

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PARA PRUEBAS DE FOTOESTABILIDAD EN CÁMARAS CLIMÁTICAS

LUZ MARÍA MARTÍNEZ S.

Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar por el
título de Ingeniera Física

ASESORES:

LUCIANO ANGEL T.

MAURICIO ARROYAVE F.

MEDELLIN

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

CARRERA INGENIERÍA FÍSICA

2009

A mis padres, que aún desde muy lejos me apoyaron incondicionalmente durante este periodo final y que estuvieron a mi lado de una u otra forma en estos 5 años, siendo un soporte para mi desarrollo como profesional. A mi hermana, que me gustaría darle un poco de inspiración para que en un futuro llegue a ser una persona íntegra y una profesional responsable y dedicada. Y a toda mi familia, que siempre han tenido una palabra de ánimo y afecto para mí.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí tantos buenos momentos y que me acompañaron durante tantos años. Y finalmente a todos mis profesores, a los que les debo tantas madrugadas y esfuerzos para conseguir que saliera adelante y lograra con éxitos ser una profesional.

¡Gracias!

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	11
Introducción	12
1 Teoría de Radiación	16
1.1 Radiación de Cuerpo Negro	18
1.2 Radiación UV y Visible	22
1.3 El Sol.....	25
1.4 Fundamentos de Radiación Solar	28
1.4.1 Espectro solar en la superficie terrestre	29
1.4.2 El Espectro Estándar	30
1.5 Fuentes de iluminación solar artificiales.....	31
1.5.1 Lámpara de Arco Xenón.....	38
1.5.2 Lámparas Cerámicas de Xenón	40
1.5.3 Lámparas Fluorescentes, Luz Fría-Blanca y Blacklight UV	42
1.5.4 Lámpara Fluorescente D65	44
1.5.5 Lámparas de Haluros Metálicos	45
1.5.6 LED (Light Emitting Diode)	46
1.6 Técnicas de sensado de luz para la simulación solar	49
1.6.1 Actinometría Química	49
1.6.2 Radiometría y Fotometría	51
1.6.3 Unidades para medir radiación	52
1.6.4 Espectroscopia	55
1.6.5 Piranometría	56
2 Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad	58
2.1 Introducción a las Cámaras Climáticas y Pruebas de Fotoestabilidad	58
2.1.1 Sensores de Radiación.....	60
2.1.2 Fuentes de iluminación para simulación solar	67
2.2 Análisis de Normas y Estándares	79

2.2.1	Estándar ICH-Q1B.....	79
2.2.2	Estándar AATCC “Test Method 16-1990”.....	80
2.2.3	Norma Icontec 1479 CDU: 677.84.....	81
2.2.4	Estándar SAE-J1885 MAR92	81
2.2.5	Estándar ISO 18909:2006	82
2.3	Mercado de Cámaras Climáticas para Fotoestabilidad.....	87
3	Experimentos y diseño.....	96
3.1	Medición de radiación	96
3.1.1	Lámpara de descarga de Xenón.....	97
3.1.2	Lámpara Fluorescente de radiación UV (BlackLight).....	100
3.1.3	Lámpara Fluorescente Blanca (Cool White).....	103
3.1.4	Fuente de luz de Mercurio a Alta presión	105
3.1.5	LED (Cool White).....	108
3.2	Propuestas de Diseño.....	110
3.2.1	Distribución con lámpara central de Xenón	113
3.2.2	Distribución a lo largo de las paredes.....	115
3.2.3	Distribución de Lámparas Fluorescentes D65 en las paredes interiores de la cámara.....	123
3.2.4	Distribucion de LED’s en las paredes internas.....	125
3.2.5	Propuesta de sistemas encapsulados	127
	CONCLUSIONES.....	128
	RECOMENDACIONES	131
	Bibliografía	132
	Anexos	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Relación de Cuerpo Negro (Temperatura-Color)	22
Tabla 1.2.	Espectro Ultravioleta	22

Tabla 1.3. Componentes del espectro solar	28
Tabla 1.4. Variaciones en LEDS de color-composición	48
Tabla 1.5. Unidades Radiométricas - Fotométricas.....	52
Tabla 1.6. Conversión lumens-Watts	54
Tabla 2.1. Medición Fotoestabilidad/Fotodegradación	61
Tabla 2.2. Clasificación Tubos Fluorescentes - Diámetro	68
Tabla 2.3. Lámparas Fluorescentes Cool White.....	69
Tabla 2.4. Lámparas Fluorescentes BlackLight.....	71
Tabla 2.5. Lámparas HID Xenón	73
Tabla 2.6. Lámparas Cerámicas de Xenón	75
Tabla 2.7. Lámparas de Haluros Metálicos	76
Tabla 2.8. LED´S.....	77
Tabla 2.9. Arreglos de LEDS.....	78
Tabla 2.10. Condiciones de pruebas del estandar ISO 18909:2006	83
Tabla 3.1 Especificaciones del diseño del producto.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo atómico de Bohr	17
Figura 1.2. Espectro de Radiación Electromagnética	18
Figura 1.3. Distribución espectral de intensidades de radiación de cuerpo negro	21
Figura 1.4. Descomposición de la luz visible	25
Figura 1.5. Espectro solar- cuerpo negro 5777K.....	26
Figura 1.6. Esquema de Evolución Estelar	27
Figura 1.7. Espectro de radiación solar (cuerpo negro de 5800K)	28
Figura 1.8. Cambios en el espectro de Radiación Solar	30
Figura 1.9. Espectro Solar estándar, ASTM 892	31
Figura 1.10. Relación Color-Temperatura	33

Figura 1.11. Espectro estándar de potencia relativa - CIE D65	34
Figura 1.12. CCT y Cuerpo Negro.....	35
Figura 1.13. CIE 1931 XYZ Funciones de sensibilidad humana	36
Figura 1.14. Esquema de una lámpara de Xe	39
Figura 1.15. Irradiancia espectral de lámpara de Xe 6251	40
Figura 1.16. Espectro de radiación de lámpara Xe-cerámica.....	41
Figura 1.17. Esquema de lámpara fluorescente.....	42
Figura 1.18. Espectro de una lámpara fluorescente Cool White	43
Figura 1.19. Comparación espectro D65-GTI Lamp.....	44
Figura 1.20. Espectro de radiación, lámpara de haluros metálicos	46
Figura 1.21. Descripción de un LED.....	47
Figura 1.22. Distribución espectral de potencia de un LED Cool	49
Figura 1.23. Curva de luminosidad relativa	52
Figura 1.24. Ley de Lambert	55
Figura 1.25 Diagrama de un piranómetro.....	56
Figura 2.1. Esquema de los sistemas necesarios en una cámara de fotoestabilidad	60
Figura 2.2. Respuesta del detector en el rango visible	63
Figura 2.3. Respuesta del detector en el rango UV.....	63
Figura 2.4. Respuesta espectral sensor EPD-365-0	64
Figura 2.5. Absorbancia de la Cafeína, espectrómetro CCD-Si NMOS	66
Figura 2.6 Esferas integradoras.	67
Figura 2.7. Distribución relativa de la transmitancia de una ventana de vidrio	84
Figura 2.8. Distribución espectral relativa de potencias para simular las condiciones interiores de iluminación indirecta ID65a	84
Figura 2.9. Distribución espectral relativa de potencias - lámpara fluorescente Cool White	85
Figura 2.10. Distribución espectral relativa de potencias- lámpara incandescente de tungsteno	86

Figura 2.11. Distribución espectral relativa de potencias para un lugar exterior según D65	86
Figura 3.1. Espectro de emisión lámpara de Xenón (6257)	98
Figura 3.2 Esquema del montaje experimental - Lámpara de Xenón.....	99
Figura 3.3. Espectro experimental lámpara de Xenón	100
Figura 3.4. Espectro de emisión para una lámpara de luz negra	102
Figura 3.5 Esquema del montaje Blacklight-Espectrómetro	102
Figura 3.6. Espectro experimental lámpara de luz negra	102
Figura 3.7. Espectro de emisión lámpara fluorescente Cool White	104
Figura 3.8 Esquema del montaje Lámpara Fluorescente Cool White-Espectrómetro	104
Figura 3.9. espectro experimental Lámpara Fluorescente Cool White.....	105
Figura 3.10. Espectro de emisión de lámpara de mercurio y de haluros metalicos	106
Figura 3.11 Esquema del montaje Lámpara de Mercurio-Espectrómetro	107
Figura 3.12. Espectro experimental lámpara de mercurio.....	107
Figura 3.13. Espectro de emisión de LED Cool White	109
Figura 3.14 Esquema del montaje LED-Espectrómetro	109
Figura 3.15. Espectro experimental LED Cool White	110
Figura 3.16. Esquema del Interior de la propuesta de la cámara climática	112
Figura 3.17. Fuente de Xenón Puntual.....	113
Figura 3.18. Esquema Montaje Rotatorio de Xenón.....	114
Figura 3.19.....	114
Figura 3.20. Esquemas de montajes de fuentes fluorescentes visibles y UV	115
Figura 3.21	116
Figura 3.22 Esquema de referencia, distribución de lámparas en cuadrado.....	117
Figura 3.23 Distribución de intensidades para la cámara con iluminación UV-Visible en las paredes	119
Figura 3.24 Detalle de la distribución de intensidades	119

Figura 3.25	120
Figura 3.26 Esquema de referencia, distribución de lámparas en cilindro	121
Figura 3.27 Detalle de distribución de intensidades cilíndricas	122
Figura 3.28 Esquema de distribución lámparas D65	123
Figura 3.29	124
Figura 3.31 Esquema de distribución de LED's	125
Figura 3.32	126
Figura 3.34 Propuesta Encapsulado	127

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.1. Emisión ultravioleta del sol	23
Imagen 1.2. Rayos de Sol reflejados en la Tierra	29
Imagen 1.3. Lámparas de Xenón	39
Imagen 1.4. Lámparas cerámicas de Xenón	41
Imagen 1.5. Lámparas fluorescentes Cool White-Blacklight	42
Imagen 1.6. Lámparas de Haluros Metálicos de diferentes tamaños	45
Imagen 1.7. LED's de diferentes colores.	46
Imagen 2.1. Fotografías de productos que se someten a fotoestabilidad	59
Imagen 2.2. Detectores CALReady UV-Visible	62
Imagen 2.3 Fotodiodo UV Roithner	64
Imagen 2.4. Celda Solar NEWPORT	65
Imagen 2.5. Sensor UV PASCO	65
Imagen 2.6. Espectrómetro, Oriel IS	66
Imagen 2.7. DYCOMETAL, Cabina de Exposición Ensayos de Fotoestabilidad ..	87
Imagen 2.8. CCI, Cámaras Climáticas	88
Imagen 2.9. BINDER, Cámaras climáticas KBF-ICH	89
Imagen 2.10. CARON, Cámaras de Fotoestabilidad Series 6540	90

Imagen 2.11. CARON, 6500 Series :Photostability Chamber, (49)	90
Imagen 2.12. WEISS TECHNIK GMBH, Environmental Simulation Systems	91
Imagen 2.13. Q-Sun Xenon Test Chamber	92
Imagen 2.14. Environmental Specialties (ES)	92
Imagen 2.15 Atlas, weather-ometers.....	93
Imagen 2.16. Atlas, fluorescent weather-ometers	94
Imagen 2.17, Atlas, halogen weather-ometers	94
Imagen 3.1 Fotografía - Lámpara Arco Xenón	98
Imagen 3.2 Fotografía - Lámpara Fluorescente Black Light.....	101
Imagen 3.3 Fotografía - Lámpara Fluorescente Cool White.....	103
Imagen 3.4 Fotografía - Lámpara de Mercurio.....	106
Imagen 3.5 Fotografía - LED Cool Withe	108
Imagen 3.7 Distribución de intensidades para la cámara con iluminación UV-Visible sobre un cilindro	122

RESUMEN

El proyecto consiste en un estudio de un sistema de iluminación adecuado para ser aplicado a las cámaras climáticas, de modo que permitan realizar pruebas de fotoestabilidad, y poder así ofrecer un producto confiable y preciso a empresas que trabajen en diferentes áreas como: farmacéutica, cosmética, textil, tintes y muchas otras que requiere dichas pruebas. En el trabajo se realiza un estudio de las fuentes de luz y técnicas de sensado que pueden ser utilizadas en la construcción del sistema de iluminación para las cámaras climáticas. Además se plantean unas propuestas de diseño que pueden servir como ejemplo para realizar un prototipo funcional.

Palabras Claves: Simulación Solar, Cámaras Climáticas, Pruebas de Fotoestabilidad, Sistemas de Iluminación.

INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia de la radiación solar en nuestro entorno se plantea una investigación en los sistemas de simulación solar para poder llevar a cabo diferentes pruebas y experimentos que requieren este tipo de fuentes de luz, como pruebas de fotoestabilidad, sistemas de iluminación real para fotografía y publicidad, farolas de vehículos, pruebas biotecnológicas, crecimiento en ambientes simulados de plantas y animales, pruebas de filtros ópticos especiales, ensayos de resistencias de materiales, entre muchas otras aplicaciones.

Las cámaras de ambientales o cámaras climáticas son usadas para aplicaciones en las cuales se requiere realizar pruebas de la resistencia de ciertos productos o materiales frente a las condiciones de la intemperie. En este trabajo se enfoca el estudio en los sistemas de iluminación utilizados en cámaras climáticas para las pruebas de fotoestabilidad. Estas pruebas pretenden medir cómo reacciona un producto o material expuesto a la radiación solar.

En el mercado existen muchas clases de cámaras climáticas para ensayos de fotoestabilidad de una gran variedad de productos. Estas cámaras existen bajo ciertos estándares que difieren en cuanto al volumen que manejan, a tipo de fuente de luz, al tipo de radiación que utilizan, a los tiempos de exposición, a la cantidad de radiación, a los tipos de muestras, a los sensores que utilizan, entre muchas otras características. El sistema de sensado es un punto importante que no está por fuera del sistema de iluminación, ya que es el que permite controlar la cantidad de radiación que se suministra a las muestras.

Este proyecto surge por una necesidad del medio nacional de las cámaras climáticas. En el mercado colombiano, existen empresas que desarrollan cámaras climáticas, para pruebas ambientales, principalmente con humedad y temperatura controladas. En algunos casos se ha visto la necesidad de incorporar un sistema de iluminación especial para poder ofrecer cámaras climáticas que permitan realizar pruebas de fotoestabilidad.

Con este estudio no se propone una solución definitiva o un sistema de simulación solar implementado, sino que se limita a un análisis riguroso de las características y necesidades que pueden requerirse en un sistema de iluminación para una cámara climática que permita realizar pruebas de fotoestabilidad.

Este trabajo utiliza metodologías teóricas y prácticas. En particular, debe hacerse un estudio del mercado de las cámaras climáticas y un análisis de los estándares que comúnmente rigen las pruebas de foto estabilidad. Estos estándares son muy

variados debido a la gran variedad de productos que deben ser analizados. La parte de investigación es enfocada principalmente al tipo de lámparas y fuentes de luz que permitan simular la radiación solar y a los sensores y técnicas de sensado que se requieren para controlar la misma radiación. Finalmente, se realiza una etapa de experimentación con los sistemas de iluminación y sensado disponibles, para corroborar ciertas características de las fuentes, tales como, el espectro de emisión y la potencia óptica.

El proyecto es presentado en el marco de Proyectos de Grado, para optar por el título de Ingeniera Física de la Universidad EAFIT. Fue asesorado por los profesores Luciano Ángel Toro y Mauricio Arroyave Franco del área de Ingeniería Física, que pertenecen a los grupos de Investigación de Óptica Aplicada y Electromagnetismo Aplicado, respectivamente.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio de las diferentes opciones de iluminación y sensado para ser aplicadas a una cámara climática, que permita realizar simulaciones de condiciones ambientales de radiación, de acuerdo a estándares, criterios de calidad y eficiencia.

Objetivos específicos

- Revisar el mercado de cámaras climáticas para fotoestabilidad, así como las patentes, normas y estándares.
- Reconocer los diferentes tipos de fuentes de iluminación que pueden adaptarse a las necesidades de las normas y estándares.
- Proponer algunos sistemas de iluminación de acuerdo a los principales criterios obtenidos de los estándares
- Caracterizar energética y espectralmente algunas fuentes seleccionadas
- Evaluar un sistemas ópticos que permita eliminar perdidas y homogenizar la radiación dentro de la cámara
- Diseñar algunas disposiciones de las fuentes respecto a las muestras dentro de la cámara

Metodología

Para abarcar el proyecto en su totalidad se definen las siguientes etapas, tanto teóricas como experimentales:

- Etapa I: Revisión del mercado de las cámaras climáticas e investigación de normas y estándares para aclarar las características requeridas.
- Etapa II: Estudio del sistema de iluminación: Tipos de fuentes existentes en el mercado, fuentes de potencia y técnicas de sensado apropiadas para cada sistema de iluminación.
- Etapa III: Realización de montajes experimentales para caracterizar algunas de las lámparas disponibles en la Universidad EAFIT
- Etapa IV: Exploración de distintas alternativas de diseño del sistema de iluminación.

1 TEORÍA DE RADIACIÓN

El fenómeno de radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas (fotones) a través del vacío o de un medio material.

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio, transportando energía de un lugar a otro.

El modelo atómico que Niels Bohr publicó en 1913, consistía en que los electrones sólo pueden girar en ciertas órbitas u orbitales de radios determinados alrededor de un núcleo central y más pesado. Estas órbitas son estacionarias, en ellas el electrón no emite energía: la energía cinética del electrón equilibra exactamente la atracción electrostática entre las cargas opuestas de núcleo y electrón.

El electrón solo puede tomar así los valores de energía correspondientes a esas órbitas. Entre cada uno de estas orbitas y las demás existe una diferencia de energía, por lo que si el electrón asciende o desciende de nivel debe absorber o liberar una energía exacta. Gracias a este fenómeno se explica cómo un electrón puede liberar un fotón, con una energía igual a la de la diferencia de orbitas (1).



Figura . Modelo atómico de Bohr
Fuente: Las ondas electromagnéticas(1)

En la Figura . se muestra un esquema de la estructura de un átomo formado por un núcleo y en este caso tres orbitas con electrones. A la primera órbita le corresponde el número cuántico principal "n = 1", a la segunda órbita "n = 2", y la tercera órbita "n = 3", las órbitas adquieren un número cuántico principal en correspondencia de su orden.

Si al electrón que está en el primer orbital se excita, éste adquiere energía y eleva su posición al siguiente nivel orbital. Dada la gran inestabilidad que posee el electrón en un orbital que no le corresponde volverá a su orbital original liberando la energía sobrante en forma de fotones.

Dependiendo de los diferentes niveles de energía, y del material que contenga estos electrones, los fotones tendrán propiedades muy diversas en cuanto a la energía que contienen, esto se traduce en la relación en la cual la energía es proporcional a la frecuencia (color) de la radiación como se muestra en la . Esto es traducido entonces como todo un espectro de emisión de luz, como se muestra en la Figura . que abarca desde Rayos Gamma hasta Ondas de radio, pasando por radiación ultravioleta, luz Visible, infrarroja, microondas (1).

(.)

La relación entre la frecuencia, ν , (en unidades temporales) y la longitud de onda , λ , (unidades espaciales) está dada por la velocidad de la luz, c , que es una constante en todos los sistemas del universo.

(.)

Teoría de Radiación

En la ecuación (.) puede verse que la frecuencia, en s^{-1} , se multiplica por la longitud de onda en m resultando siempre la constante de 300.000.000 m/s.

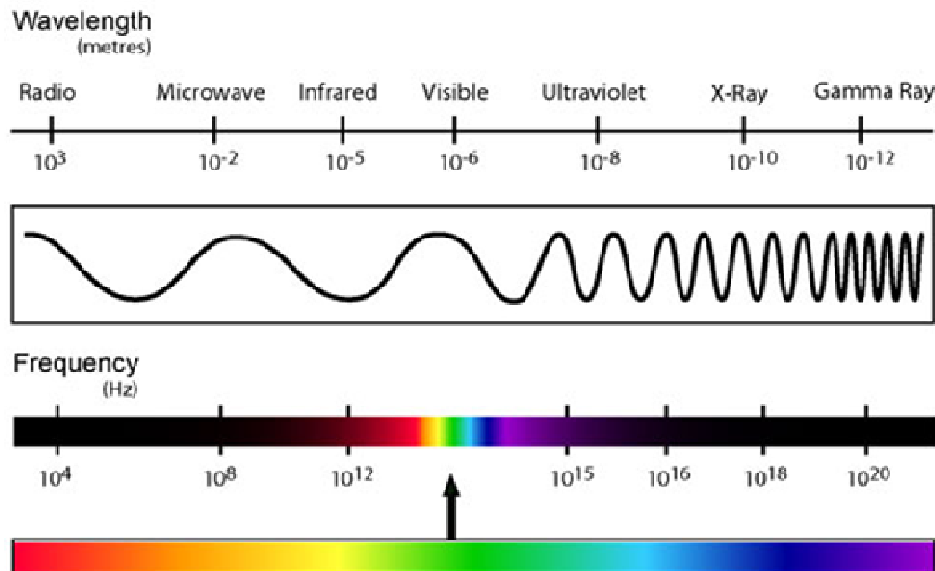


Figura .. Espectro de Radiación Electromagnética Fuente: LAS RADIACIONES: RETO Y REALIDADES (2)

En la Figura . se ilustra la correspondencia entre las frecuencias con las longitudes de onda. Se ve como las ondas en el infrarrojo, tienen una frecuencia característica aproximada de 10^{12} y una longitud de onda asociada de 10^{-5} .

1.1 Radiación de Cuerpo Negro

Determinar las leyes que gobiernan la absorción y emisión de luz por parte de los cuerpos materiales fue uno de los problemas más importantes de la física de principios del siglo XX. Estas explicaciones fueron finalmente logradas por Max Planck en el mes de diciembre del año 1900 (3).

Un cuerpo negro se conoce como un cuerpo ideal que puede absorber y emitir radiación en todas las longitudes de onda. Se comienza entonces por definir una cavidad vacía, sin ningún tipo de gas, dentro de un cuerpo sólido, con una perforación que lo comunica con el exterior. Éste agujero es lo suficientemente pequeño para no perturbar el equilibrio interno de la cavidad. Las paredes de la cavidad absorben y emiten energía de forma constante hasta que alcanzan un

Teoría de Radiación

equilibrio termodinámico, de esta manera la energía radiante de la cavidad depende solamente de la temperatura de las paredes de la cavidad. Así, la cavidad emite luz a través de su perforación con un espectro característico que depende sólo de la temperatura de la cavidad. Éste tipo de cavidad recibe el nombre de **cuerpo negro**, ya que un cuerpo negro absorbe toda la energía que penetra en él, sin reflejar nada (3).

Para sustentar su teoría, Planck se propuso explicar las características de la radiación de cuerpo negro con la ayuda de otras leyes que se relacionaban con esta radiación, entre ellas estaban:

- Ley de *Kirchhoff* : Afirma que las características espectrales de la absorción de radiación de cualquier cuerpo material cuando está frío son iguales a las características espectrales de emisión cuando está caliente
- Ley de *Stefan Boltzmann*: Afirma que la energía total emitida por unidad de área de un cuerpo negro es directamente proporcional a la cuarta potencia de la temperatura.
- Ley del *Desplazamiento de Wien*: Afirma que la potencia emisiva o emitancia radiante, $M(\lambda, T)$, en watts por unidad de área, en un intervalo unitario de frecuencias de un cuerpo negro, es una función de la forma que muestra la ecuación (.), que determina la potencia total emitida.

$$M(\lambda, T) = T^5 f(\lambda, T) \quad (..)$$

en donde:

T , es la temperatura

λ , es la longitud de onda (nm)

Lo cual lleva a la conclusión de que el máximo valor de potencia emitida ocurre para un valor determinado λT . Esta ley está plenamente confirmada por consideraciones termodinámicas.

Teoría de Radiación

Planck comenzó con la suposición de que la luz emitida por la cavidad es radiada por dipolos oscilantes en las paredes de la cavidad. Para sustentar esto propuso las siguientes hipótesis (3):

- a) Los osciladores emiten y absorben luz en forma continua, siguiendo las leyes de la electrodinámica.
- b) Los osciladores que tienen una frecuencia ν emiten luz sólo cuando su energía es un múltiplo entero de una unidad mínima ϵ de energía, que se formula en la ecuación (..) En donde h es una constante, llamada la constante de Planck, con un valor medio obtenido en forma experimental que dio como resultado, $h = 6.6252 \times 10^{-34}$ joule seg. Y ν , es la frecuencia.

$$\epsilon = h\nu \quad (..)$$

- c) La distribución de energías posibles que puede tener un oscilador con una frecuencia dada sigue la distribución estadística de Maxwell. Esta distribución de las energías tiene un máximo de probabilidad para un cierto valor que depende de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, la máxima probabilidad que alcanza se desplaza hacia las frecuencias más altas. En la Figura . se puede observar como la longitud de onda máxima sufre un desplazamiento.
- d) El numero de osciladores que emiten con frecuencias en el intervalo entre ν y $\nu + \Delta\nu$, es directamente proporcional al numero de modos permitidos dentro de la cavidad.

A partir de estas leyes, Planck llega a la definición de las ecuaciones que describen la ley de radiación de cuerpo negro como una función de la potencia emitida en frecuencias o longitudes de onda, ecuaciones (.) y (.) respectivamente.

$$M(\nu) = \frac{2\pi h\nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (..)$$

Análogamente, la ecuación anterior puede escribirse en función de la longitud de onda.

Teoría de Radiación

$$M(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (.)$$

en donde :

$M(\nu)$, es la potencia emitida por unidad de área en un intervalo unitario de frecuencias

$M(\lambda)$, es la potencia emitida por unidad de área en un intervalo unitario de longitudes de onda.

c , es la velocidad de la luz, definida por $\nu\lambda = c$

k , es la constante de Boltzman = $1.380\,6504(24) \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

T , es la temperatura en grados Kelvin

Con la ecuación (.) y la ecuación (.) se puede representar gráficamente la distribución de radiación en función de la frecuencia ν o de la longitud de onda λ (4).

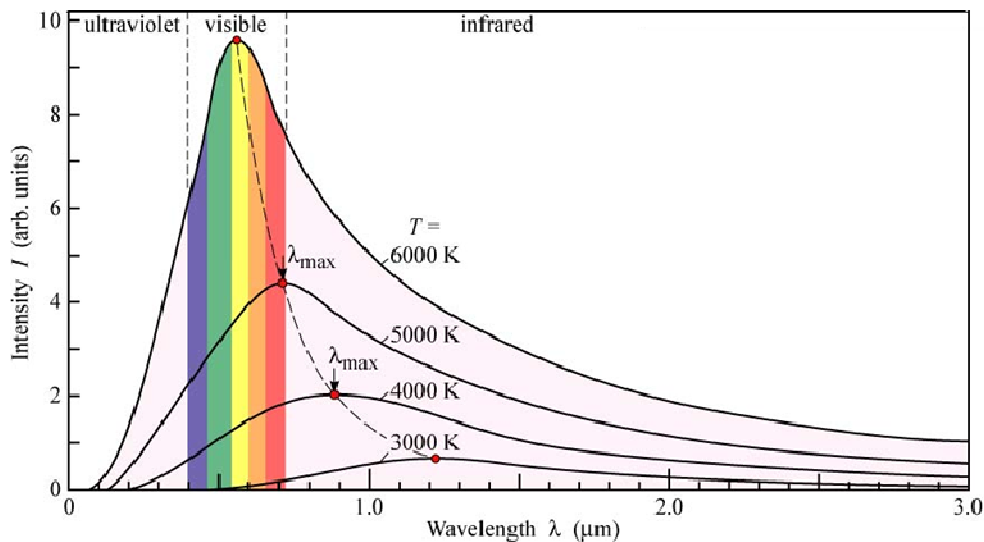


Figura .. Distribución espectral de intensidades de radiación de cuerpo negro Fuente: *Planckian sources and color temperature* (4)

Se puede ver en la Figura ., que efectivamente la distribución de radiación tiene un máximo que se corre a longitudes de onda más cortas cuando la temperatura

Teoría de Radiación

aumenta. En la Tabla . se muestra la relación temperatura-color de un Cuerpo Negro Ideal.

Temperatura		Longitud de onda del pico	Color
En grados Kelvin	En Grados Centígrados		
10000	9727	290 nm	Ultravioleta
8000	7727	362 nm	Ultravioleta
6000	5727	483 nm	Azul
4000	3727	724 nm	Rojo
2000	1727	1.45 μm	Infrarrojo Cercano
1000	727	2.90 μm	Infrarrojo Medio
800	527	3.62 μm	Infrarrojo Medio
600	327	4.83 μm	Infrarrojo Medio
400	127	7.24 μm	Infrarrojo Lejano

Tabla ..Relación de Cuerpo Negro (Temperatura-Color)

1.2 Radiación UV y Visible

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 100 nm (1×10^{-7} m) y los 400 nm (4×10^{-7} m). Su nombre proviene debido a que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta.

← Ultraviolet Band ($\lambda = 100 - 400\text{nm}$) →			
vacuum UV	UVC	UVB	UVA
100-200nm	200-280nm	280-315nm	315-400nm
far UV			near UV

Tabla .. Espectro Ultravioleta Fuente: *Instruction Sheet UVA LIGHT SENSOR (5)*

La radiación ultravioleta está dividida en 4 bandas de acuerdo a la naturaleza de la radiación (ver Tabla .). Las longitudes de onda más pequeñas que constituyen la banda "vacuum UV", llamada así debido a que la energía de éste tipo de radiación puede ser estudiada solamente en el vacío. Esto es porque el oxígeno y otras moléculas de gas en el aire absorben esta radiación (5).

Teoría de Radiación

Las otras tres regiones correspondientes a la radiación UVA, B, C en donde la UVA corresponde a las frecuencias más bajas y la UVC a las frecuencias más altas.

La región UVC, es esencialmente la radiación del sol que es absorbida o dispersada por la capa de ozono de la tierra. La radiación UVB también es absorbida por la atmósfera, pero en algunas ocasiones puede alcanzar la superficie terrestre y causar daños ya que actúa y reacciona con las moléculas orgánicas, cambiando su forma o modificando su composición química.

Finalmente la menos perjudicial es la UVA y es la que en su mayoría pasa a través de la atmósfera y alcanza la superficie terrestre. Esta es la culpable de quemaduras en la piel y algunos daños en los ojos, aunque en algunas aplicaciones puede llegar a ser útil, como para ayudar a purificar el agua matando algunas bacterias y virus.

La radiación ultravioleta puede ser usada como herramienta de investigación del espacio profundo, al permitir observar nuevos y lejanos objetos en el universo. En la Imagen . se muestra una fotografía del Sol en el ultravioleta, además del sol, muchas estrellas, agujeros negros y demás objetos astronómicos pueden emitir en radiaciones de alta energía.

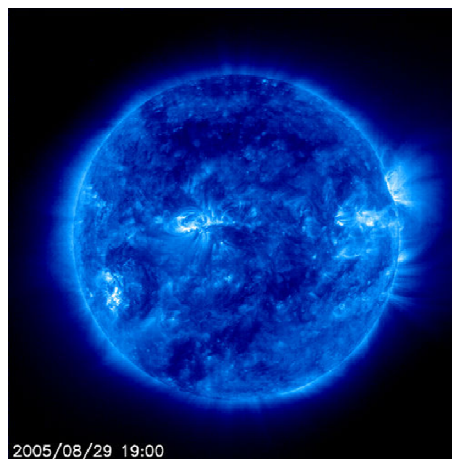


Imagen ..Emisión ultravioleta del sol Fuente: NASA Web Site

La radiación UV puede ser la causa de ciertas reacciones en los materiales, existe una llamada reacción *actínica*. Esta está caracterizada por la energía del fotón que está por encima de los 4eV (electronVoltios).

