV Cox, P.G. Llewellyn, C.A.G. Pickton, A.G. Smith y R. Walters, *A Geologic Time Scale*, 131 pp. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 1981.
- Harland W.B., R. Armstrong, A. Cox, L. Craig., A. Smith and D. Smith, *A Geologic Time Scale 1989*. 263 pp. Cambridge University Press, New York, 1990.
- Heirtzler J.R., Dickson G.O., Herron E.M., Pitman E.C., Le Pichon X., *Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Field Reversals, and Motions of the Ocean Floor and Continents*. Journal Geophysical Research, V. 73, No. 6, p. 2119-2136, 1968.
- Hilgen F.J., *Astronomical calibration of Gauss to Matuyama sapropels in the Mediterranean an implication for the Geomagnetic Polarity Time Scale*. Earth Planetary Sciences Letters, p. 226-244, 104(1991).
- Hilgen F.J., *Extensión of the astronomically calibrated (polarity) time scale to the Miocene?Pliocene boundary*. Earth and Planetary Science Letters, p. 349-368, 107 (1991).
- Hollerbach R. and C.A. Jones. *Influence of the Earth's inner core of geomagnetic fluctuacion and reversals*. Nature, 365, 541, 1993.
- Ito K., *Chaos in the Rikitake two-dynamo system*. Earth Planet, Sci. Lett., 51, 451-456, 1980.
- Jacobs J.A., *The Earth's Inner Core and the Geodynamo: Determining Their Roles in the Earth's History*. EOS, Volumen 76, Núm. 25, June 20, 1995.
- Jeanloz R., Lay T. *The Core-Mantle Boundary*, Scientific American, p. 26-33 May 1993.
- Kligord, K.D. S.P. Heustis, J.D., Mudie and R.L. Parker. *An analysis of near-botton magnetic anomalies: Sea floor spreading and the magneticized layer*. Geophysics J.R. Astron. Soc., 43, 387-424, 1975.
- LaBrecque J.L., Kent D.V., Cande S.C., *Revised magnetic polarity time scale for late Cretaceous and Cenozoic time*. Geology, v. 5, p. 330-335, 1977.
- Laj C. and Nordemann D. *Correlation Function Analysis of Geomagnetic Field Reversals*, Vol. 84, No.B9, (1979).
- Larson, R.L., and W.C. Pitman III, *Worldwide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications*. Bull. Geol. Soc. Am. 83, 3645-3662. 1972.

- Lowrie W., Alvarez W., *One hundred million years of geomagnetic polarity history*. *Geology*, vol. 9, p.392-397, September, 1981.
- Lutz T.M. *The magnetic reversal record is no periodic*. *Nature* vol. 317, 404-407, 1985.
- Lutz, T.M. and Watson, G.S., *Effects of long-term variation on the frequency spectrum of the geomagnetics reversals record*. *Nature*, 334, 240-242, 1988.
- Mankinen E.A., and G.B. Dalrymple (1979). Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0-5Ma B.P., *J. Geophys. Res.* 84, 615-626, 1979.
- McDonald G.J., *Spectral Analysis of time series generated by nonlinear processes*. *Reviews of Geophysics*, 72, 4, p. 449-469. Paper number 89, 1989.
- McDougall, I., and Tarling, D. H. (1964) Dating geomagnetic polarity zones. *Nature* 202, 171, 1964.
- McFadden P.L., *Statistical Tools for the Analysis of Geomagnetic Reversal Sequences*. *Journal of Geophysical Research* Vol. 89 No. B5 p. 3354-3362, May 1984.
- McFadden P.L., *No-linear processes in the geodynamo: Paleomagnetic evidence*. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 83, 111-126, 1985.
- McFadden P.L., and Merrill R.T., *Geodynamo energy source constraints from paleomagnetic data*. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 43, p. 22-33, 1986.
- Medio, A. Gallo C. *Chaotic Dynamic Theory and Applications to Economics* (libro), 1993.
- Méndez Ignacio, *Comentarios sobre la inferencia estadística*. Comunicación Técnica, serie azul: monografías Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. UNAM (1982).
- Merrill R.T. and M.W. McElhinny. *The Earth's Magnetic Field*. Accademic Press, 1983
- Merrill R.T. and McFadden P.L., *Geomagnetic field stability: Reversal events and excursions*. *Earth and Planetary Science Letters* 121, p. 57-59, 1994.
