



Universidad de Valparaíso  
Facultad de Odontología  
Escuela de Odontología  
Cátedra de Prótesis Fija

# Evaluación de la efectividad de tres sistemas de medición del color en coronas cerámicas Cerec®

Trabajo de investigación  
Requisito para optar al Título de  
Cirujano Dentista

Alumnos: Eduardo Rojas Pérez  
Álvaro Vilches Chang  
Juan Pablo Troncoso Geraldo

Docente Guía: Dr. Luís Miguel Silva Caroca

Valparaíso  
2006

## **Dedicatorias**

*A mis Padres Juan Guillermo Rojas y Maria Inés Pérez.  
A mis hermanas Angélica y Alejandra. Gracias por el apoyo y la paciencia.*

**Gracias Totales.  
Eduardo.**

*A mi madre por estar siempre a mi lado ayudándome y animándome a dar cada paso importante en mi vida. Sin ti no sería el hombre que me gusta ser...  
A mi tío Omar por quererme como hijo hasta la muerte, y ahora seguirme queriendo y cuidando desde las alturas.  
A mi familia por enorgullecerme de ser un miembro de ella.  
Por que lo más importante en la vida es la familia.*

**Los Quiero...  
Juan Pablo.**

*A mis padres, Antonio y Mirtha, por siempre creer en mí y acompañarme, a pesar de las distancias, durante este importante periodo de mi vida.  
A mis hermanos, Rodrigo y Rocío, por su amor.  
A mi familia, por ser como son.*

**Los amo.  
Alvaro.**

## **Agradecimientos:**

A nuestro docente guía Dr. Luís Miguel Silva Caroca, por su disposición, guía y confianza en la realización de este proyecto.

A don Leopoldo Rodríguez del Departamento de Óptica de la Universidad Católica de Valparaíso por guiarnos y ayudarnos desinteresadamente en la teoría del color y los muestreos de este estudio.

A los Dres. Gonzalo Ibarrola, Mauricio Guardiola y Mauricio Vivanco por su disposición para realizar las mediciones en este trabajo de investigación.

A don Víctor Venegas de Dental-Laval Stgo. Por auspiciarnos con los bloques cerámicos utilizados en la confección de los cuerpos de prueba.

A don Germán Kociuk de Sirona Siemens S.A. por facilitarnos las fresas del sistema Cerec® para la confección de los cuerpos de prueba.

A Dental-Laval Valparaíso por el préstamo del equipo Vita Easyshade®.

A don Rubén Román y su laboratorio LabRomán por facilitarnos el uso del sistema Cerec 3® y confeccionarnos las coronas cerámicas.

Al Dr. Alex Cisternas y al Dr. Jaime Sarmiento por facilitarnos la caja de iluminación utilizada en este seminario de tesis.

A los Dres. Erika Concha, Christian Huiriqueo y Heber Santibáñez por su preocupación, interés y ayuda en las diferentes etapas de este estudio.

A Neodent Ltda. por facilitar sus instalaciones para realizar las mediciones del presente trabajo.

A nuestros amigos por estar siempre cuando los hemos necesitado, contando con su apoyo incondicional, por sus consejos, por los momentos gratos y los no tan gratos, que han sido cruciales para formarnos como personas.

# Índice

I. Introducción .....	1
II. Marco Teórico .....	2
1. Color.....	2
1.1 Tipos de colores .....	5
1.2 Propiedades del color .....	6
1.2.1 Valor.....	6
1.2.2 Matiz.....	7
1.2.3 Saturación.....	7
1.2.4 Metamerismo.....	8
1.2.5 Luminiscencia .....	8
1.3 Sistemas de Colores .....	9
1.3.1 Sistema Munsell .....	9
1.3.2 Sistema RGB.....	10
1.3.3 Sistema CIE 1931.....	11
1.3.4 Sistema CIELab.....	11
1.4 Iluminantes estándar.....	13
1.5 Factores que determinan la percepción y selección del color .....	14
1.5.1 Factores relacionados con el observador.....	14
1.5.2 Factores relacionados con el objeto .....	15
1.5.3 Factores relacionados con el entorno .....	15
2. Colorimetría .....	15
2.1 Comparación visual del color.....	15
2.2 Guías de color.....	16
2.2.1 Vitapan Classical:.....	16
2.2.2 Vita 3D Master:.....	17
2.3 Toma de color: .....	18
2.3.1 Toma de color con guías de color Vita: .....	19
2.3.1.1 Vita Classical: .....	19
2.3.1.2 Vita 3D Master:.....	19
2.4 Comparación digital del color.....	20
2.4.1 Espectrómetro.....	20
2.4.2 Espectrofotómetro .....	20
2.4.3. Easyshade .....	21
2.4.3.1 Características técnicas .....	21
2.4.3.2 Calibración .....	22
2.4.3.3 Medición de dientes y materiales dentales.....	23
2.4.3.4 Fibras ópticas.....	24
2.4.3.5 Cálculo del Color y valores Tristimulus .....	26
2.4.4 Cámaras Digitales .....	27
2.4.4.1 Funcionamiento.....	27
3. Sistemas computacionales para la fabricación de restauraciones .....	29
3.1 Sistema cerc 3 .....	29

