



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

***OBTENCIÓN DEL MAYOR PORCENTAJE DE EFICIENCIA EN LA EMISIÓN  
DE LUZ DE LA MATRIZ DE ÓXIDO DE YTRIO ( $Y_2O_3$ ) DOPADA CON  
EUROPIO ( $Eu^{3+}$ ) EN PELÍCULAS DE PET Y PS.***

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O Q U Í M I C O**

PRESENTAN:

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ JOSIMAR

SALAS MARISCAL SOFÍA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS MARISCAL BECERRA



Ciudad de México, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS DE SOFÍA.**

Agradezco a **Dios** porque a pesar que me aparte de su plan, él puso todos los medios para que enderezara el camino y así ponerme en el lugar que me tenía destinado desde un inicio, aunque fue después de lo planeado, pero al final aquí estoy concluyendo una de las etapas más importantes en mi vida.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**; máxima casa de estudios, ya que si no existiera esta Institución de gran prestigio, no podríamos egresar y titularnos tantos profesionistas de excelente nivel educativo.

A la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza)**; porque durante el tiempo en el que permanecí en sus instalaciones, siempre tuve un trato agradable y digno de parte de todos los profesores que me impartieron las materias durante toda mi faceta como estudiante; cabe señalar que no solo aprendí lo referente a las lecciones en el aula, sino también aprendí lecciones de vida.

Al **Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)**; al departamento de Física en el área de estudios de Luminiscencia en Materiales, ya que en este centro me abrieron las puertas para poder realizar la investigación para el trabajo que se está presentando y durante toda mi estancia me proporcionaron todos los medios necesarios, dejando las puertas abiertas para el día que quisiera volver para continuar con las investigaciones.

Al **Dr. Ciro Falcony Guajardo**; Jefe del área de Luminiscencia del departamento de Física del CINVESTAV, ya que sin su apoyo y confianza no hubiese podido tener una estancia tan larga.

A mi director de tesis; el **Dr. Luis Mariscal Becerra**, que con su gran paciencia, sabiduría, apoyo, guía, tenacidad, experiencia, capacidad y cariño pude salir adelante con este trabajo, no fue nada fácil, pero al final todo salió muy bien.

A mis sinodales:

- **M. en C. Marina Caballero Díaz.**
- **Dr. Edtson Emilio Herrera Valencia**
- **Dr. Mariano Pérez Camacho.**
- **Dra. Blanca Estela García Rojas.**

Porque gracias a los comentarios realizados al presente trabajo, se enriqueció aún más de lo que ya estaba y así se logró entregar un excelente documento. Cabe mencionar que son unos excelentes profesores y aprendí mucho de ellos.

## **DEDICATORIA DE SOFÍA**

**A mis amados hijos**

**Diego Hazel y Karol Andrea.**

**A mi amado esposo**

**Pablo Eduardo Valero Tejeda.**

*Les dedico este trabajo a mis padres; **Raúl Salas López** y **María Magdalena Mariscal Becerra**, pero en especial a mi madre, ya que sin sus sabios consejos, incondicional apoyo, confianza, amor, paciencia, insistentes recomendaciones para seguir adelante; y porque no mencionar, sus llamados de atención, no hubiese podido concluir este trabajo y no sería la gran mujer que ahora soy. Gracias a mi madre me encuentro aquí porque ella me dio la vida y por eso estoy y estaré eternamente agradecida. Te amo mamá.*

*A mis amados hijos; **Diego Hazel y Karol Andrea**, porque sin ellos no hubiera tenido la fortaleza para retomar este camino y luchar por una vida mejor. Cada que quise tirar todo por la borda; ellos, con sus hermosas expresiones me devolvían al camino. Nadie dijo que sería fácil, en realidad fue muy difícil, ya que me tenía que partir en mil pedazos para cumplir con todas las facetas que adquirí en el momento en el que retome los estudios, ya que el estudiar en esta etapa de mi vida, tuvo como consecuencias quitarles un enorme tiempo que estaba destinado a ellos, pero ellos siempre me apoyaron y entendieron; lo más sorprendente es que a su corta edad siempre me dijeron que lo único que querían es que yo fuera feliz y por todo esto debo confesar que valió la pena, ya que nuestra vida dio un giro de 180° y ahora estamos mucho mejor. Además el tener una formación universitaria, te abre las puertas a un mundo desconocido y fascinante, el cual no podríamos ver ni sentir, a menos que estudiemos. Los amo con toda mi alma hijos.*

*A mi amado esposo; **Pablo Eduardo Valero Tejeda**, que llego en la parte más importante de mi vida, sin él, tengo la seguridad de que no hubiera podido titularme, ni seguir adelante con mi vida, ya que tenía tantas cosas por las cuales preocuparme, tantas cosas que hacer y siempre posponía escribir este trabajo.*

*Pero desde que él entro en mi vida, por lo único que debía preocuparme era terminar de escribir y él se encargaba de todo lo demás. Jamás me dejo sola y hacia a un lado todo lo que tuviera que hacer, con tal de que yo fuera feliz, estuviera tranquila y terminara este trabajo. A pesar de que en ocasiones me sentía desfallecer y no querer seguir adelante, mi esposo con el gran amor incondicional que me tiene me apoyo en todo momento e impulso diariamente. Debo destacar, que es el hombre más maravilloso que existe en el mundo y que lo amo con toda mi alma y corazón, nunca permite que me entristezca de nada y aun no logro entender cómo es que todo me lo resuelve, pero lo hace, por eso le dedico a él y a mis hijos, todo mi tiempo y ahora siempre ellos son mi prioridad, sobrepasando la mía, ya que gracias a su paciencia y amor termine mi formación académica. Te amo mi guapo y amado esposo.*

*A mi Director de tesis; **Dr. Luis Mariscal Becerra**, a la vez mi tío, que siempre tuvo la disposición de ayudarme y apoyarme, nunca me dejo sin respuestas, sin atender mis cuestionamientos y requerimientos. Gracias a él pude conocer un mundo diferente al que había estudiado y eso me abrió otros horizontes. Estoy profundamente agradecida el haber podido colaborar con él. Te quiero mucho tío, eres un gran ejemplo de vida y profesionalismo a seguir.*

*A mis hermanos **Julio Cesar, Mario Antonio, Laura Elena y Fátima del Carmen**, ya que siempre estuvieron conmigo y me apoyaron de diversas maneras. Los quiero mucho hermanos.*

**SOFÍA**

## DEDICATORIA DE JOSIMAR

### **A Dios.**

Le dedico a **Dios** este logro primeramente porque en los momentos indicados puso todos los medios para estar en el camino para llegar a mis objetivos. También porque él estuvo en todos los momentos, tanto buenos y malos, en los cuales pude ver su mano y sentir su presencia acompañándome día tras día.

Porque todas las cosas proceden de él,  
y existen por él y para él.  
¡A él sea la gloria por siempre! Amén.

[Romanos 11:36](#) (NVI)

### **A mi Madre.**

Por haberme apoyado con su amor, su apoyo en las circunstancias difíciles, por los consejos en los momentos más nublados. Gracias a Dios por su vida y brindarme el apoyo para lograr mis objetivos.

### **A mis familiares.**

Por el apoyo en conjunto que me han brindado, ya sea en consejos, palabras de apoyo y ánimo. Le doy gracias a mi **tía Lourdes** por todo el apoyo brindado en mis estudios, por no dejar de confiar en mí y poner los medios para la culminación de toda esta travesía.

Le dedico la tesis a **mi abuelita Petra** (que en paz descansa), por ser uno de los pilares fuertes y ser un motivo para esforzarme más.

**JOSIMAR**

# I N D I C E

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>1</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>4</b>
<b>SINÓPSIS</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
OBJETIVO GENERAL .....	<b>8</b>
OBJETIVOS PARTICULARES.....	<b>8</b>
HIPÓTESIS .....	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1. LUMINISCENCIA</b> .....	<b>9</b>
1.1.- LUMINISCENCIA.....	<b>9</b>
1.1.1.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	<b>11</b>
1.1.2.- APLICACIONES GENERALES.....	<b>15</b>
1.1.3.- CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES LUMINOSAS. ....	<b>16</b>
1.2.- TÉCNICAS LUMINISCENTES.....	<b>17</b>
1.2.1- TERMOLUMINISCENCIA. ....	<b>17</b>
1.2.2.- FOTOLUMINISCENCIA. ....	<b>18</b>
1.2.3.- LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA.....	<b>18</b>
1.2.4.- CATODOLUMINISCENCIA.....	<b>19</b>
1.2.5.- RADIOLUMINISCENCIA.....	<b>19</b>
1.2.6.- FOSFORESCENCIA. ....	<b>20</b>
1.2.7.- QUIMIOLUMINISCENCIA. ....	<b>20</b>
1.2.8.- BIOLUMINISCENCIA. ....	<b>20</b>
1.2.8.1.- BIOLUMINISCENCIA INTRACELULAR. ....	<b>21</b>
1.2.8.2.- BIOLUMINISCENCIA EXTRACELULAR.....	<b>21</b>
1.2.8.3.- SIMBIOSIS CON BACTERIAS LUMINISCENTES. .	<b>21</b>
1.3.- LUMINISCENCIA EN LANTÁNIDOS.....	<b>22</b>
1.3.1.- PROPIEDADES GENERALES DE LOS LANTÁNIDOS TRIVALENTES. ....	<b>22</b>

1.3.2.- MECANISMOS DE EXCITACIÓN DE LOS IONES TRIVALENTES DE LAS TIERRAS RARAS (TR <sup>3+</sup> ) EN LOS NIVELES DE ENERGÍA.....	23
1.3.3.- EXCITACIÓN DIRECTA.....	25
1.3.4.- EXCITACIÓN INDIRECTA.....	26
1.3.5.- PROPIEDADES ÓPTICAS DEL EUROPIO (EU <sup>3+</sup> ).....	31
1.3.6.- PROPIEDADES ÓPTICAS DEL ÓXIDO DE YTRIO DOPADO CON EUROPIO (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :EU <sup>3+</sup> ).....	32
1.3.7.- PROPIEDADES ESPECTRALES.....	33
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>34</b>
2.1 MECÁNICA CUÁNTICA.....	34
2.1.1 TEORÍA DE BOHR.....	34
2.1.2 LEY DEL OCTETO.....	35
2.1.3 ELECTRONES DE VALENCIA.....	35
2.1.4 CAPA DE VALENCIA.....	35
2.1.5 ENLACES QUÍMICOS.....	35
2.1.5.1 ENLACE IÓNICO.....	36
2.1.5.2 ENLACE COVALENTE.....	36
2.1.5.2.1 ENLACE COVALENTE POLAR.....	37
2.1.5.2.2 ENLACE COVALENTE NO POLAR.....	38
2.1.5.2.3 ENLACE COVALENTE COORDINADO.....	39
2.1.5.3 ENLACE METÁLICO.....	40
2.1.5.4 ENLACE PUENTE DE HIDRÓGENO.....	40
2.2.-ESTRUCTURA DE MATERIALES.....	41
2.2.1 REDES CRISTALINAS.....	41
2.3 NANOTECNOLOGÍA.....	44
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA.....	45
2.3.1.1 EL MEDIO EN EL QUE SE DESARROLLA.....	45
2.3.1.1.1 HÚMEDA.....	45
2.3.1.1.2 SECA.....	46
2.3.1.2 TÉCNICAS DE APLICACIÓN.....	46
2.3.1.2.1 BUTTON UP.....	46



2.3.1.2.2 TOP – DOWN.....	47
2.3.1.2.3 COMPUTACIONAL.....	47
2.4 NANOMATERIALES.....	47
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS NANOMATERIALES.....	47
2.4.2 CLASIFICACIÓN POR SU PROCEDENCIA.....	47
2.4.3 CLASIFICACIÓN POR SU NATURALEZA QUÍMICA.....	48
2.4.4 CLASIFICACIÓN POR SUS DIMENSIONES.....	49
2.4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS POR SU TAMAÑO.....	50
2.5 MÉTODOS DE SÍNTESIS DE LOS NANOMATERIALES.....	52
2.5.1 EVAPORACIÓN SIMPLE DE SOLVENTES.....	52
2.5.2 ROCÍO PIROLÍTICO.....	53
2.6 MATERIALES.....	55
2.7 DIAGRAMA DE DIEKE.....	56
2.8 LA MATRIZ DE ÓXIDO DE YTRIO ( $Y_2O_3$ ) Y EL DOPANTE EUROPIO, ( $EU^{3+}$ ).....	57
2.9 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA.....	57
2.10 PELÍCULAS DELGADAS.....	58
2.11 TÉCNICA DE EVAPORACIÓN SIMPLE.....	62
2.12 TÉCNICA DE ROCÍO PIROLÍTICO ULTRASÓNICO.....	64
<b>CAPÍTULO 3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.....</b>	<b>67</b>
3.1 PROPIEDADES MACROSCÓPICAS.....	67
3.1.1 SÓLIDOS CRISTALINOS.....	67
3.1.2 SÓLIDOS AMORFOS.....	70
3.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUPERFICIES DE MATERIALES Y PELÍCULAS DELGADAS.....	71
3.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ESPECTROSCOPÍA.....	71
3.2.2 ESPECTROSCOPÍA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD).....	77
3.2.3 FOTOLUMINISCENCIA.....	80
3.2.3.1 ESPECTROSCOPÍA FOTOLUMINISCENTE.....	80

3.2.3.2 ESPECTROS DE EXCITACIÓN Y EMISIÓN. ....	86
<b>CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>88</b>
4.1 SUSTRATO Y REACTIVOS PRECURSORES.....	88
4.2 METODOLOGÍA PARA EL LAVADO DE LOS SUSTRATOS DE VIDRIO CORNING.....	88
4.3 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PRECURSORAS .....	91
4.4 DEPÓSITO DE PELÍCULAS.....	98
4.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	99
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES. ....</b>	<b>102</b>
5.1. RESULTADOS.....	102
5.1.1. DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LA MATRIZ DE $Y_2O_3$ .....	102
5.1.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LA MATRIZ DE $Y_2O_3$ CON DISTINTOS PORCENTAJES DEL DOPANTE $Eu^{3+}$ . ....	103
5.1.3. CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS.. .....	104
5.1.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.. .....	109
5.2. CONCLUSIONES. ....	110
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>125</b>



## LISTA DE FIGURAS.

### CAPÍTULO 1.

Figura 1.1. Esquema del proceso de fluorescencia y fosforescencia.

Figura 1.2. Nos muestra una trampa isoelectrónica representada por una elipse. Las energías de banda de conducción y de valencia en el ancho de banda ("band gap") son representadas por  $E_c$  y  $E_v$  respectivamente. También se ilustran las bandas de aceptación (trampa de huecos) y donación (trampa de electrones) debidas a la presencia de los núcleos isoelectrónicos.

Figura 1.3. Núcleo de trampa isoelectrónica excitada directamente por un fotón con energía  $E_p$ .

Figura 1.4. Excitación directa de un núcleo isoelectrónico por un electrón caliente.

Figura 1.5. Un electrón en la banda de valencia sube a la banda de conducción dejando así un par electrón - hueco en la región del núcleo isoelectrónico.

Figura 1.6. El electrón es capturado por la trampa isoelectrónica y esta se carga negativamente.

Figura 1.7. Creación de un par ligado electrón - hueco por la trampa isoelectrónica cargada negativamente.

Figura 1.8. La energía del excitón es transferida a los niveles  $4f_n$  por un proceso no radiactivo (efecto de Auger).

Figura 1.9. Luego del electrón ser capturado este puede transferir su energía directamente a los niveles internos  $4f_n$ .

Figura 1.10. Un electrón en la banda de conducción transfiere su energía a los niveles internos  $4f_n$  al ser capturado por un hueco en la trampa isoelectrónica.

Figura 1.11. Modelo de excitación del Ión  $Eu^{3+}$ .

### CAPÍTULO 2.

Figura 2.1. Explica la interacción entre el catión sodio y el anión cloruro, para formar un enlace iónico.

Figura 2.2. Explica como los dos átomos de cloro comparten un electrón para formar el enlace covalente.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- Figura 2.3. Explica como las cargas del oxígeno y los dos hidrógenos se atraen para formar un enlace covalente polar.
- Figura 2.4. Explica la formación del enlace covalente no polar por medio de dos no metales iguales.
- Figura 2.5. Explica que el nitrógeno tiene completa su capa de valencia y le comparte al hidrogeno para alcanzar su estabilidad.
- Figura 2.6. Explica que un electrón entra a la red desplazando a otro sucesivamente hasta desprender al último.
- Figura 2.7. Explica la interacción del puente de hidrogeno en las moléculas del agua.
- Figura 2.8. Estructuras cristalinas.
- Figura 2.9. Formas de nanomateriales.
- Figura 2.10. Proceso de evaporación simple de solventes.
- Figura 2.11. Modelo básico de funcionamiento del rocío pirolítico.
- Figura 2.12. Modelo de excitación del Ión  $Eu^{3+}$ .
- Figura 2.13. Eventos que se originan en la superficie del substrato durante el depósito de una película.
- Figura 2.14. Descripción del ángulo de contacto.
- Figura 2.15. Proceso de evaporación simple de solventes.
- Figura 2.16. Esquema del sistema de Rocío pirolítico ultrasónico.

### **CAPÍTULO 3.**

- Figura 3.1. Estructura atómica del diamante.
- Figura 3.2. Estructura amorfa de  $SiO_2$ .
- Figura 3.3. Muestran los valores de frecuencia y longitud de onda en distintas regiones del espectro electromagnético.
- Figura 3.4. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud como son los rayos gamma  $\gamma$  y rayos X, luz ultravioleta, luz visible, infrarrojo y las ondas de radio que son ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda.
- Figura 3.5. Un rayo incidente de intensidad  $I_0$  al penetrar en una muestra se observan los distintos rayos que emergen, como el rayo reflejado  $I_R$ , transmitido  $I_T$ , el rayo emitido  $I_E$  y el rayo dispersado  $I_S$ .
- Figura 3.6. Difracción de Rayos-X en un cristal
- Figura 3.7.-Comparación de la formación de la imagen en un microscopio de transmisión óptica, un microscopio electrónico de transmisión (TEM), un microscopio electrónico de barrido (SEM) y un tubo de rayos catódicos (CRT) de pantalla de TV.



*Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



Figura 3.8.- Componentes esenciales de un instrumento de luminiscencia.

Figura 3.9. Sistema de medición fotoluminiscente.

## **CAPÍTULO 5.**

Figura 5.1. Difracción de rayos X de  $Y_2O_3$  a distintas temperaturas.

Figura 5.2. Difractogramas de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  a distintos porcentajes de concentración.

Figura 5.3.- En la imagen se muestran los espectros de excitación y de emisión de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .

Figura 5.4.- Espectro de emisión de los polvos de Óxido de Ytrio dopados con 17% excitados con diferentes longitudes de onda.

Figura 5.5. Espectros de excitación y emisión de las películas de PET y PS dopadas con polvos de Óxido de Ytrio dopados con 17% de europio.

Figura 5.6. Películas de PET y PS dopadas con  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .

Figura 5.7. Se muestran las películas de PET y PS que tienen una transparencia de aproximadamente el 90%.

Figura 5.8. Diagramas de las coordenadas de CIE de las películas PET y PS dopadas con  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .



## **LISTA DE TABLAS.**

### **CAPÍTULO 1.**

Tabla 1.1. Configuración Electrónica para los átomos lantánidos en las distintas etapas de ionización.

### **CAPÍTULO 2.**

Tabla 2.1. Geometría de las redes cristalinas.

Tabla 2.2 Clasificación de nanomateriales.

Tabla 2.3. Clasificación de nanomateriales por sus dimensiones.

Tabla 2.4. Clasificación de nanopartículas por su tamaño.

Tabla 2.5. Comparación de los tres principales modos de crecimiento de películas.

### **CAPÍTULO 3.**

Tabla 3.1. Tipos de sólidos cristalinos.

Tabla 3.2. Efecto de la radiación electromagnética sobre la materia.

Tabla 3.3. Espectroscopia e información que puede obtenerse de cada una.

### **CAPÍTULO 4.**

Tabla 4.1. Concentraciones para las películas de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .



## SINÓPSIS.

Este trabajo describe cual es el porcentaje en peso de dopaje de Europio trivalente ( $Eu^{3+}$ ) en la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) para obtener la mayor eficiencia de emisión de luz; lo cual se logró por medio de esta matriz dopada al ser depositada por medio de la técnica de roció pirolítico en películas de PET y PS.

Este trabajo se divide en cinco capítulos, y en este se consideran los siguientes puntos:

En el **Capítulo 1** se describe las características correspondientes a la luminiscencia, fundamentos teóricos, aplicaciones, clasificación, técnicas luminiscentes y propiedades luminiscentes de los lantánidos.

En el **Capítulo 2** se expone el marco teórico de la mecánica cuántica, estructura de los materiales, nanotecnología y su clasificación, los nanomateriales y métodos de síntesis, el diagrama de Dieke y las características de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) y el dopante Europio ( $Eu^{3+}$ ).

Las técnicas de caracterización de los nanomateriales se exponen en el **Capítulo 3**, así como sus propiedades macroscópicas y las técnicas de caracterización de superficies de materiales y películas delgadas.

En el **Capítulo 4** se describe la metodología y procedimiento experimental que se requirió para el desarrollo de esta tesis.

En el **Capítulo 5** se presentan resultados y conclusiones; como resultado del trabajo experimental que se realizó.



## **INTRODUCCIÓN.**

La luminiscencia es un fenómeno que se presenta cuando se excita la materia, se puede excitar de diferentes formas: luminiscencia, fotoluminiscencia, fosforescencia, termoluminiscencia, catodoluminiscencia, bioluminiscencia, quimioluminiscencia y radioluminiscencia en sólidos orgánicos. La luminiscencia se ha estudiado desde la antigüedad por los filósofos; Aristóteles, Heródoto, Teofrasto o Estrabón [1, 2, 3].

El primer registro escrito fue por Shih Ching en el “Libro de las Odas”, en el cual describe algunos procesos luminiscentes.

En la Edad Media, San Alberto Magno mencionó la luminiscencia como un proceso físico cuando un diamante es calentado, entre otros científicos sé que se dedicaron a investigar la luminiscencia se encuentran; Nicolas Monarde, Vincenzo Cascariolo de Bolonia, Galileo Galilei, Gulio Lagulla, Nicolas Zucchi, Fortuni Liceti y Robert Boyle. Robert Boyle describe el proceso termoluminiscente de un diamante.

George Stokes uso filtros y prismas para demostrar que la luz incidente en un punto es absorbida y transformada por la solución en una luz emitida en un punto diferente de mayor longitud de onda.

En el siglo XVIII se llegó a la conclusión que la luminiscencia se presenta por exposición de luz. Con el descubrimiento de los rayos X, se observó que generaban luminiscencia ciertos minerales [4].

Eilhard Wiedemann introduce el término luminiscencia para abarcar los dos fenómenos conocidos, la fluorescencia y la fosforescencia. Llegando a la definición de la luminiscencia como todos los fenómenos luminosos no causados solamente por el aumento de la temperatura.





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



A. Jablonski explica el proceso luminiscente basado en niveles de energía representados en diagramas de bandas donde cada electrón ocupa un nivel. Los saltos de un nivel de energía alto a uno bajo provoca la emisión de un fotón [3]. Los trabajos de Randall, Willkins, Garlick y Gibson fueron los que establecen la teoría moderna general de la luminiscencia y termoluminiscencia en particular por que proponen la posibilidad de la aplicación del fenómeno luminiscente estimulada térmicamente.

La luminiscencia que se presenta en los experimentos de rayos catódicos a principios del siglo XX estimuló la investigación de este fenómeno, encontrando que el europio y el gadolinio, son en estos casos de los más eficientes; en los 80's se encontró que la matriz de  $Y_2O_2S$  dopada con europio dio origen a la investigación de distintos óxidos metálicos, dopados con distintos elementos de tierras raras; encontrando que estos podían proporcionar distintos colores, como es el rojo, verde, azul, amarillo y distintas tonalidades de estos colores cuando se combinan distintas proporciones de estos lantánidos, además de que se han utilizado como activadores a los metales de transición [5, 6].

Los materiales luminiscentes con tierras raras tienen ventajas importantes en la aplicación en la iluminación eléctrica, en la televisión a color, materiales de conversión agrícola, fósforo de rayos X, pinturas luminosas, tintas luminosas, en los monitores de computadoras, paneles instrumentales, luces fluorescentes, entre otros [6, 7].



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL:

- Apoyar a la investigación de nanomateriales luminiscentes, utilizando las técnicas aplicables a esta, en este estudio se utilizaron las dos técnicas siguientes: evaporación simple y rocío pirolítico ultrasónico.

### OBJETIVOS PARTICULARES:

- Obtener polvos luminiscentes por medio de la técnica de evaporación simple, cuando son dopados con diferentes porcentajes en peso de europio trivalente ( $Eu^{3+}$ ), que pertenece al grupo de las tierras raras o lantánidos.
- Depositar películas de los polímeros Tereftalato de Polietileno (PET) y Poliestireno (PS) a diferentes tiempos de depósito, dopados con los polvos luminiscentes de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  que presentaron la mejor eficiencia luminiscente, por medio de la técnica de rocío pirolítico ultrasónico.
- Determinar cuál es el porcentaje en peso óptimo para obtener la mayor eficiencia de emisión de luz de las películas de PET y PS, cuando son dopadas con Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopados con  $Eu^{3+}$ .

## HIPÓTESIS.

- Se considera que al dopar Europio trivalente ( $Eu^{3+}$ ) en la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ), a diferentes concentraciones de porcentaje en peso de  $Eu^{3+}$ , se obtendrá la mayor emisión de luz en las películas de PET y PS utilizando las técnicas de caracterización: Difracción de Rayos X y Fotoluminiscencia y con ello determinar cuál de las dos películas es más eficiente.



## **CAPÍTULO 1. LUMINISCENCIA.**

### **1.1.- LUMINISCENCIA.**

El proceso de luminiscencia es el proceso que se presenta en un material cuando este absorbe energía y después la reenvía en forma de fotones. La explicación más simple se define como la des-excitación de un átomo, molécula o cristal dando como resultado la emisión de la energía absorbida en forma de fotones, este fenómeno se presenta en todos los estados de la materia, en materiales orgánicos e inorgánicos.

Las sustancias cuando absorben radiación ultravioleta o visible la mayoría de las veces pierden su exceso de energía desprendiendo calor mediante choques con otros átomos o moléculas. Hay un número importante de sustancias que pierden una parte del exceso de energía en forma de calor y emiten el resto en forma de radiación electromagnética en una longitud de onda ( $\lambda$ ) más larga que la radiación absorbida. En la mayoría de estos procesos la longitud de onda radiada es mayor que la energía absorbida, porque la cantidad de energía emitida es menor [1.3].

En la mayoría de los sólidos orgánicos la luminiscencia se asocia a impurezas y defectos estructurales actuando estos como activadores. Esto se ve en los metales de transición, actínidos, cristales iónicos puros, semiconductores, lantánidos o tierras raras.

El caso más simple de luminiscencia es cuando un electrón es excitado por alguna fuente no térmica, como es la absorción de un fotón o la colisión con otro. El fotón es emitido cuando el electrón vuelve a su estado base con la frecuencia correspondiente al salto de energía.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



La luminiscencia se renombra según el tipo de energía de excitación usada, añadiendo el prefijo correspondiente como por ejemplo; Fotoluminiscencia, Catodoluminiscencia, Radioluminiscencia, Bioluminiscencia, Triboluminiscencia, etc.

Se clasifica en fluorescencia o fosforescencia dependiendo del tiempo que tarda en des-excitarse un átomo, este tiempo se le denomina “tiempo de vida ( $\tau$ )”.

Es fluorescencia cuando  $\tau \leq 10^{-8}$  s, esto quiere decir que el proceso luminiscente persiste solo si continua la excitación en otras palabras la emisión es casi inmediata a la excitación. Tiene una transición intermedia no radiante, es decir, el electrón decae a un nivel inferior “relajación” para luego alcanzar su nivel base con un quantum de luz de mayor longitud de onda de lo que se hubiera esperado sin ese paso medio [1.1, 1.2].

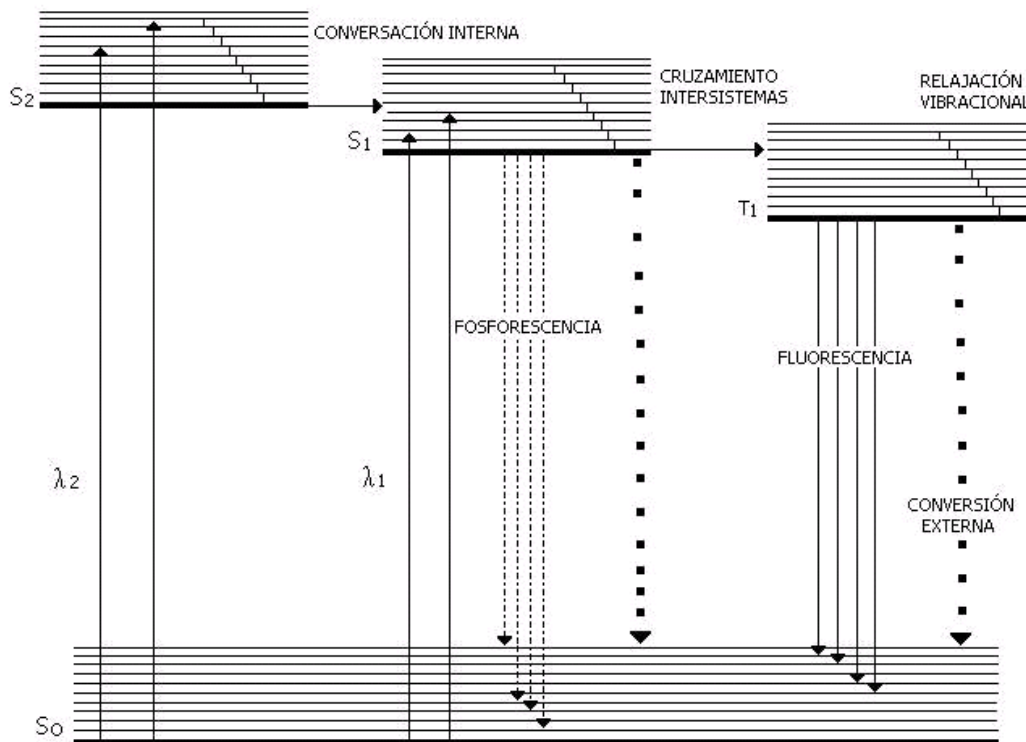
El fenómeno de fluorescencia fue descubierto por George G. Stokes en 1852. Stokes observó que la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la luz emitida era mayor que la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación incidente, lo que llevó a conocerse como ley de Stokes. En su honor, las líneas de emisión que aparecen desplazadas a una longitud de onda  $\lambda$  más largas (con frecuencias más bajas) se llaman líneas de Stokes.

Por lo tanto es fosforescencia si  $\tau \geq 10^{-8}$  s, nos dice que la emisión de luz puede ser observada después de remover la fuente de excitación en otras palabras es cuando hay un retardo entre estos dos procesos. Cuando se tiene un paso intermedio este corresponde a un nivel de energía metaestable. De este modo la diferencia entre ambos fenómenos radica en la forma de volver a su estado base.

La emisión de luz se produce por la excitación de los electrones de valencia de un átomo, en estado gaseoso como en estado sólido (cristal o molécula orgánica).

Cuando una molécula absorbe radiación pasa de un estado fundamental a un estado excitado (Figura 1.1). Cuando este estado es fundamentalmente estable, puede perder exceso de energía vibracional por medio de colisiones, y volver a su estado electrónico fundamental emitiendo radiación [1.3].

Figura 1.1: Esquema del proceso de fluorescencia y fosforescencia.



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Universidad de Alicante. Calibración de un espectrofluorímetro multi-funcional para la medida y evaluación (visual) de colores fluorescentes [1.3].

### 1.1.1.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

A continuación se presenta una breve explicación de algunos de los fundamentos teóricos de la luminiscencia:



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- **Procesos de moléculas en estados excitados.**

Para que exista luminiscencia, es necesario que un material absorba previamente radiación con una longitud de onda  $\lambda$  adecuada. Cuando un fotón de luz de una longitud de onda determinada incide sobre una molécula, puede ser absorbido en aproximadamente  $10^{-15}$ s (tiempo para que una molécula pase de un estado excitado a otro). Una molécula en un estado excitado tiene un tiempo de vida de sólo  $10^{-7}$  s, en este tiempo pierde parte de su exceso de energía.

Los tres tipos de procesos que pueden darse en una molécula en estado excitado son:

1. Que una molécula reemita un fotón de la misma frecuencia de la energía absorbida (Emisión de resonancia).
2. Que la molécula pierda su energía vibracional emitiendo un fotón de radiación infrarroja, pasando a un nivel vibracional más bajo del estado electrónico excitado.
3. Que la molécula pierda su energía vibracional, pasando a un estado más bajo del estado electrónico excitado sin emitir energía debido a las colisiones que se presentan internamente.

Cuando la molécula está en el estado vibracional más bajo del estado excitado puede perder el exceso de energía de tres maneras:

1. Sin emitir radiación, perdiendo energía electrónica mediante choques o interacciones.
2. Emitiendo un fotón de luz ultravioleta o visible, como en el caso de la fluorescencia.
3. Pasando a un estado triplete metaestable y retornando después de un tiempo al estado eléctrico fundamental, emitiendo un fotón de luz ultravioleta o visible, como en el caso de la fosforescencia.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



En la mayoría de los casos, la mayor parte de las moléculas que absorben energía pierden todo el exceso de energía en forma de calor.

- **Estado singulete y triplete.**

Estas definiciones nos dicen el número de electrones desapareados en ausencia de un campo magnético. Si  $n$  es el número de electrones desapareados, habrá ( $n + 1$ ) estados degenerados, que son estados con la misma cantidad de energía asociados al spin electrónico, con independencia del orbital molecular que ocupan.

El estado de fluorescencia/fosforescencia que implica a las moléculas, de las cuales se encuentran en estado fundamental y no poseen electrones desapareados (singulete). Cuando estas moléculas absorben radiación UV o visible de frecuencia adecuada, estos electrones apareados pasa a un estado excitado en el que el spin del electrón no ha variado, y por tanto el spin neto tiene el mismo valor.

- **Proceso de luminiscencia.**

Cuando la molécula pasa del estado fundamental a uno cualquiera de los estados vibracionales (excitados). La molécula puede perder su energía vibracional y pasa al nivel vibracional más bajo del estado electrónico excitado singulete. A partir de aquí y según el estado de la molécula y las condiciones en la que se encuentra, pueden producirse tres efectos distintos.

