

# Coloración del vidrio por algunos elementos del grupo de las tierras raras \*

FELIPE ARNAL SANCHIS  
Jefe Técnico de la Compañía Industrial del Vidrio, S. A.  
Director Gerente de Crisoles para Vidrio, Sociedad Anónima (CRIVISA).

## I. Introducción.

### I.1. Generalidades.

Con el nombre de "tierras raras", se acostumbra designar un grupo del sistema periódico que comprende los elementos químicos desde el número 58 al 71, ambos inclusive.

En verdad, esta denominación no resulta en modo alguno apropiada, toda vez que estos elementos, ni son raros, ni son tierras. El origen de esta denominación se remonta al descubrimiento de los primeros miembros de la serie, obtenidos en forma de óxidos y que al poseer en este estado cierto parecido con los óxidos de Mg, de Al y de Ca, constitutivos de las tierras comunes, fueron denominados "tierras raras".

Como acabamos de decir, estos elementos no son tan raros o escasos como su nombre pudiera implicar, sin embargo es de señalar que dentro de este grupo hay grandes diferencias en relación con la abundancia en que se presentan. Así, por ejemplo, mientras que el Ce es más abundante que el Pb y el itrio más abundante que el Sn, el Pm no se encuentra en la naturaleza, pues es un producto de la fisión del uranio. Al propio tiempo, cualquiera de

---

\* Conferencia pronunciada en la I Reunión Técnica del Vidrio, Madrid, 11-12 de noviembre de 1968.

los otros elementos de este grupo resulta más abundante que los metales del grupo del platino.

Los elementos Y y La situados en la columna III de la clasificación periódica presentan propiedades químicas semejantes y por el hecho de encontrarse en la naturaleza asociados con los elementos de las tierras raras es frecuente hallarlos incluidos entre las mismas.

A los elementos de este grupo se les llama también *lantánidos*. Todo el grupo podría dividirse un poco arbitrariamente en dos secciones: Los *lantánidos ligeros* o grupo del cerio, y los *lantánidos pesados* o grupo del itrio (tabla I).

TABLA I

	<i>Elemento</i>	<i>Símbolo</i>	<i>N.º atómico</i>	<i>Peso atómico</i>
Grupo del Ce o lantánidos ligeros	Lantano	La	57	138,92
	Cerio	Ce	58	150,13
	Praseodimio	Pr	59	146,92
	Neodimio	Nd	60	144,27
	Promecio	Pm	61	146
	Samario	Sm	62	150,35
	Europio	Eu	63	152
Lantánidos pesados	Gadolinio	Gd	64	157,26
	Terbio	Tb	65	158,93
	Disprosio	Dy	66	162,51
	Holmio	Ho	67	164,94
	Erbio	Er	68	167,27
	Tulio	Tm	69	168,24
	Iterbio	Yb	70	173,04
	Lutecio	Lu	71	174,99

La curva de absorción de un ión determinado, como es sabido, puede experimentar un cambio fundamental según el entorno atómico que le rodee. La gran variedad de colores, por ejemplo, que pueden ser obtenidos del  $\text{Cu}^{++}$  o de los iones del Co o del Ni pueden atribuirse a diferencias en el número de coordinación y a la naturaleza de los grupos atómicos que los soportan. El cambio de enlace iónico a covalente da lugar a un espectro de absorción completamente diferente. La estrecha interdependencia de la absorción de luz y el cambio químico no nos puede sorprender si se tiene en cuenta que a la estructura electrónica corresponden todas las interacciones químicas y físicas.

Las tierras raras propiamente dichas surgen como consecuencia de que en esta parte del sistema periódico, al aumentar el número atómico, el aumento de carga del núcleo queda compensado por la entrada de electrones en órbitas interiores incompletas. Estos electrones internos no ejercen prácticamente ninguna acción sobre las capacidades de reacción entre átomos. Consecuentemente el color de los compuestos de estos elementos resulta prácticamente independiente de la naturaleza de los átomos a los cuales están ligados.