III. Objetivos .....	33
IV. Materiales y métodos .....	34
1. Diseño.....	34
2. Materiales .....	34
3. Procedimientos .....	35
V. Resultados .....	40
Objetivo 1 .....	40
Objetivo 2.....	46
Objetivo 3.....	48
Objetivo 4.....	49
Objetivo 5.....	49
VI. Discusión.....	51
VII. Conclusiones.....	55
VIII. Propuestas para nuevas investigaciones .....	56
IX. Resumen.....	57
X. Referencias Bibliográficas: .....	58
XI. Anexos .....	60

## I. Introducción

Los requerimientos estéticos solicitados por los pacientes son cada día más complejos y siempre han representado un desafío para el odontólogo. La forma, tamaño, color y posición del diente en la arcada son considerados básicos para lograr este objetivo. Dentro de estos requerimientos, el color de la rehabilitación representa uno de los puntos más valorados por los pacientes y por el rehabilitador, pues es determinante a la hora de definir a la restauración como un éxito o un fracaso.

Imitar a la naturaleza es una labor complicada, más aun cuando hemos de reconstruir coronas con materiales artificiales. La toma de color es un proceso de importancia fundamental, y representa un reto para el profesional, pues la percepción del color es inherente a cada ser humano. Nuestra capacidad de determinar los colores es propia para cada uno de nosotros y se ven influidos por nuestra fisiología, estado emocional, luz, medio ambiente, etc., definiéndolo como un proceso psicofísico.

Siendo tantos los factores que influyen en una correcta toma de color, no es de extrañar que se intente configurar un ideal estándar para la toma de color. La técnica visual análoga, mediante el uso de una guía de color ha sido siempre el método más utilizado por los clínicos. Los muestrarios y colorímetros creados por las empresas que desarrollan materiales de reconstrucción son muchos. En el presente trabajo intentaremos ahondar en los desarrollados por la empresa Vita® los cuales son los referentes más usados por los odontólogos y laboratoristas.

Hoy en día existen dispositivos electrónicos diseñados especialmente para este propósito y adaptados especialmente para la odontología, de manera de hacer más simple, rápido y objetivo el procedimiento de la toma de color. Hoy en día existen en el mercado varios sistemas con tecnología de punta, pero estos consecuentemente tienen un valor en ocasiones elevado para los clínicos en general. Es por esto que algunos estudios han propuestos el uso de cámaras digitales con el fin de hacer más accesible la tecnología disponible sin mermar en la objetividad de dicho sistema.

Por otra parte se sabe que en muchos casos se produce una diferencia de color perceptible al comparar la guía de color con una restauración metal cerámica ya terminada, a pesar de que el color elegido haya sido el correcto. La opacidad del metal sumado a los espesores irregulares y muchas veces insuficientes de la cerámica, impiden frecuentemente el logro de una restauración estéticamente exitosa. La aparición de sistemas cerámicos suficientemente resistentes ha reducido este problema y ha ido desplazando el uso de la técnica metal cerámica convencional, lográndose resultados cada vez más satisfactorios.

En esta ocasión compararemos la efectividad de la toma de color, para coronas cerámicas libres de metal confeccionadas a través del sistema Cerec 3®, mediante tres métodos: el método visual análogo, basado en la guía de color Vita 3D Master, un espectrofotocolorímetro desarrollado por la misma empresa, el Vita Easy Shade y un sistema fotográfico, basado en el trabajo de Jarad (2005), el cual utilizó una cámara fotográfica digital y el procesamiento computacional que se puede hacer de la imagen obtenida.

