

JORGE L.
KRAGLIEVICH —
KRAL

RECONSIDERACION ANALITICA DE ALGUNAS EVIDENCIAS GEOFISICAS PREVIAS, CONCERNIENTES A LA ESTRUCTURA Y COMPOSICION INTERNAS DE LA TIERRA

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto demostrar, en primer término, que la variación de las velocidades de las ondas sísmicas P y S con la profundidad, obedece a leyes logarítmicas exactas, que aparecen al utilizar valores promedios en lugar de los valores dados por BULLEN en 1956 para el tope y la base de cada "región interna".

Por medio del mismo procedimiento, se encuentra una variación lineal para la incompresibilidad y la rigidez, y esto permite recalcular la densidad a diferentes profundidades, cuya variación también queda representada por una ley lineal, con dos rupturas en los contactos manto/núcleo externo y núcleo externo/cuerpo central.

Con el objeto de simplificar los cálculos, se admite una variación lineal de la presión gravitacional, desde prácticamente cero en superficie hasta $3,79 \times 10^{12}$ dinas/cm². Para la temperatura interna, se acepta la ley de variación logarítmica propuesta por JACOBS en 1952.

Aplicando la ecuación de estado de los gases perfectos y en base a dos supuestos, a saber: 1) que la presión que ejerce el material en el interior es igual a la que soporta y 2) que la constante R de los gases es igual a la unidad, se deriva la expresión de un número M igual a masa/mol, y en base a ciertas ecuaciones inéditas desarrolladas por el autor, se introduce la hipótesis de que M es directamente proporcional al número atómico Z de los elementos químicos.

Según esta hipótesis, el manto estaría constituido por todos los elementos químicos desde U (92) a Escandio (21), o más exactamente Titanio (22), desde el

Serie Geológica, Vol. I. Nº 1

J. L. KRAGLIEVICH—KRAL: "Reconsideración analítica de evidencias geofísicas previas, concernientes a la composición y estructura internas de la Tierra".

Boletín de la Escuela de Ingeniería de Geología, Minas y Petroleos.

tope a 33 Km. de profundidad hasta la base a 2.900 Km., dispuestos en "capas concéntricas".

El núcleo externo aparece constituido por los metales Mn, Cr, V, Ti, Sc, de afuera hacia adentro; y el cuerpo central o núcleo interno por V y Ti. Faltan en el cuadro total los primeros 20 elementos químicos.

Según la ley de variación logarítmica en el manto, la existencia del Na (11) requeriría un radio terrestre de 25.000 Km. y la del H (1) un radio de 30'000.000 de Km.

Se sugiere en base a esto que en su origen, La Tierra fue un enorme cuerpo gaseoso muy caliente formado por H y He, y que durante su contracción se fueron formando sucesivos elementos químicos, de los cuales los primeros 20 fueron expulsados hacia el exterior, donde contribuyeron a formar la mayoría de los compuestos y radicales químicos más abundantes, que forman la corteza.

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

En este esquema, el "Nife" aparece como envoltura en el tope de la parte inferior del manto, a 1.500 Km. de profundidad, pero no con el carácter de "aleación", y los materiales de los núcleos externo e interno (los metales Sc ó Ti hasta Mn) serían el resultado de una diferenciación de la base del manto.

Se supone que el proceso de contracción ha continuado hasta llegar al radio actual de 6.370 Km., y que la edad del cuerpo original pudo ser del orden de 3×10^{12} años.

El autor pone énfasis en el hecho de que se ignora totalmente el comportamiento de los elementos químicos sometidos a la combinación de temperaturas de 1.000 y más grados absolutos y presiones mayores que 1 millón de atmósferas.

El material constitutivo del interior de La Tierra, estaría así en el estado peculiar de "gases casi perfectos" (átomos virtualmente puntuales debido a la compresión y ausencia de la cohesividad debida a intercambios electrónicos), pero comprimidos hasta un estado "pseudo-sólido", y almacenando gran cantidad de energía térmica.

JORGE L.
KRAGLIEVICH
KRAL

RECONSIDERACION ANALITICA DE
ALGUNAS EVIDENCIAS GEOFISICAS
PREVIAS, CONCERNIENTES A LA
ESTRUCTURA Y COMPOSICION
INTERNAS DE LA TIERRA

CAPITULO I

VARIACION DE LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SISMICAS P Y S CON LA PROFUNDIDAD

Como es bien sabido, las ondas sísmicas "primarias" u ondas P, de naturaleza vibratoria longitudinal, se propagan no solamente a través de la corteza terrestre, sino también a través de las envolturas internas englobadas bajo los términos "manto" (entre 33 y 2.900 Km. de profundidad) y "núcleo" (entre 2.900 Km. y el centro).

Las velocidades de propagación de estas ondas en el manto, y el núcleo, serán denotadas respectivamente, como α_1 y α_2 .

Las ondas sísmicas "secundarias" u ondas S, de naturaleza vibratoria transversal, pueden propagarse a través del manto a velocidades que denotaremos como β , pero son reflejadas por la superficie del núcleo. Es una condición general, de que las ondas transversales son incapaces de propagarse a través de materiales fluidos (p. ej: medios líquidos o gaseosos), que prácticamente carecen de rigidez, y en consecuencia, se ha aceptado que el núcleo terrestre se encuentra en un estado líquido (o inclusive gaseoso; p. ej: por KUHN y RITTMANN).

Esta suposición no excluye la posibilidad de que la porción interna del núcleo, o "cuerpo central", cuya superficie se estima ubicada a 5.120 Km. de profundidad, sea efectivamente sólida, o hablando con más generalidad, que se encuentre en el mismo estado físico del manto.

En este estudio, usaremos los valores para las velocidades α y β publicados por BULLEN hace 18 años (1956 pág. 74).

Estos valores están indicados en la Tabla N° 1.

TABLA N° 1

Regiones (según BULLEN)	Profundidad (d) del tope y la base (Km)	Velocidad de las ondas P α_1 y α_2 (Km/seg)	Velocidad de las ondas S, β (Km/seg).
A	0 - 33	Ampliamente variable	
B	33 - 410	α_1) 7,8 - 9,0	4,4 - 5,0
C	410 - 1000	9,0 - 11,4	5,0 - 6,4
D'	1000 - 2700	11,4 - 13,6	6,4 - 7,3
D''	2700 - 2900 ⁽¹⁾	13,6	7,3
E	2900 - 4980	α_2) 8,1 - 10,4
F	4980 - 5120	10,4 - 9,5
G	5120 - 6370	11,2 - 11,3

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

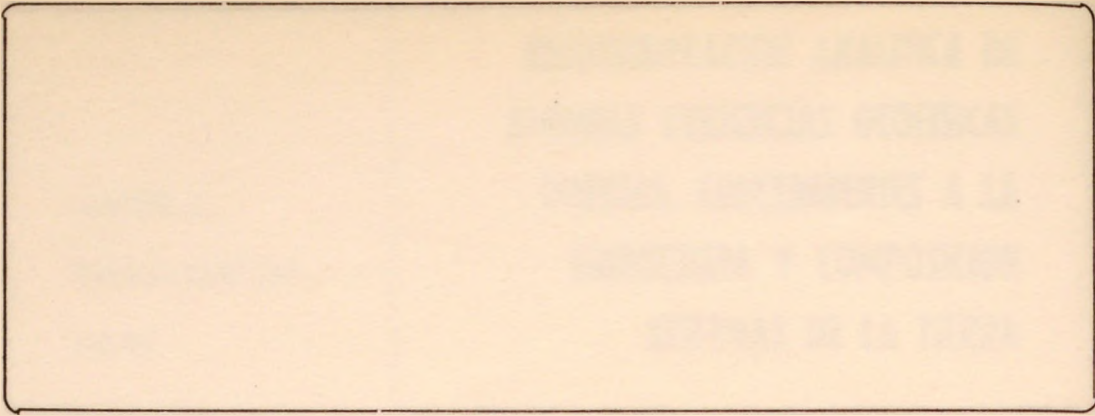
(1) Recientemente, el mismo BULLEN (1972, pág. 74) ha reducido ligeramente esta cifra a 2.890 Km.

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla N° 1, se ha construido el gráfico de Fig. 1.

Se puede observar: un crecimiento rápido de α_1 en el manto, con un incremento total de 5,8 Km/seg., una caída brusca a $d = 2.900$ Km. y un crecimiento más lento de α_2 en el núcleo como un todo, con un incremento total de 3,2 Km/seg. y con una caída parcial en la "región F", de 10,4 a 9,5 Km/seg.

Ahora podemos usar un procedimiento estadístico muy simple, para manejar los valores de la Tabla N° 1. Esto es, podemos determinar el valor medio de las velocidades para el tope y la base de cada región, y graficar estos valores medios en función de cada punto medio de la profundidad, al que denotaremos como d' .

Los nuevos valores así obtenidos se indican en la Tabla N° 2.



V (Km/seg.)

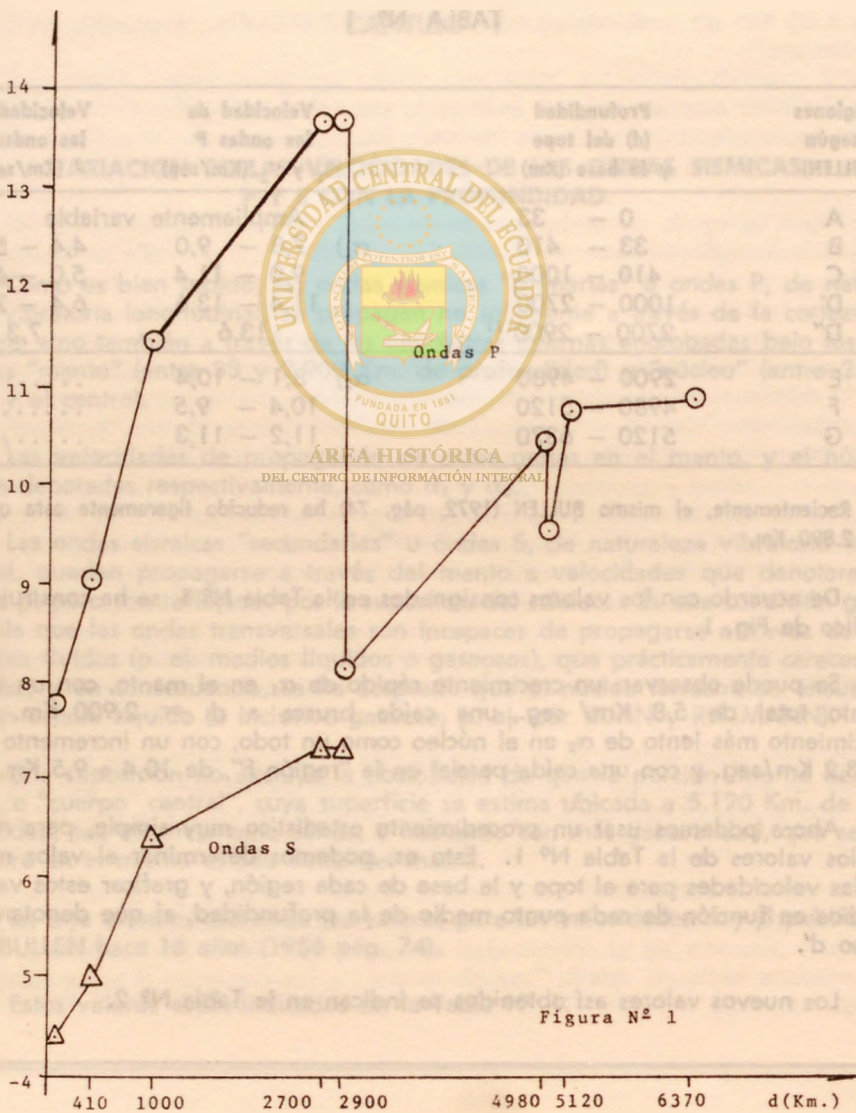


Figura N° 1

(-g-), (m/s)

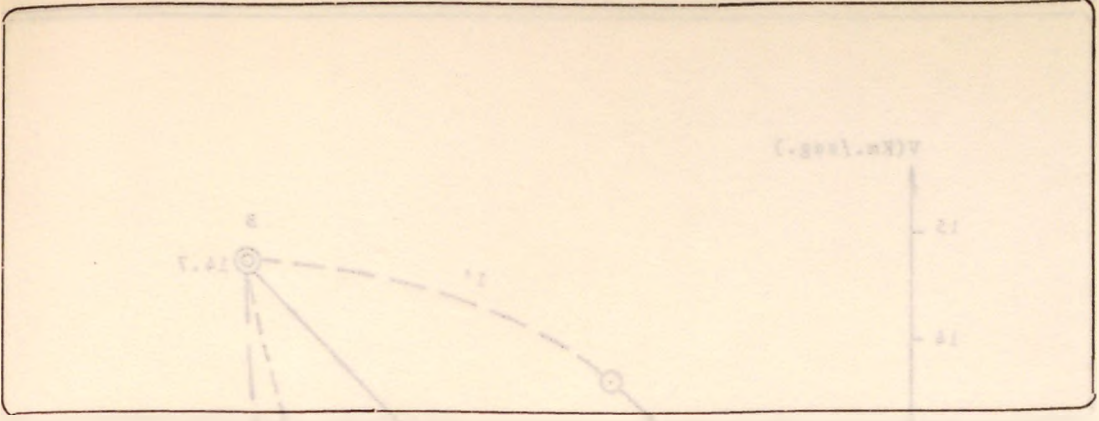


TABLA Nº 2

Regiones (según BULLEN)	Profundidad media d' (Km)	Valores medios de las Velocidades (Km/seg).	
A	16,5	
B	221,5	α_1) 8,4	$\beta')$ 4,7
C	705	10,2	5,7
D'	1850	12,5	6,85
D''	2800	13,6	7,3
E	3940	α_2) 9,25
F	5050	9,95
G	5745	11,25