1. Si el estado singulete es relativamente inestable, la molécula volverá al estado fundamental por desactivación debido a los choques internos y sin emisión de radiación.
2. Si el estado singulete es relativamente estable volverá al estado electrónico fundamental emitiendo un fotón fluorescente.
3. El estado singulete puede estabilizarse mejorando la eficacia de la fluorescencia.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



El paso de un estado singulete (sin electrones desapareados) a un estado triplete (con 2 electrones desapareados) se le denomina *cruzamiento de sistemas*.

Este mecanismo implica un acoplamiento vibracional entre los estados singulete y triplete. El estado triplete es menos energético que el estado singulete, después del entrecruzamiento de sistemas, la molécula regresa a un exceso de energía vibracional y se desactiva, sin emitir energía, hasta el nivel cero del estado triplete. Con los puntos anteriores, las variables más importantes que intervienen en la luminiscencia en el fenómeno óptico de interacción luz-materia son:

- El rendimiento cuántico o eficacia cuántica de la fluorescencia es la relación entre el número de moléculas que emiten fluorescencia respecto al número total de moléculas excitadas. Las moléculas altamente fluorescentes tienen eficacias cuánticas que se aproximan a la unidad. Mientras que las sustancias poco fluorescentes tienen rendimientos que tienden a cero.
- La estructura; la fluorescencia más intensa y más útil que se ha encontrado hasta el momento; se presenta en los compuestos que poseen; grupos aromáticos, estructuras alifáticas y alicíclicas de carbonilo o estructuras con dobles enlaces conjugados pueden presentar también fluorescencia.
- La temperatura y disolvente; la eficacia cuántica disminuye muchas veces por el aumento de la temperatura. Porque a temperaturas elevadas se producen un aumento en la frecuencia de las colisiones que incrementan la probabilidad de desactivación no radiante (conversión externa).
- Efecto de la concentración: la potencia de la radiación fluorescente es proporcional a la potencia radiante del haz de excitación que es absorbido por el sistema [1.3].





### **1.1.2.- APLICACIONES GENERALES.**

Entender los fenómenos implicados en la transformación de la energía por materiales luminiscentes; es importante por la aplicación tecnológica en el diseño de nuevos materiales luminiscentes. Para fabricar estos materiales es necesario dotarlos de las propiedades deseables para satisfacer las necesidades de aplicaciones específicas requeridas, siendo el ideal un diseño de átomo por átomo y molécula por molécula. Su aplicación va desde los experimentos de la física de altas energías, la física nuclear y las técnicas de diagnóstico por imagen en medicina, hasta los sistemas de protección de tarjetas de crédito.

Los materiales luminiscentes en su mayoría son sólidos con estructura cristalina, pero también los hay amorfos, como los plásticos y polímeros. La mayoría de estos deben sus propiedades luminiscentes a ser “cristales impuros”, esto quiere decir, que dentro de la estructura pura hay un trozo que da al cristal su nombre de material “dopado” o “impuro”. Un ejemplo es el rubí, cuando alguno de los átomos de aluminio es sustituido por algún átomo de cromo, hace que el óxido de aluminio sea capaz de transformar la luz solar en una luminiscencia de color rojizo muy apreciada en la joyería.

Las lámparas fluorescentes están constituidas por un cristal de óxido de calcio que tiene dos impurezas; el antimonio y el magnesio. El antimonio emite una luz azul y el magnesio una luz amarilla, al mezclarlos producen la luz brillante característica de dichas lámparas.

Una aplicación clínica de estos materiales la podemos ver en el fluoroinmunoanálisis. El objetivo de esta aplicación, es identificar especies biológicas para su uso clínico. Su utilidad es la colocación de etiquetas luminiscentes que por sí solas no brillan, pero que se acoplan químicamente con un anticuerpo cuya presencia está ligada a una biomolécula u organismo dado. La



## **Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



etiqueta es capaz de responder con luminiscencia cuando se le ilumina con luz ultravioleta indicando la presencia de la biomolécula u organismo.

Otro ejemplo de etiqueta luminiscente es el europio encapsulado en biperidina. La biperidina absorbe luz ultravioleta con la que se le ilumina y transfiere parte de la energía al europio, el cual emite luz roja siempre y cuando la etiqueta esté acoplada al anticuerpo.

Los materiales luminiscentes que transforman la energía de rayos X o de rayos gamma en luz visible tienen gran interés, estos se conocen como “centelladores”. El fenómeno de luminiscencia aquí es una rareza de la naturaleza, ya que se esperaría que el material transformara la energía de los rayos en calor. Pero los centelladores utilizan parte de esa energía para resplandecer. El fenómeno de centelleo fue descubierto en 1903. Se aplican en el área de las técnicas de diagnóstico por imagen en medicina.

Otra aplicación está en la biología marina, sus inicios fueron cuando unos marineros informaban del despliegue de luces verdosas que a veces les ofrecían los mares tropicales, como podemos notar este efecto tiene origen bioluminiscente.

En la Universidad de San Diego han descubierto pistas que desvelan los mecanismos bioluminiscente de uno de esos seres: un gusano que produce fosforescencia verdosa [1.3].

### **1.1.3.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FUENTES LUMINOSAS.**

Las características generales de las fuentes luminosas se pueden dividir en cuatro grupos: fotométricas, colorimétricas, eléctricas y duración.

1. Fotométricas: En este grupo se incluyen; flujo luminoso, intensidad y eficacia.



2. Colorimétricas: Estas características son referidas a la Temperatura de Color (Tc) y al Índice de Rendimiento de Color (IRC).
3. Eléctricas: Una de las diferencias entre las lámparas incandescentes y las de descarga es que la primera tiene una resistencia positiva (ley de ohm) y con las otras ocurre lo contrario, debido a que en cada descarga cada electrón libera nuevos electrones.
4. Duración: El tiempo de duración depende de diversos factores, por lo que se estima un valor medio en base a una muestra [1.1].

## **1.2.- TÉCNICAS LUMINISCENTES.**

A continuación se hará breve mención de algunas de las técnicas luminiscentes que cuentan con mayor aplicación. Una de las ventajas de estas técnicas es que la cantidad de muestra que es necesaria para llevar a cabo medidas nunca excede de unos pocos miligramos. Concretamente se dará una descripción básica de las técnicas luminiscentes [1.4].

### **1.2.1.- TERMOLUMINISCENCIA.**

La termoluminiscencia es un proceso en el cual un sólido emite luz cuando es calentado. Para este proceso, es necesario que previamente dicho sólido haya absorbido energía de radiación. La termoluminiscencia no es una emisión de luz espontánea que se desprende de una sustancia cuando alcanza un grado determinado de calentamiento.

En el proceso de termoluminiscencia es posible producir luz visible a temperaturas inferiores al rojo, donde el calor no es la fuente primaria de energía sino el desencadenante de la reacción. La radiación ionizante provoca; al incidir sobre un material, que los electrones y los huecos puedan quedar atrapados en imperfecciones de la red cristalina (denominadas trampas), entre la banda de conducción y la banda de valencia. Cuanto mayor es el tiempo de exposición a la



radiación, mayor es el número de electrones y huecos que pueden quedar atrapados en estas imperfecciones de la red. Al calentar el material o con la exposición a luz estimulante, los electrones y los huecos se liberan, volviendo a su estado basal y liberan el exceso de energía que habían adquirido, emitiendo fotones. Cuando el sólido ha emitido luz debido al tratamiento térmico, se repite el proceso de emisión termoluminiscencia si el material es nuevamente expuesto a una radiación.[1.4].

### **1.2.2.- FOTOLUMINISCENCIA.**

La fotoluminiscencia es el proceso de ganancia de energía de un material por la absorción de un fotón de determinada longitud de onda, el electrón que es excitado pasa de su órbita original a una órbita de mayor energía. A esta circunstancia se dice que se ha creado un par electrón-hueco.

El electrón que se encuentra en la banda de conducción interactúa con los modos vibracionales y rotacionales del cristal o de la molécula y es sometido a una relajación obligando al electrón a moverse a un nivel metaestable y después relajarse hasta su estado base, donde la energía liberada se transforma en calor, o emitiendo un fotón con una frecuencia menor a la del fotón que produjo la excitación [1.5].

### **1.2.3.- LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA.**

La luminiscencia ópticamente estimulada (OSL, por sus siglas en inglés) es la luminiscencia emitida por un aislante o semiconductor irradiado cuando se expone a una luz (principalmente azul, verde o infrarroja). El proceso empieza cuando la irradiación causa la ionización de los electrones de valencia creando pares electrón-hueco. Al producirse la recombinación, los defectos existentes en el material atrapan los electrones libres y los huecos a través de una transición no radiactiva. La posterior iluminación del material produce la absorción de energía



por los electrones atrapados en las trampas hacia la banda de conducción. Finalmente la recombinación de los electrones y huecos produce la emisión radiactiva (luminiscencia) [1.4].

#### **1.2.4.- CATODOLUMINISCENCIA.**

La catodoluminiscencia es una técnica de gran importancia para determinar la estructura interna de distintos materiales. Habitualmente está asociada a un microscopio electrónico de barrido porque la emisión luminiscente se obtiene a partir de la incidencia de un haz de electrones sobre la muestra generada a partir de los defectos cristalinos del material. Los cristales naturales presentan defectos, que actuarán como zonas en que se absorbe la energía del haz de electrones. De este modo, las imperfecciones se convierten en centros de luminiscencia. La intensidad de la catodoluminiscencia depende de la densidad de corriente sobre la muestra y de la diferencia de potencial aplicada.

La emisión aumenta de manera no lineal con la intensidad de corriente cuando se ha alcanzado un nivel de saturación, la intensidad catodoluminiscente deja de aumentar por las características de cada mineral. El sistema de catodoluminiscencia, al estar asociado a un microscopio electrónico, permite complementar los datos texturales obtenidos para así vincular los centros luminiscentes con alteraciones estructurales del material [1.4].

#### **1.2.5.- RADIOLUMINISCENCIA.**

Es una técnica similar a la catodoluminiscencia, aunque para llevar a cabo la medición de radioluminiscencia es necesario excitar con una fuente de rayos X en lugar de un haz de electrones. La ventaja de excitar con una fuente de rayos X es que no contamina y además se puede controlar fácilmente su puesta en funcionamiento [1.4].



### **1.2.6.- FOSFORESCENCIA.**

Una medición de fosforescencia consiste en poner la muestra en una cámara aislada para que un fotomultiplicador detecte todas las señales luminosas que sean emitidas por la misma. Para esto es necesario que previamente el material haya sido irradiado. El proceso de emisión luminiscente es el mismo que el descrito anteriormente.

Cuando la muestra se irradia se produce una excitación de los portadores de carga. Con el paso del tiempo, la red se relaja y es en este momento que se produce la emisión luminiscente [1.4].

### **1.2.7.- QUIMIOLUMINISCENCIA.**

La quimioluminiscencia es el fenómeno de emisión de la radiación; que se observa cuando una especie electrónicamente excitada, producida por una reacción química, regresa a su estado fundamental [1.6].

### **1.2.8.- BIOLUMINISCENCIA.**

Es la producción de luz de ciertos organismos vivos. El nombre proviene de una palabra híbrida, originada del griego bios que significa "vivo" y del latín lumen que significa "luz". Es un fenómeno muy extendido en los niveles biológicos: bacterias, hongos, protistas unicelulares, celentéreos, gusanos, moluscos, cefalópodos, crustáceos, insectos, equinodermos, peces.

Los tres tipos principales de bioluminiscencia son: la intracelular, la extracelular y la de bacterias simbióticas [1.6].



### **1.2.8.1.- BIOLUMINISCENCIA INTRACELULAR.**

La bioluminiscencia intracelular es generada por células especializadas del cuerpo de algunas especies pluricelulares o unicelulares, cuya luz se emite al exterior o a través de la piel y se intensifica mediante lentes y materiales reflectantes. Este tipo de luminiscencia es propia de muchas especies de calamar y otras especies [1.6].

### **1.2.8.2.- BIOLUMINISCENCIA EXTRACELULAR.**

La bioluminiscencia extracelular se da a partir de la reacción entre la luciferina y la luciferasa fuera del organismo como es el caso de las luciérnagas. Una vez sintetizados, ambos componentes se almacenan en glándulas diferentes en la piel o bajo esta. La expulsión y consecuente mezcla de ambos reactivos en el exterior producen nubes luminosas. Este tipo de luminiscencia es común a bastantes crustáceos y algunos cefalópodos abisales [1.6].

### **1.2.8.3.- SIMBIOSIS CON BACTERIAS LUMINISCENTES.**

Este fenómeno se presenta en animales marinos como son; gusanos, moluscos, equinodermos y peces. Estos animales disponen de pequeñas vejigas (en diversas partes del cuerpo), comúnmente llamadas fotóforos, donde guardan bacterias luminiscentes, algunas especies producen luz continua cuya intensidad puede ser neutralizada o modulada. Normalmente los órganos luminosos están conectados al sistema nervioso, lo que permite al animal controlar la emisión lumínica a voluntad (Seliger, 1965) [1.6].



### 1.3.- LUMINISCENCIA EN LANTÁNIDOS.

#### 1.3.1.- PROPIEDADES GENERALES DE LOS LANTÁNIDOS TRIVALENTES.

Los elementos del grupo de las tierras raras se agrupan de acuerdo a su número atómico en dos series, los lantánidos que van desde el cerio con número atómico 58 hasta el lutecio con número atómico 71, y los actínidos desde el torio con número atómico 90 hasta el lawrencio con número atómico 103. Los lantánidos tienen una configuración electrónica igual a la del xenón ( $[Kr] 4d^{10} 5s^2 5p^6$ ) más la consecutiva adición de la capa 4f.

Los átomos de los lantánidos pueden ser ionizados removiendo electrones sucesivamente. En la primera etapa se remueve un electrón de la capa  $6s^2$ , en la segunda etapa de ionización es removido el último electrón de la capa  $6s^2$  y en su forma trivalente uno de los electrones de la capa 4f es adicionalmente ionizado. La tabla 1.1 muestra la configuración electrónica para los átomos lantánidos en las distintas etapas de ionización [1.7].

Tabla 1.1 Configuración Electrónica para los átomos lantánidos en las distintas etapas de ionización.

Número Atómico.	Símbolo.	Nombre.	Átomo.	Ión *TR <sup>+</sup>	Ión *TR <sup>2+</sup>	Ión *TR <sup>3+</sup>
58	Ce	Cerio	$4f^2 5p^6 6s^2$	$4f^2 5d 6s$	$4f^2$	$4f$
59	Pr	Praseodimio	$4f^3 5p^6 6s^2$	$4f^3 6s$	$4f^3$	$4f^2$
60	Nd	Neodimio	$4f^4 5p^6 6s^2$	$4f^4 6s$	$4f^4$	$4f^3$
61	Pm	Promecio	$4f^5 5p^6 6s^2$	$4f^5 6s$	$4f^5$	$4f^4$
62	Sm	Samarium	$4f^6 5p^6 6s^2$	$4f^6 6s$	$4f^6$	$4f^5$





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



63	Eu	Europio	$4f^7 5p^6 6s^2$	$4f^7 6s$	$4f^7$	$4f^6$
64	Gd	Gadolinio	$4f^7 5d^6 6s^2$	$4f^7 5d 6s$	$4f^7 5d$	$4f^7$
65	Tb	Terbio	$4f^9 5p^6 6s^2$	$4f^9 6s$	$4f^9$	$4f^8$
66	Dy	Disprosio	$4f^{10} 5p^6 6s^2$	$4f^{10} 6s$	$4f^{10}$	$4f^9$
67	Ho	Holmio	$4f^{11} 5p^6 6s^2$	$4f^{11} 6s$	$4f^{11}$	$4f^{10}$
68	Er	Erbio	$4f^{12} 5p^6 6s^2$	$4f^{12} 6s$	$4f^{12}$	$4f^{11}$
69	Tm	Tulio	$4f^{13} 5p^6 6s^2$	$4f^{13} 6s$	$4f^{13}$	$4f^{12}$
70	Yb	Yterbio	$4f^{14} 5p^6 6s^2$	$4f^{14} 6s$	$4f^{14}$	$4f^{13}$
71	Lu	Lutecio	$4f^{15} 5p^6 6s^2$	$4f^{15} 6s$	$4f^{15}$	$4f^{14}$

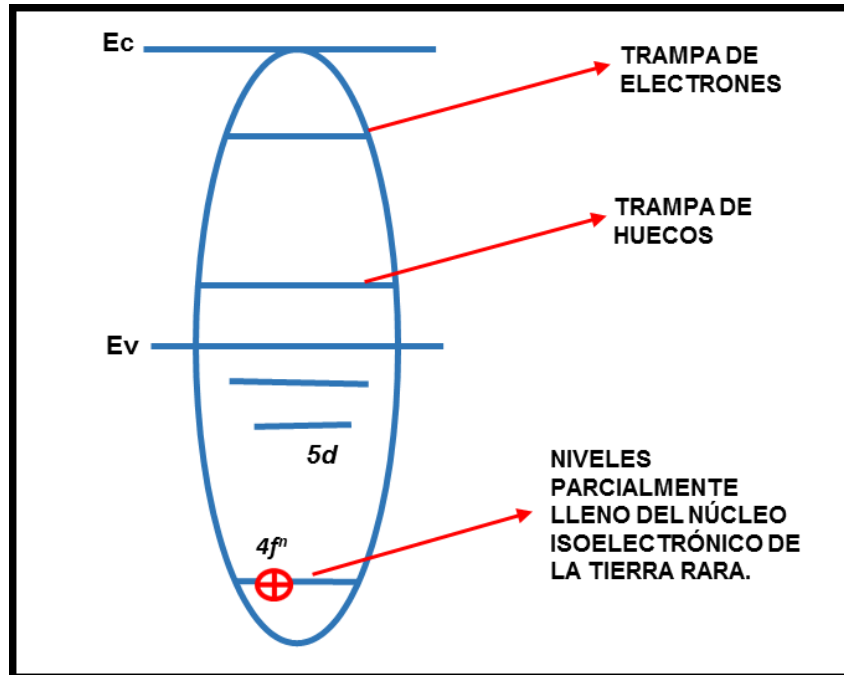
\* TR = Tierra rara.

María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

### 1.3.2.- MECANISMOS DE EXCITACIÓN DE LOS IONES TRIVALENTES DE LAS TIERRAS RARAS ( $TR^{3+}$ ) EN LOS NIVELES DE ENERGÍA.

La transición intraconfiguracional 5d-4f de los elementos de tierras raras ( $TR^{3+}$ ) son responsables de la emisión de luz. Los niveles de energía 4f son afectados por las fuerzas electrostáticas producidas por los átomos de las capas externas y levemente por el cristal anfitrión. Como los iones de las  $TR^{3+}$  crean trampas electrónicas (Figura 1.2) los excitones acoplados crean mecanismos de excitación y recombinación diferentes a los casos cuando se tienen excitones.

Figura 1.2: Nos muestra una trampa isoelectrónica representada por una elipse. Las energías de banda de conducción y de valencia en el ancho de banda ("band gap") son representadas por  $E_c$  y  $E_v$  respectivamente. También se ilustran las bandas de aceptación (trampa de huecos) y donación (trampa de electrones) debidas a la presencia de los núcleos isoelectrónicos.



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

En una trampa electrónica se pueden diferenciar las siguientes partes: la interfase que es denominada zona de transporte y convergencia de iones, el analizador y el detector.

La primera zona es la cámara de formación del spray, la interfase, donde se nebuliza la solución de la muestra y se ioniza a través de un proceso de



desolvatación. Los iones pasan a la siguiente zona a través del capilar de vidrio a la zona de transporte y convergencia, estos iones formados en la fuente entran en el analizador donde se aplican diferentes voltajes generando un campo eléctrico tridimensional en la cavidad de la trampa. Este campo atrapa y concentra los iones dada su trayectoria de oscilación estable. La naturaleza de la trayectoria depende del potencial y de la relación masa/carga de los iones. Durante la detección, los potenciales de los electrodos se alteran sometiéndolos a una rampa lineal de radiofrecuencia para provocar inestabilidad en las trayectorias de los iones y expulsarlos en la dirección axial en función de su relación masa/carga dando lugar a un espectro de masas.

En el caso de un excitón acoplado a un donante neutral o receptor, su tiempo característico de luminiscencia es de nanosegundos, mientras que en el caso de un excitón acoplado a una trampa isoelectrónica son de miles de nanosegundos. Otra característica de importancia es que las trampas isoelectrónicas de las  $TR^{3+}$  dependen poco de la temperatura. [1.7].

### **1.3.3.- EXCITACIÓN DIRECTA.**

Cuando la excitación es directa esto se presenta cuando un fotón excita los electrones de los niveles 4f en las  $TR^{3+}$  que absorben fotones al ser excitados (Figura 1.3). Lo mismo ocurre en el caso de excitación directa por catodoluminiscencia y Electroluminiscencia en donde los electrones de los niveles 4f de los núcleos isoelectrónicos de las  $TR^{3+}$  son excitados por choques con electrones calientes (Figura 1.4) [1.7].

Figura 1.3 Núcleo de trampa isoelectrónica excitada directamente por un fotón con energía  $E_p$ .

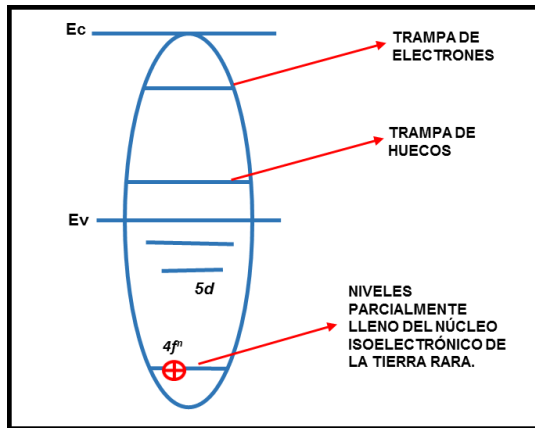
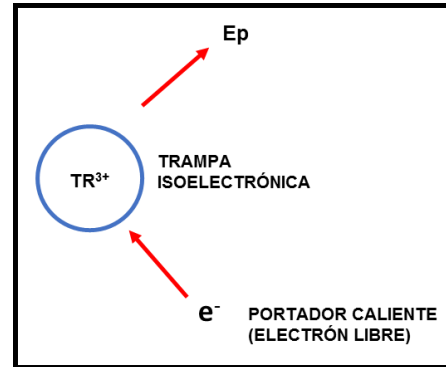


Figura 1.4: Excitación directa de un núcleo isoelectrónico por un electrón caliente.

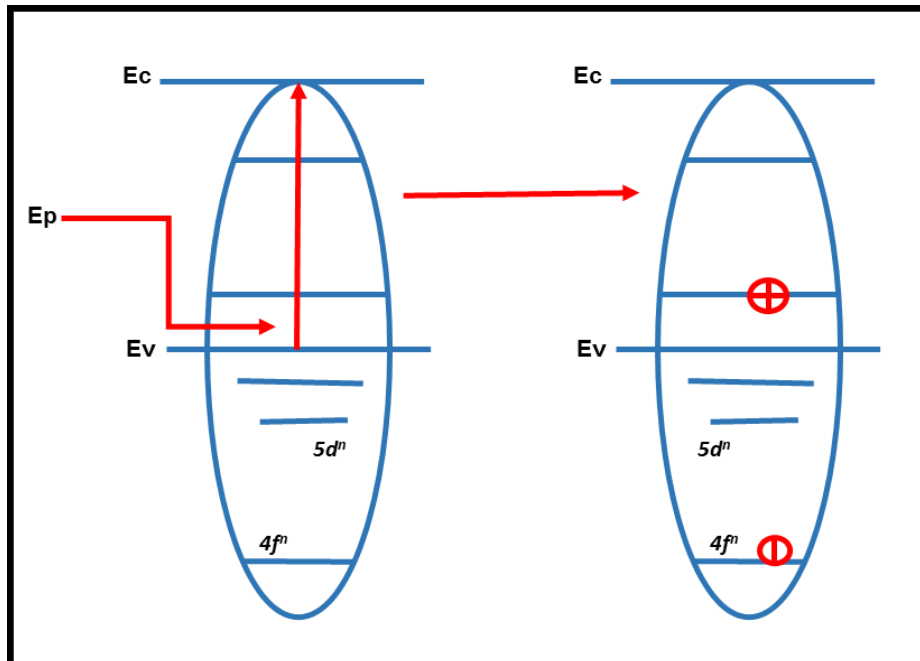


María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

### 1.3.4.- EXCITACIÓN INDIRECTA.

Cuando las  $TR^{3+}$  son excitadas indirectamente estas son estimuladas por un par de “electrón – hueco” generado por un fotón con energía mayor que la del ancho de banda, o por un electrón caliente en la catodoluminiscencia o suministrado como en el caso cuando se tiene una unión p-n por “forward bias”. Para describir esto claramente, se tomará de ejemplo el caso cuando las trampas isoelectrónicas son estimuladas por un fotón. Primero el material es estimulado por un fotón con una energía mayor que la del ancho de banda. La absorción del fotón hace que un electrón en la banda de valencia suba a la banda de conducción, dejando así un hueco en la banda de valencia (Figura 1.5).

Figura 1.5: Un electrón en la banda de valencia sube a la banda de conducción dejando así un par electrón - hueco en la región del núcleo isoelectrónico.

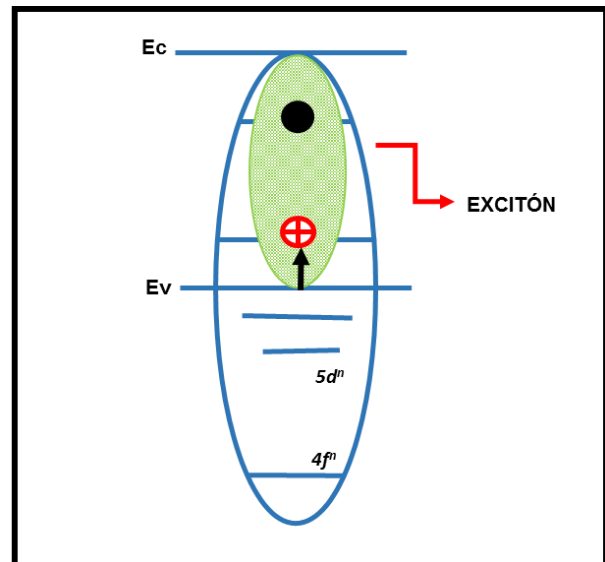
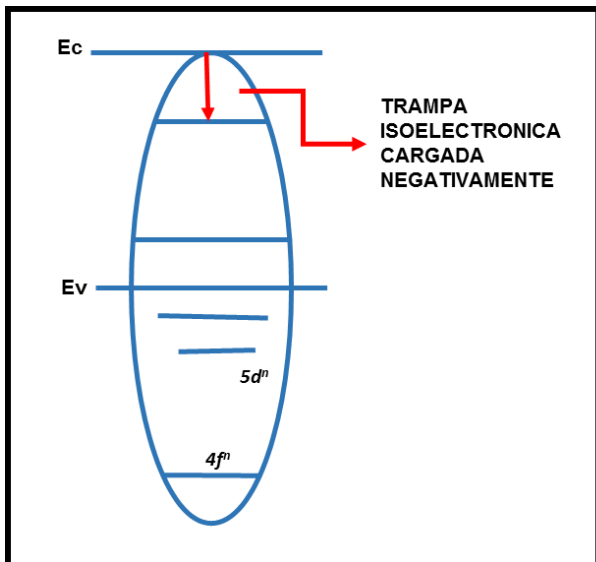


María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

Si una trampa isoelectrónica captura este electrón esta obtiene carga negativamente (Figura 1.6). Luego, por las fuerzas electrostáticas producidas por este exceso de carga, éste captura un portador con carga opuesta (o sea un hueco) y se crea un par ligado electrón hueco o excitón (Figura 1.7).

Figura 1.6: El electrón es capturado por la trampa isoelectrónica y esta se carga negativamente.

Figura 1.7: Creación de un par ligado electrón-hueco por la trampa isoelectrónica cargada negativamente.

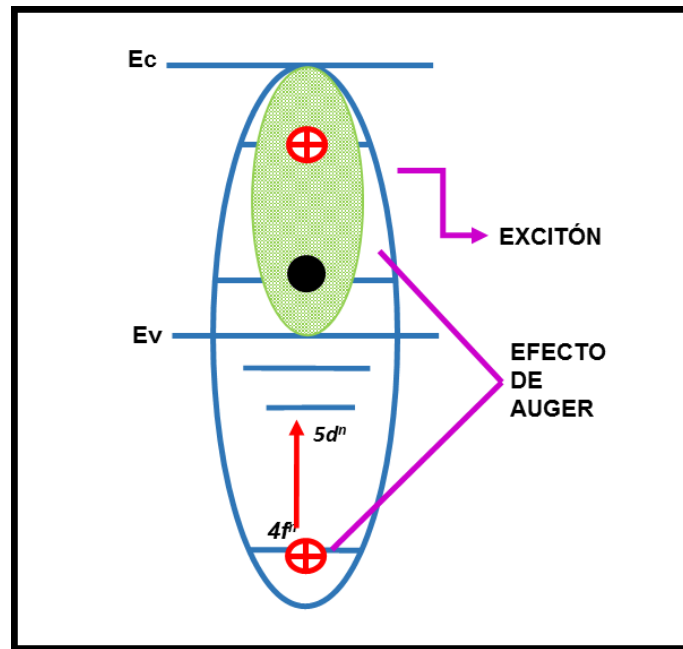


María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

Luego de formarse este excitón la energía se puede transferir a los niveles  $4f$  por el efecto de Auger (proceso no radioactivo) (Figura 1.8).

Figura 1.8: La energía del excitón es transferida a los niveles  $4f^n$  por un proceso no radiactivo (efecto de Auger).

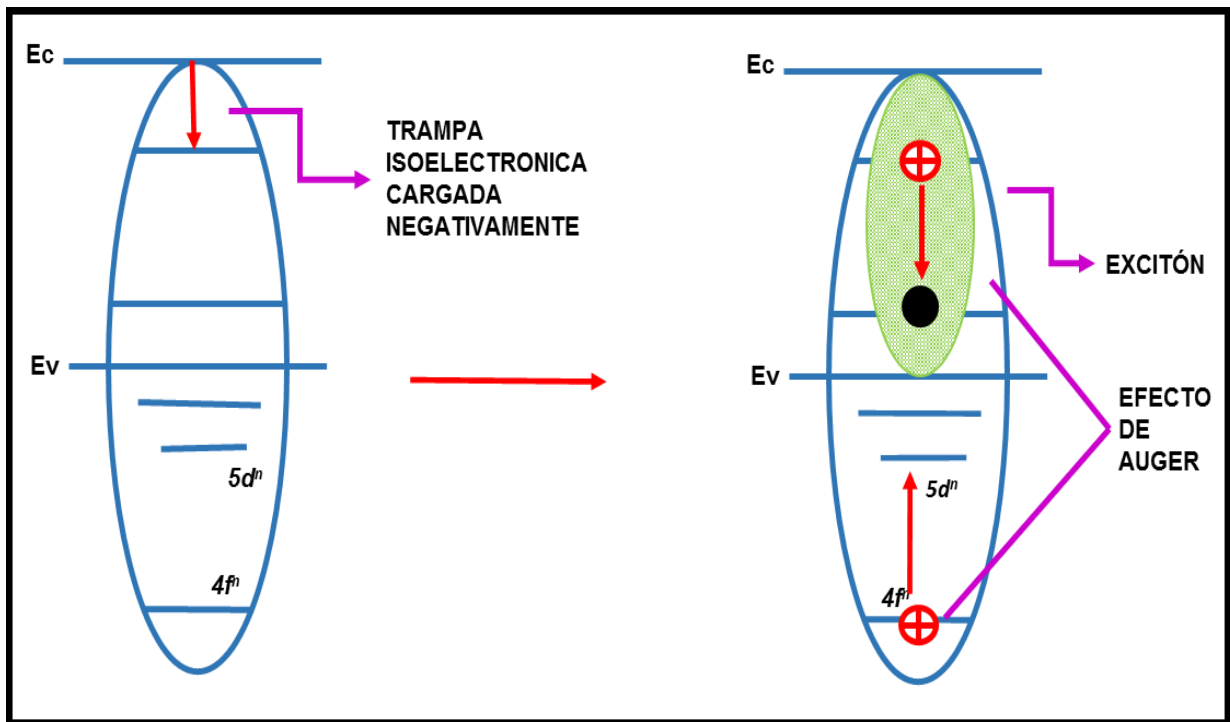
12



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de  $(Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2)$ . Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

Otro mecanismo de transferencia de energía a niveles internos se tiene cuando las trampas isoelectrónicas capturan un electrón y este a su vez es capturado por un hueco libre en la banda de valencia. Luego este puede transferir su energía a los niveles  $4f^n$  por medio del efecto de Auger (Figuras 1.9 y 1.10) [1.7].

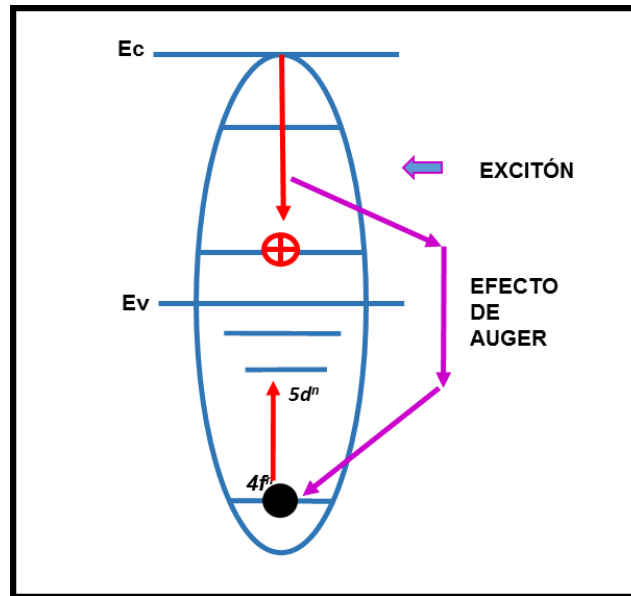
Figura 1.9: Luego del electrón ser capturado este puede transferir su energía directamente a Los niveles internos  $4f^n$ .



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].



Figura 1.10: Un electrón en la banda de conducción transfiere su energía a los niveles internos  $4f$  n al ser capturado por un hueco en la trampa isoelectrónica [1.7].