Teoría de Radiación

Para saber la energía de un fotón se puede utilizar la ecuación (.). En función de la longitud de onda está dada por la ecuación (.)

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad (.)$$

en donde:

E es la energía del fotón

λ la longitud de onda que posee el fotón

Por ejemplo, si se tiene una radiación electromagnética con menor longitud de onda, más grande será la energía de los fotones. Por tanto la radiación UVA es la menos dañina de todas las radiaciones ultravioletas (5).

En la naturaleza la principal fuente de radiación ultravioleta son las estrellas, las cuales por procesos nucleares de altas energías tienen la capacidad de producir éste tipo de radiación, y en algunas ocasiones radiación mucho más energética que la ultravioleta. Pero también se pueden encontrar fuentes artificiales de radiación ultravioleta, como algunas lámparas de descarga, fluorescentes y algunos tipos de lámparas más modernas, como se tratará luego.

Otro tipo de radiación que interactúa mucho con los seres humanos y en general con su vida diaria, es la luz visible, es la que se puede percibir día a día y permite ver los objetos y demás cosas.

La luz visible, es una porción más pequeña del espectro, que se encuentra entre los 400-700nm, siendo esta región del espectro que puede captar el ojo humano, en la Figura . se muestra la descomposición la luz visible mediante un prisma, con las componentes espectrales de la misma.

Cada longitud de onda corresponde a un color diferente desde el rojo (700nm) hasta el violeta (400nm).

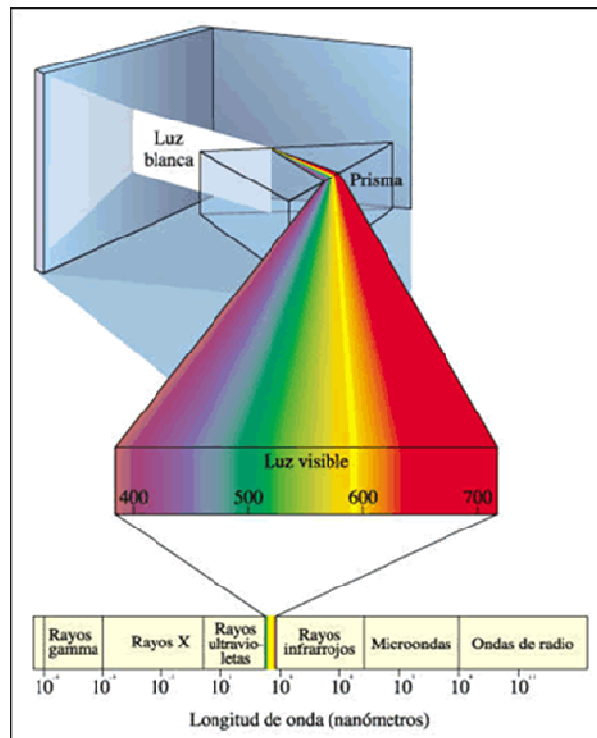


Figura .. Descomposición de la luz visible Fuente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap02/02_07.htm

1.3 El Sol

El Sol es una estrella de las 400,000 millones de estrellas más de nuestra galaxia, La Vía Láctea. Es una estrella tipo “enana amarilla”, que se encuentra en el centro del sistema solar. Provee a la tierra de luz, calor y otros tipos de energía. El Sol, como todas las demás estrellas está compuesto principalmente de gases que se encuentran ionizados (plasma) a altas temperaturas y sensibles al magnetismo (6).

El sol tiene una temperatura superficial de 5800 K, mientras que la temperatura en su núcleo alcanza los 15 millones de grados kelvin.

En la Figura . se puede ver una comparación del espectro de emisión del sol comparado con la radiación de un cuerpo negro ideal a una temperatura de 5777 K.

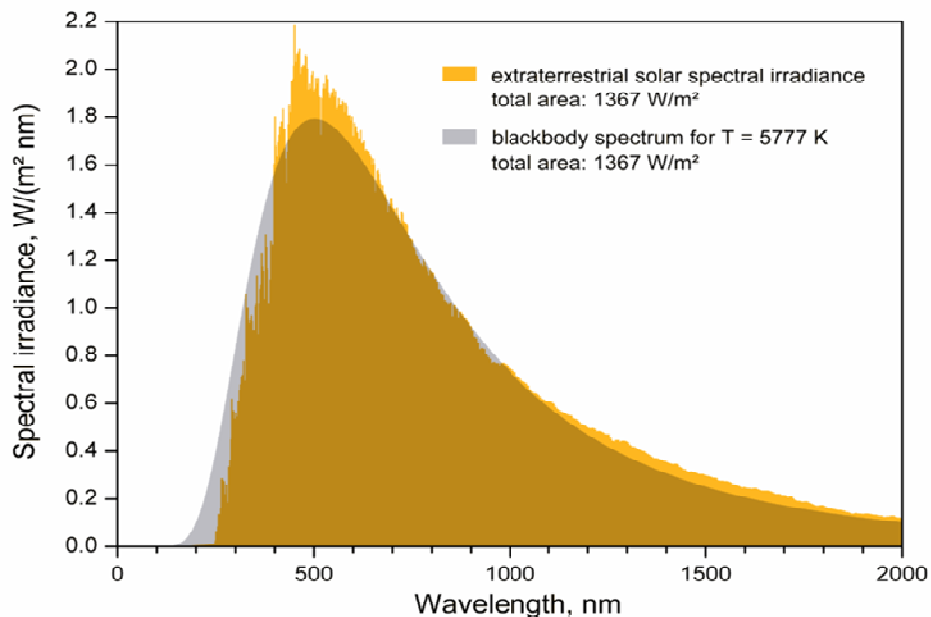


Figura .. Espectro solar- cuerpo negro 5777K. Fuente: World Book at NASA THE SUN (6)

El sol produce energía por medio de un grupo de reacciones, en las que intervienen el carbono y el nitrógeno como catalizadores, esto constituye un ciclo, que se repite una y otra vez, mientras dura el hidrógeno. A éste grupo de reacciones se les conoce como "ciclo de Bethe o del carbono", y es equivalente a la fusión de cuatro protones en un núcleo de helio. En estas reacciones de fusión hay una pérdida de masa, esto es el hidrógeno que se consume pesa más que el helio producido. Esa diferencia de masa se transforma en energía según la ecuación de Einstein ($E = mc^2$). Estas reacciones nucleares transforman el 0,7 % de la masa afectada en fotones, con una longitud de onda cortísima y, por lo tanto, muy energéticos y penetrantes.

La fusión nuclear no sólo permite que una estrella pueda permanecer brillando durante miles de millones de años, sino que también es la causa de la existencia de todos los elementos que constituyen la materia, además del hidrógeno. Actualmente se cree que el hidrógeno era el principal componente del Universo después de su formación en la Gran Explosión (el Big Bang). Bajo ciertas condiciones, los átomos de hidrógeno se asocian en nubes densas, o protoestrellas como se muestra en la Figura ., que se empiezan a contraer por la acción de su propia fuerza gravitacional. La contracción continúa hasta que la presión y la temperatura en el centro de la protoestrella son tan elevadas que se inicia un proceso autosostenido de reacciones termonucleares, en las que se combinan núcleos de hidrógeno para formar núcleos de helio (7).

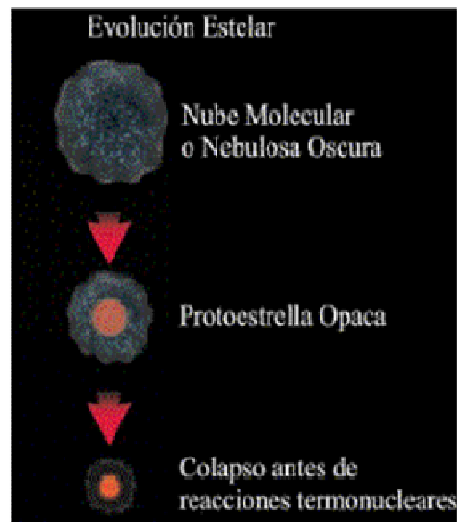


Figura .. Esquema de Evolución Estelar Fuente:
http://www.geocities.com/acarvajal/tt/temas/estrellas_nacimiento_estelar.htm

La estrella permanece generando energía hasta que se consume todo el hidrogeno, lo que produce que la estrella se contraiga gravitacionalmente de nuevo hasta que su centro se calienta lo suficiente como para que el helio se fusione para formar elementos más pesados.

La energía que se libera al formarse un núcleo de helio es de unos 25 MeV, que corresponde a la diferencia de masa entre cuatro protones y un núcleo de helio más dos positrones. Esta energía aparece en forma de energía cinética de las partículas del gas en radiación. Esta energía que se produce en el núcleo, viaja hacia afuera pasando por la zona de radiación, donde las partículas de luz (fotones) transportan la energía. Un fotón demora millones de años para llegar a la próxima capa, la zona de convección. En la zona de convección, la energía viaja más rápido. Ahora son los movimientos de los gases del Sol los que transportan la energía hacia afuera (7).

La radiación o luz que se recibe en la superficie de la tierra proveniente del Sol, se encuentra distribuida en una amplia región del espectro electromagnético en proporciones que se trataran más adelante. En la Tabla . se puede ver cuáles son los principales componentes del espectro electromagnético.

Nombre	Abreviación	Rango
Ultravioleta C	UVC	100 - 280 nm
Ultravioleta B	UVB	280 - 315 nm
Ultravioleta A	UVA	315 - 400 nm
Rango visible	Luz	400 - 700 nm
Rango Infrarrojo	-	700 nm - 1 mm

Tabla .. Componentes del espectro solar

1.4 Fundamentos de Radiación Solar

La radiación solar en el planeta tierra cumple funciones esenciales para la vida, además de determinar el clima y la temperatura. La temperatura típica de la superficie solar es 5800K, siendo el espectro de radiación del sol similar al espectro de un cuerpo negro de 5800K.

La irradiancia del sol en la atmósfera exterior cuando el sol y la tierra están espaciados a una unidad astronómica (1.5 Millones de Km) es llamada “constante solar”, cuyo valor aceptado es aproximadamente de 1360 W/m². En términos gráficos la constante solar es la integración total de las irradiancias sobre toda la función de distribución del espectro, la cual corresponde con el área bajo la curva de la grafica presentada en la Figura . (8).

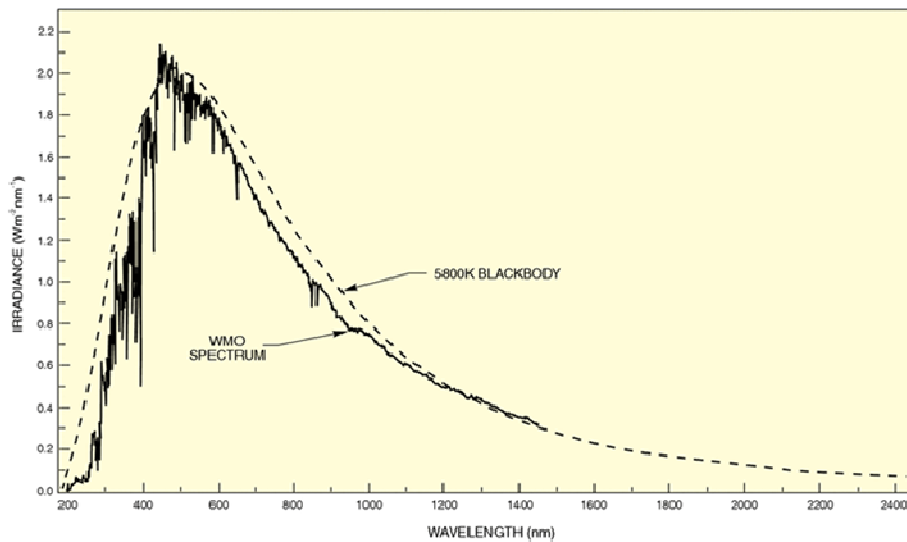


Figura .. Espectro de radiación solar (cuerpo negro de 5800K) Fuente: Teoría de simulación solar, Newport Corporation

Teoría de Radiación

La Figura ., es el espectro de la radiación solar, fuera de la atmósfera terrestre comparada con el espectro de radiación de un cuerpo negro de temperatura igual a 5800K. El rango que se muestra del espectro 200-2500nm que incluye el 96.3% de la irradiancia total que emite el sol; el otro 3.7% corresponde a longitudes mayores. El espectro solar cuando se mide en la Tierra, tiene características diferentes fundamentales. Gran parte de la radiación que viene directamente del sol es diseminada por la atmosfera y cierta parte de la radiación adicional es la reflejada en la superficie terrestre como se ilustra en la Imagen ..



Imagen .. Rayos de Sol reflejados en la Tierra *Fuente: NASA WebSite*

1.4.1 Espectro solar en la superficie terrestre

La radiación que alcanza a llegar a la superficie terrestre atravesando la atmósfera sufre una modificación en su espectro por absorción y dispersión que ocasionan los gases que se encuentran en la atmosfera.

El oxígeno y el nitrógeno atmosféricos absorben la radiación de pequeñas longitudes de onda, de manera que bloquean efectivamente las radiaciones de longitudes de onda menores a 190nm, que son más peligrosas para los seres vivos. Cuando el oxígeno molecular absorbe radiaciones de longitud de onda corta se disocian y se produce ozono. Éste ozono absorbe fuertemente la radiación UV entre 200-300nm, pero no absorbe en el visible.

El ozono esta homogéneamente distribuido por toda la atmósfera, lo que genera la conocida Capa de Ozono, una buena protección contra la radiación solar. Para poder ser una protección eficiente debería tener un espesor mayor a 3mm, pero actualmente por la contaminación ambiental su espesor ha ido disminuyendo y la protección que esta ofrece es menor, permitiendo que más radiación UV llegue hasta la superficie.

Teoría de Radiación

El vapor de agua y el dióxido de carbono absorben selectivamente las longitudes de onda en el infrarrojo y modifican el espectro (ver Figura .) que alcanza la superficie terrestre, al igual que componentes que se quedan atrapados en la atmósfera, como gotas de agua y partículas de aerosoles (8).

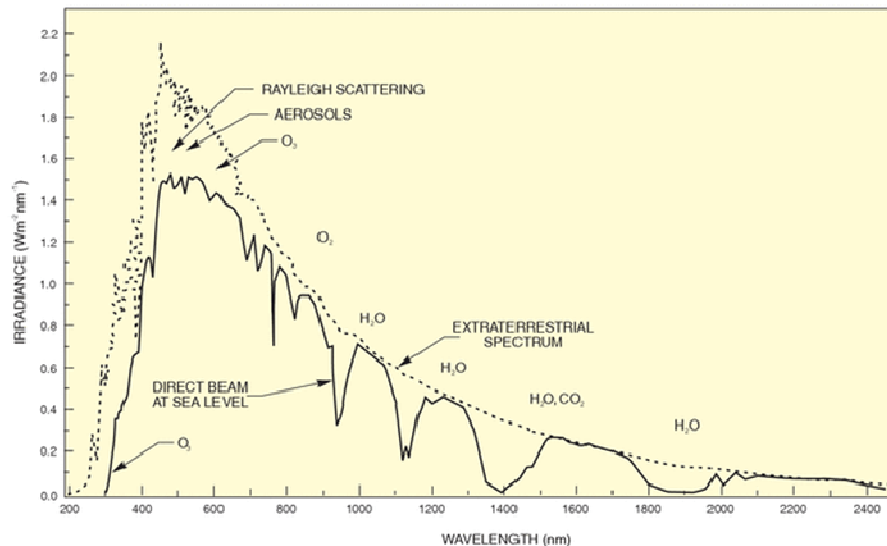


Figura .. Cambios en el espectro de Radiación Solar Fuente: Teoría de simulación solar, Newport Corporation

Finalmente en la superficie terrestre se mide un espectro solar, considerablemente diferente del que se obtiene haciendo medidas fuera de la atmósfera. Si se quiere entonces generalizar éste espectro, de manera que en cualquier lugar se pueda simular la radiación solar, se usa entonces el nivel del mar como un sitio estándar. Con éste punto definido, se define la radiación como "Air Mass 1 Global (AM1G)". En cambio si se piensa trabajar con el espectro solar sin pasar a través de una masa de aire se define el estándar "Air Mass 0 (AM0)" (9).

1.4.2 El Espectro Estándar

La radiación que llega a la superficie de la tierra varía entonces significativamente, debido a la ubicación geográfica, las condiciones atmosféricas, a la capa de ozono, la dirección de incidencia de los rayos y a la hora del día. Dado que el espectro solar depende de tantas variables, debe existir entonces un espectro estándar que pueda ofrecer un modelo confiable para el desarrollo de teorías y experimentos relacionados con la simulación del espectro solar. La CIE (Comisión

Internacional de Iluminación), quien es la autoridad mundial en los estándares, normas y nomenclaturas en radiometría y fotometría, ha publicado recientemente un espectro estándar de la radiación solar que se muestra a continuación.

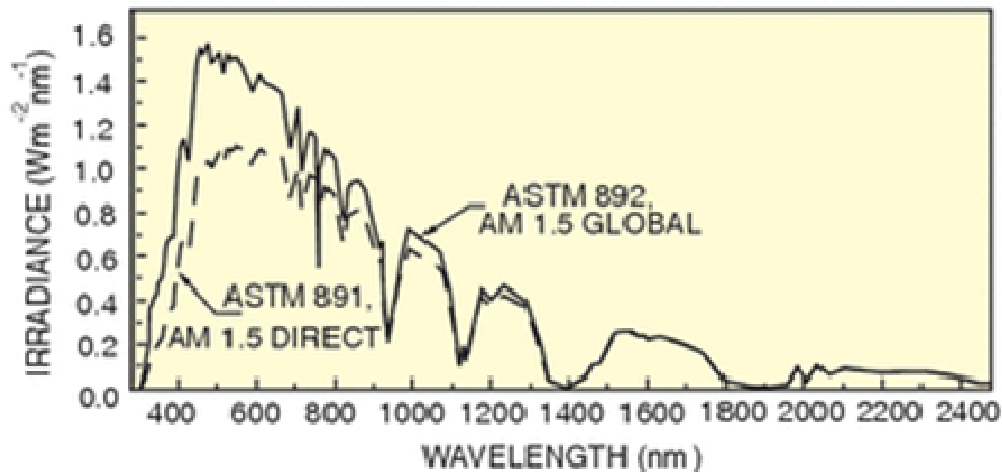


Figura .. Espectro Solar estándar, ASTM 892 Fuente: *Teoría de simulación solar, Newport Corporation*

En el espectro estándar se muestran dos espectros con diferentes tipos de promedios, que dependen de la ubicación geográfica y la altitud, ya que la cantidad de aire que existe encima de la superficie actúa como filtro.

1.5 Fuentes de iluminación solar artificiales

Como se discutió anteriormente, la luz es un conjunto de campos eléctricos y magnéticos que oscilan a través del espacio. Estas oscilaciones se caracterizan por ser ondas con una frecuencia y longitud diferentes que las distingue entre sí, como una variedad de formas del espectro electromagnético. La radiación ultravioleta está comprendida entre los 100 y 400 nm, mientras que la luz visible se comprende entre los 400 y 750nm aproximadamente.

La más poderosa fuente de luz en el universo relativa a nosotros es el Sol, aunque la luz también puede ser producida naturalmente en otras formas, por ejemplo, en el fuego o en los insectos y peces bio-luminicentes. No obstante la luz también puede ser generada artificialmente, la energía eléctrica es muy utilizada por los humanos para producir luz. Los sistemas de luz eléctricos, son aquellos que hacen

Teoría de Radiación

pasar corriente por un medio, ya sea un filamento, un gas o un material semiconductor.

La primera fuente eléctrica de luz, fue patentada en 1880, consistía en un bulbo de vidrio con un filamento de carbono incandescente que operaba usando corriente directa. Éste tipo de iluminación, aunque ineficiente, permaneció operando por más de 100 años. Luego las compañías de iluminación debieron desarrollar sistemas como las lámparas de descarga, lámparas fluorescentes o diodos emisores de luz (LED), más eficientes.

Para las pruebas de fotoestabilidad, que se encarga de medir la resistencia al deterioro y desgaste de ciertos materiales, se deben establecer ciertos sistemas de luz, controlados y con especificaciones determinadas. Según los estándares existen varios tipos de sistemas de iluminación que pueden ser usados pero principalmente se pueden dividir los sistemas de iluminación en dos tipos, según la fuente.

En el mercado se encuentran varios tipos de fuentes de luz en las cámaras climáticas, principalmente con fuentes de arco xenón y con lámparas fluorescentes.

En éste trabajo se pretende analizar las ventajas, desventajas y demás criterios que permitan seleccionar, la lámpara adecuada. Y en éste sentido para poder caracterizar y acomodarse a la mejor fuente de luz, se debe tratar primero las características que influyen en su selección.

Como ya se menciona anteriormente en la sección 1.1 Radiación de Cuerpo Negro, la función espectral de radiación de un cuerpo caliente es determinada en relación a la temperatura absoluta de su superficie (ley de radiación de Planck). Entonces, si se supone que el sol es un cuerpo negro casi perfecto, podemos relacionar su color con la temperatura de su superficie, que es aproximadamente de 5600 K. (10).

De todo esto, puede deducirse que a más altas temperaturas (5000 K o más) son colores azules y verdes. Y a temperaturas bajas (2700 – 3000 K) son colores amarillos y rojos. ¹

Para una fuente de luz que no sea un cuerpo negro ideal, el color de la temperatura de la radiación térmica emitida por ella puede diferir de la temperatura de su superficie. La luz de las lámparas incandescentes de filamento de tungsteno es de origen térmico, y es muy similar a la de un cuerpo negro ideal. Sin embargo

¹ Como sus componentes en el rojo son tan bajas es llamada luz fría , “Cool White”.

Teoría de Radiación

las lámparas de descarga, emiten luz por otro tipo de fenómenos, esto significa que su eficiencia no sigue la forma del espectro de un cuerpo negro. A estas fuentes entonces se les asigna lo que se conoce como la **correlación color-temperatura** (CCT, por sus siglas en inglés).

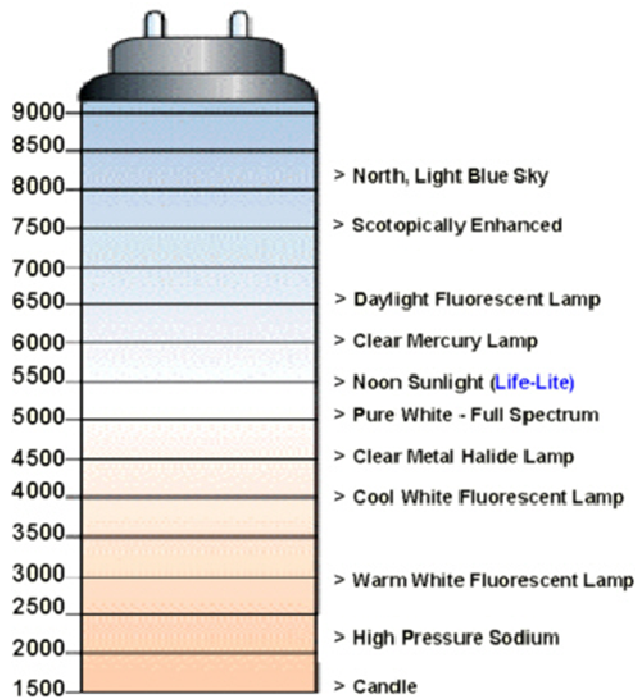


Figura .. Relación Color-Temperatura

La CCT, es una característica de las fuentes de luz, con grandes aplicaciones en fotografía, publicidad y óptica, entre otras. La CCT, de una fuente de luz se obtiene comparando su cromaticidad con la de un cuerpo negro ideal, obteniendo así una relación entre el color y la temperatura (en grados kelvin). Esta temperatura es la asociada a la fuente, por éste método, y se compara con un cuerpo negro caliente hasta que ambos coincidan.

En la Figura .. se puede ver la relación de la temperatura en grados kelvin, con diferentes colores y tipos de fuentes de iluminación, como el sol a medio día, una lámpara fluorescente, o hasta una vela.

El espectro de la luz solar es muy similar a la de un cuerpo negro. Para representar éste espectro existe mundialmente un estándar llamado D65 que es recomendado por la CIE (Commission Internationale de L'éclairage – Comisión

Teoría de Radiación

Internacional de Iluminación), que se muestra en la Figura .. A éste espectro se le asigna una temperatura de 6500K (11).

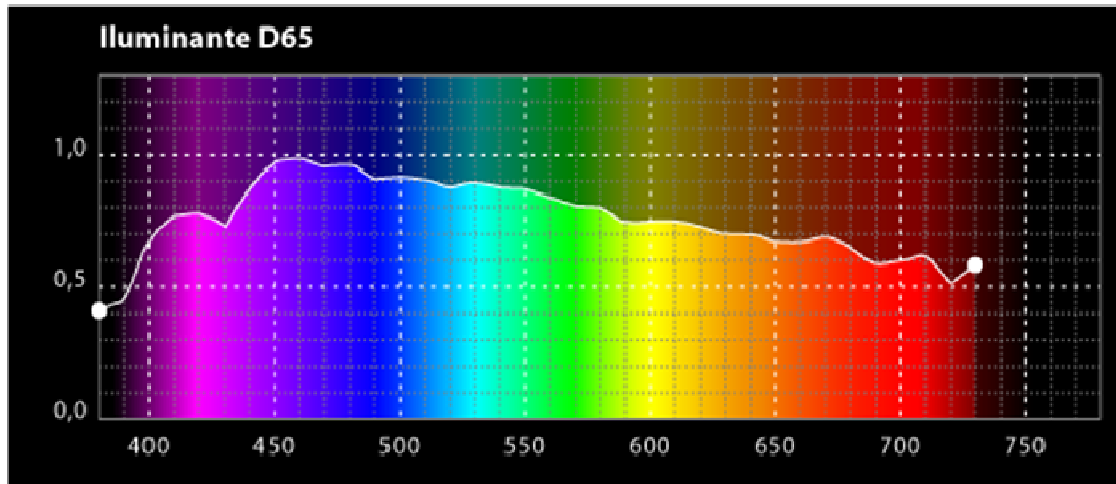


Figura .. Espectro estándar de potencia relativa - CIE D65 Fuente: CIE (12)

Existe una manera estandarizada para caracterizar de forma rápida las propiedades espectrales de una fuente luz. Sin embargo, el color real que percibe el ser humano de una fuente luz es determinado dándole un peso a la contribución de cada punto o de cada longitud de onda, en la curva de salida espectral.

Las fuentes de luz varían en gran medida en la calidad de su salida lumínica. Algunas fuentes pueden tener un espectro continuo, mientras otras pueden tener solo algunas bandas de éste espectro, o líneas que son definidas por su espectro de emisión.

La mejor manera para determinar la calidad de las fuentes de luz es utilizando en Índice de color renderizado, CRI por sus siglas en ingles (13).

El CRI, es calculado comparando el color de la fuente analizada con una fuente “perfecta”, la cual puede representarse como un cuerpo negro que tiene una posición fija y determinada en un espacio cromático.

Teoría de Radiación

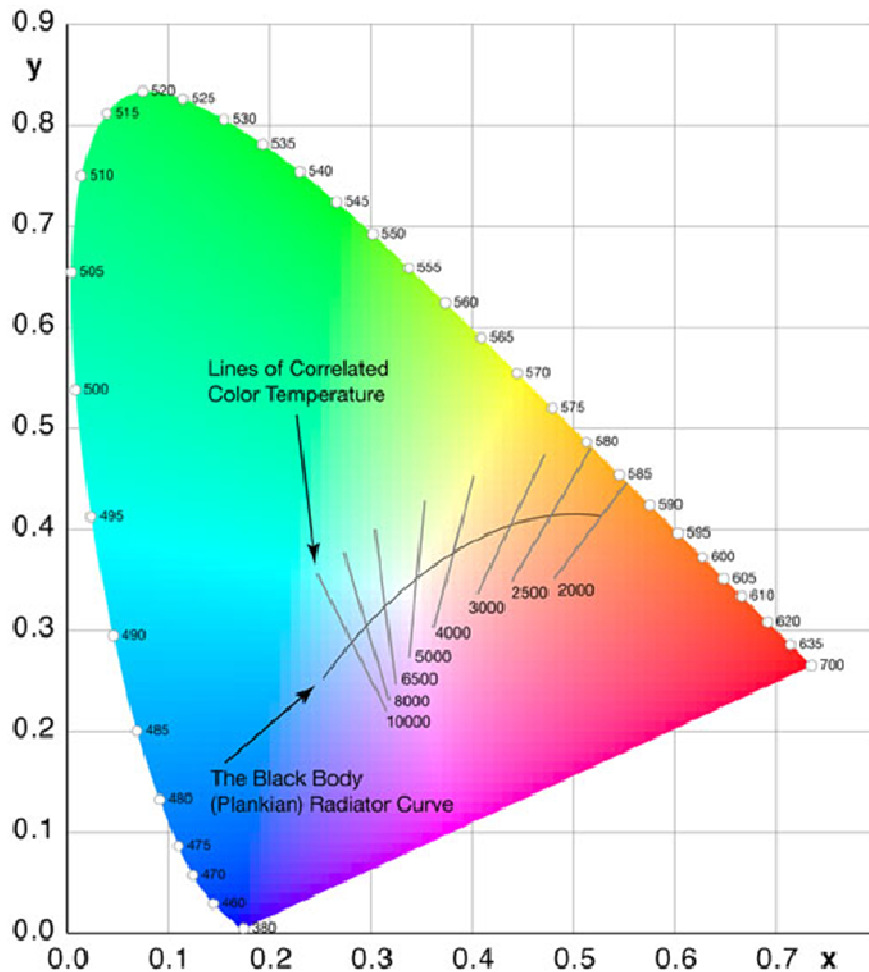


Figura .. CCT y Cuerpo Negro Fuente: *Monitor color temperatura photo.net*

En la Figura ., se puede observar el “locus de Planck” que es una carta de colores en donde los colores del cuerpo negro tienen una posición determinada, o un espacio determinado. Con este diagrama se puede definir un color en específico por 3 coordenadas, $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$ y $Z(\lambda)$, que son las funciones que coinciden con el estándar de colorimetría de la CIE. Queda entonces claro cuál es la distribución de las líneas del cuerpo negro y el color espectral que emiten a una temperatura determinada (14).

Para determinar las coordenadas en el locus de Planck, se tienen en cuenta las escalas colorimétricas del estándar CIE 1931. Las coordenadas, $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$ y $Z(\lambda)$, están dadas por las siguientes funciones llamadas: las funciones del “Triestímulo”.

Teoría de Radiación

$$X_T = \int_0^{\infty} X(\lambda)I(\lambda, T) d\lambda \quad (.)$$

$$Y_T = \int_0^{\infty} Y(\lambda)I(\lambda, T) d\lambda \quad (.)$$

$$Z_T = \int_0^{\infty} Z(\lambda)I(\lambda, T) d\lambda \quad (.)$$

en donde:

$I(\lambda, T)$ es la función de distribución espectral de la lámpara que se quiere analizar. $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$, $Z(\lambda)$, son las funciones de distribución espectral de la sensibilidad de un observador promedio a cada color. Rojo, verde y azul, respectivamente (Ver Figura .).