I.2. *Estado natural.*

Aunque por una parte estos elementos se encuentran profusamente distribuidos en la naturaleza en pequeña concentración, también se hallan presentes en concentración elevada en un determinado número de minerales, entre los cuales podemos citar los siguientes:

<i>Mineral</i>	<i>Estructura cristalina</i>	<i>Composición química</i>
Monacita	Monoclínico	CePO <sub>4</sub> con Th <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>
Xenotima	Tetragonal	YPO <sub>4</sub>
Gadolinita	Monoclínico	2BeO, FeO · Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>
Bastnasita	Hexagonal	CeFCO <sub>3</sub>
Samarskita	Ortorrómico	} 3(Fe, Ca · UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> O · Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Ytrotfluorita	Cúbico	

En esta relación sólo se menciona las tierras raras más abundantes; es decir, minerales de Ce ricos en elementos ligeros, o minerales de Y ricos en elementos pesados.

La monacita, la xenotima y la bastnasita se encuentran entre los más importantes. Se concentran a partir de otros minerales y rocas por medios mecánicos, como flotación o por métodos magnéticos de separación. Las tierras raras se lixivian en medio ácido en el caso de minerales de silicato o fosfato, en cambio otros deben tratarse con álcalis concentrados previamente a la lixiviación.

I.3. *Separación.*

Mezclas de tierras raras pueden separarse en medio ácido por precipitación con oxalatos, cuya calcinación da lugar a una mezcla de óxidos de estos elementos.

Las tierras raras en solución se hallan en forma de iones trivalentes hidratados de propiedades muy parecidas, que como consecuencia dan lugar a precipitados que son cristales mixtos o soluciones sólidas.

Una simple operación sólo daría como resultado enriquecer una tierra rara con respecto a otra; para separar compuestos puros por estos métodos deberían repetirse estas operaciones multitud de veces.

En un principio se purificaban por largos procesos de fraccionamiento (cristalizaciones o descomposiciones fraccionadas) lo cual supone un laborioso y largo trabajo por cuyo motivo las tierras raras resultan costosísimas en estado puro. Estos métodos aún se usan hoy en día pero sólo para separarlos en bruto.

Actualmente, la purificación se realiza por intercambio iónico, aunque si no se desea un elevado grado de pureza puede emplearse la extracción líquido-líquido.

Las tierras raras forman también sales con ciertos quelatos orgánicos. Estos quelatos hacen más acusada la diferencia de propiedades entre las distintas tierras raras, lo cual se aprovecha en los más modernos métodos de separación por intercambio iónico.

#### *1.4. Productos existentes en el mercado. Calidad y pureza.*

Vemos pues que los métodos de separación y purificación de estos compuestos, dada su semejanza química han de ser necesariamente complicados y onerosos, lo cual se ha de reflejar forzosamente en el precio de los compuestos de gran pureza. Por otra parte, mezclas de diferentes tierras raras pueden separarse por procedimientos más sencillos y a menor coste y así se encuentran en el mercado bajo forma de compuestos de calidad técnica.

Cuando las aplicaciones son esencialmente químicas y en donde se debe aprovechar la gran estabilidad de los óxidos, nitratos, etc., de las tierras raras, los productos de calidad técnica cumplen suficientemente. Pero si se trata de sacar partido de las propiedades de elementos particulares, cual es el caso en la industria del vidrio, es más ventajoso utilizar materiales cuyo grado de pureza sea el más elevado posible con el objeto de reducir al máximo la disminución de la concentración y los eventuales fenómenos de interferencia.

Hoy día es fácil encontrar en el mercado, a precios razonables, compuestos de lantano, cerio, neodimio, etc., cuyas condiciones de pureza se adaptan bien a su utilización en la industria del vidrio, como puede verse en los siguientes análisis químicos de algunos productos comerciales:

OXIDO DE PRASEODIMIO

	%
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	10 ppm
Otras tierras raras ... ..	5
Pérdida al fuego ... ..	0,2
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	4

OXIDO DE NEODIMIO

	%
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	98,2
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,4
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	10 ppm
Pérdida al fuego ... ..	0,2

OXIDO DE CERIO

	%
CeO <sub>2</sub> ... ..	99,7
CaO ... ..	0,03
MgO ... ..	0,002
Na <sub>2</sub> O ... ..	0,03
ThO <sub>2</sub> ... ..	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,003
SO <sub>3</sub> ... ..	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0,001
Otras tierras raras ... ..	0,02
Pérdida al fuego ... ..	0,2

I.5. *Campos de aplicación.*

Quedan completamente comprendidos dentro del dominio del vidrio dos campos de aplicación de las tierras raras, perfectamente definidos: coloración y decoloración.

