paquetamiento de los átomos, que da un incremento en el volúmen de una gran masa de átomos, como se mide por los volúmenes atómicos, aunque cada átomo individual se está haciendo más pequeño. Estos efectos de empaquetamiento son también característicos de las respectivas familias, no obstante, de modo que la periodicidad en el cambio del volúmen atómico se observa todavía.

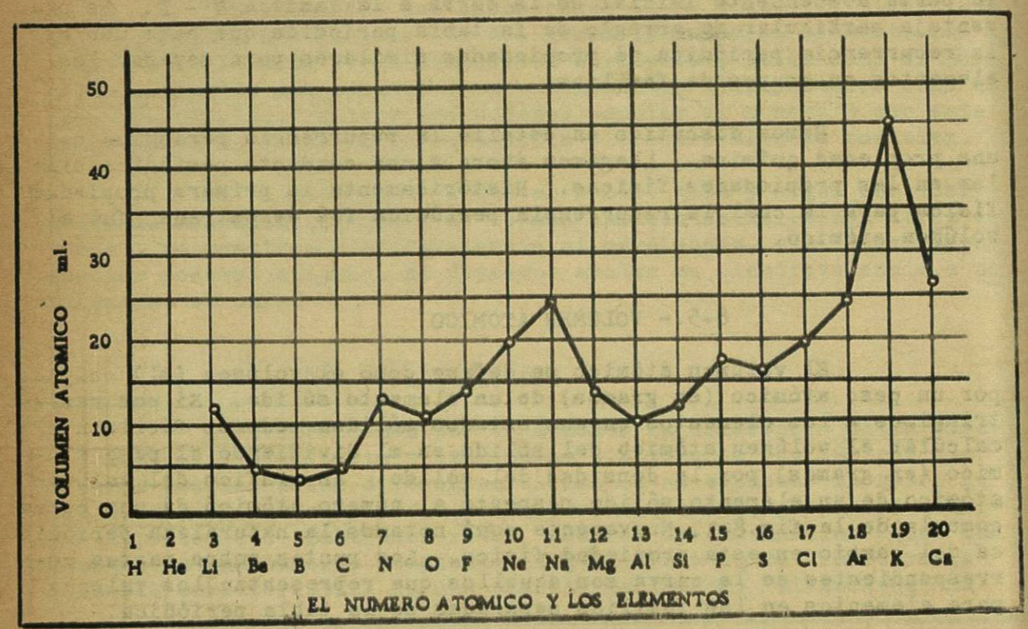


Figura 8-3

VOLUMENES ATOMICOS (ml) DE LOS ELEMENTOS 3 AL 20

8-7.- POTENCIAL DE IONIZACION DE LOS ELEMENTOS DEL 1 AL 20

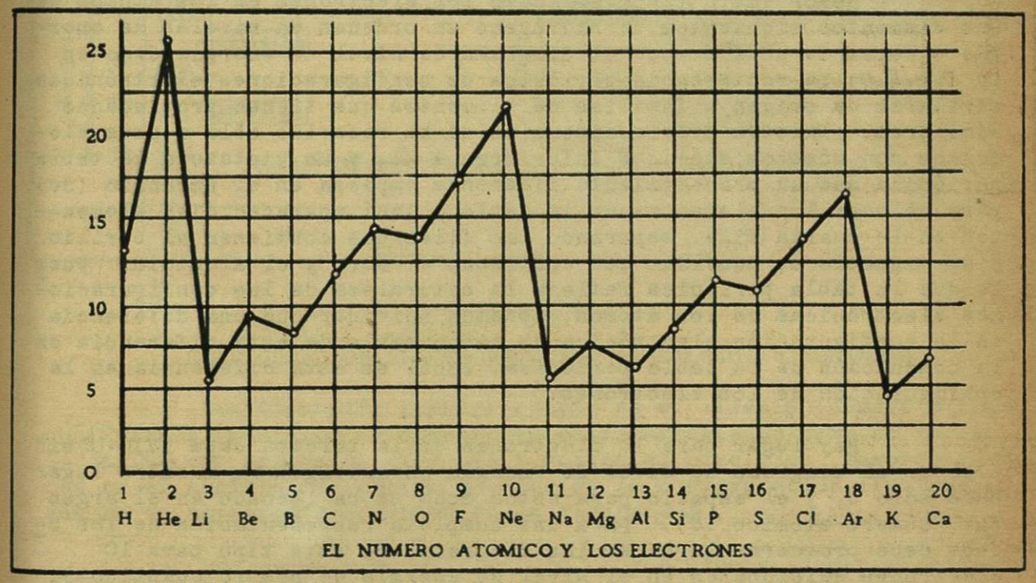
Como un último ejemplo de la periodicidad de las características entre los primeros 20 elementos consideraremos el potencial de ionización. La cantidad de energía necesaria para efectuar una remoción del electrón más desligado de un átomo gaseoso aislado en su estado de más baja energía se llama el primer "potencial de ionización". Un vistazo a los datos en la tabla 8-1 indicará que a medida que la carga nuclear incrementa entre los átomos con un arreglo electrónico exterior similar, los potenciales de ionización incrementarán a causa de la mayor atracción de los núcleos hacia los electrones. Esto se demuestra gráficamente en la fig. 8-4.