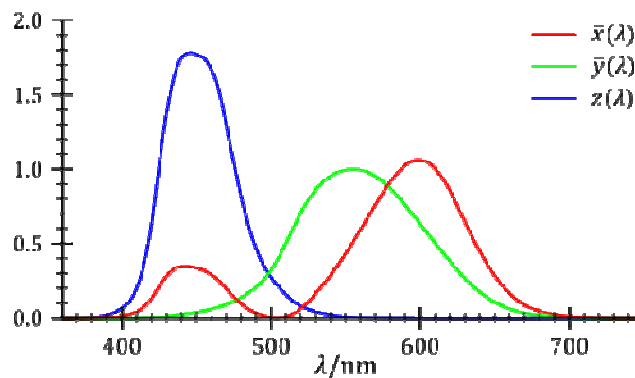


Figura .. CIE 1931 XYZ Funciones de sensibilidad humana

Después de tener definidas las coordenadas del Triestímulo se ubican las primeras dos y se utiliza la tercera para la intensidad. Existen puntos característicos, como el punto de “Equilibrio” al que se denomina: Acromático (Blanco). Puntos monocromáticos, en los cuales dos de las tres variables son cero.

La temperatura es una cuarta variable que aparece en este tipo de medidas, que es como se correlacionan el color con la radiación de cuerpo negro. Esta es representada con un pequeño eje, que solamente recorre un espacio entre el azul y el naranjado.

Teoría de Radiación

Existen algunos principios básicos que difieren en el funcionamiento de las lámparas, que principalmente se clasifican en: Lámparas incandescentes, lámparas de descarga, lámparas de estado sólido.

Las lámparas incandescentes no se tratan en este trabajo, por lo que no se profundiza sobre su funcionamiento. Principalmente consisten en un filamento espiral simple de tungsteno por el cual se hace pasar una corriente, lo que hace que el filamento se caliente y comience a emitir radiación. Con el objetivo de que el filamento no se queme o se reviente se encierra en un bulbo de vidrio dentro del cual se hace vacío o se introduce un gas inerte (15).

Antes de entrar a discutir de las lámparas de descarga, se debe introducir la física del plasma. El plasma es el estado más abundante del universo, un 99% de la materia del universo lo posee. Una definición más precisa del plasma es la siguiente: "Un plasma es un gas casi-neutral de cargas y partículas neutras las cuales exhiben un comportamiento colectivo".

El plasma no es producido simplemente calentando el gas hasta disociar las partículas que se encuentran en él. El problema de calentar descontroladamente es que el contenedor no puede alcanzar la misma temperatura del plasma, ya que colapsaría y podría disociar sus partículas también.

Típicamente en el laboratorio, pequeñas cantidades de gas son calentadas y ionizadas haciendo conducir una corriente eléctrica a través de ellas, hasta alcanzar el estado plasma, o haciendo incidir ondas electromagnéticas (microondas o radio). Generalmente la formación del plasma le da energía a los electrones libres del gas y se producen reacciones en cadena de colisiones entre electrones y átomos, liberando cada vez más electrones hasta que se alcanza una ionización máxima o el grado de ionización requerido (16).

Las lámparas de descarga se basan en un mismo fenómeno. Es realizar plasma por medio de una corriente de electrones que atraviesan un gas contenido en un tubo aislado, a determinada presión.

Para generar la corriente dentro del tubo se utilizan dos electrodos por medio de los cuales se le imprimen una diferencia de potencial al gas del cual está lleno el tubo. Esta energía de potencial eléctrico es transformada en excitación de los electrones, ionización de moléculas, en disociación de átomos y en calor. La energía de excitación más tarde será convertida en radiación al volver a los estados de equilibrio. La longitud de onda de esta radiación es proporcional a la energía de excitación como se ve de la ecuación ((.)).

Teoría de Radiación

$$\lambda = \frac{ch}{E} \quad (.)$$

en donde:

λ : es la longitud de onda

c , es la velocidad de la luz

h , es la constante de Planck

De la misma manera, puede existir recombinación de los iones y los electrones de diferentes maneras produciendo radiación electromagnética con una longitud de onda límite de emisión que es proporcional a la energía de ionización del átomo.

Los diferentes colores e intensidades son generados por la diferente composición de los gases que son usados dentro de las lámparas de descarga.

Actualmente se encuentra en auge una nueva tecnología basada en LED's, la cual está basada en materiales de estado sólido que tienen la capacidad de emitir luz bajo ciertas condiciones.

A continuación se presentaran algunas de las fuentes de luz artificiales que pueden tener una salida espectral similar a la del sol.

1.5.1 Lámpara de Arco Xenón

Este tipo de lámpara de descarga de arco es un tubo de descarga de alto potencial. Estas lámparas convierten la energía cinética de los electrones que son acelerados mediante una diferencia de potencial en radiación visible.

Cuando la corriente eléctrica pasa a través del gas, excita los átomos y moléculas presentes, la luz es producida cuando los estados excitados de los átomos decaen a un nivel más bajo de energía.



Imagen .. Lámparas de Xenón

Esta lámpara consiste en un bulbo (Ver Figura .), en cuyos extremos posee dos electrodos, donde se aplicará la diferencia de potencial, en medio de los electrodos y contenido en el bulbo existe un gas, que puede ser neón, argón, xenón, sodio, mercurio, entre otros.

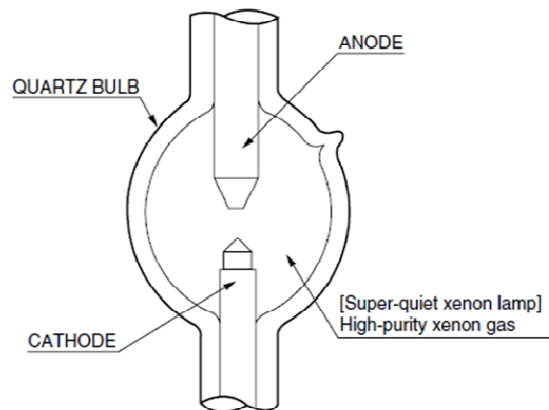


Figura .. Esquema de una lámpara de Xe Fuente: *Hamamatsu, Super Quiet Xenon Lamp*

Para comenzar la descarga se necesita un pulso de alto voltaje que rompa la barrera dieléctrica y encienda así la descarga. Luego de que se tiene la primera descarga se continúa pasando una cantidad menor de campo eléctrico constante, para poder mantener encendida la descarga.

Teoría de Radiación

El espectro de distribución de una fuente de Xenón, se puede apreciar en la Figura .., para tres intensidades diferentes.

Estas fuentes poseen una amplia gama de radiación infrarrojas mucho mayor que para las demás que sean estudiadas a continuación. Pero es de anotar que estas lámparas pueden emitir en la región ultravioleta, lo que la hace realmente útil para las aplicaciones que requieran luz más energética que la visible.

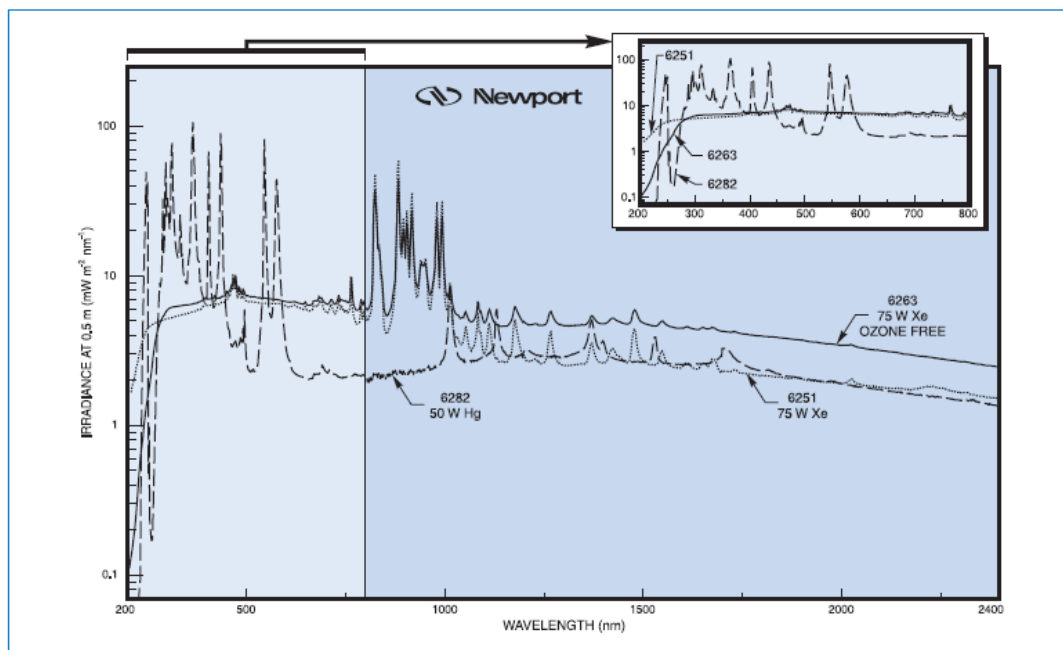


Figura .. Irradiancia espectral de lámpara de Xe 6251 Fuente: Newport Light Sources - Solar Simulators (8)

1.5.2 Lámparas Cerámicas de Xenón

Son lámparas basadas en la tecnología de la lámparas de descarga de alta intensidad, solo que presenta ciertas modificaciones que son combinaciones de nuevos materiales y recubrimientos.

En las lámparas tipo descarga por arco, esta descarga se genera desde dos electrodos, separados por una distancia muy corta, que se realiza a través de xenón gaseoso que se encuentra contenido en un tubo cerámico. Durante la operación la temperatura de este cerámico es aumentada por la radiación hasta que el tubo excede los 1200 grados Kelvin.



Imagen .. Lámparas cerámicas de Xenón Fuente: *USHIO WebSite*

El espectro obtenido a la salida depende de las sales y compuestos de los que este hecho el tubo cerámico (Ver Figura .). Con este tipo de lámparas, las dimensiones y los costos se reducen considerablemente, debido a que comercialmente existe una amplia oferta de estas lámparas para aplicaciones médicas (17).

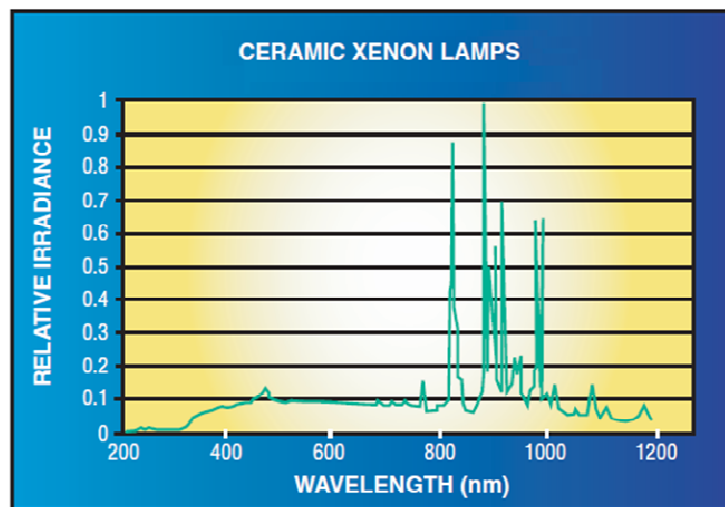


Figura .. Espectro de radiación de lempira Xe-cerámica Fuente: *Datasheet, VAC Ceramic Xenon Lamp USHIO*

1.5.3 Lámparas Fluorescentes, Luz Fría-Blanca y Blacklight UV

Las lámparas fluorescentes, son tubos de descarga que contiene un gas especial y un recubrimiento interior por lo general de fosforo que produce luz por un efecto de fluorescencia, de ahí proviene su nombre.



Imagen .. Lámparas fluorescentes Cool White-Blacklight

La principal función de las lámparas fluorescentes es convertir la energía eléctrica en energía radiante. El fenómeno físico que ocurre dentro del tubo de gas noble, es que debido a los electrodos que existen en los extremos del tubo, se aceleran electrones por medio de una diferencia de potencial, estos electrones colisionan con los átomos del gas que esta contenido. Si el electrón libre tiene la suficiente energía cinética, y es capaz de transferirla a un electrón externo de uno de los átomos del gas este electrón pasará a un nivel de energía mayor, por lo que estará excitado el átomo. Esta colisión es inelástica debido a que la energía se transfiere muy eficientemente.

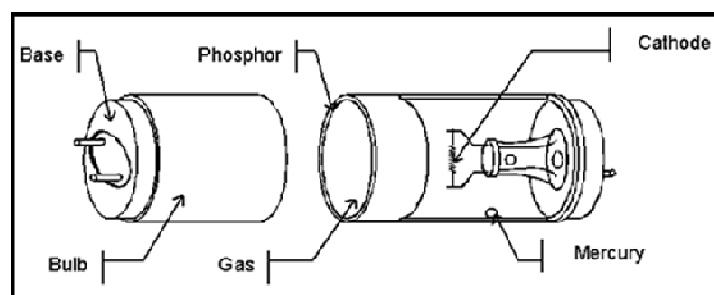


Figura .. Esquema de lámpara fluorescente Fuente. Calluselectric WebSite

Teoría de Radiación

Este nivel de energía mayor es muy inestable y cuando el electrón decae nuevamente a un nivel más estable y de menor energía, este va a emitir luz ultravioleta. La mayoría de estos fotones de UV, son liberados de los átomos de mercurio, gas que está contenido en el tubo. Estos fotones tienen una longitud de onda predominante en 253.7nm, en la región UV, pero entonces debe convertirse esta luz, en luz visible. Esto se hace por medio de un fenómeno llamado fluorescencia, en donde los fotones de luz ultravioleta, son absorbidos por los átomos de un recubrimiento que previamente se le hizo interiormente al tubo, por lo general con fósforo. Los electrones de los átomos del recubrimiento realizan también un salto de energía al absorber la radiación ultravioleta, y cuando los electrones decaen nuevamente, la diferencia de energía es emitida como radiación en el rango del visible.

El bulbo que se usa es generalmente de vidrio, para impedir así que la radiación ultravioleta que no es convertida en luz visible pueda salir de este y poder llegar a ser perjudicial para la salud (18).

Estas lámparas de descarga necesitan un balastro para poder funcionar y mantenerse encendidas. La función que realizan los balastros es presentar una descarga inicial de alto voltaje para romper la barrera dieléctrica que genera el gas. Luego para poder continuar su funcionamiento, el balastro debe alimentar con una corriente más pequeña y mantener así la descarga de luz constante.

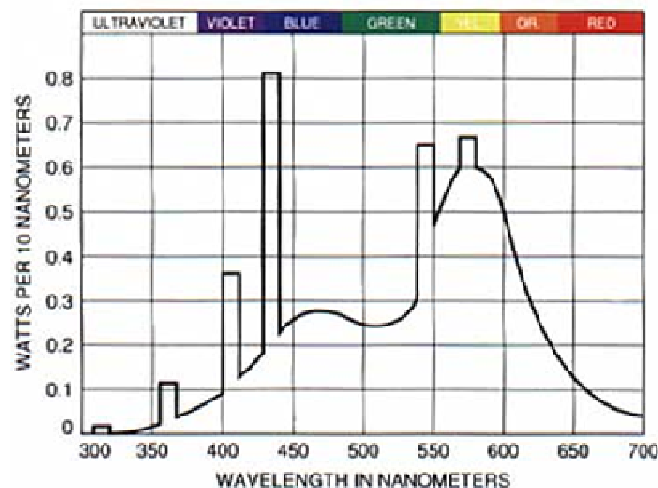


Figura .. Espectro de una lámpara fluorescente Cool White Fuente: http://www.palagems.com/gem_lighting2.htm

Las lámpara fluorescentes ultravioleta, o como es conocida comúnmente, Luz Negra², tienen unas diferencias claras con respecto a la generación de luz blanca con lámparas fluorescentes. Para generar este tipo de luz se usan unas lámparas fluorescentes especiales. En estas lámparas se usa sólo un tipo de fósforo en lugar de los varios como es usado en las lámparas fluorescentes normales. También se reemplaza el vidrio claro por uno de color azul-violeta, llamado Cristal de Wood. El vidrio de Wood contiene óxido de níquel, y bloquea casi toda la luz visible que supere los 400 nanómetros. El fósforo normalmente usado para un espectro de emisión de 368nm a 371nm puede ser tanto una mezcla de europio y fluoroborato de estroncio ($\text{SrB}_4\text{O}_7\text{F}:\text{Eu}^{2+}$), o una mezcla de europio y borato de estroncio ($\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$), mientras que el fósforo usado para el rango de 350nm a 353nm es plomo asociado con silicato de bario ($\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}^{2+}$).

1.5.4 Lámpara Fluorescente D65

Esta lámpara está especialmente diseñada según las consideraciones de calidad de color para obtener una salida lumínica que cumplan con los estándares de la industria. Estas lámparas tienen ciertas propiedades que principalmente consisten en obtener un espectro de salida D65, no solo incluye energía en el espectro visible sino también abarca un poco en el Ultravioleta cercano.

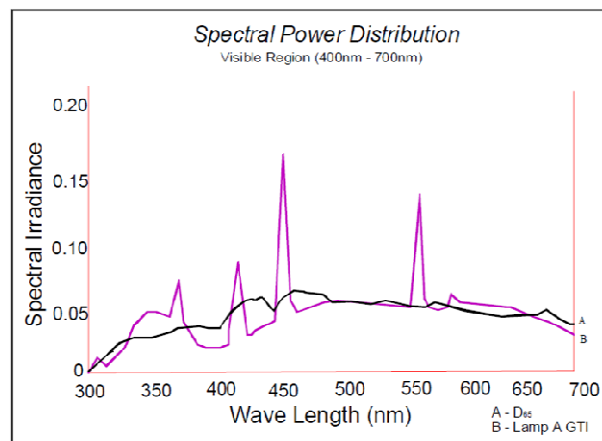


Figura .. Comparación espectro D65-GTI Lamp

² Se le dice luz negra, por que como emite poca radiación en el visible pues en realidad no se puede percibir luz de ella.

Podemos ver entonces que estas lámparas tienen un espectro de salida muy similar a la curva de calibración D65 como se muestra en la Figura .. Las lámparas comerciales tienen una porción del ultravioleta muy filtrado. Con esta tecnología no solo se puede obtener una salida en el visible, sino también en una porción del UV, lo cual provee una simulación más precisas de la luz del día (19).

1.5.5 Lámparas de Haluros Metálicos

Son lámparas del tipo de descarga de alta intensidad, ya que producen una salida luminosa bastante alta para ser de un tamaño tan pequeño.



Imagen .. Lámparas de Haluros Metálicos de diferentes tamaños *Fuente: elights.com*

Fueron creadas originalmente en 1960, pero actualmente se utilizan para una gran variedad de aplicaciones tanto industriales como residenciales. La mayoría de las lámparas de descarga, operan bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, además requieren ciertas condiciones especiales para su funcionamiento.

Estas lámparas tienen un promedio de vida útil aproximadamente de 15.000-20.000 horas, lo que las hace más resistentes en el tiempo que las demás lámparas de descarga (20) .

Como las demás lámparas de descarga, las lámparas de haluros metálicos producen luz, haciendo pasar una descarga eléctrica con una mezcla de gases, en el bulbo de vidrio, que es de un tamaño muy reducido, contiene una mezcla de mercurio, argón y otro tipo de gases de haluros metálicos como fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro. Adicionar estos metales es necesario para ajustar bien los espectros de salida, para llenar los baches que existan en el espectro de salida del mercurio, de esta manera se mejora mucho las propiedades del color de la luz (21).

Teoría de Radiación

Estas lámparas requieren, al igual que las demás lámparas de descarga, balastos para poder regular el flujo de corriente a través de la descarga y entregar de manera fácil el voltaje requerido por la descarga. En la Figura . se pueden ver las líneas características de estas lámparas, principalmente las del mercurio, que radian en el visible.

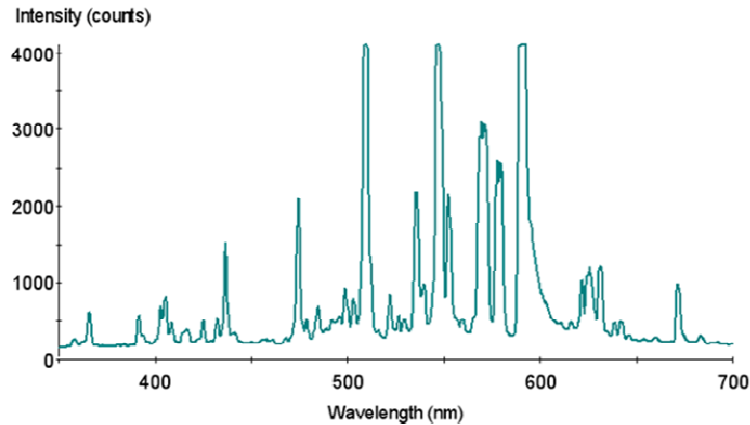


Figura .. Espectro de radiación, lámpara de haluros metálicos *Fuente: Spectrum or Intensity? Lighting the Reef Aquarium magazine*

1.5.6 LED (Light Emitting Diode)

Los Diodos Emisores de Luz, comúnmente conocidos como LED (Light Emitting Diode) son usados en muy diversas aplicaciones y han renovado la electrónica y los sistemas de iluminación.



Imagen .. LED's de diferentes colores. *Fuente: How Stuff Works? LED's*

Teoría de Radiación

Básicamente un LED es un pequeño bulbo de plástico que puede encajar fácilmente en un circuito eléctrico, a diferencia de las demás lámparas incandescentes o de descarga, funciona debido al movimiento de los electrones en un material semiconductor (22).

Un diodo es una pequeña porción de algún material semiconductor, estos materiales son malos conductores por si mismos, pero se les hace un proceso de dopaje, para que adquieran mejores propiedades eléctricas. En el caso de los LED's, el material semiconductor está dividido en dos regiones, una región del semiconductor que queda cargada negativamente con electrones extra (Tipo N), mientras que la región opuesta, queda cargada positivamente (Tipo P). Los electrones se mueven a través del material de la zona cargada negativamente hacia la positiva. El semiconductor tiene las regiones N y P unidas entre sí, y en ambos extremos un par de electrodos, de esta manera se conduce la electricidad en una sola dirección.

Como se discutió anteriormente se sabe que un átomo puede liberar luz en ciertas condiciones. Para que un electrón pueda emitir luz, primero debe ser excitado a un nivel de energía más alta que su nivel de equilibrio, así al decaer nuevamente a un nivel más bajo de energía, el electrón emite un fotón a cierta frecuencia (longitud de onda), mientras más grande el gap de decaimiento, mas grande será su frecuencia. Este fenómeno ocurre también en los diodos comunes, solo que las frecuencias de los fotones que son emitidos son muy bajas, por lo que resulta luz infrarroja, que es imperceptible por el ojo humano. Entonces para que sea luz visible, deben existir ciertos materiales que se caractericen por tener "gap's" de niveles de energía muy grandes (22).

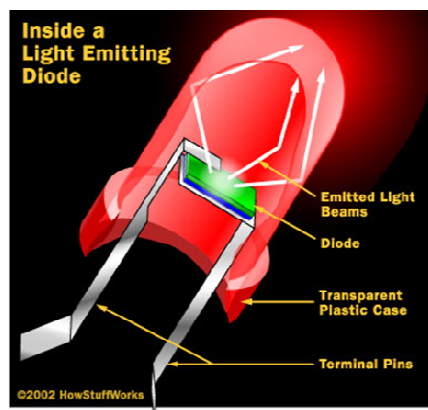


Figura .. Descripción de un LED Fuente: *Hw Stuff Works: LED WebSite*

EL diodo por sí mismo emite gran cantidad de luz, pero el diseño del encapsulado que pueda generarse también es de gran utilidad para distribuir bien la luz, empleando una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. La gran variedad de LED's, también se hace muy útil en muchas áreas del conocimiento humano, no solo en electrónica u óptica, sino que hasta puede llegar a hacerse arte con ellos, ya que su amplio rango de colores permite que se creen diseños innovadores y llamativos. En la Tabla ., se muestran cómo es posible cambiando solo el material, generar una gran diversidad de colores Sin embargo la mayor ventaja de los LED's es su gran eficiencia, debido a que estos generan poca cantidad de calor, por lo que mayor cantidad de energía eléctrica es empleada para generar luz.

Color	Longitud de onda (nm)	Composicion del semiconductor
Infrarrojo	880	GaAlAs/GaAs
Ultra Rojo	660	GaAlAs/GaAlAs
Super Rojo	633	AlGaInP
Super Naranja	612	AlGaInP
Naranja	605	GaAsP/GaP
Amarillo	585	GaAsP/GaP
Blanco Incandecente	4500K (CT)	InGaN/SiC
Blanco Palido	6500K (CT)	InGaN/SiC
Blanco Frio (cool-White)	8000K (CT)	InGaN/SiC
Verde Puro	555	GaP/GaP
Super Azul	470	GaN/SiC
Azul-Violeta	430	GaN/SiC
Ultravioleta	395	InGaN/SiC

Tabla .. Variaciones en LEDS de color-composición Fuente: Non-Coherent Light Sources for Confocal Microscopy. OLYMPUS

Para obtener una buena intensidad luminosa se debe ajustar la corriente que atraviesa el LED; la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación.

Los LED's de Luz Blanca (ver espectro Figura .) son uno de los desarrollos más recientes y se pueden considerar como un intento muy bien fundamentado para sustituir las bombillas actuales por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume un 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común y un 30% menos que la

mayoría de los sistemas de iluminación fluorescentes; además, estos LED's pueden durar hasta 20 años y suponer un 200% menos de costos totales de propiedad si se comparan con las bombillas o tubos fluorescentes convencionales (23) .

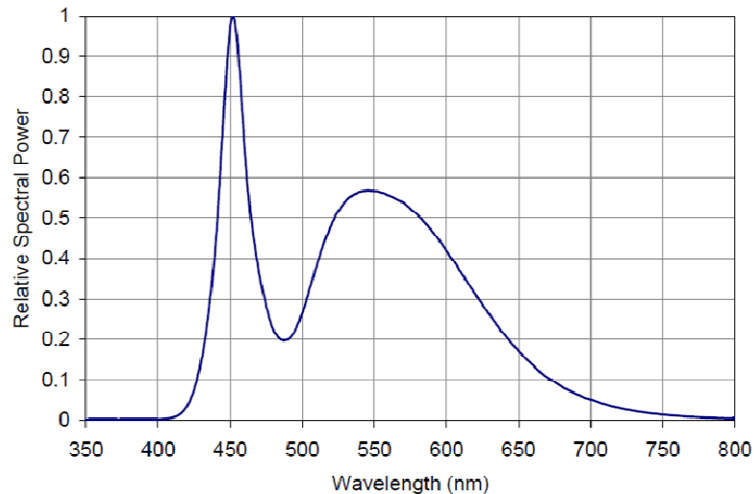


Figura .. Distribución espectral de potencia de un LED Cool White

1.6 Técnicas de sensado de luz para la simulación solar

Existen muchas maneras de medir la radiación, pero para medir la radiación solar, hay que tener en cuenta varios aspectos. Específicamente, para pruebas de fotoestabilidad, se debe tener claro que los requerimientos de potencias y las relaciones de estas entre la luz ultravioleta y visible deben de ser de gran precisión.

1.6.1 Actinometría Química

El método que comúnmente se plantea en el estándar ICH-Q1B, describe el método de actinometría química para medir la radiación. Debe entonces calibrarse uno para cada tipo de luz, es decir, uno para el UV cercano y otro para la radiación visible.

Un actinómetro químico, es un sistema en donde la luz induce una reacción química al sustrato de medida, en donde se conoce el campo cuántico de la

Teoría de Radiación

reacción $\Phi(\lambda)$, Midiendo la proporción de cambios moleculares debido al flujo de fotones se puede conocer el campo cuántico. El campo cuántico de la reacción fotoquímica, definido por $\Phi(\lambda)$, es igual al número de eventos que ocurre, como por ejemplo, cambios moleculares, formación o destrucción de nuevas moléculas que pueden ocurrir por un número de fotones determinado en una longitud de onda particular, durante un mismo periodo de tiempo (24).

Si se mide a qué razón está ocurriendo esta reacción, se conoce entonces la cantidad de fotones absorbidos por el material. El flujo de fotones incidentes q_p^o se puede calcular entonces con la ecuación (.):

$$q_p(abs, \lambda) = q_p^o(\lambda)(1 - 10^{-A(\lambda)}) \quad (.)$$

en donde:

$A(\lambda)$ es la función de distribución de absorbancia ³

q_p es el flujo de fotones absorbidos

q_p^o es el flujo de fotones incidentes

Se sabe además que la absorbancia decae constantemente a un ritmo de 10% durante el tiempo de radiación, por lo que se hace necesaria una integración de las medidas diferenciales. El caso más fácil es cuando se supone una total absorción de la luz incidente, en donde $A(\lambda)=0$ como se muestra en la ecuación(.):

$$q_p(abs, \lambda) = q_p^o(\lambda) \quad (.)$$

Existen también algunos dispositivos digitales, que actúan como actinómetros. Son sistemas actinométricos digitales de tipo de "conteo cuántico" diseñados para medir e integrar la cantidad de luz absorbida por las muestras durante la exposición. Para esto, la luz monocromática incidente es dividida en un haz de referencia y un haz de muestra, para esto se utilizan fotodiodos, los cuales transforman las señales luminosas recibidas en diferentes voltajes que se hacen coincidir.

³ Ésta función es constante, dependiendo del material del sensor.

Teoría de Radiación

Durante el tiempo de exposición de la muestra la diferencia de potencia radiante que existe entre los dos haces se computa continuamente y se convierte al rango de frecuencias. Con esta señal en frecuencia se integran y se computan más fácilmente para después mostrarlas de manera comprensible para el usuario (24).

Otra manera de sensar la cantidad de luz que reciben las muestras dentro de un ambiente controlado, puede ser con una medida continua de absorbancia o capturar el espectro total de absorbancia.

La actinometría tiene una falla en cuanto a la medición de radiación dentro de cámaras con humedad y temperatura controladas. La quinina, elemento químico activo que se usa comúnmente en los actinómetros, tiene una respuesta eléctrica que depende de la longitud de onda, los cambios grandes de temperatura afectan su pH, lo que representa también un error inducido debido al calor (25).

Para medir la radiación pueden proponerse también otro tipo de sensores, como radiómetros o fotómetros, que permitan obtener información en tiempo real de la cantidad de potencia suministrada por las fuentes a las muestras.

1.6.2 Radiometría y Fotometría

La radiometría es una técnica de sensado de radiación óptica, lo cual indica la radiación electromagnética que se encuentra en el rango 3×10^{11} - 3×10^{16} Hz, estas frecuencias corresponden a longitudes de onda 0.01 - 1000 μm . Es una región del espectro que comúnmente contiene la radiación ultravioleta, visible e infrarroja (26).

La fotometría es la técnica de medida de la luz, definida como la radiación electromagnética que es detectable por el ojo humano. Este rango está restringido a las longitudes de onda entre 360 - 830 nm. La fotometría es muy similar a la radiometría excepto que para la fotometría, en la medida se debe tener en cuenta el peso de la luz de acuerdo a la respuesta espectral del ojo.

La fotometría visual utiliza el ojo como detector de referencia, mientras que la fotometría física usa detectores ópticos construidos para imitar la respuesta espectral del ojo (26).

Las unidades que usa cada una de las técnicas de sensado son las que presenta la Tabla ..