## II. Marco Teórico

### 1. Color

De todos nuestros sentidos, es el de la visión el que más colabora a que reconozcamos el medio que nos rodea. La naturaleza de la luz y la formación de los colores son fenómenos que han sido estudiados por cientos de años. Desde los tiempos de los griegos, Platón y Aristóteles ya se preocupaban por tratar de responder algunas de las interrogantes respecto al tema, el ¿por qué vemos un objeto?, ¿qué es luz?, ¿por qué de la formación de los colores? etc. Platón por ejemplo creía que eran nuestros ojos los que emiten partículas, las cuales al llegar a los objetos eran posibles de ver. Aristóteles consideraba a la luz como un material que fluía entre el ojo y el objeto en observación. Científicos modernos trataron de darle significado al sentido de la visión, la formación de las imágenes y la esencia del color. Así Newton, Huyghens, Young y Maxwell, trataron de modificar los conceptos conocidos generando nuevos conceptos que darían paso a las teorías que actualmente rigen a la física de la luz. (Alvarenga, y Máximo, 1981)

Podemos ver las cosas que nos rodean porque el planeta Tierra recibe luz del Sol. Esta luz no solo permite el desarrollo del fenómeno de la visión sino que además es fundamental pues hace posible la vida en nuestro planeta.

La luz del sol está formada por un amplio espectro de radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, formando un espectro continuo de radiaciones, que van desde longitudes de onda muy pequeñas, de menos de 1 picómetro (denominados rayos cósmicos), hasta longitudes de onda muy grandes, de más de un kilómetro

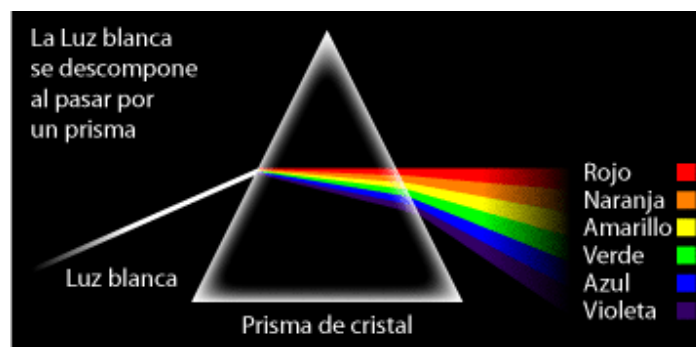
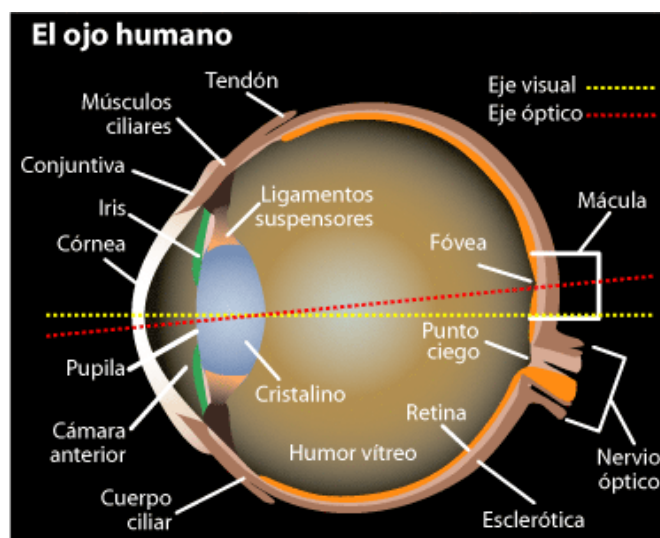


Fig.1 Descomposición del haz de luz blanca al atravesar por prisma

El ser humano es tan solo capaz de visualizar un subconjunto de ella, las que van desde los 380 nanómetros (violetas) a los 780 (rojos), como se podría apreciar fácilmente si hacemos pasar la luz por un prisma (fig.1), efecto descubierto por Newton. Cada longitud de onda supone un color diferente y la sumatoria de todos ellos da como resultado la generación de la luz blanca. Siendo su contraparte la ausencia de colores, color negro u oscuridad