En relación con el primero nos vamos a referir a los más interesantes y mejor estudiados dentro de este grupo de elementos: concretamente a los compuestos de cerio, neodimio y praseodimio, dejando fuera, no por interesante, sino por no entrar estrictamente dentro de nuestro propósito, el campo de la decoloración.

II. **Vidrios de cerio.**

Este elemento forma dos óxidos principales: Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CeO<sub>2</sub>. Comercialmente se encuentra como hidrato, con una riqueza del 75 % en CeO<sub>2</sub>, y con

más frecuencia como  $\text{CeO}_2$  anhidro de alta pureza (99,9 %). Constituye el principal componente de las arenas de monacita y se obtiene también como subproducto en el refinado del torio. Se añade el  $\text{CeO}_2$  a la hornada del vidrio como afinante y como decolorante durante el proceso de fusión, aportando en ambos casos oxígeno, que cede a altas temperaturas pasando de  $\text{Ce}^{4+}$  a  $\text{Ce}^{3+}$ , siendo la tierra rara de más frecuente empleo en la industria del vidrio a causa de su elevada absorción en el ultravioleta.

Ya en el año 1914 fue obtenido por W. Crookes el primer vidrio protector de este tipo de radiaciones, con la gran ventaja que al propio tiempo no presenta prácticamente absorción en el visible.

Para mejor comprender cómo resulta este compuesto de cerio una fuente de bellos vidrios coloreados de amarillo, puede observarse la curva de transmitancia típica de uno de estos vidrios (fig. 1).

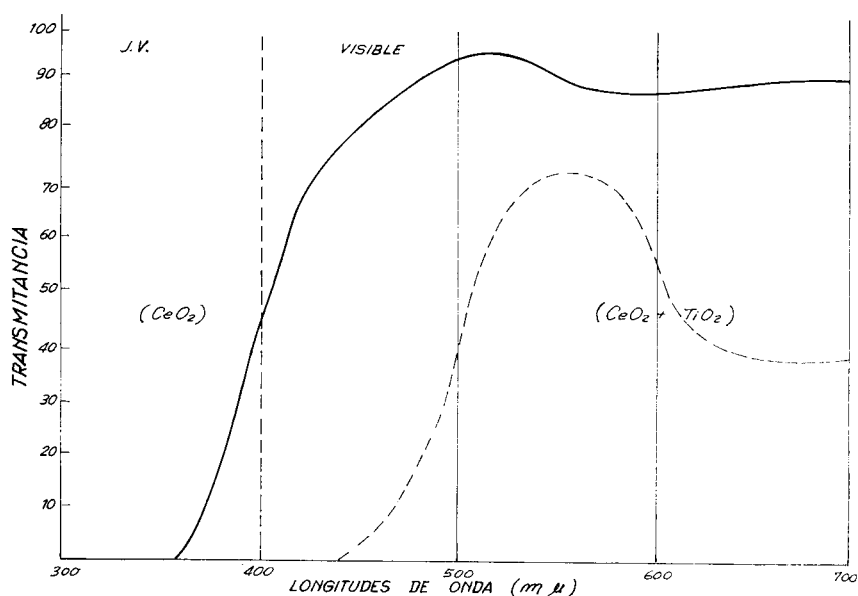


FIG. 1.—Transmitancia espectral de vidrios de cerio.

Así, un vidrio con un 6-7 % de  $\text{CeO}_2$ , llega a absorber todas las radiaciones por debajo de 365  $m\mu$ . Vidrios oftálmicos protectores de este tipo de radiación y absorbentes de toda la región inferior a 330  $m\mu$ , pueden obtenerse con adiciones del 2 al 2,5 % de  $\text{CeO}_2$ .

La influencia de la composición del vidrio sobre la absorción de la luz con cantidades crecientes de  $\text{CeO}_2$  es la siguiente:

En los vidrios  $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$  se absorbe toda la longitud de onda hasta 380  $\text{m}\mu$ .