Esta fuerza atractiva ejercida por el núcleo de los electrones mantenidos más débilmente está particularmente equilibrada por

Tabla 8-1

PRIMER POTENCIAL DE IONIZACION DE LOS ELEMENTOS 1 a 20

No.At.	Símbolo	P.I (e.v.)	No.At.	Símbolo	P. I. (e.v.)
1	H	13.6	11	Na	5.1
2	He	24.6	12	Mg	7.6
3	Li	5.4	13	Al	6.0
4	Be	9.3	14	Si	8.1
5	B	8.3	15	P	11.0
6	C	11.3	16	S	10.4
7	N	14.5	17	Cl	13.0
8	O	13.6	18	Ar	15.8
9	F	27.4	19	K	4.3
10	Ne	21.6	20	Ca	6.1



POTENCIAL DE IONIZACION CONTRA NUMERO ATOMICO

las fuerzas repulsivas ejercidas por los electrones más interiores. El electrón a remover está protegido del núcleo por estas capas, y resulta una disminución en el potencial de ionización.

Los gases inertes ocupan una posición máxima en la tabla de los potenciales de ionización, la caída brusca a un valor mínimo para un elemento en el grupo I después de cada gas inerte, está asociado con la adición de un solo electrón s al nivel de energía más alto, este electrón s está mejor que los electrones s en niveles de energía más bajos. El aumento de los elementos del grupo I hasta el grupo VII en cada período es debido principalmente a los efectos de carga nuclear aumentada.

Hay muchos ejemplos adicionales del cambio periódico de las propiedades con un número atómico, aumentado. Algunas de estas propiedades serán discutidas después que consideremos los elementos con números atómicos mayores de 20. No debe suponerse no obstante que todas las propiedades muestran una variación periódica, una que ciertamente no lo hace es el peso atómico. El peso atómico aumenta con elnúmero atómico creciente, (con tres excepciones) como se ve en la tabla periódica en el respaldo del libro, y no muestra una vuelta repetida a valores similares de una función periódica.

8-8.- LOS ELEMENTOS DEL CUARTO PERIODO DE LA TABLA PERIODICA

Hemos visto (secc.4-8) como los electrones en los átomos de los elementos siguientes de hidrógeno se ordenan en niveles de energía o capas de acuerdo con el diagrama de nivel de energía dado en la fig.4-7). La recurrencia periódica de configuraciones electrónicas similares da origen a familias de elementos que tienen propiedades similares. Nuestra previa discusión se ha referido sólo a esos elementos con números atómicos inferiores a 21, y un vistazo a la tabla periódica que un procedimiento diferente empieza en el Escandio (Sc) para colocar los elementos en la tabla. Aquí aparecen diez elementos en la cuarta fila, separando las filas que contienen al berilio y al magnesio de aquellas que contienen el boro y el aluminio. Puesto que la tabla periódica refleja la naturaleza de las configuraciones electrónicas de los átomos, podemos adivinar que una diferencia en la configuración electrónica es responsable de esta diferencia en la ordenación de la tabla periódica. ¿Cuál es esta diferencia en la configuración de los electrones?

