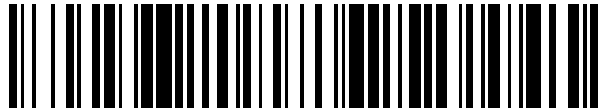


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 384**

51 Int. Cl.:

H01L 25/075 (2006.01)
F21K 99/00 (2010.01)
A01G 7/04 (2006.01)
H01L 33/30 (2010.01)
H05B 33/08 (2006.01)
H01L 33/50 (2010.01)
H01L 33/60 (2010.01)
F21Y 101/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2010 E 10774243 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015 EP 2478285**

54 Título: **Montaje de iluminación LED hortícola**

30 Prioridad:

18.09.2009 FI 20095967
18.09.2009 US 243613 P
09.06.2010 US 797215

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.06.2015

73 Titular/es:

VALOYA OY (100.0%)
Lauttasaarentie 54 A 3. krs
00200 Helsinki, FI

72 Inventor/es:

AIKALA, LARS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 537 384 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Montaje de iluminación LED hortícola

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere al uso de LED en aplicaciones de iluminación hortícola. En particular, la presente invención se refiere a un aparato de iluminación para facilitar el crecimiento de plantas que comprende al menos un Diodo de Emisión de Luz (LED) que tiene características espectrales que incluyen un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm. La presente invención se refiere también a componentes de emisión de luz novedosos que son particularmente adecuados para facilitar el crecimiento de plantas y que comprenden un chip semiconductor compuesto de emisión de luz.

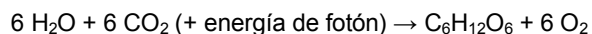
Descripción de la técnica relacionada

15 En la Tierra el sol es la fuente principal de radiación electromagnética visible (es decir, luz) e invisible y el principal factor responsable de la existencia de vida. La energía solar neta diaria promedio que alcanza la Tierra es aproximadamente 28×10^{23} J (es decir, 265 EBtu). Este valor es 5500 veces superior que el consumo de energía principal anual mundial, estimado en 2007, que es de 5×10^{20} J. La distribución espectral de la radiación del sol, como puede medirse en la superficie de la Tierra, tiene una banda de longitud de onda amplia de entre aproximadamente 300 nm y 1000 nm.

20 Sin embargo, únicamente el 50 % de la radiación que alcanza la superficie es radiación fotosintéticamente activa (PAR). La PAR, de acuerdo con las recomendaciones de la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) comprende la región de longitud de onda de entre 400 nm y 700 nm del espectro electromagnético. Las leyes de la fotoquímica pueden expresar en general la manera en la que las plantas recolectan radiación. El carácter dual de la radiación hace que se comporte como una onda electromagnética cuando se propaga en el espacio y como partículas (es decir, fotón o cuanto de energía radiante) cuando interactúa con la materia. Los fotorreceptores son los elementos activos que existen principalmente en las hojas de la planta responsables de la captura de fotones y de la conversión de su energía en energía química.

25 Debido a la naturaleza fotoquímica de la fotosíntesis, la tasa fotosintética, que representa la cantidad de la evolución de O_2 o la cantidad de fijación de CO_2 por unidad de tiempo, se correlaciona bien con el número de fotones que caen por unidad de área por segundo en una superficie foliar. Por lo tanto, las cantidades recomendadas para la PAR están basadas en el sistema cuántico y se expresan usando el número de moles (mol) o micromoles (μmol) de fotones. El término recomendado para informar y cuantificar mediciones instantáneas de PAR es la densidad de flujo de fotones fotosintético (PPFD), y se expresa típicamente en $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$. Esto proporciona el número de moles de fotones que caen en una superficie por unidad de área por unidad de tiempo. El término flujo de fotones fotosintético (PPF) se usa también frecuentemente para referirse a la misma cantidad.

35 Los fotorreceptores que existen en organismos vivos, tales como plantas, usan la energía radiante capturada para mediar procedimientos biológicos importantes. Esta mediación o interacción puede tener lugar de una diversidad de formas. La fotosíntesis junto con el fotoperiodismo, fototropismo y fotomorfogénesis, son los cuatro procedimientos representativos relacionados con la interacción entre radiación y plantas. La siguiente expresión muestra la ecuación química simplificada de la fotosíntesis:



40 Como se verá a partir de la ecuación, los carbohidratos, tales como glucosa de azúcar ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), y oxígeno (O_2), son los productos principales del procedimiento de la fotosíntesis. Estos se sintetizan a partir de dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) usando la energía de los fotones aprovechada usando fotorreceptores especializados, tales como clorofilas y convirtiéndola en energía química.

45 A través de la fotosíntesis, la energía radiante se usa también como la fuente principal de energía química, que es importante para el crecimiento y desarrollo de plantas. Naturalmente, el equilibrio de los reactivos de entrada - salida de la ecuación es dependiente también de la cantidad (es decir, número de fotones) y de la calidad (es decir, energía de los fotones) de la energía radiante y, en consecuencia, también de la biomasa producida de las plantas. El "fotoperiodismo" se refiere a la capacidad que tienen las plantas para detectar y medir la periodicidad de la radiación, el fototropismo al movimiento de crecimiento de las plantas hacia y lejos de la radiación, y la fotomorfogénesis al cambio en forma en respuesta a la calidad y cantidad de radiación.

50 Los espectros de absorción típicos de los fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfogénicos más comunes, tales como la clorofila a, clorofila b y betacaroteno, y las dos formas interconvertibles de fitocromos (Pfr y Pr) se presentan en la Figura 1.

Las respuestas fotomorfogénicas, al contrario de la fotosíntesis, pueden conseguirse con cantidades de luz

extremadamente bajas. Los diferentes tipos de fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfogenéticos pueden agruparse en al menos tres fotosistemas conocidos: fotosintético, fitocromo y criptocromo o azul/UV-A (ultravioleta-A).

En el fotosistema fotosintético, los pigmentos existentes son clorofilas y carotenoides. Las clorofilas están localizadas en los tilacoides de los cloroplastos localizados en las células mesófilas foliares de las plantas. La cantidad o la energía de la radiación es el aspecto más significativo, puesto que la actividad de esos pigmentos está estrechamente relacionada con la recolección de luz. Los dos picos de absorción más importantes de clorofila están localizados en las regiones del rojo y del azul de 625 a 675 nm y de 425 a 475 nm, respectivamente. Adicionalmente, existen también otros picos localizados en el UV cercano (300 - 400 nm) y en la región del rojo lejano (700 - 800 nm). Los carotenoides tales como las xantófilas y carotenos están localizados en los orgánulos plástidos de los cromoplastos en células de las plantas y absorben principalmente en la región del azul.

El fotosistema fitocromo incluye las dos formas interconvertibles de fitocromos, Pr y Pfr, que tienen sus picos de sensibilidad en el rojo a 660 nm y en el rojo lejano a 730 nm, respectivamente. Las respuestas fotomorfogenéticas mediadas por los fitocromos están normalmente relacionadas con la detección de la calidad de luz a través de la relación de rojo (R) a rojo lejano (FR) (R/FR). La importancia de los fitocromos puede evaluarse mediante las diferentes respuestas fisiológicas donde estén implicados, tales como expansión foliar, percepción de los vecinos, evitación de sombras, alargamiento de tallo, germinación de semillas e inducción de floración. Aunque la respuesta de evitación de sombras se controla normalmente mediante los fitocromos a través de la detección de la relación de R/FR, la luz azul y el nivel de la PAR están también implicados en las respuestas morfológicas adaptativas relacionadas.