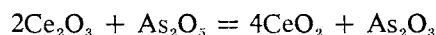
En los vidrios de borosilicato, al aumentar el contenido en  $\text{CeO}_2$ , se amplía la zona de absorción hasta 550  $\text{m}\mu$ . También en los vidrios al plomo el  $\text{CeO}_2$  da lugar a una gran absorción en la zona del U. V.

Cantidades de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  presentes en muy pequeña cantidad originan una coloración parda que desaparece cuando se llega a concentraciones en  $\text{CeO}_2$  del 3-4 %.

El color pardo, por consiguiente, está relacionado con la presencia del ión  $\text{Ce}^{3+}$ . El equilibrio entre el  $\text{Ce}^{3+}$  y el  $\text{Ce}^{4+}$  depende estrechamente de la cantidad de  $\text{CeO}_2$  añadido.

Una propiedad muy interesante del  $\text{Ce}^{4+}$  es que puede pasar a formar parte de la red vítrea, lo mismo que el  $\text{Fe}^{3+}$  dando lugar a vidrios de ceratos, que al igual que en el caso del hierro producen fuertes coloraciones. La acción del  $\text{TiO}_2$  que resalta la coloración debida al hierro, influye de análoga manera en los vidrios de cerio, proporcionándoles un bello color amarillo.

Debemos señalar la conveniencia de añadir  $\text{As}_2\text{O}_3$  a estos vidrios, que tiene por misión iniciar y acelerar un proceso de solarización, que mejora el efecto reforzante del  $\text{TiO}_2$ . La reacción que tiene lugar en estas condiciones es:



La adición de  $\text{TiO}_2 + \text{As}_2\text{O}_3$  a estos vidrios de Ce no es que dé origen a un nuevo color, sino que produce un desplazamiento de la banda de absorción del Ce desde el U. V. hacia la región del visible violeta-azul. El vidrio presenta entonces su color complementario: amarillo.

Es conveniente hacer notar con vistas a la obtención de estos vidrios, la necesidad de emplear arenas síliceas lo más exentas de hierro posible, razones que son obvias por cuanto acabamos de decir. Son de desear sílices con un contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no superior a un 0,011 %.

### III. Vidrios de neodimio.—Vidrios de praseodimio.

El neodimio es uno de los elementos de las tierras raras constituyente también de las arenas de monacita. Se encuentra en el mercado en forma de oxalato (con una riqueza en  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  del 50 % aprox.) y también como nitrato y óxido, principalmente este último. A causa de lo dificultoso de su separación del praseodimio, es frecuente encontrarlos juntos, también acostumbrán-

dose a dar el nombre de didimio en los compuestos en los que se hallan presentes ambos. No obstante existen también productos de gran pureza, en especial en forma de óxido.

Es en verdad difícil describir los colores de los vidrios que contienen neodimio y praseodimio. Los tonos púrpura característicos del vidrio de neodimio podrían parecer obtenidos con una "rosa de selenio" y trazas de óxido de cobalto, pero basta observar estos dos tipos de vidrio con luz artificial (de incandescencia) para quedar fuertemente impresionado por las grandes diferencias que resultan. El vidrio de neodimio aparece de un rojo brillante, mientras que los vidrios antes mencionados, como los de Se, Ni, Mn, etc., pueden observarse tonalidades mucho más apagadas.

Por otra parte, la cualidad más atractiva de los vidrios de neodimio es su dicroísmo. El término "dicroísmo" que se aplica a estos vidrios, se usa en diferente sentido que en mineralogía. En esta rama de la ciencia, este término se reserva para los cristales que manifiestan dos o más colores al ser atravesados por la luz polarizada, colores que dependen de la dirección de la vibración de la misma al atravesar un cristal anisótropo, lo que no ocurre en estos vidrios, por cuyo motivo no pueden ser dicroicos en el sentido mineralógico.

La sensación de color no sólo varía con el tipo de iluminación sino también con el espesor. En espesores pequeños, estos vidrios son azules, mientras que en espesores gruesos o a altas concentraciones de colorante aparecen francamente rojos. De esta cualidad se saca buen partido en vidriería artística lográndose efectos de gran belleza.