*Fig. 2 El ojo humano*

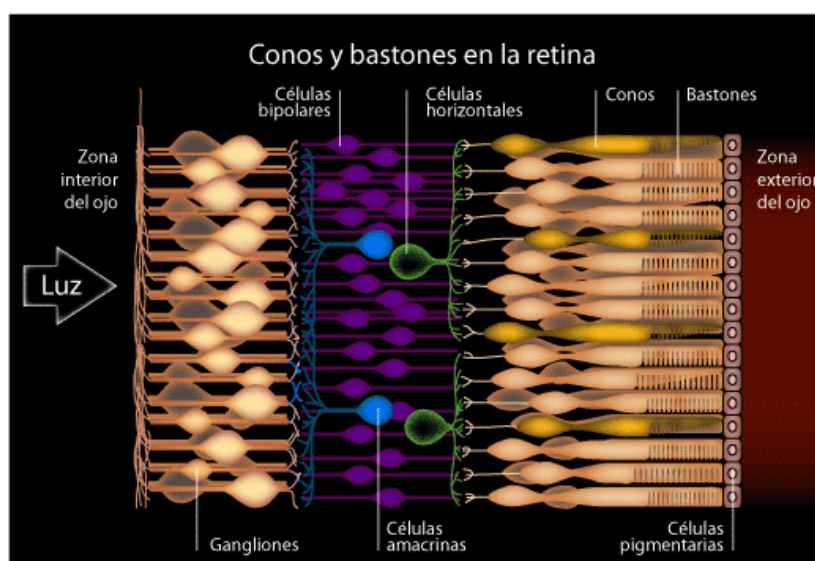
El color entonces se define como la impresión producida al incidir en la retina los rayos luminosos difundidos o reflejados por los cuerpos. Éste posee tres componentes, la fuente de luz, sea natural o artificial, el objeto sobre el cual incide la luz, y el sensor, el cual puede ser el ojo humano o un instrumento electrónico.

La percepción del color constituye una de las ventajas adaptativas que el desarrollo evolutivo nos ha proporcionado, siendo uno de los más importantes mecanismos de señalización biológica. Nuestros ojos poseen células especializadas sensibles a las señales luminosas y una parte importante de nuestro cerebro (más de dos docenas de regiones corticales) se encarga de procesar la información visual y en concreto, el color; de forma que biológicamente estamos preparados para utilizar la visión como un elemento fundamental en la organización de nuestra conducta.

En el fondo del ojo (fig. 2) existen millones de células especializadas en detectar las longitudes de onda procedentes de nuestro entorno. Estas células denominadas conos y bastones, recogen las diferentes partes del espectro de luz solar y las transforman en impulsos eléctricos, que son enviados luego al cerebro, a través de los nervios ópticos, siendo éste el encargado de crear la sensación del color.

Los conos (fig.3) se concentran en una región cerca del centro de la retina llamada fovea. Su distribución sigue un ángulo de alrededor de dos grados, contados desde la fovea. La cantidad de conos es de seis millones y algunos de ellos tienen una terminación nerviosa que va al cerebro. Los conos son los responsables de la visión del color y se cree que hay tres tipos, sensibles a los colores rojo, verde y azul. Dada su forma de conexión a las terminaciones nerviosas que se dirigen al cerebro, son los responsables de la definición espacial. También son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan visión fotópica, es decir, visión a altos niveles de luminosidad.

Los bastones se concentran en zonas alejadas de la fovea y son los responsables de la visión escotópica, es decir, visión a bajos niveles de luminosidad. Los bastones comparten las terminaciones nerviosas que se dirigen al cerebro, siendo por tanto su aporte a la definición espacial poco importante. La cantidad de bastones se sitúa alrededor de los cien millones y no son sensibles al color. Los bastones son mucho más sensibles que los conos a la intensidad luminosa, por lo que aportan a la visión del color aspectos como el brillo y el tono, y son los responsables de la visión nocturna.



*Fig. 3 Conos y bastones en la retina*

Existen grupos de conos especializados en detectar y procesar un color determinado, siendo diferente el total de ellos dedicados a un color y a otro. Desde aquí, los estímulos visuales viajan hacia el cerebro (hacia áreas del tálamo y de la corteza), encargado de elaborar la configuración subjetiva que tenemos del mundo que nos rodea. La consideración de que el color puede ser un instrumento objetivo para contener algún tipo de información no deja de tener importantes limitaciones que están determinadas por la propia subjetividad de su percepción.

Esta percepción subjetiva depende de los atributos que se asigna a las diferentes longitudes de onda en la retina y en el cerebro. Así, una longitud de onda de 560 nm. es definida como "rojo". Pero el rojo, o cualquier otro color, no existe; sólo existe una radiación con una determinada longitud de onda a la que el sistema nervioso le atribuye la cualidad "rojo". Esta "construcción" del rojo no es la misma para todas las personas, presenta características de individualidad, en el sentido que está modulada por la propia constitución y la experiencia previa que se haya tenido.