Unidad	Radiometría	Fotometría
Potencia	Vatios (W)	lumen (lm)
Potencia por unidad de área	W/m ²	lm/m ² =lux

Tabla .. Unidades Radiométricas - Fotométricas

1.6.3 Unidades para medir radiación

Las ondas electromagnéticas transportan energía, de forma que un objeto luminoso (radiador) emite energía y cualquier objeto iluminado la recibe. La potencia radiante o flujo radiante P es la medida de la cantidad de energía electromagnética que emite un radiador por unidad de tiempo, y se mide en **Watt** (27).

Para una misma intensidad radiante, las distintas longitudes del espectro visible producen distintas sensaciones de "brillo". La representación gráfica de la sensación subjetiva de brillo para los distintos colores se denomina curva de luminosidad relativa. En Figura . puede verse como la sensibilidad máxima corresponde a la radiación de 555 nm de longitud de onda (zona del amarillo), y cómo tiende asintóticamente a cero a ambos lados del máximo (no es posible poner límites precisos al espectro visible). La escala de ordenadas se ha tomado arbitrariamente igual a la unidad para el máximo de la curva. El valor de la ordenada para cada longitud de onda se denomina coeficiente de luminosidad relativa.

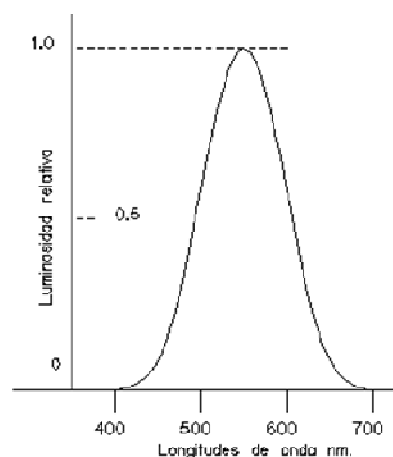


Figura .. Curva de luminosidad relativa Fuente: (27)

Teoría de Radiación

El lumen, es entonces la unidad fotométrica equivalente al Watt, que es ponderada con la respuesta del ojo de un observador estándar. La luz amarilla y verde recibe un mayor peso debido a que estimula más el ojo que la luz roja. Por ejemplo, el ojo humano detecta un flujo de 10 fotones por segundo a una longitud de onda de 555nm; que corresponde a una potencia radiante de 3.58×10^{-8} W. Pero puede detectar un flujo mínimo de 214 y 126 fotones a 450 y 650 nm, respectivamente (28).

Asumiendo que la luz es emitida por una fuente puntual, la intensidad medida a una distancia dada disminuye en proporción inversa al cuadrado de la distancia que separa la fuente del detector. Teniendo en cuenta este hecho, la ecuación (.) es útil para relacionar la intensidad y la energía emitida por una fuente puntual en términos de la distancia desde la fuente hasta el punto que se desea medir.

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (.)$$

en donde:

E , es la energía emitida

I , es la intensidad de la luz

d , es la distancia entre la fuente y el detector

Sin embargo, la mayoría de fuentes de luz no cumple la ecuación (.), debido a que sólo se aplica a fuentes de luz puntuales, así que, para medir la irradiancia, ésta convencionalmente se calcula una distancia igual a 5 veces la longitud de la lámpara.

El flujo de radiación, es una medida radiométrica que se expresa en términos de potencia y se mide como Joules por segundo.

$$PQ = 683 \int (SPQ)_\lambda \cdot V(\lambda) d\lambda \quad (.)$$

en donde:

PQ : es la cantidad fotométrica, lumens

SPQ : correspondiente en cantidad radiométrica, Watts

$V(\lambda)$: función de sensación subjetiva de brillo o respuesta fotópica del ojo humano

Teoría de Radiación

El flujo luminoso es una medida de potencia de la luz visible, es expresado en lumens. Éste es ponderado con la respuesta del ojo humano para cada longitud de onda. Para hacer la conversión de flujo luminoso a flujo de radiación o viceversa, se utiliza la ecuación (.) y la Tabla ..

λ (nm)	Eficiencia	Conversion (lm/W)
380	0,000039	0,027
390	0,000120	0,082
400	0,000396	0,270
410	0,001210	0,826
420	0,004000	2,732
430	0,011600	7,923
440	0,023000	15,709
450	0,038000	25,954
460	0,060000	40,980
470	0,090980	62,139
480	0,139020	94,951
490	0,208020	142,078
500	0,323000	220,609
507	0,444310	303,464
510	0,503000	343,549
520	0,710000	484,930
530	0,862000	588,746
540	0,954000	651,582
550	0,994950	679,551
555	1,000000	683,000
560	0,995000	679,585
570	0,952000	650,216
580	0,870000	594,210
590	0,757000	517,031
600	0,631000	430,973
610	0,503000	343,549
620	0,381000	260,223
630	0,265000	180,995
640	0,175000	119,525
650	0,107000	73,081
660	0,061000	41,663
670	0,032000	21,856
680	0,017000	11,611
690	0,008210	5,607
700	0,004102	2,802
710	0,002091	1,428
720	0,001047	0,715
730	0,000520	0,355
740	0,000249	0,170
750	0,000120	0,082
760	0,000060	0,041
770	0,000030	0,020

Tabla .. Conversión lumens-Watts *Fuente:(28)*

La Tabla . es útil cuando se desea pasar de una unidad radiométrica a una fotométrica o viceversa, para una longitud de onda determinada. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en general el espectro de una fuente contiene un conjunto discreto o continuo de longitudes de onda, requiriéndose en rigor el cálculo mediante la ecuación (.).

Cuando se quiere medir la radiación incidente en una superficie debe tenerse en cuenta que la energía que recibe la superficie varía con el coseno del ángulo

Teoría de Radiación

incidente. Esto recibe el nombre de la ley de Lambert, como se muestra en la ecuación (.)

$$E_0 = E * \cos(\theta) \quad (.)$$

En la Figura .. Ley de Lambert, se muestra como la intensidad decae con el ángulo de incidencia

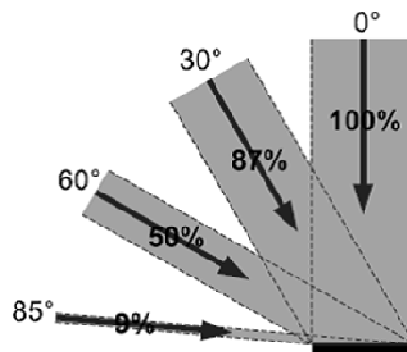


Figura .. Ley de Lambert Fuente: (28)

Debido a estas dependencias geométricas se debe tener en cuenta entonces que tipo de distribución tendrán las fuentes en relación con el volumen o superficie que se requiere iluminar. Existen sin embargo, unas superficies que se utilizan comúnmente para compensar el decaimiento de la intensidad, son llamadas superficies lambertianas que generan una difusión uniforme de la luz incidente, reflejando la radiación igualmente en todas las direcciones.

1.6.4 Espectroscopia

En muchas circunstancias ópticas, es posible que la luz no se debe medir como intensidad o como una imagen, sino que puede ser posible que se desee analizar en colores. La espectroscopia es la manera óptima para realizar una separación de las componentes de la luz.

La espectrometría estudia las características de cada longitud de onda y los colores que componen un haz de luz determinado. La espectroscopia óptica de emisión (OES por sus siglas en ingles) involucra muchas técnicas para medir la luz (29).

Con esta técnica se puede:

Teoría de Radiación

- Medir la intensidad relativa de cada componente de color en un espectro integral
- Determinar en qué longitudes de onda las diferentes fuentes de luz emiten con mayor fuerza
- Determinar la composición química de los sólidos, líquidos y gases: Luego sabiendo el contenido del material, se pueden monitorear sus cambios en el ambiente y mejorar los procesos de producción de ciertos productos.
- Monitorear la descomposición de algunos dispositivos que se usan como semiconductores en la industria y ver también cómo es la deposición de material en algunos usos de recubrimientos.
- Estudiar el comportamiento interno de las partículas subatómicas o incluso de moléculas más grandes e iones.
- Determinar los elementos de los que están hechos los cuerpos celestes, como estrellas y nubes interestelares.

1.6.5 Piranometría

Es una técnica que mide la radiación solar por medio de un instrumento llamado piranómetro., El piranómetro mide el flujo solar total, tanto procedente de los rayos directos como el procedente de los rayos dispersos para el hemisferio completo visto por el instrumento. El flujo total, se denomina también flujo global. En la Figura ., se muestra como es la forma de un piranómetro.

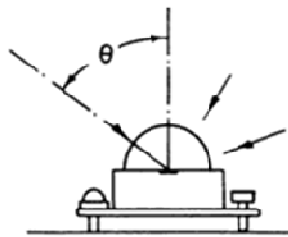


Figura . Diagrama de un piranómetro

Estos instrumentos se colocan generalmente en posición horizontal, la luz incide en el detector en todas las direcciones.

El detector del piranómetro debe tener una respuesta exacta respecto al coseno de θ (Ver Figura .), para leer adecuadamente la contribución de luz solar directa y de luz solar dispersa de modo que la lectura sea exacta para la intensidad total (30).

Teoría de Radiación

Este sensor es un tipo de actinómetro, el componente activo del sensor es una termopila con un recubrimiento negro, éste absorbe la radiación solar. El detector utiliza anillos concéntricos blancos y negros para generar la diferencia de temperatura que se mide por termopares de unión múltiple, estos son capaces de absorber la radiación solar en un rango entre los 300 y los 50000 nm. Tienen una respuesta casi perfecta al coseno del ángulo de incidencia. El flujo de calor originado por la radiación se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura.

Otro tipo de piranómetro usa el efecto fotovoltaico para medir la irradiancia. El sensor se compone de una celda fotovoltaica, este es un dispositivo formado por dos electrodos separados por una delgada capa de algún material semiconductor. Generalmente el semiconductor es de óxido de cobre, selenio, oro o platino. Esta superficie al ser iluminada produce una corriente eléctrica proporcional a la cantidad de radiación que incidió sobre ella (31).

Después de haber tratado la teoría de la radiación, las técnicas de iluminación y sensado, se prosigue a darle más profundidad al tema de las cámaras climáticas para pruebas de fotoestabilidad.

2 SISTEMAS DE CÁMARAS CLIMÁTICAS Y DE FOTOESTABILIDAD

2.1 Introducción a las Cámaras Climáticas y Pruebas de Fotoestabilidad

En el ambiente natural, el calor, la luz y la temperatura, combinados sinérgicamente, pueden producir cambios ópticos, químicos o mecánicos en algunos productos que están expuestos a la intemperie.

Las causas del deterioro son, fundamentalmente, las radiaciones solares (aunque también influyen la fatiga térmica frío/calor, la humedad, la lluvia, el viento y los contaminantes) (32).

Típicamente los aparatos de prueba que se usan para determinar estos efectos son cámaras climáticas, que realizan el proceso de manera acelerada, esto debido a que se ponen a prueba bajo condiciones de iluminación, humedad y temperatura controladas, que pueden variar a condiciones extremas. Probando así los límites de cada producto, su estabilidad química, física o mecánica, se determina un tiempo de vida útil. Por estabilidad se entiende la inalterabilidad de composición, aspecto, textura, color, etc., y en especial la permanencia de sus cualidades iniciales, tras determinados periodos de exposición solar en condiciones térmicas,

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

energéticas y lumínicas controladas. Tras los periodos de exposición controlados mediante la espectrorradiometría selectiva, esta técnica se encarga de medir la potencia en todo el rango espectral.

Por tanto la fotoestabilidad se define como la cualidad que tiene un producto para permanecer inalterable en el tiempo bajo la exposición a las radiaciones solares. La determinación de la fotoestabilidad de medicamentos se rige por la normativa ICH, mientras que el resto de los productos mencionados todavía no disponen de estándares normativos (32).

Algunos de los productos utilizados en las industrias químicas, de recubrimientos, alimenticias, textiles, cosméticas, farmacéuticas y otro tipo de industrias, utilizan estudios de fotoestabilidad o “pruebas de ventana” para evaluar la estabilidad de un producto frente a la radiación luminosa (33).



Imagen .. Fotografías de productos que se someten a fotoestabilidad

Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan las cámaras de ensayos de fotoestabilidad., cuyo tamaño puede ser, pequeño para uso en un laboratorio experimental, o de gran tamaño para grandes cantidades de productos. Según diferentes normas que existen a nivel mundial, las pruebas de fotoestabilidad varían mucho en cuanto a los materiales o a las condiciones con que deben realizarse. Las cámaras climáticas que se encuentran en el mercado tienen unas características principales de acuerdo a las variables que se manejan:

- La humedad relativa tiene un rango de operación entre 40 y 70%
- La temperatura se encuentra en un intervalo entre 5 y 40°C
- El tiempo de exposiciones es muy variable, puede ser un periodo de horas, días o semanas. Depende principalmente de la potencia requerida por la prueba
- La fuente de iluminación debe cumplir como mínimo desde el espectro visible hasta el ultravioleta cercano.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Se han identificado varios módulos funcionales para una cámara climática, teniendo en cuenta las principales variables, entradas y salidas, como se ve en la Figura ..

En este trabajo algunos de los módulos dejarán de ser relevantes, por lo que se concentrara la información referida solamente al sistema de iluminación, a las técnicas de sensado de radiación, disposición de las componentes dentro de la cámara y al diseño óptico auxiliar

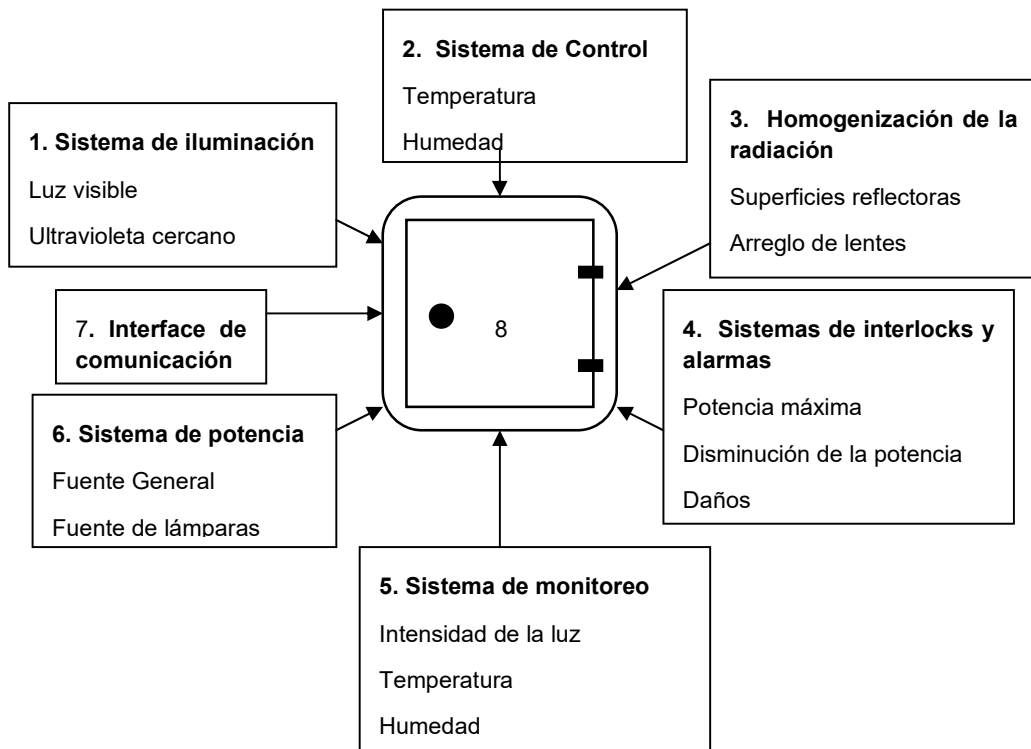


Figura .. Esquema de los sistemas necesarios en una cámara de fotoestabilidad

2.1.1 Sensores de Radiación

Como anteriormente se menciona, existen muchas técnicas de sensado para la radiación, en esta sección se discutirá más profundamente acerca de los tipos de sensores comerciales que podrían ser implementados para tener un control de la radiación en un sistema de simulación solar.

En la Figura ., se muestra en uno de los bloques funcionales, el sistema de sensado. Este es uno de los componentes principales debido a que es el que

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

permite tener una medida en tiempo real, de la cantidad de radiación que es entregada por las fuentes de luz, y mediante esta medida, poder asegurar el cumplimiento de los estándares de acuerdo con los tiempos de exposición y la cantidad de radiación total recibida por las muestras.

A continuación se presentan algunos modelos de sensores de radiación (Luz visible y Ultravioleta) que son ofrecidos por compañías comerciales que trabajan en el área de óptica y de medidas de radiación.

International Light Technolgies.

Esta compañía tiene una línea de instrumentos para medir la radiación diseñada especialmente para las aplicaciones de fotoestabilidad. La medida de la luz durante las pruebas para evitar en tiempo real la fotodegradación.



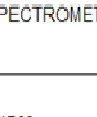

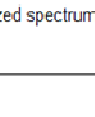

Aplicacion	Tipos de Fuentes	Rango espectral	Imagen	# Producto	Rango de medida	Unidades
FOTOESTABILIDAD	Sol	220-1050 nm		RPS900 SPECTROMETER	Customized spectrum	W/m ² /nm
FOTODEGRADACION	Fotostabilidad	315-390 nm		IL1700, SED033/UVA/TD	5.00e ⁻⁸ to 5.00e ⁻³	W/m ²
	Camaras	315-390 nm		IL1400, SEL033/UVA/TD	2.50e ⁻⁴ to 8.75e ⁺²	W/m ²
	Fuente de Luz	400-700 nm		IL1700, SED033/Y/TD	1.20e ⁻³ to 1.20e ⁺⁶	lux
	Simulador Solar	400-700 nm		IL1400, SEL033/Y/TD	5.98e ⁻² to 2.09e ⁺⁵	lux
MULTI-CANAL MONITOREO DE FOTODEGRADACION Y FOTOESTABILIDAD	Fotostabilidad	315-390 nm		ILT801, SED033/UVA/TD & SED033/Y/TD		W/m ²

Tabla .. Medición Fotoestabilidad/Fotodegradación

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

En la Tabla . se hace una comparación de los diferentes productos para la medición de la luz que ofrece esta compañía. En general ofrecen en cada uno de sus productos diferentes adaptadores diseñados para medir en el rango de la luz visible o para la radiación ultravioleta. Cada uno de los sistemas manejan opciones diferentes para medir en unidades diferentes de radiometría o fotometría, como en el UVA (300-390nm) desde $2.50e^{-4}$ a $8.75e^{+2}$ W/m² y en el Visible (400-700nm) desde $5.98e^{-2}$ a $2.09e^{+5}$ lux. (34)

Así que ofrecen un amplio rango de medidores con interfaces manejables por el usuario que determinan la cantidad en un instante determinado en tiempo real, y con la opción de hacer integración de la medida por casi 100 horas en continua operación.

PMA 4100 Series CALReady Detectors

Estos sensores tienen la característica que pueden ser calibrados por el usuario final de acuerdo a los rangos que desee trabajar, por medio de una interfaz de computador. Utilizan dos tipos de detectores “PMA 4110-420 Detector UVA” y detector fotópico “Detector PMA 4130-420”. El primer detector es sensible entre los 320-400nm con un máximo de 1000W/cm² y el segundo detector sensible entre los 480-620nm con un máximo de 5000 Lux. (35)



Imagen .. Detectores CALReady UV-Visible Fuente: (35)

En la Imagen ., se ve una fotografía de los sensores. Como es claro, cada uno mide por separado y su salida está dada en unidades diferentes, Watts y Lumens

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

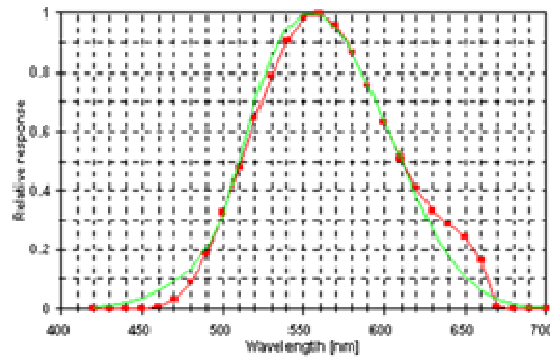


Figura .. Respuesta del detector en el rango visible Fuente: (35)

En la Figura . se observa la distribución de la respuesta del detector (Detector PMA 4130-420) en el rango visible con un pico de sensibilidad en el 570nm aproximadamente. Estos sensores tienen un rango de medición de 150.000 Lux y 220 W/m².

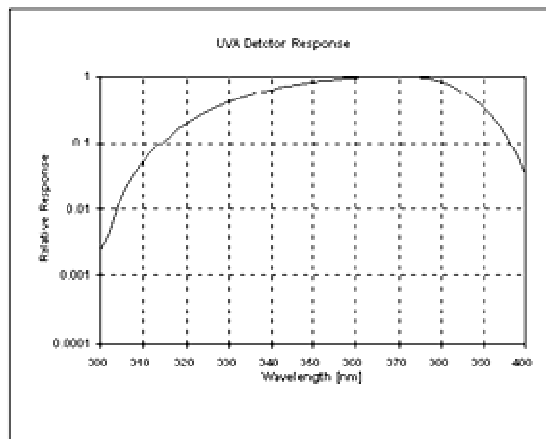


Figura .. Respuesta del detector en el rango UV

En la Figura . se puede ver la curva de distribución de la respuesta del sensor (PMA 4110-420 Detector UVA) en las longitudes de onda desde los 300 a los 400 nm. Este sensor en el rango del visible puede alcanzar medidas de radiación hasta los 2000 W/m².

ROITHNER UV Fotodiodo EPD-365-0

Fotodiodo con amplio rango de sensibilidad de radiación UV, 245-400nm.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad



Imagen . Fotodiodo UV Roithner *Fuente: UV-PHOTODIODES Roithner*

Es usado comúnmente para aplicaciones medicas, determinar la salida espectral de algunas lámparas UV y controlar las medidas de las variables ambientales de radiación UV.

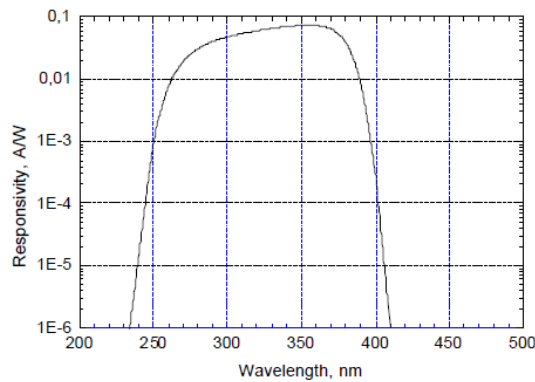


Figura .. Respuesta espectral sensor EPD-365-0

En la Figura . se muestra la distribución de la sensibilidad del sensor en un área determinada.

Oriel Reference Solar Cell and Meter

Es una parte necesaria para la calibración, consiste en un dispositivo de lectura con una celda solar de 2x2 cm hecho de silicio monocristalino. La celda esta también equipada con una termocupla para medir al tiempo temperatura y radiación.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad



Imagen .. Celda Solar NEWPORT Fuente: Newport Corporation (36)

La lectura de irradiancia la hace en unidades definidas por el instrumento mismo, en “sun”, que equivale a 1000 W/m^2 ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ y Airmas s 1.5 Global Reference). El máximo rango permitido es de 3500 sun (36).

UVA Light Sensor PASCO

El sensor principal es un fotodiodo que de acuerdo a la cantidad de intensidad recibida traduce esta señal en un voltaje entre 0 y 5V. Este sensor está diseñado para usar con la interface de computador PASCO 750, para realizar medidas de la intensidad relativa de la radiación UVA en el tiempo



Imagen .. Sensor UV PASCO Fuente: PASCO . (37)

Este tipo de sensores se usa comúnmente para detectar en un intervalo de $315 - 400\text{nm}$ cuando se usa con el filtro adecuado, al ser removido este filtro se puede detectar también luz visible. (37)

Mini-espectrómetro

En el mercado existen muchos tipos de espectrómetros, pero hay unos muy modernos que utilizan tecnologías integradas y más portables que los hacen fácil de manejar.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

El modelo Oriel IS Series Minispectrometer es fabricado por Newport Corporation. Esta compañía ha ofrecido nuevas mejoras en los instrumentos para hacer espectroscopia.



Imagen .. Espectrómetro, Oriel IS Fuente Newport Corporation (8)

Estos diseños están mejor adaptados para poder percibir un amplio rango de la radiación ultravioleta. Para esto se usa un arreglo de fotodiodos Si NMOS, los cuales en conjunto tienen una respuesta espectral muy amplia. Debido a que estos arreglos resisten bien bajo condiciones de radiación ultravioleta, no necesitan un recubrimiento para protección, como si lo requieren los espectrómetros basados en sistemas CCD's. Lo que genera una mejor percepción de la radiación UV, como se ve en la Figura ..(8)

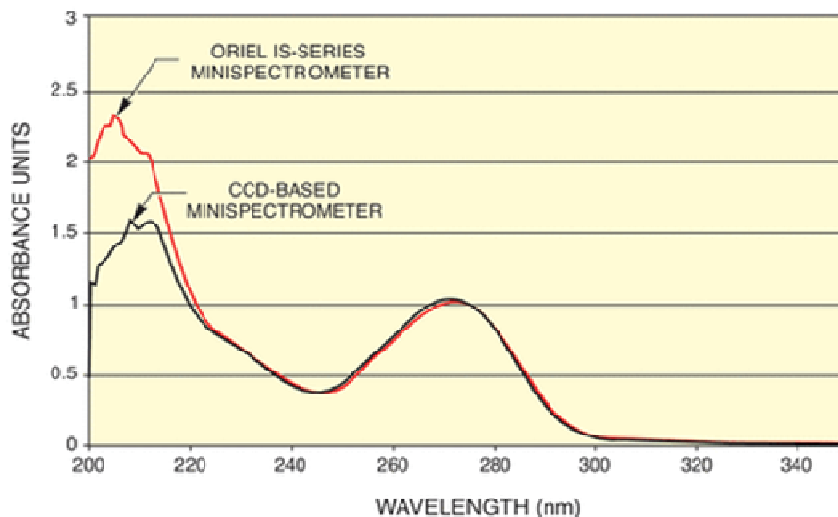


Figura .. Absorbancia de la Cafeína, espectrómetro CCD-Si NMOS

Este instrumento tiene un rango de medida de 140-900 nm, por lo que recibe información todo el visible, parte del UVA e Infrarrojo, una resolución de .0,45nm y es óptimo para medidas de intensidad relativa, transmitancia y absorbancia.

Esferas integradoras

Las esferas integradoras en sí no son un tipo de sensor, sino que más bien son un sistema adicional que puede usarse con muchos sensores. Consiste en un dispositivo o aditamento que se puede acoplar al sensor. Esta modificación tiene un objetivo fundamental y es actuar como un difusor casi ideal. Éste recolecta luz, en una superficie semiesférica que es la que se encuentra de frente a la fuente de luz, luego la luz pasa a través del material de la esfera que ayuda a que la luz pueda ser dispersada más homogéneamente, para así el sensor poder medir una intensidad promedio sobre toda su superficie activa.

La mayoría de los radiómetros y fotómetros que se usan para medir fuentes de luz no puntuales, cuentan con una esfera integradora en su entrada, como se muestra en la Figura ..



Figura . Esferas integradoras.

2.1.2 Fuentes de iluminación para simulación solar

Según lo visto anteriormente, existen muchos tipos de iluminación, por lo que se hizo un estudio riguroso de las ofertas que tiene el mercado de iluminación a nivel mundial.

Hoy en día la oferta es muy amplia, no solo por los desarrollos tecnológicos sino por la variedad de aplicaciones de los sistemas de iluminación, que pueden ir desde las farolas de un automóvil hasta las luces interiores de un museo de arte. Por tan diversos factores, las compañías han intentado suplir cada uno de los mercados, pero aun así se pueden quedar cortas.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Las lámparas fluorescentes son las más comunes del mercado hoy en día, se utilizan tanto en hogares, como en oficinas. Son útiles para aplicación de biotecnología y arte, debido a que el color de la luz de salida permite que los colores se vean más reales.

Estos tubos tienen una clasificación que varía según su diámetro y su longitud, como se muestra en la Tabla .. Dependiendo del tamaño y la relación entre el diámetro y la longitud del tubo se puede obtener una intensidad mayor (38).

Clasificación	Diámetro (in)
T2	$\frac{2}{8}$ "
T4	$\frac{4}{8}$ "
T5	$\frac{5}{8}$ "
T8	$\frac{8}{8}$ "
T9	$\frac{9}{8}$ "
T12	$\frac{12}{8}$ "

Tabla .. Clasificación Tubos Fluorescentes - Diámetro

El mercado común de las lámparas corresponde a las compañías tradicionales, como OSRAM, SYLAVANIA, GENERAL ELECTRIC y PHILIPS.

A continuación, en la Tabla .., se muestran algunos modelos, caracterizados brevemente con las cualidades principales que se deben observar en una fuente de este tipo.

La potencia eléctrica, es la medida relacionada con el consumo de energía eléctrica o de voltaje y corriente. Todas estas lámparas poseen un espectro de emisión en bandas diferenciadas, pero en total se asemeja al espectro Cool White. El CCT de estas lámparas esta alrededor de 4100-5000 K.

Las lámparas Fluorescentes que siguen el estándar D65, se venden en varios tamaños de de acuerdo a la referencia del tubo. En algunas distribuidoras de estas fuentes se pueden comprar 30 lámparas fluorescentes.

Tabla .. Lámparas Fluorescentes Cool White

Foto	Nombre	Fabricante	Potencia	Voltaje	Longitud	Diametro	Tiempo uso
	(FL18CW641) Fluorescent 18 watt 641mm Cool White	BLT Direct	18 W	220-240 V	691 mm	25 mm	10000 hrs
	(FL20T12CW) Fluorescent T12 20 watt 2ft Cool white	BLT Direct	20 W	220-240 V	600 mm	38 mm	10000 hrs
	10142 – F15T8/CW GE Cool White Starcoat® T8	General Electric	15 W	220 V	457 mm	25 mm	7500 hrs
	41110 – F15T8/CW/CGE Cool White cov/Rguard® T8 - Shatter-Resistant	General Electric	15 W	220 V	457 mm	25.4 mm	7500 hrs
	41117 – F24T8/CW/4/CGV GE Appliance Cool White cov/Rguard® T8 - Appliance; Shatter- Resistant	General Electric	18 W	220 V	457 mm	25.4 mm	7500 hrs
	F15T8 Cool White Plus 24 ALTO	Philips Electronics N.V.	15W	...	25.4 mm	609	7500 hrs

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Para las lámparas de luz negra (Black Light), la búsqueda debió ser más rigurosa, pues la salida espectral debe tener una características que cumplan principalmente con el estándar ICH ya que este es el único que hace requerimientos con respecto a estas longitudes de onda. Estas deben tener un pico, aproximadamente en 365nm y un ancho de banda desde 350-370nm. En contraste, las lámparas negras tiene un recubrimiento solamente de fosforo y el vidrio que utiliza es un cristal diferente al que se usa comúnmente llamado cristal de Wood (de color azulado), lo que solo permite que pasen ciertas longitudes de onda dentro de las cuales se encuentran unas franjas en el ultravioleta.

En la Tabla . se muestran dos tipos de lámparas UV; una es de tipo fluorescente, las otras son unos bulbos incandescentes, que funcionan de la misma manera que lo hace un bulbo incandescente visible, pero se usa un bulbo que hace las veces de filtro para que tenga una salida espectral en el ultravioleta que es capaz de absorber toda la luz visible

El otro tipo de iluminación que se puede concluir de los estándares es usar lámparas de descarga de alta intensidad, entre las cuales se encuentran lámparas de arco Xenón, anteriormente se menciona un poco sobre su funcionamiento básico, se sabe entonces que requiere de alto voltaje para generar una descarga que rompa la barrera de potencial. Esta descarga genera una radiación característica del gas que se contiene, en este caso Xenón. Existen varios modelos de lámparas como se muestra en la Tabla .