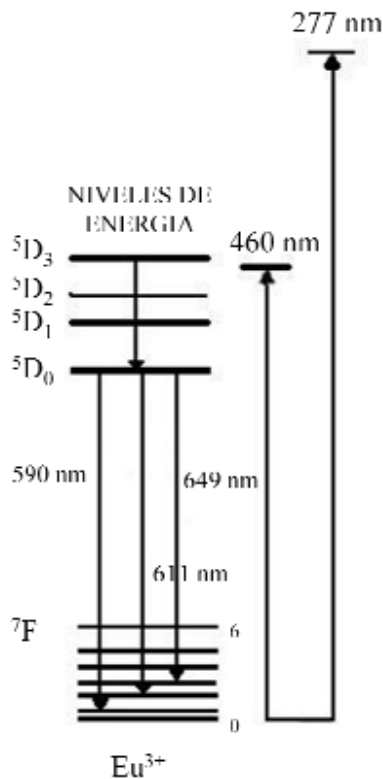
María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

### 1.3.5.- PROPIEDADES ÓPTICAS DEL EUROPIO ( $Eu^{3+}$ ).

En tiempos recientes las propiedades luminiscentes del ión  $Eu^{3+}$  han atraído el interés enfocado al uso del europio como material dopante desde que se conoce que emite fluorescencia roja con una eficiencia luminiscente muy alta, bajo la excitación de luz ultravioleta. El ion  $Eu^{3+}$  se comporta como un centro activador propiamente para el fenómeno de luminiscencia y centelleo (Figura 1.11).

Los requerimientos para la síntesis de tales compuestos son: una alta pureza química, homogeneidad, tamaño de partícula en un intervalo nanométrico, bajos costos de producción y alta eficiencia luminiscente.

Figura .1.11.- Modelo de excitación del Ión  $Eu^{3+}$  [1.7].



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].

En investigaciones recientes con tierras raras se busca mejorar la intensidad de emisión del europio en diferentes matrices [1.7].

### 1.3.6. PROPIEDADES ÓPTICAS DEL ÓXIDO DE YTRIO DOPADO CON EUROPIO ( $Y_2O_3:Eu^{3+}$ ).

En la estructura cúbica que se presenta en el  $Y_2O_3$  dopado con el ion  $Eu^{3+}$  se presentan 2 diferentes sitios cristalográficos, pero la transferencia de energía entre los iones europio serán diferente en la red, éstos son sitios simétricos son  $C_2$  y  $S_6$  el nivel  $^5D_0$  del ion  $Eu^{3+}$  de un sitio  $S_6$  se encuentra  $87\text{ cm}^{-1}$  más alto que el nivel  $^5D_0$  del ion  $Eu^{3+}$  ( $C_2$ ).



## *Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



Una cantidad considerable de investigaciones sobre el proceso de transferencia de energía en  $Y_2O_3$  se ha realizado hasta ahora, por la importancia de este compuesto como un fósforo comercial. Algunos modelos son utilizados para describir el proceso de transferencia y la probabilidad de transferencia de energía.

Como consecuencia de la presencia de pares de iones europio vecinos en la red del  $Y_2O_3$ , se originan cambios en el campo cristalino, viéndose las líneas espectrales desplazadas de los iones en estos pares [1.7].

### **1.3.7.- PROPIEDADES ESPECTRALES.**

El espectro de excitación, que corresponde a la línea de emisión del ión  $Eu^{3+}$  en  $(Y_{1-x}Eu_x)_2O_3$  se compone de líneas intensas comprendidas en la región de 240 nm y 600 nm, que corresponde a las transiciones dentro de la configuración de  $4f^6$  del  $Eu^{3+}$  y específicamente en la región  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_1$  se puede hacer una distinción entre las líneas que pertenecen al  $Eu^{3+}$  y las líneas pertenecientes al  $Eu^{3+}$ . Lo mismo para las líneas de emisión, donde se producen líneas en el espectro del nivel  ${}^5D_0$  para ambos tipos de sitios del ion  $Eu^{3+}$  [1.7].



## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 MECÁNICA CUÁNTICA.**

#### **2.1.1 TEORÍA DE BOHR.**

Bohr tenía en mente que las teorías físicas en ese momento no describían completamente los movimientos orbitales de los electrones, cuestionándose por que los electrones no perdían energía cuando están en movimiento. Los físicos de la época explicaban este fenómeno de manera compleja o difícil de comprender respecto a la estabilidad del electrón.

Por eso él combino la teoría ya existente de Rutherford con la teoría cuántica de Planck, con la cual este último explica que la energía de cada quantum es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por el constante  $h$ .

Consideró que los electrones giraban alrededor del núcleo como en el sistema solar, lo hacían siguiendo una trayectoria llamada orbita, en estas los electrones tienen un movimiento estable. Cada una de las orbitas tiene un nivel de energía distinto. Cuando un electrón brinca de un orbital mayor a uno menor este emite un quantum y así el átomo regresa a su estado basal.

Aplicando todo lo anterior, Bohr propone su teoría física y matemática ocupando un modelo sencillo basado en el hidrogeno, y el Postulado de Correspondencia es el que permite que se pueda considerar que la Física Clásica es una aproximación de lo que hoy es la Mecánica Cuántica.



Con esta teoría determinó las energías de los electrones en sus orbitas y también explicó las series espectrales visibles del hidrogeno de una manera precisa. Predijo la emisión de energía del hidrogeno tanto en la región ultravioleta como en la región infrarroja del espectro [2.1].

### **2.1.2 LEY DEL OCTETO.**

La regla del octeto surgió para explicar la estabilidad de un átomo cuando completa su capa de valencia con 8 electrones. Establece que los electrones de los átomos se combinan para adquirir la configuración electrónica del gas noble más cercano. Para lograr esto, cada elemento debe ganar, perder o compartir electrones en los enlaces químicos [2.10].

### **2.1.3 ELECTRONES DE VALENCIA.**

Son los electrones de la capa externa de un átomo son los responsables de la actividad electrónica, estos se pueden ceder, ganar o compartir para poder llegar a la configuración electrónica del gas noble más cercano, con ello llega a la estabilidad [2.11].

### **2.1.4 CAPA DE VALENCIA.**

Se refiere al nivel de energía exterior de un átomo en estado fundamental, en esta capa es donde se realizan los diferentes tipos de enlaces [2.12].

### **2.1.5 ENLACES QUÍMICOS.**

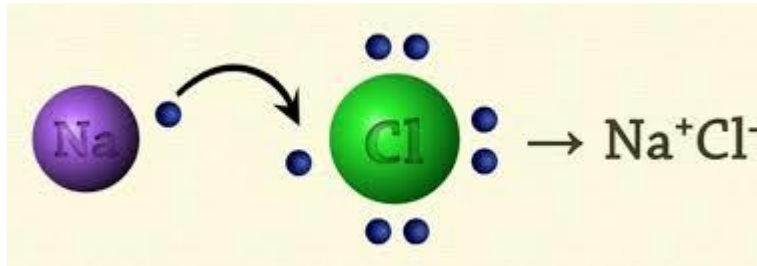
Los enlaces químicos se forman entre dos o más átomos, estos los mantienen unidos por fuerzas de atracción para formar moléculas, compuestos o redes cristalinas.

Existen cuatro tipos de enlaces químicos: iónico, covalente, metálico y puente de hidrogeno.

### 2.1.5.1 ENLACE IÓNICO.

Los elementos con baja energía de ionización forman cationes, en cambio los que poseen electroafinidad alta forman aniones. Un enlace iónico es la fuerza de atracción descrita por la Ley de Coulomb, la cual mantiene unidos a los iones. Al formarse una unión iónica, uno de los átomos pierde electrones (cationes), y el otro los gana (aniones), hasta que ambos tienen la configuración electrónica del gas noble más cercano [2.2, 2.3].

Figura 2.1.- Explica la interacción entre el catión sodio y el anión cloruro, para formar un enlace iónico.



Emaze. Amazing presentation. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.4].

### 2.1.5.2 ENLACE COVALENTE.

El enlace covalente se da cuando dos o más átomos de elementos no metálicos se combinan. Los no metales, por la necesidad de ganar electrones adquieren la configuración de gas noble, esto lo logran compartiendo electrones entre ellos. Los electrones son atraídos por los núcleos de los átomos que interactúan en el enlace [2.5].

Figura 2.2. Explica como los dos átomos de cloro comparten un electrón para formar el enlace covalente.



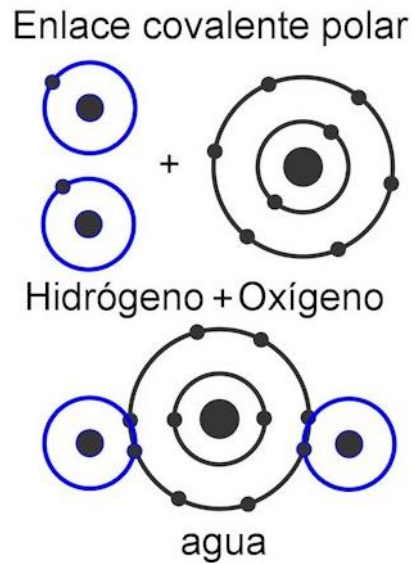
Formación de enlaces covalentes. Pre-conocimiento. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.6].

Hay tres tipos de enlace covalente los cuales son: polar, no polar y coordinado.

#### 2.1.5.2.1 ENLACE COVALENTE POLAR.

Se forman cuando dos o más elementos no metálicos diferentes se unen por medio del enlace covalente, por esta característica cada elemento tiene distintas cargas, positivas o negativas como en los enlaces iónicos, pero en este caso se une con enlaces covalentes. Estos son asimétricos, como se puede ver en la figura 2.3, ya que el oxígeno necesita dos electrones para completar su octeto y los dos hidrógenos necesitan un electrón para parecerse al gas noble más cercano.

Figura 2.3. Explica como las cargas del oxígeno y los dos hidrógenos se atraen para formar un enlace covalente polar.



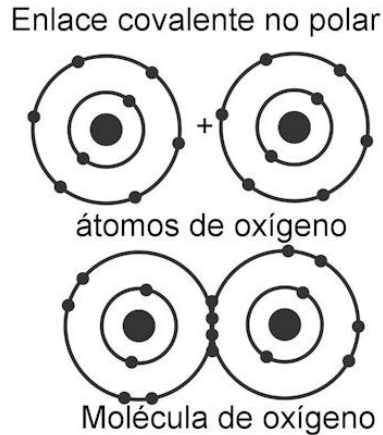
Tipos de enlaces químicos. 2016. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.7].

#### 2.1.5.2.2 ENLACE COVALENTE NO POLAR.

El enlace es formado con la unión de dos átomos o más de un mismo elemento no metálico, para formar una molécula. Como los átomos tienen la misma carga, no hay uno que predomine en la atracción. Sus enlaces son simétricos porque los átomos comparten y reciben el mismo número de electrones [2.7].



Figura 2.4. Explica la formación del enlace covalente no polar por medio de dos no metales iguales.

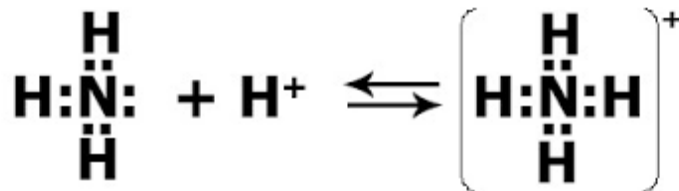


Tipos de enlaces químicos. 2016. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.7].

### 2.1.5.2.3 ENLACE COVALENTE COORDINADO.

Este enlace ocurre cuando uno de los átomos tiene su capa de valencia completa y el otro necesita electrones para completarla. Cumpliendo lo anterior, el átomo que alcanzó la estabilidad se une a otro que necesita electrones para que este complete su capa de valencia [2.8].

Figura 2.5. Explica que el nitrógeno tiene completa su capa de valencia y le comparte al hidrogeno para alcanzar su estabilidad.

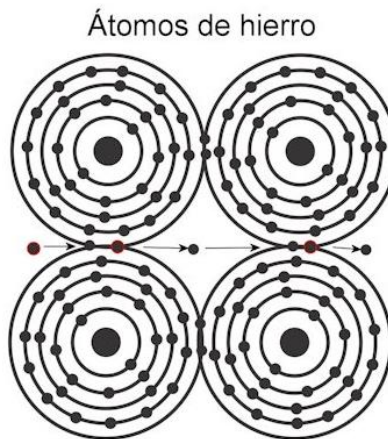


¿Qué tipo de enlace se produce cuando no existe gran diferencia de electronegatividad entre los átomos que se enlazan? Química. Enlaces covalentes [2.9].

### 2.1.5.3 ENLACE METÁLICO.

Estos enlaces se forman con elementos metálicos, los cuales toman una forma cristalina en la que los electrones forman una red que mantiene unida a la molécula. Esto permite circular una corriente eléctrica o transferencia de calor [2.7].

Figura 2.6. Explica que un electrón entra a la red desplazando a otro sucesivamente hasta desprenderse al último.

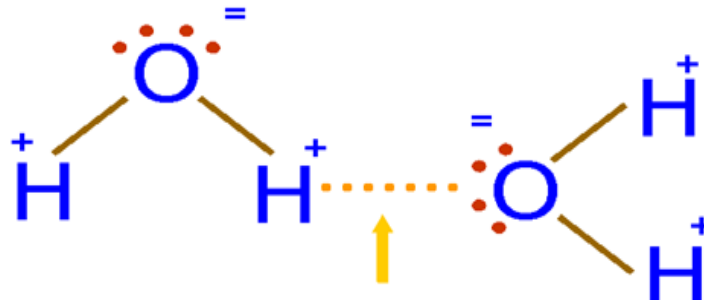


Tipos de enlaces químicos. 2016. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.7].

### 2.1.5.4 ENLACE PUENTE DE HIDRÓGENO.

El enlace puente de hidrogeno se presenta por medio de la electronegatividad alta de algunos átomos, generalmente son el oxígeno o el nitrógeno y un átomo de hidrogeno. Este enlace se establece entre moléculas capaces de generar cargas parciales, la mayoría de las veces se presenta cuando hay interacción del hidrogeno con el oxígeno, nitrógeno u otro átomo electronegativo. Los ejemplos más significativos son el agua y los alcoholes [2.13, 2.14].

Figura 2.7. Explica la interacción del puente de hidrogeno en las moléculas del agua.



Duvan y neiffer química Col: San José. Fuerzas intermoleculares. Consultado el 17 de Octubre del 2016 [2.15].

## 2.2. ESTRUCTURA DE MATERIALES.

### 2.2.1 REDES CRISTALINAS.

Existen principalmente tres situaciones en cómo se distribuyen los átomos en un material:

1. Distribución de átomos regular u ordenada: cristales.  
Con este arreglo las posiciones de los átomos en el espacio son conocidas.
2. Distribución de átomos irregular o desordenada: materiales amorfos.  
Con este arreglo las posiciones de los átomos en el espacio son desconocidas.
3. Situación intermedia: cuasicristales.  
Con este arreglo las posiciones de los átomos en el espacio tienen cierta regularidad [2.16].

La construcción de un sólido cristalino es a partir de la duplicación en el espacio de una estructura denominada celda unitaria, esta tiene la geometría de un

paralelepípedo. A partir de los lados o ejes de los paralelepípedos y de los ángulos que forman, se tienen siete sistemas cristalinos; cúbico, hexagonal, tetragonal, trigonal, romboédrico, monoclinico y triclínico.

Una red de Bravais es un arreglo infinito de puntos con un ordenamiento y orientación, que desde cualquier punto de vista parece la misma. Auguste Bravais descubrió que sólo hay 14 redes en los sistemas cristalinos tridimensionales [2.17].

#### LAS 14 REDES DE BRAVAIS TRIDIMENSIONALES.

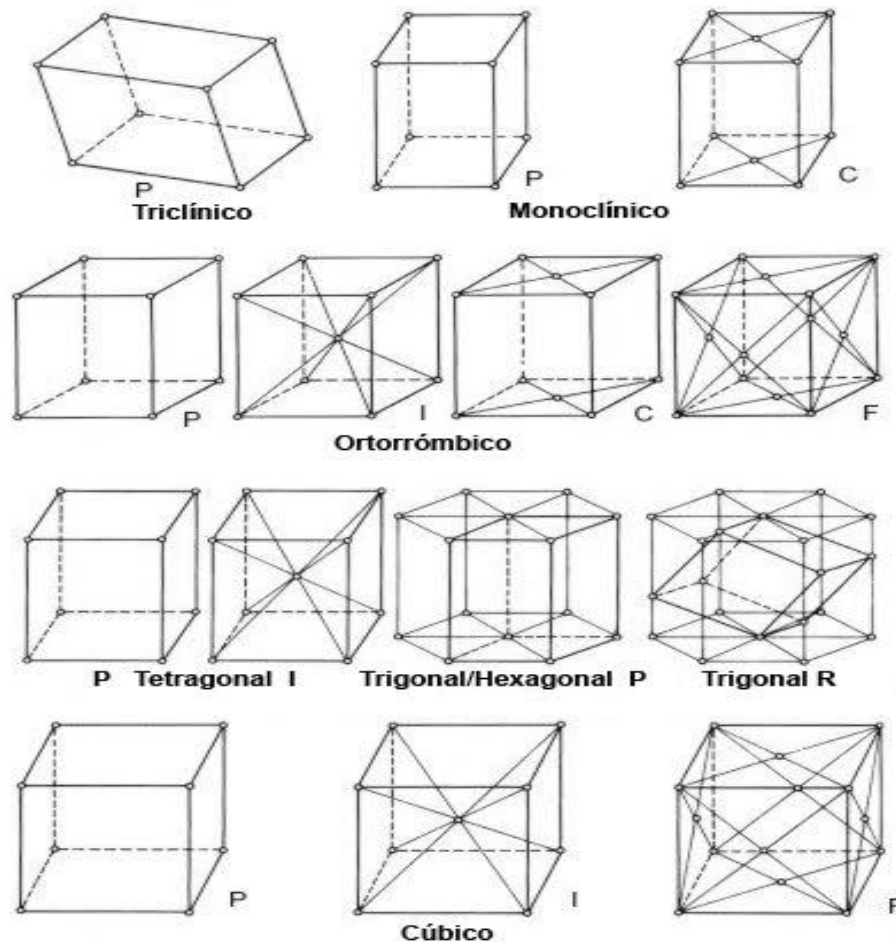


Figura 2.8. Estructuras cristalinas.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Analizando las figura 2.8 se observa que hay cuatro sistemas básicos de celda unitaria; sencilla o primitiva (P), centrada en el cuerpo o interior (I), centrada en las caras (F) y centrada en la base o en dos caras (C).

- En el sistema cúbico hay tres tipos posibles de celdas unitarias; cúbica sencilla o primitiva, cúbica centrada en el cuerpo o interior y cúbica centrada en las caras.
- En el sistema ortorrómbico hay cuatro tipos posibles; ortorrómbico sencillo o primitiva, ortorrómbico centrado en el cuerpo o interior, ortorrómbico centrado en las bases o en dos caras y ortorrómbico centrado en las caras.
- El sistema tetragonal presenta dos tipos de celdas posibles, tetragonal sencilla o primitiva y tetragonal centrada en el cuerpo o interior.
- El sistema monoclinico tiene celdas unitarias sencillas o primitivas y centradas en la base o en dos caras.
- Los sistemas romboédrico, hexagonal y triclinico tienen sólo el tipo sencillo o primitivo de celda unitaria [18].



Tabla 2.1. Geometría de las redes cristalinas.

SISTEMA CRISTALINO	LONGITUDES AXIALES Y ANGULOS INTERAXIALES	RETICULOS ESPACIALES
Cúbico	Ejes iguales en ángulos rectos. $a = b = c$ , $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cúbico sencillo. Cúbico centrado en el cuerpo. Cúbico centrado en las caras.
Tetragonal	Ejes en ángulos rectos, dos de ellos iguales. $a = b \neq c$ , $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal sencillo. Tetragonal centrado en el cuerpo.
Ortorrómbico	Ejes distintos en ángulos rectos. $a \neq b \neq c$ , $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrómbico sencillo. Ortorrómbico centrado en el cuerpo. Ortorrómbico centrado en las bases. Ortorrómbico centrado en las caras.
Romboédrico	Ejes iguales, inclinados por igual. $a = b = c$ , $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrico sencillo.
Hexagonal	Ejes iguales a $120^\circ$ y a $90^\circ$ con el tercero. $a = b \neq c$ , $\alpha = \beta = 90^\circ$ , $\gamma = 120^\circ$	Hexagonal sencillo.
Monoclínico	Ejes distintos, dos de ellos no forman ángulo recto. $a \neq b \neq c$ , $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclínico sencillo. Monoclínico centrado en la base.
Triclínico	Ejes distintos con distinta inclinación y ninguno en ángulo recto. $a \neq b \neq c$ , $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclínico sencillo.

Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre 2016 [2.18].

### 2.3 NANOTECNOLOGÍA.

En la última década la Nanociencia y la Nanotecnología han dejado de ser unas ramas científico-tecnológicas emergentes para convertirse en unas de las más



investigadas, las cuales son desarrolladas por los países más avanzados en tecnología [2.19].

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia, la explotación de fenómenos y propiedades de la materia en un tamaño o escala denominada nanoescala, manipulando materiales a niveles atómicos y moleculares para crear nuevas estructuras moleculares conocidas como nanomateriales [2.20, 2.21].

### **2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA.**

La nanotecnología se clasifica en:

- El medio en el que se desarrolla.
  - Húmeda.
  - Seca.
- Técnicas de aplicación.
  - Botton up.
  - Top – down.
  - Computacional.

#### **2.3.1.1 EL MEDIO EN EL QUE SE DESARROLLA.**

##### **2.3.1.1.1 HÚMEDA.**

La nanotecnología húmeda se dirige al desarrollo de sistemas biológicos para el manejo de material genético, membranas, enzimas, componentes celulares, y los sistemas que necesiten un medio acuoso.



### 2.3.1.1.2 SECA.

Proviene de la ciencia de superficies y química física, la nanotecnología seca se enfoca a la fabricación de estructuras de carbón, silicio y otros materiales inorgánicos. Este término se emplea para referirse al diseño de dispositivos mecánicos diminutos con pequeñas cantidades de átomos.

### 2.3.1.2 TÉCNICAS DE APLICACIÓN.

En general hay dos maneras de obtener materiales nanoestructurados: *Top-Down* y *Botton-up*, que es traducido como “de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba” en cualquiera de estos, la variedad de métodos de síntesis es extensa pero pueden ser clasificadas en tres categorías: condensación de un vapor, comúnmente utilizado en síntesis de nanopartículas metálicas y cerámicos de óxidos metálicos, su principio se basa en la evaporación de un metal sólido seguido de una rápida condensación para formar cúmulos en nanoescala. Otro gran grupo de síntesis son los procesos químicos, a grandes rasgos esta técnica consiste en el crecimiento de nanopartículas en un medio líquido compuesto de varios reactivos. Finalmente el proceso de estado sólido que es esencialmente parte de partículas de mayor tamaño y mediante proceso físico se obtienen nanopartículas.

#### 2.3.1.2.1 BUTTON UP.

Nanotecnología molecular, se centra en la construcción de estructuras y objetos a partir de sus componentes atómicos y moleculares; este tipo de nanotecnología es aceptada como el enfoque principal de la nanotecnología, ya que permite que la materia se pueda controlar de manera precisa, es decir, que mantenga constante su tamaño y forma en función del tiempo.





#### **2.3.1.2.2 TOP – DOWN.**

Diseña y reduce el tamaño de estructuras para obtener sistemas funcionales a tamaño de nanométrico, algunas de sus aplicaciones se presentan en la producción de nanoelectrónica.

#### **2.3.1.2.3 COMPUTACIONAL.**

Esta rama se encarga de trabajar en la modelación y simulación de estructuras complejas de escala nanométrica. Se pueden manipular átomos utilizando computadoras [2.22].

### **2.4 NANOMATERIALES.**

#### **2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS NANOMATERIALES.**

Los nanomateriales pueden tener diferentes tamaños, formas, naturaleza química y diferente procedencia.

Su procedencia puede ser natural, incidental o artificial.

#### **2.4.2 CLASIFICACIÓN POR SU PROCEDENCIA.**

**Natural:** Producidos por árboles, plantas, volcanes, espumas marinas, etc.

**Incidental:** Producidos por la combustión en vehículos, en procesos industriales, o en procesos de combustión.

**Artificial o sintética:** Producidos por diversos procesos de fabricación: bottom-up /top-down.



### 2.4.3 CLASIFICACIÓN POR SU NATURALEZA QUÍMICA.

Los nanomateriales pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica.

Tabla 2.2 Clasificación de nanomateriales.

Orgánicos.	Inorgánicos.
Fullerenos. Grafeno. Nanotubos de carbono. Coloides orgánicos. Nano partículas poliméricas. Negro de humo (carbón black). Lípidos. Nano partículas: lípidos, proteínas, ADN. Nanofibras poliméricas. Nanocristales de celulosa (CNC <sub>5</sub> ) y celulosa nanofibrilar (NFC).	Puntos cuánticos (quantum dots), nanocristales. Nanocables (nano wires). Nanovarillas (nano rods). Nanotubos inorgánicos. Nanofibras. Coloides silíceos, aluminosos. Nanoagrupación (nano cluster) d=0,1-10 nm. Nanopartículas de oro, plata, platino, cobre, aluminio. Nanopartículas de óxidos metálicos: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> O, TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , ZnO, etc. Nanoarcillas: metacaolín. Nanosílice; d=10-50 nm. Nano partículas de aluminio. Nano nitruros y carburos de silicio, titanio, zirconio.

Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre 2016 [2.18].



#### 2.4.4 CLASIFICACIÓN POR SUS DIMENSIONES.

Los nanomateriales se pueden presentar con una amplia diversidad de formas: esférica, cilíndrica, elipsoidal, tubular, helicoidal, arracimada, campaniforme, arrecifal, dendrítica, en forma de zig-zag o en forma de caja o de jaula. Se controla la morfología de las nanopartículas cuando se quieren obtener unas propiedades adecuadas, primordialmente, en aplicaciones ópticas y en la fabricación de dispositivos magnéticos.

Las dimensiones espaciales de las nanopartículas son diversas y de una gran influencia en sus propiedades. Atendiendo a su aspecto dimensional, se clasifican en cuatro grupos:

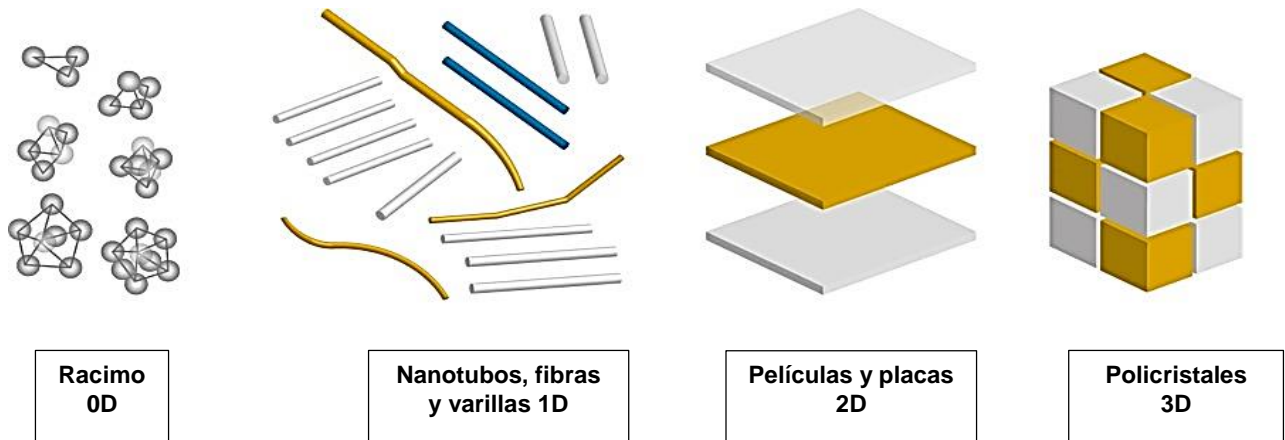
Tabla 2.3 Clasificación de nanomateriales por sus dimensiones.

Estructura	Definición	Nano materiales cuánticos
Cero Dimensional (0D).	Las tres dimensiones (x, y, z) <100 nm. Los electrones están confinados en las tres dimensiones.	Nanopartículas: Fullerenos. Partículas coloidales. Puntos cuánticos (Qdots). Nanoclusters. Algunos ADN, virus, proteínas. Átomos, moléculas. Nano partículas de Au y Ag.
Uni Dimensional (1D).	Dos dimensiones <100nm. Los electrones están confinados en dos dimensiones.	Nanocables. Nanotubos. Nanofibras. Nanovarillas. Fibras poliméricas. Nanocampanas.
Bi-Dimensional (2D).	Una dimensión <100nm. Los electrones están confinados en una dirección.	Monocapas. Nanorecubrimientos. Películas poliméricas (nano). Superficies con espesor < 100 nm.

		Películas multicapa.
Tri-Dimensional (3D).	Ninguna dimensión <100nm. Los electrones no están confinados y pueden moverse libremente.	Materiales nanoestructurados. Policristales. Nanobolas. Nanobobinas. Nanoflores.

Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre 2016 [2.18].

Figura 2.9. Formas de nanomateriales.



Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre 2016 [2.18].

## 2.4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS POR SU TAMAÑO.

Tamaño de algunas nanopartículas/nanomateriales [2.4].

Tabla 2.4 Clasificación de nanopartículas por su tamaño.

Nano partícula	Tamaño (nm)	Nº de átomos
Punto cuántico (Qdots).	1-50	
Nanocristales.	<1.5 – 10	<10 – 50
Fullereno C60.	0.88 – 1.10	



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Partículas coloidales.	1.0 – 100	
Nanotubos de carbono.	1.0 – 10; L/D>1000	100 – 1000
Cds.	0.7 – 10	
Negro de humo.	15 – 80 – 280	
Grafeno.	Espesor lámina 0.1	
Nanopolvo de grafeno.	>10	
Oro.	5 – 110	
Plata.	5 – 200	
Bio-nanopartículas.		
Hemoglobina.	8	
Glucosa.	<1.0	
Proteínas (algunas).	1.0 – 9.0	
Células.	9.0	
ADN.	10	
Virus (algunos).	50 – 100	
Liposoma.	1.0	
Virus.	30 – 230	
Micelas.	0.1	
Dendrimero.	50	
Óxidos metálicos $Al_2O_3$ , $TiO_2$ , $ZnO$ , $ZrO_2$ , $Fe_2O_3$ , $Fe_3O_4$ .	<100	
Óxidos metaloides $SiO_2$ , $Al_2O_3$ .	4 – 100	
Átomos.	0.05 – 0.5	
Silicio.	0.111	
Aluminio.	0.118	
Carbono.	0.067	
Hidrógeno.	0.053	



Nitrógeno.	0.120	
Moléculas.	0.3 – 10	
H <sub>2</sub> O.	0.3	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	0.7	
Cabello humano.	104	
Pelota de tenis.	108	

Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre 2016 [2.18].

## 2.5 MÉTODOS DE SÍNTESIS DE LOS NANOMATERIALES.

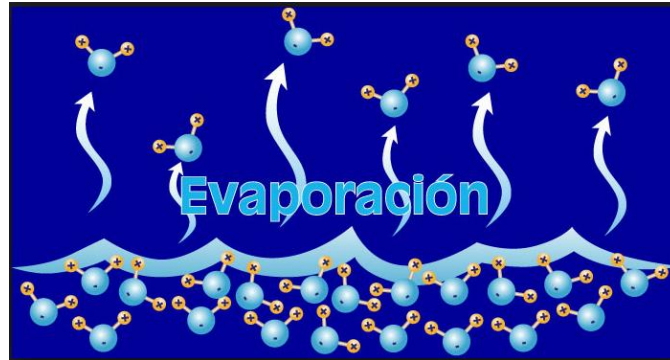
### 2.5.1 EVAPORACIÓN SIMPLE DE SOLVENTES.

El modo más sencillo en que puede llevarse a cabo la evaporación es empelando una sola etapa, o evaporación de "efecto simple". Este modo de operación se emplea cuando la cantidad de disolución a tratar es relativamente pequeña y/o el costo del vapor es barato comparado con la inversión necesaria para un evaporador más complejo.

Es un proceso utilizado para reducir el contenido de agua o algún solvente de una disolución deshidratándola por medio del aumento de la temperatura, excediendo el punto de ebullición del agua o solvente.

Este método es empleado para aumentar la concentración del soluto [2.29].

Figura 2.10 Proceso de evaporación simple de solventes.



UNIVERSIDAD LIBRE BARRANQUILLA. PROCESOS INDUSTRIALES. EVAPORACIÓN. Consultado el 31 de Octubre de 2016 [2.30].

### 2.5.2 ROCÍO PIROLÍTICO.

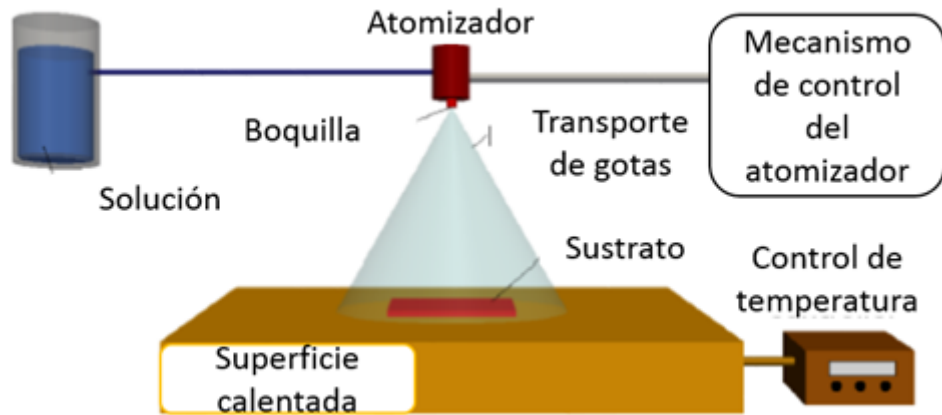
Esta técnica es muy versátil, se utiliza para la producción de capas delgadas y gruesas, revestimientos cerámicos y polvos, incluso puede ser usada para la producción de películas multicapas.

Las principales ventajas del método de rocío pirolítico sobre otros métodos semejantes se encuentran:

- Incorporación semejante en un proceso de circuitos integrados.
- Eficiencia económica.
- Pueden ser fabricados sustratos con geometrías complejas.
- Revestimientos de alta calidad y homogeneidad.

El equipo típico para el proceso consiste básicamente en un atomizador, la solución del precursor, calentador del sustrato y el control de la temperatura del mismo. Los atomizadores que son usualmente usados trabajan a presión de aire, por medio ultrasónico y por electroestática.

Figura 2.11 Modelo básico de funcionamiento del rocío pirolítico



Luis Guillermo Venegas Pineda. Instituto Politécnico Nacional, UPIITA – IPN. Boletín UPIITA. El camino de la innovación educativa. Deposición por rocío pirolítico (SPRAY PIROLISIS DEPOSITION). Consultado el 31 de Octubre de 2016 [2.31].

En el proceso de depósito por rocío pirolítico, el precursor es rociado en forma de aerosol hacia el sustrato de forma continua. Los componentes del precursor reaccionan para formar un nuevo compuesto químico en la superficie del sustrato y algunos productos resultantes son liberados al entorno.