Debido a que el proceso de identificación de colores depende del cerebro y del sistema ocular de cada persona en concreto, podemos medir con toda exactitud la longitud de onda de un color determinado, pero el concepto del color producido por ella es totalmente subjetivo, dependiendo de la persona en sí. Dos personas diferentes pueden interpretar un color dado de forma diferente, y puede haber tantas interpretaciones de un color como personas hay.

### **1.1 Tipos de colores**

Orientado al espectro solar, la luz blanca del sol se descompone en cada uno de los siete colores: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, turquesa y violeta. Del color se desprende una división que serían los primarios, tomando como base los colores naturales amarillo, rojo y azul; y los secundarios que son los que surgen como mezcla de estos: el naranja, el verde y el violeta.

Los primarios o puros representan en sí una terna de colores fundamentales.

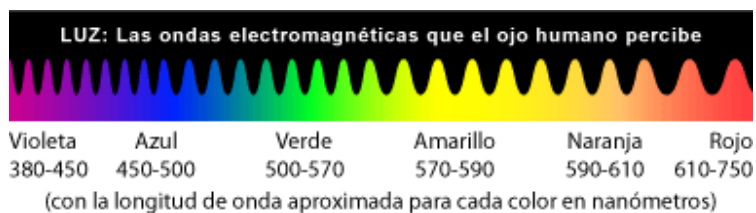
Colores Fundamentales: Se los llama así a los de la terna de colores que, convenientemente mezclados, permiten formar cualquier color.

La elección de los mismos es arbitraria. Generalmente se acostumbra utilizar como fundamental el rojo, el verde y el azul o el violeta.

El color es luz, Newton fue quien primeramente concibió la teoría ondulatoria o propagación de rayos lumínicos, que más tarde fue ampliada por Laplace y otros físicos.

Lo que se designa como luz blanca es la impresión creada por el conjunto de radiaciones que son visibles por nuestro ojo (fig. 4); la luz blanca cuando es descompuesta produce el fenómeno de arco iris, estos son los que llamamos colores, el conjunto de estos, o franja continua de longitudes de onda creada por la luz al descomponerse, constituye el espectro.

Utilizamos la palabra color para designar dos conceptos totalmente diferentes. Solo deberíamos hablar de colores cuando designemos las percepciones del ojo. La percepción del color cambia cuando se modifica la fuente luminosa, porque en principio el color no es más que una percepción en el órgano visual del observador. Los sentidos permiten al hombre captar los fenómenos del mundo que lo rodea. Los ojos son capaces de memorizar las diferencias de colores, pero casi nunca percibimos un color como es físicamente.



*Fig. 4 Espectro de luz visible al ojo humano*

También aparecen los colores complementarios que serían los pares de colores puros cuya síntesis produce la sensación del color blanco, siendo compensados cuando su unión da lugar a una sensación de color acromático. A su vez son complementarios todas aquellas gamas de colores que muestran los mismos aspectos, ya que no depende de la composición espectral del estímulo de color, sino de los valores de código que se forma en el órgano de la vista.

Las mezclas aditivas se obtienen fácilmente en un experimento psicológico que consiste en colocar diferentes colores en un disco, que luego se hace girar rápidamente mediante un motor. Si en tales condiciones los colores se suman para dar blanco o gris, se los llama complementarios.

## 1.2 Propiedades del color

Al color lo percibimos como un tono. Este tono tiene tres dimensiones que se las denominan cualidades tonales de valor, matiz y saturación.

### 1.2.1 Valor

También denominado tono, es un término que se usa para describir que tan claro u oscuro parece un color y se refiere a la cantidad de luz percibida. El valor se puede definir como la cantidad de "oscuridad" que tiene un color, es decir, representa lo claro u oscuro que es un color respecto de su color patrón. Un azul, por ejemplo, mezclado con blanco da como resultado un azul más claro, es decir, de un valor más alto. Es distinto al color, ya que se obtiene del agregado de blanco o negro a un color base. A medida que a un color se le agrega más negro, se intensifica dicha oscuridad y se obtiene un valor más bajo. Dos colores diferentes (como el rojo y el azul) pueden llegar a tener el mismo valor, si consideramos el concepto como el mismo grado de claridad u oscuridad en relación a la misma cantidad de blanco o negro que contengan, según cada caso.

La descripción clásica de los valores corresponde a claro (cuando contiene cantidades de blanco), medio (cuando contiene cantidades de gris) y oscuro (cuando contiene cantidades de negro). Podemos usar estas propiedades en la búsqueda de las gamas y contrastes de colores adecuados para nuestras restauraciones de porcelana, siendo posible crear contrastes en el matiz, en la saturación y en el valor, siendo tal vez éste último el más efectivo.