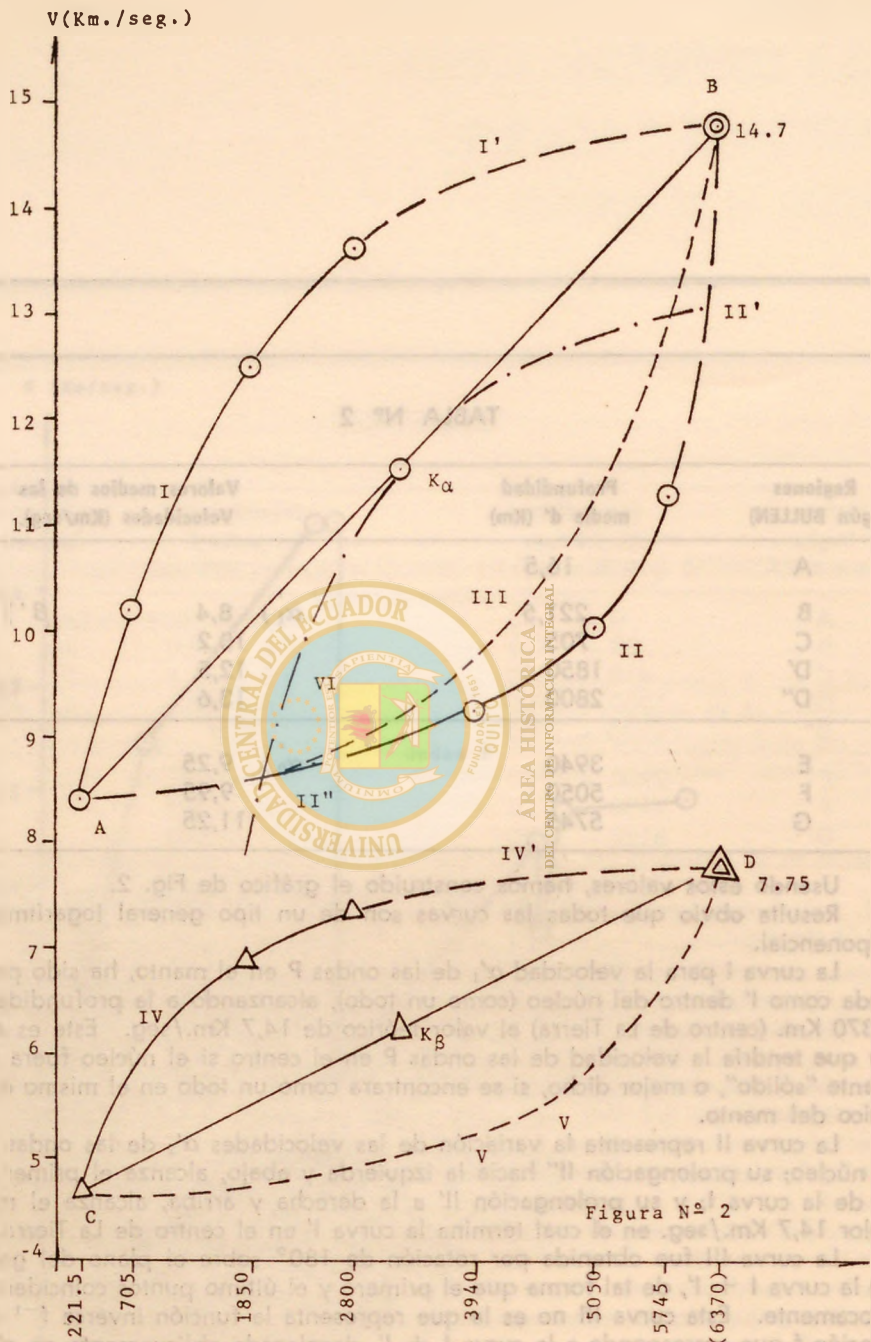
ÁREA HISTÓRICA DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Usando estos valores, hemos construido el gráfico de Fig. 2. Resulta obvio que todas las curvas son de un tipo general logarítmico, o exponencial.

La curva I para la velocidad α_1 de las ondas P en el manto, ha sido prolongada como I' dentro del núcleo (como un todo), alcanzando a la profundidad de 6.370 Km. (centro de La Tierra) el valor teórico de 14,7 Km./seg. Este es el valor que tendría la velocidad de las ondas P en el centro si el núcleo fuera totalmente "sólido", o mejor dicho, si se encontrara como un todo en el mismo estado físico del manto.

La curva II representa la variación de las velocidades α_2 de las ondas P en el núcleo; su prolongación II' hacia la izquierda y abajo, alcanza el primer punto de la curva I; y su prolongación II'' a la derecha y arriba, alcanza el mismo valor 14,7 Km./seg. en el cual termina la curva I' en el centro de La Tierra.

La curva III fue obtenida por rotación de 180° sobre el plano del gráfico, de la curva I + I', de tal forma que el primero y el último puntos coinciden recíprocamente. Esta curva III no es la que representa la función inversa f^{-1} de la función f que corresponde a la curva I + I', desplazada oblicuamente en el gráfico, porque los gráficos de dos funciones inversas son directamente simétricos con respecto a una línea recta. Este sería el caso, por ej., usando:



$$\begin{aligned} f(x) &= \log_2 x \\ f^{-1}(x) &= 2^x \end{aligned}$$

que aparece graficado en Fig. 3.

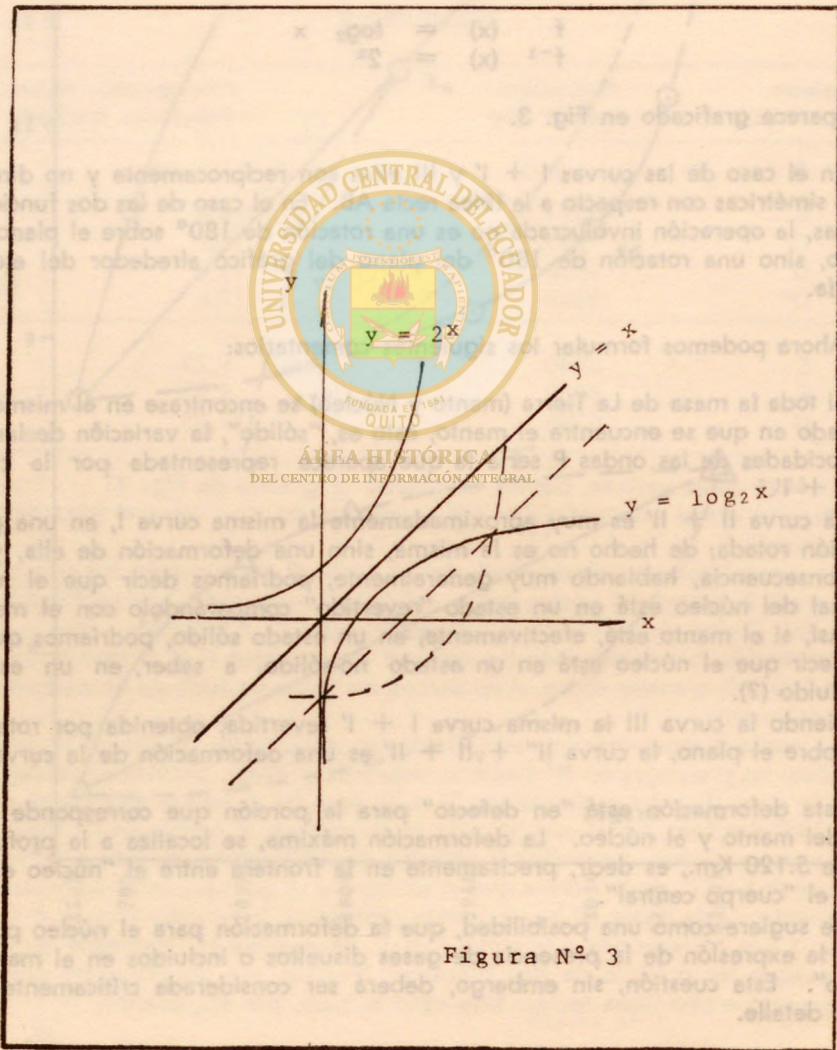
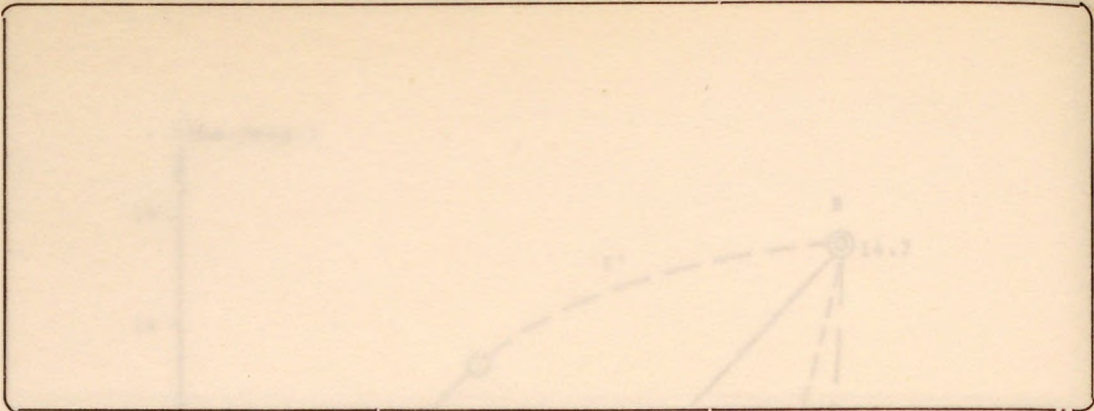
En el caso de las curvas I + I' y III ellas son recíprocamente y no directamente simétricas con respecto a la línea recta AB. En el caso de las dos funciones inversas, la operación involucrada no es una rotación de 180° sobre el plano del gráfico, sino una rotación de 180° del plano del gráfico alrededor del eje de simetría.

Ahora podemos formular los siguientes comentarios:

1. Si toda la masa de La Tierra (manto y Núcleo) se encontrase en el mismo estado en que se encuentra el manto, esto es, "sólido", la variación de las velocidades de las ondas P sería la que aparece representada por la curva I + I'.
2. La curva II + II' es muy aproximadamente la misma curva I, en una posición rotada; de hecho no es la misma, sino una deformación de ella, y en consecuencia, hablando muy generalmente, podríamos decir que el material del núcleo está en un estado "revertido" comparándolo con el manto. Así, si el manto está, efectivamente, en un estado sólido, podríamos quizás decir que el núcleo está en un estado no-sólido, a saber, en un estado fluido (?).
3. Siendo la curva III la misma curva I + I' revertida, obtenida por rotación sobre el plano, la curva II'' + II + II' es una deformación de la curva III.

Esta deformación está "en defecto" para la porción que corresponde a la base del manto y al núcleo. La deformación máxima, se localiza a la profundidad de 5.120 Km., es decir, precisamente en la frontera entre el "núcleo externo" y el "cuerpo central".

Se sugiere como una posibilidad, que la deformación para el núcleo pudiera ser la expresión de la presencia de gases disueltos o incluidos en el material "fluido". Esta cuestión, sin embargo, deberá ser considerada críticamente con mayor detalle.



La curva IV muestra la variación de los valores balanceados de las velocidades β de las ondas S en el manto. La prolongación es la curva IV', que alcanza la ordenada para el centro de La Tierra ($d = 6.370$ Km.) con el valor aproximado de 7,75 Km./seg. Este valor excede por 0.4 Km./seg. la cifra 7,35 Km./seg. que es exactamente la mitad de 14,7 Km./seg., el máximo (gráfico) para la curva I + I'.

Hemos dibujado igualmente, la curva V, que se obtuvo del mismo modo que la curva III, esto es, rotando sobre el plano la curva IV + IV' de tal manera que los puntos extremos coincidan.

Los puntos $K\alpha$ y $K\beta$ son, respectivamente, los puntos medios de las líneas rectas AB y CD, que conectan los puntos extremos de las curvas I + I' y IV + IV'. Estos dos puntos están sobre la misma ordenada correspondiente a la profundidad $d = 3.300$ Km.

La curva VI es la misma curva IV + IV' obtenida por los siguientes procedimientos:

1. Por rotación de la curva IV + IV' sobre el plano;
2. Por rotación subsiguiente del plano de la Figura en 180° ;
3. Desplazando entonces la curva de tal modo que pase por el punto $K\alpha$ (punto medio del segmento AB).

Resulta obvio, en la figura, que esta curva VI es paralela con la curva I + I'.

Graficando los valores para las curvas I, II y IV en papel log-log, obtenemos el dibujo de Fig. 4.

La variación de las velocidades α'_1 y β' está ahora representada por líneas rectas o casi-rectas; y estas líneas rectas son paralelas entre sí. Los valores para las velocidades α'_2 no siguen una ley logarítmica, como consecuencia de la deformación de la curva II que se observa en Fig. 2.

Sin embargo, las dos líneas rectas dan valores de 15,5 y 8,5 Km./seg. para $d = 6.370$ Km., en lugar de 14,7 y 7,75 Km./seg. Si ubicamos estos valores en el gráfico de Fig. 2, la regularidad en la curvatura no se mantiene. Esto no tiene importancia para nuestros cálculos ulteriores, porque sólo vamos a usar los valores de α'_1 y α'_2 dados por las curvas I y II; pero será necesario al margen de ello, obtener las ecuaciones exactas.