Este método experimenta cuatro fuerzas que modifican su trayectoria y características, estas fuerzas son:

- Gravitacional.
- Eléctrica.
- Térmica.
- Stokes.

Las propiedades y características de la capa depositada dependen de la solución del precursor, tanto en su composición cualitativa como cuantitativa, del radio de rocío, la temperatura del sustrato, la atmósfera ambiental, el gas portador y el enfriamiento posterior a la aplicación del precursor. El espesor de la película se ve afectado por la distancia que existe entre la boquilla del atomizador y el sustrato,





## *Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



la temperatura del sustrato, la concentración de la composición química del precursor y la cantidad de éste rociada al sustrato.

La formación de la capa depende de la evaporación del solvente al momento del roció del precursor al sustrato. Idealmente todo el solvente es evaporado y solo permanece el compuesto del precursor sobre el sustrato, permitiendo así una buena composición [2.31].

### **2.6 MATERIALES.**

Propiedades luminiscentes en la familia de los lantánidos.

Recordando la ley de Stokes sabemos que la energía emitida de un material es mayor a la energía de radiación incidente. Los materiales luminiscentes generalmente requieren de una estructura cristalina o matriz la cual es dopada con un porcentaje muy pequeño del material luminiscente, en este proyecto se utilizaran iones de europio, perteneciente a la familia de los lantánidos.

Los átomos dopantes se añaden a la red cristalina desplazando algunos átomos de ytrio, el dopante juega un papel importante en las propiedades ópticas de la matriz, debido a que el fenómeno luminiscente es generado por la presencia del dopante.

Los elementos conocidos como tierras raras, reciben su nombre debido a su escasez, los conforman los elementos del grupo de los lantánidos desde el Lantano hasta el Lutecio, estos presentan propiedades específicas derivadas de su configuración electrónica, cuyos orbitales 4f se encuentran parcialmente llenos.

Los óxidos de tierras raras, son muy importantes debido a las diversas aplicaciones ópticas. Al inicio de las investigaciones, una de las mayores debilidades fue la emisión del rojo, en comparación con las tonalidades verdes y azules.

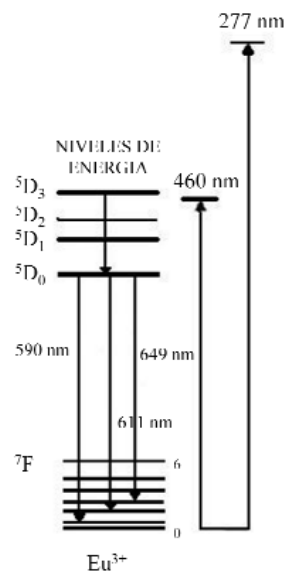
El Europio es uno de los elementos de tierras raras más utilizado como emisor de luz roja. La eficiencia de la luminiscencia de estos materiales está limitada por la dinámica de sus iones, los cuales dependen de la interacción con la matriz [2.32, 2.33, 2.34].

## 2.7 DIAGRAMA DE DIEKE.

La interpretación de los espectros de absorción y de emisión de los iones de la serie de los lantánidos se basa en mediciones espectrales sistemáticas hechas en la matriz dopada con  $LaCl_3$ . Estos espectros fueron obtenidos por Dieke y colaboradores, proporcionando un diagrama de niveles de energía. Este diagrama muestra los estados de energía  $^{2s+1}L_J$  para los iones  $(Ln)^{3+}$  en  $LaCl_3$ .

El diagrama de Dieke proporciona información útil para predecir y para hacer una asignación adecuada de los espectros de emisión correspondientes a los iones trivalentes de tierras raras en los cristales. En general, se puede utilizar como una guía aproximada para medir la longitud de onda media para cada transición en cualquier matriz.

Figura 2.12. Modelo de excitación del Ión  $Eu^{3+}$ .



María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitrocerámicos de  $(Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2)$ . Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional [1.3].



## **2.8 LA MATRIZ DE ÓXIDO DE YTRIO ( $Y_2O_3$ ) Y EL DOPANTE EUROPIO, ( $Eu^{3+}$ ).**

El óxido de itrio, es un material que suele ser usado en aplicaciones ópticas debido a su capacidad de hospedar iones lantánidos, si se usa en forma de polvo.

El  $Y_2O_3$  cuando es dopado con Europio, es usado para producir el color rojo en los equipos de tubos de rayos catódicos. Se ha reportado la obtención de partículas de óxido de Ytrio dopadas con Erblio ( $Er^{+3}$ ) los cuales pueden emitir en el rango de los colores verde y rojo [2.35, 2.36].

## **2.9 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA.**

Las películas se empezaron a usar en el siglo XVII con fines decorativos, los artistas de ese tiempo usaban una disolución de sal de plata para pintar objetos cerámicos. Para causar la descomposición de la sal se calentaba después de ser colocada, quedando en la superficie del objeto una delgada película de plata.

La fabricación de películas delgadas es un campo conocido ampliamente en la investigación para las industrias de alta tecnología, este ha cobrado gran importancia debido a sus aplicaciones en nuestra vida cotidiana ya que se utiliza en microelectrónica, comunicaciones, óptica, catálisis, revestimientos, generación y conversión de energía. Estas aplicaciones dan lugar a la creación de cubiertas protectoras, como películas anti-reflejantes en anteojos, parabrisas, protectores de la corrosión y ventanas para reducir la cantidad de luz reflejada en la superficie, etc.

El concepto de película delgada no está bien definido por la interacción que tiene con las ondas, se considera delgada por el grosor en dependencia del orden de la



## *Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



longitud de onda de la perturbación con la que interacciona. Para la tecnología actual se considera delgada en el orden de longitud de onda de la luz visible que está entre las 350 a 700 nm. En un ámbito estricto científico se considera delgada como tal a un espesor menor a 1000 nm.

Aunque el tiempo ha transcurrido esta tecnología se sigue desarrollando diariamente por ser una llave en el progreso tecnológico de nuestros días.

En nuestra vida cotidiana podemos encontrar la formación de películas delgadas de elementos naturales, pero en los últimos años se ha trabajado en la formación de las mismas películas delgadas pero con materiales compuestos de uno o dos elementos. Por ello compuestos de estas mismas son depositados por diferentes técnicas de fabricación por ejemplo; baño químico (CDB), chemical vapor deposition (CVD), evaporación térmica, electron beam evaporation, spin on glass, Sputtering y Rocío Piroclítico. Para este trabajo las películas se obtuvieron por el método de Rocío Piroclítico.

### **2.10 PELÍCULAS DELGADAS.**

Las propiedades básicas de las películas son; fase cristalina, orientación, microestructura, composición, morfología y espesor, estas se controlan por las condiciones de depósito y del método empleado, por ejemplo: tasa y temperatura de crecimiento, el sustrato, tiempo de depósito, la interacción química, la técnica del depósito, etc. Todo esto da como resultado propiedades únicas de un material por el producto del proceso de crecimiento, algunos ejemplos que se esperan son: tamaño de grano, efectos cuánticos, espesor, cambios de resistencia, orientación cristalina, efectos de tensión, etc. [4.1].

Las propiedades mecánicas de una película se determinan por la microestructura y la naturaleza de los enlaces químicos, estas propiedades pueden ser: resistencia al desgaste abrasivo, dureza y adherencia.



## **Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Además de las propiedades ya mencionadas que debe de tener la película delgada para el fin que sea destinada para ser útil en un material en forma de película debe tener las siguientes características:

- Químicamente estable en el entorno en que se usará.
- Químicamente pura o de composición química controlada.
- Buena adherencia al sustrato.
- Tener espesor uniforme.
- Tener baja densidad de imperfecciones, ser homogénea.

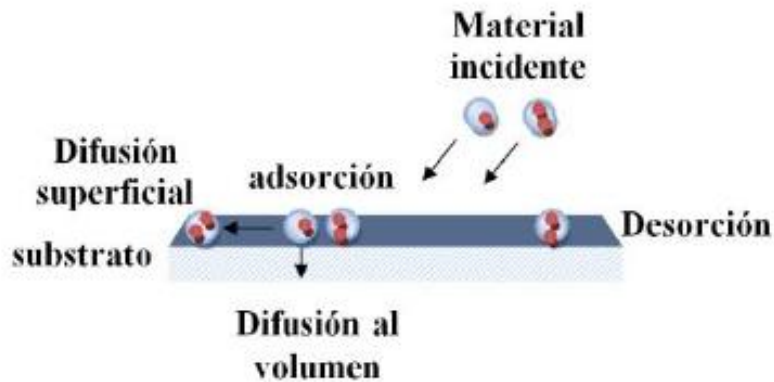
Debido a que una película es inherentemente frágil conocemos que depende del sustrato para su apoyo estructural, para lograrse esto, la película se debe unir a este por fuerzas interfaciales intensas que deben de ser por naturaleza química, es decir que exista una reacción química en la superficie que conecte la película al material subyacente.

Cuando hay un depósito de un óxido metálico sobre el vidrio, las redes de ambos se combinan en la interfaz para formarse una zona de composición intermedia. En este caso las energías de enlace y el sustrato son de la misma magnitud que los enlaces químicos, que son del orden de 250 a 400 KJ/mol. En casos particulares la unión se basa en fuerzas intermoleculares de Van der Waals y electrostática.

En el momento del depósito de la película, se originan diversos eventos en la superficie del sustrato que son ilustrados en la Figura 2.13. El depósito general de películas sobre un sustrato sigue los siguientes pasos:

1. Generación de las partículas a depositar.
2. Transporte de partículas al sustrato.
3. Condensación de las partículas en el sustrato.

Figura 2.13. Eventos que se originan en la superficie del sustrato durante el depósito de una película.



Capítulo 2. Técnicas de depósito y caracterización de películas delgadas. Consultado el 31 de Enero del 2017 [4.1].

En las primeras etapas de crecimiento de la película los tipos de morfologías que se desarrollan dependen de las energías relativas que participan en la interfaz película-sustrato como se puede ver en la tabla 2.5. Estas energías son:

$\gamma_f$  = energía de superficie de la película (por unidad de área).

$\gamma_s$  = energía de superficie del sustrato (por unidad de área).

$\gamma_i$  = energía interfacial entre la película y el sustrato (por unidad de área).

Tabla 2.5 Comparación de los tres principales modos de crecimiento de películas.

Modos de crecimiento.		
En isla (Volmer-Weber).	Capa por capa (Frank-van der Merwe).	Mixto (Stranski-Krastanov).
Los átomos o moléculas de la	Buena adherencia de la	

<p>película tienen mayor fuerza de cohesión que de adhesión al sustrato.</p> <p>La difusión se lleva a cabo lentamente.</p>	<p>película al sustrato.</p> <p>La difusión se lleva a cabo rápidamente.</p> <p>Presenta alta calidad cristalina.</p>	<p>Inicia el proceso como capa por capa, seguida por la formación tridimensional de islas debido a un cambio energético.</p>
$0^\circ < \theta < 90^\circ$ $\frac{\gamma_s - \gamma_i}{\gamma_f} = \cos \theta < 1$ $\gamma_s < \gamma_i + \gamma_f$	$\theta = 0^\circ \text{ o indefinido}$ $\cos \theta \geq 1$ $\gamma_s \geq \gamma_i + \gamma_f$	$\gamma_s \approx \gamma_i + \gamma_f$

Capítulo 2. Técnicas de depósito y caracterización de películas delgadas. Consultado el 31 de Enero del 2017 [4.1].

Consideremos una gota con el elemento precursor sobre el sustrato como se observa en la figura 2.14, podemos hacer un análisis de fuerzas en base a la tensión superficial. Las tres interfaces pueden estar en equilibrio con respecto al ángulo de contacto cuando:

$$\gamma_f \cos \theta + \gamma_i = \gamma_s \quad \text{Ecuación de Young}$$

Figura 2.14. Descripción del ángulo de contacto  $\theta$ .



Capítulo 2. Técnicas de depósito y caracterización de películas delgadas. Consultado el 31 de Enero del 2017 [4.1].



## **Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



El crecimiento de la película depende de la velocidad de depósito y la temperatura del sustrato, esto se debe a que aumenta el tamaño de las partículas y por consecuencia el espesor de la película.

Frecuentemente una microestructura compuesta por granos grandes tiene un estado de tensión interno más elevado comparado a la microestructura amorfa o de grano pequeño y en general se presenta un crecimiento de estructura de columnas, esto es por la movilidad atómica o molecular pues al limitarse origina una ligera orientación hacia la fuente de partículas. Las propiedades de la microestructura son afectadas por las propiedades del sustrato. El acondicionamiento del sustrato debe incluir la eliminación química o eléctrica de contaminación molecular adsorbida para evitar que reaccione.

En la morfología un parámetro de gran influencia es la temperatura de depósito que se ve reflejado particularmente en el tamaño de gran, esto influye en la tensión entre la película y el sustrato. Muchas películas de óxido necesitan que el sustrato se encuentre a una temperatura de más de  $200^{\circ}C$  para lograr las propiedades mecánicas y ópticas deseables.

Las propiedades ópticas, estructurales y eléctricas de las películas se han mejorado dependiendo del tipo de aplicación que se les pretenda dar. Con el desarrollo de diferentes técnicas de depósito, con la aplicación de tratamientos durante y después del crecimiento, con la impurificación del material a depositar, entre otras.

### **2.11 TÉCNICA DE EVAPORACIÓN SIMPLE.**

La evaporación es una operación unitaria que consiste en concentrar una disolución mediante la eliminación del solvente por ebullición.



La temperatura de ebullición del líquido a evaporar va aumentando a medida que se va concentrando. Cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas, mayor será la velocidad de evaporación.

El área de intercambio efectiva depende de la geometría del equipo y de fenómenos inherentes a la concentración de la disolución, como es el caso de la deposición de sólidos o de incrustaciones sobre la superficie de intercambio. A mayor área, mayor capacidad de intercambio de calor y mayor velocidad de evaporación.

Figura 2.15 Proceso de evaporación simple de solventes.





## 2.12 TÉCNICA DE ROCÍO PIROLÍTICO ULTRASÓNICO.

El rocío pirolítico es una técnica considerada sencilla, versátil, económica y ampliamente usada para la obtención de múltiples variedades de materiales en forma de polvo o película como son óxidos metálicos, sulfuros, seleniuros, entre otros. Esta técnica permite obtener películas con buena adherencia, tamaño, homogeneidad en composición y excelentes propiedades físicas [4.2].

Esta técnica fue desarrollada originalmente por un equipo de investigación del Grenoble Nuclear Research Centre (CENG) quienes la patentaron en 1971 bajo el nombre de Pyrosol Process.

El proceso pirolítico se basa en la generación, transporte y pirolisis de un aerosol o rocío. Esta técnica se clasifica dependiendo de la forma en que se produce el rocío su clasificación es:

- Rocío pirolítico neumático: La solución precursora se atomiza de forma neumática empleando el gas impulsor de un tanque a presión.
- Rocío pirolítico ultrasónico: También llamado proceso pirosol, en el cual la solución precursora se atomiza por medio de un piezoeléctrico que genera ondas ultrasónicas que entran en resonancia con la solución precursora, produciendo el aerosol.

El principio del proceso pirosol consiste en dirigir una señal de alta frecuencia en un rango de 100 KHz a 10 MHz directamente sobre la solución precursora. La señal ultrasónica genera un geiser en la superficie del líquido, cuya altura es proporcional a la intensidad acústica. Esta formación va acompañada por la generación de un rocío, resultado de las vibraciones en la superficie del líquido y cavitaciones en la interfaz gas-líquido. La cavitación que se produce por el rocío es también una función de la intensidad acústica y de las propiedades físicas del líquido las cuales son presión de vapor, viscosidad y tensión superficial.

Las partes que componen el sistema de rocío pirolítico ultrasónico son:



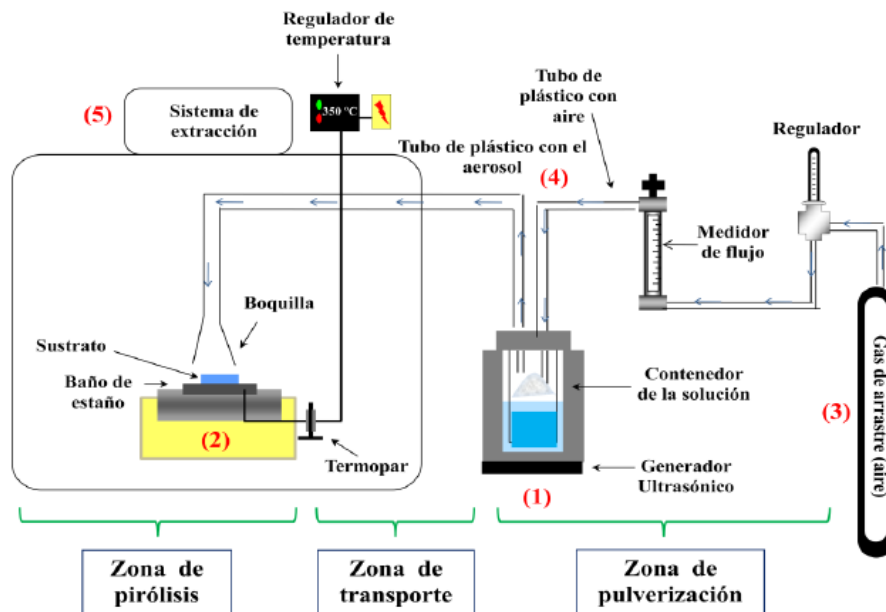
**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



1. Humidificador ultrasónico: Es un transductor ultrasónico que al excitarse genera una señal de alta frecuencia. Sobre él se coloca un contenedor con la solución del material precursor al ser depositado, el disolvente debe tener baja viscosidad de manera que el aerosol se produzca con mayor facilidad, el soluto es el compuesto precursor debe ser elegido de acuerdo al depósito.
2. Baño de estaño: Se encarga de proporcionar y mantener constantes la temperatura del porta sustrato, el cual es colocado en la superficie de una pequeña lamina de acero inoxidable con el objetivo de que el estaño fundido no se adhiera al porta sustrato. El sistema de calentamiento es monitoreado por un termopar.
3. Gas de arrastre: Este puede ser aire, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno o gases inertes. Su función en primera instancia es disipar las gotas de rocío producido, transportándolo de la zona de atomización a la zona de pirolisis. Cuando se emplean gases inertes se tiene un mayor control sobre la reacción pirolítica evitando la formación de productos remanentes no deseados. La razón del flujo del gas portador es uno de los parámetros que permite controlar el gasto de la solución a rociar. El gasto no debe exceder de 20 litros por minuto.
4. Sistema de transporte: Está formado por la manguera transportadora y la boquilla, la cual es un tubo de vidrio o plástico con diámetro suficiente para que el aerosol no se condense en su interior, su función es trasladar el rocío a la zona de pirolisis. Por lo general las dimensiones de las mangueras transportadoras son: 10 a 20 cm de longitud y 0.5 a 2.5 cm de diámetro.
5. Campana de extracción: Su objetivo es sacar los gases generados durante el proceso ya que algunos pueden ser tóxicos y para que la película no sea contaminada.

Los componentes del rocío pirolítico ultrasónico se pueden observar en la Figura 2.16.

Figura 2.16 Esquema del sistema de Rocío pirolítico ultrasónico.



Anabel Peláez Rodríguez. Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación de ciencias aplicada y tecnología avanzada. Unidad Legaria. Síntesis y caracterización de películas luminiscentes de óxido de hafnio impurificado con disprosio ( $HfO_2:Dy^{3+}$ ). México D.F. 2010 [4.2].

El sistema de depósito está formado de dos zonas independientes, la zona de generación o cámara de atomización y la zona de pirólisis o reactor de pirólisis, conectadas por medio de la zona de transporte.



## **CAPÍTULO 3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.**

### **3.1 PROPIEDADES MACROSCÓPICAS.**

El desarrollo actual de la Nanociencia y la Nanotecnología no sería posible sin la caracterización a través de técnicas de identificación de materiales, tales como la microscopía electrónica de barrido, de transmisión o de fuerza atómica. Además, es

\*-necesario conocer las propiedades de los materiales: estructura, composición, morfología, propiedades térmicas, etc., para posteriormente darle aplicación específica a los mismos.

En la síntesis de nuevos materiales, las propiedades de éstos dependen no sólo de las propiedades de los materiales de partida, sino también de su morfología y características, por lo que es muy importante su determinación.

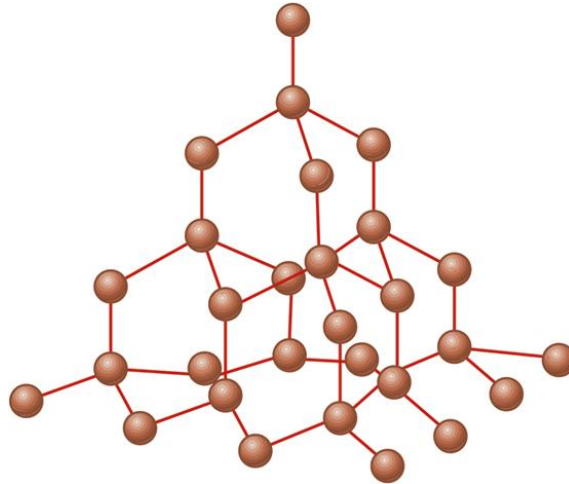
Sabemos que las propiedades macroscópicas de un sólido se determinan por la estructura a nivel molecular. La clasificación de los sólidos está determinada en cristalinos y amorfos, a continuación se explicaran las dos clasificaciones [3.1, 3.10].

#### **3.1.1 SÓLIDOS CRISTALINOS.**

Los sólidos cristalinos se definen como un sólido en el cual sus átomos se acomodan de una forma ordenada, por lo cual podemos decir que cada átomo ocupa una posición específica, un ejemplo es el diamante, ya que este cristaliza en un sistema cúbico y los átomos de carbono tienen una disposición tetraédrica

ordenada unidos de forma covalente. Esta disposición es la que hace que la red cristalina del diamante sea muy estable.

**Figura 3.1. Estructura cristalina del diamante.**



Lic. María Irene Vera (2007). Química general. Unidad VI: Estado Sólido Estado Líquido [3.1].

Las características de los sólidos cristalinos se funden a temperaturas definidas, tienen superficies planas y lisas denominadas caras; estas tienen ángulos definidos en sus aristas y están formadas por agrupaciones ordenadas de sus átomos.

Los sólidos cristalinos son anisotrópicos; esto quiere decir, que sus propiedades mecánicas y eléctricas dependen generalmente de la dirección en que se miden. La anisotropía de los cristales es una propiedad macroscópica muy importante porque habla de la existencia de una red atómica ordenada eficazmente.

La clasificación de los sólidos cristalinos depende del tipo de unión entre sus átomos.

Su clasificación es:



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- Sólidos metálicos: Consisten en cationes que se mantienen unidos por una gran cantidad de electrones en su entorno.
- Sólidos iónicos: Se forman a partir de las atracciones entre catión y anión.
- Sólidos reticulares o covalentes: Son átomos unidos covalentemente con sus átomos vecinos en toda la extensión del sólido.
- Sólidos moleculares: Son agrupaciones moleculares que se unen por las fuerzas intermoleculares [3.2].

La tabla 3.1 nos indica los tipos de sólidos cristalinos, con sus formas de unión, fuerzas entre las partículas, propiedades y ejemplo.

**Tabla 3.1 Tipos de sólidos cristalinos.**

<b>Tipos de sólidos cristalinos.</b>				
<b>Tipo de Sólido.</b>	<b>Forma de las partículas unidas.</b>	<b>Fuerza entre las partículas.</b>	<b>Propiedades.</b>	<b>Ejemplos.</b>
Molecular.	Átomos o moléculas.	Fuerzas intermoleculares.	Blandos, punto de fusión bajo a moderadamente alto, baja conductividad térmica y eléctrica.	Argón, metano, hielo seco.
De red covalente.	Átomos conectados en una red de enlaces covalentes.	Enlaces covalentes.	Muy duros, punto de fusión muy alto, baja conductividad térmica y eléctrica.	Diamante, cuarzo.
Iónico.	Iones positivos y negativos.	Atracciones electrostáticas.	Duros y quebradizos, alto punto de fusión, baja conductividad térmica y eléctrica.	Elementos metálicos: Cu, Fe, Al, W.
Metálico.	Cationes unidos por un mar de electrones.	Enlaces metálicos.	Blandos a muy duros, maleables, dúctiles, alta conducción térmica y eléctrica.	

Martín E. Reyes Melo, Moisés Hinojosa Rivera. Estructuras de sólidos amorfos [3.2].

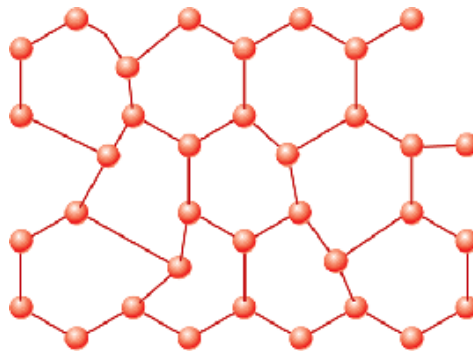
### 3.1.2 SÓLIDOS AMORFOS.

Los sólidos amorfos; del griego sin forma, se definen como un sólido en el que sus átomos están desordenados y al azar, un ejemplo es la manteca.

Las características de los sólidos amorfos no poseen caras bien definidas a no ser que hayan sido moldeados o cortados, no tienen un punto de fusión definido, se reblandecen dentro de cierto intervalo de temperatura.

Los sólidos amorfos son isotrópicos, esto quiere decir que no dependen de la dirección en que se miden ya sea de la resistencia mecánica, el índice de refracción y la conductividad eléctrica. Todas estas características son iguales en todas direcciones.

Figura 3.2. Estructura amorfa de  $SiO_2$ .



Martín E. Reyes Melo, Moisés Hinojosa Rivera. Estructuras de sólidos amorfos [3.2].





## **3.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUPERFICIES DE MATERIALES Y PELÍCULAS DELGADAS.**

### **3.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ESPECTROSCOPIA.**

La espectroscopia describe la interacción entre la radiación, principalmente la electromagnética y la materia. Toda radiación electromagnética viene caracterizada por una longitud de onda ( $\lambda$ ), una frecuencia ( $\nu$ ) o una energía ( $E$ ); la relación que existe entre ellas está dada por la ecuación de Planck [3.4]:

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

Donde:

$E$  = Energía transportadora por el cuanto de radiación o fotón [ $J \text{ fotón}^{-1}$ ]

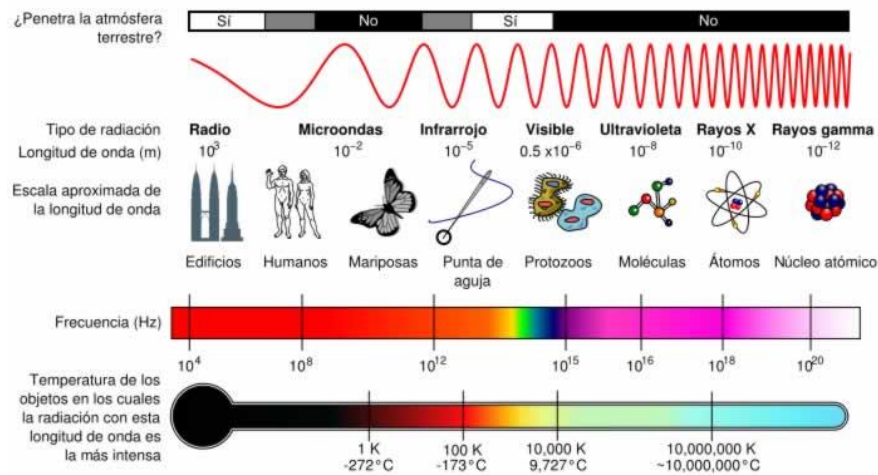
$h$  = Constante de Planck [ $6.6256 \times 10^{-34} J \text{ s fotón}^{-1}$ ]

$c$  = Velocidad de la luz [ $2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ]

$\lambda$  = Longitud de onda [m]

$\nu$  = Frecuencia de la radiación [ $s^{-1}$ ]

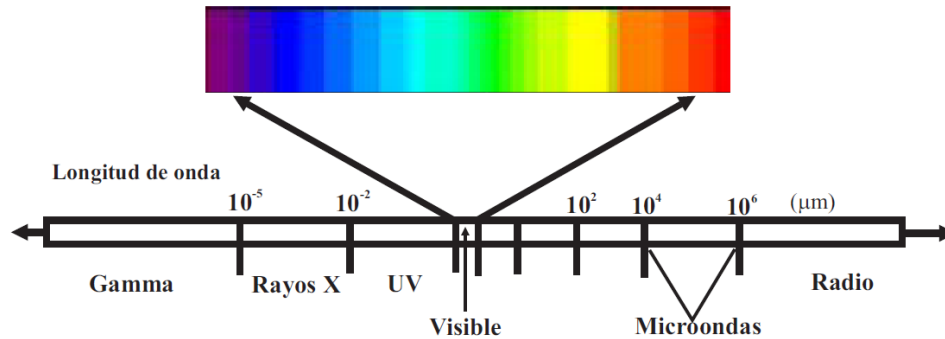
Figura 3.3. Muestran los valores de frecuencia y longitud de onda en distintas regiones del espectro electromagnético.



María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis [3.4].

La radiación electromagnética está presente en nuestra vida cotidiana desde la radiación de baja frecuencia que produce un circuito AC ( $\approx 50$  Hz) a las altas frecuencias como consecuencia de las radiaciones de fotones de rayos gamma ( $\approx 10^{22}$  Hz). Los diferentes tipos de radiación se clasifican de acuerdo al espectro electromagnético en un intervalo de frecuencias como se muestra en la figura 3.4. El espectro electromagnético está dividido generalmente en siete regiones espectrales: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma Y.

Figura 3.4. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud como son los rayos gamma  $\gamma$  y rayos X, luz ultravioleta, luz visible, infrarrojo y las ondas de radio que son ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda.



María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis [3.4].

Las diferentes regiones del espectro electromagnético difieren de la longitud de onda y su frecuencia, que conduce a diferencias sustanciales en su generación, detección e interacción con la materia y tiene en común el hecho de que ellas se propagan a través del espacio como ondas transversales electromagnéticas y con la misma velocidad  $c \approx 3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$ . Cada tipo de radiación electromagnética monocromática está determinada por su frecuencia  $\nu$ , longitud de onda  $\lambda$ , energía del fotón  $E$  o número de onda  $\bar{\nu}$ . Estas magnitudes están interrelacionadas por la ecuación de Planck descrita anteriormente.

Las diferentes técnicas espectroscópicas operan en limitados rangos de frecuencia dentro del espectro electromagnético, que dependen del proceso en el que están involucradas y las magnitudes en los cambios de energía asociados con esos procesos. Los átomos en los sólidos vibran en frecuencias de aproximadamente  $10^{12}$ - $10^{13}$  Hz, y los modos vibracionales se excitan a estados de alta energía con radiación infrarroja.

Los niveles de energía electrónicos se encuentran separados en un amplio intervalo de valores de energía, los electrones que se encuentran en la parte



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



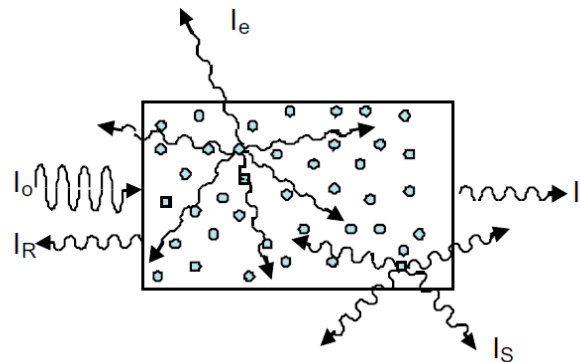
exterior de los niveles de energía donde se observan las transiciones están en el intervalo de 1eV a 6eV, los electrones de valencia se pueden excitar con luz ultravioleta, luz visible o radiación en el cercano infrarrojo con longitudes de onda entre 200nm a 800nm. Este intervalo óptico y tenemos la espectroscopia óptica.

Cuando un haz de luz de intensidad  $I_0$  incide en una muestra de un sólido, se observa que la intensidad de este rayo se atenúa después de cruzar la muestra y la intensidad transmitida  $I_T$  es menor que  $I_0$ , es por eso que se presentan procesos que atenúan la intensidad del haz y tenemos que estos son los siguientes:

- a) Absorción.- Un haz de luz incide sobre una muestra con una frecuencia que excita a los electrones que se encuentran en su estado base permitiendo una transición a un estado excitado, una fracción de ella y on menor frecuencia será la intensidad de emisión  $I_E$ , otra fracción se pierde en procesos no radioactivos, como el calor.
- b) Reflexión.- Con una intensidad  $I_R$  desde las superficies externas e internas.
- c) Dispersión.- Con una intensidad de luz  $I_S$ , que sale en varias direcciones, a causa de los procesos de elasticidad; esto es con la misma frecuencia del rayo incidente, o la inelasticidad; esto es en bajas y altas frecuencias del rayo incidente o por dispersión.

Los rayos que emergen después de que un haz de intensidad  $I_0$ , choca con una muestra, como resultado de la interacción de la luz incidente con los átomos y/o defectos del sólido, se identifican de acuerdo a la dirección en que salen y como son detectados, algunos de estos son, el rayo reflejado con intensidad  $I_R$  en dirección opuesta al rayo incidente, y/o rayos dispersados de intensidad  $I_S$  que se dispersan en diferentes direcciones, el rayo transmitido de intensidad  $I_T$  y el rayo emitido  $I_E$ .

Figura 3.5. Un rayo incidente de intensidad  $I_0$  al penetrar en una muestra se observan los distintos rayos que emergen, como el rayo reflejado  $I_R$ , transmitido  $I_T$ , el rayo emitido  $I_E$  y el rayo dispersado  $I_S$ .



María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis [3.4].

Con la espectroscopia óptica se analiza la frecuencia e intensidad de la luz que emerge, en ocasiones a simple vista se distingue el color, con la espectroscopia óptica se determina la longitud de onda o la frecuencia del color de la fluorescencia o fosforescencia de la muestra, por medio de los procesos de emisión, reflexión y transmisión de la luz, se obtiene información de la estructura electrónica de los átomos, los defectos, iones, etc., que posición tienen en la red cristalina, por lo que

se puede ver el interior de un sólido analizando la luz que emerge, los espectros experimentales se presentan como graficas de intensidad de radiación (emitida, absorbida o dispersada) versus la energía del fotón ( $E$ ), la longitud de onda ( $\lambda$ ) o el número de onda  $\bar{\nu}$  ( $cm^{-1}$ ).

La radiación electromagnética ocasiona distintos efectos sobre la materia, tal como se indica en la tabla 3.2.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**Tabla 3.2. Efecto de la radiación electromagnética sobre la materia.**

Radiación.	Efecto.
Rayos X y cósmicos.	Ionizaciones de las moléculas.
UV-Visible.	Transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y moleculares
Infrarrojo.	Rotaciones e los enlaces químicos.
Microondas.	Rotaciones de los enlaces químicos.
Radiofrecuencias.	Transiciones de espín electrónico o nucleas en los aromos de la molécula.