### 1.2.2 Matiz

Es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados, y es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en la mezcla de las ondas luminosas. El Matiz se define como un atributo de color que nos permite distinguir, por ejemplo, el rojo del azul y se refiere al recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático (fig. 5). Los 3 colores primarios representan los 3 matices primarios, y mezclando estos podemos obtener los demás matices o colores.

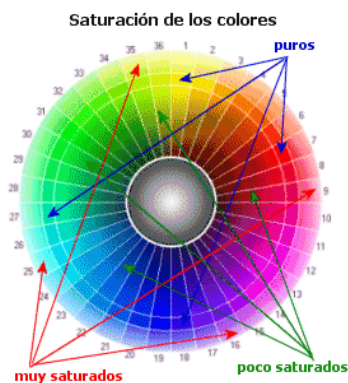


*Fig. 5 Matices*

### 1.2.3 Saturación

También llamada croma. Este concepto representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo, y puede relacionarse con el ancho de banda de la luz que estamos visualizando. Los colores puros del espectro están completamente saturados (fig. 6). Un color intenso es muy vivo.

También puede ser definida por la cantidad de gris que contiene un color: mientras más gris o más neutro es, menos brillante o menos "saturado". Igualmente, cualquier cambio hecho a un color puro automáticamente baja su saturación.

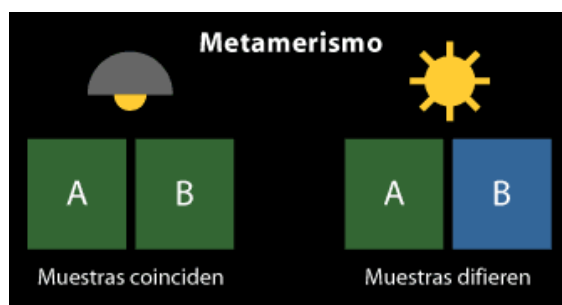


*Fig. 6 Saturación del Color*

### 1.2.4 Metamerismo

Se define como el cambio en la percepción de dos objetos bajo distintas fuentes de luz. Cuando dos objetos tienen el mismo color bajo una fuente lumínica, pero no bajo las otras, forman un par metamérico. Cuando dos objetos tienen el mismo color bajo todas las fuentes lumínicas forman un par isomérico.

Uno de los problemas de la selección del color en odontología restauradora se relaciona con el metamerismo, y se refiere al fenómeno de una selección aparentemente exacta del color, que luego aparece como inexacta cuando se cambian las condiciones de luz bajo las cuales el color fue tomado originalmente. Cuando dos elementos no tienen los mismos componentes espectrales, como el diente y la porcelana, nunca se ven semejantes bajo diferentes condiciones de iluminación.



*Fig. 7 Par Metamérico.*

### 1.2.5 Luminiscencia

Se refiere al proceso por el cual el material genera radiación no térmica, y por eso ocurre a temperaturas más bajas que la requerida por la combustión. Se refiere a sustancias que dan un tipo de luz cuando reciben los rayos ultravioleta y se dividen en dos grupos:

Sustancias Fosforescentes, que son aquellos que continúan emitiendo luz después de haber recibido los rayos UV.

Sustancias Fluorescentes, que son aquellas que solo emiten luz cuando están expuestas a los rayos UV.

## 1.3 Sistemas de Colores

### 1.3.1 Sistema Munsell

El sistema de orden de color Munsell, fue desarrollado por Albert Munsell en el año 1915. Es reconocido mundialmente por su simplicidad y consistencia. Cada color se considera el centro de una esfera, rodeada por las selecciones más cercanas siguientes del color de la tonalidad, valor y croma. Estos colores se ordenan en placas coloreadas, describiéndose un sistema tridimensional de coordenadas que representan el matiz, el valor y el croma. El matiz (fig. 8) se representa por 10 colores diferentes. Cada color esta ubicado en un plano horizontal circular de la coordenada axial. El croma es la intensidad o saturación y esta representado como los rayos de una rueda en donde el color más saturado se encuentra en la periferia. Por su parte, el valor que representa el grado de luminosidad del color esta representado por nueve ruedas en el eje axial, ubicándose el blanco arriba y el negro abajo. El valor de un color se determina por la cantidad de gris. El negro en la escala de valor tiene un valor de 0 (cero) y el blanco un valor de 10.