Este tipo de espectro es muy parecido al de la radiación solar que nos llega a la superficie terrestre. Las lámparas de Xenón requieren una fuente de potencia muy especial, de alto voltaje, ya que las potencias requeridas son casi del orden de Kilovatios.

Estas lámparas producen gran cantidad de radiación infrarroja, por lo que se debe emplear un filtro para infrarrojo o usar un sistema de refrigeración. Esta refrigeración comúnmente se hace con agua des-ionizada o destilada, y su movimiento alrededor del la lámpara es suave y laminar debido a la forma que tiene el bulbo de la lámpara.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Tabla .. Lámparas Fluorescentes BlackLight

Foto	Nombre	Web Site	Potencia	Voltaje	Longitud	Diametro	Tiempo
	35885- F15T8/BLB 6PK	(General Electric	15	220 V	457 mm	25.4 mm	7500 hrs
	22748 - 75R30/BLB 6PK	General Electric	75	120	136.3	95.2	1000
	69800	EYE Lighting	250	...	...	...	3000

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

La forma en que fabrican el contenedor del xenón, es muy sencilla, es una esfera o una elipse en el medio y un tubo a lo largo que permita hacer fácilmente las conexiones a los electrodos, esta forma es fundida en un vidrio "fused silica quartz," que tiene grandes ventajas, ya que es transparente, permite pasar alguna porción de la radiación UV, resiste altas temperaturas sin fracturarse y además soporta presiones muy altas, lo cual resulta útil para encapsular el xenón dentro de este empaque. Todas estas características lo hacen excelente material para lámparas de descargas de alta intensidad, que estarán funcionando bajo condiciones muy extremas y por largo tiempo.

Se halla también otro tipo de fuentes de xenón, pero en este caso son cerámicas. Es una tecnología que utiliza materiales cerámicos para generar la radiación. Emiten radiación desde el ultravioleta hasta el infrarrojo semejándose mucho a la luz del día. Registra un promedio de energía desde los 5500 - 6000 K, lo que se traduce en un rayo de luz muy blanco y limpio. (39)

En la Tabla ., se pueden comparar algunos modelos de lámparas cerámicas de xenón, las cuales son principalmente usados en aplicaciones medicas, por su alta intensidad, su maniobrabilidad y por que recrea muy adecuadamente las condiciones de iluminación de la luz del sol. Estas lámparas son de tamaños muy pequeños, que alcanza unos 30mm de diámetro, lo que las hace muy practicas y fáciles de acomodar a montajes ópticos para mejorar su alcance o eficiencia.

Un inconveniente ha de tenerse en cuenta. Usualmente se requiere aislamiento térmico o el filtrado de la radiación infrarroja, debido a que puede generar temperaturas muy altas, es preciso buscar un sistema refrigerante, también puede pensarse en una resina o recubrimiento que sirva como aislante térmico. Así se garantiza una vida útil mucho más larga.

El siguiente tipo de lámparas están especificadas en solo un estándar de los que se analizaron anteriormente. Las lámparas de haluros metálicos, son lámparas de descarga de alta intensidad. Estas funcionan de manera muy similar a como lo hace una lámpara de arco xenón, la diferencia está en que los gases pueden variar. En general son lámparas de mercurio a las que se les adicionan ciertos haluros metálicos como ioduros, tierras raras, gases nobles, entre otros. (40)

Tabla .. Lámparas HID Xenón

	Modelo	Fabricante	Potencia Elec(w)	Potencia Radl(w)	Horas de uso	Temperatura	Length (mm)
	6255	Newport Corporation	150	...	400 - 600	6000K	150
	XBO 1000 W/HTP OFR	OSRAM	1000	...	2400-3000	5800K	330
	UXL-500D-0	USHIO	500	...	1200-1500	5800K	234

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

En la Tabla ., se pueden comparar algunas de las opciones de lámparas de haluros metálicos, esos difieren en tamaños, potencias y CCT.

Ahora bien, la “Tecnología LED’s” ha pasado de ser una tecnología de solamente indicadores (ON/OFF) a ser la nueva tecnología de iluminación. Tienen muchas ventajas: como que son construidos con micro fabricación, lo que permite ahorrar materiales y generar menos desechos; es una tecnología muy ecológica, ya que tiene un gran coeficiente de eficiencia en relación a la potencia eléctrica consumida con la potencia lumínica de salida; no requiere altos voltajes para operar; la electrónica para su control es relativamente sencilla; existen muchas variedades en colores, tamaños o intensidades.

En la

Tabla . y Tabla . se muestran algunos de los modelos de LED’s que pueden ser interesantes para este trabajo. Gracias a la gran investigación y desarrollo que se ha realizado en nuevos materiales, para poder obtener muchas y diversas longitudes de onda o colores en los LED’s, se ha llevado esta tecnología a una nueva concepción.

Anteriormente, los colores, o longitudes de onda a las cuales emitía un LED, parecían ser una línea de emisión, una sola línea muy bien definida dentro de todo el espectro. Ahora con nuevas composiciones de los materiales base para los LED’s , se puede recrear una banda del espectro mas grande. Por ejemplo los LED’s que tienen una salida Cool White (como algunos de la tabla) abarcan un espectro entre el 400-700nm aproximadamente.






Los arreglos de LED’s , han estado entrando al mercado de manera progresiva, ya que se convierten en una forma más fácil de aprovechar el espacio y obtener así mismo una buena iluminación. Estos arreglos pueden ser útiles en cámaras modulares para iluminación independiente de muestras.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Tabla .. Lámparas Cerámicas de Xenón

	Modelo	Fabricante	Potencia Elec (w)	Potencia Radian (w)	Horas de uso	Length (mm)	Temperatura (k)
	CEX-175BF	Philips	2200 lumens (25 w)	...	500	...	5600
	GL10115	General Electric	300	5,000 lumens	1000	...	...
	VAC CERAMIC XENON LAMPS	USHIO	175	25 w	1000	...	5600
	PE700C-13UV	PerkinElmer CERMAX	600-750	...	...	...	...

Tabla .. Lámparas de Haluros Metálicos

	Modelo	Fabricante	Potencia Elec (w)	Potencia Radian (lumens)	Horas de uso	Length (mm)	Temperatura (k)
	MSA 600W G22 1CT	Philips	600		4000	304,8	7200
	Switch Start MH Std 1000W WH Mog BT56	Philips	1000	120000-78000	10000	388,62	3700
	85110 - CMH20MR16/830/FL	General Electric	20	1000 lumens	12000	54x51 (diámetro)	3000
	45681 - CMH100PAR38FLECO	General Electric	100	6500 lumens	10000	150x100 (diámetro)	3000
	Super Metalarc Vertical MS1000/BU	Sylvania	1000	125000 lm	10000	390 mm	3500K




Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Tabla .. LED'S

Imagen	Modelo	Fabricante	Potencia Elec (w)	Potencia Radian (w)	Angulo de vision	Pico Longitud de	Temperatura (k)
	AL-6W03WC-60	a-bright	3W	70 lumens	60	...	6000 (warm white)
	AL-S7W03WW-180	a-bright	3W	55 lumens	180	...	6001 (warm white)
	0-EW-01 Ultra Violet Epi Wafer	AOT	...	...	...	360-430	...
	SML-LX3939UWC-TR	Lumex	...	190 lumens (6.6 V)	130	...	6300 white
	UV3TZ-395-30	Bivar	...	10 mW	30	390 nm	UV
	UV5TZ-395-30	Bivar	...	20mW +/-15%	30	395 nm	UV
	SML-LX1110UWC-ATR	Lumex	...	22 lumens (4v)	90	...	white
	LZ1-30CW05	LedEngine	5W (3.4V)	130-186 lumens	95	...	cool white
	LZ4-00CW15	LedEngine	15W (12-17V)	538-995 lm	105	...	cool white
...	GHB-3M35-CW	International Light	45W(3.8-4.5V)	50-180mcd	34	...	cool white

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Tabla .. Arreglos de LEDS

	Modelo	Fabricante	Potencia Elec (w)	Potencia Radian (w)	Horas de uso	Temperatura (k)
	Military Shelter light LMCW2724ZRLA D2	Dialight	22.5 w	2100 lumens	50000	cool white
	Downlight LED Bulb - LMS-1002	Led Light Cree	3W	75 lumens	50000	cool white 6500K
	10 Led MR11	Ultra LEDs	20 W	125 lm	...	cool white 6500K

2.2 Análisis de Normas y Estándares

En el diseño de una cámara se debe tener en cuenta qué tipo de pruebas se realizarán en ella. Para eso se debe hacer un análisis de las normas y estándares que frecuentemente rigen las pruebas de fotoestabilidad de diferentes materiales. En este trabajo se estudian cuatro estándares o normas que siguen algunas de las cámaras que se encuentra en el mercado.

2.2.1 Estándar ICH-Q1B

PRUEBA DE FOTOESTABILIDAD PARA NUEVAS DROGAS, SUSTANCIAS Y PRODUCTOS MEDICOS (Ver Anexo A)

La fotoestabilidad es una característica intrínseca de las sustancias medicas, por lo que deben ser evaluadas muy rigurosamente antes de entrar en el mercado, para poder verificar que su sustancia activa sea estable aun en condiciones muy adversas, y asegurar así la confiabilidad y calidad del producto.

Para las cámaras de fotoestabilidad que son enfocadas a realizar pruebas en medicamentos, se tienen ciertos requisitos. Primero se debe escoger una buena fuente de iluminación. Existen dos opciones posibles: la primera es una lámpara que cumpla con el estándar de radiación D65, ya sean lámparas halógenas o de arco Xenón, la segunda opción es usar lámparas fluorescentes, una para el espectro de luz blanca, y otra para cubrir el área del ultravioleta. (25)

Luego, para la técnica de sensado, el estándar plantea que debe usarse el método de actinometría química, esta técnica es usada para el sensado de potencia de radiación, se usa un dispositivo que mide la cantidad de fotones y que va integrando en el tiempo esta medida. Son especialmente diseñados para medir en longitudes de onda del visible y ultravioleta.

El estándar no especifica otro tipo de sensores, aunque comercialmente pueden verse cámaras climáticas con radiómetros y fotómetros digitales, ya sean de superficie esférica o planos. Esta forma del sensor depende si se quiere medir la radiación que incide sobre una superficie o sobre un volumen en general.

Para calcular los tiempos de exposición, primero es necesario tener clara la potencia de salida de las lámparas que se usaran. (41)

La cantidad de energía que las muestras debe alcanzar en el total de duración de la pruebas es según el estándar, de 200 W/m^2 (Ver ecuación (.)). Por lo que si en

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

promedio se quiere una prueba con la luz ultravioleta de 10 hr, se necesitaría una potencia total de salida de 20W, como se ve en la ecuación

$$\frac{200W * h}{10h} = 20W \quad (.)$$

Análogamente si se requiere en el rango visible que las muestras alcancen es de 1.2 millones de lux, y suponiendo que este ciclo durará alrededor de 60 horas. Entonces se necesitaría una potencia total de salida de aproximadamente de 20.000 luxes (Ver ecuación (.)).

$$\frac{1,2 \times 10^6 \text{lux} * h}{60h} = 20.000 \text{luxes} \quad (.)$$

2.2.2 Estándar AATCC “Test Method 16-1990”

COLORFASTNESS TO LIGHT (Anexo B)

Este documento pretende estandarizar las pruebas que establecen los principios generales y procedimientos que se usan para medir como los materiales textiles pueden decolorarse y perder su tinte (42).

Este método es aplicable para todo tipo de textiles teñidos con cualquier tinte y con cualquier tipo de tratamiento. En este tipo de pruebas existen varias opciones para la iluminación de las muestras:

- Lámpara de Arco Carbono de iluminación continua
- Radiación solar , iluminación discontinua
- Lámpara de Arco Xenón enfriada por agua
- Lámpara de Arco Xenón enfriada por aire.

La idea es medir la resistencia de un textil a que cambie sus características de color debido a la exposición del material a la luz solar o a la luz artificial.

El tipo de sensor que se usa para medir la cantidad de luz es un radiómetro pasa banda con un ancho de mas de 20nm. Además de este se usa un piranómetro que mide la radiación solar global.

2.2.3 Norma Icontec 1479 CDU: 677.84

MATERIALES TEXTILES TEÑIDOS O COLOREADOS. METODO DE LA LAMPARA DE ARCO XENON PARA DETERMINAR LA SOLIDEZ DEL COLOR A LA LUZ (Ver Anexo C)

Esta norma está basada en el Estándar AATCC “Test Method 16-1990”. Se establece un método para determinar la solidez del color a la luz, de los materiales textiles teñidos o coloreado. Este método emplea una fuente de Arco Xenón (43).

Para la pruebas se requiere de unas muestras patrón de tejido de lana, teñidas con colorantes azules ya estandarizados. Estos determinan la intensidad del color, que se clasifica de L2- L9.

El tipo de instrumento que se usa, es un aparato con lámpara de arco xenón puede ser enfriado con aire o con agua. La fuente luminosa tiene un CCT de 5500-6500 K. Tiene un filtro de luz colocado entre la fuente luminosa y los especímenes de modo que limite de manera regular las radiaciones ultravioletas. La transmisión del cristal usado será mínimo de 90% entre 380-750nm bajando a 0% entre 310-320nm. También está equipado el dispositivo con un filtro de calor ya que el espectro de las lámparas de xenón tiene componentes en el IR, este filtro consiste en agua destilada o des-ionizada que circula a través del ensamble de la lámpara y el filtro de luz Ultravioleta.(43)

Este método no cuenta con un dispositivo para sensor la radiación sino que es un método de comparar los colores de los especímenes por el lado expuesto y el lado no expuesto.

2.2.4 Estándar SAE-J1885 MAR92

ACCELERATED EXPOSURE OF AUTOMOTIVE INTERIOR TRIM COMPONENTS USING A CONTROLLED IRRADIANCE WATER COOLED XENON-ARC APPARATUS (Ver Anexo D)

Este método es desarrollado y diseñado para simular ambientes extremos tales como las condiciones dentro de un vehículo expuesto a la luz solar, calor y humedad con el propósito de predecir como es el comportamiento de los materiales usados como recubrimientos y tapicería dentro de los automóviles.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Para esta prueba se utiliza una lámpara de Xenón enfriada por agua destilada que circula a su alrededor. La duración de las pruebas así como la preparación de las muestras depende de los materiales que se requieren medir. (44)

Para tener una irradiancia controlada, existe una configuración principal. Tipo Ah1, un dispositivo que permita tener un control de radiación, una fuente de iluminación en posición vertical ubicado en el eje central de un sistema en forma de barril que puede girar en torno a la fuente de luz con una velocidad de 1rpm. La forma de distribución de las muestras es en tres bandas, que forma un esquema de barril, una superior, una en el medio y una inferior. En cada banda pueden distribuirse 6 especímenes. (41)

Los ciclos que se usan en promedio son de 3,8h de luz y 1 hora de oscuridad pero con las condiciones de humedad y temperatura constante. Para realizar la calibración de la lámpara y de las pruebas se usan materiales estándares como poliestireno que se ponen a prueba en este ensayo de corta duración

2.2.5 Estándar ISO 18909:2006

METHODS FOR MEASURING IMAGE STABILITY: PROCESSED PHOTOGRAPHIC COLOUR FILMS AND PAPER PRINT (Ver Anexo E)

En el capítulo 5 de este estándar se describen los métodos para realizar la prueba de fotoestabilidad a fotografías e impresiones en papel.

Principalmente se describen cinco métodos diferentes para las pruebas de fotoestabilidad. Estos métodos intentan simular situaciones comunes en la mayoría de los hogares con el deterioro de las fotografías o impresiones, que les ocurre por medio de la luz indirecta del sol o las lámparas que iluminan el interior de hogares y oficinas (45).

La baja intensidad generada por una lámpara de filamento incandescente usualmente contribuye muy poco al deterioro de las fotografías y las impresiones. Las lámparas fluorescentes sin embargo producen una mayor intensidad y cada vez son más comunes en los hogares y producen una mayor contribución a la degradación de las fotografías.

En los edificios de oficinas las lámparas fluorescentes si la primera fuente de iluminación. Las fotografías que son exhibidas en galerías y museos son iluminadas con bulbos incandescentes.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Pero la exposición a la luz solar directa es la principal causa del desvanecimiento de las fotografías y de las impresiones. Estas muestras por lo general exhibe un comportamiento diferente cuando se exponen a una alta intensidad por un periodo corto de tiempo o a una baja intensidad en periodo mas largo de tiempo.(45)

Las medidas de irradiación, deben ser sensadas con un radiómetro que tenga una respuesta fotópica que cumpla con el estándar CIE de luminosidad. La componente ultravioleta de la radiación deber ser especificada también bajo ciertos parámetros pero este estándar no requiere que los niveles de radiación se ajusten a unos límites especificados.

Todas la pruebas realizadas con cualquiera de las opciones, debe seguir las mismas condiciones que se muestra en la Tabla . para simular condiciones de un espacio interior al cual llega luz solar de forma indirecta a través de ventanas de vidrio.

Condiciones	Ciclo de Luz	Ciclo de oscuridad
Duracion	3,8 h	1,0 h
Temperatura de la camara	40 °C ± 5 °C	25 °C ± 5 °C
Humedad relativa de la camara	40 %RH ± 10 %RH	80 %RH ± 5 %RH

Tabla .. Condiciones de pruebas del estandar ISO 18909:2006

Los equipos comerciales que utilizan un alampara de Arco Xenón trabajan en un rango de 70-100KLx, y algunos de ellos pueden llegar a ser de hasta 50KLx, la distribución espectral para este tipo de lámparas puede verse en la Figura .. Para esta prueba se usa un lámpara de arco Xenón y dos piezas de vidrio estándar para ventanas, su transmitancia relativa se muestra en la Figura . que serian insertados entre la lámpara y las muestras. Algunas lámparas ya vienen recubiertas con vidrio sódico, por lo que en ese caso solo se requiere una sola cubierta. (45)

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

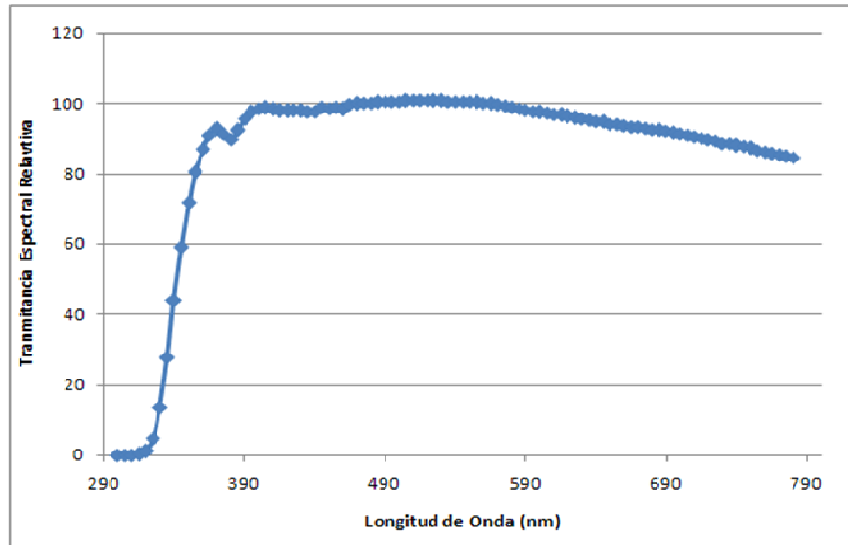


Figura .. Distribución relativa de la transmittancia de una ventana de vidrio *Fuente: ISO (45)*

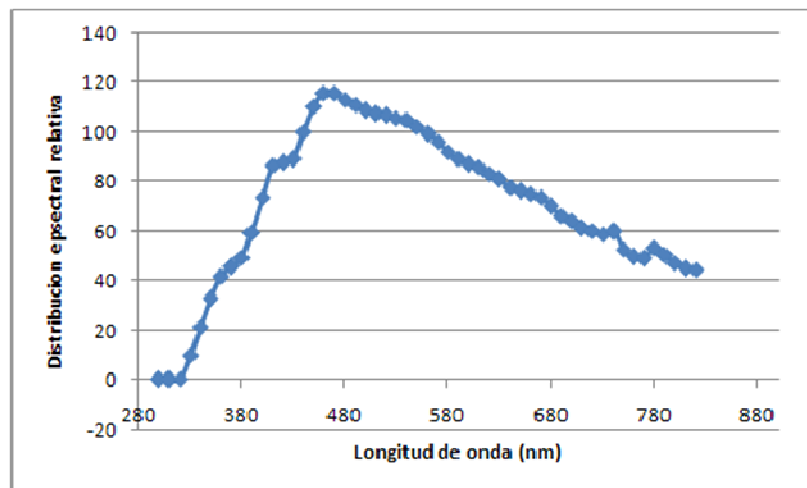


Figura .. Distribución espectral relativa de potencias para simular las condiciones interiores de iluminación indirecta ID65a *Fuente: ISO (45)*

Para simular la iluminación con una lámpara fluorescente Cool White. Existen equipos que utilizan las lámparas fluorescentes para realizar pruebas de estabilidad, comúnmente funcionan a 20-50Klx, la distribución espectral de estas lámparas se puede ver en la Figura .. Las lámparas fluorescentes Cool White están disponibles en dos tipos

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

- Lámparas que son comúnmente usadas en oficinas y hogares, fabricadas con baja concentración de mercurio, en un esfuerzo de reducir el peligro que representan cuando las lámparas son desechadas.
- Las aplicaciones comerciales en lugares abiertos, al aire libre y por lo general fríos, usan lámparas que puedan operar en amplio rango de temperatura, por lo que tienen mayor contenido de mercurio, estas lámparas entonces funcionan mejor para las pruebas de fotoestabilidad.

La luz de ambas lámparas fluorescentes tienen una salida espectral muy similar. En esta prueba se omiten las cubiertas de vidrio (45)

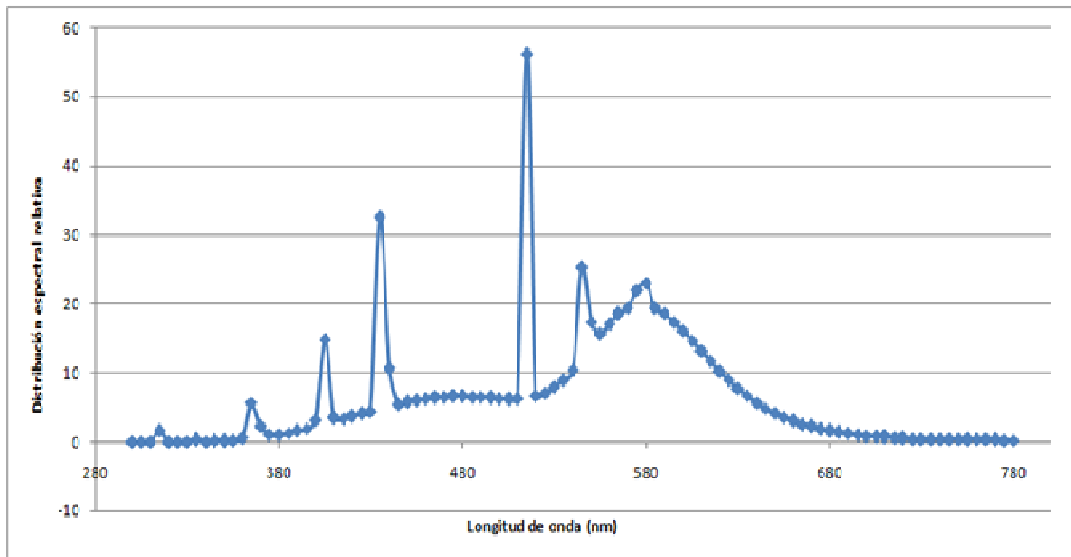


Figura .. Distribución espectral relativa de potencias - lámpara fluorescente Cool White Fuente: ISO (45)

Para simular la iluminación con lámparas incandescentes de tungsteno – “CIE Illuminant A distribution”. Se deben usar lámparas estándar como 75R30/FL, cuya distribución espectral se puede ver en la Figura ., que provee una iluminación de 3Klx. El voltaje debe ser ajustado para mantener un CCT de 2856K, ± 100 K. Se debe usar un filtro de vidrio y colocado entre la lámpara y el plano de las muestras. Estas lámparas deben ser reemplazadas cada 200 horas. (45)

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

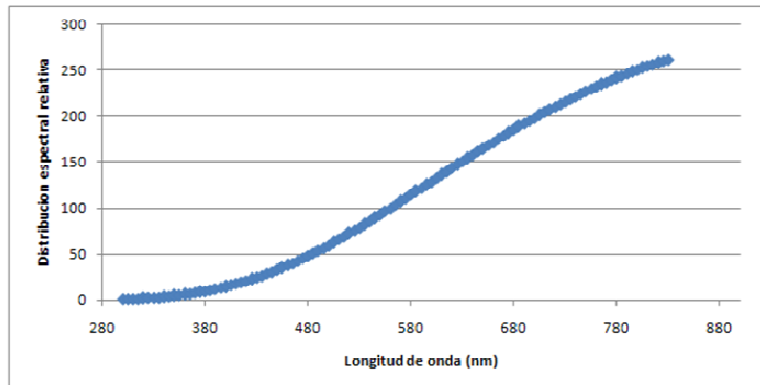


Figura .. Distribución espectral relativa de potencias- lámpara incandescente de tungsteno *Fuente: ISO (45)*

Para simular la luz solar exterior con lámpara de Arco Xenón – Distribución espectral CIE D65. Se utiliza como iluminación una lámpara de Arco Xenón de alta presión con una salida de iluminación de 100KLx, cuya distribución espectral se puede ver en la Figura .. Se debe usar un filtro de vidrio de borosilicato para generar una salida más similar a la luz solar real.

Sin embargo la temperatura de las muestras aumenta considerablemente cuando son iluminadas continuamente. Esto causa que el contenido de humedad de las muestras decaiga y se mantenga a niveles muy bajos durante toda la prueba. Las muestras a las que les ocurre esto pueden generar resultados que no son del todo ciertos, pues las fotografías e impresiones que se exhiben a la intemperie están expuestas a ciclos de luz y oscuridad y usualmente en ambientes con alta humedad relativa y bajas temperaturas en los periodos de oscuridad.(45)

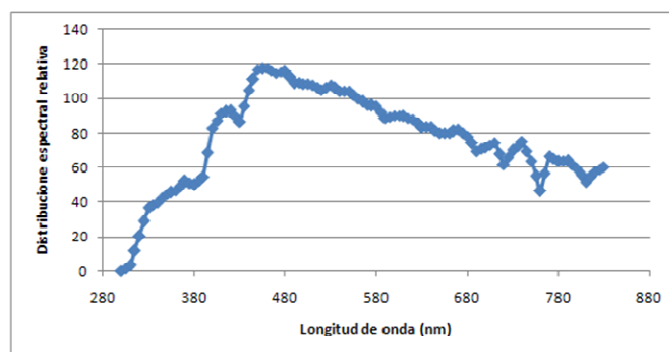


Figura .. Distribución espectral relativa de potencias para un lugar exterior según D65 *Fuente: ISO (45)*

Para simulación con lámpara halógena de tungstenos intermitente. Un proyector de acetatos esta equipado con un alampara halógena de tungsteno, esta lámpara

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

puede ser útil para las pruebas de fotoestabilidad. Se requiere entonces un filtro para la radiación infrarroja, que consiste principalmente en un espejo enfriado a bajas temperaturas que pueda absorber el calor. Como la intensidad del proyector tiende a caer en las esquinas, el área de la fotografía debe ser de 1cm^2 y posicionada en el centro del plano del proyector. El nivel de iluminación que se alcanza en este plano, debe ser medido con una celda de selenio, esta se centra en el plano para medir los tiempos de exposición definidos con anterioridad. (45)

2.3 Mercado de Cámaras Climáticas para Fotoestabilidad

Los ensayos de fotoestabilidad, son comúnmente usados por muchas empresas, para evaluar la calidad de sus productos, por lo que en el mercado se ofrecen muchos tipos de estas cámaras climáticas, con muy diversas especificaciones.

Como ya anteriormente se hizo una introducción a las fuentes de iluminación y las técnicas de sensado, se hará a continuación un listado de algunas de las principales cámaras de fotoestabilidad que se ofrecen en el mercado mundial.

DYCOMETAL, Cabina de Exposición Ensayos de Fotoestabilidad, FOTOPANEL

La empresa Dycometal, es una empresa que brinda soporte tecnológico a empresas farmacéuticas, con productos necesarios para asegurar el control de calidad de los medicamentos, que se guían según los estándares ICH (46).



Imagen .. DYCOMETAL, Cabina de Exposición Ensayos de Fotoestabilidad Fuente : *Dycometal Web site*(46)

Entre los productos que la empresa ofrece, se encuentran varios tipos de cámaras climáticas con iluminación, pero solo una permite tener control de la radiación

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

incidente sobre las muestras, es decir que permite realizar pruebas de fotoestabilidad.

Este tipo de cámaras utilizan como fuente de iluminación la opción 2 del estándar ICH-Q1B, una batea de ocho tubos de fluorescencia (4 lámparas de fluorescencia blanca-fría y 4 de UV cercano) y un vidrio difusor para eliminar el excedente de radiación infrarroja. Con este tipo de fuentes de iluminación, los ensayos toman largos tiempos de duración.

CCI, Cámaras Climáticas

Esta empresa desde el año 1967 ha estudiado, diseñado, desarrollado sistemas de simulación ambiental y fabricación de cámaras climáticas y de envejecimiento climático acelerado, la organización CCI es la primera empresa española del sector, pionera en su actividad.



Imagen .. CCI, Cámaras Climáticas *Fuente: CCI (32)*

Estas cámaras tienen como fuente de iluminación principalmente lámparas de arco Xenón, pero pueden usar lámparas fluorescentes o halógenas dependiendo del modelo seleccionado. La distribución de las muestras varía también, pueden estar en disposición giratoria o en un arreglo plano (47).

BINDER, Cámaras climáticas KBF-ICH

BINDER es una compañía líder en la simulación de ambientes biológicos, químicos, físicos de manera controlada. Las cámaras de serie KBF fueron diseñadas particularmente para ofrecer test de estabilidad fiable y para mantener las condiciones climáticas constantes con absoluta precisión.



Imagen .. BINDER, Cámaras climáticas KBF-ICH Fuente: Binder (48)

La iluminación según la opción 2 del estándar ICH-Q1B, esta distribuida verticalmente en ambas puertas, 10 lámparas fluorescentes (5 lámparas de fluorescencia blanca-fría y 5 de UV cercano). Cumple con las exigencias de la directiva ICH para la luz visible y la luz ultravioleta Para la medición de luz se utilizan dos sensores esféricos de dirección independiente, que registran la cantidad de luz en cada sitio de prueba. (48).

CARON, Cámaras de Fotoestabilidad Series 6540

Es una compañía que desde 1985 ofrece productos de alta calidad para el desarrollo de pruebas climáticas con condiciones de humedad, temperatura y/o iluminación controladas.

Las cámaras climáticas que esta compañía ofrece están específicamente diseñadas para trabajar en el UV cercano y luz visible. Tiene principalmente dos modelos, pero con diferencias solo en la cantidad de volumen que soporta.