María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis [3.4].

Cuando incide la radiación sobre una sustancia, solo un átomo o conjunto de átomos son capaces de absorber la radiación, a estos grupos se les denomina cromóforos y son distintos dentro de una misma molécula para cada técnica espectroscópica.

Los efectos de la radiación sobre materiales pueden usarse para obtener información sobre la estructura del mismo, y así surgen distintas espectroscopias, tal como se indica en la tabla siguiente.

**Tabla 3.3. Espectroscopia e información que puede obtenerse de cada una.**

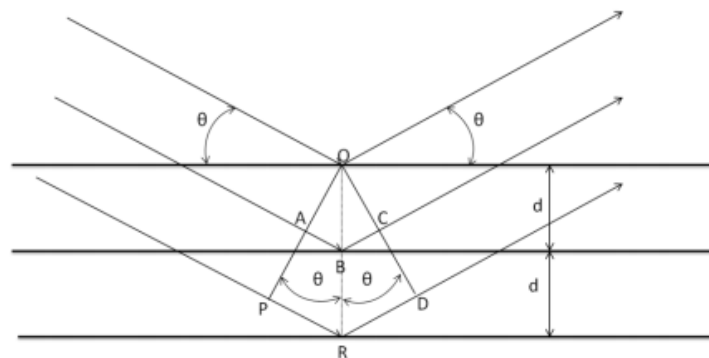
Radiación.	Información obtenida.
Rayos X y cósmicos.	Estructura total de la molécula incluida la estereoquímica.
UV-Visible.	Existencia de cromóforos y/o conjugación en la molécula.
Infrarrojo.	Grupos funcionales a partir de las absorciones observadas.
Microondas.	Formula molecular y subestructuras a partir de los iones observados.
Radiofrecuencias.	Grupos funcionales, subestructuras, conectividades, estereoquímica, etc.

María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis [3.4].

### 3.2.2 ESPECTROSCOPIA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD).

Los patrones de difracción de rayos X (XRD), proporciona información sobre la composición y fases cristalinas del material, tamaño de grano, fronteras de grano, tensión de redes, entre otras. Esta técnica nos permite el estudio morfológico estructural de muestras monocristalinas y policristalinas basado en un experimento de difracción, en el que un haz de rayos X incide sobre un sólido cristalino obteniendo un conjunto de haces difractados que son el resultado de las interacciones, esto nos proporciona un patrón de difracción. El patrón de difracción se relaciona con la distribución de los átomos y la estructura cristalina. La estructura cristalina es hallada haciendo una comparación de las posiciones de los picos de las bandas del patrón de difracción y sus intensidades con alguna referencia.

Figura 3.6. Difracción de Rayos-X en un cristal.



V. Correcher, Utilización de la termoluminiscencia de materiales naturales y cerámicos en dosimetría post-accidental, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2003 [3.20].



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Literalmente, microanálisis, es el análisis de muestras muy pequeñas o de características muy pequeñas de las muestras por medio de cualquier técnica. No obstante, históricamente, el término tiene un significado más concreto.

Cuando sobre una muestra inciden electrones de energía apropiada se producen rayos X (r-X), cuya energía y abundancia relativa dependen de su composición. Este fenómeno se usa para analizar el contenido elemental de micro-volúmenes (en un rango general de una a cientos de micras cúbicas) y es lo que se conoce normalmente como microanálisis.

Los rayos X característicos del átomo que los ha producido nos proporcionan información química elemental de la zona de la muestra de la que proceden. Con esta señal se obtienen los análisis químicos cualitativos y cuantitativos de la composición de la muestra.

Esta técnica es prácticamente no destructiva, en la mayoría de los casos, y la preparación de muestras es mínima. Existen dos tipos de microanálisis de RX:

- Por dispersión de longitudes de onda, en el que la emisión de RX se discrimina por la difracción de una serie de cristales analizadores. Tiene la ventaja de conseguirse unos límites de detección más bajos, pero la desventaja de tener que buscar elemento por elemento.
- Por dispersión de energías, en el que la emisión de RX se discrimina electrónicamente. Tiene la ventaja de obtenerse de manera simultánea todo el espectro de elementos, pero la desventaja de unos límites de detección más altos.

Cuando un electrón es desprendido de una capa electrónica interna, por efecto de la interacción de un haz de electrones de alta energía, el resultado es un ion en un estado excitado. A causa de los procesos de relajación o desexcitación, el ion excitado cede energía para volver a su estado normal o fundamental.





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



El proceso más probable, en la mayoría de los casos, es una serie de transformaciones que tienen como resultado que un electrón de otra capa "caiga" a la vacante de la capa interna. Cada caída está asociada a la pérdida de una determinada cantidad de energía que es la diferencia de energía entre los dos niveles electrónicos comprendidos en el proceso. Esta energía se pone de manifiesto en forma de RX.

La energía de la radiación indica inequívocamente el elemento químico del que proviene, -de aquí el nombre de emisión característica- para nuestros propósitos RX característicos [3.20, 3.21].

La técnica consiste en incidir un haz de rayos X sobre un cristal, es decir, sobre una agrupación de átomos periódicamente ordenados en el espacio. Como resultado de la interacción, las ondas dispersadas por cada uno de los átomos se producen fenómenos de interferencia que normalmente en la mayor parte de las direcciones serán de tipo destructivo, cancelándose la resultante en mayor o menor orientación.

Sin embargo, en determinadas direcciones y debido precisamente a la orientación periódica de los átomos, puede ocurrir que las ondas dispersadas estén en fase y se refuercen mutuamente dando origen al fenómeno conocido como difracción.

La condición para la difracción de un haz de rayos X viene determinada por la ley de Bragg;  $n\lambda = 2d\text{sen } \theta$ , la cual relaciona la longitud de onda  $\lambda$  del haz de rayos X, el ángulo de incidencia  $\theta$  y la distancia entre cada serie de planos atómicos de la red cristalina  $d$ ; donde  $n$  representa el orden de difracción [3.22].

Existen varios modos de difracción, sin embargo, en películas delgadas se emplea generalmente la condición de ángulo rasante.

Cuando los rayos X alcanzan la superficie de un cristal a un ángulo  $\theta$  o ángulo incidente, una parte de estos son dispersados por la primera interface de átomos, el resto que no se dispersa, penetra en la segunda capa de átomos del material, donde se repite el mismo mecanismo sucesivamente en cada capa de átomos del



material, como se ve en la figura 3.6. Por ello, cuando un haz de luz llega a un cristal este será dispersado en todas direcciones dentro de él y por distribución regular de átomos habrá una interferencia constructiva o destructiva de estas ondas dispersas. Bragg propuso que estos átomos en un cristal forman familias de planos paralelos, teniendo cada una separación  $D$ . Una condición necesaria para el fenómeno de interferencia es que la longitud de onda del rayo incidente, sea aproximadamente igual a la separación entre los planos cristalinos ( $\lambda < 2d$ ), estas condiciones se muestran en la figura 3.6 [3.12].

### **3.2.3 FOTOLUMINISCENCIA.**

Los electrones que orbitan alrededor de los átomos o las moléculas absorben energía debido a la colisión con protones durante la excitación.

Los materiales fluorescentes emiten luz durante nanosegundos, al ser excitados sus electrones a un estado superior de energía.

Esta tecnología ofrece ventajas respecto a la energía eléctrica. La primera de ellas como es una radiación electromagnética, una vez cargada, no puede fallar, por lo tanto es 100% fiable, ni tampoco puede ser detenida. La carga se produce con la luz ambiental que existe en cualquier lugar [3.13, 3.20].

#### **3.2.3.1 ESPECTROSCOPIA FOTOLUMINISCENTE.**

La espectroscopia fotoluminiscentes es una técnica de caracterización óptica que analiza los niveles electrónicos de los materiales proporcionando información sobre propiedades como calidad cristalina, identificación de transiciones, determinación de la presencia de determinados grupos funcionales llamados “luminóforos”, energías de ionización, ancho de la banda prohibida, establecer su distribución en



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



diferentes poblaciones y determinar el entorno químico y estructural de estos grupos.

La ausencia o presencia de luminóforos los cuales son los responsables de la luminiscencia, se lleva a cabo con el seguimiento de la aparición/desactivación de este grupo en el transcurso de la síntesis de un material o tratamiento posterior, la llegada a un estado estacionario y su evolución temporal.

La técnica de fotoluminiscencia permite estudiar la propiedades luminiscentes de las películas, esta técnica no es destructiva la cual no altera ni modifica el material para ello posee alta sensibilidad y gran rapidez de análisis.

La fotoluminiscencia utiliza un haz de luz con la suficiente energía para excitar los centros luminiscentes del material. Se observa el espectro de luz emitida, al igual que otras características un ejemplo es el tiempo de decaimiento. Es posible determinar el mecanismo que originó la emisión y entender la naturaleza del centro luminiscente.

Esta técnica no requiere de una presión y temperatura estrictamente controlada. No requiere de contacto porque la muestra es foto estimulada. Se pueden analizar materiales con alta resistividad, la limitante está en su dependencia con los procesos radiactivos, pues los materiales en los que predominan procesos no radiactivos son difíciles de analizar.

La espectroscopia fotoluminiscente consiste en indicar un haz de luz con determinada longitud de onda, generalmente radiación ultravioleta visible (en el rango de 200nm a 800nm), sobre la muestra. La radiación que absorbe causa que los electrones del material pasen de un estado fundamental a un estado excitado, cuando los electrones excitados regresan a su estado fundamental, la energía que



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



libera se emite en forma de luz. El estado excitado puede sufrir desactivación de varias maneras.

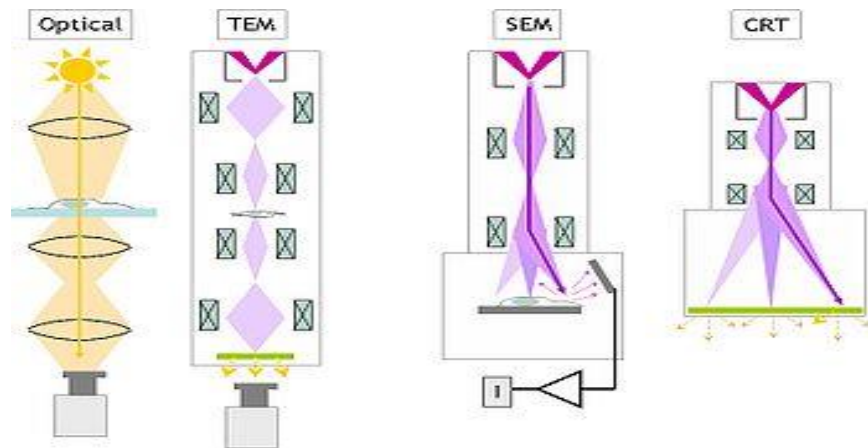
Los tres procesos que se pueden distinguir en el proceso fotoluminiscente son:

1. Creación de pares electrón hueco por la absorción de la luz incidente.
2. Recombinación radioactiva de los pares de electrón hueco.
3. Escape de la radiación de recombinación de la muestra debido a la excitación de pares de electrón hueco por luz, la mayor desviación del estado de desequilibrio está en la superficie de la muestra, esto provoca una concentración de portadores en equilibrio que se va difundiendo hacia el centro de la muestra, en este proceso de difusión los portadores disminuyen debido a la recombinación que se produce en el trayecto.

En el proceso de absorción, los portadores libres formados que son los electrones huecos se dispersan para dar lugar a que el electrón descienda al fondo de la banda de conducción durante el tiempo de relajación y el hueco suba en la banda de valencia.

La recombinación con la radiación directa del electrón y del hueco tiene lugar en semiconductores muy puros y de una estructura cristalina perfecta. En semiconductores extrínsecos puede actuar no solo como impurezas, sino como átomos extraños de distinto género de defecto y perturbaciones de la periodicidad cristalina en la superficie.

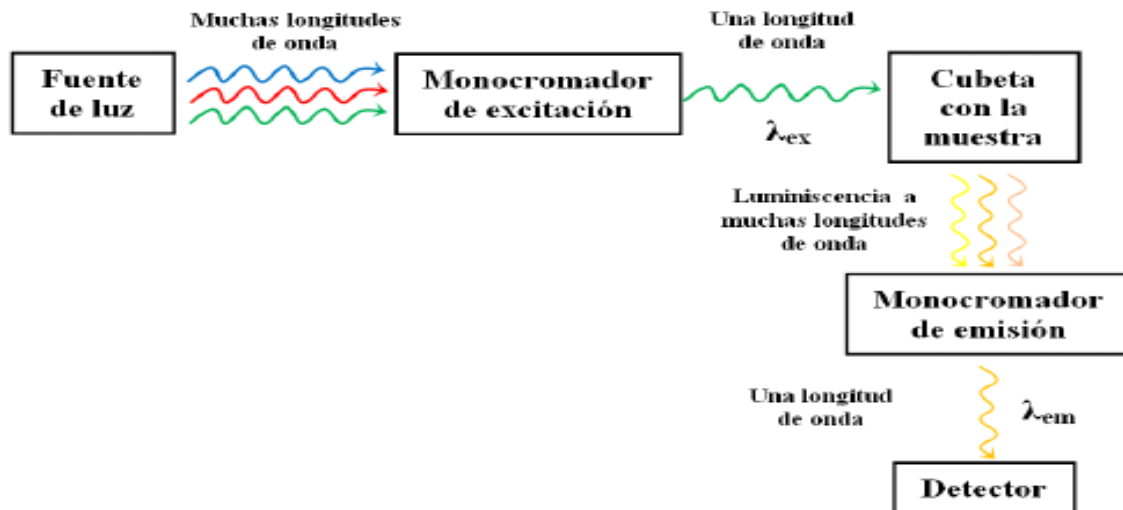
Figura 3.7.- Comparación de la formación de la imagen en un microscopio de transmisión óptica, un microscopio electrónico de transmisión (TEM), un microscopio electrónico de barrido (SEM) y un tubo de rayos catódicos (CRT) de pantalla de TV.



V. Correcher, Utilización de la termoluminiscencia de materiales naturales y cerámicos en dosimetría post-accidental, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2003 [3.20].

Los espectros de fotoluminiscencia son obtenidos en un espectrofluorímetro, un esquema se puede ver en la figura 3.8, que consiste en una fuente de excitación que puede ser una lámpara o un láser seguido por unas lentes que direccionan la luz al monocromador de excitación, con el fin de seleccionar la longitud de onda de excitación adecuada que incide en la muestra. La luz que se emite es dirigida hacia el monocromador de emisión mediante una lente óptica y luego al detector.

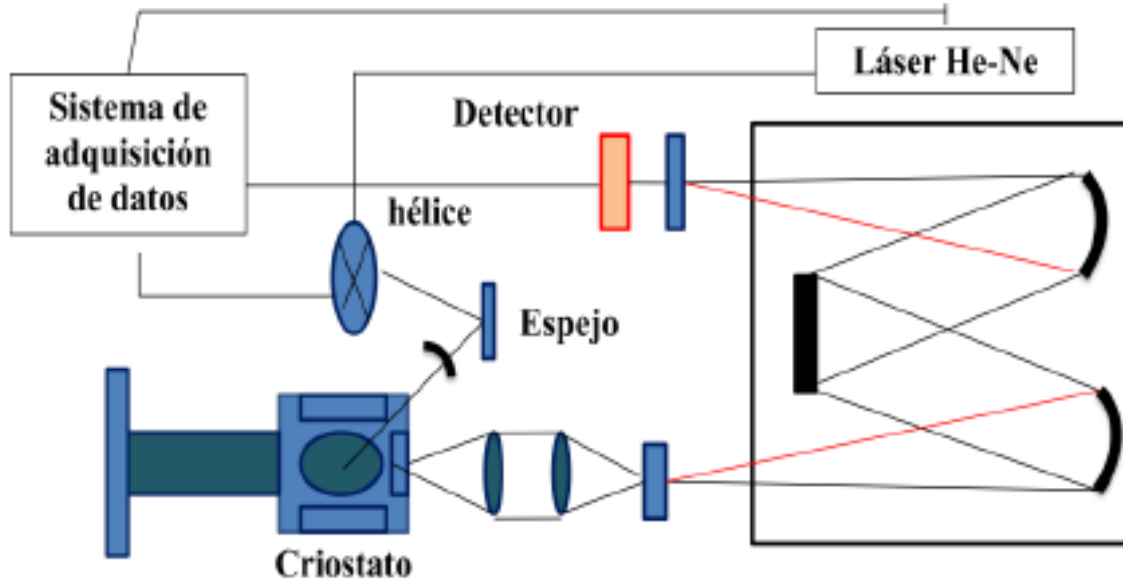
Figura 3.8.- Componentes esenciales de un instrumento de luminiscencia.



V. Correcher, Utilización de la termoluminiscencia de materiales naturales y cerámicos en dosimetría post-accidental, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2003 [3.20].

En un experimento de fotoluminiscencia típico como el que se muestra en la figura 3.8, es posible capturar la emisión como un resultado de la recombinación, haciendo uso de una lente que la coleta y orienta hacia un espectrofotómetro, en la salida se tiene un detector llamado también fotomultiplicador, que traduce la señal óptica en eléctrica y cuya intensidad es medida por un amplificador lock-in, la medida es llevada a un sistema de adquisición de datos, en donde la señal se convierte a digital y finalmente se genera un espectro cuyo eje vertical corresponde a la señal luminosa y el eje horizontal es la longitud de onda.

Figura 3.9. Sistema de medición fotoluminiscente.



V. Correcher, Utilización de la termoluminiscencia de materiales naturales y cerámicos en dosimetría post-accidental, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2003 [3.20].

La estimación de la concentración de portadores libres que se introducen al incorporar dopantes a la matriz, es posible a través del análisis del espectro de Fotoluminiscencia en la región correspondiente a las transiciones banda-banda.

En la luminiscencia de tipo no localizado, las impurezas más importantes son aceptadoras y donadoras y actúan como activadores de la luminiscencia. Existen dos tipos de transiciones de la luminiscencia, la transición de un electrón ligado a un donador o un hueco ligado a un aceptor llamado también transición par donador-aceptor.

La fotoluminiscencia es la recombinación radiactiva de portadores de carga generados por excitación óptica. En los sólidos su clasificación se genera según la naturaleza de las transiciones electrónicas que la producen. Si la absorción óptica está vinculada con la variación de la energía oscilante de los átomos de su red, se le llama absorción de la luz por la red.



Debido a que la red puede absorber la energía del campo electromagnético, sólo se determinan los valores de la energía del fotón. El espectro se caracteriza por una serie de picos de absorción, que generalmente se superponen en la absorción por portadores libres.

### **3.2.3.2 ESPECTROS DE EXCITACIÓN Y EMISIÓN.**

La luz emitida en fotoluminiscencia que corresponde a la transición entre estados excitados y el estado fundamental contiene diferentes longitudes de onda entre el 200nm y el 1500nm, denominados como espectros de fotoluminiscencia a la determinación de la intensidad relativa de emisión frente a la longitud de onda. Para conseguir la excitación electrónica por lo tanto la aparición de la fotoluminiscencia es requerida la iluminación de la muestra con una radiación de longitud de onda adecuada por lo general en un rango de ultravioleta visible.

La manera general para la determinación de la longitud de excitación óptica consiste en la obtención de los máximos de banda en el espectro de absorción de ultravioleta visible. Con relación con la selección de longitud de onda de excitación óptima, existe una variante de la fotoluminiscencia en la que se fija el detector a una longitud de onda de emisión mientras que se hace un barrido de todas las longitudes de onda de excitación.

El registro que se obtiene se conoce como espectro de excitación y proporciona información sobre cuál es la intensidad de emisión para cada longitud de onda de excitación.

Cuando se irradia una longitud de onda se observa la emisión de un intervalo de longitudes de onda. La selección de una longitud de onda de excitación se hace mediante un monocromador y se observa la luminiscencia a través de un segundo monocromador, colocado a  $90^\circ$  respecto a la luz incidente. Si se mantiene la longitud de onda de excitación fija y registra la radiación emitida, se obtiene un espectro de emisión.





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Un espectro de emisión es la representación de la intensidad de emisión frente a la longitud de onda.

Un espectro de excitación se obtiene variando la longitud de onda de excitación y midiendo la luz a una longitud de onda determinada. Un espectro de excitación es la representación de la intensidad de emisión frente a la longitud de onda de excitación [3.23].

Al comparar los espectros de absorción y de emisión de radiación electromagnética de un sistema cristalino con los que se observan en los sistemas gaseosos, se encuentran las siguientes diferencias importantes:

- En el caso de los sólidos cristalinos, los espectros de absorción y de emisión no consisten en líneas estrechas asociadas con transiciones que ocurren entre estados con energías bien definidas, sino de bandas cuyo ancho es el resultado de la interacción entre el ion y los elementos de la red que lo contiene.
- En la mayoría de los casos de interés se observa un avance en la posición de la banda de emisión del sistema con respecto a la posición de la banda de absorción del mismo, de tal manera que la primera se encuentra en regiones de menor energía; la cual tiene mayor longitud de onda, con respecto a la segunda, a este avance se le conoce como un avance de Stokes.



## **CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

### **4.1 SUSTRATO Y REACTIVOS PRECURSORES.**

Se empleó como sustrato láminas de vidrio rectangulares de color transparente (portaobjetos). Las dimensiones de los portaobjetos utilizados son de 75 mm X 25 mm X 1.2 mm, cortado en trozos de 15 mm X 25 mm X 1.2 mm.

El reactivo precursor utilizado para el Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) fue el Nitrato de Ytrio hexahidratado  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  en polvo, con un peso molecular (PM) de 383.01 g/mol y un grado de pureza de 99.9%.

El reactivo precursor del  $Eu^{3+}$  fue el Cloruro de Europio hexahidratado  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$  en polvo, con un peso molecular (PM) de 366.41 g/mol y un grado de pureza de 99.9%.

Para la preparación de las soluciones se usó como disolvente agua desionizada.

### **4.2 METODOLOGÍA PARA EL LAVADO DE LOS SUSTRATOS DE VIDRIO CORNING.**

El portaobjetos de vidrio se emplea de forma directa para colocar en su superficie muestras a observar en los microscopios ópticos, sin embargo se llevó a cabo el protocolo de limpieza con el fin de remover cualquier tipo de contaminación iónica, metálica u orgánica remanente que pudiera afectar las propiedades y calidad de los depósitos.

- Se cortan los portaobjetos en rectángulos de 25 mm X 15 mm X 1.2 mm, estos se utilizaran como sustratos.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- Los sustratos se lavan con etanol al 5% mol y se frotran usando guantes, realizado esto se enjuagan con agua destilada.
- Los sustratos se colocan con pinzas en una base de polímero con ranuras, esta base se introduce a un vaso de precipitados de 600 ml con suficiente agua destilada para cubrirlos.
- El vaso de precipitados se tapa con papel aluminio y se lleva a un equipo de ultrasonido, dejándolo ahí durante 15 minutos.
- Después de haber transcurrido el tiempo en el ultrasonido, se retira el agua destilada y se toman con pinzas uno por uno los sustratos de la base de polímero para secarlos con gas nitrógeno.
- Cada que se seca un sustrato con el gas nitrógeno, se coloca con pinzas en una base seca de polímeros con ranuras.
- Esta base se introduce a un vaso de precipitados de 600 ml ahora con suficiente acetona para cubrirlos.
- El vaso de precipitados se tapa con papel aluminio y se lleva de nuevo al equipo de ultrasonido, dejándolo ahí durante 15 minutos.
- Después de haber transcurrido el tiempo en el ultrasonido, se retira la acetona y se toman con pinzas uno por uno los sustratos de la base de polímero para secarlos con gas nitrógeno.
- Cada que se seca un sustrato con el gas nitrógeno, se coloca con pinzas en una base seca de polímeros con ranuras.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- Esta base se introduce a un vaso de precipitados de 600 ml ahora con suficiente etanol para cubrirlos.
- El vaso de precipitados se tapa con papel aluminio y se lleva de nuevo al equipo de ultrasonido, dejándolo ahí durante 15 minutos.
- Después de haber transcurrido el tiempo en el ultrasonido, se retira el etanol y se toman con pinzas uno por uno los sustratos de la base de polímero para secarlos con gas nitrógeno.
- Cada que se seca un sustrato con el gas nitrógeno, se coloca con pinzas en una base seca de polímeros con ranuras.
- Esta base se introduce a un vaso de precipitados de 600 ml ahora con suficiente isopropanol para cubrirlos.
- El vaso de precipitados se tapa con papel aluminio y se lleva de nuevo al equipo de ultrasonido, dejándolo ahí durante 15 minutos.
- Después de haber transcurrido el tiempo en el ultrasonido, se retira el isopropanol y se toman con pinzas uno por uno los sustratos de la base de polímero para secarlos con gas nitrógeno.
- Cada que se seca un sustrato con el gas nitrógeno, se coloca con pinzas en una base seca de polímeros con ranuras.
- Finalmente esta base se introduce a un vaso de precipitados de 600 ml ahora con suficiente solución que contiene 50% de metanol y 50% de agua destilada para cubrirlos y así poder almacenarlos en un vaso de precipitados cubierto con papel aluminio y plástico adhesivo para sellarlo



bien y mantenerlos fuera de la contaminación ambiental hasta que se requiera utilizar un sustrato.

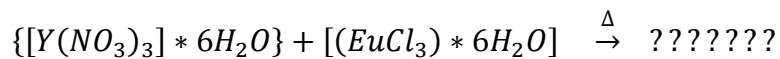
### 4.3 PREPARACION DE LAS SOLUCIONES PRECURSORAS.

Para la primera etapa de la investigación se realizaron polvos de óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ), para esto se preparó una disolución acuosa a 0.005 M (mol) o 5mM (milimol) a partir de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  con un peso molecular de  $383.01 \frac{g}{mol}$  y agua desionizada.

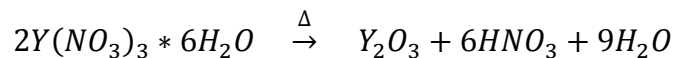
Para la siguiente etapa, donde se obtuvieron los polvos de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  dopados con  $Eu^{3+}$ , el compuesto precursor utilizado fue el  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$  con un peso molecular de  $366.41 \frac{g}{mol}$ .

Para determinar cuántos gramos se requieren de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  y cuantos gramos de  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$ , se debe hacer el balanceo de la ecuación y obtener los productos de esta. Esta reacción no es muy común, ya que se llevan a cabo dos reacciones simultáneas de doble sustitución. A continuación se describen estas reacciones:

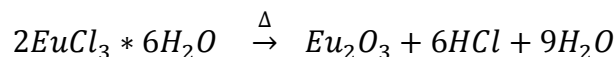
- Primero se plantea la reacción con las sustancias precursoras o reactivos.



- Ahora se describen las dos reacciones simultáneas que obtenemos después de elevar la temperatura.



Y

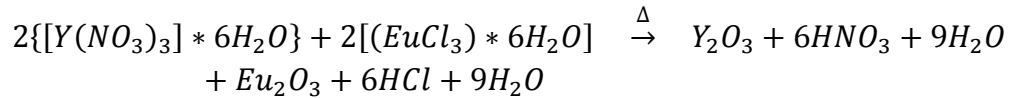




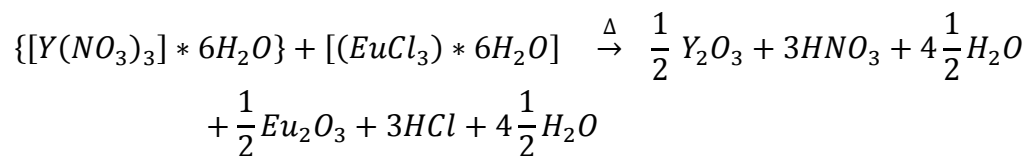
**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



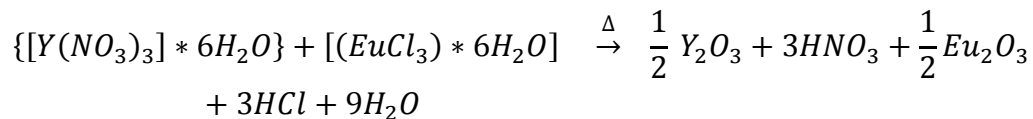
- Si se unifican los productos a las sustancias precursoras, la ecuación balanceada queda de esta manera:



- Simplificando queda de la siguiente manera la reacción:



- Por último se reacomoda la reacción y queda de la siguiente manera:



- Para fines prácticos se unieron las dos reacciones que ocurren simultáneamente con las sustancias precursoras al aumentar la temperatura.

Después de obtener el balanceo de la ecuación y sabiendo los pesos moleculares, se procede a hacer los cálculos estequiométricos correspondientes para determinar qué cantidad en gramos se requieren de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  y cuantos gramos de  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$ . Se realiza una disolución al 0.005M en 1 L de agua desionizada.

En seguida se presentan los cálculos estequiométricos desarrollados para la preparación de esta solución:



Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.



- Debemos conocer la ecuación de molaridad (M), la cual se indica a continuación:

$$M = \frac{n}{V}$$

Donde:

M = Molaridad ( $\frac{mol}{L}$ ), ( $\frac{mol}{ml}$ ) etc.

n = Número de moles(mol).

V = Volumen (L), (ml) etc.

- Como se necesita conocer los gramos de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  que se emplearan y en la ecuación no hay ningún termino donde sus unidades tengan gramos, se debe sustituir la n por  $\frac{m}{PM}$  y así se obtiene la siguiente ecuación:

$$M = \frac{\frac{m}{PM}}{V}$$

Simplificando:

$$M = \left(\frac{m}{PM}\right) \left(\frac{1}{V}\right)$$

Donde:

m = Masa (g).

PM = Peso molecular (g/mol).

- Se despeja m para obtener los gramos necesarios de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$ , quedando así la ecuación:

$$m = \frac{(M)(PM)}{\left(\frac{1}{V}\right)}$$

- Ahora se sustituyen los valores conocidos en la ecuación:

$$m = \frac{0.005 \frac{mol}{L} * 383.01 \frac{g}{mol}}{\frac{1L}{1}}$$



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- Esto da como resultado:

$$m = 1.915g$$

- Se requieren 1.915g de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$ .

Ya que se tienen los gramos del compuesto  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$ , se pasa a la siguiente etapa y esta consiste en saber cuántos gramos de ytrio; con peso molecular de  $88.905 \frac{g}{mol}$ , hay en la molécula y así poder determinar cuántos gramos de Cloruro de Europio se requieren para dopar la matriz de ( $Y_2O_3$ ); es decir, para saber cuántos iones de  $Eu^{3+}$  sustituirán a los iones de  $Y^{3+}$ .

A continuación se describen los cálculos estequiométricos realizados para este procedimiento:

- Para determinar cuántos gramos de ytrio trivalente están presentes en el compuesto de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$ , se utiliza la siguiente ecuación de fracción en gramos para el  $Y^{3+}$ :

$$x_{(Y^{3+})} = (g_{\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}}) \left( \frac{PM_Y}{PM_{\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}}} \right)$$

- Ahora solo se sustituyen los valores que ya conocemos en la ecuación:

$$x_{(Y^{3+})} = (1.915g) \left( \frac{88.905 \frac{g}{mol}}{383.01 \frac{g}{mol}} \right)$$

- Esto da como resultado:

$$x_{(Y^{3+})} = 0.4445g$$





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- En el compuesto  $\{[Y(NO_3)_3] \cdot 6H_2O\}$  hay 0.4445g de  $Y^{3+}$ , estos gramos representan el 100% de iones de ytrio.

Para la siguiente etapa, para obtener los polvos dopados con Europio, se utilizó como sustancia precursora el Cloruro de Europio hexahidratado  $[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]$  con un peso molecular de  $366.41 \frac{g}{mol}$ . Los fósforos se doparan a 11, 15, 17 y 23 % de concentración en fracción peso de  $Eu^{3+}$ .

Con ayuda del dato que se obtuvo en el paso anterior se procede a hacer los cálculos estequiométricos:

1. Primero se obtienen los gramos de ytrio requeridos a los diferentes porcentajes antes mencionados con la siguiente ecuación:

$$x_{gY^{3+}} = (0.4445g) \left( \frac{\%concentración}{100\%} \right)$$

Para el 11% queda de la siguiente forma:

$$x_{gY^{3+}} = (0.4445g) \left( \frac{11\%}{100\%} \right)$$

$$x_{gY^{3+}} = 0.0489g$$

Para el 15% queda de la siguiente forma:

$$x_{gY^{3+}} = (0.4445g) \left( \frac{15\%}{100\%} \right)$$

$$x_{gY^{3+}} = 0.0667g$$

Para el 17% queda de la siguiente forma:



Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.



$$x_{gY^{3+}} = (0.4445g) \left( \frac{17\%}{100\%} \right)$$

$$x_{gY^{3+}} = 0.0755g$$

Para el 23% queda de la siguiente forma:

$$x_{gY^{3+}} = (0.4445g) \left( \frac{23\%}{100\%} \right)$$

$$x_{gY^{3+}} = 0.1022g$$

2. Teniendo los gramos de ytrio a los diferentes porcentajes de concentración y la cantidad de Europio trivalente presente en la molécula  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$ , se determinan con cálculos estequiométricos cuantos gramos de  $Eu^{3+}$  se utilizan para cada una de las concentraciones y así proceder a hacer el dopaje.
3. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$y_{(g_{[(EuCl_3) * 6H_2O]})} = (g_{Y^{3+}}) \left( \frac{PM_{[(EuCl_3) * 6H_2O]}}{PM_{Eu}} \right)$$

4. Se sustituyen los valores que ya conocemos para el 11% de concentración en la ecuación:

$$y_{(g_{[(EuCl_3) * 6H_2O]})} = (0.0489g) \left( \frac{366.41 \frac{g}{mol}}{151.964 \frac{g}{mol}} \right)$$

5. Dando como resultado:



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = 0.1179g$$

6. Ahora se sustituyen los valores que ya conocemos para el 15% de concentración en la ecuación:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = (0.0667g) \left( \frac{366.41 \frac{g}{mol}}{151.964 \frac{g}{mol}} \right)$$

7. Dando como resultado:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = 0.1608g$$

8. Se sustituyen los valores que ya conocemos ahora para el 17% de concentración en la ecuación:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = (0.0755g) \left( \frac{366.41 \frac{g}{mol}}{151.964 \frac{g}{mol}} \right)$$

9. Dando como resultado:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = 0.1821g$$

10. Y por último se sustituyen los valores que ya conocemos para el 23% de concentración en la ecuación:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = (0.1022g) \left( \frac{366.41 \frac{g}{mol}}{151.964 \frac{g}{mol}} \right)$$

11. Dando como resultado:

$$y(g_{[(EuCl_3) \cdot 6H_2O]}) = 0.2464g$$



Después de haber realizado toda la estequiometría, los gramos necesarios para cada una de las sustancias precursoras se describen en la tabla 4.1:

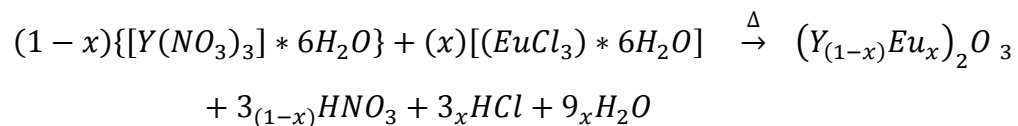
Tabla 4.1. Concentraciones para las películas de  $Y_2O_3:Eu^3$ .

g de precursores Porcentajes %	$x=[(EuCl_3) * 6H_2O]$	$y=[Y(NO_3)_3] * 6H_2O$
11	0.1179	1.915
15	0.1608	1.915
17	0.1821	1.915
23	0.2464	1.915

Elaboración propia.