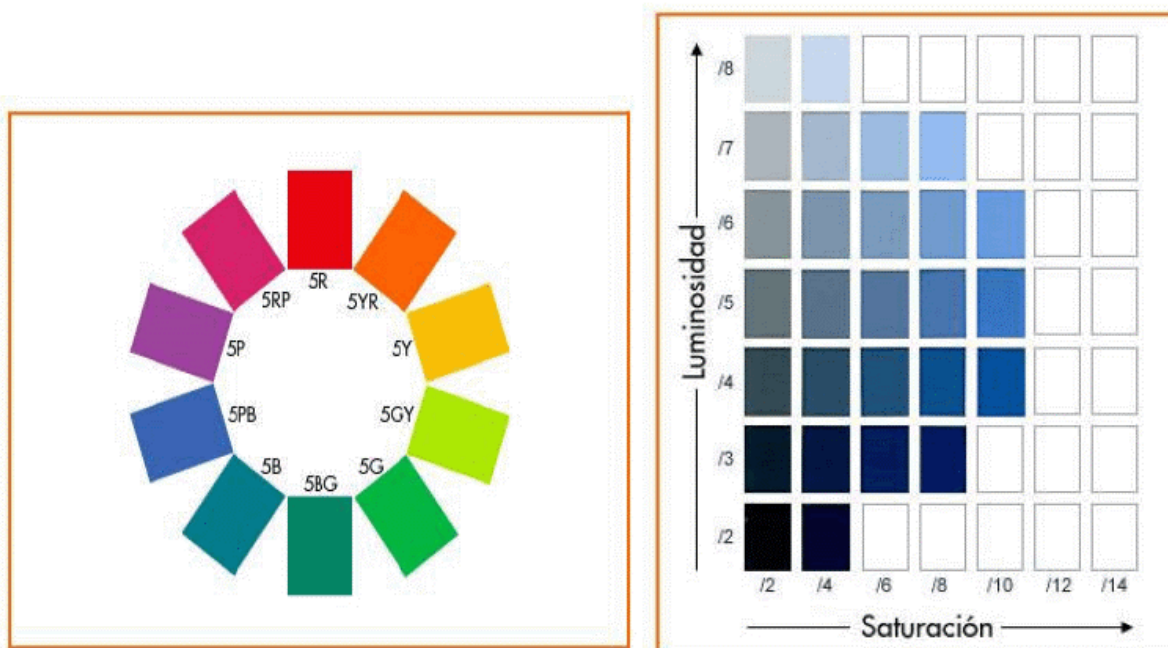


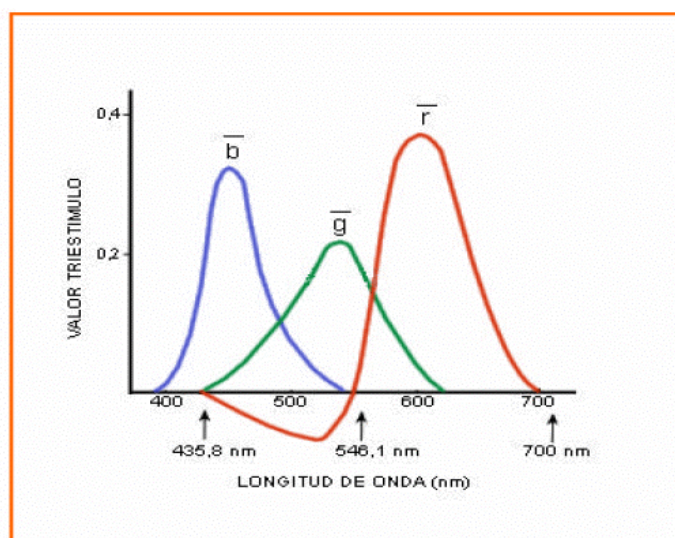
Fig. 8 Distribución de colores de Munsell

### 1.3.2 Sistema RGB

La luz tiene tres colores primarios: rojo, verde y azul. Combinando esos colores primarios en diversas intensidades podemos conseguir todos los colores visibles.

Si representamos la intensidad de cada color primario con un número, entonces podemos representar los colores con tres números (uno para el rojo, uno para el verde y uno para el azul). Esta forma de representar los colores con números para la intensidad de los componentes rojo, verde y azul de la luz se conoce como el sistema de color RGB (del inglés Red, Green y Blue, que en español suele referirse como RVA: Rojo, Verde y Azul).