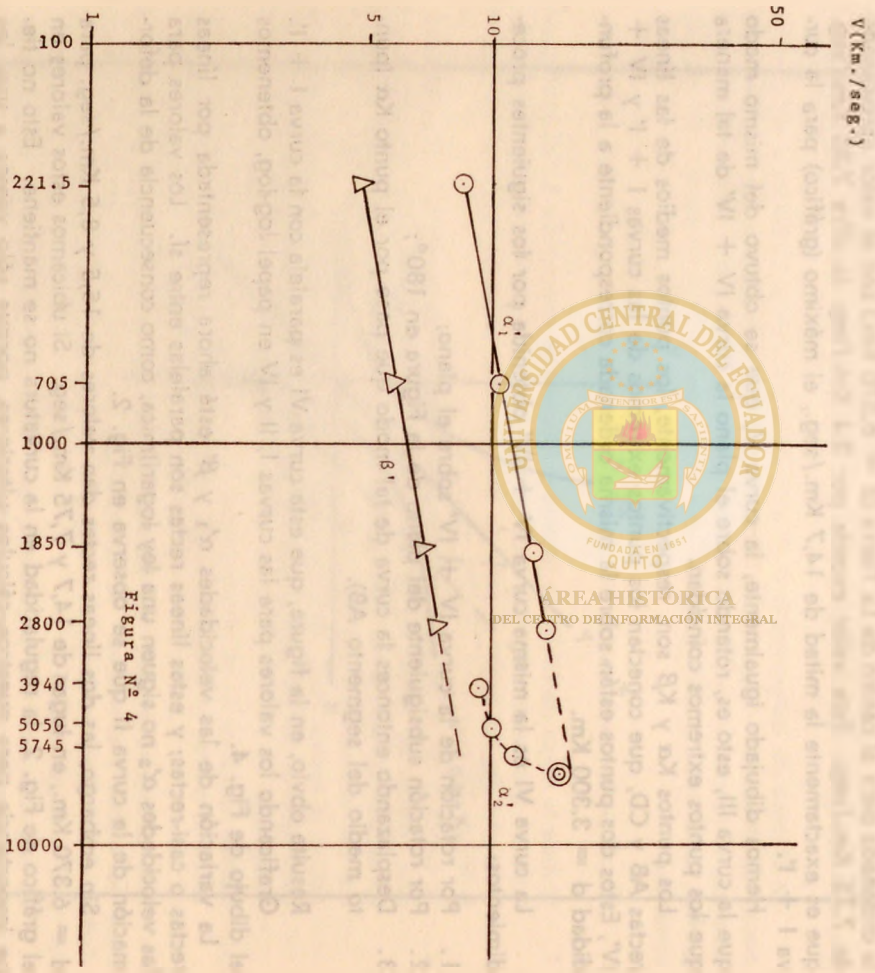
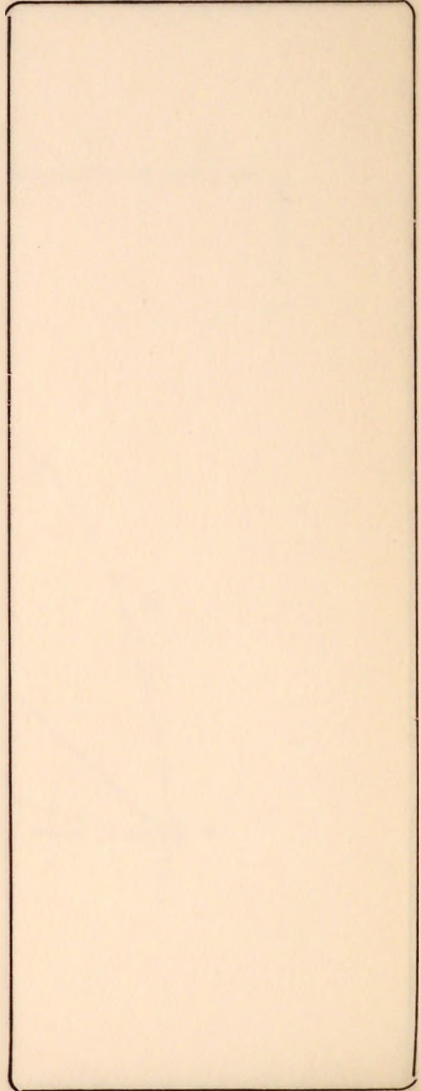


Figura N° 4



CAPITULO II

VARIACION DE LA DENSIDAD CON LA PROFUNDIDAD

Si continuamos denotando como α_1 las velocidades de las ondas P en el manto y como α_2 las mismas para el núcleo en conjunto, entre $d = 2.900$ y $d = 6.370$ Km., y con:

k = incompresibilidad

μ = rigidez

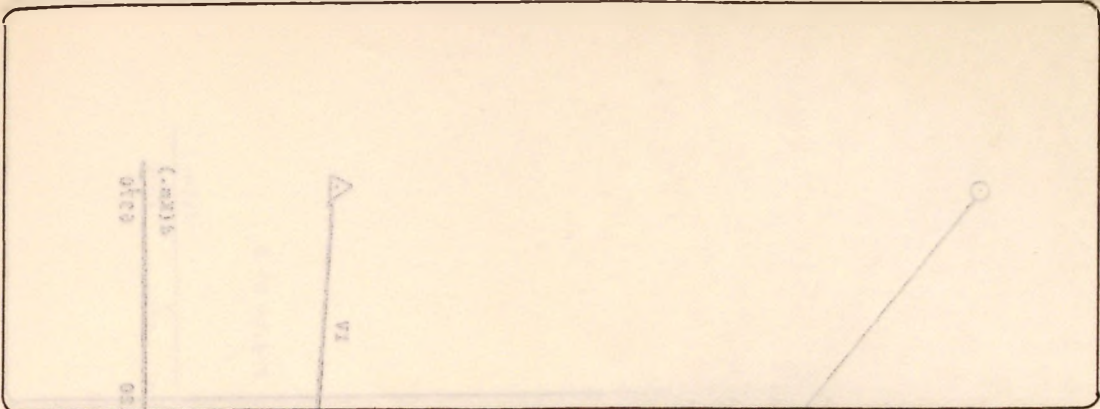
tenemos las siguientes relaciones:

$$(\alpha_1)^2 = \frac{k + (4/3) \mu}{\rho} \quad (1)$$

$$(\alpha_2)^2 = \frac{k}{\rho} \quad (2)$$

En estas ecuaciones ρ es la densidad, y se acepta para (2) que la rigidez μ es prácticamente cero, en el núcleo como un todo.

BULLEN (1956, págs. 82, 86) ha proporcionado valores definidos para k y μ , y para sus dos "modelos de La Tierra", A y B. En el siguiente análisis, usaremos valores que, en algunos casos, son los que corresponden a los modelos A o B y en otros casos, valores promedio (Tabla N° 3). La incompresibilidad en el manto será denotada como k_1 y en el núcleo en total como k_2 .



1. La variación es lineal y sigue las líneas rectas I' - II' y III' - III"; estas muestran una ruptura en $d = 705$ Km. porque los primeros dos valores (para $d = 33$ y $d = 410$ Km.) corresponden al modelo A de BULLEN y el tercero y cuarto son valores promedio entre los modelos A y B. Como la recta I" es casi paralela con la I' y la III" es paralela con la III' se podría aceptar que la ley de variación para los valores medios está expresada por las rectas I" y III" y su prolongación hacia la izquierda.
2. Los puntos para $d = 2.900$ Km. corresponden a la ley de variación para todo el núcleo, y la variación en el manto es lineal, y expresada por las rectas I y III. Esto da valores más bajos por arriba de $d = 1.000$ Km. y más altos por debajo de esta profundidad. La línea I es paralela con la línea II, y por lo tanto, la recta de variación de k en el núcleo es la misma que para el manto, pero a un nivel menor, lo cual significaría que el material en todo el manto tiene una comprensibilidad relativa mayor.

Vamos a seleccionar la hipótesis (2) porque la hipótesis (1) nos da valores menores para la densidad en la mitad inferior del manto, y esto conduce a obtener valores más bajos para la expresión RoT/p que usaremos en el capítulo IV, los cuales no caen sobre la línea recta del gráfico logarítmico de Fig. 9.

Aceptando la hipótesis (2) y fijando los valores correspondientes al punto medio de la profundidad para cada "región", obtenemos los datos consignados en la Tabla N° 4 (las mismas unidades).

TABLA N° 4

Profundidad d'	k	μ	$k + (4/3) \mu$
221,5	1,40	0,82	2,49
705	2,85	1,40	4,72
1850	6,60	2,77	10,29
2800	9,55	3,91	14,76
3940	9,60	~ 0	9,60
5050	13,15	~ 0	13,15
5745	15,40	3,80	20,47

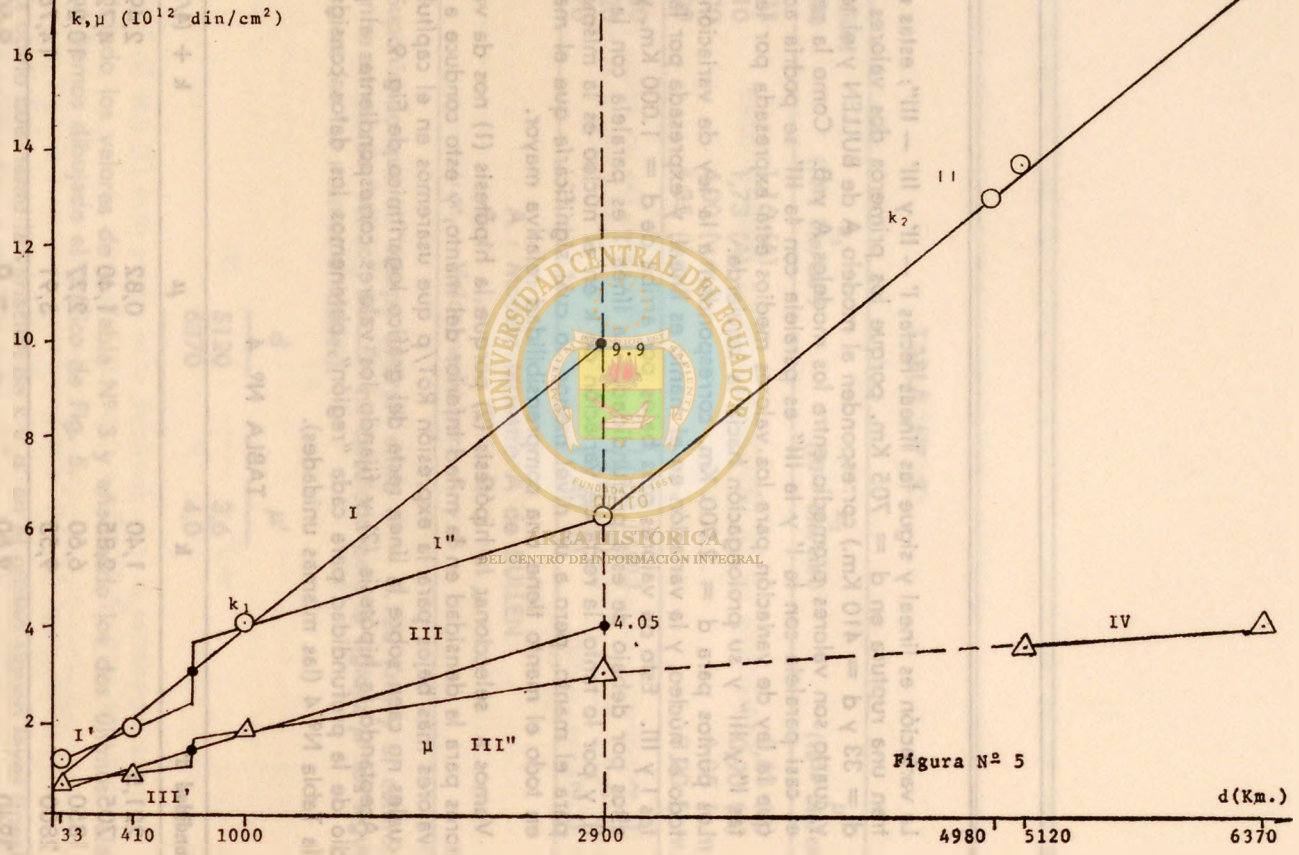
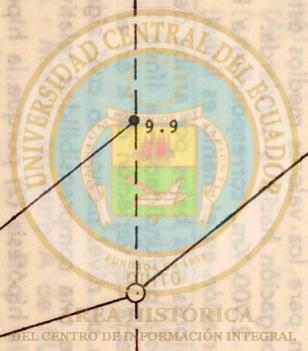


Figura N^o 5



Usando los valores para las velocidades α_1 y α_2 para los mismos puntos medios de la profundidad, dados en la Tabla N° 2, y aplicando las ecuaciones (1) y (2), se obtienen los valores de la densidad ρ que se incluyen en la tabla N° 5.

TABLA N° 5

Profundidad d' (Km)	Densidad ρ (Gr./cm ³)
221,5	3,51
705	4,54
1850	6,59
2800	7,98
3940	11,22
5050	13,28
5745	16,18

Estos valores están graficados en Fig. 6. El valor de ρ para $d = 705$ Km. se encuentra ligeramente arriba de la recta I, que conecta los valores para $d = 221,5$ y $d = 1.850$ Km. Usaremos, para $d = 705$ Km., la cifra corregida $\rho = 4,48$ gr/cm³ (valor medio entre 4,54 y 4,42 gr/cm³ sobre la línea).

En el manto, la variación de la densidad sigue una ley lineal, expresada por la recta I, que muestra una ligera desviación de pendiente por debajo de $d = 1.850$ Km.

La variación en el núcleo externo, sigue nuevamente una ley lineal, expresada por la recta III, que es paralela con la I.

En el núcleo interno, tenemos solamente un punto, que no se encuentra sobre la prolongación de la recta III, sino en una posición más alta. Usando los valores efectivos de α_2 para $d = 5.120$ y 6.370 Km., tenemos dos valores adicionales como se indica en Tabla N° 6, y estos tres valores están todos sobre la misma recta IV, que tiene una pendiente un poco mayor.