Conociendo los gramos a utilizar de cada una de las sustancias precursoras, se somete a calentamiento a diferentes temperaturas para llevar a cabo la reacción y al mismo tiempo el dopaje del  $Eu^{3+}$ . Así es como se obtienen los polvos a diferentes concentraciones en porcentaje peso de  $Eu^{3+}$ , estos polvos serán utilizados para hacer las películas de PET y PS.

La ecuación que describe el comportamiento del dopaje es la siguiente:



#### 4.4 DEPÓSITO DE PELÍCULAS.

El sustrato es sumergido en esta disolución y a la vez la disolución es sometida a calentamiento constante por un tiempo determinado, siendo estos los parámetros de depósito y los que proporcionan las propiedades de la película, junto con las concentraciones de elementos en la solución. En la superficie del sustrato ocurre una reacción química provocando la formación de la película [4.1].



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



Los compuestos depositados deben ser relativamente insolubles y químicamente estables en la solución y presentar una precipitación simple en una reacción iónica.

#### **4.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

El procedimiento experimental consistió de los siguientes pasos:

1. Preparar las soluciones de PET y PS a depositar.
  - Para preparar la solución de PET (tereftalato de polietileno), se coloca en cuatro matraces Erlenmeyer de capacidad de 250 ml, 50 ml de DMF (N-dimetilformamida), en esta solución se agregan 0.2 gramos de la matriz de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  a diferentes concentraciones en cada uno de los matraces y 0.4 gramos de PET; se ponen los matraces en ultrasonido por 1 hora, posteriormente los mismos se colocan en una parrilla eléctrica que contenga un agitador y se eleva la temperatura hasta  $140^\circ C$ ; la cual es el punto de ebullición de la DMF, cuando llega a esta temperatura se agrega el PET en polvo.
  - Para preparar la solución de PS (poliestireno), se colocan en un matraz Erlenmeyer de 500 ml capacidad, 12 gramos de pellets de PS en 400 ml de DMF para diluirlos con ayuda de un agitador magnético, de esta solución se toman 30 ml y se colocan en otro matraz Erlenmeyer de 250 ml de capacidad, a estos 30 ml se le agregan 170 ml de DMF. En cuatro matraces Erlenmeyer de 250 ml de capacidad, se le agregan 50 ml a cada uno la disolución antes mencionada y se agregan 0.2 gramos de la matriz de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  a diferentes concentraciones en cada uno de los matraces, se colocan los matraces en ultrasonido por 1 hora; posteriormente se realizaran los depósitos en los sustratos de vidrio; de acuerdo a la técnica de rocío pirolítico, al igual que la solución de PET.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



2. Se verifica que el contenedor de la solución a atomizar, la manguera transportadora, boquilla, la placa de silicio que es el porta sustrato y demás instrumentos y equipo estén limpios y secos.
3. Se programa el controlador de temperatura a 270 °C del baño de estaño.
4. Cuando el estaño está líquido se coloca en la superficie el porta sustrato. Se toma un sustrato de la solución.
5. Se toma el sustrato de la solución de 50% de metanol y 50% de agua destilada para ser secado, por medio de una pistola neumática que dispara Nitrógeno para evaporar la solución que tenga y se coloca sobre el portasustrato que está sobre el baño de estaño, el cual tiene una temperatura de 270°C.
6. Se coloca la solución de DMF con los polvos dopados y el PET o el PS en DMF, según sea el caso que se vaya a realizar en el humidificador ultrasónico, se conectan las mangueras del gas Nitrógeno de arrastre y de transporte del dispositivo, se conecta también la boquilla a la manguera de transporte del gas Nitrógeno.
7. Se fija la distancia sustrato-boquilla.
8. Se cierra la ventana de la campana de extracción.
9. Se conecta y enciende el humidificador.
10. Se abre el flujo de aire de la compresora y se regula a 5000 rpm.
11. Verificar que el gas Nitrógeno salga por la boquilla.
12. Con un cronómetro se mide el tiempo de depósito.
13. Iniciar el depósito de las películas moviendo manualmente la boquilla en forma horizontal con ayuda de una varilla atada a la boquilla. Se mantiene un movimiento homogéneo de la boquilla sobre el sustrato cubriendo toda su superficie durante el tiempo del depósito.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



14. Al terminar el tiempo de depósito, la boquilla es alejada del sustrato, se cierra el flujo del gas de arrastre y se apaga el humidificador.
15. Se espera un momento para que los gases remanentes sean extraídos y se abre la ventana de la cámara.
16. Con las pinzas se retira la película y se coloca en una hoja de papel aluminio para que se enfríe lentamente sin tener un choque térmico muy grande.
17. La película se guarda en un sobre previamente etiquetado con la información sobre el depósito.
18. Se ajustan los parámetros para el siguiente depósito y se procede según lo descrito anteriormente.
19. Al culminar las síntesis programadas se apagan los instrumentos, se desconectan y desinstalan las partes del dispositivo las cuales son: manguera, boquilla, contenedor de la solución etc. Se lavan con agua desionizada, se secan y reservan para futuros depósitos. Se apaga el calefactor del baño de estaño. Los porta sustratos no utilizados continúan almacenados en un recipiente con la solución antes descrita, este recipiente está cubierto con papel aluminio.

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

### 5.1. RESULTADOS.

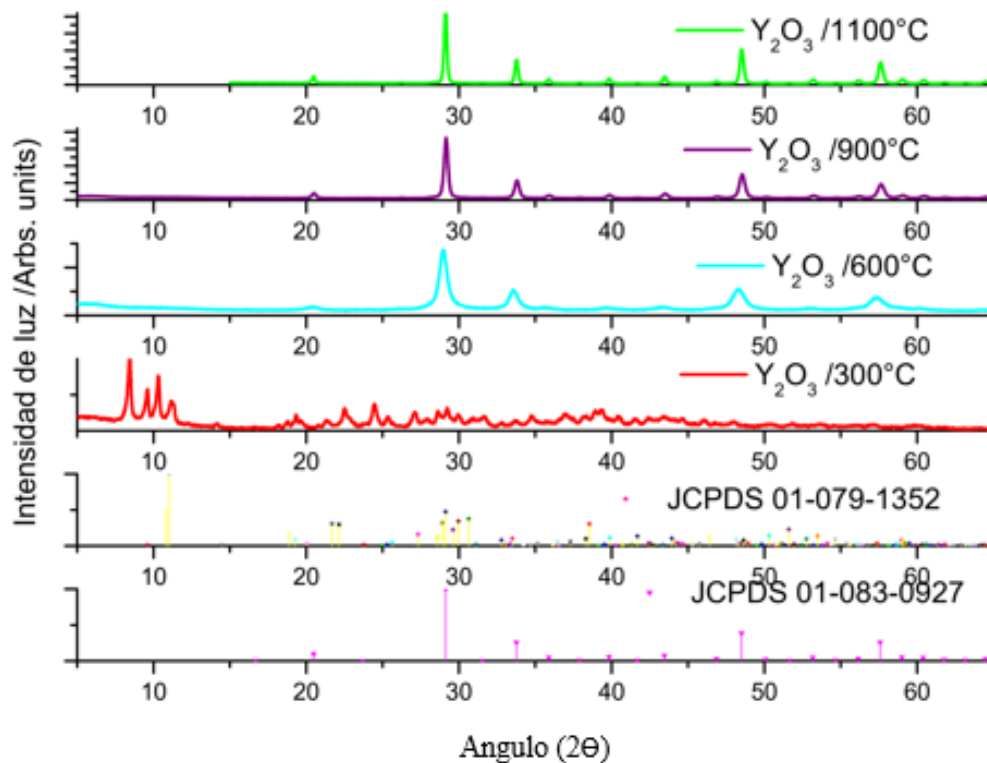
#### 5.1.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LA MATRIZ DE $Y_2O_3$ .

Como se mencionó en el Capítulo 3 la difracción de rayos X (XRD), nos proporciona información sobre la composición y las fases cristalinas del material, tamaño de grano, fronteras de grano tensión de redes, entre otras [1].

La caracterización estructural de las películas de  $Y_2O_3Eu^{3+}$  se obtuvo por medio de difracción de rayos X en un difractómetro.

En la figura 5.1, se presentan los difractogramas obtenidos para la matriz de  $Y_2O_3$  a las temperaturas de 300°C, 600°C, 900°C y 1100 °C.

Figura 5.1.- Difracción de rayos X de  $Y_2O_3$  a distintas temperaturas.



Elaboración propia.



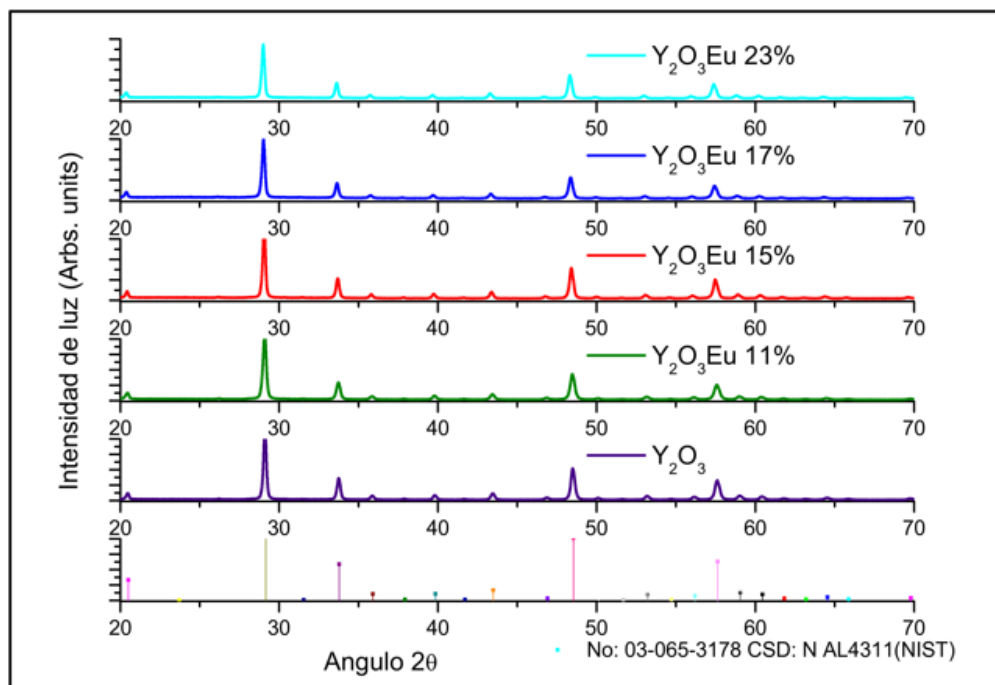
En los espectros de difracción de rayos X efectuado en la matriz de  $Y_2O_3$ , se observa que en la temperatura de  $300^\circ C$  se presenta al principio, entre los valores de 7 a 12, picos bien definidos, pero después se aprecia la ausencia de picos definidos indicando que a esa temperatura presenta una fase no cristalina.

Los difractogramas en las temperaturas de  $600^\circ C$ ,  $900^\circ C$  y  $1100^\circ C$  presentan picos bien definidos, esto quiere decir que la matriz ha pasado del estado no cristalino al estado cristalino.

### 5.1.2. Difracción de rayos X en la matriz de $Y_2O_3$ con distintos porcentajes del dopante $Eu^{3+}$

En la figura 5.2 se observan los resultados del difractograma de los polvos de  $Y_2O_3Eu^{3+}$  a diferentes porcentajes; los cuales son de 11%, 15%, 17% y 23%. También en la misma se indican las características estructurales de la matriz de  $Y_2O_3$ .

Figura 5.2.- Difractogramas de  $Y_2O_3Eu^{3+}$  a distintos porcentajes de concentración.



Elaboración propia.

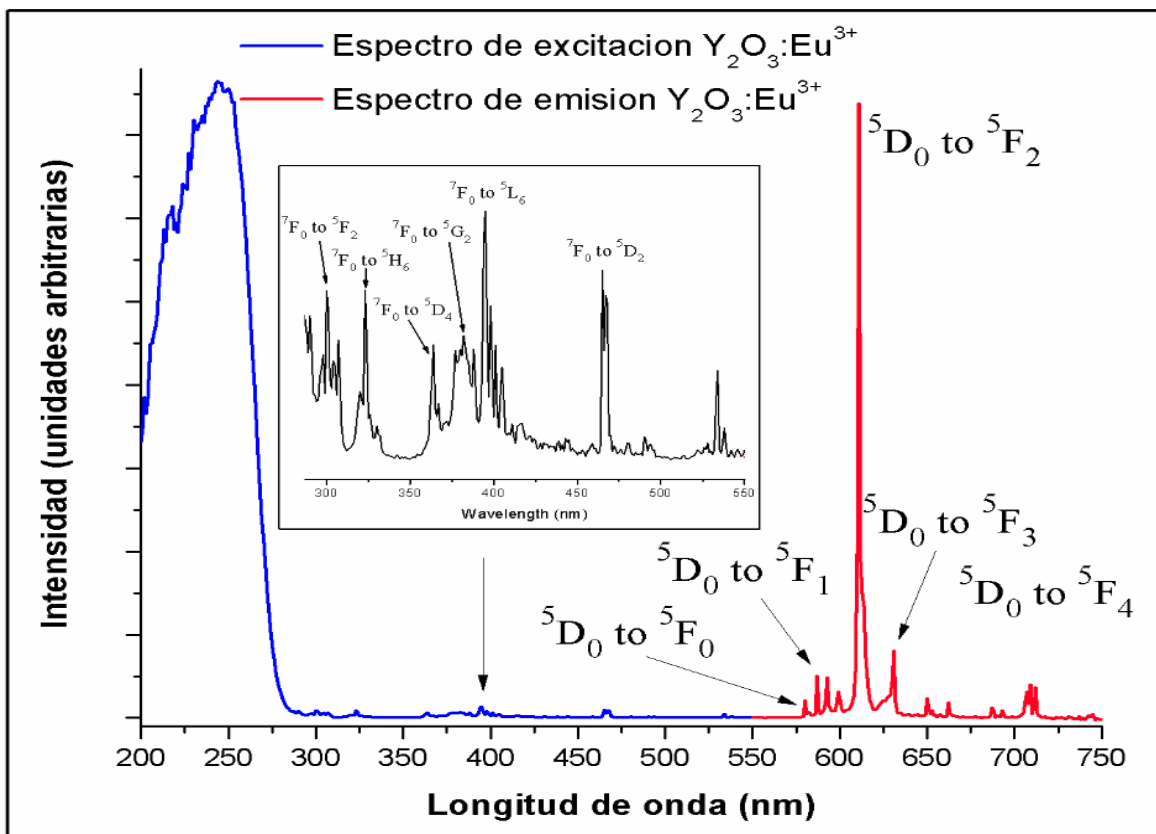
Podemos ver que los picos de los diferentes porcentajes de  $Y_2O_3Eu^{3+}$  y  $Y_2O_3$  están en los mismos valores, es decir, no hay diferencias entre ellos.

### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS.

Las características fotoluminiscentes de los polvos son medidas a temperatura ambiente en un espectrofluorímetro Edimburg.

De acuerdo con el espectro de excitación que se obtuvo con  $\lambda_{emi} = 611nm$  se encontró que la longitud de onda de excitación de estos polvos se encuentra en 263 nm. En el espectro de la figura 5.3 se observan las transiciones correspondientes al ion europio y son las siguientes:  $^5D_0 \rightarrow ^7F_0$ ,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ ,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ ,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_3$  y  $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$ .

Figura 5.3. En la imagen se muestran los espectros de excitación y de emisión de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .

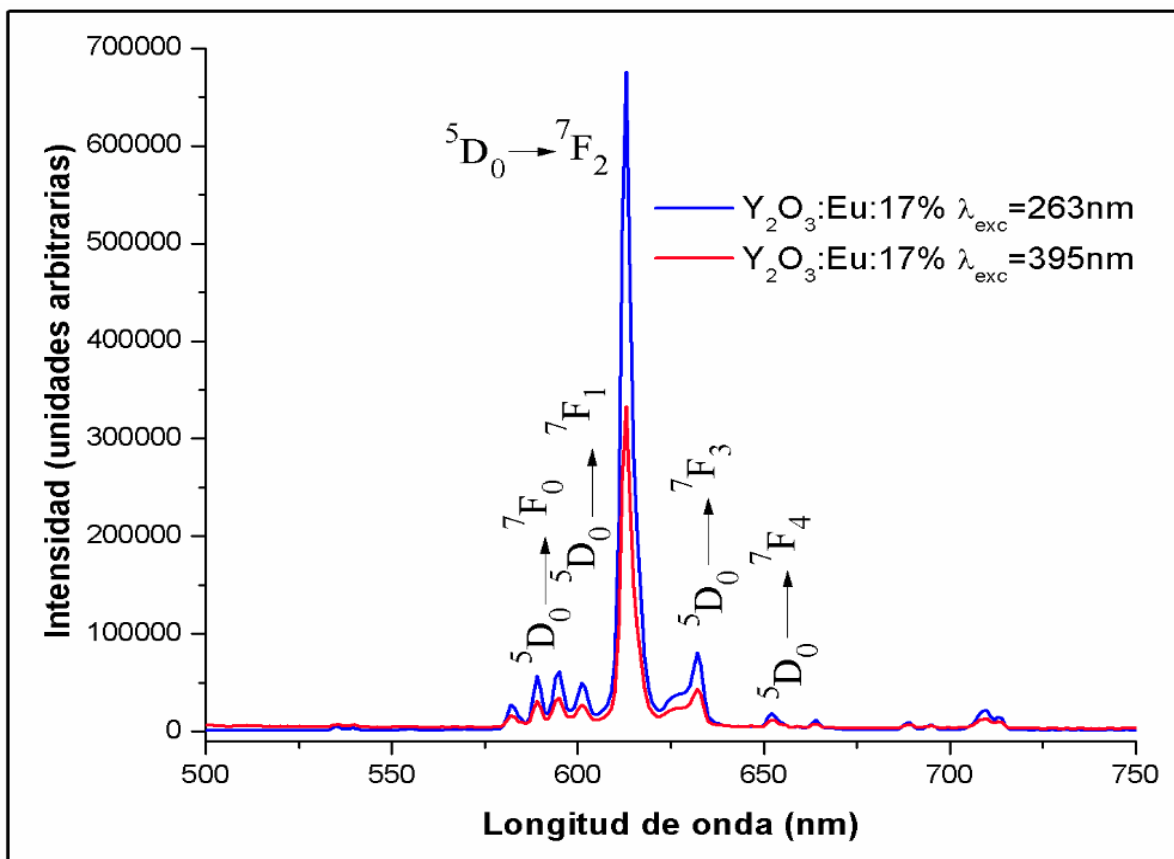


Elaboración propia.

En la figura 5.4 se muestran los espectros de los polvos con dos distintas longitudes de onda de excitación y se observan las mismas transiciones que en la figura 5.3.

Podemos ver en la figura 5.4 que al excitar con 263nm la intensidad es mayor que cuando se excita con 395 nm, y estas emisiones quedan en la zona del rojo.

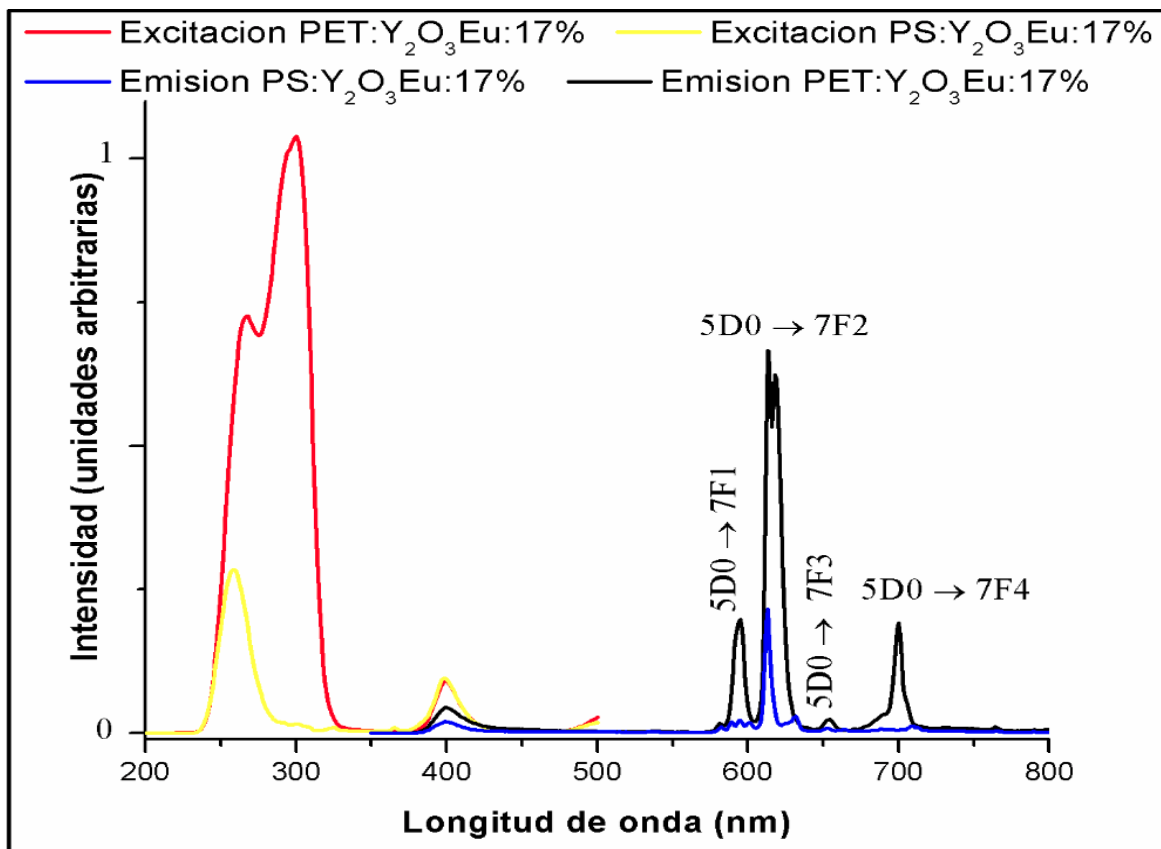
Figura 5.4.- Espectro de emisión de los polvos de Óxido de Ytrio dopados con 17% excitados con diferentes longitudes de onda.



Elaboración propia.

En la figura 5.5 se tienen los espectros de excitación y emisión de las películas de PET y PS. La línea de color rojo corresponde al espectro de excitación del PET, la línea de color amarillo corresponde al espectro de excitación del PS, la línea de color azul corresponde al espectro de emisión del PS y la línea de color negro corresponde al espectro de emisión del PET, y se observa que estos nos muestran las transiciones  $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ ,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ ,  $^5D_0 \rightarrow ^7F_3$  y  $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$ , estas corresponden al ion europio tal como se indican en la figura 5.5.

Figura 5.5. Espectros de excitación y emisión de las películas de PET y PS dopadas con polvos de Óxido de Ytrio dopados con 17% de europio.

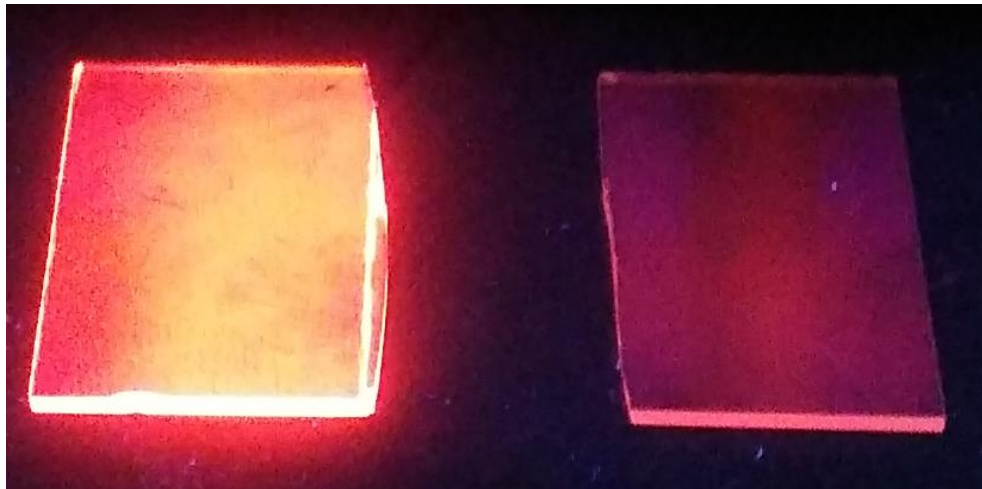


Elaboración propia.

Debido a esto es que las películas obtenidas presentan emisiones en el rojo, con una menor intensidad como se puede observar en la figura 5.6, siendo la película de PET la más eficiente para la emisión de luz que la película de PS.

En la figura 5.6 se muestran las películas PET y PS que fueron dopadas con Óxido de Ytrio:  $Eu^{3+}$ , cuando se excitan con una lámpara UV con una longitud de onda de 260nm, y se observa que la emisión de luz de la película del PET es mayor comparada con la película de PS.

**Figura 5.6. Películas de PET y PS dopadas con  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ .**



Elaboración propia.

En la figura 5.7 se muestran las películas de PET y PS y se observa que tienen una transparencia de cercana al 90%.

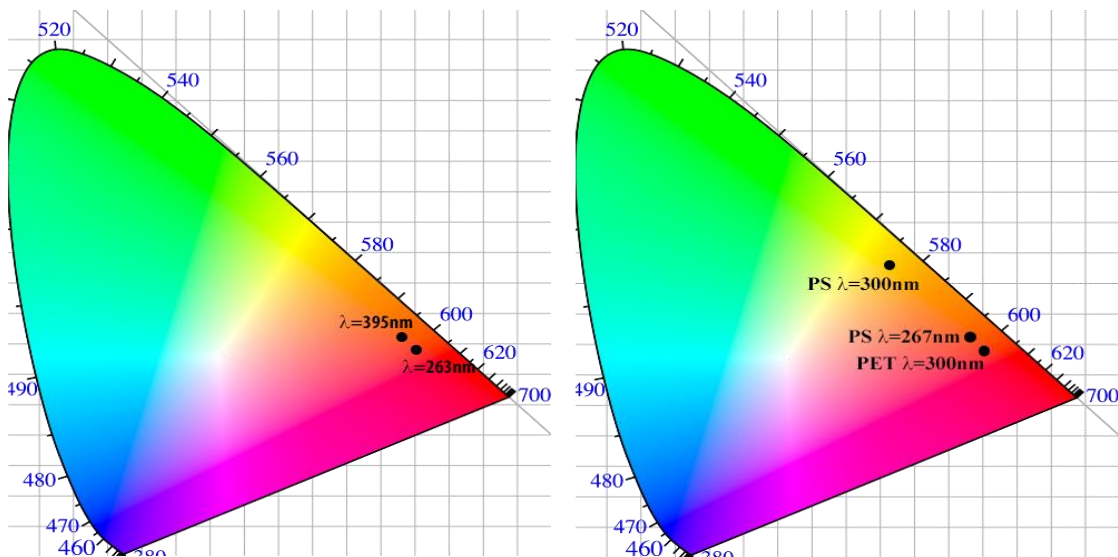
Figura 5.7. Se muestran las películas de PET y PS que tienen una transparencia de aproximadamente el 90%.



Elaboración propia.

Los diagramas CIE de polvos y películas representados en la figura 5.8, nos muestran que cuando se excita con diferentes longitudes de onda se obtiene el rojo debido al ion europio, y amarillo cuando estos polvos se depositan en la película PS debido a que se combina con la emisión correspondiente del PS que se presenta en el azul.

5.8. Diagramas de las coordenadas de CIE de las películas PET y PS dopadas con  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ . El CIE de la izquierda corresponde a los polvos y el de la derecha el PET a 267nm, y el PS a 300 nm dopados, así mismo el PS solo a 300 nm.



Elaboración propia.



#### 5.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se han estudiado las propiedades luminiscentes de los polvos de Óxido de Ytrio dopados con europio ( $Y_2O_3: Eu^{3+}$ ) incrustados en películas de Tereftalato de Polietileno (PET) y Poliestireno (PS). Se sintetizaron polvos cristalinos luminosos  $Y_2O_3: Eu^{3+}$  por el método de evaporación simple. El espectro de difracción de rayos X (XRD) de polvos de  $Y_2O_3: Eu^{3+}$  tiene la fase cristalina con picos correspondientes a la estructura  $Y_2O_3$ . Los polvos incrustados en las películas se obtuvieron mediante la técnica de evaporación de solventes. Los espectros de emisión de fotoluminiscencia y de catodoluminiscencia de estas muestras indican, en ambos casos, picos de luminiscencia asociados con transiciones dentro de los niveles de energía electrónica de los iones  $Eu^{3+}$ . El pico dominante está en los 616 nm, correspondiente a la transición del  $^5D_0$  al  $^7F_2$  y presentan las transiciones desde  $^5D_0$  al  $^7F_1$ ,  $^7F_2$ ,  $^7F_3$  y  $^7F_4$  estas transiciones se presentan en 590, 616, 650 y 697 nm, cuando se excita con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 396$  nm a temperatura ambiente y las coordenadas CIE para los polvos  $Y_2O_3: Eu^{3+}$  son ( $x = 0,6523$ ,  $y = 0,3472$ ) y cuando se excitan con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 263$ nm las coordenadas CIE son ( $x = 0,656685$  y  $y = 0,344053$ ). Las coordenadas CIE para las películas PET no dopadas son ( $x = 0.2045$ ,  $y = 0.3636$ ), cuando se excita con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 270$ nm, esta emisión cae en la región azul. El diagrama CIE para películas de PET incrustadas en polvo excitadas con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 300$  nm tiene coordenadas ( $x = 0,6383$ ,  $y = 0,3609$ ) y las películas de PS incrustadas en polvo excitadas con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 300$  nm tienen coordenadas ( $x = 0,4941$ ,  $y = 0,5225$ ) y excitadas con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 267$ nm coordenadas son ( $x = 0,630432$ ,  $y = 0,368773$ ). En ambos casos, la emisión es una combinación de  $Y_2O_3: Eu^{3+}$  de luz roja y la emisión del PET y del PS es de luz azul. Las mediciones de transmisión UV-Vis% en estas películas muestran que son transparentes (~ 80 y 95% T).





## Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.



A continuación se describen las conclusiones de los resultados de las técnicas empleadas para determinar cuál de las 4 diferentes concentraciones de porcentaje en peso de  $Eu^{3+}$  fue la más eficiente.

### 5.2. CONCLUSIONES.

Derivado de las técnicas de caracterización utilizadas en este trabajo para determinar cuál de las cuatro concentraciones de porcentaje en peso fue la de mayor emisión de luz, los datos arrojados nos indican que el 17% en dopaje de  $Eu^{3+}$  es el que más emisión de luz da, por lo que es el porcentaje eficiente, y este corresponde al empleo de 1.915g de  $\{[Y(NO_3)_3] * 6H_2O\}$  y 0.1821g de  $[(EuCl_3) * 6H_2O]$ .

Por otro lado, de acuerdo con los resultados de la fotoluminiscencia de estos polvos de  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ , al excitarse con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 395nm$  tienen la energía requerida para la luminiscencia y esta es menor, por lo tanto pueden obtenerse LED's de bajo costo para luz roja; por lo que se puede considerar que este tipo de compuesto es un buen candidato para tener luz roja y su preparación es simple y de bajo costo.

Las películas de PET y de PS son transparentes (aproximadamente 90% T en el rango UV-Vis), cuando la película de PET es excitada con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 300nm$ , las coordenadas del diagrama CIE son cercanas a las correspondientes de los polvos con una eficiencia cuántica de 80, y con esto se puede obtener luz en color rojo con menos energía. Mientras que la película PS es menos eficaz y al excitarse con una longitud de onda  $\lambda_{exc} = 300 nm$  se obtiene un color amarillo con una eficiencia cuántica de 13.2 y con una longitud de onda  $\lambda_{exc} =$





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



263nm de excitación, se obtiene de nuevo el rojo, ya que en este caso sólo se excita el ion europio; el color amarillo se obtiene por la emisión de PS en el azul, y combinado con la emisión de europio en el rojo.

A continuación se muestra la ponencia denominada **“LUMINESCENT PROPERTIES OF  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  POWDERS EMBEDDED IN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE AND POLYSTYRENE FILMS”**, que fue presentada en el **“XXV INTERNATIONAL MATERIALS RESEARCH CONGRESS (IMRC)”** efectuado del 14 al 19 de agosto de 2016 en la Ciudad de Cancún, México; y en la cual se muestran los resultados obtenidos de los trabajos desarrollados en la presente tesis.