Hay lugar para 18 electrones en la tercera capa (VIII-12) sin embargo el diagrama de nivel de energía en la fig.4-15, muestra lugar para sólo 8, y el espacio para estos ocho se ha llenado en el argón (Ar, número atómico 18). Para una completa representación de los hechos debe proveerse lugar en los diagramas de este tipo para 10 electrones adicionales en el nivel de energía de número cuántico 3. Para el hecho de que estos electrones pueden parearse en órbitas, necesitamos cinco órbitas para estos 10 electrones; estas son las órbitas d de la tercera capa, a las que ya se ha hecho mención (Cap.VIa) Estudios de los espectros de los elementos demuestran que las energías de estas órbitas 3d se encuentran entre los niveles 4s y 4p en los primeros 20 elementos, de modo que el diecinueve y vigésimo electrón agregados a la nube electrónica alrededor del núcleo de calcio

aparece en el nivel 4s como ya se ha escrito y no alteran el nivel 3d, que tiene una energía superior (fig. 8-5a).

Las órbitas 3d del calcio se encuentran así, vacías. Los electrones menos fuertemente unidos son los dos electrones 4s, y estos se pierden al formar el ión calcio, Ca^{++}.

Para pasar del calcio (número atómico 20) al escandio (número atómico 21) debemos agregar un electrón más para neutralizar el aumento de una unidad en la carga del núcleo. Este electrón entrará al nivel de energía más bajo disponible para ello, que es ahora el nivel 3d, para dar un átomo con la configuración mostrada en la fig.8-5b. Nótese que esta configuración es diferente a la de cualquiera de los primeros 20 elementos, en que los electrones están presentes en un nivel de número cuántico principal (aquí, 4a) y en un nivel de número cuántico más bajo (aquí, 3d) pero el nivel de número cuántico más bajo no está completamente lleno.

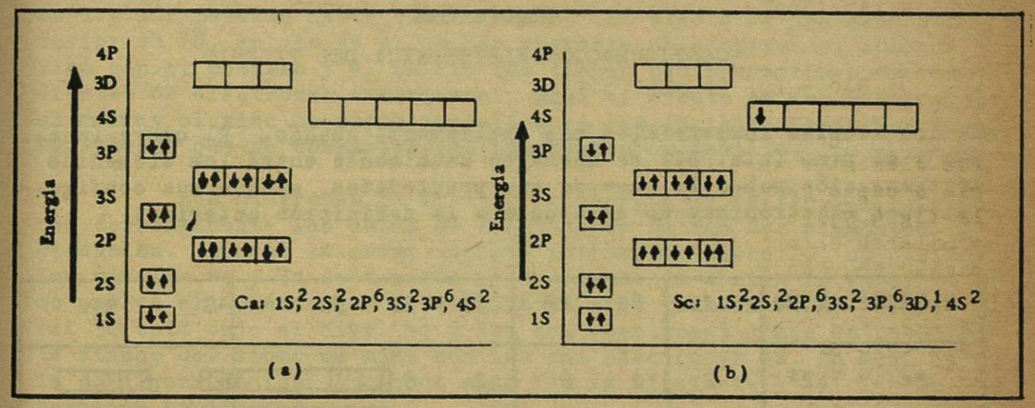


Figura 8-5

CONFIGURACION ELECTRONICA DEL a) CALCIO, b)ESCANDIO

Una situación similar existe en el titanio (número atómico 22) en el cual los 22 electrones están arreglados como se ve en la fig.8-6 con dos en el nivel 4s y dos en el nivel 3d. Mayores avances en el aumento del número atómico da la configuración electrónica que se ve en forma condensada en la figura 8-7.