Un atento examen de la curva de transmisión del vidrio de neodimio (figura 2), nos da completa explicación de cuanto antecede. Este "juego" de color que presenta es conocido como "efecto Alejandrita". Este mineral es verde en luz de día y rojo oscuro bajo luz artificial (de incandescencia).

Tanto en el vidrio de neodimio como en la alejandrita, este curioso cambio de color es producido por una estrecha pero muy marcada banda de absorción, la cual divide el espectro visible en dos partes. La banda de absorción más intensa hace que absorba la luz amarilla prácticamente por completo. Esta banda corresponde justamente a una longitud de onda de  $589 \text{ m}\mu$ , es decir, a la de la raya D del espectro del sodio y que como hemos dicho divide al espectro de transmisión en dos zonas: la azul y la roja.

En la luz del día predominan las longitudes de onda correspondientes a la zona azul y en la luz de incandescencia, la cual es relativamente pobre en radiaciones de corta longitud de onda, predominan los tonos rojos.

La característica de absorción en el amarillo, de gran intensidad, hace muy estimable este vidrio de neodimio en la protección ocular de los operarios que



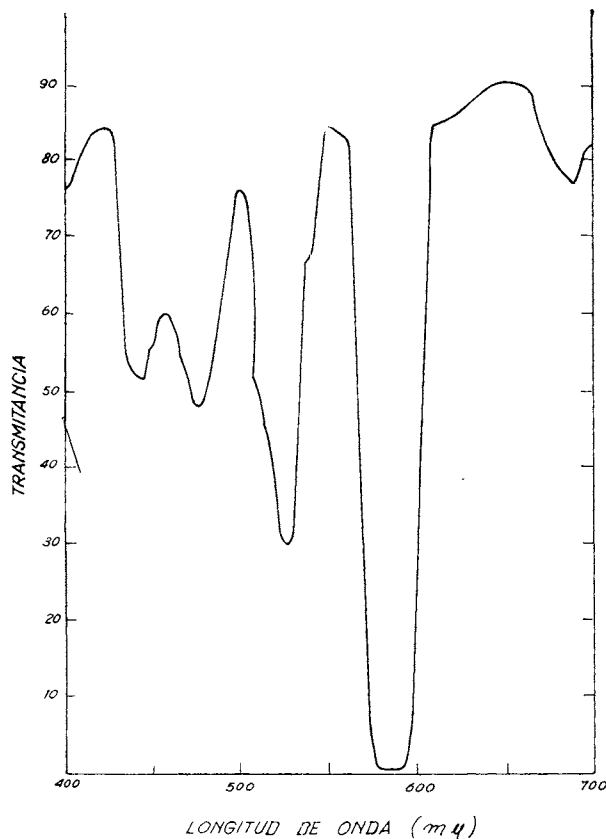


FIG. 2.—Transmitancia espectral de un vidrio de neodimio.

manipulan artículos de vidrio al soplete y en la calibración de ciertos instrumentos científicos. También se emplea modernamente en la obtención de vidrios para "lasers" a partir de vidrios de bario, interviniendo en concentraciones del 0,13 hasta el 2 % en peso.

Los vidrios de praseodimio son verde-amarillos con dominio del verde en espesores gruesos, careciendo estas tonalidades de efectos tan espectaculares como los de neodimio.

La tonalidad verde resulta característica, pero en verdad es difícil justificar su obtención industrial dado que son necesarias concentraciones mínimas del 4-5 % en óxido ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) para obtener densidades de color apreciables, lo que los hace poco comerciales teniendo en cuenta su elevado coste.