La fuente de iluminación que utiliza lámparas fluorescentes que cumplen con la opción 2 del estándar ICH-Q1B. Las superficies interiores reflectivas están recubiertas con aluminio para proveer una uniformidad de la radiación. Posee dos detectores de radiación uno para el rango del visible y otro para el UV, integrados a un radiómetro que entrega una medida precisa (49).

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad



Imagen .. CARON, Cámaras de Fotoestabilidad Series 6540 *Fuente: CARON, (49)*

Otro producto que ofrece Caron, es las 6500 Series :Photostability Chambers



Imagen .. CARON, 6500 Series :Photostability Chamber *Fuente: CARON, (49)*

Estos modelos de cámaras climáticas son diseñados con lámparas fluorescentes que cumplen el estándar D65, es decir lámparas que cumplen con la opción 1 del estándar ICH-Q1B.

WEISS TECHNIK GMBH, Environmental Simulation Systems

Weiss Umwelttechnik GmbH, es una de las productoras más importantes a nivel mundial en la fabricación de cámaras de pruebas y sistemas de simulación ambiental. Sus productos son una amplia gama de sistemas para simular diferentes tipos de ambientes controlados.



Imagen .. WEISS TECHNIK GMBH, Environmental Simulation Systems *Fuente: WT CMBH (50)*

Este tipo de cámaras aseguran que la uniformidad de la radiación, humedad y temperatura es homogénea por todo el volumen. El sistema de iluminación que se implementa es de acuerdo a la opción 2 del estándar ICH-Q1B, lo que permite realizar las pruebas de fotoestabilidad en menos de 100 horas (50).

Q-LAB Products, Q-Sun Xenon Test Chamber

Q-Lab Corporation, es una compañía proveedora global de productos para la prueba de durabilidad de materiales. Las cámaras climáticas que ofrece son principalmente diseñadas para materiales como pigmentos, tintas y recubrimientos. Ofrecen modelos con dos diferentes diseños de disposición geométrica, un sistema plano, y un sistema rotatorio que pone la fuente en el centro y las muestras giran relativamente a él.

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad



Imagen .. Q-Sun Xenon Test Chamber *Fuente: Q-Lab (51)*

Las cámaras que ofrece utilizan todas, una fuente de luz de arco Xenón, para simular todo el espectro solar. Varían en cuanto al volumen y el tipo de filtros que se ofrecen para diferentes resultados. Las lámparas de Xenón tienen una potencia de salida de 1800W, son fácilmente intercambiables y deben ser remplazadas cada 1500 horas de uso (51).

Environmental Specialties (ES)

Bahnson E.S. es una empresa que se dedica a diseñar y fabricar dispositivos para realizar cámaras climáticas controladas y ofrecerlas a diferentes tipos de industrias.



Imagen .. Environmental Specialties (ES) *Fuente: ES (52)*

El sistema de iluminación que usan estas cámaras puede acomodarse a las necesidades del cliente, puede usarse con diferentes lámparas fluorescentes de

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

luz blanca y ultravioleta, una lámpara que emite simultáneamente luz visible y UVA. La iluminación se ubica en la parte superior de la cámara. Los tipos de sensores que usan, son fotodiodos especialmente diseñados por la ESI.(52).

ATLAS, Laboratory Weathering Testing

ATLAS es una compañía pionera e innovadora que diseña alternativas para ofrecer a diferentes empresas de servicios para realizar pruebas de durabilidad de diferentes materiales y productos. Esta compañía especialmente ofrece un amplio rango de instrumentos que simulan condiciones ambientales, como la radiación solar, la humedad del ambiente y la temperatura. Esta empresa es una de las pioneras y el líder mundial en la fabricación de alta calidad de las cámaras climáticas.

Actualmente desarrolla cámaras con los tres tipos de iluminación posibles para las pruebas de fotoestabilidad que determina el estándar ICH-Q1B. (53)

Cámaras con lámparas de arco Xenón: Las cámaras comúnmente llamadas “weather-ometers”, son usadas para muchas aplicaciones, industrias de recubrimientos, pinturas y plásticos. Estos modelos utilizan lámparas de Xenón, de diferentes tipos de potencias, desde los 1000 Watts, hasta aproximadamente 9000 Watts. Para la refrigeración de la lámpara, se utilizan dos sistemas, uno de corrientes de aire enfriado que entran en contacto con la lámpara, pero aisladas del ambiente general de la cámara de prueba y el otro sistema es agua en contacto con la lámpara sellado herméticamente para que no existan escapes.

Imagen . Atlas, weather-ometers



Fuente: Atlas (53)

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

Cámaras con lámparas fluorescentes: Estas cámaras utilizan lámparas fluorescentes que tienen ventajas en cuanto al costo y al tiempo de vida. Pero este modelo simplemente usa lámparas de luz negra, es decir lámparas que radian en el espectro UVA, lo que no es una buena aproximación al espectro total del sol, pero sirve para evaluar el efecto de la radiación ultravioleta en ciertos materiales, por ejemplo adhesivos, pinturas y recubrimientos.

Imagen .. Atlas, fluorescent weather-ometers



Fuente: Atlas (53)

Cámaras con lámparas de haluros metálicos: Es el sistema de iluminación que se ha usado en este tipo de cámaras de simulación solar por más de 20 años. Estas lámparas halógenas deben pasar un riguroso control para verificar su salida espectral y comprobar si cumplen con el estándar MHG (Metal Halide Global). En algunos casos es necesario utilizar filtros y algunos suplementos electrónicos para poder garantizar la distribución espectral que coincida con la radiación solar. Las potencias de salida ópticas de las fuentes de iluminación utilizadas en estas cámaras varían desde 1500 hasta casi 6000 Watts.

Imagen ., Atlas, halogen weather-ometers



Fuente: Atlas (53)

Sistemas de cámaras climáticas y de fotoestabilidad

3 EXPERIMENTOS Y DISEÑO

3.1 Medición de radiación

Las diferentes medidas al tratarse de la radiación electromagnética en el espectro visible, superponen dos ámbitos:

El primero se refiere a los aspectos puramente físicos de la cuestión. En este caso las magnitudes y vocabulario utilizados son los propios de la física, objetivos e independientes de la percepción humana.

El segundo se refiere a aspectos de la "luz" y del "color"; trata por tanto aspectos subjetivos (percepción humana de la radiación a través del sentido de la vista). En este caso los patrones de medidas utilizados, e incluso el vocabulario empleado, están afectados de ciertas correcciones para acercarse a las características muy especiales que tiene la percepción humana de la "luz visible". Además de la frecuencia (y longitud de onda), existen otras magnitudes significativas en la radiación electromagnética, algunas especialmente importantes desde el punto de vista óptico. Estas magnitudes están directamente relacionadas con la percepción que se tiene de la luz.

Experimentos y diseño

Para realizar algunas pruebas y ensayos del tipo de iluminación de diferentes fuentes con algunos sensores, se utilizaron equipos que se encuentran en los Laboratorios de Óptica de la Universidad EAFIT. En particular, se emplearon 3 tipos de sensores:

- Minispectrometer 78356, Oriel Product line. Newport Corporation.

Este sensor, permite obtener el espectro de emisión de las fuentes de luz en un rango de detección entre 150nm y 900nm. La resolución de este dispositivo es de ± 0.5 nm. Las medidas que realiza este dispositivo son enviadas a un computador por medio de un cable USB. La información es mostrada a través de una interface de control en LabView, y puede almacenarse la información obtenida del espectro experimental en hojas de datos, de esta manera se pueden manipular, realizar cálculos y obtener graficas.

- Radiometer SEL 033, International Light

Este sensor mide la potencia total de radiación en todo el rango del UV-Visible, ó únicamente en la región ultravioleta (empleando filtros). El intervalo de potencia que es capaz de sensar está entre 5.83×10^{-12} y 5.83×10^{-3} W.

- Photometer SCD 110, International Light

Este sensor es especialmente diseñado para obtener medidas fotométricas, en lumens o luxes/m². Solamente en el rango visible. Los valores que puede detectar se encuentran entre 1.67×10^{-2} y 5.83×10^4 lm

A pesar de la calibración exacta de estos sensores, las medidas de potencia pueden no ser muy acordes los valores reales, debido a que cuando se habla de fuentes de luz que no son puntuales, es muy difícil tomar la medida de la radiación total que sale de ella, ya que de acuerdo a su forma, radía en muchas direcciones. Existe una aproximación que se hace en función del área del detector con respecto al área del bulbo de la fuente de luz, aunque puede ser muy inexacta esta técnica, debido a que la incidencia de la luz sobre el detector no es siempre normal a su superficie y decae en función del ángulo de incidencia, según la Ley de Lambert.

3.1.1 Lámpara de descarga de Xenón

En el Laboratorio de Fotónica de la Universidad EAFIT se dispone de una lámpara de Newport Corporation, modelo "Apex Arc Lamp Source", que cuenta con un tubo de descarga por arco de alta intensidad lleno de Xenón libre de mercurio, ozono y

Experimentos y diseño

otros gases, lo que asegura que la salida espectral es muy similar a la radiación solar, desde el UV hasta el IR.

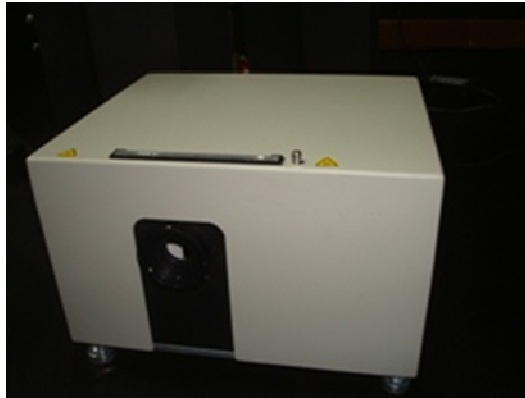


Imagen . Fotografía - Lámpara Arco Xenón

Esta lámpara es cómoda de usar ya que viene dentro de un compartimento que le proporciona adecuada ventilación, asegura alineación y un haz colimado.

Características:

Potencia Eléctrica: 75 W

Horas de uso: 2000 hr

Rango de radiación: 200-2400 nm

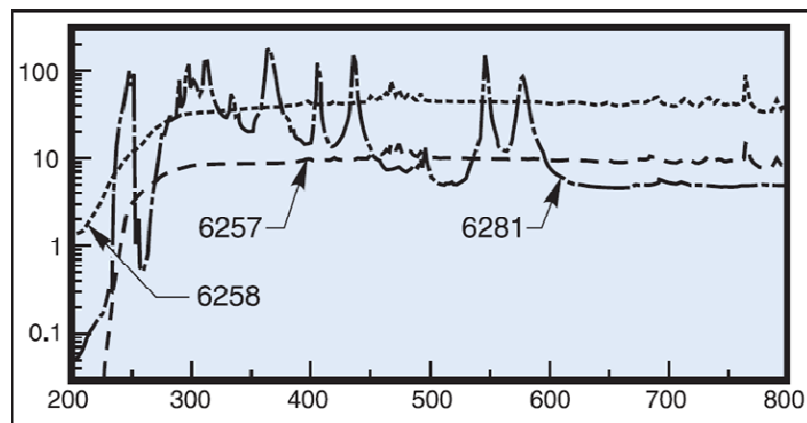


Figura .. Espectro de emisión lámpara de Xenón (6257)

Esta lámpara modelo M.66450 fabricada por la Newport Corporation, tiene una salida espectral que corresponde a la curva de 6257 en la Figura ..

Experimentos y diseño

En el experimento, se reprodujo el espectro de emisión de esta fuente, garantizando que el haz de salida de la fuente estuviera perfectamente alineado con el detector y que la distancia entre la fuente y el sensor fuese 50cm, como lo indican las medidas de referencia de las graficas que se presentan en la Figura .. Ahora la Figura ., muestra un esquema la disposición de los equipos en el experimento que se especificaban en la hoja técnica para realizar la medida del espectro de salida:

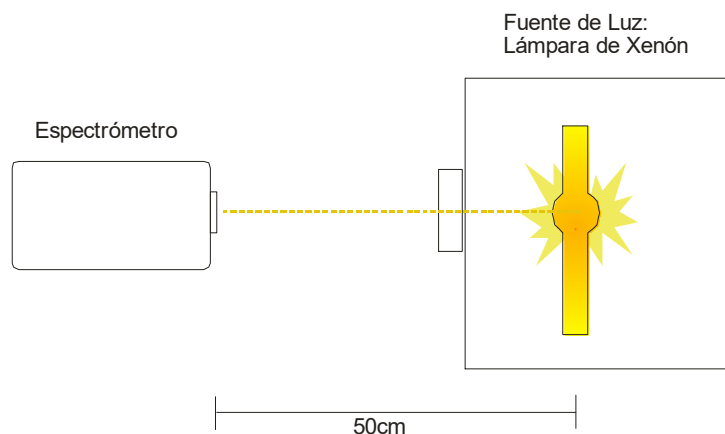


Figura . Esquema del montaje experimental - Lámpara de Xenón

Como se observa en el espectro obtenido experimentalmente, cuando se compara con la Figura ., la intensidad de la lámpara de xenón tiene un máximo aproximadamente en 480nm. En la región del UVB y UVA, se aprecia que existe absorción de la radiación ultravioleta debida al aire presente entre la lámpara y el detector, pues, como se había mencionado anteriormente, los gases del aire común pueden absorber parte de la radiación ultravioleta.

Experimentos y diseño

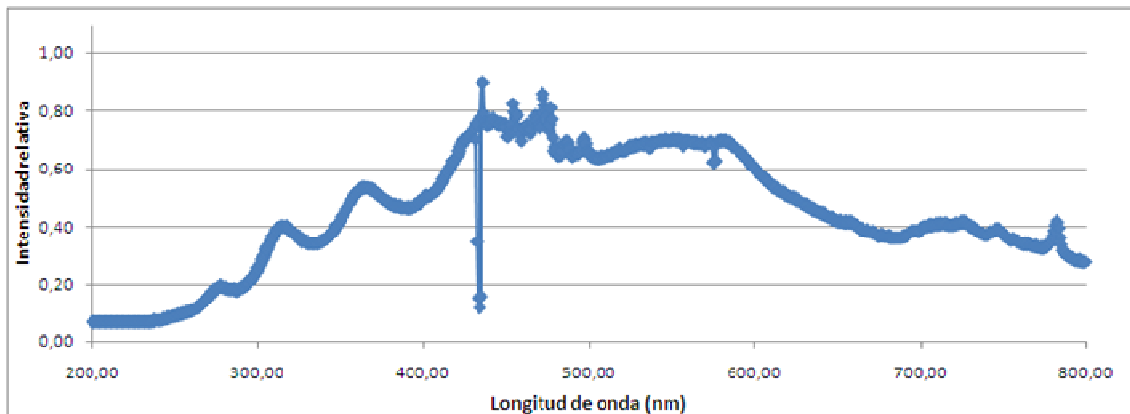


Figura .. Espectro experimental lámpara de Xenón

Las medidas con el radiómetro y el fotómetro arrojaron los siguientes datos:

Fotométrica: 16,18 Lm

Radiométrica en el UV: 45,9 μ W

Para esta fuente podríamos decir que las medidas de la radiación no son exactas a las que podría leerse en la hoja técnica. Esto es debido a que la lámpara radia en todas las direcciones y el sensor no alcanza a recibir toda la radiación proveniente de ella. Además la lámpara sufre pérdidas notables debido a la absorción del medio a la forma en cómo radía la lámpara.

3.1.2 Lámpara Fluorescente de radiación UV (BlackLight)

Esta lámpara es común comercialmente, ya que se utiliza con lámpara negra, para la validación de billetes o de cintas holográficas. Para su funcionamiento es necesaria la ayuda de un balastro, debido que al encenderse se requiere una mayor corriente que la que se consume para permanecer encendida.

Experimentos y diseño



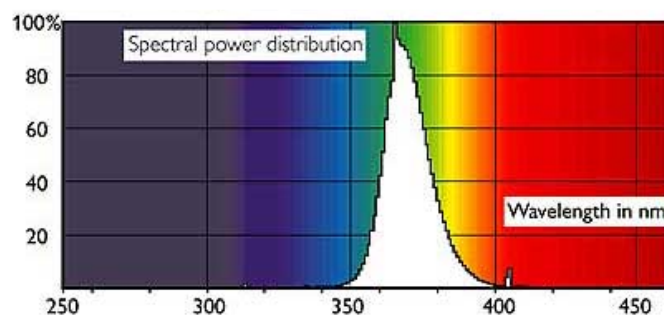
Imagen . Fotografía - Lámpara Fluorescente Black Light

El modelo que se tiene en el laboratorio es un tubo negro de 6 pulgadas de longitud, la referencia es Luxtech F4T5 BLB. (54)

Características:

- Potencia Eléctrica: 4 W
- Horas de Uso: 6000
- Rango de radiación: UVA
- Potencia lumínica en el UVA: 0.5 W

El espectro de referencia que tienen estos tipo de lámparas se muestra en la Figura ., en el cual se puede apreciar que tiene una gran parte de su espectro en la banda del UVA, y un pequeño pico en la región del visible (más de 400nm).



Fuente: (54)

Experimentos y diseño

Figura .. Espectro de emisión para una lámpara de luz negra

Para poder realizar la medida del espectro experimental, la fuente de luz debió ponerse lo más cerca posible del sensor del espectrómetro (Ver Figura .), esto para poder recolectar más luz y así no presentar pérdidas por dispersión o absorción del medio.

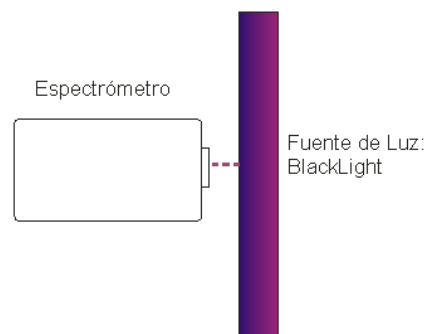


Figura . Esquema del montaje Blacklight-Espectrómetro

El espectro experimental que se puede observar en la Figura . . El pico máximo se ubica definitivamente en 370nm. También existe un pequeño pico en 407 nm, que corresponde al color violeta (del rango visible) que se puede observar directamente en la superficie de la lámpara

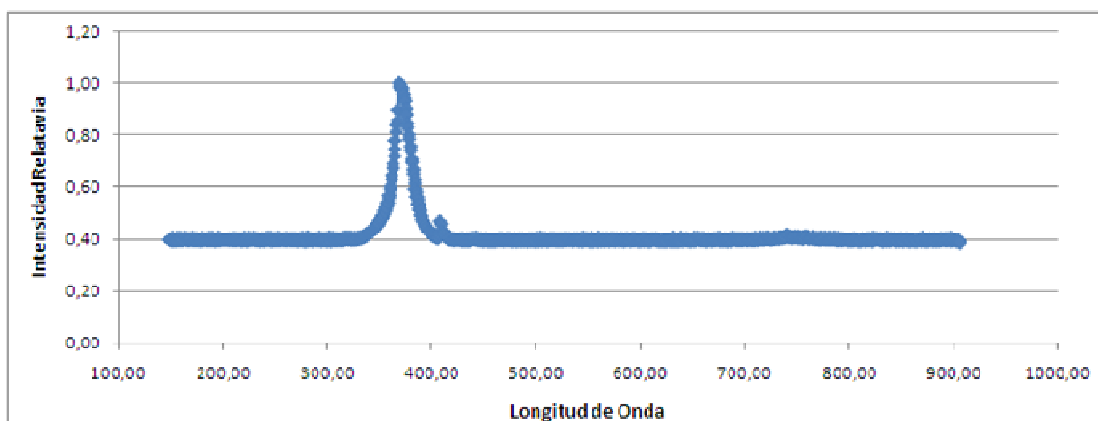


Figura .. Espectro experimental lámpara de luz negra

Experimentos y diseño

Las medidas con el radiómetro y el fotómetro arrojaron los siguientes datos, para la medida de estos datos también debió posicionar el sensor lo más cerca posible de la lámpara:

Fotométrica: 6 m^{Lm}

Radiométrica en el UV: 1,245 mW

Radiométrica en el UV-Visible: 3,69 mW

Las medidas no pueden abarcar toda la salida, debido a que este tipo de lámparas radia en forma cilíndrica, el sensor no puede capturar toda la potencia emitida.

3.1.3 Lámpara Fluorescente Blanca (Cool White)

Las lámparas fluorescentes han sido ampliamente discutidas anteriormente y ahora nos referiremos a los resultados experimentales obtenidos con estas lámparas.



Imagen . Fotografía - Lámpara Fluorescente Cool White

En la Figura . se muestra en espectro de referencia típico de una lámpara fluorescente Cool White. La fuente que se usó para este experimento fue PL-S ALTO 9W/841 G23/2P 1CT, fabricada por Philips Company

Características:

Potencia Eléctrica: 9 W
Horas de Uso: 1000 hr
Rango de radiación: 400-700nm
Potencia lumínica: 600Lm

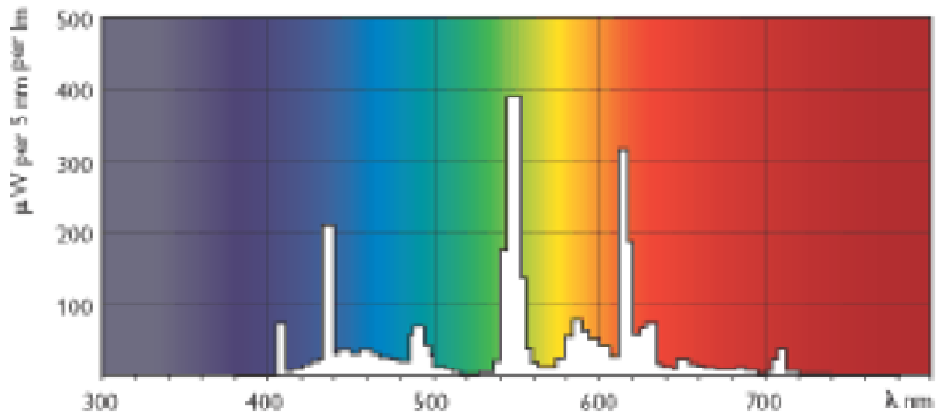


Figura .. Espectro de emisión lámpara fluorescente Cool White Fuente: Datasheet PL-S ALTO 9W/841 G23/2P 1CT

El montaje para la medida del espectro de la lámpara fluorescente Cool White, es el mismo al usado con la lámpara BlackLight (Ver Figura .).

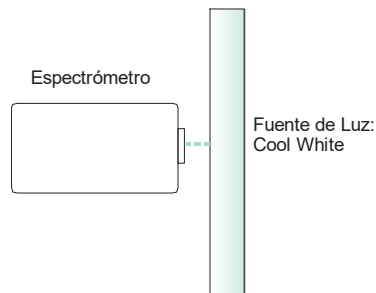


Figura . Esquema del montaje Lámpara Fluorescente Cool White-Espectrómetro

El espectro experimental de la lámpara Cool White que se muestra en la Figura ., se asemeja mucho al espectro de referencia, se ven 3 picos distintivos en 440, 550 y 620nm, hay otro picos más tenues en 420, 490 y 590nm. Esta combinación de colores tiene una forma muy característica, un pico en el azul, y una buena composición entre el verde y el naranja.

Experimentos y diseño

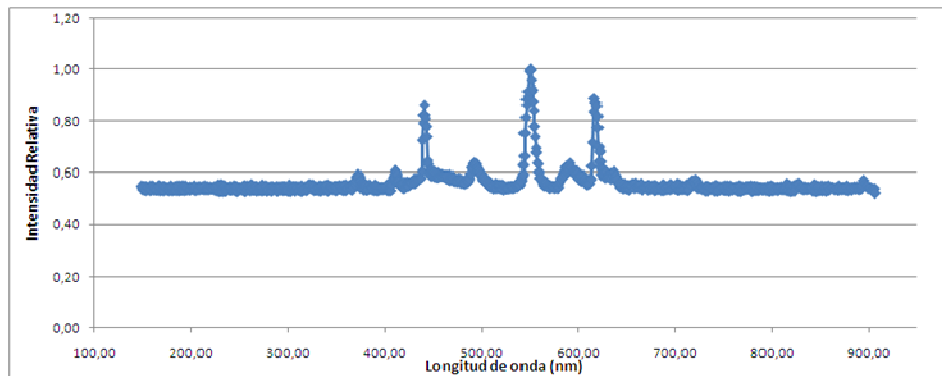


Figura .. espectro experimental Lámpara Fluorescente Cool White

Las medidas con el radiómetro y el fotómetro arrojaron los siguientes datos:

Fotométrica: 30,7 Lm

Radiométrica en el UV: 59 μ W

Radiométrica en el UV-Visible: 30 mW

Estos valores son afectados por la forma como radía la lámpara.

3.1.4 Fuente de luz de Mercurio a Alta presión

Las fuentes de mercurio de alta presión, funcionan muy similarmente a como lo hace una lámpara de descarga de alta intensidad de xenón. Sin embargo el espectro de emisión de estas lámparas es más parecidas a las lámparas de haluros metálicos, como se puede ver en la Figura ..

Como se menciono anteriormente, las lámpara de haluros metálicos realizan la descarga a través de una mezcla de gases, el principal componente de esta mezcla es el mercurio, asa que esta lámpara de mercurio puede tener un espectro de salida muy semejante al que tendría una lámpara de haluros metálicos. (55)

Experimentos y diseño



Imagen . Fotografía - Lámpara de Mercurio

La fuente de mercurio que se usó fue una lámpara de mercurio de alta presión que se usa para realizar experimentos de fotones de altas energías como el fenómeno del efecto fotoeléctrico en placas de oro. El modelo de esta lámpara es Hg - 08147, fabricada por la Phywe (56) .

Características:

Potencia Eléctrica: 80 W
Intensidad Luminosa: 4000 lm
Color de temperatura: 4100 K
Rango de emisión: 300-600nm

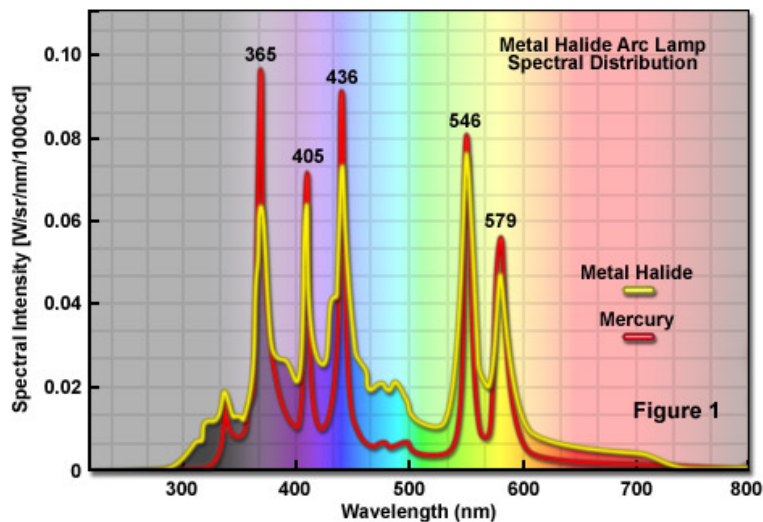


Figura .. Espectro de emisión de lámpara de mercurio y de haluros metálicos Fuente: *Education in Microscopy and Digital Imaging* (55)

Experimentos y diseño

El montaje que se uso para determinar el espectro de la lámpara de mercurio se muestra a continuación en la Figura ..

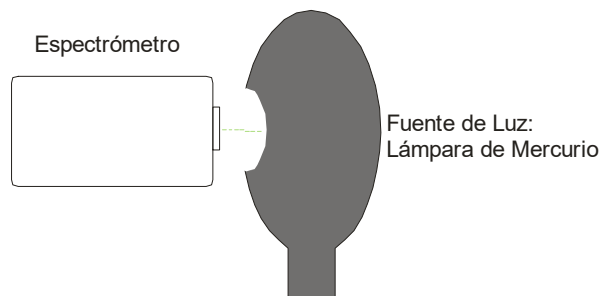


Figura . Esquema del montaje Lámpara de Mercurio-Espectrómetro

En el espectro que se obtuvo experimentalmente, Figura . , se puede apreciar entonces que esta lámpara representa un espectro característico de las líneas de emisión del mercurio. Tiene picos en las líneas espectrales definidas en 370, 410, 440, 550 y 580nm.

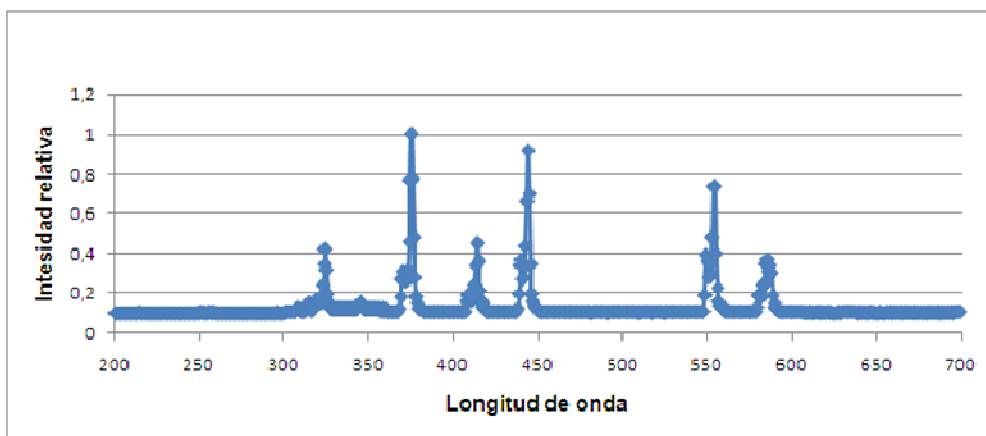


Figura .. Espectro experimental lámpara de mercurio

Las medidas con el radiómetro y el fotómetro arrojaron los siguientes datos:

Fotométrica: 155,2 Lm

Radiométrica en el UV: 6,36 mW

3.1.5 LED (Cool White)

Los LED's han sido la nueva tecnología confiable de iluminación, y en los resultados experimentales que se obtuvieron de estos, no es la excepción.

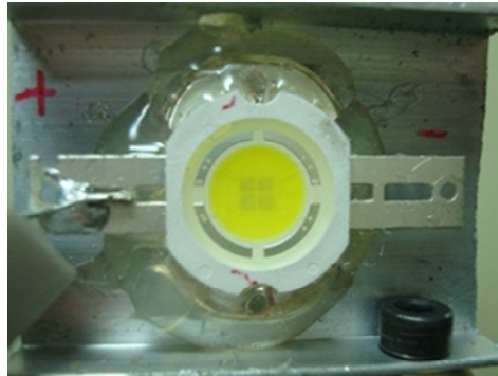


Imagen . Fotografía - LED Cool Withe

Se trabajo con un LED de alta intensidad, con un consumo de potencia relativamente alto comparado con los LED's comunes. Este sistema de iluminación a distancias muy cortas puede considerarse muy direccional, que radia en una sola dirección, aunque debido a la forma de su contenedor el haz de luz diverge. Para las medidas con los sensores, el que fuera tan direccional presentaba una ventaja ante las demás fuentes de luz.