Los fotorreceptores sensibles al azul y al UV-A (ultravioleta A) se encuentran en el fotosistema criptocromo. Los pigmentos de absorción de luz azul incluyen tanto criptocromos como fototropinas. Están implicados en varias tareas diferentes, tales como monitorizar la calidad, cantidad, dirección y periodicidad de la luz. Los diferentes grupos de fotorreceptores sensibles al azul y al UV-A median respuestas morfológicas importantes tales como el ritmo endógeno, orientación de órganos, alargamiento de tallo y apertura de los estomas, germinación, expansión foliar, crecimiento de la raíz y fototropismo. Las fototropinas regulan el contenido pigmentario y la situación de los órganos y orgánulos fotosintéticos para optimizar la recolección de luz y la fotoinhibición. Como con la exposición a radiación de rojo lejano continua, la luz azul también promueve la floración a través de la mediación de los fotorreceptores criptocromos. Además, los fotorreceptores sensibles a la luz azul (por ejemplo, flavinas y carotenoides) son sensibles también a la radiación de ultravioleta cercano, donde puede encontrarse un pico de sensibilidad localizado a aproximadamente 370 nm. Los criptocromos no son únicamente comunes a todas las especies de plantas. Los criptocromos median una diversidad de respuestas de luz, incluyendo la incorporación de los ritmos circadianos en las plantas de floración tales como *Arabidopsis*. Aunque la radiación de las longitudes de onda por debajo de 300 nm puede ser altamente perjudicial para los enlaces químicos de las moléculas y para la estructura del ADN, las plantas absorben radiación en esta región también. La calidad de radiación en la región de PAR puede ser importante para reducir los efectos destructivos de la radiación UV. Estos fotorreceptores son los más investigados y por lo tanto su papel en el control de la fotosíntesis y el crecimiento se conoce razonablemente bien. Sin embargo, existen pruebas de la existencia de otros fotorreceptores, la actividad de los que puede tener un papel importante en mediar respuestas fisiológicas importantes en la planta. Adicionalmente, la interacción y la naturaleza de la interdependencia entre ciertos grupos de receptores no se entienden bien.

La fotosíntesis es quizás uno de los procedimientos bioquímicos más antiguos, más conocidos y más importantes en el mundo. El uso de luz artificial para sustituir o compensar la baja disponibilidad de luz diurna es una práctica común, especialmente en los países del norte durante la estación de invierno, para producción de verduras y cultivos ornamentales.

El momento de la iluminación eléctrica artificial empezó con el desarrollo por Thomas Edison en 1879 de la bombilla de Edison, comúnmente conocido hoy como la lámpara incandescente. Debido a su característica térmica, la incandescencia está caracterizada por una gran cantidad de emisión de rojo lejano, que puede alcanzar aproximadamente el 60 % de la PAR total. A pesar de los desarrollos que han tenido lugar durante más de un siglo, la eficacia eléctrica de las lámparas incandescentes, dada mediante la eficacia de conversión entre la energía eléctrica consumida (entrada) y energía óptica emitida (salida) en la región espectral visible, es aún muy pobre. Típicamente es aproximadamente del 10 %. Las fuentes de luz incandescentes sufren también de bajos rendimientos de tiempo de vida, típicamente el tiempo de vida no es mayor de 1000 horas. En aplicaciones de crecimiento de plantas su uso es limitado.

El crecimiento de plantas ornamentales es una de las aplicaciones donde las lámparas incandescentes pueden usarse aún. La iniciación floral puede conseguirse con especies que responden a largas jornadas usando exposición durante la noche a bajas tasas de fluencia de fotones usando lámparas incandescentes. La alta cantidad de radiación de rojo lejano emitida se usa para controlar las respuestas fotomorfogenéticas a través de toda la mediación de los fitocromos.

Las lámparas fluorescentes se utilizan más comúnmente en aplicaciones de crecimiento de plantas que las lámparas incandescentes. La conversión de energía electro-óptica es más eficaz en comparación con las lámparas incandescentes. Las lámparas fluorescentes de tipo tubular pueden conseguir valores de eficacia eléctrica desde

típicamente aproximadamente el 20 % al 30 %, donde más del 90 % de los fotones emitidos están dentro de la región de PAR con tiempos de vida típicos de aproximadamente 10000 horas. Sin embargo, las lámparas fluorescentes de largo tiempo de vida especialmente diseñadas pueden alcanzar tiempos de vida de entre 30000 horas. Además de su eficacia de energía y tiempo de vida razonables, otra ventaja de las lámparas fluorescentes en el crecimiento de plantas es la cantidad de radiación azul emitida. Esta puede alcanzar más del 10 % de la emisión de fotones total dentro de la PAR, dependiendo de la temperatura de color correlacionada (CCT) de la lámpara. Por esta razón, las lámparas fluorescentes se usan frecuentemente para sustitución total de la radiación de luz diurna natural en salas y cámaras de crecimiento cerrado. La radiación luz emitida es indispensable para conseguir una morfología equilibrada de la mayoría de las plantas de cultivo a través de la mediación de la familia de fotorreceptores criptocromo.

Las lámparas de haluros de metal pertenecen al grupo de lámparas de descarga de alta intensidad. La emisión de radiación visible está basada en el efecto luminiscente. La inclusión de haluros de metal durante la fabricación permite hasta cierto punto la optimización de la calidad espectral de la radiación emitida. Las lámparas de haluros de metal pueden usarse en crecimiento de plantas para sustituir totalmente la luz diurna o para complementarla parcialmente durante el periodo de menor disponibilidad. La alta salida de PAR por lámpara, el porcentaje relativamente alto de radiación azul de aproximadamente el 20 % y la eficacia eléctrica de aproximadamente el 25 %, hace a las lámparas de haluros de metal una opción para los cultivos durante todo el año. Sus tiempos de operación son típicamente de 5.000 a 6.000 horas. La lámpara de sodio de alta presión (HPS) ha sido la fuente de luz preferida para la producción de cultivos durante todo el año en invernaderos. Las principales razones han sido la alta emisión radiante, bajo precio, largo tiempo de vida, alta emisión de PAR y alta eficacia eléctrica. Estos factores han permitido el uso de lámparas de sodio de alta presión como fuentes de iluminación complementarias que soportan el crecimiento de verduras de una manera rentable durante el invierno en latitudes del norte.

Sin embargo, la calidad espectral en las lámparas de HPS no es óptima para promover la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, dando como resultado alargamiento foliar y de tallo excesivo. Esto es debido a la emisión espectral desequilibrada en relación con los picos de absorción de pigmentos fotosintéticos importantes tales como clorofila a, clorofila b y betacaroteno. La baja relación de R/FR y la baja emisión de luz azul en comparación con otras fuentes inducen el alargamiento de tallo excesivo en la mayoría de los cultivos que crecen bajo iluminación de HPS. Las eficacias eléctricas de las lámparas de sodio de alta presión están típicamente entre el 30 % y el 40 %, que las hace las fuentes de luz más eficaces de energía usadas hoy en día en el crecimiento de plantas. Aproximadamente el 40 % de la energía de entrada se convierte en fotones dentro de la región de PAR y casi del 25 % al 30 % en el rojo lejano y en el infrarrojo. Los tiempos de operación de las lámparas de sodio de alta presión están en el intervalo de aproximadamente 10.000 a 24.000 horas.

La baja disponibilidad de luz diurna en latitudes del norte y la demanda de los consumidores de productos hortícolas de calidad a precios asequibles durante todo el año establece demandas de nuevas tecnologías de iluminación y biológicas. También los rendimientos de producción pueden aumentarse significativamente de manera global si la luz diurna está disponible hasta 20 a 24 horas por día. Por lo tanto, son necesarios enfoques que puedan reducir los costes de producción, aumentar rendimientos y calidad de los cultivos. La iluminación es simplemente uno de los aspectos implicados que pueden optimizarse. Sin embargo, su importancia no puede subestimarse. El aumento en los precios de la electricidad y la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ son razones adicionales para hacer uso eficaz de la energía. En la producción de cultivos durante todo el año en invernaderos, la contribución del coste de electricidad para costes generales puede alcanzar en algunos cultivos aproximadamente el 30 %.