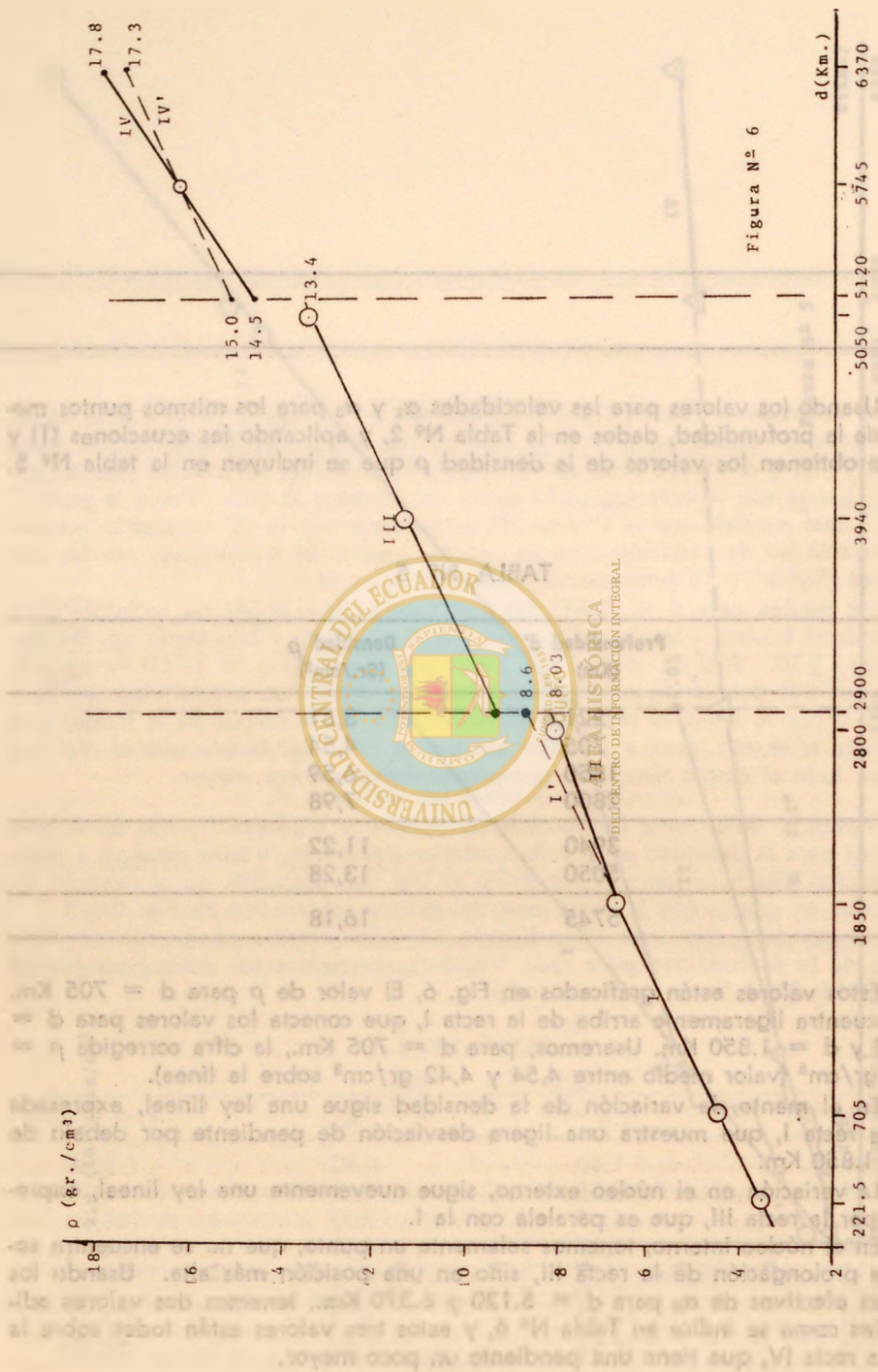


Figura N° 6

TABLA N° 6

Profundidad d'	k	μ	k + (4/3) μ	ρ
5120	13,4	3,60	18,20	14,51
6370	17,4	4,00	22,73	17,80

Según la recta I, la densidad a d = 33 Km. (base de la corteza o tope del manto) es:

$$\rho = 3,15 \text{ gr/cm}^3$$

Otra posibilidad para el "cuerpo central" sería la de trazar nuevamente la recta IV, pasando por el punto con valor 16,18 pero con la misma pendiente de la recta III.

Esta nueva recta IV' nos da para d = 5.120 y 6.370 Km., los valores 15,0 y 17,3 gr/cm³ para la densidad, respectivamente.

CAPITULO III

VARIACION DE LA PRESION Y LA TEMPERATURA CON LA PROFUNDIDAD

En la misma publicación citada, BULLEN (1956, págs. 82, 86) proporcionó valores para la presión gravitacional p a diferentes profundidades, y para sus dos "modelos terrestres" A y B. Como lo hicimos en el caso de k y μ , usaremos en el siguiente análisis, el valor medio (v.m.) o los valores para A ó B, si los dos no están consignados. Las cifras se incluyen en la Tabla N° 7.

En unidades de 10¹² din/cm², la presión en la superficie (a nivel del mar) es 1 atmósfera, muy próxima a cero, y no puede ser representada en la escala del gráfico.

Los valores están graficados en Fig. 7. Una línea recta AB ha sido trazada entre p ~ 0 en la superficie y p = 3,79 x 10¹² din/cm² a d = 6.370 Km. (centro de La Tierra).

TABLA N° 7

Profundidad d (Km.)	Presión p (10 ¹² Din/cm ²)
33	0,010 (A)
200	0,070 (B)
410	0,145 (v.m.)
1000	0,395 (v.m.)
2900	1,350 (v.m.)
4980	3,195 (v.m.)
5120	3,330 (B)
6370	3,790 (v.m.)

ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Los valores muestran una deformación, respecto a la recta AB, de tipo sinusoidal; las máximas desviaciones se localizan en el tope del núcleo externo, cerca de $d = 3.000$ Km. y en el tope del cuerpo central, cerca de $d = 5.120$ Km. La curva sinusoidal corta la línea recta AB en el punto C, sobre la ordenada para $d = 4.500$ Km. El punto C' divide la recta AB en dos segmentos AC' y C' B de tal modo que $AC' = 2 (C' B)$.

La semionda sinusoidal entre A y C es ligeramente asimétrica; mientras que la semionda entre C y B es casi perfectamente simétrica, si referimos ambas a la recta AB tomada como "eje de abscisas".

En este estudio, usaremos para la presión p los valores correspondientes a la recta AB. Si aceptamos que esta recta comienza en superficie, con $p = 0$, la rata de variación es de $0,00059497 \times 10^{12}$ din/cm², por kilómetro de profundidad, y esta rata nos da para $d = 33$ Km. el valor:

$$p = 0,0196 \times 10^{12} \text{ din/cm}^2$$

en lugar de $0,01 \times 10^{12}$ consignado por BULLEN para su "modelo A".

Las temperaturas internas de La Tierra han sido objeto de diversos análisis tentativos, con diferentes resultados.

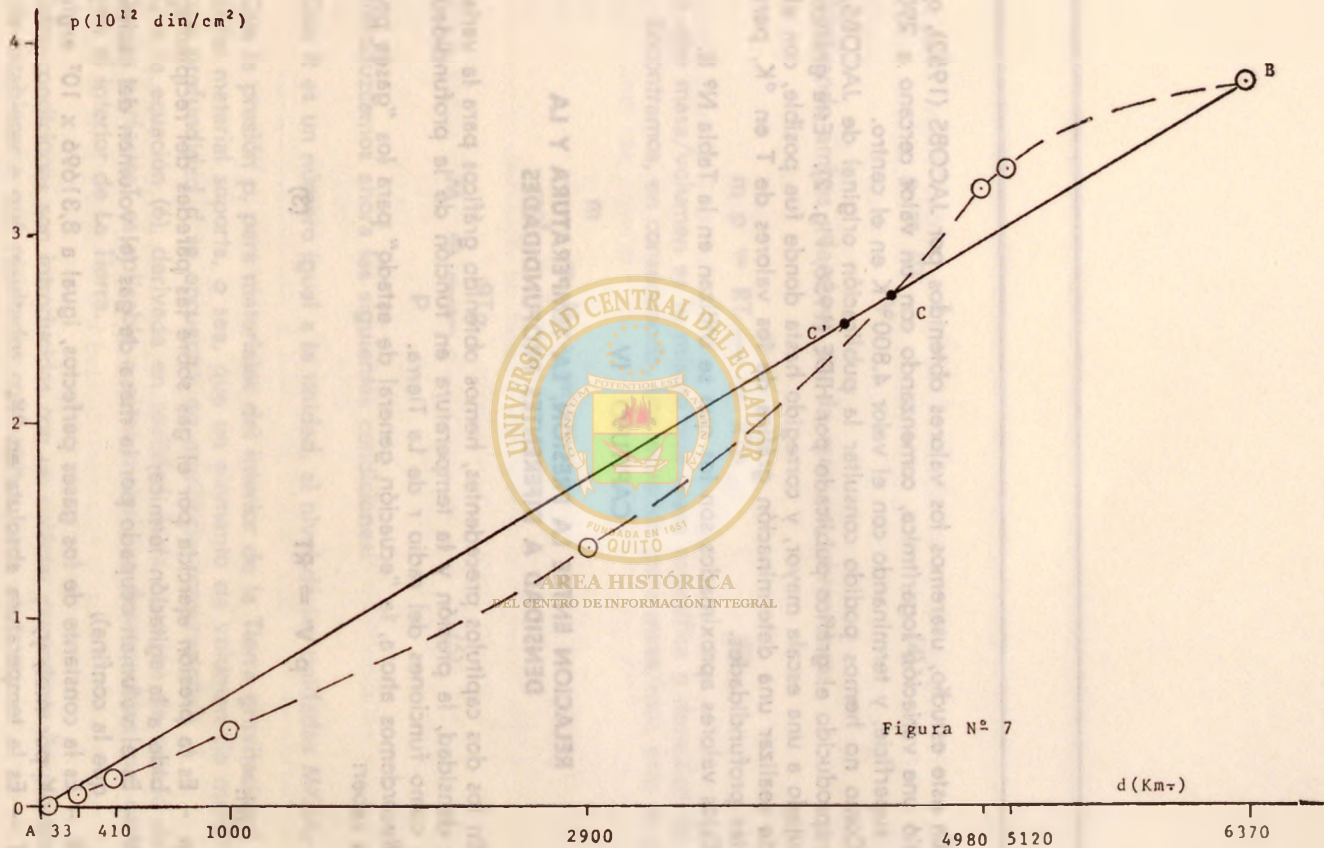



Figura N° 7





En este estudio, usaremos los valores obtenidos por JACOBS (1952), quien admitió una variación logarítmica, comenzando con un valor cercano a 290° K en la superficie, y terminando con el valor 4.800° K en el centro.

Como no hemos podido consultar la publicación original de JACOBS, hemos reproducido el gráfico publicado por HIDE (1956, Fig. 2). Este gráfico fue redibujado a una escala mayor, y corregido hasta donde fue posible, con el objeto de realizar una determinación gráfica de los valores de T en °K, para diferentes profundidades.

Estos valores aproximados son los que se utilizan en la Tabla N° 8.



CAPITULO IV

RELACION ENTRE LA PRESION, LA TEMPERATURA Y LA DENSIDAD A DIFERENTES PROFUNDIDADES

En los dos capítulos precedentes, hemos obtenido gráficos para la variación de la densidad, la presión y la temperatura en función de la profundidad, es decir, como funciones del radio r de La Tierra.

Recordemos ahora, la "ecuación general de estado" para los "gases perfectos" a saber:

$$p V = RT \quad (3)$$

en la cual:

- p – Es la presión ejercida por el gas sobre las paredes del recipiente, debida a la agitación térmica;
- V – Es el volumen ocupado por la masa de gas (el volumen del recipiente que la confina);
- R – Es la constante de los gases perfectos, igual a $8,31696 \times 10^7$ ergios/° K por mol; y,
- T – Es la temperatura absoluta en °K.

Efectuemos la transposición algébrica:

$$p = RT \frac{1}{V} \quad (4)$$

y multiplicando ambos miembros por la masa m , obtenemos:

$$m p = RT \frac{m}{V} = RT\rho \quad (5)$$

puesto que masa/volumen es lo mismo que masa específica o densidad de masa ρ . Encontramos, en consecuencia, una ecuación para masa/mol, esto es para:

$$\frac{m}{\text{mol}} = M, \text{ a saber:} \quad (6)$$

$$M = \frac{RT\rho}{p}$$

Introduzcamos ahora las siguientes condiciones:

1. Que R es un número igual a la unidad, al nivel de las unidades MKSA;
2. Que la presión p , para materiales del interior de la Tierra gravitacional que dicho material soporta, o sea, que un elemento de volumen de material a una profundidad d se encuentra en equilibrio compresional;
3. Que la ecuación (6), derivada en realidad de la ecuación de estado de los "gases perfectos" es aplicable a estos materiales **desconocidos** que constituyen el interior de La Tierra.

Estas condiciones son introducidas con un carácter puramente "exploratorio" a fin de establecer a qué resultados conducen.

Usando las unidades:

$$R = 10^7 \text{ ergios/}^\circ\text{K} = 10^7 \text{ dinas} \times \text{cm/}^\circ\text{K} = 1 \text{ julio/}^\circ\text{K (por mol).}$$

$$T = ^\circ\text{K.}$$

$$\rho = \text{gramos/cm}^3.$$

$$p = 10^{12} \text{ dinas/cm}^2.$$

Se tiene:

$$M = \frac{10^7 \text{ din-cm}}{^\circ\text{K}} \times ^\circ\text{K} \times \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{cm}^2}{10^{12} \text{ din}} = 10^{-5} \text{ gramos (por mol);}$$

o bien, si trabajamos con tres cifras decimales, 10^{-2} gramos por mol.

Por ej., a $d = 2.800 \text{ Km.}$ se tendrá:

$$R = 10^7 \text{ din-cm/}^\circ\text{K (por hipótesis de que } R = 1)$$

$$T = 4.500 ^\circ\text{K (según el gráfico del modelo de JACOBS).}$$

$$\rho = 7,98 \text{ gr./cm}^3 \text{ (según lo calculado).}$$

$$p = 1,6659 \times 10^{12} \text{ din/cm}^2 \text{ (usando la variación lineal desde } p = 0 \text{ a } p = 3,79 \times 10^{12} \text{ din/cm}^2).$$

El valor resultante de M será:


$$M = \frac{1 \text{ julio}}{^\circ\text{K}} \times 4.500 ^\circ\text{K} \times 7,98 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^2}{1,6659 \times 10^{12} \text{ din.}}$$

$$= 21,556 \times 10^{-5} \text{ gr/mol} = 21,556 \times 10^{-2} \text{ gr/mol.}$$

En la Tabla N° 8 se dan los valores para diferentes profundidades d , usando para la densidad ρ los valores obtenidos por introducción de la hipótesis (2) que concierne a la variación de la incompresibilidad k y la rigidez μ en el manto.

Según lo ya dicho, se toma como valor de ρ para $d = 705 \text{ Km.}$, el de $4,48 \text{ gr/cm}^3$, que es el promedio entre $4,54$ —obtenido según el valor de $k_1 + (4/3) \mu$ según hipótesis (2)— y $4,42$ o sea el valor dado por la recta trazada entre los puntos correspondientes a $d = 221,5$ y $d = 1.850 \text{ Km.}$

TABLA N° 8

Profundidad d (Km)	Densidad ρ (Gr/cm ³)	Temperatura T (°K)	Presión p (10 ¹² Din/cm ²)	M = m/mol (10 ⁻² Gr/mol)
33	3,15	570	0,0196	91,61 (92/91)
200	3,46	1845	0,1190	53,64 (54/53)
410	3,85	2595	0,2439	40,96 (41)
705	4,48	3375	0,4195	36,04 (36)
1000	4,95	3705	0,5950	30,82 (31)
1500	5,88	4095	0,8925	26,98 (27)
1850	6,59	4245	1,1007	25,51 (26/25)
2500	7,48	4440	1,4874	22,34 (23/22)
2800	7,98	4500	1,6659	21,55 (22/21)
2900	8,03	4515	1,7254	21,01 (21)
				
ÁREA HISTÓRICA DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL				
2900	9,29	4515	1,7254	24,31 (25/24)
3250	9,94	4575	1,9337	23,52 (24/23)
3500	10,40	4620	2,0824	23,07 (23)
4000	11,33	4695	2,3799	22,35 (23/22)
4500	12,26	4725	2,6774	21,64 (22/21)
5050	13,28	4755	3,0046	21,02 (21)
5120	14,51	4770	3,0462	22,72 (23/22)
	[15,00]			[23,49 (24/23)]
5500	15,51	4785	3,2723	22,68 (23/22)
	[15,70]			[22,96 (23)]
6000	16,83	4792	3,5698	22,59 (23/22)
	[16,62]			[22,31 (23/22)]
6370	17,80	4800	3,7900	22,54 (23/22)
	[17,30]			[21,91 (22)]

NOTA.—Los valores entre [] para el "cuerpo central" corresponden a la recta IV' para la densidad.