Potencia consumida: 10 W

Consumo del voltaje: 10 V

Consumo de Corriente: 1,4 A

Intensidad Luminosa: 300-450 Lm

Cromaticidad: Cool White (5000-7000 K)

Experimentos y diseño

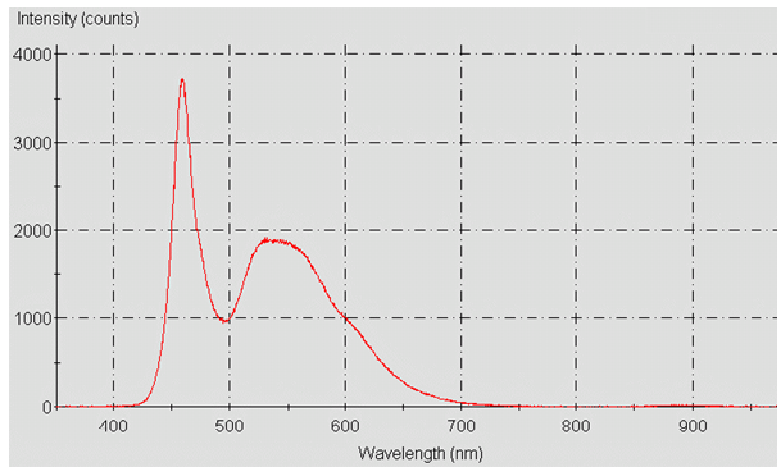


Figura .. Espectro de emisión de LED Cool White Fuente: <http://ledmuseum.candlepower.us/twelfth>

Para obtener las medidas del espectro del LED, se propuso un montaje muy similar a todos los anteriores, pero con una ventaja, y es que el LED radia muy direccionalmente. Lo que quiere decir que los sensores son capaces de medir la totalidad de la energía radiada.

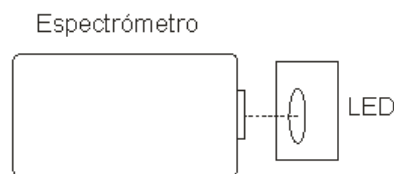


Figura . Esquema del montaje LED-Espectrómetro

El espectro de emisión de este LED, que se muestra en la Figura ., corresponde muy precisamente al espectro de emisión Cool White, el pico principal es en 450 nm, el otro pico, que no están pronunciado sino que se extiende por una buena cantidad de nanómetros tiene un máximo aproximadamente en 560nm. Este espectro, en general, podría compararse con el espectro Cool White de la lámpara fluorescente, porque tiene un pico definido en el azul y un conjunto de picos no tan intensos en promedio entre el 500 y 600.

Experimentos y diseño

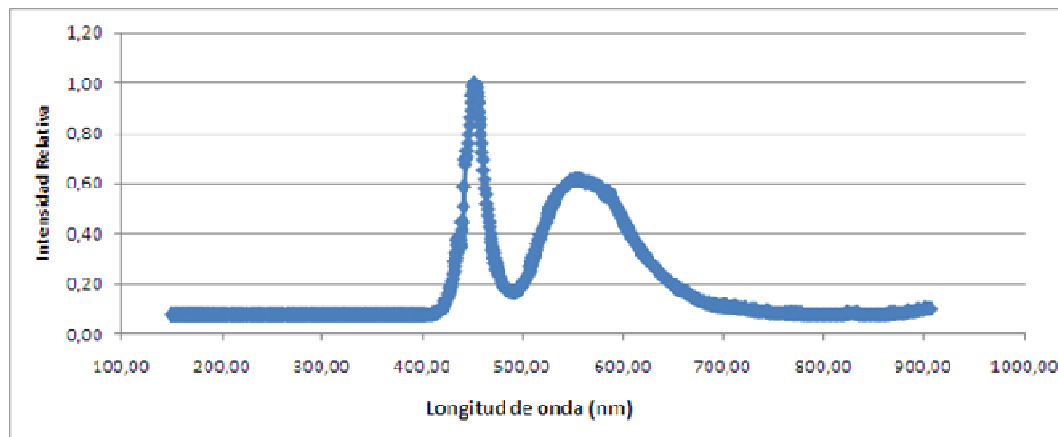


Figura .. Espectro experimental LED Cool White

Las medidas con el radiómetro y el fotómetro arrojaron los siguientes datos:

Fotométrica: 387 Lm

Radiométrica en el UV: 7,42 μ W

Estas medidas fueron muy precisas comparadas con las de la ficha técnica.

3.2 Propuestas de Diseño

Para las propuestas de diseño, se deben considerar ciertas especificaciones que se deben cumplir. Para esto se muestra a continuación un resume de todas estas especificaciones para que pueda decidirse cuales deben cumplirse y cuáles no, esto se llama PDS (Product Design Specifications). El PDS es un sistema que permite facilitar el proceso de diseño, muestra un cuadro con todos los requerimientos, los rangos de funcionamiento y la importancia de cada uno de estos de 1 a 5, siendo 5 el mayor grado de importancia. También se clasifican los requerimientos como necesidades (N) o deseos (D) del mercado en un tipo de producto como el que se está evaluando.

En la Tabla . se muestra el PDS desarrollado para este trabajo del análisis del sistema de iluminación para cámaras climáticas de pruebas de fotoestabilidad.

Experimentos y diseño

Requerimiento	Importancia	Necesidad / Deseo
Se necesita un sistema de iluminación que cumpla con los estándares (Estándar ICH-Q1B, Estándar AATCC "Test Method 16-1990", 2.2.3 Norma Icontec 1479 CDU: 677.84, Estándar SAE-J1885 MAR92, Estándar ISO 18909:2006)	5	N
El sistema de iluminación debe proveer radiación desde los 300nm hasta los 700 nm (Radiación Ultravioleta cercano y Visible)	4	D
Se necesita un sistema de monitoreo en tiempo real de la radiación recibida por las muestras	5	N
Debe ser flexible a varios tipos de muestras	3	D
Debe poder controlarse la cantidad de radiación recibida por las muestras	4	N
Las pruebas deben poder ser flexibles en cuanto a tiempos de exposición y intensidades, para poder ajustarlas a diferentes estándares	4	N
El volumen total a radiar de la cámara de pruebas debe ser entre 150-250 Lt	4	N
El sistema de iluminación debe ser estable y resistir periodos largos de operación	5	D
La radiación deber tener una distribución homogénea en el volumen activo de medición	3	D
El sistema de iluminación debe poder hacer exposición con solo un tipo de radiación (Visible o UV) y con ambos a la vez	5	N
El tiempo de vida útil sea mas de 2000 horas de uso	3	N
La potencia de salida del sistema de iluminación debe estar por encima de 10 W y de 100 lumen	4	N
La potencia debe ser suministrada por la red eléctrica de 110 V y 60Hz	4	D
La sobreexposición en cualquier da los dos tipos de radiación debe poderse controlar	5	N
La disposición de las muestras con respecto a la fuente de luz debe ser de manera que la luz llegue los mas perpendicularmente posible	3	D

Tabla . Especificaciones del diseño del producto

Experimentos y diseño

En el PDS se tienen las características básicas que debe cumplir una cámara climática para pruebas de estabilidad según los requerimientos de los estándares y las principales características que comúnmente tienen las cámaras comerciales de este tipo.

Las dimensiones interiores se ajustan, por mayor comodidad, a un cubo de 600mm de lado como se muestra en la Figura .. Para así tener un volumen total de aproximadamente 260 litros. Esta dimensión se encuentra dentro de los requerimientos del producto.

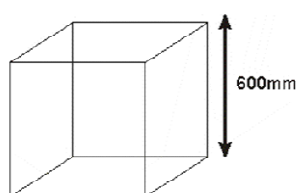


Figura .. Esquema del Interior de la propuesta de la cámara climática

Para la técnica de sensado, se puede decir que la utilización de un espectrómetro no es una buena idea, porque su precio es más elevado que el de las fotoceldas y fotodiodos que usualmente componen los radiómetros y fotómetros. En caso de querer usar un espectrómetro como sensor de radiación, tendría que adaptarse una esfera integradora ubicada en el interior de la cámara de pruebas, manteniendo el instrumento de lectura fuera de ella, ya que el instrumento ocupa más espacio que el que requiere la ubicación de sólo un detector. Por lo anterior se propone en todos los montajes sensores radiométricos y fotométricos, con esferas integradoras. Esto con el fin de controlar de manera más adecuada la intensidad de la radiación visible aparte de la radiación ultravioleta.

Para las propuestas que son más pequeñas y modulares, la esfera integradora podría no ser tan necesaria, porque la distribución de intensidades no decae considerablemente debido a que no se trabaja a distancias tan grandes.

Los rangos de los sensores deben ser: Uno que tenga una respuesta plana en el UVA, es decir 320-380nm, y el otro que pueda medir todo el rango visible. (400-700nm). La medida se debe hacer integrando cada medición en el tiempo, ya que la prueba de fotoestabilidad no se determina solo con el tiempo de exposición sino que también se determina por medio de la cantidad de energía que recibe, tanto en el visible como en el ultravioleta

3.2.1 Distribución con lámpara central de Xenón

Según las características de una fuente de Xenón, su radiación es emitida muy similarmente a una fuente puntual que radia como lo muestra la Figura . . Las muestras tendrían que colocarse de manera que incidiese sobre ellas homogéneamente la radiación.

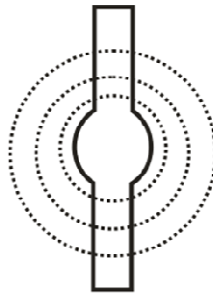
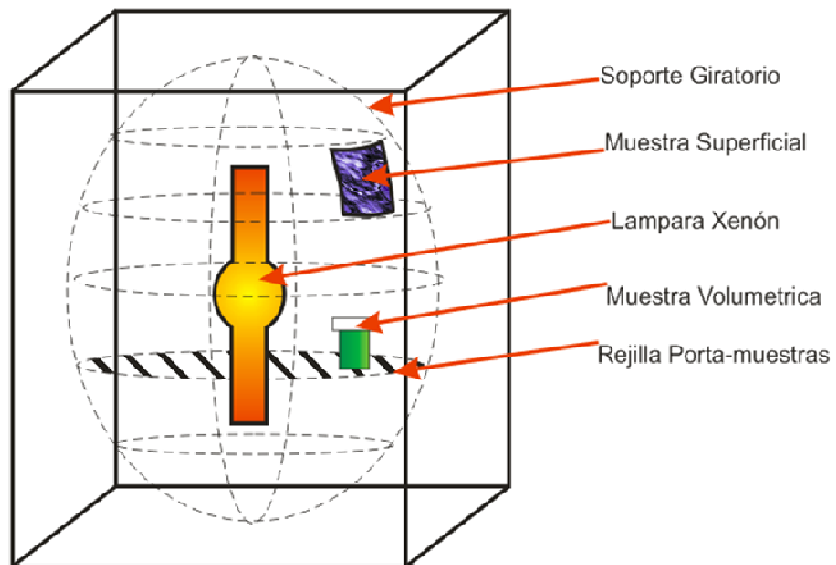


Figura .. Fuente de Xenón Puntual

Para garantizar aun más la homogeneidad de la radiación, puede ajustarse de manera que las muestra roten relativamente a la muestra. La velocidad del movimiento relativo puede fijarse en 1 rpm, como la mayoría de los modelos comerciales que utilizan este sistema lo hacen. Las muestras pueden esta en dos o más disposiciones, porque puede ajustarse de manera que las muestras superficiales, queden montadas tratando de seguir la curvatura de la rejilla, o pueden ser soportadas en forma vertical, cuando son muestras volumétricas (Ver Figura .).

También se puede observar que con solo ubicar una parrilla, en un plano, esta sirve como soporte para muestras volumétricas, estas pueden tener un problema en cuanto a la homogeneidad de la radiación que reciben, debido a que muchas de las muestras vienen en un contenedor con tapa y puede generar sombra o bloquear algún porcentaje de la radiación, aunque algunas de las pruebas también se le deben realizar al empaque, pues, esta puede ser una buena opción, para este tipo de pruebas.

Figura .. Esquema Montaje Rotatorio de Xenón



Para tener una perspectiva más clara del conjunto integral de la cámara climática con la lámpara de Xenón, se muestra en la Figura ., una modelación en 3D que muestra como está distribuida la fuente de iluminación con respecto a la rejilla portamuestras.

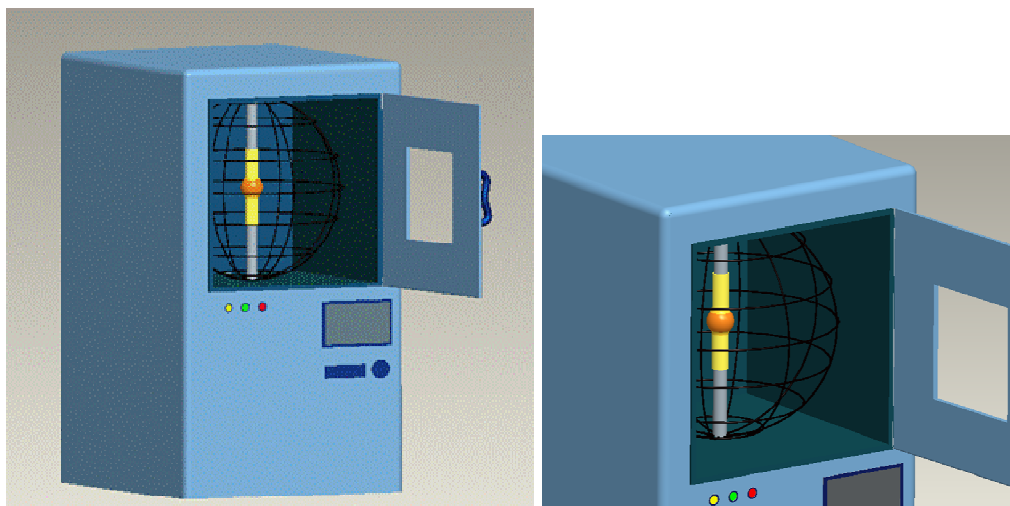


Figura .
a) Modelación 3D, Propuesta lámpara Xe

b) Detalle de la modelación

3.2.2 Distribución a lo largo de las paredes

En esta propuesta se describirá el uso de lámparas fluorescentes para cubrir el rango espectral necesario, desde el UV hasta el Visible. Se necesita una fuente de luz visible que será provista por una lámpara fluorescente Cool White y una fuente de radiación ultravioleta por medio de una lámpara fluorescente blacklight. Para seleccionar la disposición de las lámparas y poder predeterminar de alguna manera la distribución de las intensidades, se propusieron algunos esquemas. Las fuentes de luz en las paredes de la cámara formando un distribución con geometría prismática y la otra una disposición cilíndrica de las fuentes de luz, visible y ultravioleta, alternándose entre ellas, como se muestra en la Figura .

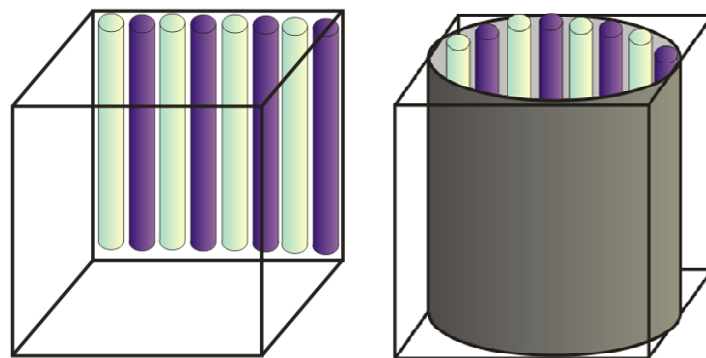


Figura .. Esquemas de montajes de fuentes fluorescentes visibles y UV
a) Disposición Prismática b) Disposición Cilíndrica

De acuerdo al sistema de iluminación sobre en las paredes de la cámara de prueba, se consideraron como fuentes de iluminación las siguientes:

Lámparas Fluorescentes Cool White, Longitud 600mm, Diámetro 25.4mm

Lámparas Fluorescentes BlackLight, , Longitud 600mm, Diámetro 25.4mm

En ambos diseños, debe tenerse en cuenta que la radiación ultravioleta y visible debe tener un control independiente. Esto, para que el modelos sea más práctico y funcional, ya que permitiría hacer pruebas con solo un tipo de radiación y evitar sobreexposición de las muestras en alguna de las dos radiaciones.

a) Simulación para fuentes distribuidas en las paredes interiores de la cámara

Para el diseño de las lámparas sobre las paredes interiores de la cámara y según las dimensiones anteriormente establecidas para el interior de la cámara de prueba se requerirían en total 36 lámparas de cada especificación para cubrir las paredes interiores y la puerta.

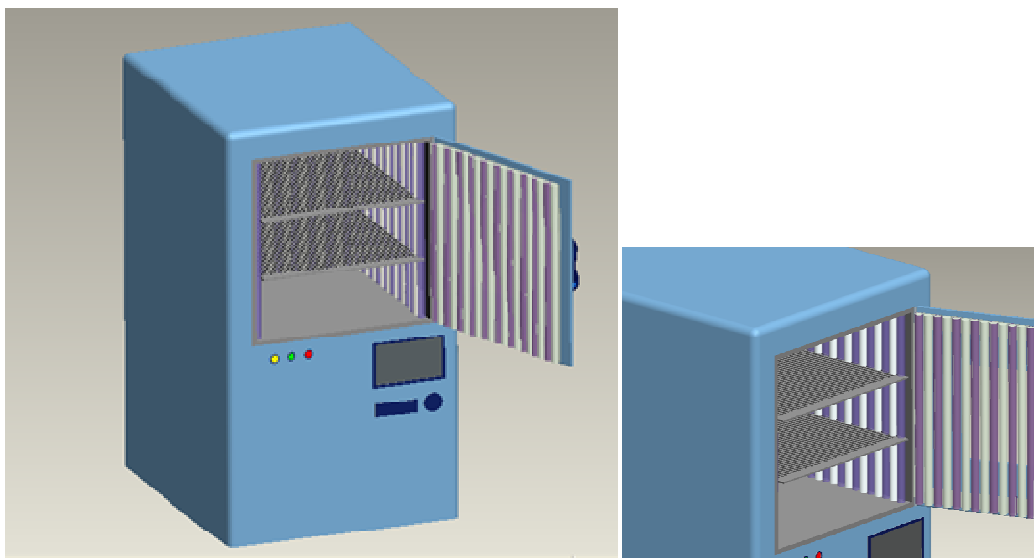


Figura .
a) Modelación 3D, Propuesta Lámparas Fluorescentes UV-Vis b)Detalle Propuesta

Con la intención de poder hacer una comparación de la distribución de la intensidad en la cámara obtenida con cada uno de los diseños anteriores, se realizó una simulación numérica con los software MATLAB®, un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo, con un lenguaje de programación propio y tradicional, y MAPLE™, un programa matemático capaz de realizar cálculos simbólicos, algebraicos y de álgebra computacional.

Para la distribución de intensidades alrededor de las paredes de la cámara, se tiene entonces el siguiente esquema en el plano cartesiano donde el eje Z estará representado por la distribución espacial de intensidades las paredes de la cámara se supone infinitas y que emiten de manera homogénea.

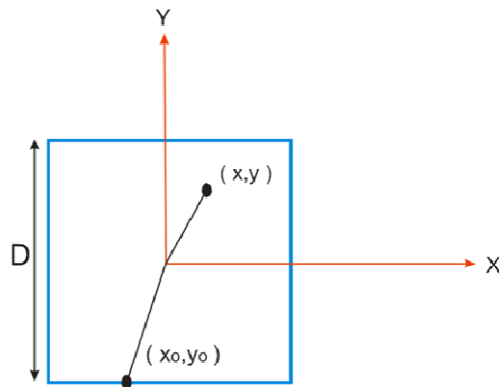


Figura . Esquema de referencia, distribución de lámparas en cuadrado

Se tiene una distribución en un cuadrado de lado D , con centro en $(0,0)$. Las fuentes de luz, para efectos de este cálculo, se disponen de modo continuo sobre las paredes de este cuadrado. Se asume entonces que la potencia por unidad de longitud I_0 sobre los bordes del cuadrado es constante y que la contribución de cada segmento infinitesimal de longitud dr localizado en (x_0, y_0) , sobre el cuadrado, depende únicamente de la longitud de este segmento y la distancia r que hay entre éste y el punto P de coordenadas (x, y) que es el punto en el cual se evalúa la intensidad luminosa. Con base en estos supuestos, al considerar todas las contribuciones provenientes de los distintos lugares del cuadrado que contiene las fuentes de luz, la intensidad en P puede calcularse mediante la ecuación (.).

$$I_{T_0} = \int \frac{I_0}{r^2} dr \quad (.)$$

En la ecuación (.), se reemplaza entonces las variables en función de x y y , como se muestra a continuación en la ecuación (..)

$$r^2 = (y - y_0)^2 + (x - x_0)^2 \quad (..)$$

Se reemplaza la ecuación (..) en la ecuación (.) para tener entonces, la siguiente ecuación, suponiendo la $I_0 = 1$, para facilidad de los cálculos.

Experimentos y diseño

$$I_{T_o} = \int \frac{1}{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2} dx + \int \frac{1}{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2} dy \quad (.)$$

En la ecuación (.), tenemos la integral de cada una de las lámparas colocadas sobre cada uno de los lados, por lo que se integra, con respecto a x y y .

Al resolver las integrales, se obtiene la siguiente ecuación.

$$I_{T_o} = \frac{\arctan\left(\frac{x-x_0}{y-y_0}\right)}{y - y_0} + \frac{\arctan\left(\frac{y-y_0}{x-x_0}\right)}{x - x_0} \quad (.)$$

Al evaluar la ecuación (.) deben tenerse en cuenta las condiciones de frontera que se establecieron según la Figura .. Como se saben entonces las dimensiones de la cámara, se tiene un lado de 60mm, es decir, 0.6 m. Así que entonces se evalúan por cada una de las integrales 4 términos resultantes, cada x_0 , y $y_0 = -0,3$ y $0,3$, según la posición del cuadrante en la que se encuentre.

$$I = -\frac{\arctan\left(\frac{x-0.3}{y-0.3}\right)}{y-0.3} - \frac{\arctan\left(\frac{y-0.3}{x-0.3}\right)}{x-0.3} + \frac{\arctan\left(\frac{x+0.3}{y+0.3}\right)}{y+0.3} + \frac{\arctan\left(\frac{y+0.3}{x+0.3}\right)}{x+0.3} \quad (.)$$

$$+ \frac{\arctan\left(\frac{x+0.3}{y-0.3}\right)}{y-0.3} - \frac{\arctan\left(\frac{y-0.3}{x+0.3}\right)}{x+0.3} - \frac{\arctan\left(\frac{x-0.3}{y+0.3}\right)}{y+0.3} + \frac{\arctan\left(\frac{y+0.3}{x-0.3}\right)}{x-0.3}$$

Ahora cuando se grafica, la ecuación (.), respecto a x , y . Se obtiene una gráfica como la que se muestra en la Figura ..

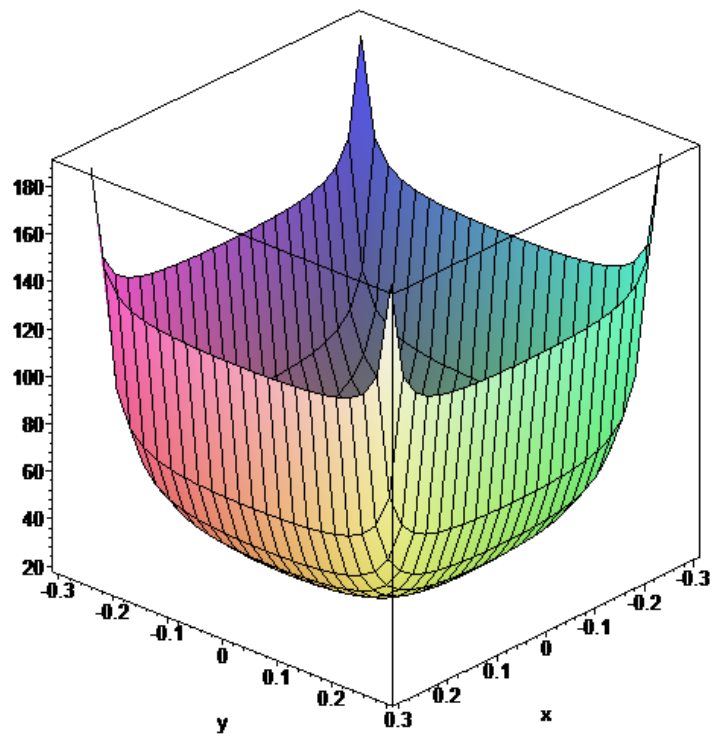


Figura . Distribución de intensidades para la cámara con iluminación UV-Visible en las paredes

Donde la intensidad está dada en W/m^2 , y las variables x y y están en m .

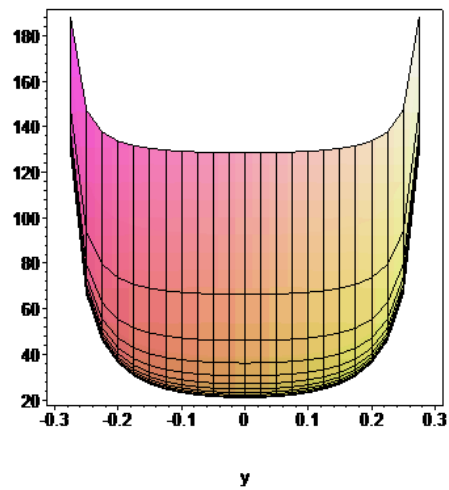


Figura . Detalle de la distribución de intensidades

b) Simulación para fuentes distribuidas sobre la superficie de un cilindro

Ahora para la siguiente disposición de las fuentes de luz sobre un cilindro, se realiza un procedimiento análogo. La modelación que se muestra en la Figura . es la distribución cilíndrica de fuentes fluorescente de luz intercaladas entre visible y UV, esto para poder asegurar mayor homogeneidad en la distribución de ambas intensidades.

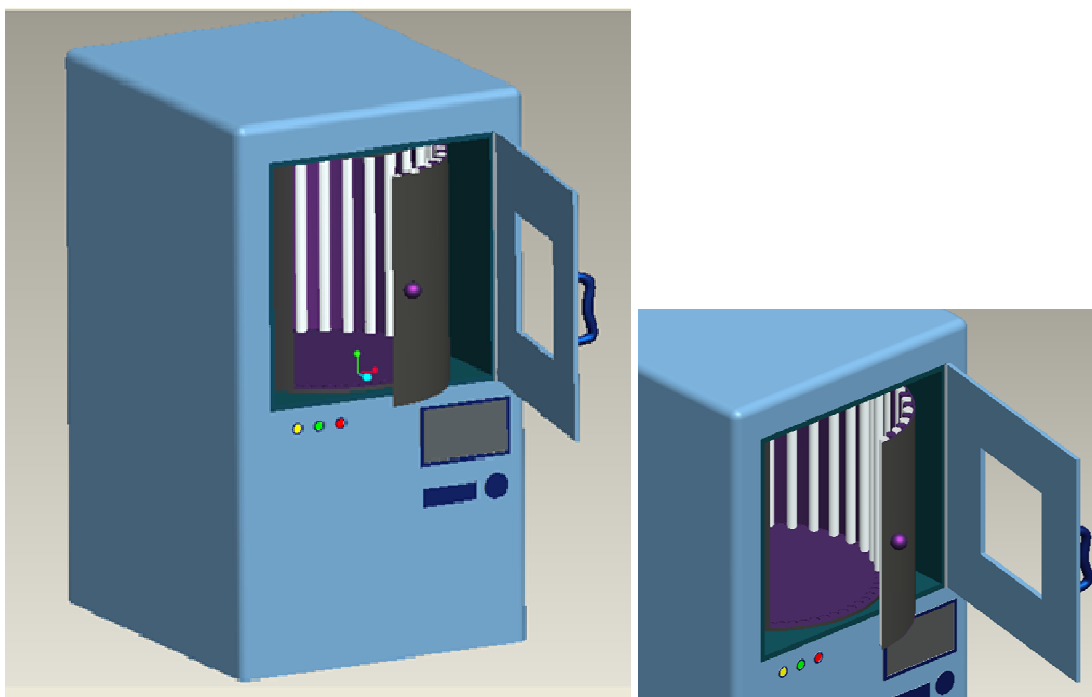


Figura .
Modelación 3D, Propuesta cilíndrica Lámparas Fluorescentes UV-Vis b)Detalle Propuesta

En total serian necesarias 40 lámparas (20 UV, 20 Visible), que se distribuyen en la superficie interna de un cilindro, este debe tener un recubrimiento especial que sea altamente reflectivo, como el aluminio.

La modelación numérica de este tipo de distribuciones, se debe hacer en coordenadas cilíndricas, y así se facilita mucho los cálculos. En la Figura . , se ve el sistema de referencia que se usó para la simulación.

Experimentos y diseño

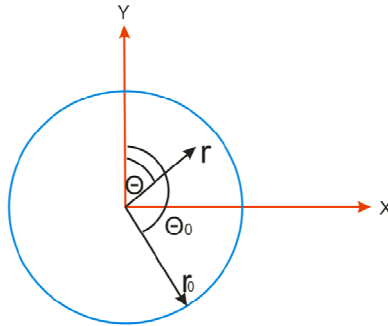


Figura . Esquema de referencia, distribución de lámparas en cilindro

Se sabe que la distribución de intensidades iniciales, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, como se muestra en la (.), en este caso, es el cuadrado de la diferencias de los radios.

$$I_{T_o} = \int \frac{I_0}{r_0^2 + r^2 - 2r_0r \cos(\theta - \theta_0)} d\theta \quad (.)$$

La integral de la distribución de intensidades se realiza solamente en función del ángulo θ , ya que si se integrara en r , no se podría evaluar luego en función de θ

$$I_{T_o} = - \frac{2I_0 \arctan \left(\frac{(r_0^2 + r^2 + 2r_0r) \tan(\frac{\theta_0}{2} - \frac{\theta}{2})}{\sqrt{(r_0^2 + r^2 - 2r_0r)(r_0^2 - r^2 + 2r_0r)}} \right)}{\sqrt{(r_0^2 + r^2 - 2r_0r)(r_0^2 + r^2 + 2r_0r)}} \quad (.)$$

En la ecuación (.), se reemplaza entonces, $I_0=1w/m^2$, $r_0=0.3m$, $\theta_0=2\pi$

La ecuación (.) por ser tangente, presenta una discontinuidad cuando θ es reemplazado por cero.

$$I_{T_o} = - \frac{2 \arctan \left[\frac{(0.09 + r^2 + 0.6r) \tan(\frac{\theta}{2})}{\sqrt{(0.09 + r^2 - 0.6r)(0.09 + r^2 + 0.6r)}} \right]}{\sqrt{(0.09 + r^2 - 0.6r)(0.09 + r^2 + 0.6r)}} \quad (.)$$

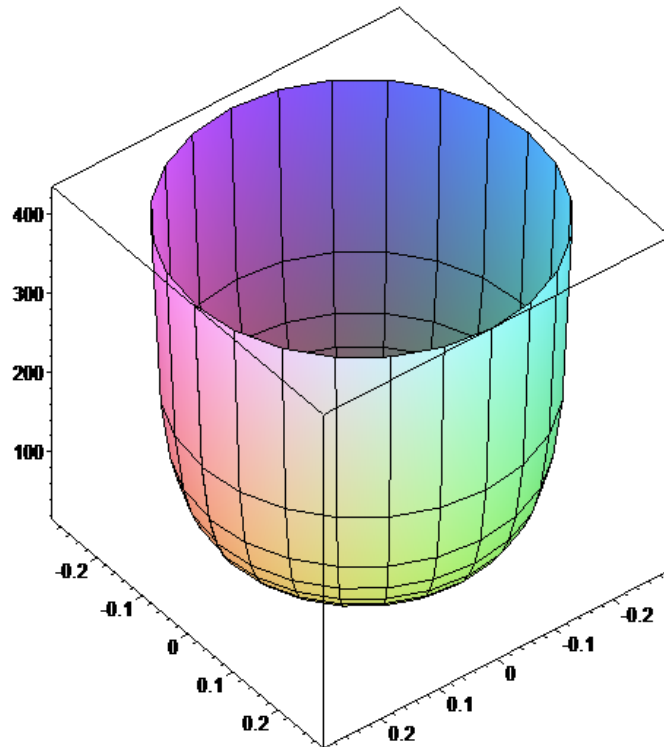


Imagen . Distribución de intensidades para la cámara con iluminación UV-Visible sobre un cilindro

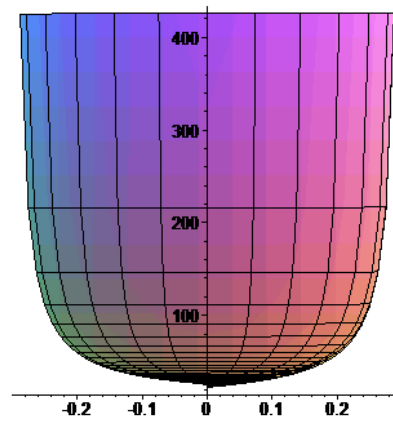


Figura . Detalle de distribución de intensidades cilíndricas

Donde la intensidad está dada en W/m^2 , y las variables x y y están en m .