Aunque las fuentes de luz existentes comúnmente usadas para crecimiento de plantas pueden tener eficacias eléctricas cercanas al 40 %, la eficacia del sistema global (es decir, incluyendo pérdidas en excitadores, reflectores y óptica) puede ser significativamente inferior. La calidad espectral de la radiación desempeña un papel importante en el crecimiento saludable del cultivo. Las fuentes de luz convencionales no pueden controlarse espectralmente durante su utilización sin la utilización ineficaz y limitada de filtros adicionales. Además, el control de la cantidad de radiación está también limitado, reduciendo la posibilidad de regímenes de iluminación versátiles tales como la operación pulsada.

Por lo tanto, y por razones en relación con los aspectos anteriormente descritos, el diodo de emisión de luz y la iluminación de estado sólido (SSL) han surgido como herramientas potencialmente viables y prometedoras para usarse en iluminación hortícola. La eficacia cuántica interna de los LED es una medida para el porcentaje de fotones generados mediante cada electrón inyectado en la región activa. De hecho, los mejores HB-LED AlInGaP de rojo y AlInGaN de verde y de azul pueden tener eficacias cuánticas internas mejores del 50 %; permanecen aún desafíos para extraer toda la luz generada fuera del dispositivo semiconductor y del elemento de luz.

En iluminación hortícola las ventajas prácticas principales de las fuentes de luz basadas en LED en relación con las fuentes de luz convencionales son la direccionalidad y la capacidad de control completa de la radiación emitida. Los LED no requieren necesariamente reflectores, ya que son emisores naturalmente semi-isotrópicos. Los LED como emisores direccionales evitan la mayoría de las pérdidas asociadas con la óptica. Adicionalmente, la característica de ancho de banda espectral estrecho de los LED con color es otra ventaja importante en relación con las fuentes de luz de banda de onda amplia. La principal ventaja de usar LED como fuentes de radiación fotosintética resulta de la posibilidad de seleccionar la emisión de longitud de onda pico que coincide más estrechamente con el pico de

absorción de un fotorreceptor seleccionado. De hecho, esta posibilidad les proporciona ventajas adicionales. El uso eficaz de la energía radiante mediante el fotorreceptor en la mediación de una respuesta fisiológica de la planta es una de las ventajas. Otra ventaja es la capacidad de control de la respuesta controlando completamente la intensidad de radiación.

5 Las ventajas anteriormente mencionadas pueden ampliarse adicionalmente al nivel de la luminaria. El inventor conoce una luminaria con un LED azul y un LED rojo. La emisión espectral de los LED AlInGaN con color en la actualidad está disponible desde el UV en la región del verde del espectro visible. Aquellos dispositivos pueden emitir en la región del azul y del UV-A donde se localizan los picos de absorción de los criptocromos y los carotenoides.

10 La clorofila a y la forma isomérica roja de los fitocromos (Pr) tienen un fuerte pico de absorción localizado aproximadamente a 660 nm. Los LED AlGaAs emiten en la misma región pero, de manera parcial debido a la baja demanda del mercado y a la tecnología de producción obsoleta, son dispositivos caros si se comparan con LED basados en fosforo o incluso en nitruro. Los LED AlGaAs pueden usarse también para controlar la forma del rojo lejano de los fitocromos (Pfr), que tienen un pico de absorción importante a 730 nm.

15 Los LED AlInGaP están basados en tecnología de material bien establecida con el rendimiento óptico y eléctrico relativamente alto. Típicamente, la región de emisión espectral característica de los LED de rojo AlInGaP cubre la región donde la clorofila b tiene su pico de absorción, aproximadamente a 640 nm. Por lo tanto, los LED AlInGaP son útiles también en promover la fotosíntesis.

20 Los LED de alto brillo comerciales novedosos no son adecuados para cultivo de invernadero ya que su pico de emisión principal radica en el intervalo de las longitudes de onda del verde que se extienden desde 500 a 600 nm y por lo tanto no responden al procedimiento de la fotosíntesis. Sin embargo, en principio de acuerdo con la técnica puede construirse una luz LED a la que responde la fotosíntesis combinando diversos tipos de LED semiconductores tales como AlInGaP y AlInGaN, para colores de rojo y de azul.

25 Existe un número de problemas relacionados con la combinación de LED con color de manera individual. Por lo tanto, diferentes tipos de dispositivos semiconductores envejecerán a diferentes velocidades y por esta razón la relación de color de rojo a color de azul variará con el tiempo, dando como resultado adicionalmente anomalías en un procedimiento de crecimiento de plantas. Un segundo problema importante es que los LED de color único individuales tienen cobertura espectral relativamente estrecha, típicamente menos de 25 nm, que es insuficiente para proporcionar buena eficacia de la fotosíntesis sin utilizar muy alto número de diferentes LED de color e
30 individuales y producir alto coste de la implementación.

Se conoce por el documento EP 2056364 A1 y US 2009/0231832 que un número mejorado de colores puede generarse a partir de LED usando materiales de conversión de longitud de onda, tales como fósforo, para volver a emitir diferentes colores de luz. Supuestamente, pueden usarse los diferentes colores que replican la luz del sol para tratar la depresión o la enfermedad estacional de acuerdo con el documento US 2009/0231832. Estos documentos
35 se citan en el presente documento por referencia.

Estas luces tienen muchas desventajas, incluso si se usaran como luces hortícolas, por ejemplo debido a la razón sencilla que el espectro de la luz del sol es subóptimo para el crecimiento de plantas. La luz del documento US 2009/0231832 que tiene por objeto replicar la luz del sol contiene muchas longitudes de onda superfluas que no se usan eficazmente por las plantas en su crecimiento. Por ejemplo, la banda de 500-600 nm (luz verde) se usa de
40 manera pobre por las plantas ya que las plantas verdes reflejan esta longitud de onda. Esto conduce a energía desperdiciada en aplicaciones hortícolas.

Adicionalmente, las luces de la técnica anterior omiten también longitudes de onda esenciales, que serían muy útiles para el crecimiento de plantas. Por ejemplo, estas luces no alcanzan el rojo lejano entre 700 nm-800 nm, que es importante para el cultivo de plantas.

45 **Sumario de la invención**

Es un objeto de la presente invención eliminar al menos una parte de los problemas en relación con la técnica y proporcionar una nueva manera de facilitar el crecimiento de plantas usando LED.

Es un primer objetivo de la invención proporcionar una única fuente de emisión de luz basada en dispositivos LED a la que responde bien el procedimiento de la fotosíntesis.

50 Es un segundo objetivo de la invención proporcionar un aparato de iluminación para cultivo de invernadero basándose en un dispositivo LED optimizado de flujo de fotones de fotosíntesis (PPF).

Es un tercer objetivo de la invención conseguir un dispositivo LED que proporciona al menos dos picos de emisión en el intervalo de longitud de onda de 300 a 800 nm y al menos uno de los picos de emisión tiene Semimáximo de Achura Completa (FWHM) de al menos 50 nm o más.

Es un cuarto objetivo de la invención proporcionar un aparato de iluminación de cultivo de invernadero basado en LED en el que la relación de intensidad de emisión de dos frecuencias de emisión, 300-500 nm y 600-800 nm, se reduce en menos del 20 % durante las 10.000 horas de operación.

5 Es un quinto objetivo de la invención proporcionar una solución técnica que proporciona un mejor valor de PPF por vatio (es decir, PPF frente a vatios de potencia usada) que el obtenido mediante lámparas de sodio de alta presión convencionales usadas en cultivo de invernadero y que proporciona por lo tanto una fuente de luz eficaz de energía para el procedimiento de cultivo de invernadero e iluminación artificial usada en el mismo.

10 Es un sexto objetivo de la invención proporcionar una única fuente de emisión de luz en la que la emisión a una longitud de onda de 300-500 nm se genera mediante el chip LED semiconductor y la emisión a una longitud de onda de 600-800 nm se genera usando una conversión aumentando la longitud de onda parcial de la potencia de radiación del chip LED. El inventor ha descubierto que por ejemplo las plantas de pepino y lechuga alcanzan mayor longitud y/o masa cuando se iluminan con la luz hortícola inventiva que incluye luz de rojo lejano (700-800 nm).