Los elementos del 21 al 28, cuyos átomos tienen electrones en un nivel de número cuántico mayor sobre un nivel de número cuántico menor, parcialmente lleno, se llaman elementos de transición. Estos elementos muestran un grupo característico de propiedades. Los elementos metálicos caracterizados (1) por su tendencia a formar una serie de compuestos, en los cuales sus átomos pierden dos electrones para formar iones con carga + 2, y otra serie en la cual perden 3 electrones para formar iones con carga + 3 y aún otra serie más en

que ellos pierden o comparten otros números de electrones (2) por su tendencia a formar compuestos coloreados, y (3) por su tendencia a formar compuestos coordinados. Están entre estos elementos algunos

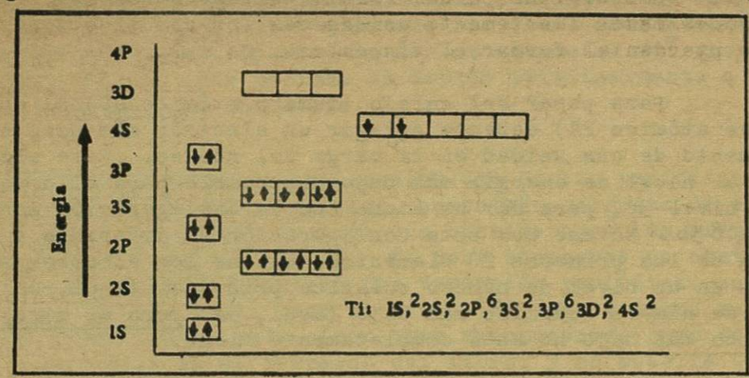


Figura 8-6

CONFIGURACION ELECTRONICA DEL TITANIO

de los metales industriales más ampliamente usados. El cobre (n.a. 29) y el Zinc (n.a. 30) se incluyen usualmente entre los elementos de transición sobre la base de sus propiedades, aunque sus configuraciones electrónicas no se ajustan a la definición anterior.

ELEMENT.	AT.NO	1S	2S	2P	3S	3P	3D	4S	4P
Sc	21	2	2	6	2	6	↓	↓↑	
Ti	22	2	2	6	2	6	↓ ↓	↓↑	
V	23	2	2	6	2	6	↓ ↓ ↓	↓↑	
Cr	24	2	2	6	2	6	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓	
Mn	25	2	2	6	2	6	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓↑	
Fe	26	2	2	6	2	6	↓↑ ↓ ↓ ↓ ↓	↓↑	
Co	27	2	2	6	2	6	↓↑ ↓↑ ↓ ↓ ↓	↓↑	
Ni	28	2	2	6	2	6	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓ ↓	↓↑	
Cu	29	2	2	6	2	6	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑	↓	
Zn	30	2	2	6	2	6	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑	↓↑	

Figura 8-7

CONFIGURACION ELECTRONICA DE LOS ELEMENTOS 21-30

La fig.8-7, muestra que el zinc, el último elemento de la

lista tiene 10 electrones en la órbita 3d, completando la cuota de 18 con el número cuántico principal 3. La órbita 4s también está llena de modo que el electrón agregado en el galio (n.a.31) debe ir al nivel de energía alto, 4p. Hay lugar para sus electrones en las tres órbitas 4p que se llenen al pasar del galio al kriptón como se ve en la figura 8-8. Comparando la fig. 8-8 con la fig. 4-15, se ve que los elementos 31-36 tienen una configuración electrónica en los niveles de número cuántico más altos exactamente similar a aquellos de los elementos 5-10 y 13-18. Hay dos electrones en una órbita s, y un número creciente en las órbitas p, hasta un total de seis. Las propiedades de los elementos del galio al Kriptón, serán similares a aquellas de los elementos del boro al neón y del aluminio al Argón, de la primera parte de la tabla periódica y agregamos galio a la familia del boro-aluminio, germanio a la familia del carbón-silicio, arsénico a la familia del nitrógeno-fósforo, etc., Puede notarse, no obstante, que los electrones de más afuera de los elementos galio-Kriptón yacen sobre una capa de 18 electrones antes que sobre una capa de 8 como para los elementos más livianos. Podemos esperar que esta nube mayor de electrones interiores pueda modificar las propiedades de las series más pesadas hasta cierto grado. El efecto de una gran nube interior de 18, en vez de 8, es más aparente al comparar el cobre y el zinc con el potasio y el calcio que tienen configuraciones correspondientes de electrones exteriores. Aquí el efecto es tan marcado que el cobre y el zinc no están incluídos en las familias Li-Na-K y Be-Mg Ca, puesto que no comparten las semejanzas de familia.