Comparando las dos configuraciones presentadas se puede decir que la distribución circular es mas optima debido a que utiliza menos lámparas y la

distribución de intensidades alcanza una intensidad mayor, de casi el doble de la alcanzada en la disposición dentro de las paredes de la cámara. Sin embargo el área que cubre la disposición cilíndrica es menor.

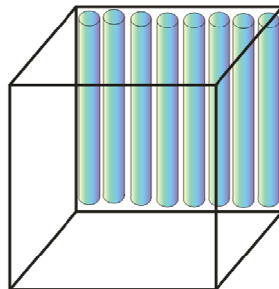
3.2.3 Distribución de Lámparas Fluorescentes D65 en las paredes interiores de la cámara.

Una de las fuentes que se investigaron anteriormente, tiene una salida espectral que cumple con el estándar D65.

La distribución de estas lámparas, dentro de la cámara, es igual a la que se propuso para las lámparas fluorescentes, Cool White y BlackLight. Las lámparas estarán distribuidas por todas las paredes interiores de la cámara, como se muestra en la Figura ..

Esta distribución se escogió de esta manera debido a las facilidades de ensamblaje de esta distribución.

Figura . Esquema de distribución lámparas D65



La potencia de salida de una lámpara de estas se distribuye de acuerdo a la intensidad en cada región del espectro. Para la exposición de materiales a la radiación visible y ultravioleta, deben calcularse por aparte.

Entonces si se sabe que la potencia de salida es aproximadamente 20W. Hay que hacer una correlación necesaria para saber qué tiempos de exposición se requieren. Si se aproxima entonces el estándar D65 a la curva, se puede suponer que la cantidad de radiación ultravioleta es el 27% de toda la radiación. Entonces la potencia radiométrica es de 5,4 W, y la potencia del visible es 14,6 W

Estos 14,6 W, deben ser convertidos a unidades fotométricas. Se calcula con la aproximación del pico más alto del a curva en el rango visible. Según la grafica, el

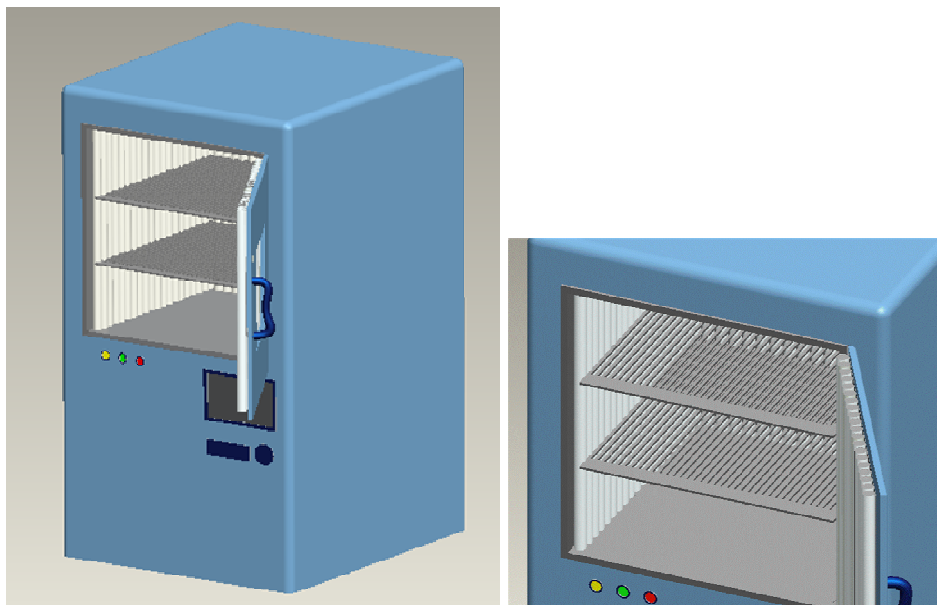
Experimentos y diseño

pico esta en 450 y el espectro del estándar D65 también presenta un pico en esta longitud de onda. Según la tabla de conversiones de medidas fotométricas a medidas radiométricas, la relación lumen-Watt, está definida como se muestra en la (.. Por lo que 14,6 W a una longitud de onda de 450 nm equivalen a 379 lumens.

$$1W@450nm = 25,9lumens \quad (.)$$

Debido a que la salida espectral de la lámpara tiene componentes ultravioletas, estas deberán ser filtradas en algún momento, ya sea que la prueba que se quiere realizar sea solamente en el rango visible o para evitar alguna sobreexposición de las muestras a la radiación. Para esto podría ser útil un filtro retráctil, ya sea un material flexible que deslice fácilmente y pueda bloquear la radiación UV de las lámparas, o un filtro más rígido que sea retráctil o pueda posicionarse manualmente.

La modelación en 3D, que se muestra en la Figura ., presenta una propuesta de un prototipo que cumple con las especificaciones de dimensiones, las lámparas fueron distribuidas según su tamaño, para que se acomoden a las medidas del interior de la cámara.



a) Propuesta lámparas Fluorescentes D65

Figura .

b) Detalle Propuesta lámparas Fluorescentes D65

Estos tubos Fluorescentes D65, miden aproximadamente 60 cm, y tienen un diámetro de 2,54 cm. En total se pueden distribuir 76 lámparas de este tipo, teniendo en cuenta que en la puerta también deben distribuirse lámparas.

3.2.4 Distribucion de LED's en las paredes internas

Como se ha discutido anteriormente, los LED's, son una tecnología muy prometedora, versátil, económica, fácil de usar y eficiente. En este modelo se propone una cámara en la cual, sus paredes interiores estén cubiertas por LED's. como se muestra en la Figura .

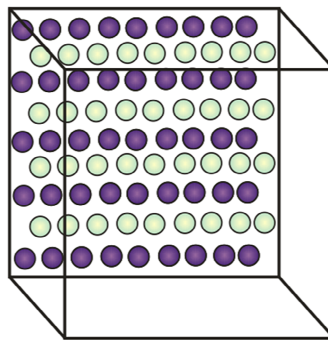


Figura . Esquema de distribución de LED's

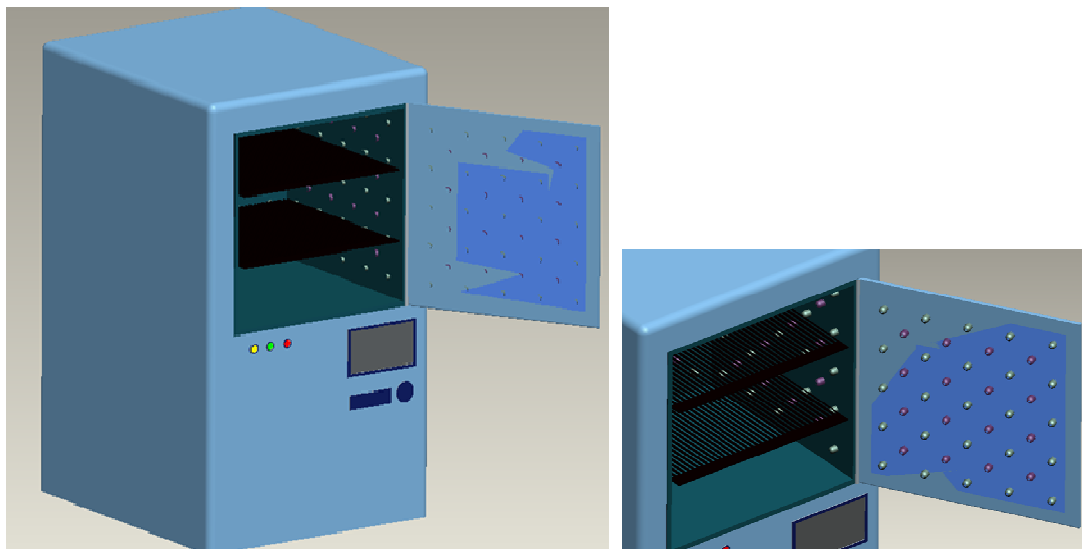
Este modelo, utiliza tecnología de LED's, pero de manera que se puedan integrar diferentes tipos de LED's, y así poder obtener una salida completa, que haga la cámara más versátil y permita cumplir diferentes estándares, con capacidad de iluminar con un espectro visible similar al sol o con una salida ultravioleta adicional. Como los LED's comúnmente tiene una salida espectral muy definida, pues debe considerarse un conjunto de varios LED's, principalmente para poder cubrir todo el rango ultravioleta y visible.

La región del visible puede ser producida por un LED tipo Cool White, que genera una salida espectral muy similar a la lámpara Fluorescente Cool White, pero el espectro no presenta tantas líneas de emisión, si no que es más continuo. Esto permite que se cubra mucho mejor la región del visible.

Ahora, para la región ultravioleta, si se hace necesario un conjunto o arreglo de diferentes clases de LED's, ya que los LED's ultravioleta que comercialmente se consiguen, tiene un ancho de banda espectral muy delgado. Si se quiere tener un espectro aproximadamente uniforme en el rango ultravioleta, debe hacerse una

Experimentos y diseño

sobreexposición de LED's que tenga una salida diferente, por ejemplo, podrían buscarse LED's que emitan en 300, 310, 320, y así sucesivamente cada 10 nm (el ancho de banda es de aproximadamente 10nm), hasta antes de sobrepasar al visible en los 400nm.



a) Propuesta LED's

Figura .

b) Detalle Propuesta LED's

En la modelación 3D que se ve en la Figura ., se ve que los LED's deben ir distribuidos de manera que la intensidad sea lo más homogénea posible por todo el volumen. Además se deben combinar y procurar que los LED's con la misma salida espectral no queden muy seguidos, para así combinar mejor la radiación total.

En la Figura ., se ve una modelación 3D, de un capsula pequeña que en su interior puede almacenar la muestra irradiándola con LED's que se encuentran distribuidos por toda su superficie interior.

El control de los LED's debe hacerse de manera independiente para los que conformen la región ultravioleta y la región visible, esto porque así se hace más versátil su aplicación en diferentes tipos de pruebas que requieran condiciones especiales de iluminación.

3.2.5 Propuesta de sistemas encapsulados

Por medio de los LED's puede ofrecerse otro tipo de diseño para las pruebas de fotoestabilidad. El sistema de iluminación, no sería una componente más de la cámara misma, si no que vendría siendo un accesorio. Esto se logra por medio de modelos de sistemas pequeños de iluminación encapsulados, que permiten hacer un proceso más controlado y a menor escala.

En la Figura ., se ve una modelación 3D, de un capsula pequeña que en su interior puede almacenar la muestra irradiándola con LED's que se encuentran distribuidos por toda su superficie interior.

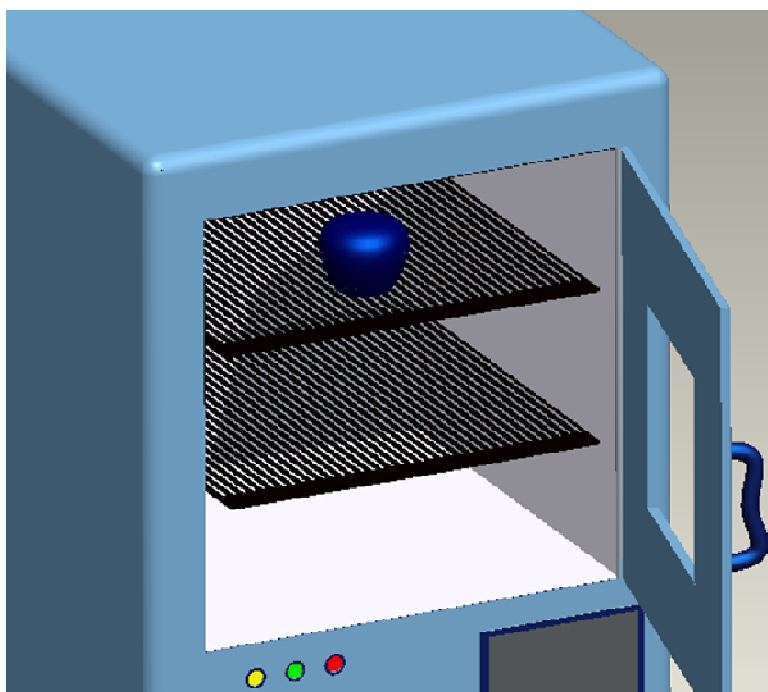


Figura . Propuesta Encapsulado

Este tipo de distribución haría mucho más conveniente la prueba de fotoestabilidad para productos pequeños y con la ventaja de que no es necesario cubrir una área tan grande de iluminación, de manera que toda la luz, puede enfocarse más fácilmente sobre una superficie. De este modo se reducirían también los tiempos de exposición y existirían más opciones de control de intensidad a diferentes niveles en diferentes encapsulados.

CONCLUSIONES

La radiación solar es importante para toda la vida del planeta tierra. Influye en muchos aspectos desde proveer iluminación y calor, hasta determinar condiciones de fabricación de muchos productos. La simulación solar es un proceso técnico que requiere de mucho cuidado, sobre todo cuando se trata de satisfacer los estándares y normas que regulan las pruebas de fotoestabilidad.

El mercado de cámaras climáticas para fotoestabilidad presenta una gran variedad de diseños que se ofrecen para diferentes pruebas de tipos muy variados como por ejemplo para textiles, cosméticos, partes de automóviles, fármacos, alimentos, empaques entre muchos otros.

Las normas y estándares que regulan las pruebas de fotoestabilidad presentan muchas diferencias tales como, tamaños de las cámaras de prueba, tipos de materiales y productos a ser estudiados, fuentes de iluminación, técnicas de sensado, rango de radiación electromagnética que usan, tiempos de exposición. Debido a todas estas variables, las cámaras climáticas no pueden abarcar todo el mercado con un solo diseño. Pueden enfocarse solo a una clase de pruebas o buscar ser flexibles y permitir versatilidad y practicidad en su diseño para poder abarcar mas mercado.

Las fuentes artificiales de radiación solar pueden ser implementadas por medio de diversos sistemas de iluminación. No hay una solución única que satisfaga todos los requerimientos que un sistema de simulación solar pueda requerir. Las fuentes de iluminación estudiados en este trabajo, presentan características que pueden asemejarse a la radiación solar en muchos aspectos, como su salida espectral, la potencia promedio recibida, entre otros.

Los diferentes tipos de fuentes de iluminación bajo condiciones específicas pueden cumplir con los rangos de potencia y salida espectral que son requeridos por alguno o algunos de los estándares, para poder ser usados como fuentes artificiales de luz solar.

Las técnicas de sensado que comúnmente se usan para este tipo de cámaras son siempre las mismas, sensores radiométricos y fotométricos. Sin embargo pueden usarse otros métodos que son comunes para medir la radiación solar directamente. Estos sistemas son usados en algunas ocasiones con aplicaciones meteorológicas, como lo es el piranómetro.

Para caracterizar energética y espectralmente algunas fuentes seleccionadas, se realizaron montajes experimentales en los cuales se obtuvieron resultados de la salida espectral y potencia de cada una de las fuentes. Los resultados del espectro de emisión de las lámparas siempre estuvieron acorde con los especificados en las hojas técnicas. Los datos de potencia de las lámparas no coincidieron con los presentados en las hojas técnicas, debido a que las lámparas radian en todas direcciones y el sensor sólo capta la radiación que llega perpendicularmente, lo que genera errores en las medidas. La medida de potencia del LED, que podría decirse que es una fuente puntual que radia en una sola dirección, estuvo entre el intervalo adecuado que se especificaba en la hoja técnica.

El diseño la disposición de la cámara xenón en el centro, es el más utilizado en los estándares, ya que por muchos años se ha venido trabajando con este tipo de tecnología. Sin embargo puede tener puntos en contra, ya que estas lámparas emiten gran cantidad de radiación en el infrarrojo, por lo que debe diseñarse un sistema externo de refrigeración solamente para la lámpara.

Si se deseara realizar la cámara climática con fuentes de iluminación fluorescentes, ya sean UV-Vis, o D65, es más conveniente usar una disposición cilíndrica de las fuentes, alrededor de las muestras, debido a que de esta manera la intensidad es más homogénea, tiene menos pérdidas en las esquinas, y se usa una menor cantidad de lámparas.

Después de realizar una buena búsqueda dentro del mercado de las cámaras climáticas, se observó que a pesar de que la tecnología de LED's esta renovando todas las aplicaciones de iluminación, no se encuentran cámaras que implemente LED's como fuente de iluminación. Del mismo modo, se plantea que una fuente de luz basada en tecnología LED's, podría ser conveniente por muchas razones. Es un sistema muy eficaz, que convierte la energía eléctrica en radiación y no tiene

grandes pérdidas por calor, lo cual reduce costos en el sistema de refrigeración, es una tecnología poco costosa, más duradera y de menor tamaño que cualquier otra fuente de luz,

Un aspecto importante de los LED's, es que permiten regular su intensidad de acuerdo al consumo de voltaje. Esto es útil, para cuando se requiera hacer una aproximación del espectro de radiación de la luz solar, porque pueden acomodarse de acuerdo a la intensidad en cada longitud de onda o en cada ancho de banda de un LED en especial.

RECOMENDACIONES

Este proyecto solo se dedicó a realizar un estudio de los diferentes sistemas de iluminación posibles para una cámara climática que realiza pruebas de fotoestabilidad. El siguiente paso, sería realizar prototipos de los diseños planteados, pequeños, fáciles de ensamblar y que permitan medir experimentalmente la distribución de intensidades, y la cantidad de radiación. También es importante poder verificar si los espectros de emisión total de las fuentes de luz corresponde cercanamente al los espectros estándar para la simulación solar y validar el consumo de potencia de cada sistema ya establecido.

Para trabajos futuros, puede ser una buena opción hacer un estudio más profundo de la tecnología de LED's, pues es una tecnología prometedora. Una buena implementación de un arreglo de LED's que sea usado para la simulación solar, es posible de realizar con algunos ensayos de diferentes LED's que emitan en el rango visible y ultravioleta. Este montaje podría abarcar un área de exposición dinámica, ya que los LED's emiten de forma muy direccionada. Además existen muchas otras ventajas, como el bajo costo de los LED's, su tamaño reducido que permite realizar sistemas portables, su alta eficiencia y su bajo consumo de potencias. Todas estas características hacen que la tecnología de LED's sea optima para este tipo de aplicaciones. Sin embargo debe tenerse en cuenta que como es una idea novedosa, debe obtenerse un método estandarizado que avale su implementación.

Ya sea cualquiera de los diseños propuesto el que desee implementarse, puede ser conveniente realizar un estudio de cómo las componente auxiliares, como espejos, lentes, superficies reflectivas, u otros, permitan homogenizar la radiación dentro de la cámara. Este estudio puede abarcarse de manera experimental o realizando una simulación con softwares especializados en diseño óptico.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Roura, Alberto.** Las ondas electromagnéticas. [En línea] 02 de Enero de 2007. [Citado el: 18 de 03 de 2009.] http://www.albertoroura.com/peich.php?ondas_electromagneticas.
2. **CAMPBELL, JORGE RICKARDS.** *LAS RADIACIONES: RETO Y REALIDADES.* México, D.F. : FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, 1997.
3. **Malacara, Daniel.** *Óptica Básica.* México D.F. : Fondo de Cultura Económica, 2004.
4. **Light Emitting Diodes.** Planckian sources and color temperature. [En línea] [Citado el: 15 de 03 de 2009.] <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap18/chap18.htm>.
5. **PASCO.** Instruction Sheet UVA LIGHT SENSOR. [En línea] [Citado el: 2 de 04 de 2009.] <ftp://ftp.pasco.com/Support/Documents/English/CI/CI-9784/012-07185A.pdf>.
6. **NASA.** World Book at NASA THE SUN. [En línea] [Citado el: 09 de 04 de 2009.] http://www.nasa.gov/worldbook/sun_worldbook.html.
7. **Martinel Benito, Julio.** *Los prometeos modernos o el Esfuerzo para controlar la fusión nuclear.* Mexico D.F. : FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, 1995.
8. **Corporation, Newport.** Newport Light Sources - Solar Simulators. [En línea] [Citado el: 25 de 02 de 2009.] <http://www.newport.com/Solar-Simulators/372447/1033/catalog.aspx>.
9. **Photo Emission Tech., Inc. .** Solar Simulation Systems. [En línea] [Citado el: 15 de 03 de 2009.] <http://www.photoemission.com/Products/SolarSimulationSystems/SolarSimulationSystems.html>.
10. **Delta.** *The CIE definition of correlated color temperature.* Hørsholm : Delta icam, 2002.
11. **INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION.** IE Standard Illuminant D65 relative spectral power distribution. [En línea] 15 de 02 de 2001. [Citado el: 27 de 03 de 2009.] http://www.cie.co.at/publ/abst/datatables15_2004/sid65.txt.
12. **Boscarol, Mauro.** Iluminantes estándares CIE. [En línea] 18 de 10 de 2007. [Citado el: 29 de 03 de 2009.] http://www.gusgsm.com/iluminantes_estandares_cie.

13. **Schorsch**. Lighting Design Glossary. [En línea] [Citado el: 27 de 03 de 2009.] <http://www.schorsch.com/kbase/glossary/cct.html>.
14. **Schanda, Janos**. *Colorimetry, Understanding the CIE System*. Hungary : University of Pannonia, 2007.
15. **Harper, Gilberto Enríquez**. *El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión* . Mexico D.F. : Editorial Limusa, 2006.
16. **Chen, Francis F**. *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion: Plasma physics*. New York : Springer, 1984.
17. **LampTech**. MBI - Ceramic Style. [En línea] 15 de 02 de 2006. [Citado el: 21 de 03 de 2009.] <http://www.lamptech.co.uk/MBI%20Ceramic.htm>.
18. **Edison, Thomas**. 865367 U.S. Patent, 1907.
19. *Simulated D65 sources - Advantages of Daylight Fluorescent Technology* . **GTI Graphic Technology, Inc**. 2001, Technical and Applications Information on the Products of GTI, págs. 1-2.
20. **Venture Lighting**. The Metal Halide Advantage. [En línea] [Citado el: 14 de 03 de 2009.] <http://www.venturelighting.com/TechCenter/Metal-Halide-TechIntro.html>.
21. **LampTech**. MBI Metal Halide - Quartz Style. [En línea] 02 de 07 de 2006. [Citado el: 16 de 03 de 2009.] <http://www.lamptech.co.uk/MBI%20Quartz.htm>.
22. **Harris, Tom**. How Light Emitting Diodes Work. *How Stuff Works*. [En línea] [Citado el: 30 de 03 de 2009.] <http://www.howstuffworks.com/led.htm>.
23. **CYBERLUX**. The Cyberlux Difference. [En línea] [Citado el: 01 de 04 de 2009.] <http://www.cyberlux.com/list.php>.
24. **CHEMICAL ACTINOMETRY. (IUPAC), INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY**. 2004, Pure and Applied Chemistry , Technical Report, págs. 2105-2146.
25. *USING PHOTOSTABILITY TESTING CHAMBERS TO MEET THE REQUIREMENTS OF DRUG TESTING IN ACCORDANCE WITH ICH Q1B*. **Dotterer, Bob**. 2009, Applications Engineer Caron Products & Services, Inc., Marietta, Ohio.
26. **Palmer, James M**. Radiometry and photometry. [En línea] 08 de July de 1999. [Citado el: 20 de 03 de 2009.] <http://www.optics.arizona.edu/Palmer/rpfaq/rpfaq.htm>.
27. **Tecnología del PC**. Cuantificar la luz. [En línea] [Citado el: 02 de 04 de 2009.] http://zator.com/Hardware/H9_1_1.htm.

28. **Ryer, Alex.** *The Light Measurement Handbook*. Newburyport, MA USA : International Light, 2002.
29. **O'shea, Donald C.** *Elements of Modern Optical Design*. New York : Wiley-Interscience Pblucation, 1985.
30. **Aden B. Meinel.** *Aplicaciones de la Energía Solar*. Barcelona : Reverte, 1982.
31. **Plana, Manel Ibáñez.** *Tecnología solar*. Madrid : Mundi-Prensa Libros, 2005.
32. **CCI.** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 20 de 02 de 2009.] <http://www.cci-calidad.com/camara11.htm>.
33. **QumiNet.com.** ¿Cual es la importancia de la fotoestabilidad en productos y sustancias qumicas? [En línea] [Citado el: 05 de 02 de 2009.] http://www.quiminet.com/ar5/ar_%2594%25ADD%25AC%259F%25A11%25C4.htm.
34. **International Light Technologies.** Photostability Light Measurement Systems. [En línea] [Citado el: 24 de 03 de 2009.] <http://www.intl-lighttech.com/applications/photostability/>.
35. **SOLAR Light Company Inc.** Productos. [En línea] [Citado el: 9 de 03 de 2009.] <http://www.solarlight.com/products/pma4100.html>.
36. **Newport Corporation.** Oriel Reference Solar Cell and Meter. [En línea] 2008. [Citado el: 12 de 04 de 2009.] <http://www.newport.com/Oriel-Reference-Solar-Cell-and-Meter/545467/1033/catalog.aspx>.
37. **PASCO.** UVA Light Sensor CI-9784. [En línea] [Citado el: 11 de 04 de 2009.] http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product_ID=1470&groupID=356&Detail=1.
38. **Harris, Tom.** How Fluorescent Lamps Work. [En línea] [Citado el: 18 de 04 de 2009.] <http://home.howstuffworks.com/fluorescent-lamp.htm/printable>.
39. **LUXTEL.** Simply a Better Lamp. [En línea] [Citado el: 16 de 04 de 2009.] <http://www.luxtel.net/ceralux-ceramic-xenon-lamps/>.
40. **Heraeus.** Lámparas de pre-impresión. [En línea] [Citado el: 19 de 04 de 2009.] <http://www.heraeus-noblelight.com/es/uv-curing-exposure/lamparas-uv/lamparas-de-haluro-metalico/lamparas-de-pre-impresion.html>.
41. **International Conference on Harmonisation.** *Q1B Photostability Testting of New Drug Substances and Products*. Rockville,MD : s.n., 1996. ICH-Q1B.
42. **American Association of Textile Chemists and Colorists.** *Colorfastness to Light*. Philadelphia,PA : AACTT, 1990. AATCC 16-1990.

43. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas.** *Materiales textiles teñidos a coloreados. Metodo de la lampara de Arco Xenon para determinar la solidez del color a la luz.* Bogota, Colombia : ICONTEC, 1984. 1479, CDU:677.84.
44. **Society of Automotive Engineers .** *ACCELERATED EXPOSURE OF AUTOMOTIVE INTERIOR TRIM COMPONENTS USING A CONTROLLED IRRADIANCE WATER COOLED XENÓN-ARC APPARATUS.* North Carolina : SAE, 1992. SAE J1885 MAR92.
45. **International Organization for Standardization.** *METHODS FOR MEASURING IMAGE STABILITY: PROCESSED PHOTOGRAPHIC COLOUR FILMS AND PAPER PRINT.* Switzerland : ISO, 2006. ISO 18909:2006.
46. **Dycometal.** Pagina web principal de la compañía Dycometal. [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] <http://www.dycometal.com/presentacion.htm>.
47. **CCI.** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 20 de 02 de 2009.] <http://www.cci-calidad.com/camara11.htm>.
48. **Binder.** [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] <http://www.binder-world.com/eu/es/produkte/konstantklimaschraenke-serie-kbf-ich.cfm>.
49. **Caron Inc.** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 28 de 02 de 2009.] <http://www.caronproducts.com/54/prodcat/Photo>.
50. **Weiss Umwelttechnik GmbH.** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] http://www.wut.com/en/schunk01.c.11659.de/all_wvproductsarticle.
51. **Q-LAB.** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] http://www.q-lab.com/Q-Sun_Models.html.
52. **Bahnson Enviromental Specialties.** Pagina Principal . [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] http://www.luwaes.com/walkin_stability.htm.
53. **ATLAS .** Pagina Principal. [En línea] [Citado el: 18 de 02 de 2009.] http://www.atlas-mts.com/en/products/laboratory_weathering_testing/index.shtml?sessionid=d768ac99da6581315ef73e180f5a9c550.
54. **donsbulbs.com.** Fluorescent light bulb lamp. [En línea] [Citado el: 17 de 04 de 2009.] <http://www.donsbulbs.com/cgi-bin/r/b.pl/f|6inch|t5|g5|4w|blb.html>.
55. **Zeiss.** Education in Microscopy and Digital Imaging. *Introduction.* [En línea] [Citado el: 18 de 04 de 2009.] Education in Microscopy and Digital Imaging.
56. **PHYWE.** Products : Physics of the Electron. *Planck's "quantum of action" from photoelectric effect .* [En línea] [Citado el: 29 de 03 de 2009.]

57. **HONLE.** UV – Technology. [En línea] 2004. [Citado el: 26 de 02 de 2009.] <http://www.hoenle.de/en/>.
58. **Freeman, Michael Harold.** *Optics*. s.l. : Elsevier Health Sciences, 2003.
59. **RP Imagin** . [En línea] [Citado el: 10 de 03 de 2009.] <http://www.rpimaging.com/store/PID666>.
60. **Flesch, Peter.** *Light and light sources* . New York : Springer, 2006.

ANEXOS

ANEXO A

**ESTÁNDAR ICH-Q1B
PRUEBA DE FOTOESTABILIDAD PARA NUEVAS DROGAS, SUSTANCIAS Y
PRODUCTOS MEDICOS**

ANEXO B

**ESTÁNDAR AATCC “TEST METHOD 16-1990”
COLORFASTNESS TO LIGHT**

ANEXO C

NORMA ICONTEC 1479 CDU: 677.84

**MATERIALES TEXTILES TEÑIDOS O COLOREADOS. METODO DE LA
LAMPARA DE ARCO XENON PARA DETERMINAR LA SOLIDEZ DEL COLOR
A LA LUZ**

ANEXO D

**ESTÁNDAR SAE-J1885 MAR92
ACCELERATED EXPOSURE OF AUTOMOTIVE INTERIOR TRIM
COMPONENTS USING A CONTROLLED IRRADIANCE WATER COOLED
XENON-ARC APPARATUS**

ANEXO E

ESTÁNDAR ISO 18909:2006
METHODS FOR MEASURING IMAGE STABILITY: PROCESSED
PHOTOGRAPHIC COLOUR FILMS AND PAPER PRINT