15 Es un séptimo objetivo de la invención proporcionar una única fuente de emisión de luz donde se genera la emisión a longitud de onda de 300-500 nm mediante el chip LED semiconductor y la emisión a longitud de onda de 600-800 nm se genera usando una conversión aumentando la longitud de onda parcial de la potencia de radiación del chip LED. La conversión aumentando la longitud de onda para producir radiación de 600-800 nm se consigue usando uno o más materiales de conversión aumentando la longitud de onda en proximidad con la fuente de emisión de LED.

20 En esta solicitud "conversión aumentando la longitud de onda" se interpreta como cambiar la longitud de onda de luz absorbida entrante a luz emitida de longitudes de onda más largas.

Es un octavo objetivo de la invención proporcionar 400-500 nm, 600-800 nm o ambos intervalos de longitud de onda parciales o conversión aumentando la longitud de onda completa de radiación de chip LED semiconductor, teniendo el chip emisión a intervalo de 300-500 nm de emisión de intervalo. La conversión aumentando la longitud de onda se realiza usando materiales orgánicos, inorgánicos o combinación de ambos tipos.

25 Es un noveno objetivo de la invención proporcionar la conversión aumentando la longitud de de onda usando un material de partículas nano-dimensionadas para la conversión aumentando la longitud de onda.

Es un décimo objetivo de la invención proporcionar la conversión aumentando la longitud de de onda usando material similar a molecular para la conversión aumentando la longitud de onda.

30 Es un undécimo objetivo de la invención proporcionar la conversión aumentando la longitud de onda usando un material polimérico en el que el material de conversión aumentando la longitud de onda está unido covalentemente a la matriz polimérica que proporciona la conversión aumentando la longitud de onda .

35 Es un duodécimo objetivo de la invención presentar un aparato de iluminación basado en LED donde se suprime la banda espectral de 500-600 nm. En esta banda suprimida existe difícilmente alguna o ninguna emisión en absoluto, o en cualquier caso menos emisión que en cualquiera de las bandas de 400-500 nm, 600-700 nm adyacentes. La supresión puede conseguirse de acuerdo con la invención no teniendo ninguna o únicamente una pequeña cantidad de emisión primaria en la banda de 400-500 nm, y asegurando que cualquier conversión aumentando la longitud de onda produce un desplazamiento de longitud de onda que desplaza la longitud de onda por encima de 600 nm. Se conoce en general que las plantas verdes no pueden utilizar la radiación de luz verde (500-600 nm) así como la radiación en las bandas adyacentes, ya que esta radiación simplemente se refleja desde la planta en lugar de que se absorba por conversión fotosintética.

40

45 Es un decimotercer objetivo de la invención presentar un aparato de iluminación basado en LED que maximiza el crecimiento anabólico de las plantas proporcionando luz de rojo lejano deseada, mientras que minimiza la luz de verde que desde la perspectiva del cultivo de plantas es radicación que desperdicia energía. Este objetivo se realiza en un aspecto de la invención mediante un LED azul con un dispositivo de conversión aumentando la longitud de onda que convierte aumentando la longitud de onda parte de la luz azul emitida (300-500) nm en un componente de espectro del rojo amplio (600-800 nm) que tiene un componente de rojo lejano, pero omite y/o minimiza el componente de verde (500-600 nm).

50 La presente invención proporciona un diodo de emisión de luz y un elemento de luz relacionado adecuados para cultivo de invernadero. De acuerdo con la invención, el diodo de emisión de luz tiene un patrón de frecuencia de emisión específica, es decir, tiene al menos dos características espectrales; un pico de emisión con un semimáximo de achura completa de al menos 50 nm o más y que tiene una longitud de onda pico en el intervalo de 600 a 700 nm, y unas segundas características espectrales que tienen una longitud de onda pico por debajo del intervalo de 500 nm. Los picos de emisión del LED coinciden bien con un espectro de respuesta de la fotosíntesis de la planta y son por lo tanto particularmente adecuados para alta eficacia de iluminación artificial.

55 Un componente de emisión de luz adecuado para facilitar el crecimiento de plantas, comprende un chip semiconductor compuesto de emisión de luz; y un fósforo de conversión aumentando la longitud de onda de la luz

que se deposita en proximidad directa del chip LED. Un componente de este tipo puede emitir dos picos de emisión de luz característicos.

Más específicamente, el aparato de luz de acuerdo con la invención está caracterizado por las características de la reivindicación 1.

- 5 El mejor modo de la invención se considera que implica una pluralidad de LED en el intervalo de longitud de onda de 380-850 nm dispuestos con espectros de emisión que están dispuestos para coincidir con la respuesta fotosintética de una planta a cultivar con la iluminación de dichos LED. El mejor modo caracterizará la conversión aumentando la longitud de onda mediante fósforo desde la emisión de LED azul.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 muestra espectros de absorción relativos de los fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfológicos más comunes en plantas verdes;
La Figura 2 muestra los picos de emisión de un primer dispositivo LED de fuente de emisión de luz única de acuerdo con la invención;
La Figura 3 muestra los picos de emisión de un segundo dispositivo LED de fuente de emisión de luz única de acuerdo con la invención;
15 La Figura 4 muestra los picos de emisión de un tercer dispositivo LED de fuente de emisión de luz única de acuerdo con la invención;
La Figura 5 muestra los picos de emisión de un cuarto dispositivo LED de fuente de emisión de luz única de acuerdo con la invención; y
20 Las Figuras 6a a 6c muestran en una manera esquemática las diversas etapas de procedimiento de un procedimiento para producir un dispositivo LED modificado de acuerdo con una realización preferida de la invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

- 25 Como ya se ha analizado anteriormente, la presente invención se refiere en general a un dispositivo LED de fuente de emisión de luz única que tiene propiedades óptimas para usarse como fuente de luz de cultivo de invernadero. Específicamente este enfoque para construir las fuentes de luz tiene propiedades óptimas y flexibilidad para coincidir las frecuencias de la fotosíntesis en cultivo de plantas. Usando este enfoque, las fuentes de luz pueden diseñarse para alcanzar PPF y PPF superiores por eficacia y rendimiento de vatio y muy bajo consumo de potencia y muy largo tiempo de vida de operación cuando se compara con las tecnologías existentes.
- 30 En particular el dispositivo LED de fuente de emisión de luz única proporciona al menos dos picos de emisión en el intervalo de longitud de onda de 300-800 nm y al menos uno de los picos de emisión tiene Semimáximo de Achura Completa (FWHM) al menos de 50 nm o superior. Los picos de emisión e intensidades relativas se seleccionan para coincidir con las frecuencias de la fotosíntesis para la planta. También la cantidad de PPF requerida para la fuente de luz se optimiza para cumplir los requisitos de la planta.
- 35 La emisión a una longitud de onda de 300-500 nm se genera mediante el chip LED semiconductor y se genera la emisión a la longitud de onda de 400-800 nm usando una conversión aumentando la longitud de onda completa o parcial de la potencia de radiación del chip LED. La conversión aumentando la longitud de onda parcial puede seleccionarse para que esté en el intervalo del 5-95 %, preferentemente del 35-65 %, de la radiación del chip LED semiconductor. La conversión aumentando la longitud de onda para producir la radiación de 400-800 nm se consigue usando uno o más materiales de conversión aumentando la longitud de onda en proximidad con la fuente de emisión LED. La conversión aumentando la longitud de onda se realiza usando materiales orgánicos, inorgánicos o combinación de ambos tipos. Estos materiales pueden ser materiales de partículas (partículas de tamaño nano u otro), moleculares o poliméricos. Adicionalmente los materiales pueden tener disposición estructural que da como resultado conversión aumentando la longitud de onda de la fuente de emisión.
- 40 De acuerdo con una realización particular, un aparato de iluminación para facilitar el crecimiento de plantas comprende un de LED de UV, opcionalmente con características de emisión luminiscentes externas. El LED muestra típicamente
- 45 a) primeras características espectrales fosforescentes con una longitud de onda pico en el intervalo de 350 a 550 nm;
50 b) segundas características espectrales fosforescentes opcionales con una longitud de onda pico en el intervalo de 600 a 800 nm; y
c) terceras características espectrales fosforescentes opcionales con una longitud de onda pico libremente ajustable entre 350 y 800 nm.