Los diagramas de niveles de energía en la fig.8-8, reproducen correctamente los datos de los niveles de los dos elementos en discusión. Aunque la carga nuclear incrementa sobre 20, no obstante los niveles 4s y 3d se acercan y finalmente se cruzan (fig.8-9) de modo que en el momento que se alcanza el zinc (número atóm. 30), el nivel 3d está bajo el nivel 4d y los dos electrones menos estrechamente atados del átomo de zinc son los dos electrones 4s. De aquí que la configuración del átomo de zinc sea la siguiente y del ión de zinc sean las siguientes:

$$Zn \quad 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$$

$$Zn^{++} \quad 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$$

ELEMENTO	No.AT.	1S	2S	2P	3S	3P	3D	4S	4P
Ga	31	2	2	6	2	6	10	2	↓
Ge	32	2	2	6	2	6	10	2	↓ ↓
As	33	2	2	6	2	6	10	2	↓ ↓ ↓
Se	34	2	2	6	2	6	10	2	↓↑ ↓ ↓
Br	35	2	2	6	2	6	10	2	↓↑ ↓↑ ↓
Kr	36	2	2	6	2	6	10	2	↓↑ ↓↑ ↓↑

Figura 8-8

CONFIGURACION ELECTRONICA DE LOS ELEMENTOS 31-36

Entre el calcio y el zinc, los niveles 4s y 3d están tan cercanos que los electrones de los dos niveles 4s y 3d se usan para enlazar. Los elementos entre el calcio y el zinc, los elementos de transición, se caracterizan por exhibir una electrovalencia variable en sus reacciones, por ejemplo.

Cu^{+}, Cu^{++}, Ti^{+++}, Ti^{++++}, Cr^{+++}, Fe^{++}, Fe^{+++}, etc.

8-9.-ELEMENTOS DEL QUINTO PERIODO DE LA TABLA PERIODICA

Los elementos con número atómico mayores de 36, pueden establecerse agregando electrones en los niveles más bajos de energía alcanzables para ellos de la misma manera como se ha ilustrado para aquellos de número atómico bajo 36. Estudios de los espectros demuestran que los niveles de energía varían con el número atómico como se ve en la Fig.8-9. Para los elementos 37 y 38 los niveles 4d son mayores que los 5s, de modo que los electrones entran primero al nivel 5s en el rubidio (Nº. 37) formando dos números adicionales de la familia alcalinos y alcalinos terreos, con uno y dos electrones en un nivel s sobre una capa de 8. En el ytrio (Nº. 39) la situación es similar a la del escandio de la fila superior y la capa 4d empieza a llenarse. Así el ytrio es el primero de una nueva serie de elementos de transición que se extienden a través del paladio. Si se agrega a esta serie plata y el cadmio, entonces empieza con el indio (Nº. 49) un grupo de los que podríamos llamar "elementos de post-transición", y se completa con el xenon (Nº. 54).

Las energías casi iguales de los niveles 4d y 5s, son tales que entre el ytrio y el paladio algunas veces unos y otros dos electrones aparecen en el nivel 5s, como se ve en la fig.8-2. Las ordenaciones de electrones en estas tablas son aquellas características de los átomos libres de los elementos. En consecuencia, el número exacto en los niveles 4d y 5s no es particularmente interesante para dos químicos, puesto que las energías son cambiadas por la proximidad de otros átomos en la formación de enlaces químicos y los electrones toman diferente distribución correspondiente a los niveles modificados. El átomo libre de paladio, por ejemplo, no tiene electrón no pareado con el cual formar enlaces, como se ve en la tabla. La presencia de otros átomos de paladio, como en un trozo de paladio metálico, modifica en tal forma los niveles de energía que algunos de los electrones de los átomos aparecen en el nivel 5s. La posibilidad de semejante "promoción" de electrones a niveles energéticos mayores en presencia de otros átomos, ya sean de la misma clase o de una diferente, es uno de los rasgos que dan a los elementos de transición las propiedades características mencionadas anteriormente.