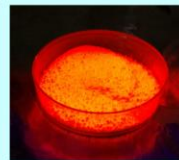
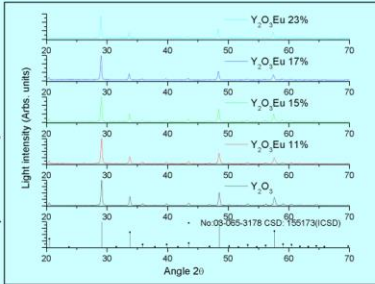
## LUMINESCENT PROPERTIES OF $Y_2O_3:Eu^{3+}$ POWDERS EMBEDDED IN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE AND POLYSTYRENE FILMS



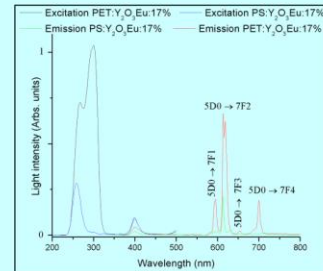
L. Mariscal-Becerra<sup>1</sup>, S. Carmona-Téllez<sup>1</sup>, H. Murrieta-Sánchez<sup>2</sup>, C. Falcony-Guajardo<sup>1</sup>, Z. Rivera<sup>1</sup>, S. Salas-Mariscal<sup>1</sup> and J. Hernández-Sánchez<sup>3</sup>, <sup>1</sup> Cinvestav, Gustavo A. Madero, México D.F. 07360, México, <sup>2</sup> IF-UNAM, Coyoacán, México D.F. 04510, México, FES Zaragoza UNAM, Iztapalapa, México D. F. 09230

The luminescent properties of  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  powders embedded in polyethylene terephthalate (PET) and polystyrene (PS) films have been studied. Luminescent  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  polycrystalline powders were synthesized by a simple evaporation method. X-ray diffraction (XRD) spectrum of powders of  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  have the crystalline phase with peaks corresponding to the structure  $Y_2O_3$ . The powder embedded films were obtained by the spray pyrolysis technique. The photoluminescence and cathodoluminescence emission spectra these samples show, in both cases, luminescence peaks associated with transitions within the electronic energy levels of  $Eu^{3+}$  ions. The dominant peak is at 616nm corresponding to the  $^5D_0$  to  $^7F_2$  transition and present  $^5D_0$  to  $^7F_1$ ,  $^7F_2$ ,  $^7F_3$  y  $^7F_4$  transitions in 590, 616, 650, and 697 nm, when excited with  $\lambda_{exc} = 396$  nm at room temperature, and CIE coordinates for powders  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  are ( $x = 0.6523$ ,  $y = 0.3472$ ) and when excited with  $\lambda_{exc} = 263$ nm CIE coordinates are ( $x=0.656685$ ,  $y=0.344053$ ). The CIE coordinates for non-doped PET films are ( $x = 0.2045$ ,  $y = 0.3636$ ), when excited with  $\lambda_{exc}=270$ nm, this emission falls in the blue region. CIE diagram for powder embedded PET films excited with  $\lambda_{exc}=300$  nm have coordinates ( $x = 0.6383$ ,  $y = 0.3609$ ) and powder embedded PS films excited with 300nm have coordinates ( $x = 0.4941$ ,  $y = 0.5225$ ) and excited with  $\lambda_{exc}=267$ nm coordinates are ( $x=0.630432$ ,  $y=0.368773$ ); in both cases, the emission is a combination of  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  red light and PET and PS blue light emissions. UV- Vis % transmission measurements on these films show that they are transparent (~ 80 and 95 %T).

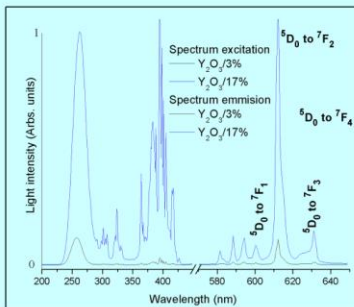
The diffractograma of powders yttrium oxide doped with different concentrations are shown in the figure, and it is observed that no differences between them and fit the letter No: 03-065-3178 CSD: N AL4311 (NIST)



Powders of oxide yttrium doped of europium excited with  $\lambda=260$ nm of UV lamp.



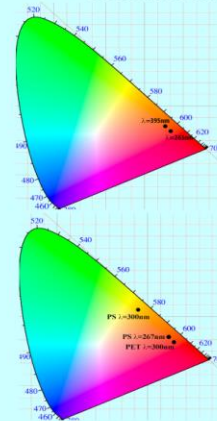
In the image are shown spectra excitation and emission of PET and PS films, as can be seen the emission of PET film is 3 times more intense than the of PS film



In Figure shown spectrum of excitation and emission, of powders yttrium oxide doped with 3% and 17% europium, and these can see as transitions of 300nm a 450nm increase when doping is 17% at.



In the upper picture PET and PS films are shown, they were doped with yttrium oxide:Eu<sup>3+</sup>, when they were excited with a UV lamp. At the bottom shown they films having a transparency about 90%T.



The diagrams CIE of powders and films show us that when excited with different wavelengths is obtained the red due to europium ion, and yellow get when these powders are deposited in the PS film.



### Conclusions

The authors wish to acknowledge the technical assistance of Z. Rivera, M. Guerrero and A. Soto from physics department of CINVESTAV-IPN. The authors also thank CONACYT to financial support.

According to the results of the photoluminescence of these powders  $Y_2O_3:Eu^{3+}$ , to excite  $\lambda_{exc} = 396$ nm have the energy required for luminescence is less and therefore can obtain low-cost LEDs for red light; so it can be considered that this type of compound is a good candidate to have red light and its preparation is simple and inexpensive.

The PET and PS films are transparent (about 90%T in the UV-Vis range), when The PET film is excited with  $\lambda_{exc}=300$ nm, coordinates of CIE diagram are close to those corresponding to the powders, and that can be obtained red light with less energy with quantum efficiency of 51.3; while the film PS is less efficient and with  $\lambda_{exc}=300$  nm has a yellow color with a quantum efficiency of 13.2 and  $\lambda_{exc}=263$ nm is again excite gets the red since in this case only the europium ion is excited, the yellow color is obtained by the PS emission in the blue, and combined with the emission of europium in the red.





## GLOSARIO DE TERMINOS.

**Adsorción:** Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

**Analito:** Término utilizado en la química analítica, análisis químico, etc, donde hace referencia a una sustancia, la cual puede ser un ion, un elemento, o incluso un compuesto determinado, que posee un interés en nuestra muestra, pues es la parte que deseamos analizar. Dicha especie química, puede conocerse y ser cuantificada, al pasar a determinar su cantidad en nuestra muestra, además de su concentración, en un proceso químico determinado, como suelen ser las valoraciones químicas, siguiendo una particular forma de medida química.

**Bioluminiscencia:** Producción de luz de ciertos organismos vivos.

**Capacitores:** Es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

**Catálisis:** Variación en la velocidad de una reacción química producida por la presencia de un catalizador. "La catálisis puede ser heterogénea (las sustancias de la reacción son absorbidas por el catalizador) u homogénea (el catalizador se une a las sustancias de la reacción)".

**Catodoluminiscencia:** Es la excitación de un gas a través del cátodo por el cual circula una corriente, produciendo fluorescencia y cesa cuando deja de circular la corriente entre el ánodo y el cátodo.

**Difractómetro** Es un instrumento utilizado para medir la difracción de un haz de radiación incidente sobre una muestra de un material. Los difractómetros se emplean para los experimentos de difracción de rayos X y difracción de neutrones.

**Espectrofotómetro:** Es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra.

**Espectroscopía:** Conjunto de métodos empleados para estudiar en un espectro las radiaciones de los cuerpos incandescentes.

**Estado Singlete:** El término singlete usualmente hace referencia a una representación unidimensional. Por ejemplo: Una partícula en la cual el espín ha desaparecido. Dos o más partículas que se encuentran en estados enlazados, de forma tal que la suma total de momentos angulares de ese estado total es cero.

**Estado Triplete:** Es un sistema con tres posibles valores de espín. El espín es el momento angular intrínseco para un cuerpo, a diferencia del momento angular orbital, que es el movimiento de su centro de masa con respecto a un punto externo.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**Fluorescencia:** Propiedad que tienen algunas sustancias de reflejar luz con mayor longitud de onda que la recibida, cuando están expuestas a ciertos rayos del espectro.

**Fosforescencia:** Fenómeno en el cual ciertas sustancias tienen la propiedad de absorber energía y almacenarla, para emitirla posteriormente en forma de radiación.

**Fotoluminiscencia:** Emisión de luz como consecuencia de la absorción previa de una radiación

**Lantánidos:** Grupo de elementos químicos cuyo número atómico está comprendido entre el 57 y el 71, son metales, como el lantano, el praseodimio, el erbio o el gadolinio.

**Longitud de onda:** Es la distancia real que recorre una perturbación (una onda) en un determinado intervalo de tiempo. Ese intervalo de tiempo es el transcurrido entre dos máximos consecutivos de alguna propiedad física de la onda.

**Luminiscencia:** Propiedad que tienen ciertos cuerpos de emitir luz tras haber absorbido energía de otra radiación (principalmente ultravioleta) sin elevar su temperatura.

**Luz ultravioleta:** Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 15 nm.

**Nanomateriales:** Partículas con un tamaño de un 1  $\mu\text{m}$  en al menos una dimensión.

**Nanotecnología:** Tecnología que se dedica al diseño y manipulación de la materia a nivel de átomos o moléculas, con fines industriales o médicos, entre otros.

**Películas delgadas** Se entiende por lámina delgada, película delgada o película fina, la capa de material en el rango de fracciones de nanómetro hasta varios micrómetros de espesor. Los componentes electrónicos semiconductores y los recubrimientos ópticos son los mayores beneficiarios del desarrollo de las Películas delgadas

**Pirólisis:** Es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno (y de cualquier halógeno).

**Quimioluminiscencia:** Producción de luz que acompaña a algunas reacciones químicas y bioquímicas.

**Radioluminiscencia:** Es el fenómeno por el cual se produce luz en un material mediante el bombardeo con radiación ionizante, como por ejemplo partículas beta.

**Rayos X:** Radiación electromagnética que atraviesa cuerpos opacos a la luz ordinaria, con mayor o menor facilidad, según sea la materia de que estos están





*Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



formados, produciendo detrás de ellos y en superficies convenientemente preparadas, imágenes o impresiones.

**Resistores:** Se denomina resistor al componente electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito eléctrico.

**Semiconductores:** Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

**Superconductores:** Se denomina superconductividad a la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones.

**Termoluminiscencia:** Luminiscencia provocada por un calentamiento notablemente inferior al que produciría la incandescencia.



## **BIBLIOGRAFÍA:**

### **Introducción:**

- 1.- M. en C. Víctor Hugo Romero Arellano. (9 de marzo 2012). León Guanajuato México. Estudio de las propiedades luminiscentes de óxidos nanocristalinos dopados con Europio ( $Eu^{3+}$ ), Terbio ( $Tb^{3+}$ ) y Tulio ( $Tm^{3+}$ ). Centro de investigaciones en óptica A.C. Capítulo 1, Página 15.
- 2.- Bruno Henríquez. La luz sin llamas: breve historia de la luminiscencia. Consultado el 02 de agosto de 2016.
3. V. Correcher. Javier García Guinea. (Noviembre 2015). Técnicas luminiscentes. Capítulo 4, Página 14.6.
- 4.- Diario de Cristóbal Colon. El primer viaje a las Indias (relación comprendida por Fray Bartolomé de las casas).
- 5.- Materiales luminiscentes de tierras raras. Consultado el 03 de agosto del 2016.
- 6.- Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ).
- 7.- 18 de Agosto del 2014. Materiales luminiscentes tierras raras aplicación de análisis de estado LED de la industria y el potencial. Consultado el 03 de Agosto del

### **Capítulo 1:**

- 1.1.- Beatriz M. O'Donell. José D. Sandoval. Fernando Paukste. Capítulo 4. Fuentes luminosas. Página 8.
- 1.2.- M. en C. Víctor Hugo Romero Arellano. (9 de marzo 2012). León Guanajuato México. Estudio de las propiedades luminiscentes de óxidos nanocristalinos dopados con Europio ( $Eu^{3+}$ ), Terbio ( $Tb^{3+}$ ) y Tulio ( $Tm^{3+}$ ). Centro de investigaciones en óptica A.C. Capítulo 1, Página 15.
- 1.3.- María del Mar Santamaría Solbes. (5 de julio 2010). Universidad de Alicante. Calibración de un espectrofluorímetro multi-funcional para la medida y evaluación (visual) de colores fluorescentes.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



1.4. V. Correcher. Javier García Guinea. (Noviembre 2015). Técnicas luminiscentes. Capítulo 4.

1.5.- M. en C. Víctor Hugo Romero Arellano. (9 de marzo 2012). León Guanajuato México. Estudio de las propiedades luminiscentes de óxidos nanocristalinos dopados con Europio ( $Eu^{3+}$ ), Terbio ( $Tb^{3+}$ ) y Tulio ( $Tm^{3+}$ ). Centro de investigaciones en óptica A.C.

1.6.- Nátaly Luz Abellán. (Enero del 2013). Estudio de la Quimioluminiscencia y Bioluminiscencia; y el vínculo que poseen con el ser humano. Universidad de Cuenca Escuela de Medicina Ciclo de Nivelación.

1.7.- Diana Guadalupe López Torres. (22 de junio del 2009). Elaboración de polvos vitroceramicos de ( $Y_2O_3:Eu^{3+} / SiO_2$ ). Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada unidad Altamira. Instituto Politécnico Nacional.

## **Capítulo 2:**

2.1.- El modelo atómico de Bohr: a 100 años de una teoría revolucionaria. Consultado el 10 de Octubre del 2016.

2.2.- Lic. María Irene Vera (2010). Unidad IV: Enlaces Químicos. QUÍMICA GENERAL. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura Universidad Nacional del Nordeste.

2.3.- Química Curso. Enlace Iónico. Consultado el 17 de Octubre de 2016.

2.4. - Emaze. Amazing presentation. Consultado el 17 de Octubre de 2016.

2.5.- Estructura del átomo y enlaces. Consultado el 17 de Octubre del 2016.

2.6.- Formación de enlaces covalentes. Pre-conocimiento. Consultado el 17 de Octubre del 2016.

2.7.- Tipos de enlaces químicos. 2016. Consultado el 17 de octubre del 2016.

2.8.- Mónica González. 4 de junio el 2010. Enlace covalente coordinado. La guía. Consultado el 17 de Octubre del 2016.

2.9.- ¿Qué tipo de enlace se produce cuando no existe gran diferencia de electronegatividad entre los átomos que se enlazan? Química. Enlaces covalentes. Consultado el 17 de Octubre del 2016.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- 2.10.- Estanislao Ramírez Ruiz. Instituto Politécnico Nacional. Centro de estudios científicos y tecnológicos No. 3. Consultado el 17 de Octubre del 2016.
- 2.11.- Morris Hein. (1992). Química. Estados Unidos de Norteamérica. Books/Cole Publishing Company. Capítulo 12 Enlaces químicos: Formación de compuestos a partir de átomos. Página 263.
- 2.12.- John R. Holum. (2009). Fundamentos de química general orgánica y bioquímica para ciencias de salud. Limusa Wiley. Capítulo 4 Compuestos químicos y enlaces químicos. Página 123.
- 2.13.- Dr. Edgar Vazquez Contreras. (14 de Octubre de 2003) Los puentes de hidrógeno. Bioquímica y biología molecular en línea. Instituto de química, UNAM. Consultado el 17 de Octubre del 2016.
- 2.14.- Hidrogeno. Enlace o “puente” de hidrógeno. Consultado el 17 de Octubre del 2016.
- 2.15.- Duvan y Neiffer Química Col: San José. (Martes 16 de abril de 2013). Fuerzas intermoleculares. Consultado el 17 de Octubre del 2016. [duvanneifferquimica.blogspot.mx/2013\\_04:\\_01\\_archive.html](http://duvanneifferquimica.blogspot.mx/2013_04:_01_archive.html)
- 2.16.- Miguel Ángel Agüero Salas. SlidePlayer. Consultado el 24 de Octubre del 2016.
- 2.17.- SISTEMAS CRISTALINOS Y REDES DE BRAVAIS. Consultado el 24 de Octubre del 2016.
- 2.18.- Actividades Estructura de los sólidos. Consultado el 24 de Octubre del 2016.
- 2.19.- Juan José Sáenz. (2016). Nanociencia y Nanotecnología I. El lento despertar de la Nanotecnología en España. 34(I).
- 2.20.- Ricardo Molins. (2008). Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alientos, la agricultura y el ambiente. Innovación y tecnología.
- 2.21.- Euroresidentes Pasión por la vida. Nanotecnología, ¿Qué es la nanotecnología? Consultado el 24 de Octubre del 2016.
- 2.22.- Andrés Carmona. (28 de Enero del 2012). Calcificación de nanotecnología. Nano Tecnología. Consultado el 24 de Octubre del 2016.





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



2.23.- ¿Qué es un nanomaterial? Preguntas y respuestas sobre química. Clickmica. Consultado el 24 de Octubre del 2016.

2.24.- Laureano Cornejo. (2015). Clasificación de los nano materiales. Nuevas Tecnologías y materiales. Consultado el 24 de Octubre del 2016. 2.25.- Rodolfo Zanella. Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. Consultado el 31 de Octubre del 2016.

2.26.- Dra. Antonia Martínez Lúevanos. (2011). Facultad de ciencias Químicas Saltillo, Coahuila México. Cienciacierta.uadec.mx. Biomateriales Híbridos mediante el proceso sol-gel. Consultado el 31 de octubre del 2016.

2.27.- O. Sánchez Garrido. SPUTTERING. Consultado el 31 de Octubre de 2016.

2.28. - Farotex. Technology. A brief explanation of how magnetron sputtering works. Consultado el 31 de Octubre de 2016.

2.29.- Course\_default. Open Course Ware Universidad de Sevilla. Operaciones básicas / Tema 10. Evaporación. EVAPORACIÓN EN EFECTO SIMPLE Y MÚLTIPLE. Consultado el 31 de Octubre de 2016.

2.30.- UNIVERSIDAD LIBRE BARRANQUILLA. PROCESOS INDUSTRIALES. EVAPORACIÓN. Consultado el 31 de Octubre de 2016.

2.31- Luis Guillermo Venegas Pineda. Instituto Politécnico Nacional, UPIITA – IPN. Boletín UPIITA. El camino de la innovación educativa. Deposición por rocío pirolítico (SPRAY PIROLISIS DEPOSITION). Consultado el 31 de Octubre de 2016.

2.32. - Bailey M.P., Rocks B.F., Riley C., (1984), “Terbium chelate for use as a label in fluorescent immunoassays”, analyst, vol. 109, 1449-1450.

2.33.- Allieri B., Depero L., Marino A., Sangaletti L., Caporaso L., Spheghini A., Bettinelli M., (2000), “Growth and Microstructural analysis of nanosized  $Y_2O_3$  doped with rare earths”, Materials Chemistry and Physics, vol 68, 164-171.

2.34. - Goldburt E.T., Kulkarni B., Bhargava R., Taylor J., Libera M., (1997), “Size dependent efficient in Tn dopped  $Y_2O_3$  nanocrystalline phosphor”, Journal of Luminiscence, 190, 72-74.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



2.35.- Nikifor Rakov A., Glauco S. Maciel, (2013), “Comparative study of  $Er^{3+}$  and  $Tm^{3+}$  co-doped YOF and  $Y_2O_3$  powder as red spectrally pure up converters”, *Óptica Materiales*, Vol 35, 2372-2375.

2.36. - Igarashi T, Ihara M. Kusunpoki T., Ohno K., Isobe T., Senna M., (2000), “Relationship between optical properties and cristallinity of nanometer  $Y_2O_3: EuY_2O_3$ : Eu phosphor”, *Applied Physics Letters*, vol 76, 1549.

### **Capítulo 3:**

3.1.- Lic. María Irene Vera (2007). *Química general. Unidad VI: Estado Sólido Estado Líquido.*

3.2.- Martín E. Reyes Melo, Moisés Hinojosa Rivera. *Estructuras de sólidos amorfos.*

3.3.- Laboratorio de microscopias avanzadas. Espectrómetro de fotoelectrones de rayos-X (XPS-AES) modelo Kratos AXIS UltraDLD. Consultado el 03 de Enero el 2017.

3.4.- María Luisa Castro de Esparza, Martha I. Litter, María Wong, Vilma Mori. *Capítulo 3. Métodos espectrofotométricos UV-Vis.*

3.5.- *Capítulo 2. Técnicas de depósito y caracterización de películas delgadas*

3.6.- A. Polian y J. P. Itié. *Physique des Milieux Condensés*, U. R. A. 782, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France. Centro de Estudios Avanzados en Óptica, Facultad de Ciencias, Departamento de Física Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. *La espectroscopía de absorción de rayos X en alta presión. Revista Mexicana de Física 44 suplemento 3, 107-110. Recibido el 10 de 1998; aceptado el 14 de enero de 1998.*

3.7.- Laura Natalia Serkovic Loli (Marzo de 2010). *Estudio de películas ultra delgadas de moléculas orgánicas e inorgánicas: adsorción, estabilidad térmica, poder de frenado e intercambio de carga. Instituto Balseiro. Centro Atómico Bariloche. Universidad Nacional de Cuyo. Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina.*

3.8.- *Técnicas de caracterización. Consultado el 3 de diciembre de 2017.*

3.9.- Francisco Javier González Benito. *Caracterización de Materiales y Defectos. Introducción a las técnicas de caracterización. Consultado el 10 de diciembre de 2016.*



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



3.10.- Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Digital Universitaria ISSN: 1607-6079/Publicación mensual. Yolanda Vargas, Adolfo Eduardo Obaya Valdivia, Guadalupe Iveth Vargas Rodríguez, Virginia Gómez-Vidales, José Álvaro Chávez Carvayar, Arturo García Borquez. Introducción a la caracterización de materiales, nanomateriales y catalizadores. Consultado el 14 de diciembre de 2016.

3.11.- El curso de ciencia de los materiales. Determinación de las estructuras cristalinas. Consultado el 14 de diciembre de 2016.

3.12.- Métodos de caracterización de nanomateriales. Consultado el 12 de diciembre de 2017.

3.13.- Materiales inteligentes. Productos Fotoluminiscentes. Introducción a la fotoluminiscencia. Consultado el 15 de diciembre.

3.14.- Tema 3. Aplicaciones y criterios de uso de la espectroscopia de absorción molecular. Espectrofotometría UV-visible. Consultado el 15 de diciembre de 2017.

3.15. - Wilk, Wallace & Anthony, J. Appl. Phys. Vol. 89, No. 10, 2001

3.16.- A. Deshpande, et al. J. Appl. Phys. 99, 094102 (2006).

3.17. - 1144. X. Wang, et al. Inorganic Chemistry, Vol. 44, No. 20, 7189-7193 (2005).

3.18. - 1155. J. Wang et al, J. Mater. Sci. 27 (19 92) 5397

3.19.- Ampliación de química inorgánica. Parte II: Técnicas estructurales, 5° curso 2004/2005. Tema 14. Microscopia electrónica. Consultado el 20 de enero de 2017.

3.20.- V. Correcher, Utilización de la termoluminiscencia de materiales naturales y cerámicos en dosimetría post-accidental, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2003.

3.21.- SEM Microcharacterization of Semiconductors, D.B. Holt y D. C. Joy (editores), Academic Press, USA, 1989.

3.22. - Isoya, J, Weil, JA, Halliburton, LE. Electron-paramagnetic-res and abinitio scf-mo studies of the si-h-si system in the e'4 center of alpha-quartz. J. Chem. Phys. 74(10), 5436-544, 1981.

3.23.- Anabel Peláez Rodríguez. Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación de ciencias aplicada y tecnología avanzada. Unidad Legaria. Síntesis y caracterización de películas luminiscentes de óxido de hafnio impurificado con disprosio ( $HfO_2:Dy^{3+}$ ). México D.F. 2010.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



#### **Capítulo 4:**

4.1.- Capítulo 2. Técnicas de depósito y caracterización de películas delgadas. Consultado el 31 de Enero del 2017.

4.2.- Anabel Peláez Rodríguez. Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación de ciencias aplicada y tecnología avanzada. Unidad Legaria. Síntesis y caracterización de películas luminiscentes de óxido de hafnio impurificado con disprosio ( $HfO_2:Dy^{3+}$ ). México D.F. 2010.

#### **Capítulo 5:**

5.1.- Anabel Peláez Rodríguez. Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación de ciencias aplicada y tecnología avanzada. Unidad Legaria. Síntesis y caracterización de películas luminiscentes de óxido de hafnio impurificado con disprosio ( $HfO_2:Dy^{3+}$ ). México D.F. 2010.

#### **Bibliografía de las hojas de seguridad:**

7.1.- Ficha de datos de seguridad. Fichas internacionales de seguridad química. Consultado el 22 de marzo del 2017.

7.2.- Ficha de datos de seguridad. Helping make products Better. Consultado el 22 de marzo del 2017.

7.3.- Ficha de datos de seguridad. Grupo transmerquim. Consultado el 22 de marzo del 2017.

7.4.- Ficha de datos de seguridad. Consultado el 19 de marzo del 2017.

7.5.- Ficha de datos de seguridad. Indorama. Consultado el 19 de marzo del 2017.

7.6.- Ficha de datos de seguridad. Polioles. Consultado el 20 de marzo del 2017.

7.7.- Ficha de datos de seguridad. Techno. Consultado el 20 de marzo del 2017.

7.8.- Ficha de datos de seguridad. GF Healthcare. Consultado el 19 de marzo del 2017.

7.9.- Ficha de datos de seguridad. Alfa Aesar. Consultado el 19 de marzo de 2017.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



- 7.10.- Ficha de datos de seguridad. Roth. Consultado el 19 de marzo del 2017.
- 7.11.- Ficha de datos de seguridad. Carl Roth GmbH. Consultado el 1 de abril del 2017.
- 7.12.- Ficha de datos de seguridad. Alfa Aesar. Consultado el 1 de abril del 2017.
- 7.13.- Ficha de datos de seguridad. SIGMA-ALDRICH. Consultado el 2 de abril del 2017.
- 7.14.- Ficha de datos de seguridad. Songhan, Plastic technology Co., Ltd. Consultado el 2 de abril de 2017.
- 7.15.-Ficha de datos de seguridad. Sigma-aldrich a part of merck. Consultado el 2.
- 7.16.- Ficha de datos de seguridad. MERCK. Consultado el 4 de abril del 2017.
- 7.17.- Ficha de datos de seguridad. CTR Scientific. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.18.- Ficha de datos de seguridad. GTM grupo transmerquim. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.19.- Ficha de datos de seguridad. Control técnico y representaciones, S.A. DE C.V. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.20.- Ficha de datos de seguridad. Laboratorios químicos ARVI S.A. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.21.- Ficha de datos de seguridad. Reactivos química Meyer. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.22.- Ficha de datos de seguridad. Corporación química Venezolana Corquiven. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.23.- Ficha de datos de seguridad. Pontificia Universidad Javeriana. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.24.- Ficha de datos de seguridad. CTR Scientific. Consultado el 9 de abril del 2017.
- 7.25.- Ficha de datos de seguridad. GTM grupo Transmerquim. Consultado el 10 de abril del 2017.
- 7.26.- Ficha de datos de seguridad. Dorwil química analítica. Consultado el 10 de abril del 2017.
- 7.27.- Ficha de datos de seguridad. Pemex. Consultado el 10 de abril del 2017.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



7.28.- Ficha de datos de seguridad. Corporación química venezolana Corquiven, C.A. Consultado el 10 de abril del 2017.

7.29.- Ficha de datos de seguridad. CTR Scientific. Consultado el 10 de abril del 2017.



## ANEXOS:

### Hoja de seguridad del DMF.

#### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	N, N-Dimetilformamida.
<b>Número CAS:</b>	68-12-2
<b>Sinónimos:</b>	N-Formildimetilamina, N-N, dimetilformaldehido.

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido.
<b>Olor:</b>	Ligero olor propio, similar a amina.
<b>Color:</b>	Incoloro.
<b>Solubilidad en agua:</b>	20 °C miscible.
<b>Punto de autoignición:</b>	445 °C
<b>Punto de Ebullición (°C):</b>	152 - 153 °C (DIN 53171).
<b>Punto de Fusión (°C):</b>	-61 °C.
<b>pH:</b>	7 (200 g/l, 20 °C).
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>):</b>	0.94 g/cm <sup>3</sup> (20 °C).
<b>Presión de vapor:</b>	3.77 mbar (20 °C).
<b>Viscosidad, dinámica:</b>	0.86 mPa*s (20 °C).

#### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda.	
<b>Oral:</b>	DL50/rata: 3,040 mg/kg
<b>Inhalación:</b>	CL50/rata: > 5.9 mg/l / 4 h.
<b>Dérmica:</b>	DL50/conejo: > 3,160 mg/kg.
<b>Irritación de la piel:</b>	Conejo: no irritante (test BASF).
<b>Irritación de los ojos:</b>	Conejo: Irritante. (test BASF).
Toxicidad crónica.	
<b>Toxicidad para el desarrollo/teratogenidad:</b>	Tras la ingesta en grandes cantidades la sustancia provoca, en experimentación animal, deformaciones. Con agentes nitrogenados (por ej. nitritos, nitratos) pueden formarse



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>Otras informaciones:</b>	nitrosaminas, bajo condiciones especiales. Las nitrosaminas presentan en experimentación animal efectos cancerígenos. La sustancia dimetilformamida se absorbe fácilmente por la piel y puede aumentar al mismo tiempo la toxicidad de los agentes químicos.
-----------------------------	--

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

<b>Manejo:</b>	<p><b>Indicaciones generales:</b> Mantener el almacén y el lugar de trabajo con una buena aireación/ventilación.</p> <p>Procurar buena ventilación también a ras de suelo (los vapores son más pesados que el aire). Evitar el contacto con la piel, ojos, vestimenta. Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lleve la indumentaria y el equipo de protección personal adecuados.</p> <p><b>Protección contra incendio/explosión:</b> Evitar la acumulación de cargas electrostáticas. Mantener alejado de fuentes de ignición. Extintor accesible.</p> <p>Evitar la acumulación de cargas electrostáticas. Mantener alejado de fuentes de ignición. Extintor accesible. El producto es combustible. Los vapores son más pesados que el aire, se puede acumular en zonas bajas y sobrepasar una distancia considerable hasta alcanzar una fuente de ignición.</p>
<b>Almacenamiento:</b>	<b>Indicaciones generales:</b> Evitar todas





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dopada con europio (Eu<sup>3+</sup>) en películas de PET y PS.**



las fuentes de ignición: calor, chispas, llama abierta. Consérvase el recipiente en lugar fresco y ventilado y manténgase bien cerrado.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

**DOT.**

<b>Descripción para el envío:</b>	UN2265, N, N-Dimetilformamida, 3, PG III, RQ.
<b>Clase de peligro:</b>	3.
<b>No, UN:</b>	UN2265
<b>Grupo de embalaje:</b>	III
<b>Cantidad Reportable (RQ):</b>	45 kg.
<b>Contaminante marino no:</b>	No.
<b>Etiquetado:</b>	Líquido inflamable.

**IMDG/IMO.**

<b>Descripción para el envío:</b>	UN2265, N, N-Dimetilformamida, 3, PG III, RQ.
<b>Clase de peligro:</b>	3.
<b>No, UN:</b>	UN2265
<b>Grupo de embalaje:</b>	III
<b>Cantidad Reportable (RQ):</b>	45 kg.
<b>Contaminante marino no:</b>	No.
<b>Etiquetado:</b>	Líquido inflamable.

**IATA.**

<b>Descripción para el envío:</b>	UN2265, N, N-Dimetilformamida, 3, PG III, RQ.
<b>Clase de peligro:</b>	3.
<b>No, UN:</b>	UN2265
<b>Grupo de embalaje:</b>	III
<b>Cantidad Reportable (RQ):</b>	45 kg.
<b>Contaminante marino no:</b>	No.
<b>Etiquetado:</b>	Líquido inflamable.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

**Inventarios Internacionales.**

<b>Todos los componentes del</b>	U.S.A. (TSCA), Europa (EINECS/ELINCS/NLP), Canadá (DSL/NDL), Japón (ENCS), Japón,
----------------------------------	---



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>producto se encuentran en las siguientes listas de inventario:</b>	Bioacumulador (MITI), Australia (AICS), Las Filipinas (PICCS), China (IECSC), Corea (KECL), Nueva Zelanda (NZloC).
<b>Clasificación de peligro según OSHA::</b>	Este material está clasificado como peligroso según la regulación federal de OSHA: Irritante, Tóxico, Efectos sobre los Órganos de Destino, Líquido Combustible.
<b>Categorización como peligroso según SARA 311/312:</b>	Peligro Agudo para la Salud, Peligro Crónico para la Salud, Peligro de Incendio.
<b>Información de la sección 313 del título III de la ley SARA:</b>	Sección 313 del Título III de la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo de 1986 (SARA). Este producto contiene una sustancia o unas sustancias químicas que están sujetas a los requisitos de informe de la Ley y del Título 40 del Código de Reglamentos Federales, Parte 372.

Referencias de la hoja de seguridad del DMF [7.1, 7.2, 7.3].



## Hoja de seguridad del PET.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Tereftalato de Polietileno.
<b>Número CAS:</b>	24938-04-3
<b>Sinónimos:</b>	PET; POLIESTER; RESINA PET PARA BOTELLA; COPOLIMERO PET

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Sólido.
<b>Olor:</b>	De leve a ninguno.
<b>Color:</b>	En base a la especificación.
<b>Temperatura de auto ignición:</b>	Indeterminado.
<b>Punto de ebullición:</b>	Indeterminado.
<b>Temperatura de descomposición:</b>	> 300 °C.
<b>Índice de evaporación:</b>	No disponible.
<b>Límites de inflamabilidad en aire (superior, % volumen):</b>	Indeterminado.
<b>Límites de inflamabilidad en aire (inferior, %volumen):</b>	Indeterminado.
<b>Punto de inflamación:</b>	> 300 °C.
<b>Punto de congelación:</b>	Indeterminado.
<b>Punto de fusión:</b>	> 200 °C.
<b>Coef. Octanol / H<sub>2</sub>O:</b>	Indeterminado.
<b>pH:</b>	Indeterminado.
<b>Solubilidad (H<sub>2</sub>O):</b>	Insoluble.
<b>Peso específico:</b>	> 1.
<b>Densidad de vapor:</b>	Indeterminado.
<b>Presión de vapor:</b>	Indeterminado.
<b>Viscosidad:</b>	0.45 - 1 dl/g.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Debido al elevado peso molecular de este material, y a los resultados de los estudios de toxicidad de productos similares, este material se considera de poca o nula importancia toxicológica.</b>	
<b>Efectos graves:</b>	DL50/oral/rata $m > 3,200$ mg/kg para una sustancia representativa.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



	DL50/dérmica/cobayos $m > 1,000$ mg/kg para una sustancia representativa.
<b>Efectos crónicos:</b>	El PET suministrado a ratas durante 90 días, al 10% en la dieta, no demostró ningún nivel de toxicidad discernible.
<b>Análisis de los componentes - LD50:</b>	Fundir polímeros o secarlos prolongadamente con aire a temperaturas superiores a los $195^\circ C$ liberara pequeñas cantidades de acetaldehído (CAS# 75-07-0).
<b>Carcinógeno:</b>	No existe información.
<b>Mutagenicidad:</b>	No es mutagénico en la prueba de AMES.
<b>Sensibilización:</b>	No se obtiene sensibilización de la piel en pruebas en conejillos de indias.
<b>Contacto con los ojos:</b>	Se observó una leve irritación ocular en conejos. Irritación que puede estar provocada por una exposición excesiva a entornos polvorientos o a partículas de polvo, se considera que sucede a partir de un proceso mecánico similar al causado por pequeños cuerpos extraños.
<b>Contacto con la piel:</b>	Las pruebas en animales indican que este material provoca una leve irritación cutánea por oclusión en cobayas. Se espera que se deba al frotamiento mecánico durante la oclusión.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

<b>Manejo:</b>	Los supersacos deben ser manipulados con camiones adecuados o contenedores. Adicionalmente, para su adecuada manipulación se requiere de montacargas. Para su traslado, deben ser manipuladas de las orejas o
----------------	---



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



	<p>con la estiba. No trate de descargar el material por la parte inferior de los supersacos, abriéndolos cuando estos estén izados; en el caso que procedimientos similares sean requeridos, se deben adecuar medidas de protección necesarias.</p>
<p><b>Almacenamiento:</b></p>	<p>Se debe almacenar en un lugar seco, fresco y protegido del sol. Requiere sistema de ventilación. El piso debe ser nivelado y firme.</p> <p>El arrume debe hacerse colocando los supersacos de los dos primeros niveles uno sobre otro, y el supersaco del tercer nivel apoyado sobre los dos supersacos del segundo nivel.</p> <p>Deje pasillos libres (de al menos 2.8 m) entre grupos de supersacos para el paso del montacargas o equipo contra incendios y un espacio libre de al menos 0.5 m entre sacos y cualquier rociador.</p> <p>Las personas no deben escalar los arrumes.</p>

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<p><b>Requerimientos del Departamento de Transporte (DOT):</b></p>	<p>No está clasificado como producto peligroso.</p>
<p><b>IMDG:</b></p>	<p>No está clasificado como producto peligroso.</p>
<p><b>IATA:</b></p>	<p>No está clasificado como producto peligroso.</p>

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

**Ley de Enmiendas y Reautorizaciones Superiores (Superfund) de 1986 (en**



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>inglés, SARA)</b>	
<b>Categorías de peligro:</b>	Peligro Inmediato: - No Peligro Retrasado: - No Peligro de Incendio – No Peligro de Presión: - No Peligro de Reactividad - No
<b>Sustancia extremadamente peligrosa de la Sección 302:</b>	No.