- 55 En esta solicitud longitud de onda pico "ajustable" como en lo anterior se interpreta como una longitud onda pico que puede ajustarse durante el montaje del aparato de iluminación en la fábrica, y/o también "ajustable" como en un selector ajustable en el aparato de iluminación para ajuste de longitud de onda pico en el sitio. Además ajustar las longitudes de onda pico del LED durante el procedimiento de fabricación del LED está también de acuerdo con la

invención, y “ajustable” debería interpretarse que incluye también ajustes realizados durante el procedimiento de fabricación del LED. Todas las realizaciones anteriormente mencionadas de una longitud de onda pico ajustable, o cualquier otra fuente de luz ajustable o LED variable están dentro del alcance de esta solicitud de patente.

5 Preferentemente las intensidades de emisión fosforescentes de las primeras, opcionalmente de las segundas y opcionalmente de las terceras características espectrales son ajustables en cualquier relación.

Las Figuras 2 a 5 ilustran unos cuantos ejemplos de los picos de emisión de los dispositivos LED de fuente de emisión de luz única.

10 En la Figura 2, la emisión del chip LED semiconductor alcanza el pico a una longitud de onda de 457 nm con picos de emisión de Semimáximo de Achura Completa (FWHM) de 25 nm. En este caso la conversión aumentando la longitud de onda se hace usando dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda. Estos dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda tienen picos de emisión individuales a 660 nm y 604 nm. La Figura 2 muestra el pico de emisión combinada desde estos dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda alcanzando el pico a longitud de onda de 651 nm con picos de emisión de FWHM de 101 nm. En este caso aproximadamente el 40 % (calculado a partir de las intensidades pico) de la emisión del chip LED semiconductor, se convierte aumentando la longitud de onda a emisión de 651 nm mediante dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda individuales.

20 En la Figura 3, la emisión del chip LED semiconductor alcanza el pico a una longitud de onda de 470 nm con picos de emisión de Semimáximo de Achura Completa (FWHM) de 30 nm. En este caso la conversión aumentando la longitud de onda se hace usando dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda. Estos dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda tienen picos de emisión individuales a 660 nm y 604 nm. La Figura 2 muestra el pico de emisión combinada desde estos dos materiales de conversión aumentando la longitud de onda alcanzando el pico a longitud de onda de 660 nm con picos de emisión de FWHM de 105 nm. En este caso aproximadamente el 60 % (calculado a partir de las intensidades pico) de la emisión del chip LED semiconductor, se convierte aumentando la longitud de onda a emisión de 660 nm mediante dos materiales de “conversión aumentando la longitud de onda” individuales.

25 En la Figura 4, la emisión del chip LED semiconductor alcanza el pico a una longitud de onda de 452 nm con picos de emisión de Semimáximo de Achura Completa (FWHM) de 25 nm (no mostrado en la figura). En este caso la conversión aumentando la longitud de onda se hace usando un material de conversión aumentando la longitud de onda.

30 La Figura 3 muestra el pico de emisión desde este material de conversión aumentando la longitud de onda que alcanza picos a longitud de onda de 658 nm con picos de emisión de FWHM de 80 nm. En este caso aproximadamente el 100 % (calculado a partir de las intensidades pico) de la emisión del chip LED semiconductor, se convierte aumentando la longitud de onda a emisión de 658 nm mediante el material de conversión aumentando la longitud de onda. Esto puede indicarse a partir de la Figura 4, como que no existe emisión de 452 nm en el dispositivo LED.

35 En la Figura 5, la emisión del chip LED semiconductor alcanza el pico a una longitud de onda de 452 nm con picos de emisión de Semimáximo de Achura Completa (FWHM) de 25 nm. En este caso la conversión aumentando la longitud de onda se hace usando un material de conversión aumentando la longitud de onda. La Figura 5 muestra el pico de emisión desde este material de conversión aumentando la longitud de onda que alcanza el pico a longitud de onda de 602 nm con picos de emisión de FWHM de 78 nm. En este caso aproximadamente el 95 % (calculado a partir de las intensidades pico) de la emisión del chip LED semiconductor, se convierte aumentando la longitud de onda a emisión de 602 nm mediante el material de conversión aumentando la longitud de onda .

40 Para el espectro anteriormente mencionado el dispositivo puede construirse como se explica en detalle a continuación. La frecuencia de emisión del chip LED semiconductor debería seleccionarse de la manera que sea adecuada para excitar las moléculas de fósforo usadas en el dispositivo. La emisión desde el chip LED puede estar entre 400 nm y 470 nm.

La molécula o moléculas de fósforo usadas deberían seleccionarse de la manera que se consigan unos espectros de emisión deseados a partir del LED.

45 En lo siguiente describiremos un procedimiento para usar dos materiales de fósforo (materiales de conversión aumentando la longitud de onda) en el dispositivo LED para conseguir los espectros deseados (véase las Figuras 6a a 6c).

50 El fósforo A y el fósforo B se mezclan en una relación pre-determinada para conseguir los espectros de emisión de fósforo deseados a partir del dispositivo LED (véase la Figura 6a). La relación de los fósforos puede ser por ejemplo 99:1 (A:B) a 1:99. Esta mezcla de fósforos A+B se mezcla en un material C (por ejemplo un polímero) a una concentración predeterminada para formar un “encapsulante”. La concentración de los fósforos en el material C puede ser por ejemplo 99:1 (mezcla de fósforo : material C) a 1:99. Esta mezcla de material C + fósforos (A y B) se deposita a continuación en proximidad directa del chip LED (Figura 6b y 6c). Mediante “proximidad” queremos