- Moffatt, H. K., and D.E. Loper. *The magnetostrophic rise of a buoyant parcel in the Earth's core*. *Geophys. J. Int.*, 117,394, 1994.
- Morley, L. W. and Laurchelle. *Paleomagnetism as a means of dating geological events*. *Roy. Soc. Canad. Spec. Publ.* 8, 512.
- Naidu P.S. *Statistical Structure of Geomagnetic Field Reversals.*, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 76 No. 11 (1971).
- Naidu, P.S., *Are geomagnetic field reversals independent?*, *J. Geomagn. Geoelec.*, 26, 101, 1974.
- Naidu, P.S., *Second-Order Statistical Structure of Geomagnetic Field Reversal*. *Journal of Geophysical Research* Vol. 80, No. 5, February 10, 1975.
- Negi J.C., Tiwari R.K., *Matching Long Term periodicities of Geomagnetic Reversals and Galactic Motion of the Solar System*. *Geophys. Research, Letters* Vol. 10, No. 8, Pages 713-716, August 1983.
- Ness G., Levi S., and Couch R., *Marine Magnetic Anomaly Time Scales for the Cenozoic and Late Cretaceous: A Précis, Critique, and Synthesis*. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 18 No. 4 p. 753-770, November 1980.

- Olson, P., *Geomagnetic polarity reversals in a turbulent core*. *Phys. Earth Planet, Int.*, 33, 260, 1983.
- Phillips J.D., *Time Variation and Asymmetry in the Statistics of Geomagnetic Reversal Sequences*. *Journal Geophysical Research* Vol. 82 No. 5 (February 1977).
- Pitman, W.C., III, and J.R. Heirtzler, *Magnetic anomalies over the Pacific-Antarctic Ridge*. *Science*, 154, 1164-1171, 1966.
- Raup D.M., *Magnetic reversal and mass extinctions*. *Nature* vol. 314, 341-343, 1985.
- Raup D.M., *Rinse and fall of periodicity*. *Nature* vol. 317, 384-385, 1985.
- Shackleton, N.J., A. Berger and W.R. Peltier. *An alternative astronomical calibration of the Lower Pliocene time scale based on ODP*. *Trans. Royal Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 81, 251-261, 1990.
- Schloessin H. H., and J.A. Jacobs. *Dynamics of a fluid core with inward growing boundaries*, *Can. J. Earth Sci.*, 17, 72, 1980.
- Schwartz M. & Shaw L., *Signal Processing, Discrete Spectral Analysis, Detection, and Estimation*. International Student Edition, 1975.
- St. Pierre M.G. *The stability of buoyant structures in the outer core (abstract)*. The 4th SEDI symposium, Whistler Mountain, B.C., Canada, p. 57, 1994.
- Stothers R.B., *Periodicity of the Earth's magnetic reversals*. *Nature* Vol. 322, 31 July 1986.
- Tarling. D.H., *Principles and Applications of Palaeomagnetism*. Department of Geophysics and Planetary Physics, University of Newcastle upon Tyne. Chapman and Hall 1971.
- Talwani, M., C.C. Windisch and M.G. Langseth, Jr., Reykjanes. *Ridge crest: a detailed geophysical study*. *J. Geophys. Res.*, 76, 473-517., 1971.
- Turcotte. D.L., *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Great Britain at University Press, Cambridge, 1992.
- Ulrych T.J. y Clayton R.W. *Comment on 'Second-Order Statistical Structure of Geomagnetic Field Reversals' by P.S. Naidu.*, *Journal Geophysical Research*, vol. 81, No 5, 1976.
- Vine, F.J., and D.H. Mathews. *Magnetic anomalies over oceanic ridges*. *Nature*, 199, 947-949, 1963.
- Vine, F.J., *Spreading of the ocean floor; new evidence*. *Science*, 154, 1405, 1966
- Wei W., *Revised age calibration points for the geomagnetic polarity time scale*. *Geophysical Research Letters*, Vol. 22 No. 8, p. 957-960, april 15, 1995.
- Wilson, J.T., *A new class of faults and their bearing on continental drift*. *Nature*, 207, 343, 1965.