Referencias de la hoja de seguridad del PET [7.4, 7.5].



## Hoja de seguridad del PS.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Poliestireno
<b>Número CAS:</b>	9003-53-6
<b>Sinónimos:</b>	Poliestireno Expandible

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Temperatura de Ebullición:</b>	No Disponible.
<b>Temperatura de Fusión:</b>	> 71 °C.
<b>Temperatura de Inflamación:</b>	79.4 – 85 °C.
<b>Temperatura de Auto ignición:</b>	No Disponible.
<b>Densidad:</b>	1.02 – 1.05 g/cm <sup>3</sup> .
<b>pH:</b>	7
<b>Peso molecular:</b>	No Disponible.
<b>Estado Físico:</b>	Perlas (esferas).
<b>Color:</b>	Blanco.
<b>Olor:</b>	Característico a pentano.
<b>Velocidad de evaporación:</b>	No Disponible.
<b>Solubilidad en agua:</b>	Insoluble. El material es soluble en hidrocarburos aromático, solventes orgánicos y cetonas.
<b>Presión de vapor:</b>	No Disponible.
<b>Porcentaje de volatilidad:</b>	No Disponible.
<b>Límites de inflamabilidad o explosividad:</b>	<b>Inferior:</b> 1.4 %(V), bajo <b>Superior:</b> 8.5 %(V), alto

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>En caso de ingestión:</b>	Este producto puede causar disturbios gastrointestinales en grandes cantidades.
<b>En caso de Inhalación:</b>	No es irritante. Puede causar irritación solo en grandes cantidades.
<b>En caso de contacto:</b>	Al contacto con el material fundido pueda causar quemaduras. La exposición prolongada al producto puede causar irritación al contacto con la piel. En condiciones normales de



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dopada con europio (Eu<sup>3+</sup>) en películas de PET y PS.**



	manejo no es irritante por contacto con los ojos y la piel.
<b>Sustancia química considerada como:</b>	<b>Cancerígena:</b> No. <b>Mutagénica:</b> No. <b>Teratogénica:</b> No. <b>Otras (especificar):</b> No Disponible.
<b>Información Complementaria (CL<sub>50</sub>, DL<sub>50</sub> Etc.):</b>	No Disponible.
<b>Otros riesgos o efectos a la salud:</b>	No se conocen efectos asociados con este material.
<b>Antídotos:</b>	No Disponible.
<b>Otra información importante:</b>	No Disponible.
<b>Emergencia y primeros auxilios Medidas precautorias en caso de:</b>	
<b>Ingestión:</b>	Si se ingiere, inmediatamente lavar la boca y dar a beber abundante agua. Nunca dar líquidos o inducir vómito si la víctima esta inconsciente o tiene convulsiones. Consiga atención médica de inmediato.
<b>Inhalación:</b>	Mueva a la víctima al aire fresco. Dar respiración artificial si es necesario y obtener atención medica de inmediato.
<b>Contacto:</b>	<b>Piel:</b> Lave las áreas afectadas con agua y jabón. Remover y lavar la ropa contaminada antes de volver a usarla. Si se desarrolla una irritación, obtener atención médica. <b>Ojos:</b> Enjuagar los ojos inmediatamente con agua corriente durante 15 minutos, retrayendo los párpados frecuentemente.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

<b>Manejo:</b>	Usar únicamente equipo de transferencia y herramientas que no produzcan chispas Todos los equipos de manejos de materiales deberá estar aterrizados eléctricamente para minimizar una posible ignición debido a
----------------	---





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



	<p>la electricidad estática. Mantener una humedad relativa del 40% para minimizar la acumulación de estática. Usar gafas de protección, guantes de cuero, ropa de protección química y zapatos de seguridad. Lavarse totalmente después de su manejo.</p> <p><b>Nota:</b> Para zonas donde se pueda genere estática en el ambiente utilizar ropa de protección antiestática y zapato antiestático.</p>
<p><b>Almacenamiento:</b></p>	<p>Almacenar en contenedores totalmente cerrados en un lugar fresco y seco. Evitar el calor excesivo y cualquier fuente de ignición y descarga estática así como también, el contacto con sustancias incompatibles tales como agentes oxidantes fuertes. Ventilación: Instalación Extractora.</p> <p>El producto puede generar carga estática durante su manejo, por lo tanto tomar precauciones contra descargas estáticas. Utilizar herramienta anti-chispa para su manejo. Los contenedores deben ser abiertos con cuidado en área ventiladas evitando cargas estáticas. Evitar la formación y respiración de polvos. No permitir fumar en el área. Mantener aire en circulación y ventilación a una velocidad mínima de seis volúmenes de aire por hora para prevenir la formación de concentraciones inflamables. Los equipos deben estar aterrizados adecuadamente para evitar descargas electrostáticas.</p>



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<b>Reglamento SCT:</b>	Misceláneos (Perla de Poliestireno Expandido).
<b>NOM-004-SCT-1994:</b>	Clase 9.
<b>Recomendaciones de la ONU para transporte:</b>	2211
<b>Guía Norteamericana de Respuesta en caso de emergencia:</b>	133
<p><b>El Poliestireno expandible, contiene pentano El cual transpira (pierde) generando gases inflamables Por lo tanto se deben seguir las siguientes reglas antes y durante el manejo y descarga: Evite la radiación solar directa.</b></p>	
<b>Evite fuentes de ignición cercanas tales como:</b>	<p>La generación de fuego, fuentes de luz abiertas. Fumar, soldar. Generación de chispas mediante el uso de herramientas. Manejar o introducir al contenedor superficies calientes que se encuentren a una temperatura de = 250°C.</p>

Para el manejo seguro y evitar los riesgos de explosión o fuego antes de realizar la descarga se recomienda ventilar el contenedor o caja durante una hora como mínimo.

**CAUTION:** UNSAFE TO LOAD  
DO NOT OPEN UNTIL THE CONTAINER IS COMPLETELY COOL TO THE TOUCH. DO NOT OPEN UNTIL THE CONTAINER IS COMPLETELY COOL TO THE TOUCH.

**PRECAUCIÓN:**  
NO ABRIRE HASTA QUE EL CONTENEDOR ESTE COMPLETAMENTE FRÍO AL TÁCTIL. NO ABRIRE HASTA QUE EL CONTENEDOR ESTE COMPLETAMENTE FRÍO AL TÁCTIL.

**NO SMOKING**  **NO FUMAR**

**NO FIRE/ NAKED LIGHT**  **NO FUEGO/ NO FUEGO ABIERTO**

**NO WELDING**  **NO SOLDAR**

**NO SPARKS FROM TOOLS**  **NO CHISPAS DE HERRAMIENTAS**

**BEFORE UNLOADING KEEP DOORS OPEN AND VENTILATE FOR 1 HOUR**  **ANTES DE DESCARGAR MANTENGA LAS PUERTAS ABIERTAS Y VENTILE POR 1 HORA**



*Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.*



**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

<b>Reglamento SCT:</b>	Misceláneos (Perla de Poliestireno Expandido).
<b>NOM-004-SCT-1994:</b>	Clase 9.
<b>Recomendaciones de la ONU para transporte:</b>	2211
<b>Guía Norteamericana de Respuesta en caso de emergencia:</b>	133

Referencias de la hoja de seguridad del PS [7.6, 7.7].



## Hoja de seguridad del $Y_2O_3$ .

### PRODUCTO

Nombre Químico:	Óxido de itrio (III)
Número CAS:	1314-36-9
Sinónimos:	Ninguno.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Aspecto:	Sólido (polvo).
Olor:	Inodoro.
Color:	Gris claro.
Solubilidad en agua a 29°C (g/l):	0.0018
Peso Molecular (g/mol):	225.81
Punto de Ebullición (°C):	4370
Punto de Fusión (°C):	2410
pH:	Información no disponible.
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ):	5.01

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

LD50 (oral, ratas):	>5000 mg/Kg
Irritación o corrosión:	Puede causar irritación.
Irritación de los ojos o la corrosión:	Provoca irritación ocular grave.
Sensibilización:	No se conoce ningún efecto.
Mutagenicidad en células germinales:	No hay efectos conocidos.
Toxicidad para la reproducción:	No hay efectos conocidos.
Peligro por aspiración:	No hay efectos conocidos.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

Manejo:	<u>Precauciones para una manipulación segura.</u> Manipular bajo gas protector seco. Mantener el depósito cerrado de forma estanca. Almacenar, en envases bien cerrados, en un ambiente seco y fresco.
---------	---



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dopada con europio (Eu<sup>3+</sup>) en películas de PET y PS.**



	<p>Asegurar suficiente ventilación /aspiración en el puesto de trabajo.  <u>Prevención de incendios y explosiones:</u> El producto no es inflamable.</p>
<p align="center"><b>Almacenamiento:</b></p>	<p><u>Exigencias con respecto al almacén y los recipientes:</u> No requiere medidas especiales.  <u>Normas en caso de un almacenamiento conjunto:</u>          Almacenarlo alejado del aire.          No depositar junto con ácidos.  <u>Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento:</u>          Almacenarlo bajo gas inerte seco.          Este producto es sensible al aire.          Mantener el recipiente cerrado herméticamente.          Almacenarlo en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco.</p>

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<p><b>Número ONU:</b></p>	<p>(no está sometido a las reglamentaciones de transporte)</p>
<p><b>Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:</b></p>	<p>No relevantes.</p>
<p><b>Clase(s) de peligro para el transporte:</b></p>	<p>No relevantes.</p>
<p><b>Grupo de embalaje:</b></p>	<p>No relevantes.</p>
<p><b>Peligros para el medio ambiente:</b></p>	<p>Ninguno (no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas).</p>
<p><b>Precauciones particulares para los usuarios:</b></p>	<p>No hay información adicional.</p>
<p><b>Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC:</b></p>	<p>El transporte a granel de la mercancía no está previsto.</p>

**Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones**



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**Unidas.**

<b>Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN):</b>	No está sometido al ADR, RID y al ADN.
<b>Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG):</b>	No está sometido al IMDG.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

**Reglamentación de la UE.**

**La clasificación y el etiquetado se han determinado según las Directivas de la UE 67/548/CEE y 1999/45/CE (incluidas las enmiendas) y tienen en cuenta el uso previsto del producto.**

<b>Frases de riesgo:</b>	Este producto no está clasificado de acuerdo con la legislación de la UE.
<b>Uso del producto:</b>	Aplicaciones industriales.
<b>Inventario de Europa:</b>	Todos los componentes están listados o son exentos.

**Otras regulaciones de la UE.**

<b>Frases de advertencia adicionales:</b>	Ficha de datos de seguridad a disposición del usuario profesional que lo solicite. Atención — este preparado contiene una sustancia que aún no ha sido totalmente probada.
---	--

Referencias de la hoja de seguridad del  $Y_2O_3$ . [7.8, 7.9, 7.10].



## Hoja de seguridad del $Eu_2 O_3$ .

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Oxido de europio(III)
<b>Número CAS:</b>	1308-96-9
<b>Sinónimos:</b>	Ninguno.

### PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Sólido.
<b>Olor:</b>	Inodoro.
<b>Color:</b>	Rosa.
<b>Punto de fusión:</b>	2.291 °C.
<b>Punto inicial de ebullición:</b>	4.118 °C.
<b>Densidad:</b>	7,42 g /cm <sup>3</sup> a 20 °C.
<b>Densidad de vapor:</b>	Esta información no está disponible.
<b>pH:</b>	Información no disponible.
<b>Peso molecular:</b>	351,9 g /mol.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>LD50 (oral, ratas):</b>	>5000 mg/kg
<b>Corrosión o irritación cutánea:</b>	No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.
<b>Lesiones oculares graves o irritación ocular:</b>	No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.
<b>Sensibilización respiratoria o cutánea:</b>	No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.
<b>Resumen de la evaluación de las propiedades CMR:</b>	No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción.
<b>Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única:</b>	No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).
<b>Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida:</b>	No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).
<b>Peligro por aspiración:</b>	No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.



*Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dopada con europio (Eu<sup>3+</sup>) en películas de PET y PS.*



**Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas.**

<b>En caso de ingestión:</b>	No se dispone de datos.
<b>En caso de contacto con los ojos:</b>	No se dispone de datos.
<b>En caso de inhalación:</b>	No se dispone de datos.
<b>En caso de contacto con la piel:</b>	No se dispone de datos.
<b>Otros datos:</b>	Ninguno.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

**Manejo**

<b>Precauciones para una manipulación segura:</b>	No son necesarias medidas especiales
<b>Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo:</b>	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

**Almacenamiento**

<b>Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades:</b>	Almacenar en un lugar seco.
<b>Sustancias o mezclas incompatibles:</b>	Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

**Atención a otras indicaciones**

<b>Requisitos de ventilación:</b>	Utilización de ventilación local y general.
<b>Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento:</b>	Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<b>Número ONU:</b>	No está sometido a las reglamentaciones de transporte.
<b>Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:</b>	No relevantes.
<b>Clase(s) de peligro para el transporte:</b>	No relevantes.
<b>Grupo de embalaje:</b>	No relevantes.
<b>Peligros para el medio ambiente:</b>	Ninguno (no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas).
<b>Precauciones particulares para los</b>	No hay información adicional.





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>usuarios:</b>	
<b>Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC:</b>	El transporte a granel de la mercancía no está previsto.
<b>Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas.</b>	
<b>Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN):</b>	No está sometido al ADR, RID y al ADN.
<b>Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG):</b>	No está sometido al IMDG.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

<b>Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla.</b>	
<b>Disposiciones pertinentes de la Unión Europea (UE).</b>	
<b>Reglamento 649/2012/UE relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (PIC):</b>	No incluido en la lista.
<b>Reglamento 1005/2009/CE sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO):</b>	No incluido en la lista.
<b>Reglamento 850/2004/CE sobre contaminantes orgánicos persistentes (POP):</b>	No incluido en la lista.
<b>Restricciones conforme a REACH:</b>	No incluido en la lista.
<b>Lista de sustancias sujetas a autorización (REACH):</b>	No incluido en la lista.
<b>Directiva 2011/65/UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS):</b>	No incluido en la lista.
<b>Reglamento 166/2006/CE relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes</b>	No incluido en la lista.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>(PRTR):</b> <b>Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas:</b>	No incluido en la lista.
<b>Catálogos nacionales:</b>	La sustancia es enumerada en los siguientes inventarios nacionales: <ul style="list-style-type: none"><li>• EINECS/ELINCS/NLP (Europa)</li></ul>
<b>Evaluación de la seguridad química:</b>	No se ha realizado una evaluación de la seguridad química de esta sustancia.

Referencias de la hoja de seguridad del  $Eu_2 O_3$ . [7.11, 7.12].



## Hoja de seguridad del $EuCl_3 \cdot 6H_2O$ .

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Cloruro de Europio (III) hexahidratado
<b>Número CAS:</b>	13759-92-7
<b>Sinónimos:</b>	Ninguno.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Cristalino.
<b>Olor:</b>	Inodoro.
<b>Color:</b>	Blanco.
<b>pH:</b>	N/A.
<b>Punto de inflamabilidad:</b>	N/A.
<b>Inflamabilidad:</b>	N/A.
<b>Densidad de vapor:</b>	N/A.
<b>Temperatura de ignición espontánea:</b>	N/A.
<b>Densidad:</b>	4.89 g/cm <sup>3</sup> .

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Signos y síntomas de exposición:</b>	A nuestro leal saber y entender, los productos químicos, físicos y toxicológicos no se han investigado a fondo.
---	---

#### Vía de exposición.

<b>Contacto con la piel:</b>	Puede causar irritación de la piel.
<b>Absorción de la piel:</b>	Puede ser dañino si se absorbe a través de la piel.
<b>Contacto con los ojos:</b>	Puede causar irritación ocular.
<b>Inhalación:</b>	El material puede irritar las membranas mucosas y tracto respiratorio superior. Puede ser dañino si es inhalado.
<b>Ingestión:</b>	Puede ser dañino si se ingiere.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

<b>Manejo.</b>	
	• Evite la inhalación.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>Instrucciones para una manipulación segura:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Evitar el contacto</li><li>• Con ojos, piel y ropa.</li><li>• Evite las repeticiones prolongadas o repetidas.</li></ul>
<b>Almacenamiento:</b>	
<b>Condiciones de almacenamiento:</b>	Manténgase bien cerrado.
<b>Requisitos especiales:</b>	Higroscópico.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<b>RID/ADR:</b>	No peligroso para el transporte por carretera.
<b>IMDG:</b>	No peligroso para el transporte marítimo.
<b>IATA:</b>	No peligroso para el transporte aéreo.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

**No peligroso según la Directiva 67/548 / CEE.**

Referencias de la hoja de seguridad del  $EuCl_3 \cdot 6H_2O$  [7.13, 7.14, 7.15].



## Hoja de seguridad del $Y(NO_3)_3 \cdot 6 H_2O$ .

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Nitrato de itrio (III) hexahidratado.
<b>Número CAS:</b>	13494-98-9.
<b>Sinónimos:</b>	Ninguno.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Sólido.
<b>Olor:</b>	Crema.
<b>Color:</b>	Inodoro.
<b>pH:</b>	Aproximadamente 3.5 a 50 g/l y 20 °C.
<b>Punto de fusión:</b>	No hay información disponible.
<b>Punto de ebullición:</b>	No hay información disponible.
<b>Punto de inflamación:</b>	No hay información disponible.
<b>Inflamabilidad (sólido, gas):</b>	No hay información disponible.
<b>Presión de vapor:</b>	No hay información disponible.
<b>Densidad relativa del vapor:</b>	No hay información disponible.
<b>Densidad relativa:</b>	1.1 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C.
<b>Solubilidad en agua:</b>	> 1.500 g/l a 20 °C.
<b>Temperatura de auto-inflamación:</b>	No hay información disponible.
<b>Temperatura de descomposición:</b>	392 °C.
<b>Viscosidad dinámica:</b>	No hay información disponible.
<b>Propiedades explosivas:</b>	No clasificado/a como explosivo/a.
<b>Propiedades comburentes:</b>	La sustancia o mezcla se clasifica como oxidante con la subcategoría 2.
<b>Densidad aparente:</b>	aprox.1.100 g/m <sup>3</sup> .

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Toxicidad oral aguda.</b>	
<b>DL50 rata:</b>	3.890 mg/kg (sustancia anhidra)
<b>Síntomas:</b>	Irritaciones de las mucosas en la boca, garganta, esófago y tracto estomago-intestinal., Náusea, Vómitos, Consecuencias posibles:, diarrea sangrienta

### Toxicidad aguda por inhalación.



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>Síntomas:</b>	Consecuencias posibles: irritación de las mucosas, bronquitis.
<b>Irritación de la piel:</b>	Resultado: Irritaciones (sustancia anhidra) (RTECS). Provoca irritación cutánea.
<b>Irritación ocular:</b>	Resultado: Fuerte irritación (sustancia anhidra) (RTECS). Provoca lesiones oculares graves.
<b>Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única:</b>	Puede irritar las vías respiratorias.
<b>Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas:</b>	La sustancia o mezcla no se clasifica como tóxica específica de órganos blanco, exposición repetida.
<b>Peligro de aspiración:</b>	Los datos disponibles no permiten efectuar una clasificación.
<b>Otros datos:</b>	Para nitritos/nitratos en general: methemoglobinemia tras absorción de grandes cantidades.  Otras indicaciones: Las otras propiedades peligrosas no pueden ser excluidas. Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

<b>Manejo.</b>	
<b>Precauciones para una manipulación segura:</b>	Observar las indicaciones de la etiqueta.
<b>Almacenamiento:</b>	
<b>Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades:</b>	Bien cerrado. Alejado de sustancias inflamables, de fuentes de ignición y de calor. Seco. Temperatura de almacenamiento: sin limitaciones.
<b>Usos específicos finales</b>	No se previenen aplicaciones finales



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



adicionales.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<b>ADR/RID:</b>	UN 1477 Nitratos inorgánicos, n.e.p., 5.1, II. Peligrosas ambientalmente: No.
<b>IATA:</b>	UN 1477 NITRATES, INORGANIC, N.O.S., 5.1, II. Peligroso para el medio ambiente: No.
<b>IMDG:</b>	UN 1477 NITRATES, INORGANIC, N.O.S., 5.1, II. EmS            F-A   S-Q  contaminante marino: No.

Las informaciones relativas al transporte ADR/RID, IATA - DGR, IMDG -Code se mencionan de acuerdo a la reglamentación internacional.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

<b>Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla.</b>	
<b>Legislación nacional:</b>	Clase de almacenamiento 5.1B.
<b>Evaluación de la seguridad química:</b>	Para éste producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

Referencias de la hoja de seguridad del Y ( $NO_3$ )<sub>3</sub> \* 6 H<sub>2</sub>O [7.16].



## Hoja de seguridad de la Acetona.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Acetona.
<b>Número CAS:</b>	67-64-1.
<b>Sinónimos:</b>	2-PROPANONA.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido.
<b>Olor:</b>	Picante, dulce y penetrante.
<b>Color:</b>	Incoloro.
<b>Punto de Ebullición:</b>	56.2 °C.
<b>Punto de Fusión:</b>	-95.3 °C.
<b>Inflamabilidad:</b>	17.8 °C.
<b>Autoinflamabilidad:</b>	537 °C.
<b>Límites de Inflamabilidad:</b>	Inferior: 2.6%. Superior: 12.8%
<b>Presión de Vapor:</b>	226.3 mmHg (a 25 °C).
<b>Densidad Relativa:</b>	0.791 gr/cc (a 20 °C).
<b>Densidad de los Vapores:</b>	2 (aire = 1).
<b>Solubilidad:</b>	Completa en agua en todas proporciones.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Efectos Cancerígenos:</b>	Ninguno de los componentes de este producto en concentraciones superiores al 0.1% ha sido declarado como cancerígeno por la ACGIH, ni la comisión europea. Clasificado como A4 (No puede ser clasificado para el hombre o los animales) según ACGIH (Propanona).
<b>Efectos Mutagénicos:</b>	Ninguno de los componentes de este producto a niveles superiores al 0.1% ha sido clasificado por los criterios





**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



	normativos establecidos como un mutágeno.
<b>Efectos Reproductores:</b>	Ninguno de los componentes de este producto a niveles superiores al 0.1% ha sido clasificado por los criterios normativos establecidos como una toxina reproductiva.
<b>Información Toxicológica:</b>	DL <sub>50</sub> : 1700 – 10700 Oral rata. DL <sub>50</sub> : > 15688 mg/7kg Dérmica conejo. CL <sub>50</sub> : > 6700 mg/l/4h Inhalación rata.
<b>Efectos Teratógenos y sobre el desarrollo:</b>	Ninguno de los componentes de este producto a niveles superiores al 0.1% ha sido clasificado por los criterios normativos establecidos como teratógeno o embriotoxico.

**MANEJO Y ALMACENAMIENTO.**

<b>Manipulación:</b>	La acetona es un líquido altamente inflamable y sus vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Alejar de toda fuente de ignición. Evitar el contacto con la piel pues pueden aparecer problemas de desengrasado que darían lugar a una menor defensa de la piel ante posibles infecciones. Durante su manejo utilizar ropa protectora adecuada (PVC o neopreno), así como gafas de seguridad. Es necesario mantener una buena ventilación en las áreas de trabajo, para mantener la concentración de vapor de acetona por debajo de su TLV.
<b>Almacenamiento:</b>	La acetona debe almacenarse en áreas clasificadas fuera del alcance de cualquier tipo de ignición y manejada con equipos antideflagrantes. Para almacenarla deben utilizarse recipientes libres de oxígeno. Evitar el



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



	contacto con materiales oxidantes, ácidos y cloroformo.
<b>Materiales adecuados:</b>	Tanques: Acero al carbono .Mangueras: Polipropileno. Juntas: Asbestos comprimidos, polipropileno Válvulas: Acero al carbono con elementos internos de acero inoxidable.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

<b>No. ONU :</b>	1090
<b>ADR :</b>	Clase 3, Etiqueta: 3, Grupo de embalaje: II. Nombre ADR: UN 1090 Acetona. No. TREMCARD – CEFIC: 30G30
<b>IMDG:</b>	No. ONU: 1090. Nombre adecuado: Acetona. Clase : 3. Grupo de envasado: II. Etiqueta: Inflamable.
<b>IATA:</b>	No. ONU: UN 1090. Nombre de envío: Acetona. Clase: 3. Grupo de envasado: II. Etiqueta: Inflamable.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

<b>México:</b>	NOM-018-STS-2000.
----------------	-------------------

Referencias de la hoja de seguridad del Acetona [7.17, 7.18].



## Hoja de seguridad del Agua Destilada.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Agua destilada.
<b>Número CAS:</b>	7732-18-5.
<b>Sinónimos:</b>	Oxido Dihidrogenado.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido.
<b>Olor:</b>	Inodoro.
<b>Color:</b>	Incoloro.
<b>Peso molecular:</b>	1802 g/mol
<b>Gravedad específica:</b>	0.9982 a 20 °C
<b>Solubilidad en agua y otros disolventes:</b>	No aplicable.
<b>Punto de fusión:</b>	0 °C.
<b>Punto de ebullición:</b>	100 °C.
<b>pH (Solución acuosa al 1%):</b>	4.5 - 8
<b>Estado de agregación a 25°C y 1 atm:</b>	Líquido.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Dosis letal media oral o dérmica (DL<sub>50</sub>):</b>	No disponible.
<b>Dosis letal media por inhalación (CL<sub>50</sub>):</b>	No disponible.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

<b>Temperatura almacenamiento:</b>	No se especifica.
<b>Condiciones almacenamiento:</b>	Mantener lejos de sustancias incompatibles como ácidos, álcalis y metales alcalinos o alcalinotérreos.
<b>Manipulación de recipientes:</b>	Deben manipularse con cuidado para evitar derrames.
<b>Efectos de la exposición a la luz del sol, calor, atmósferas húmedas, etc:</b>	No disponibles



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

El producto no es considerado como peligroso para el transporte.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

NFPA.	
Riesgo a la salud:	0
Riesgo de incendio:	0
Reactividad:	0

Referencias de la hoja de seguridad del Agua Destilada [7.19, 7.20, 7.21].



## Hoja de seguridad del Alcohol Etílico.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Alcohol etílico.
<b>Número CAS:</b>	64-17-5
<b>Sinónimos:</b>	Etanol, Alcohol anhidro, Metil carbinol, Alcohol Desnaturalizado.

### PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido.
<b>Olor:</b>	Inodoro.
<b>Color:</b>	Dulce, éter.
<b>Punto de fusión:</b>	-117 °C.
<b>Punto de ebullición:</b>	79 °C.
<b>Presión de vapor:</b>	59 mmHg a 20 °C.
<b>Densidad relativa al agua:</b>	0.7893.
<b>Solubilidad en agua:</b>	60% (% en peso).
<b>Límites de explosión:</b>	Inferior: 3.3. Superior: 19.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Toxicidad:</b>	DL <sub>50</sub> oral rata: 7060 mg/kg.
<b>Tras inhalación:</b>	Irritaciones en mucosas leves. Riesgo de absorción cutánea, Puede provocar náuseas, vómitos.
<b>Tras contacto con la piel:</b>	N.A.
<b>Tras contacto con los ojos:</b>	Irritaciones leves.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

<b>Almacenamiento:</b>	Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Depositar en contenedores herméticamente cerrados. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión.
------------------------	--



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



**Manipulación:**

Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto.  
Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo.  
Usar las menores cantidades posibles.  
Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias.  
Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto.  
Rotular los recipientes adecuadamente.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

Etiqueta roja de líquido inflamable. No transporte con sustancias explosivas, gases venenosos, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, radiactivas, ni sustancias con riesgo de incendio.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

Código Nacional de Tránsito Terrestre. Decreto 1344/70, modificado por la Ley 33/86. Artículo 48: Transportar carga sin las medidas de protección, higiene y seguridad. Artículo 49: Transportar materiales inflamables, explosivos o tóxicos al mismo tiempo que pasajeros o alimentos. Artículo 50: Transportar combustible o explosivos en forma insegura. Suspensión de la Licencia de Conducción.

2. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos

Referencias de la hoja de seguridad del Alcohol Etilico [7.22, 7.23, 7.24].



## Hoja de seguridad del Alcohol Isopropílico.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Alcohol Isopropílico.
<b>Número CAS:</b>	67-63-0.
<b>Sinónimos:</b>	IPA, Isopropanol, 2-Propanol, Dimetil Carbinol, Carbinol dimetílico.

### PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido.
<b>Olor:</b>	Característico agradable.
<b>Color:</b>	Incoloro.
<b>Gravedad Específica (Agua= 1):</b>	0.786 a 20°C
<b>Punto de Ebullición:</b>	82 °C.
<b>Punto de fusión:</b>	-82 a -89 °C.
<b>Densidad relativa del vapor (Aire=1):</b>	2.07
<b>Presión de vapor (mm Hg):</b>	33.0 a 20 °C
<b>Viscosidad (Cp):</b>	2.1
<b>Solubilidad:</b>	Soluble en alcohol, éter y cloroformo.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>Moderadamente tóxico por ingestión:</b>	Baja toxicidad por contacto. Se puede absorber a través de la piel.
<b>DL<sub>50</sub> (oral, ratas):</b>	5.84 g/kg.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

<b>Manejo:</b>	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de utilizar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Al transferirlo coloque polo a tierra en el envase.
----------------	---



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>Almacenamiento:</b>	Almacene en lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Almacenar en contenedores herméticamente cerrados.
------------------------	---

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

Etiqueta roja de líquido inflamable. No transportar con sustancias explosivas, gases venenosos, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, radiactivas, ni sustancias con riesgo de incendio.

UN:	1219.
-----	-------

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

<b>México:</b>	NOM-018-STS-2000.
----------------	-------------------

Referencias de la hoja de seguridad del Alcohol Isopropílico [7.25, 7.26, 7.27].





## Hoja de seguridad del Alcohol Metílico.

### PRODUCTO

<b>Nombre Químico:</b>	Alcohol metílico.
<b>Número CAS:</b>	67-56-1.
<b>Sinónimos:</b>	Alcohol metílico, Hidrato metílico, Monohidroximetano, Carbinol, Hidróxido Metílico, Metinol, Alcohol o Espíritu de Madera.

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

<b>Aspecto:</b>	Líquido claro.
<b>Olor:</b>	Picante característico.
<b>Color:</b>	Incoloro.
<b>Gravedad Específica (Agua=1):</b>	0.791 a 20 °C.
<b>Punto de Ebullición:</b>	-97.8 °C.
<b>Densidad Relativa del Vapor (Aire=1):</b>	1.10
<b>Presión de Vapor (mmHg):</b>	92.0 a 20°C.
<b>Viscosidad (Cp):</b>	0.56 a 20°C
<b>pH:</b>	Neutro.
<b>Solubilidad:</b>	Soluble en agua, acetona, etanol, benceno, cloroformo y éter.

### INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

<b>DL<sub>50</sub> (oral, ratas):</b>	7.5 g/kg.
<b>DL<sub>50</sub> (oral, ratones):</b>	870 mg/kg
<b>DL<sub>50</sub> (piel, ratas):</b>	Mayor de 20000 ml/kg.
<b>DL<sub>50</sub> (piel, conejos):</b>	20 g/kg.
<b>LC<sub>50</sub> (inhalación, ratas):</b>	64000 ppm (4 horas).
<b>LC<sub>50</sub> (inhalación, gato):</b>	Mayor de 33600 ppm (6 horas).

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

	Lugares ventilados, frescos y secos, a temperaturas inferiores a 30°C. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes
--	---



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



<b>Almacenamiento:</b>	adecuadamente. No fumar, ni exponer a los rayos solares. Conectar a tierra los contenedores para evitar descargas electrostáticas. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosión.
<b>Manipulación:</b>	Usar siempre protección personal total así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Usar herramientas que no produzcan chispas.

**INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE.**

Etiqueta roja de líquido inflamable. No transportar con sustancias clase explosivas, gases venenosos, sólidos de combustión espontánea, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, materiales radiactivos, sustancias con riesgo de incendio, ni alimentos.

**INFORMACIÓN REGLAMENTARÍA.**

1. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Decreto 1344/70, modificado por la Ley 33/86. Artículo 48: Transportar carga sin las medidas de protección, higiene y seguridad. Artículo 49: Transportar materiales inflamables, explosivos o tóxicos al mismo tiempo que pasajeros o alimentos. Artículo 50: Transportar combustible o explosivos en forma insegura. Suspensión de la Licencia de Conducción.

2. Ministerio de Justicia, Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución 0009 de Febrero 18/87. Artículo 20 de la ley 30 de 1986. Por la cual se reglamenta en



**Obtención del mayor porcentaje de eficiencia en la emisión de luz de la matriz de Óxido de Ytrio ( $Y_2O_3$ ) dopada con europio ( $Eu^{3+}$ ) en películas de PET y PS.**



el Territorio Nacional la importación, fabricación, distribución, transporte y uso de sustancias que pueden ser utilizadas para el procesamiento de drogas que producen dependencia.

3. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos.

**Referencias de la hoja de seguridad del Alcohol Metílico [7.28, 7.29]**