- significar que puede depositarse directamente en la superficie del chip LED o espaciarse con otro material óptico. La concentración de la mezcla de fósforo en el material C determina la cantidad de conversión aumentando la longitud de onda de la frecuencia de emisión del chip LED semiconductor, que significa cuánta de la frecuencia de emisión del chip LED "original" se observa en la emisión del dispositivo LED final y cuánta se convierte en la emisión de fósforo en el dispositivo LED.
- 5 El espesor del encapsulante (en el que se mezcla el fósforo) típicamente varía de 0,1 μm a 20 mm, en particular de 1 μm a 10 mm, preferentemente de 5 μm a 10 mm, por ejemplo de aproximadamente 10 μm a 5 mm, dependiendo de la concentración de fósforo.
- 10 Típicamente la concentración del fósforo (calculada a partir del peso total del encapsulante) es de aproximadamente el 0,1 al 20 %, preferentemente de aproximadamente el 1 al 10 %.
- La conversión aumentando la longitud de onda puede ser el 100 %, que significa que existe únicamente emisión de fósforo observada desde el dispositivo LED o puede ser menos del 100 %, que significa que algo de la emisión del chip LED se transmite fuera del dispositivo LED.
- 15 Para resumir, ajustando la relación de fósforo A:B es posible ajustar los espectros de emisión de fósforo deseados desde el dispositivo LED y ajustando la concentración de fósforo en el material C es posible ajustar la cantidad/valor de emisión del chip LED deseado para el dispositivo LED.
- La cantidad (espesor físico) de material C (con cierta concentración de fósforo) en la parte superior del chip LED afecta también la cantidad de emisión del chip LED que se transmite desde el dispositivo LED. Cuanto más gruesa es la capa del material C en la parte superior del chip LED, menor es la transmisión.
- 20 El material C puede ser por ejemplo un disolvente, polímero inorgánico u orgánico, polímero de silicio, polímero siloxano u otro polímero donde el fósforo pueda mezclarse. El material C puede tener uno o más componentes que tengan que mezclarse antes de usar junto con el fósforo. El material C puede ser un material curable térmicamente o por UV.
- 25 La mezcla del fósforo o fósforos y el material C disolvente (sólido o líquido) puede ser translúcida o transparente, preferentemente transparente, para permitir el paso de la luz emitida desde el LED.
- En una realización que es especialmente preferente se produce la radiación del rojo lejano (700-800 nm) mediante por ejemplo fósforos co-dopados con europio-cerio $\text{Ba}_x\text{Sr}_y\text{ZnS}_3$ y/o sulfuros de óxido de lantánido dopados con cerio. Estos tipos de fósforos y sulfuros tienen máximo pico de emisión entre 650-700 nm de la región de longitud de onda y muestran también semimáximo de achura completa amplio (50-200 nm) y por lo tanto producen también emisión de luz a longitud de onda superior, es decir, por encima del intervalo de longitud de onda de 700 nm.
- 30 Además de o como una alternativa a usar fósforos u otros materiales similares es posible también realizar la conversión aumentando la longitud de onda por medio de al menos un punto cuántico semiconductor o similar, que se coloca cerca del LED.
- Ejemplo**
- 35 Un aparato de iluminación LED se construyó para fines de ensayos de comparación basándose en el dispositivo LED único que tiene espectro de salida idéntico al de la Figura 3. El aparato de iluminación consistía en 60 unidades LED individuales que tienen un consumo de potencia de 69 W que incluye el consumo de potencia del controlador de corriente constante CA/CC.
- 40 Los dispositivos de comparación eran aparatos de iluminación de invernadero de lámpara de HPS (Sodio de Alta Presión) comerciales con consumo de potencia total de 420 W y aparatos LED de invernadero de LED comerciales. El aparato LED comercial estaba basado en dispositivos LED de azul y de rojo individuales que tienen un consumo de potencia total de 24 W.
- El aparato de iluminación LED de acuerdo con la presente invención se ensayó frente a los dispositivos LED comerciales anteriormente mencionados usando el siguiente procedimiento y disposición de medición de PPF.
- 45 La irradiación de PAR (valor de irradiación entre 400 nm y 700 nm) y los valores de PPF se calcularon midiendo los espectros del aparato de luz desde 300 nm a 800 nm y el valor de irradiación absoluta en la banda de 385 nm a 715 nm. El espectro de cada lámpara se midió con el espectrorradiómetro ILT700A a una distancia. Los valores de irradiación absoluta se midieron con piranómetro de precisión a ciertas distancias y se usaron más tarde para calcular los espectros absolutos a estas distancias. Estos espectros absolutos se usaron para calcular los cálculos de PAR y de PPF. La irradiación de PAR (W/m^2) se calculó integrando el espectro absoluto de 400 nm a 700 nm.
- 50 Los valores de PPF se calcularon en primer lugar traduciendo el valor de irradiación de cada "canal" del espectro de W/m^2 a microeinstains y a continuación integrando este espectro a través de la banda de longitud de onda deseada.
- El resultado de la comparación de estos dos elementos de lámpara de invernadero comercial y el aparato LED de acuerdo con la innovación se presentan en la tabla a continuación. Los resultados se normalizaron también frente al

aparato de iluminación de HPS comercial.

Tipo	HPS	LED de Crecimiento de Ref.	LED de la invención
Potencia (W)	420	24	69
PPF Total	164	26	88
PPF / Vatio	0,39	1,08	1,28
Eficacia de PPF normalizada a HPS de Ref.	1	2,77	3,27
Eficacia de PPF normalizada a HPS de Ref. (%)	100 %	277 %	327 %

5 Como se verá por los resultados de ensayo mostrados, un aparato de iluminación LED de acuerdo con la presente invención proporciona 3,27 veces eficacia de PPF superior en comparación con HPS y 1,18 veces mejor eficacia de PPF en comparación con el aparato de invernadero LED comercial basado en dispositivos LED de azul y de rojo individuales. Naturalmente todos los LED o aparatos de iluminación están dispuestos para usarse especialmente en invernaderos para cultivo de plantas como luces de invernadero en muchas realizaciones de la invención.

10 Los ejemplos anteriores han descrito realizaciones en las que hay un Diodo Emisor de Luz (LED) que tiene las características espectrales indicadas. Naturalmente, los presentes aparatos de iluminación pueden comprender una pluralidad de LED, al menos algunos (es decir el 10 % o más) o preferentemente una mayoría (más del 50 %) de los que tienen las propiedades y características indicadas. Es por lo tanto posible tener elementos que comprenden combinaciones de LED convencionales y LED del presente tipo. No hay límites superiores particulares al número de LED. Por lo tanto, los aparatos de iluminación del presente tipo pueden tener aproximadamente de 1 hasta 10.000 LED, típicamente de 1 a 1000 LED, en particular de 1 a 100 LED.

15 Está de acuerdo con la invención incluir LED con diferentes emisiones pico en una luminaria y controlar estas para proporcionar una emisión espectral deseable para conseguir un resultado de crecimiento o respuesta fisiológica determinados. De esta manera, el sistema de iluminación permitiría un control versátil de la intensidad y espectro de iluminación. Finalmente, el control de otros parámetros abióticos tales como concentración de CO₂, temperatura, disponibilidad de luz diurna y humedad podrían integrarse en el mismo sistema de control junto con la iluminación,
20 optimizando la productividad del cultivo y la gestión global del invernadero.

Referencias

Documento EP 2056364 A1, Satou y col.
Documento US 2009/0231832, Zukauskas y col.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de iluminación hortícola que comprende al menos un Diodo Emisor de Luz (LED) que tiene
 - a) primeras características espectrales que incluyen un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuestas para mostrar un semimáximo de achura completa de al menos 50 nm o más;
 - 5 b) segundas características espectrales con un máximo de 50 nm de semimáximo de achura completa y dispuestas para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm, y
 - c) toda o parte de la emisión a una longitud de onda de 600-800 nm se genera usando una conversión aumentando la longitud de onda total o parcial de la potencia de radiación del chip LED con al menos un material de conversión aumentando la longitud de onda en proximidad del LED, y
 - 10 d) la emisión a longitudes de onda de 500-600 nm está dispuesta para ser reducida por debajo de la intensidad en la banda de 400-500 nm y por debajo de la intensidad en la banda de 600-700 nm
2. El aparato de iluminación de la reivindicación 1, en el que el LED tiene unas características espectrales con un pico libremente ajustable en el intervalo de longitud de onda de 500 a 800 nm y dispuesto para mostrar al menos 30 nm de semimáximo de achura completa.
- 15 3. El aparato de iluminación de cualquiera de las reivindicaciones 1, que comprende un segundo LED con al menos una característica espectral con máximo de 50 nm de semimáximo de achura completa y una longitud de onda pico en el intervalo de 400 a 500 nm y opcionalmente segundas y terceras características espectrales dispuestas para tener unas longitudes de onda pico libremente ajustables en el intervalo de 450 nm a 800 nm.
4. Uso del aparato de iluminación de la reivindicación 1 para proporcionar luz para al menos una planta.
- 20 5. Un procedimiento para mejorar el crecimiento de plantas en el que al menos un aparato de iluminación de la reivindicación 1 emite luz a al menos una planta.