Debemos considerar, para el cálculo de $M = \text{masa/mol}$, que R es en rigor un número sin dimensiones, puesto que su medida está dada en unidades de julios/ $^{\circ}\text{K}$ y tanto el numerador como el denominador son cantidades de energía.

De la ecuación de estado de los "gases perfectos" se obtiene:

$$R = \frac{p V}{T} \quad (7)$$

y, como la presión está medida según la fuerza F para unidad de superficie, si x es una distancia recta entre dos puntos, el volumen euclidiano será x^3 , y el producto pV tendrá la dimensión:

$$pV = \frac{F x^3}{x^2} = F x \quad (8)$$

Siendo $F x$ una medida del trabajo W producido por una cierta energía; y como la temperatura T también mide una cantidad de energía (cinética), resulta que R es un número adimensional.

En la Teoría de Homologación de Magnitudes Físicas desarrollada por nosotros (Kraglievich-Kral, Artículo Inédito a) se encuentra que, mientras el trabajo W está expresado estáticamente como fuerza F multiplicada por la distancia euclidiana x , la energía en el campo estático (esto es, la energía potencial), está expresada como fuerza F multiplicada por el "radio estático" r_E . Se encuentra a su vez que: $x = 2(\pi) r_E$, y por lo tanto W/ϵ es igual (estáticamente) a $2(\pi)$ y esta es la medida del ángulo plano central del círculo. Dicha energía potencial aparece generalizada como mv^2 , y la energía cinética como $(1/2) mv^2$, de donde $W/T = R$ será equivalente a W/ϵ_{cin} , puesto que T es proporcional a la energía cinética; y entonces, R es estáticamente proporcional a $4(\pi)$ que es el ángulo sólido central de la esfera. Si R es constante, lo que mide en última instancia, es el ángulo constante $4(\pi)$.

Esto significaría físicamente que la simetría esférica de los átomos (o moléculas) se mantiene constante. Es interesante recordar que a presión de 35.000 atmósferas, el vidrio, constituido mayormente de sílice, se destruye, lo cual ha

penmitido deducir que las moléculas de vidrio tienen la forma de "lentejas" vacías, es decir, que en el caso del vidrio ("líquido sólido") las moléculas no tienen simetría esférica.

Como la medida de un ángulo es un número sin dimensiones, ya que en el caso de un ángulo plano es el cociente de la longitud del arco para la longitud del radio, R también es un número.

La medida de R , en el sistema MKSA, es:

$$R = 8,31696 \text{ julios/}^\circ\text{K}$$

y este número es constante referido a un mol de cualquier gas "perfecto".

Cuando introducimos la condición de que:

$$R = 1 \text{ julio/}^\circ\text{K}$$

ello significa que si este número es constante, no está referido a 1 mol sino a una fracción de mol, a saber, a 0,120236 mol.

Pero aquí aparece otro aspecto que debe considerarse, y es que la cantidad 8,31696 julios está referida a 1 grado de temperatura T ; pero la división de la escala de temperaturas en "grados" es una división arbitraria, que no tiene relación con la existencia del cuanto de energía implicado en el cuanto de acción de PLANCK.

Luego, podemos usar 1 julio en lugar de 8,31696 julios si referimos esta cantidad unitaria a la correspondiente fracción de grado de temperatura y mantener que este nuevo número es constante referido a 1 mol, y no a una fracción de mol, pero en este caso, el factor de proporcionalidad entre M y Z que plantearemos, no es simplemente decimal sino que implica el valor 8,31696. Se tendría:

$$R = 1 \text{ julio}/0,120236 \text{ }^\circ\text{K, por mol} = \text{cte.}$$

Los valores de M obtenidos en la última columna de la Tabla N° 8, muestran la variación de masa/mol en función de la profundidad, es decir, en definitiva, como una función del radio r de La Tierra.

En la Teoría de Homologación ya citada, y denotando como t al tiempo, se encuentra la ecuación generalizada:

$$r_D = r_E \int t \, dt \quad (9)$$

siendo r_D el radio dinámico (rotacional) y r_E el "radio estático" (irrotacional), que es igual a $x/2$ (π).

Si tomamos convencionalmente a r_E como 1 unidad de radio estático, la medida de r_D es equivalente a una medida integrada de tiempo.

Podemos escribir:

$$\frac{m}{r_D} = \frac{m}{\int t \, dt} \quad (10)$$

En la misma Teoría, encontramos la siguiente definición "estática" de tiempo:

$$t = \frac{2m}{q} \quad (11)$$

con m : masa y q : carga eléctrica. De la ecuación (11) se deduce:

$$\frac{m}{t} = \frac{q}{2} \quad (12)$$

Si q es la carga eléctrica total absoluta de un sistema de partículas cargadas, y este sistema es el átomo de un "elemento químico", resulta que $q/2$ es la suma de las cargas unitarias de sus protones (o de sus electrones) y por lo tanto, es lo mismo que el número atómico Z característico del elemento.

Indicaremos además que la definición de tiempo dada en (11) es la recíproca de la expresión de la "razón giromagnética", establecida por la Mecánica Cuántica.

Vamos a introducir la siguiente:

Hipótesis: los valores de $M = R\rho T/p$ obtenidos para diferentes profundidades d (o sea para diferentes fracciones del radio r de La Tierra) son proporcionales a los números atómicos Z de diferentes elementos químicos.

Los elementos resultantes del uso de esta hipótesis se indican en la Tabla Nº 9.

TABLA N° 9

Profundidad d (Km.)	Elemento	(S)
33	Uranio/Protactinio	(U / Pa)
200	Xenón/Iodo	(Xe/ I)
410	Niobio	(Nb)
705	Criptón	(Kr)
1000	Galio	(Ga)
1500	Cobalto	(Co)
1850	Hierro/Manganeso	(Fe/Mn)
2500 (2900)	Vanadio/Titanio (Escandio)	(V/Ti) (Sc)
2900	Manganeso/Cromo	(Mn/Cr)
3250	Cromo/Vanadio	(Cr/V)
3500	Vanadio	(V)
4000	Vanadio/Titanio	(V/Ti)
4500	Titanio/Escandio	(Ti/Sc)
5050	Escandio	(Sc)
5120	Vanadio/Titanio Cromo/Vanadio	(V/Ti) (Cr/V)
5500	Vanadio/Titanio Vanadio	(V/Ti) (V)
6000	Vanadio/Titanio Vanadio/Titanio	(V/Ti) (V/Ti)
6370	Vanadio/Titanio Titanio	(V/Ti) (Ti)

Los elementos entre | | para el "cuerpo central" resultan de utilizar los valores entre [] de la Tabla N° 8.

Los valores de M obtenidos en la Tabla N° 8, están representados en la gráfica de Fig. 8.

La variación en el manto sigue una curva exponencial decreciente. En el

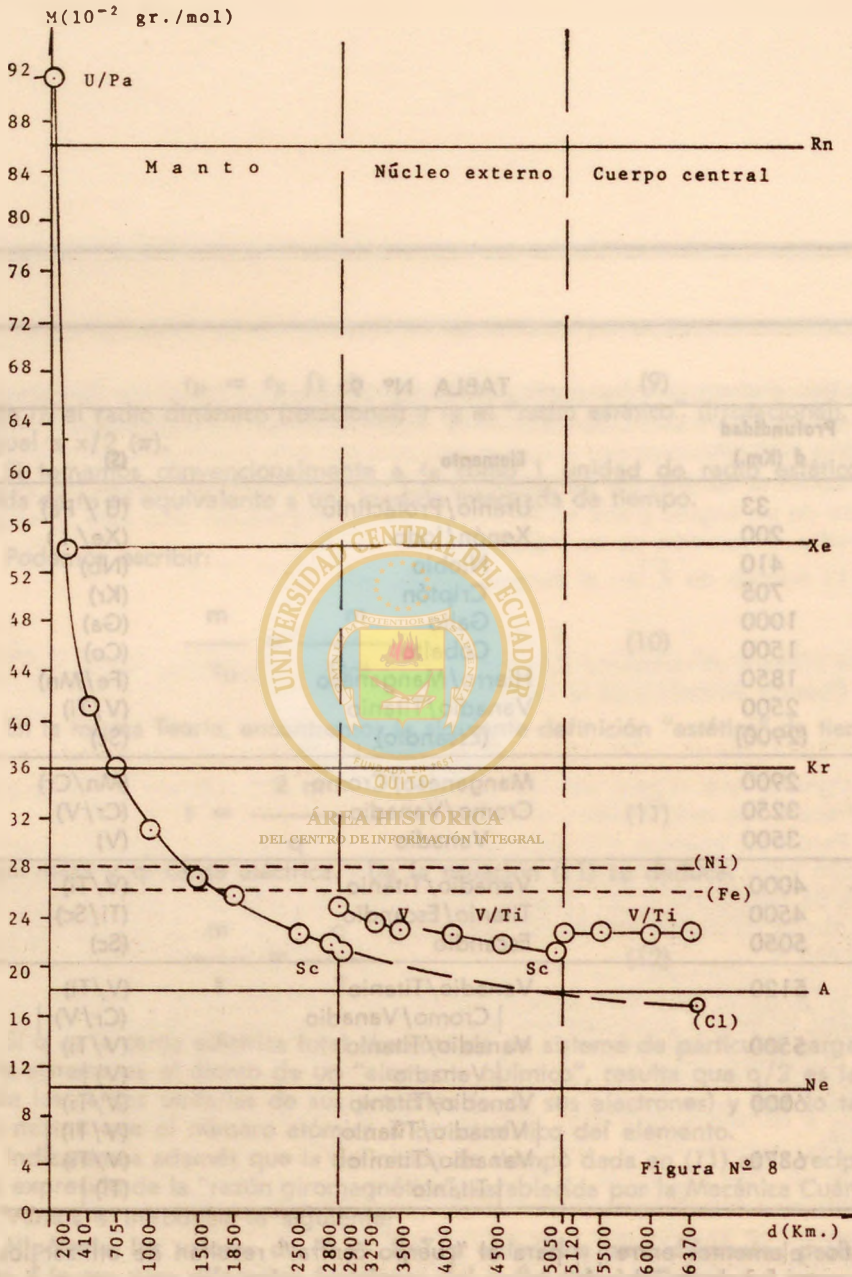
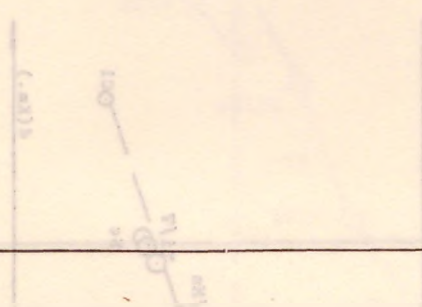


Figura N° 8



"núcleo líquido", sigue dos líneas rectas, ligeramente divergentes y con pequeñas pendientes negativas; y en el "cuerpo central", o núcleo interno, una recta horizontal.

En este "modelo" el manto entre la corteza o litósfera y el núcleo externo, está constituido por capas esféricas concéntricas que representan todos los elementos desde U (92) en el tope, hasta Sc (21) en la base.

El núcleo externo tendría una "composición" que abarca los metales Mn, Cr, V, Ti, Sc.

El "cuerpo central" tiene una "composición" uniforme constituida de Vanadio/Titanio, o de Cromo/Titanio si se usan los valores de la densidad de la línea IV'.

Faltan valores, en el conjunto total, correspondiente a los primeros 20 elementos (de H a Ca). Es interesante anotar que los primeros 18 elementos de la Tabla Periódica (H a A) tienen una estructura electrónica que resulta de la adición ordenada de 1 electrón en las correspondientes "capas" y "subcapas".

El Calcio y el Potasio tienen la estructura electrónica del Argón (2-2-6-2-6) a la que se añaden 1 y 2 electrones, pero no en la siguiente "subcapa" (subcapa d de la capa M) sino en la subsiguiente (subcapa s de la capa N).

El Escandio y los siguientes metales (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) tienen 1 ó 2 electrones en la subcapa 4s, y muestran un incremento (no totalmente regular) de 1 a 10 electrones en la subcapa 3 d.

En este "modelo" la presencia de Fe y Ni está restringida a la parte inferior del manto, en una profundidad de alrededor de 1.500 Km.

En la Fig. 8, la curva para el manto ha sido tentativamente prolongada hacia abajo a la derecha, alcanzando el valor 17 (correspondiente a C1) en la ordenada del centro de La Tierra. Una prolongación más hacia la derecha, alcanzaría el valor 1 (del H) en una longitud del radio terrestre r enormemente más grande que la actual.

Si como otra hipótesis alternativa, se considerase que la densidad de todo el "cuerpo central" es uniforme e igual a 17,8 gr/cm³ que es el valor máximo obtenido para el centro, los valores de M serían variables de 28 a 23. Esto es, representarían los metales Ni, Co, Fe, Mn, Cr y V. Estos valores aparecerían sobre una corta curva exponencial decreciente semejante a la de la porción correspondiente a la mitad inferior del manto. Así se restablecería la hipótesis del Nife para el núcleo.