8-10.- ELEMENTOS DE LOS PERIODOS SEXTO Y SEPTIMO DE LA TABLA PERIODICA.

Los elementos 55 y 56 pertenecen a los grupos I y II,

con uno y dos electrones, respectivamente, en la órbita 6s. Nuevamente algo diferente ocurre en el elemento 57. Se podría esperar que esto ocurriera donde los niveles 5d empiezan a llenarse empezando una

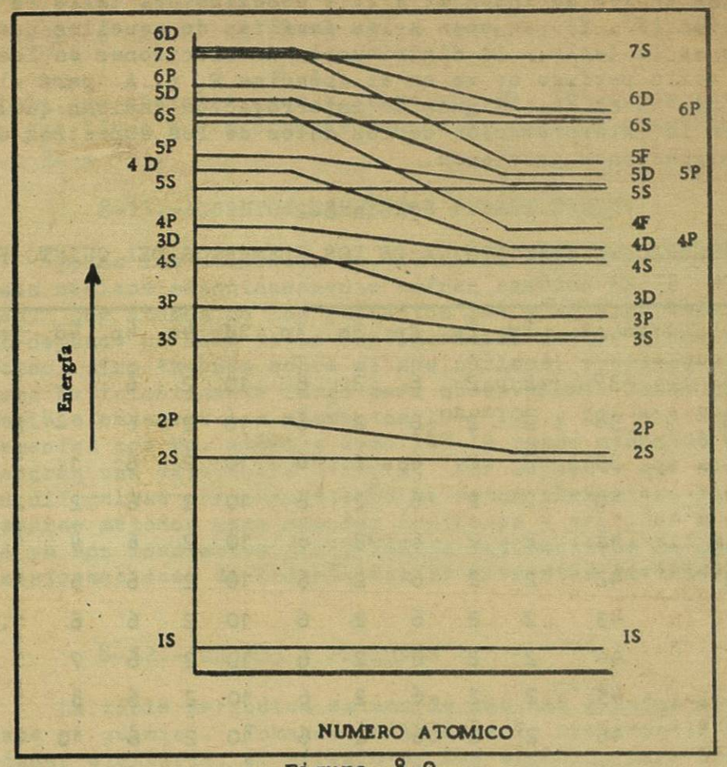


Figura 8-9

CRUZAMIENTO DE LOS DIVERSOS NIVELES DE ENERGIA EN FUNCION DE LOS NUMEROS ATOMICOS

tercera serie de elementos de transición. Ciertamente un electrón entra en el nivel 5d del lantano (Nº. 57) pero un segundo electrón no penetra a este nivel en el elemento 58. En cambio los niveles son ahora tales que el electrón siguiente entra en una de las órbitas del nivel 4f, el cual, hasta este cambio nuclear, ha permanecido vacío, aún que tiene siete orbitales con espacio para 14 electrones ($2x4^2$ - 32), y hemos usado 18 lugares en llenar los niveles 4s, 4p, y 4d, de modo que se han dejado 32-18-14 lugares). Se sigue llenando el nivel 4f en los elementos 58-71, produciendo la llamada "serie lantánida", A continuación del primer miembro, el lantano. Todos estos elementos tienen la misma configuración de los electrones exteriores y en consecuencia tendrán similares propiedades. En consecuencia están colocados en un lugar especial en la base de la tabla periódica. Una vez que los niveles 4f se han llenado, los lugares restantes en el nivel 5d empiezan a llenarse en el hafnio (Nº.72). En el oro (Nº.79) el nivel 5d se ha adquirido su cuota completa de 10 electro-