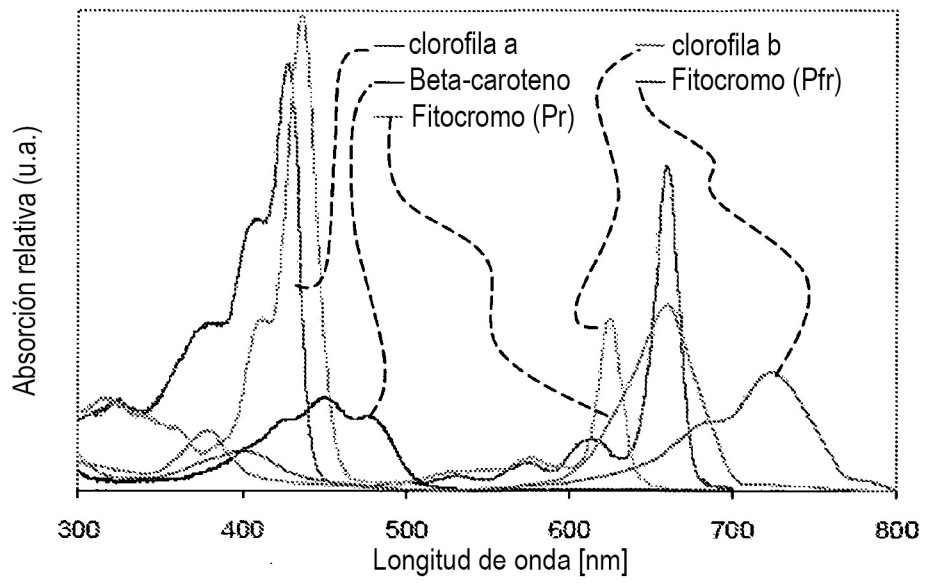


Fig. 1

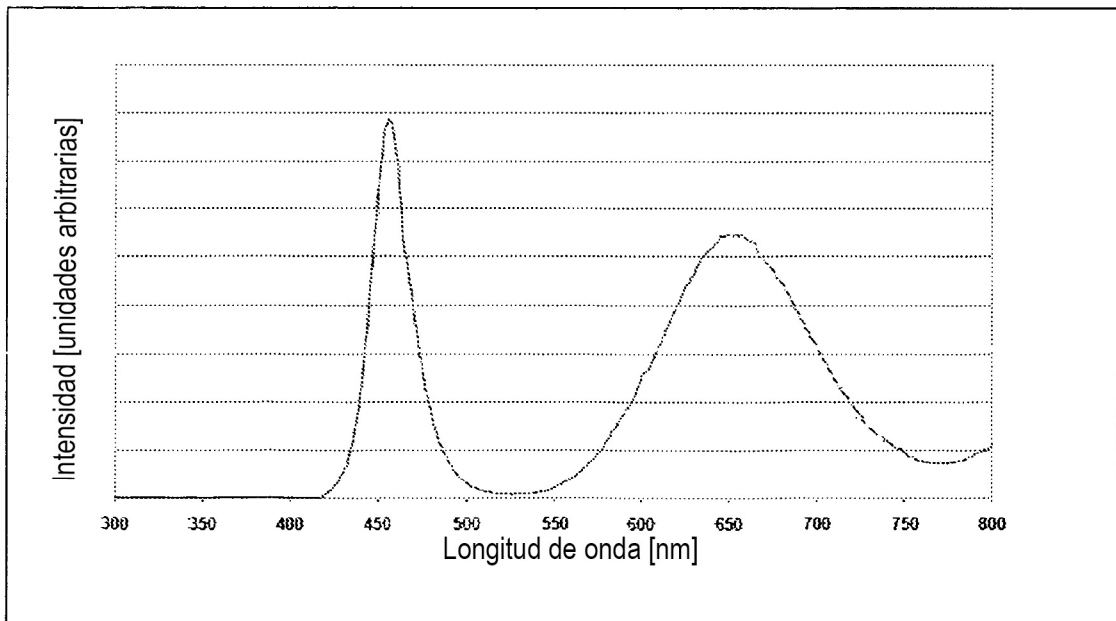


Fig. 2

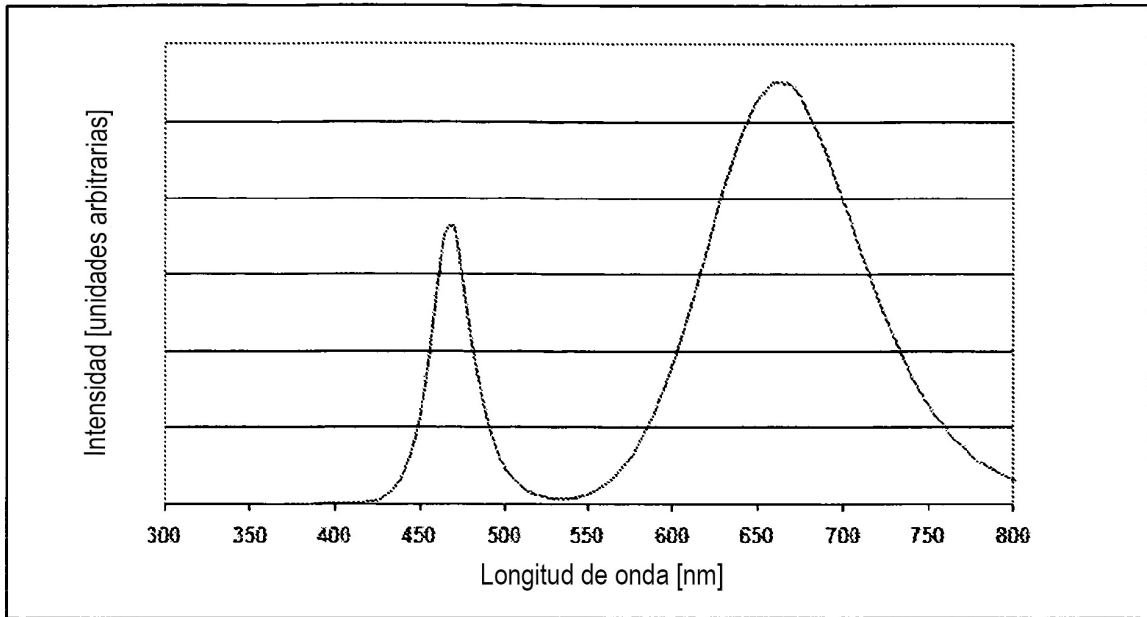


Fig. 3

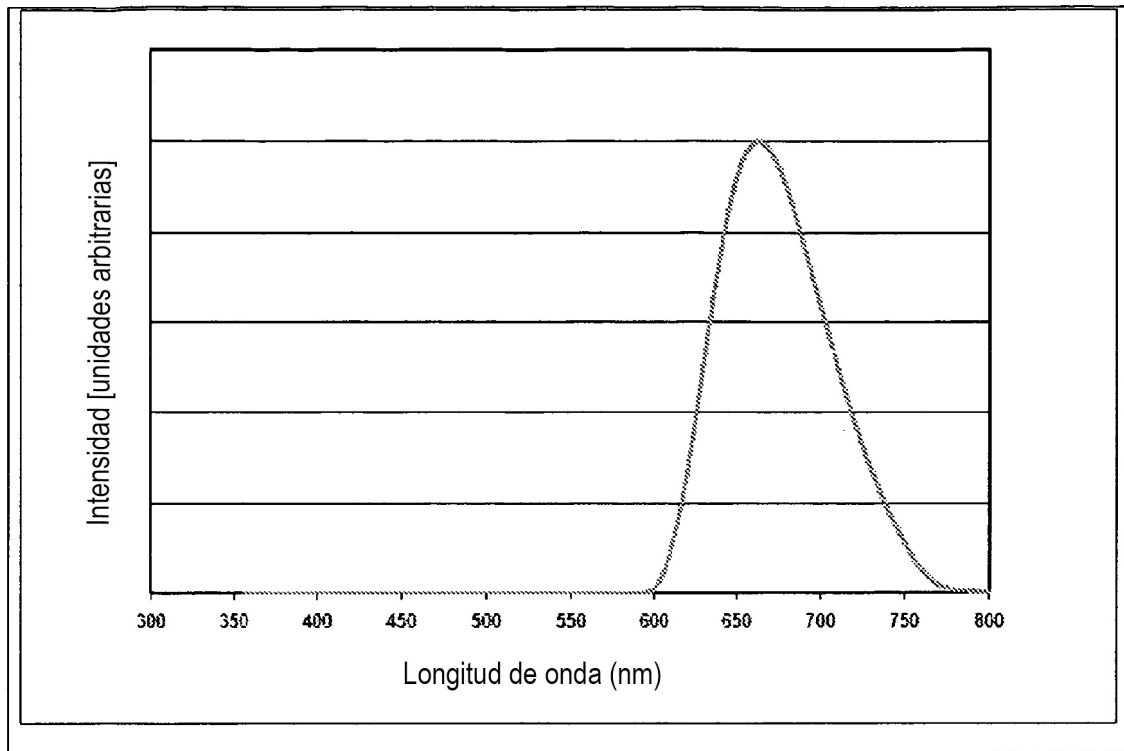