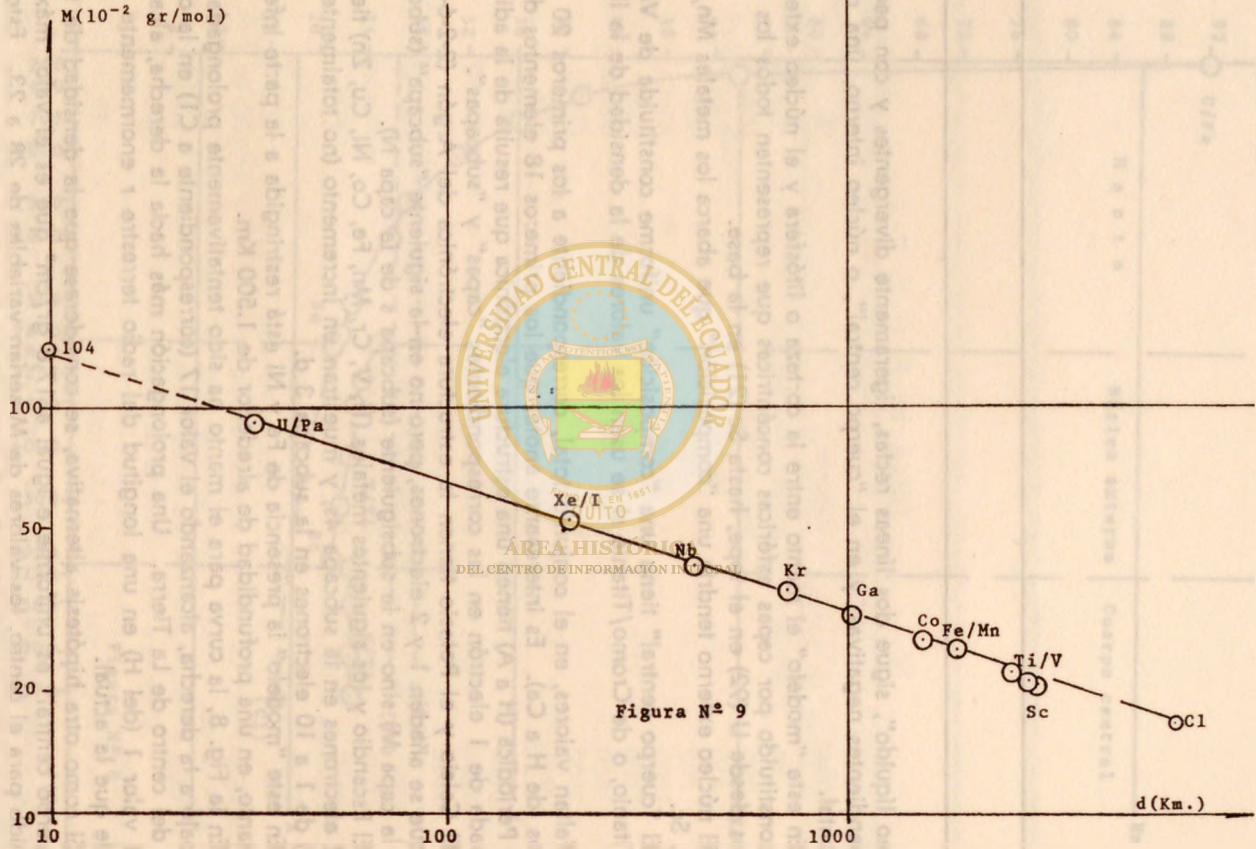
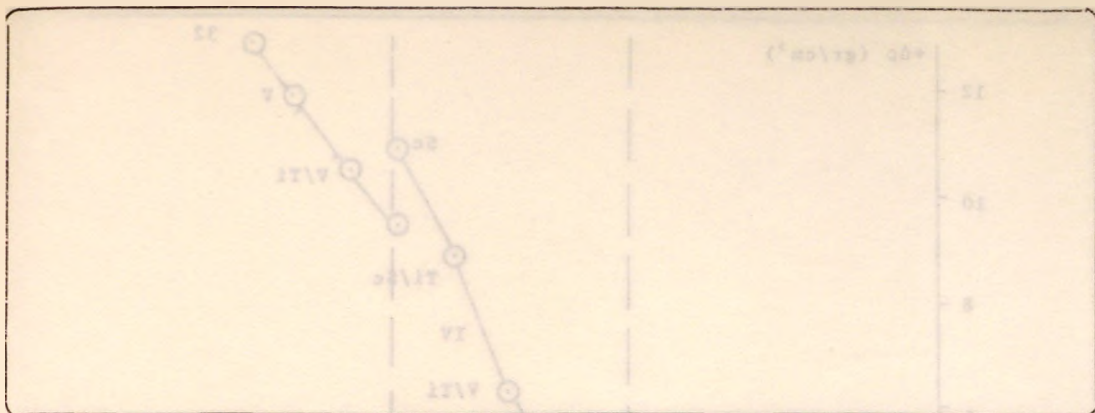


Figura N^o 9

ÁREA HISTÓRICA DEL CENTRO DE INFORMACIÓN HISTÓRICA



Los mismos datos para el manto graficados en Fig. 8, se presentan en la gráfica de Fig. 9, en coordenadas log-log.

El gráfico muestra que todos los valores están prácticamente sobre una recta. Esta recta corta la ordenada para $d = 10$ Km. (profundidad de algunas fosas oceánicas bajo el nivel del mar) en el valor 104, esto es, dentro del orden de Z para el elemento más pesado obtenido artificialmente.

La línea recta corta la ordenada de $d = 2.900$ Km. no precisamente en $Z = 21$, sino en $Z = 22$ (Titanio). Este es el valor que usaremos cuando comparemos densidades con las de los elementos a 0°C y 1 atmósfera.

La línea, prolongada dentro del núcleo, corta la ordenada del centro terrestre $d = 6.370$ Km.) al nivel 17 (Cl) de acuerdo con el gráfico de Fig. 8.

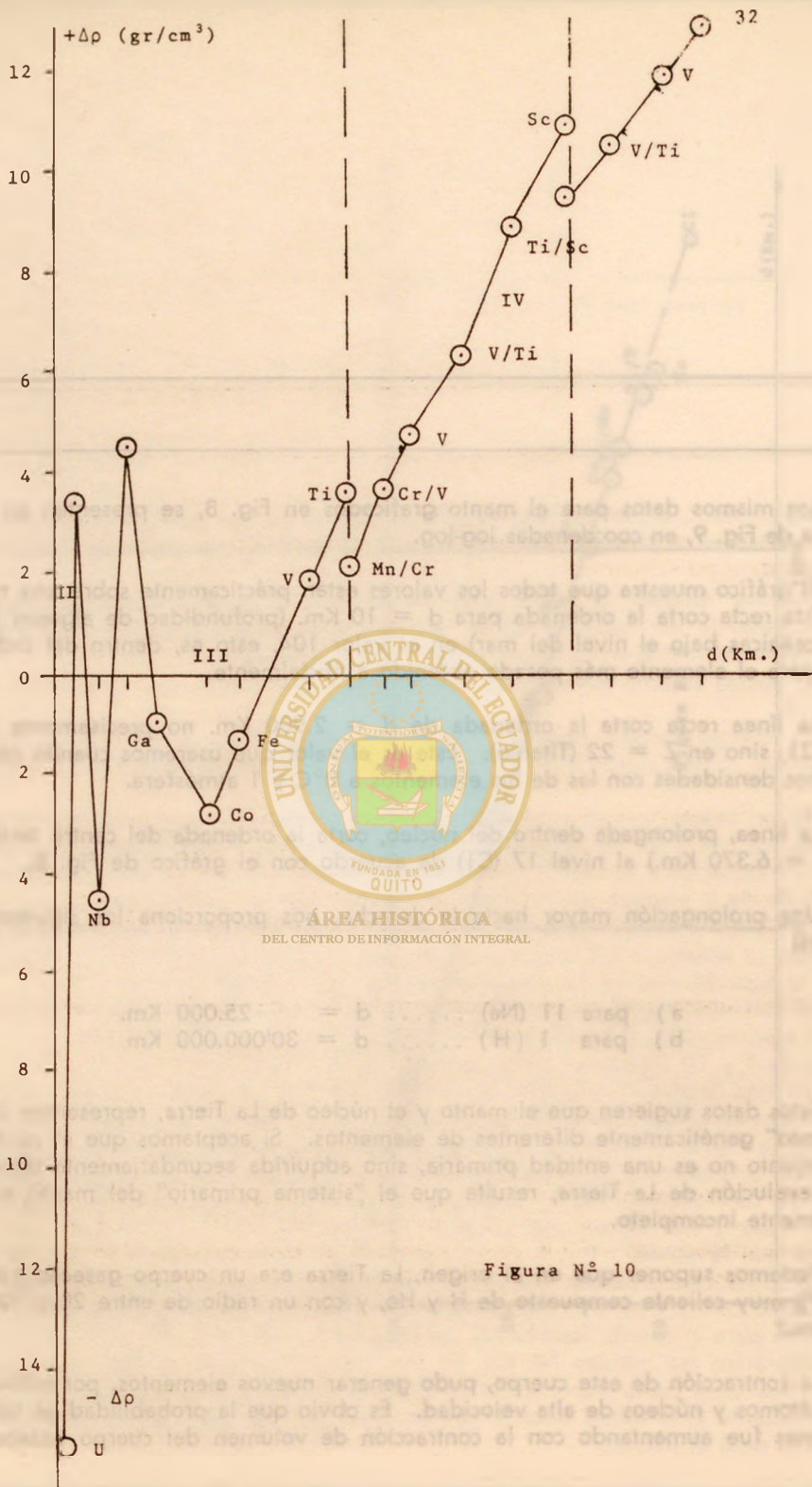
Una prolongación mayor hacia la derecha, nos proporciona los siguientes valores:

- a) para 11 (Na) $d = 25.000$ Km.
- b) para 1 (H) $d = 30'000.000$ Km.

Estos datos sugieren que el manto y el núcleo de La Tierra, representan dos "sistemas" genéticamente diferentes de elementos. Si aceptamos que el núcleo en conjunto no es una entidad primaria, sino adquirida secundariamente durante la evolución de La Tierra, resulta que el "sistema primario" del manto está actualmente incompleto.

Podemos suponer que en el origen, La Tierra era un cuerpo gaseoso esférico (?), muy caliente compuesto de H y He, y con un radio de entre 20 y 30×10^6 Km.

La contracción de este cuerpo, pudo generar nuevos elementos, por colisión entre átomos y núcleos de alta velocidad. Es obvio que la probabilidad de tales colisiones fue aumentando con la contracción de volumen del cuerpo gaseoso.



Los primeros 20 elementos (H a Ca) son la base para todos los compuestos químicos conocidos; esto es, son la base para la formación de las moléculas heterogéneas di y poli-atómicas.

Estos elementos —y los compuestos que contribuyen a formar— existirían actualmente sólo en el exterior (litosfera, hidrosfera y atmósfera), debido a su expulsión desde el interior del cuerpo primitivo, durante los procesos de la formación del manto y la segregación del núcleo como una masa diferenciada de elementos metálicos altamente resistentes a la presión.

Existen razones que no podemos discutir aquí, para suponer que entre el radio de La Tierra medido en Km., y la medida radiactiva del tiempo geológico, en años $\times 10^6$, existe una relación de proporcionalidad directa. Este factor, daría una edad para el "comienzo del tiempo", cuando La Tierra estaba formada solamente de Hidrógeno, de 3×10^{12} años. Esta cifra es 1.000 veces más grande que la edad de algunas de las rocas más antiguas de la corteza sólida (3×10^9 años).

Veamos ahora, cual es la relación entre la densidad de los "elementos" indicados en la Tabla N° 8, y la densidad del mismo elemento efectivamente existente, determinada experimentalmente a $T = 0^\circ\text{C}$ y $p = 1$ atmósfera (condiciones de superficie). Usaremos los valores redondeados de $M \equiv Z$ dados en la Tabla N° 8.

A una profundidad dada d , las condiciones de temperatura T y presión p , están dadas directamente por la Tabla N° 8, y asumiremos que a esa profundidad, el elemento "existente" con la densidad que da la Tabla. Para el manto, hemos seleccionado los valores de tal manera que correspondan a un elemento definido. Para el núcleo externo y el interno hemos usado valores medios de la densidad en los casos requeridos.

TABLA N° 10

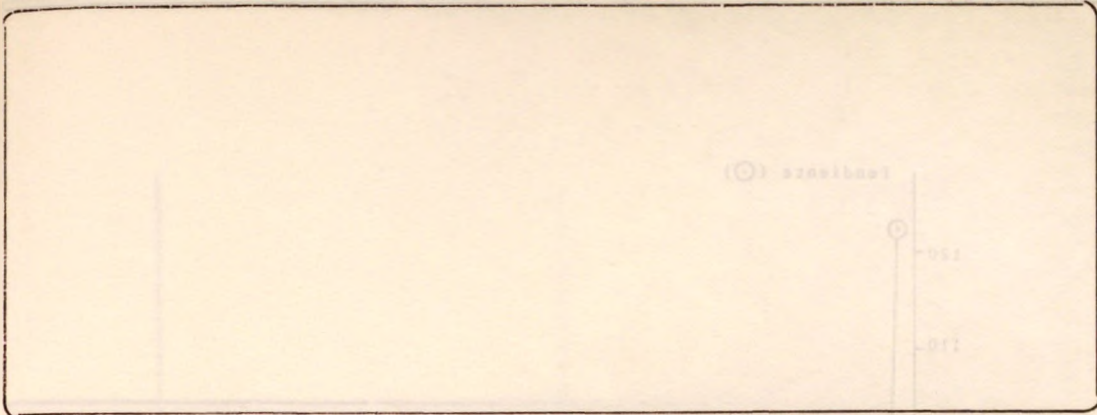
Elemento	Densidad ρ (Gr/cm ³) a 0°C y 1 atm.	Densidad ρ a profundidad d	Diferencia $\pm \Delta \rho$
U	18,70	3,15	- 15,55
Xe	0,00585	3,46	+ 3,45
Nb	8,40	3,85	- 4,55
Kr	0,00374	4,48	+ 4,48
Ga	5,93	4,95	- 0,98
Co	8,71	5,88	- 2,83
Fe	7,86	6,50	- 1,36
V	5,60	7,48	- 1,88
Ti	4,50	8,03	+ 3,53
Mn/Cr	7,12	9,29	+ 2,17
Cr/V	6,26	9,94	+ 3,68
V	5,60	10,40	+ 4,80
V/Ti	5,05	11,33	+ 6,28
Ti/Sc	3,50	12,26	+ 8,76
Sc	2,50	13,28	+ 10,78
V/Ti	5,05	14,51	+ 9,46
"	"	15,51	+ 10,46
"	"	16,83	+ 11,78
"	"	17,80	+ 12,75

Las diferencias $\Delta\rho$ se grafican, como función de la profundidad d, en Fig. 10.