La curva espectral de estos vidrios (fig. 3) resulta también muy interesante

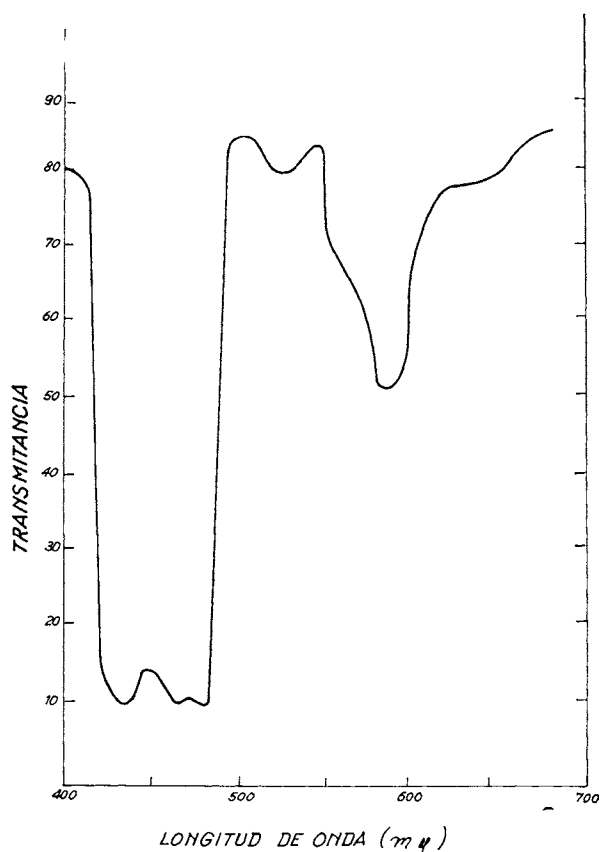


FIG. 3.—Transmitancia espectral de un vidrio de praseodimio.

mostrándonos como característica, aparte de su escasa transmisión en la zona del ultravioleta común a los de su familia, una estrecha banda de absorción alrededor de las 450 mμ.

#### IV. Otras aplicaciones.

Aparte de sus colores característicos, estos elementos permiten una variada serie de combinaciones entre sí y con otros elementos colorantes de uso más corriente en la industria del vidrio, dando lugar a un gran número de vidrios coloreados con una gama ilimitada de tonalidades y matices. Así, entre otros podríamos citar los siguientes:

La adición conjunta de óxidos de neodimio y praseodimio (fig. 4) da como

resultado un vidrio gris con un tinte verde-azulado en pequeños espesores y rojo-marrón en espesores mayores. Pequeñas adiciones de óxido de níquel al anterior dan como resultado, un vidrio gris neutro muy brillante.

El óxido de praseodimio, conjuntamente con el óxido de uranio, produce un tono amarillo muy vivo, sin la fluorescencia verdosa característica del vidrio al uranio.

Puede obtenerse un fino vidrio rubí con el "rosa de selenio" y óxido de neodimio. A este respecto es digno de mencionarse que, pequeñas concentraciones de óxido de neodimio determinan un efecto muy beneficioso en los vidrios coloreados por el selenio. Es bien sabido que la elevada presión de vapor del selenio y su limitada solubilidad impiden la obtención de colores de gran intensidad. Este problema se soluciona con la adición del 0,6 al 1 % de  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ .

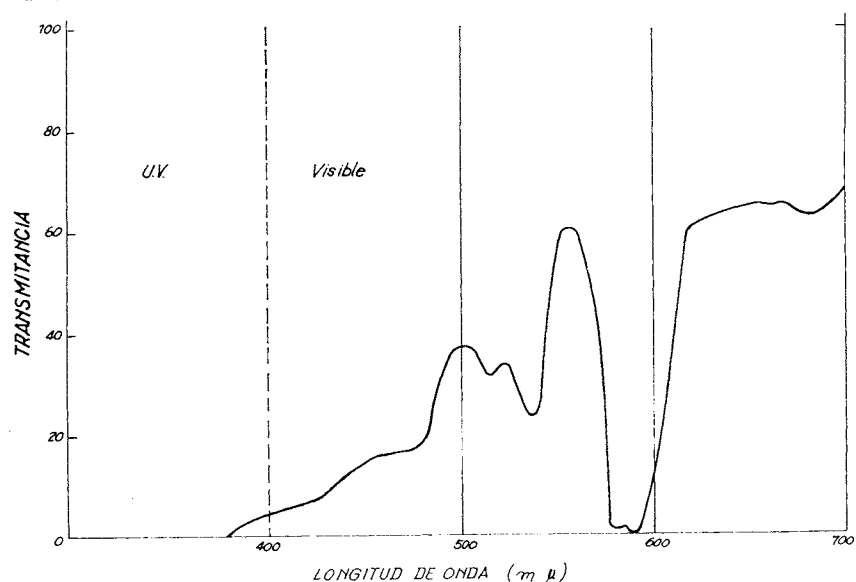


FIG. 4.—Transmitancia espectral de un vidrio de didimio (Nd + Pr).