Fig. 4

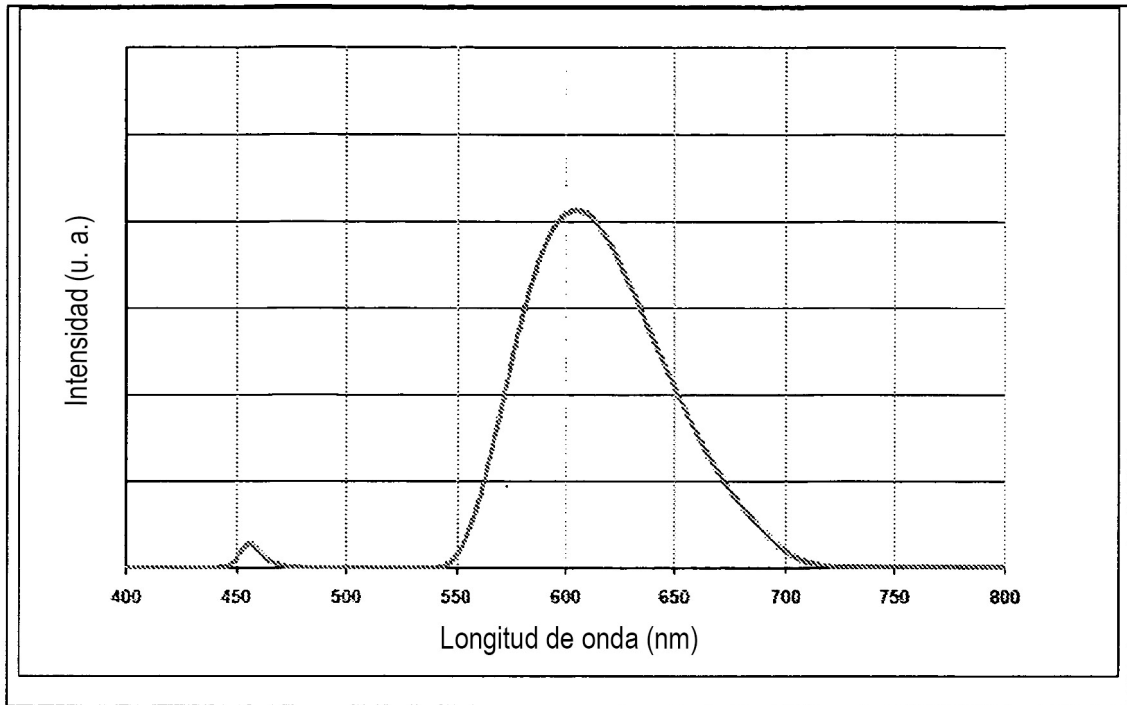


Fig. 5

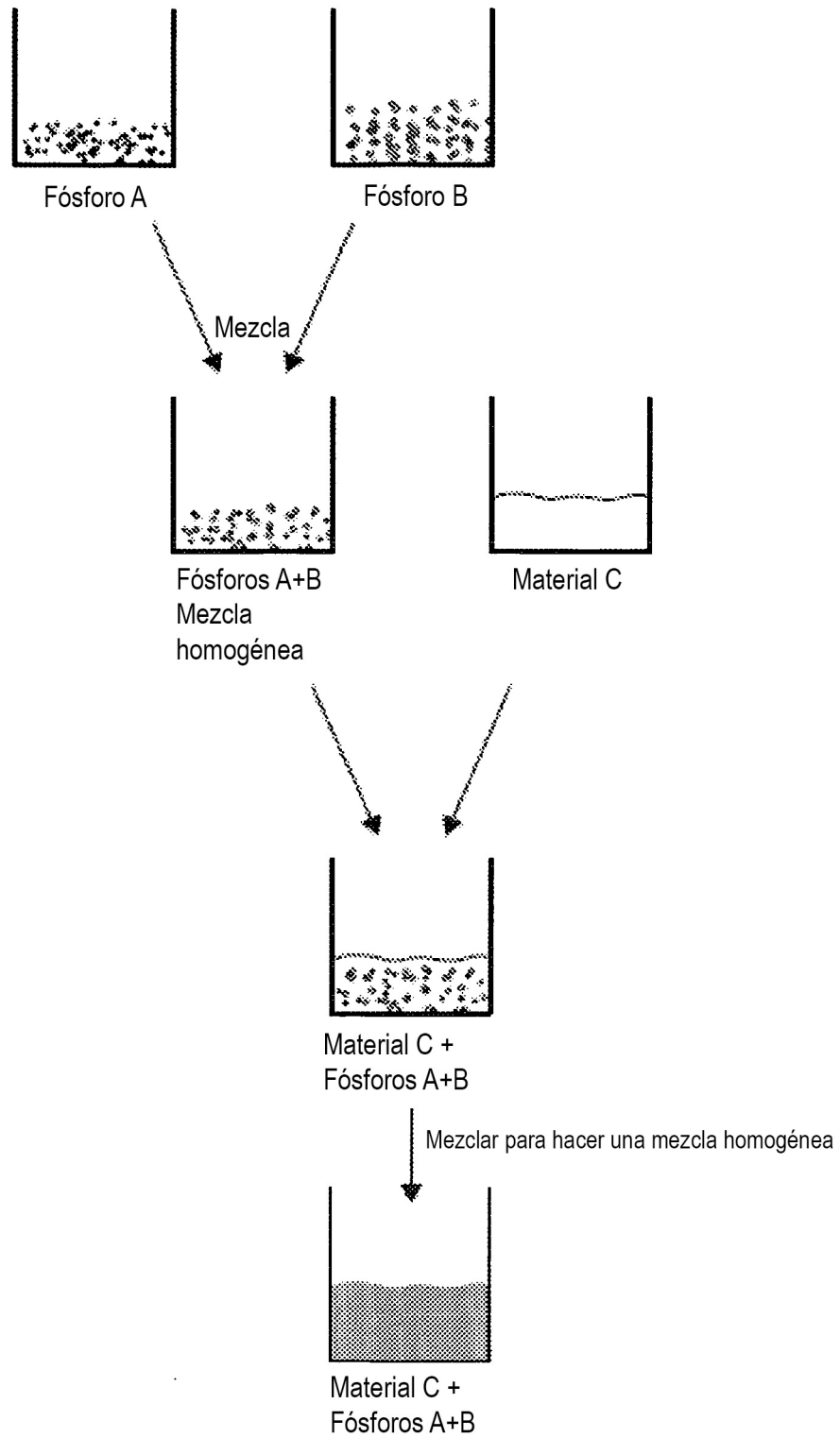


Fig. 6a

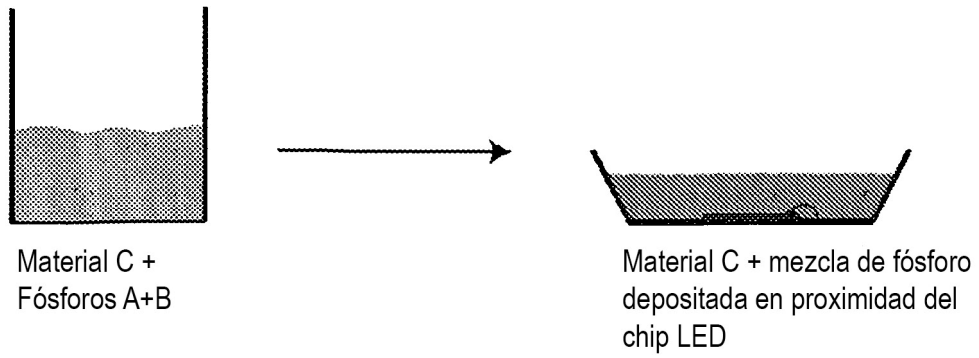


Fig. 6b



Fig. 6c