En general, los valores de $\Delta\rho$ tienden a crecer desde un mínimo de -15,55 a un máximo de + 12,75.

La densidad de un material dado, puede estar afectada por dos factores contrarios:

- a) La temperatura, que incrementa el volumen ocupado por la masa, de modo que un aumento de temperatura implica una disminución de la densidad.



b) La presión externa o confinante, que disminuye el volumen ocupado por la masa, de modo que un aumento de presión gravitacional aumenta la densidad.

En la Tabla N° 8, hemos usado el modelo de JACOBS para la variación de temperatura, que muestra un incremento de tipo logarítmico; es decir, que el incremento de temperatura por unidad de radio con la profundidad es cada vez menor. A su vez, hemos aceptado que la presión crece linealmente, y por lo tanto, a mayor profundidad, el efecto compresivo de la presión es diferencialmente mayor que el efecto expansivo de la temperatura.

Esto es lo que justamente ocurre en el gráfico de Fig. 10. La densidad tiende hacerse mayor, comparada con la imperante a "condiciones normales", a medida que aumenta la profundidad.

En el manto, la variación de $\Delta\rho$ muestra dos oscilaciones, entre 33 y 1.500 Km. de profundidad, y una correlación lineal positiva casi perfecta entre $d = 1.500$ Km. y la base del manto.

En el núcleo externo, la variación sigue una correlación lineal positiva aproximada. La correlación para el núcleo interno o "cuerpo central" es perfectamente lineal.

Hemos reconocido cinco líneas rectas con pendientes positivas (I a V). Aparece claro que las pendientes, tienden en general a decrecer, siendo las de las líneas III y IV casi iguales.

Usando unidades adecuadas, estas pendientes están calculadas y alistadas en la Tabla N° 11.

TABLA N° 11

Línea Recta	Pendiente (Tangente del ángulo)	Índice (%)
I	122,6
II	30,6	24,9 (I/ II)
III	4,5	14,7 (II/III)
IV	4,0	88,9 (III/IV)
V	2,6	65,0 (IV/ V)

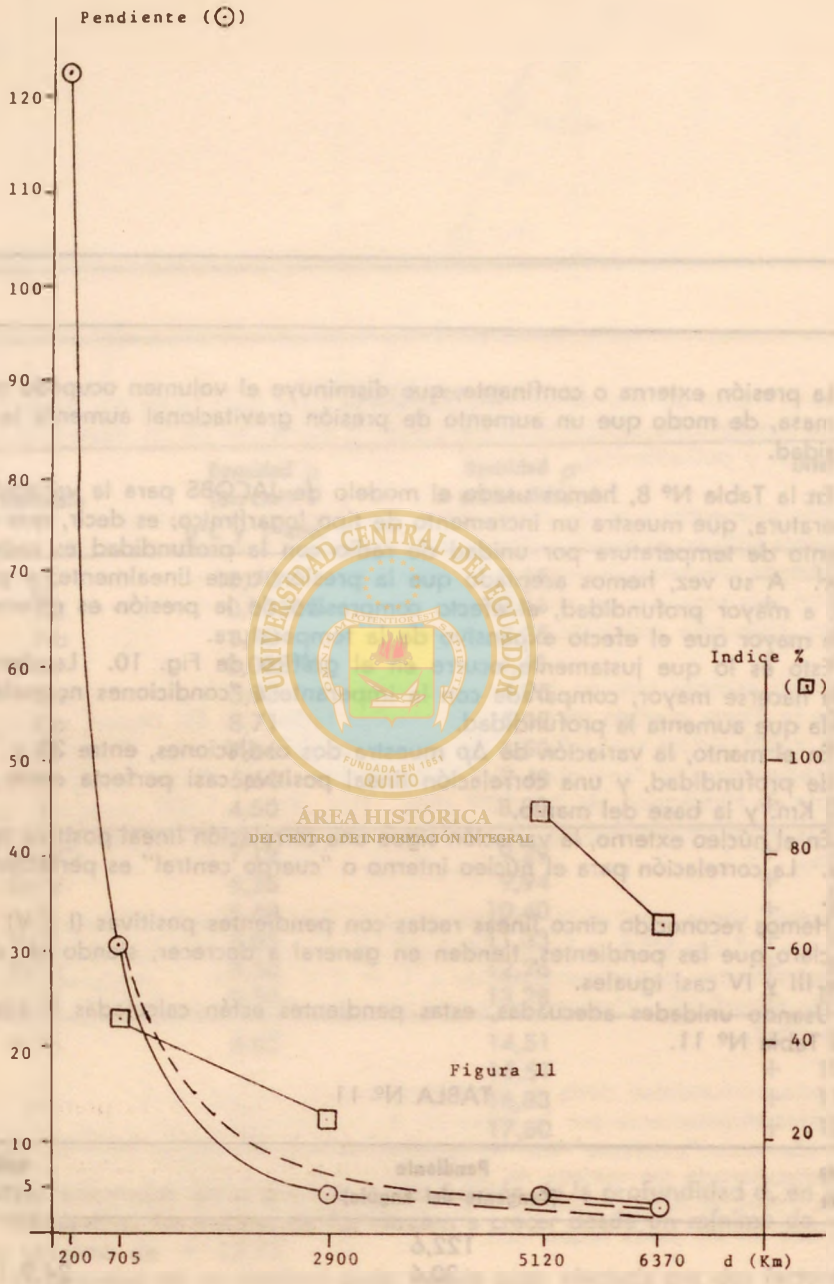


Figura 11

Estos valores están representados en el gráfico de Fig. 11, como funciones del último punto de cada recta. La línea IV se tomó del primero al último punto.

Los primeros tres puntos para la pendiente (en el manto) se encuentran sobre una curva exponencial decreciente.

Los valores para el núcleo no corresponden a dicha curva. Graficando los valores para el manto en papel log-log, se ubican casi sobre una recta y los dos para el núcleo sobre otra recta.

Es interesante anotar que los dos primeros valores para el manto y el último para el núcleo (centro de La Tierra) se encuentran, los tres, sobre la misma recta como se indica en Fig. 12.

Considerando esta última característica, aparece una ligera "deformación" de la función correspondiente al tramo de la mitad inferior del manto y del núcleo exterior. La "composición" de estas dos regiones aparece esencialmente uniforme, según los datos de la Tabla N° 8, a saber: (Mn) Cr — Ti (Sc).

Otro aspecto importante, de acuerdo con la Tabla N° 10, es que algunos elementos del manto, como U, Nb, Ga, Co, Fe, aparecen con densidades menores que las que tienen en superficie, a $p = 1 \text{ atm.}$ y $T = 0^\circ\text{C.}$

CAPITULO V

EVALUACION CRITICA RESUMIDA DE LOS DATOS PRESENTADOS

El breve análisis concerniente a la variación de $\Delta\rho$, proporciona apoyo a la idea de que los valores consignados en Tabla N° 8 y los gráficos de las Figs. 8 y 9 tienen "algún significado". No creemos, de hecho, que los gráficos representen la composición interna efectiva de La Tierra, pero son posiblemente una clave para abordar la solución de este problema, en conexión con el problema mucho más amplio del origen y evolución de La Tierra.

Las etapas que hemos seguido se comentan en los siguientes párrafos.

1.— Uso de valores promedio para las velocidades de las ondas P y S, graficados en función del punto medio de la profundidad de cada "región" interna. Esto implica, como condición previa, la aceptación de la existencia de las regiones A, B, C... tal como han sido definidas por BULLEN.

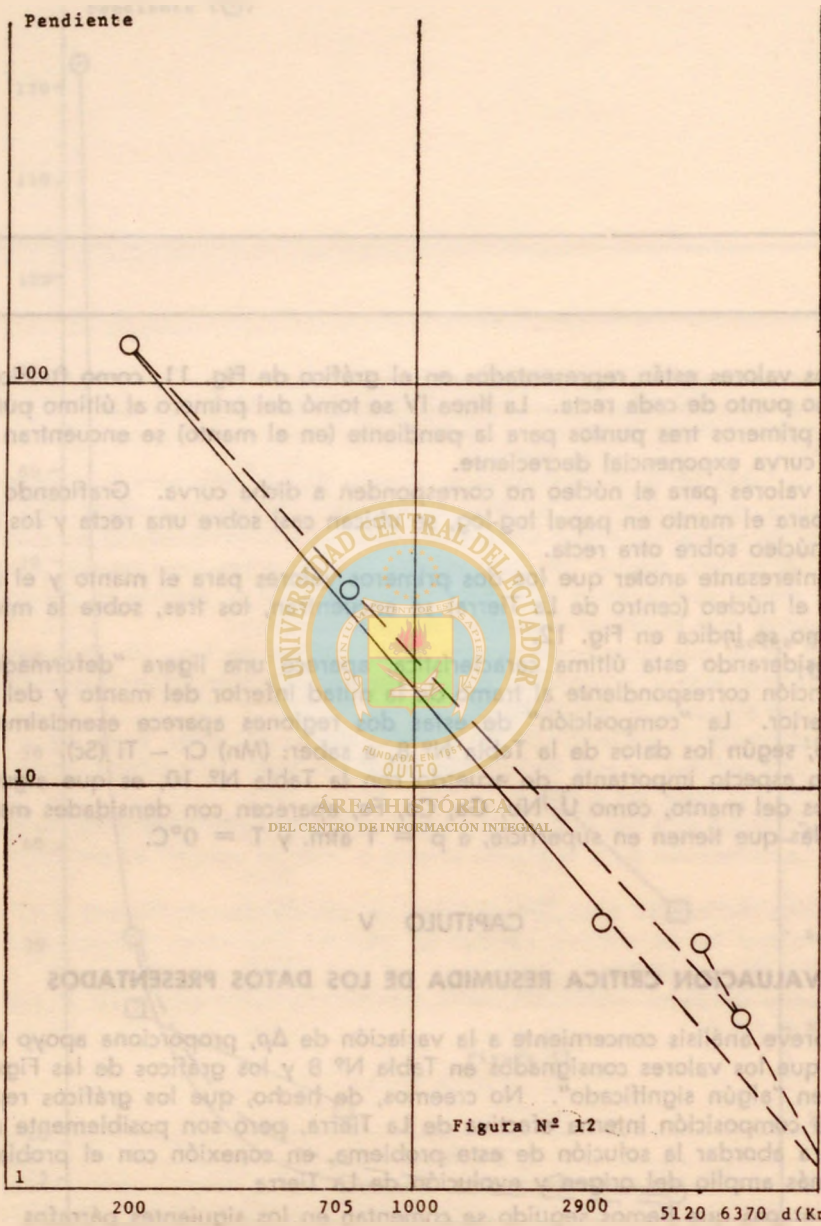


Figura N° 12

El procedimiento es estadísticamente correcto a nivel de primera aproximación y nos muestra:

- a) Que los valores están sobre curvas regulares, correspondientes a diferentes funciones logarítmicas; con la excepción de la curva para las velocidades α_2 que aparece deformada.
- b) Que las curvas dibujadas en escalas aritméticas, están interrelacionadas por medio de ciertas operaciones definidas, a saber: desplazamiento sobre el plano del gráfico, rotación sobre el plano, y rotación del plano alrededor de un eje contenido en el mismo plano.

Si los valores dados por las curvas se aceptan como "verdaderos valores" para las velocidades de las ondas P y S, sería necesario ver si las diferencias con los valores dados por BULLEN para el tope y la base de cada región, pueden o no ser descartadas. Estas diferencias son del orden de 10% como máximo y mucho menores en la mayoría de los casos.

2.— Hemos aceptado leyes de variación lineal para k y μ , del mismo modo que hemos aceptado una ley de variación lineal para la presión p ; pero no está claro para nosotros si los valores de k y μ dados por BULLEN fueron obtenidos sobre la base de los valores calculados para p , y éstos, a su vez, sobre la base de valores tentativamente asignados a la densidad ρ y a la aceleración de la gravedad g . Si éste fuera el caso, estaríamos claramente dentro de un círculo vicioso.

Pero, aún si existe realmente un círculo vicioso en estos cálculos, ellos hacen posible obtener algunos resultados acerca de la "composición interna" de La Tierra, que en nuestra opinión merecen ser considerados.

3.— La Ley de variación de las temperaturas dentro de La Tierra, como ha sido calculada por JACOBS, ha sido aceptada por diversas autoridades en Geofísica, y se ha usado aquí con el objeto de ver "que ocurre". Es decir, no estamos discutiendo su validez en último término, sino, simplemente, haciendo uso de la misma. Las cifras dadas en la Tabla N° 8, deben ser corregidas de acuerdo con la Ley Cuantitativa de JACOBS, que el autor no ha tenido oportunidad de consultar.

4.— Hemos aceptado una variación lineal de la presión desde 1 atmósfera en superficie (aprox. $0,000001 \times 10^{12}$ dinas/cm²) hasta $3,79 \times 10^{12}$ dinas/cm² en el centro de La Tierra, como una aproximación primaria. Es necesario discutir el significado de la deformación sinusoidal respecto a la recta, que muestran los valores dados por BULLEN. Si la presión gravitacional tiene realmente una variación lineal, deberá aceptarse lo mismo para la aceleración de la gravedad g. Sin embargo, BULLEN (1956) dice que en sus dos "modelos" g aumenta desde 981 cm/seg² en superficie, hasta 1040 cm/seg² en la frontera manto/núcleo, y luego decrece hasta cero en el centro.

5.— La derivación de la expresión:

$$m = R \frac{\rho T}{p}$$

o bien, si R es constante por mol,

$$M = R \frac{\rho T}{p}$$

a partir de la ecuación de estado de los "gases perfectos", parece ser correcta; siendo M = masa/mol un número sin dimensiones. Hemos introducido la hipótesis de que este número, es proporcional por un factor decimal, al número atómico Z de los elementos químicos naturales. A su vez, hemos basado esta hipótesis en ciertas ecuaciones de nuestra Teoría de Homologación de las Magnitudes Físicas de los Campos Mecánico-Gravitatorio y Electro-Magnético, la cual permanece inédita y no puede por lo tanto ser aceptada como válida hasta que no reciba la adecuada consideración crítica.

6.— El uso de R igual a la unidad (1 julio/°K) parece ser arbitrario, pero no lo es si consideramos que también es arbitraria la división en "grados" de la escala de la temperatura. De hecho, usando $R = 1$ se obtiene para $R\rho T/p$ a $d = 33$ Km., un múltiplo decimal de 92, que es el número atómico Z del Uranio, el último elemento natural conocido.