En una combinación triangular de selenio, neodimio y cobalto, puede obtenerse una completa gama de colores entre el rosa, amatista y el rojo.

En los vidrios al plomo, en lo que el rosa de selenio no puede obtenerse, la combinación del "rubí de oro" y el  $\text{N}_2\text{O}_3$  permite obtenerlo fácilmente.

La misma combinación del neodimio y el vanadio da lugar a vidrios de color verde con un "dicroísmo" variable.

De esta forma pueden obtenerse interesantes modificaciones sobre vidrios

de Cu, Cr, Fe, Mn, etc., etc., y sus combinaciones, tanto en lo que hace referencia al color como a las propiedades físicas, en relación a la absorción o transmisión de radiaciones de determinada longitud de onda.

Fuera del aspecto color, y dentro de los vidrios de las tierras raras, no puede dejar de mencionarse la importancia de los vidrios de lantano, cuya inclusión en vidrios base de bajo contenido en SiO<sub>2</sub> da lugar a productos de elevado índice de refracción y baja dispersión, por cuyo motivo son utilizados para la fabricación de objetivos en aparatos fotográficos de gran calidad y en los equipos de óptica científica.

De reciente desarrollo es la producción de pantallas para televisión en color, en las que la adición de neodimio proporciona imágenes más luminosas y brillantes, favoreciéndose al propio tiempo los contrastes de color.

Los compuestos de praseodimio vienen usándose modernamente en la preparación de colores cerámicos de un amarillo claro brillante reemplazando el clásico amarillo de estaño/vanadio.

Nos hemos referido aquí a los elementos más conocidos como el Ce, Nd, Pr, La, etc.; no obstante, tanto entre el grupo de los lantánidos ligeros como en el de los lantánidos pesados, encontramos compuestos de los elementos samario, gadolinio, itrio, disprosio, etc., que encuentran modernamente aplicación en el campo de los vidrios luminiscentes, vidrios capaces de emitir varios colores, por bombardeo de electrones, al ser situados sobre un vidrio de borato como soporte mediante un adecuado tratamiento térmico y en los que entran a formar parte estos elementos en porcentajes que alcanzan el 2 %.

El europio se viene usando en la manufactura de varillas de control en los reactores nucleares, generalmente asociado con el itrio. El descubrimiento de la aplicación del compuesto ortovanadato de itrio/europio con fósforo rojo, ha dado como resultado un importante avance en la industria de la televisión en color, lo que ha aumentado enormemente el interés por estos compuestos de tierras raras.

#### V. Porcentajes de empleo de los óxidos CeO<sub>2</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Como puede deducirse de cuanto hemos expuesto, las concentraciones usuales de empleo son muy variadas habida cuenta del número crecido de vidrios que pueden obtenerse. Por lo general, varían entre el 0,1 y el 5 %, caso aparte de vidrios especiales destinados a una finalidad muy concreta.

Por este motivo creo como mejor ejemplo citar a continuación alguna de las composiciones centesimales correspondientes a vidrios que hemos tenido ocasión de obtener de forma industrial:

VIDRIO DE ANTEOJERIA DE PROTECCION Y CORRECCION

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	70
Na <sub>2</sub> O ... ..	15
K <sub>2</sub> O ... ..	1,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	2,53
CaO ... ..	4,9
BaO ... ..	3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,07
MnO ... ..	0,1
CeO <sub>2</sub> ... ..	2,6

VIDRIO "ALEJANDRITA"

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	72
K <sub>2</sub> O ... ..	4,3
Na <sub>2</sub> O ... ..	12,67
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,05
CaO ... ..	2,42
BaO ... ..	2,09
PbO ... ..	3,2
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,1
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> } ... ..	2,17
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> }	