De hecho obtendríamos un múltiplo decimal exacto de 92 si, aceptando el valor $3,15 \text{ gr/cm}^3$ para la densidad corrigiéramos el valor de la temperatura o el de la presión. Si, a su vez, se acepta el valor de la presión ($0,0196 \times 10^{12} \text{ din/cm}^2$) en base a la variación líneal de p, el "valor correcto" de la temperatura debería ser $572 \text{ }^\circ\text{K}$. Como hemos determinado los valores de la temperatura por un método gráfico aproximado —ampliando el gráfico de JACOBS publicado por HIDE— la diferencia con $570 \text{ }^\circ\text{K}$ no puede ser detectada en esta escala.

7.— Una importante objeción, basada en el párrafo precedente, sería de que $570 \text{ }^\circ\text{K} = 297^\circ\text{C}$ a la profundidad de 33 Km. es una temperatura muy baja para esta profundidad.

Dejando de lado el asunto del gradiente geotérmico, acerca del cual existe bastante incertidumbre, hay que considerar que los magmas fundidos extruidos por chimeneas volcánicas o por fisuras y que provienen de profundidades abisales o hipabisales de 10 a 30 (?) Km., alcanzan la superficie con temperaturas de, por ej., 1200°C .

Sin embargo, la evidencia geológica no sostiene la idea de que exista una "capa mundial" de magmas fundidos en la base de la corteza; es mucho más probable —casi seguro— que estos magmas fundidos proceden de cámaras magmáticas localizadas, dentro de la parte inferior de estructuras tectónicamente deformadas o estructuras orogénicas. En estas cámaras, el material puede estar recalentado por procesos de convección térmica, alimentados por concentración de elementos pesados radiactivos procedentes del tope del manto (entre $d = 33$ y 60 Km.).

Ha sido aceptado, por muchas autoridades en Geología, que una densidad de $3,0 \text{ gr/cm}^3$ en la base de la corteza corresponde a rocas ultrabásicas, como ser, peridotitas, dunitas, o eclogitas; y que todo el manto bajo la corteza hasta $d = 2.900 \text{ Km.}$ está compuesto por estas rocas.

Sin embargo, el estudio de stocks ultrabásicos a lo largo de ciertos ejes geosinclinales (p. ej., en las cadenas de los Apalaches) permite interpretar que estas rocas ultrabásicas son inyecciones póstumas durante la fase sinorogénica temprana de un residuo más denso y pesado, esto es, de una fracción diferenciada de un magma básico "normal" la cual quedó en los niveles inferiores de la cor-

teza después de la extrusión de las "rocas verdes" a través de fisuras, abiertas en el piso de la cuenca geosinclinal durante el magmatismo preorogénico, antes de comenzar la deformación compresiva.

Esto significa que el concepto de un "magma primario ultrabásico" es muy dudoso y muy probablemente incorrecto.

8.— El centro del problema concerniente al uso de $R\rho T/p$, para valores de ρ , T y p calculados para el interior de La Tierra, aparece bajo dos aspectos:

- a) Estamos aplicando una ecuación derivada de la ecuación de estado de los "gases perfectos" a materiales cuyo estado se acepta o se supone que no es gaseoso;
- b) Estamos sustituyendo la presión ejercida por una masa gaseosa, que es de origen térmico, por la presión ejercida sobre una masa material, que es de origen gravitacional.

9.— Aceptando que los valores de $M = R\rho T/p$ nos dan un panorama de la composición interna de La Tierra bajo la corteza superficial, nos encontramos confrontados con la posible existencia de capas concéntricas de "elementos químicos puros".

La idea de que en el interior terrestre se localizan masas de elementos químicos puros, no es nueva, al menos para el núcleo. Diferentes autores han postulado la existencia de un núcleo formado por una "aleación" de Níquel-Hierro, o por una mezcla de Hidrógeno y Helio.

El hecho concreto es que sólo conocemos evidencias directas o indirectas acerca del material que forma la corteza por encima de 33 Km. de profundidad; y este material está constituido de manera predominante por silicatos (magmas), sílice residual y óxidos y sulfuros, con el agregado de oro y plata "nativos", etc.

Pero nadie ha estado, hasta ahora, en condiciones de observar una muestra procedente de profundidades del orden de 20 a 30 Km., o más. Hay evidencia geológica aceptable (p. ej., KRAGLIEVICH-KRAL, artículo inédito b) de que lavas volcánicas de los Andes de América del Sur, al menos en Ecuador, proceden de cámaras magmáticas aisladas ubicadas a 10–20 Km. de profundidad, en la zona axial del orógeno.

Mientras tanto, el panorama dado por la Tabla N° 8, nos muestra:

- a) Una concentración de elementos radiactivos pesados (U, Pa, Th, Ac, Ra) directamente bajo la corteza, entre 33 y 60 Km. de profundidad, y se ha sostenido previamente que estos elementos radiactivos están concentrados a estas profundidades; abundan en los intrusivos granitoides que a su vez se suponen resultantes de la fusión en profundidad de masas sedimentario-extrusivas que rellenaron cuencas sometidas a colapso por hundimiento e infraposición en las márgenes cratónicas;
- b) Una composición de la mitad inferior del manto, que incluye Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, y Sc es decir, el clásico "Nife" pero traslocado y reforzado con metales fuertemente resistentes a la presión. Estos últimos metales reaparecen, nuevamente, en el núcleo.

Debe tomarse en cuenta, por otra parte, que por encima del elemento 8, y de hecho por encima del 20, no hay combinaciones químicas entre elementos consecutivos de la tabla periódica.

Cabe suponer, además, que si a un determinado nivel de profundidad, se altera momentáneamente el equilibrio termodinámico, un átomo de un elemento dado tenderá a "migrar" verticalmente (radialmente), transmutándose en el átomo del elemento contiguo, precedente o subsiguiente. Esta "transmutación" implica no solo el agregado o la pérdida de un electrón, sino también la de un protón, que debería ser incorporado al, o expulsado, del núcleo, o bien convertido en neutrón o viceversa, en el núcleo.

Ahora debemos encarar la cuestión de la continuidad de la curva de Fig. 8. Los números atómicos Z tienen valores discretos enteros, porque no existen fracciones de protones"; pero la variación de $R\rho T/p$ aparece como continua.

En dicha expresión, R es un valor fijo, y la densidad ρ es una función primaria de la temperatura y la presión.

En nuestra Teoría inédita de Homologación ya citada, encontramos que, estáticamente, la densidad de masa ρ es igual a la permitividad eléctrica del vacío ϵ_0 dividida para $2(\pi)$.

Si existe una variación discontinua de ρ , esto implicaría una variación discontinua de la permitividad ϵ por unidad de ángulo.

Puede ser, a su vez, que la temperatura y la presión varíen de manera discontinua, una de ellas o ambas a la vez; una admisión de ésto para T estaría de acuerdo con la cuantificación de la energía (cinética) y en cuanto a la segunda implicaría una cuantificación del potencial gravitatorio, lo que conduciría a admitir la existencia de "cuantos gravitacionales" de alguna manera equivalentes a los cuantos electro-magnéticos.

10. — Refiriéndonos a la objeción de que hemos usado como base del análisis, la ecuación de los "gases perfectos" ($pV = RT$) para un material que suponemos no gaseoso, debemos repetir que nadie sabe hoy día cual es el estado físico de los elementos químicos puros bajo la combinación de las temperaturas y presiones que aquí manejamos para el interior de la Tierra.

La definición de un "gas perfecto" se basa, por último en dos presunciones:

- a) Que las moléculas (o los átomos) son "virtualmente puntuales";
- b) Que entre estos entes no existen, o son despreciables, las fuerzas de cohesión.

La primera condición puede ser admitida, como aproximación, bajo las inmensas presiones prevalecientes en profundidad, que en su mayor parte, son superiores al millón de atmósferas. Experimentos de laboratorio llevados a cabo por la escuela de BRIDGMAN lograron presiones de hasta 300.000 y 400.000 atmósferas y STERNHEIMER, en 1951, demostró que los átomos de Cesio, bajo la presión de 100.000 atmósferas, sufren la contracción de sus órbitas electrónicas, las cuales se comprimen alrededor del núcleo. Esto es, que el átomo tiende a hacerse "puntual".

Aceptando, como hemos dicho, que la medida del radio dinámico es proporcional a una medida integrada de tiempo, la disminución del radio de las órbitas electrónicas implicaría una disminución del período de rotación y esta disminución implicaría un aumento de frecuencia, que puede dar la pauta de una disminución o anulación de la cohesividad, entendida como resultado de un intercambio de electrones entre átomos contiguos (que "no tienen tiempo" de intercambiarse).

En resumen, los materiales constitutivos del interior de La Tierra, deberían ser considerados según esto como existentes en el estado "ultrafísico" de:

Gases casi perfectos, enormemente comprimidos, a temperaturas que en su mayor parte, representan entre el 66% y el 83% de las que prevalecen en la superficie del sol.

Una alternativa adicional, es de que la rigidez podría ser significativa a través de todo el núcleo, tomando en el núcleo externo los valores dados por la recta IV de Fig. 5. Si esto se comprueba, el material del núcleo exterior estaría en un estado equivalente a "sólido" y la razón por la cual las ondas S son reflejadas por la frontera situada a $d = 2.900$ Km. sería diferente de la aducida como un cambio de estado de "sólido" a "fluido".

En nuestra opinión, las "leyes físicas" deducidas de fenómenos ocurrientes en la superficie terrestre, son un caso particular de otras "leyes" más generales, válidas dentro de un campo de ultrapresiones y altas temperaturas imperantes en el interior de cuerpos astrales tales como los Planetas y las Estrellas; y en el campo de presiones gravitacionales casi nulas y muy bajas temperaturas imperantes en los espacios interplanetarios e interestelares.

REFERENCIA

- BULLEN, K. E.— 1956.— Seismology and the broad structure of the Earth's interior.— Physics and Chemistry of the Earth, Vol. I. pp. 68-91.— New York, Mc Graw-Hill.
- BULLEN, K. E.— 1972.— Some problems connected with constructing Earth models.— Conference on Solid Earth problems, vol. II, pp. 63-77, Buenos Aires.
- HIDE, R.— 1956.— The Hydrodynamics of the Earth's core.— Phys. and Chem. of the Earth, vol. I. pp. 94 - 137, New York.
- JACOBS, J. A.— 1952.— Cand. J. Phys. vol XXXI, p. 307 (no consultado).
- KRAGLIEVICH-KRAL, J. L.— (Artículo inédito a).— Teoría de Homologación de las magnitudes Físicas de los Campos Mecánico-Gravitatorio y Electromagnético en el caso estático.
- KRAGLIEVICH - KRAL, J. L.— (Artículo inédito b).— Sección estructural de los Andes Ecuatorianos a lo largo del paralelo 19 S, con comentarios acerca del posible uso de la energía geotérmica.

Quito, agosto de 1974.

ABSTRACT.— Accepting the division of the Earth's interior into concentric "regions" A, B, C... sustained by BULLEN in 1956, and the figures for velocities of P and S seismic waves at the top and bottom of every region, by the same authority, we select a very simple statistical procedure in order to handle these data, that gives regular logarithmic (exponential) curves for the variation of velocities. It is shown that the curves are interrelated by means of some geometrical procedures.

Applying the same criterium to incompressibility k and rigidity μ we obtain linear laws of variation.

By use of these mean values, it is obtained a linear model for variation of density within the Earth, that reaches a maximum of $17,8 \text{ gr/cm}^3$ at the center and shows two breaks, at 2.900 and 5.120 Km. of depth.

It is accepted, as a primary approximation, a linear variation for gravitational pressure from nearly 0 at surface up to $3,79 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2$ at the Earth's center.

For variation of temperatures within the Earth, it is accepted without discussion, the JACOBS model, following a logarithmic law from temperature at surface up to 4.800°K at the center.

Using the equation of state of "perfect gases" it is derived the expression:

$$\text{mass} = \frac{R\rho T}{p}$$

or, if R is a constant number referred to one mol,

$$M = \frac{R\rho T}{p}$$

being M a dimensionless number (mass/mol).

Taking some equations from the theory of Homologation of Mechanic-Gravitational and Electro-Magnetic Measures developed by the author (yet unpublished) it is introduced the hypothesis that the number M is decimally proportional to the atomic number Z of different natural chemical elements.

METODOLOGIA EN LA

ENSEÑANZA DE LA

MATEMÁTICA

Ing. Civil

MARCO ANTONIO

CABEZAS PUENTE

As a result, the "mantle" between the outer crust and the core appears as composed from top to bottom by the sequence of elements beginning with Uranium and ending with Scandium (Titanium).

The outer core would be composed by the metals between Manganese and Scandium, and the inner core or "central body" by Vanadium/Titanium.

Data for the mantle, plotted in log-log paper, follows a straight line with negative slope. Prolongation of this line, gives for the element 11 (Na) a terrestrial radius of 25.000 Km. and for Hydrogen, a radius of 30.000.000 Km.

It is suggested that the primitive "Earth" was an astral body of enormous size, composed mainly by H He, and that further contraction of this body produced: a) expulsion of the first 20 elements to the surface, where they formed the principal chemical known compounds; b) formation of a mantle of pure chemical elements in concentric sheets, from U to Ti, and c) differentiation of a metallic core with a composition between Mn — Ti.

In this model, the "Nife" is restricted to the lower portion of the mantle, and perhaps it reappears in the "central body" if an alternative hypothesis is used.

A comparison between densities of the supposed elements existing at different depths and the densities of the same elements at 0°C and 1 atmosphere of pressure, gives a grauph that shows a nearly regular pattern.

The last section is devoted to a preliminary critical evaluation of the presented data. It is shown that nobody knows the physical nature and state of material existing below 33 Km. depth; that it is possible the existence of "pure chemical elements" in the Earth's interior, under very high pressures and temperatures in an "Ultrapysical" condition that makes possible its transmutations, and that these elements could be "nearly perfect gases" in a "pseudo-solid" o "pseudo-fluid" state.

As a general conclusion, it is sustained that "physical laws" derived from the study of matter in surface conditions, are only a particular case of more general "laws" concerning both high— pressure (temperature) conditions and very low ones.

There is, also an indication about the possibility of quantification of gravitation.

In the author's opinion, the present paper puts more questions than that solved, so opening the door for new paths in physical and geophysical research.