VIDRIO AZUL DE Co/Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	72,65
Na <sub>2</sub> O ... ..	12
K <sub>2</sub> O ... ..	3
CaO ... ..	4,06
BaO ... ..	3,5
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,85
PbO ... ..	3,43
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,15
CoO ... ..	0,003
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,35

VIDRIO ROSA DE Se/Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	70,02
K <sub>2</sub> O ... ..	14,2
Na <sub>2</sub> O ... ..	7,03
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,02
CaO ... ..	2,36
BaO ... ..	2,18
ZnO ... ..	2,89
Se ... ..	0,07
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,21

VIDRIO AMATISTA al MnO<sub>2</sub>/Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	70,27
K <sub>2</sub> O ... ..	2,04
Na <sub>2</sub> O ... ..	15,69
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,48
CaO ... ..	5,93
ZnO ... ..	1,32
BaO ... ..	3,08
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,27
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,03
MnO <sub>2</sub> ... ..	0,66
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,22

VIDRIO AMARILLO DE CeO<sub>2</sub>

	%
SiO <sub>2</sub> ... ..	66,36
Na <sub>2</sub> O ... ..	13,79
K <sub>2</sub> O ... ..	4,41
CaO ... ..	4,2
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,97
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,33
TiO <sub>2</sub> ... ..	2,33
CeO <sub>2</sub> ... ..	2,66
PbO ... ..	3,9

## VI. Consideraciones finales.

Como consecuencia de cuanto hemos expuesto hasta este momento, podemos darnos una idea de las interesantes propiedades de estos vidrios. De una forma general podemos afirmar que como resultado de las condiciones particulares de los puntos de absorción de cada uno de ellos, los colores que presentan son mucho más brillantes y claros que los comúnmente conocidos. El "dicróismo" manifestado por alguno de ellos, ofrece interesantes posibilidades, no solamente de tipo ornamental o artístico, sino también en el campo técnico. Los colores con ellos obtenidos son extremadamente estables, pudiendo ser empleados vidrios base muy diferentes.

El poder colorante es, en efecto, más débil que el de los obtenidos con otros elementos, aunque a este respecto hay que hacer notar que la inclusión de un 3-4 % de PbO en los vidrios base hace que los colores resulten más vivos que en los vidrios de  $\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$  que no lo contienen.

Al término de esta sucinta exposición sobre la descripción y las propiedades de este tipo de vidrios coloreados, consideraría satisfactorio haber cumplido la finalidad propuesta y que no ha sido otra que la de recordar e interesar a cuantos sienten y aprecian a esta noble materia que es el vidrio, las posibilidades que entrañan la obtención, estudio y aplicaciones de estos vidrios de tierras raras.

*El autor quiere expresar su testimonio de gratitud a las empresas Compañía Industrial del Vidrio, S. A. (Hosp. de Llobregat, Barcelona) y Sociedad Anónima de Cristales Opticos (Hosp. de Llobregat, Barcelona), por su valiosa colaboración.*

## BIBLIOGRAFIA

- J. E. STANWORTH: Physical Properties of Glass. 1950.  
 CH. F. CALA: Symposium sur l'affinage du Verre. 1955.  
 J. E. POWELL: The separation of Rare Earths. *J. Ch. Ed.*, 37 (12), 1960.  
 W. A. WEYL: Coloured Glasses. 1951.  
 H. SALMANG: Fundamentos físicos y químicos de la fabricación del vidrio. 1962.  
 SIMMINGSKÖLDE et JÖNSSON: IV Congreso Int. del Vid. 1956.  
 F. H. SPEDDING y A. H. DAANE: Symposium of Rare Earths. 1961.  
 G. L. MOREY: The Properties of Glass. 1948.  
 L. G. GHERING: *Glass Ind.*, 20, 443 (1959).  
 V. V. VARGUINE: IV Congr. Int. del Vid. 1956.  
 K. R. FERGUSON: IV Congr. Int. del Vid. 1956.  
 G. E. RINDONE: IV Congr. Int. del Vid. 1956.  
 F. V. TOOLEY: Handbook of Glass Manuf. I y II. 1960.  
 F. FRANCESCHINI: Trat. Gen. di Tecnologia. Vetr. 1955.