La fig. 9 muestra la distribución de los primarios RGB, requeridos para igualar una unidad de energía para cada longitud de onda en el rango del espectro visible. Sin embargo, se aprecia la existencia de algunos valores negativos, pues se comprobó que habían colores que no eran posibles de obtener mezclando aditivamente las tres luces monocromáticas primarias elegidas. No obstante, si al color que se pretendía conseguir se le sustraía una cantidad determinada de una de las tres luces primarias, el color resultante sí podía igualarse mezclando aditivamente las otras dos luces monocromáticas primarias.

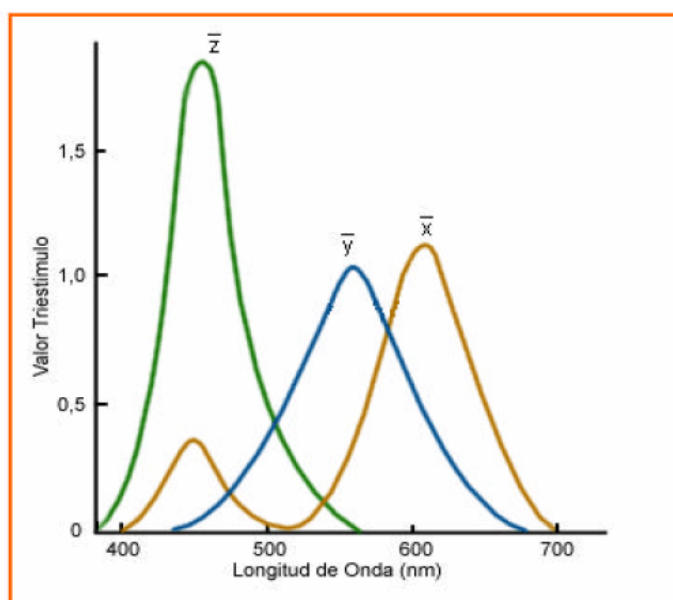


*Fig. 9 Curvas R, G, B*

### 1.3.3 Sistema CIE 1931

En 1931, CIE (Comisión Internationale d'Eclairage) transformó la elección de un color RGB por un nuevo set de colores primarios XYZ, para eliminar los valores negativos presentes al graficar la distribución de los primarios RGB al igualar una unidad de energía para cada longitud de onda (fig. 9).

Con este fin, se realizó una transformación matemática. Así el color estaba definido por los colores integrados de las tres coordenadas XYZ, denominadas valores trístimulos (fig.10) (National Institute of Standard and Technology, 2000).



*Fig. 10 Curvas X, Y, Z*

### 1.3.4 Sistema CIELab

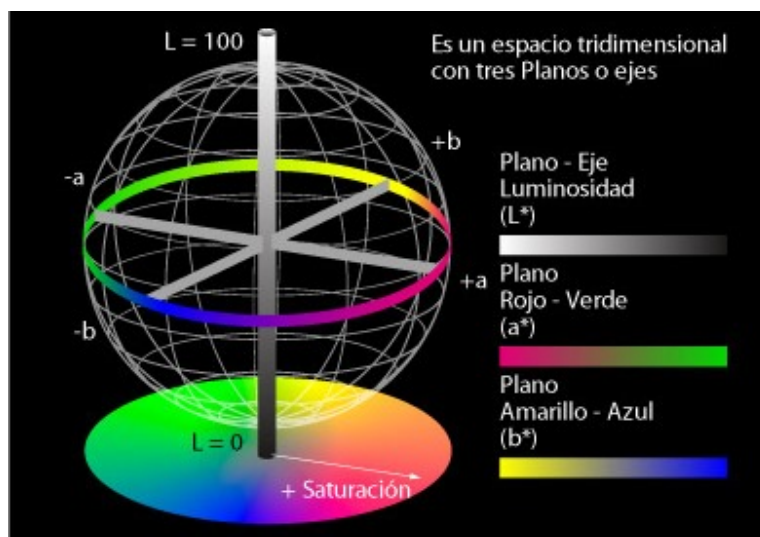
Debido a que las coordenadas cromáticas CIE no se comportan uniformemente en consonancia con la visión humana, se procedió a la transformación de este sistema, definiéndose otras coordenadas cromáticas. (Maynero C, 2002)

Para afinar la especificación de los colores y las diferencias de color, CIE recomendó el espacio de color tridimensional, CIELab en 1976. Las diferencias de color en el CIELab son calculadas como la distancia Euclidean ( $\Delta E$ ) entre los puntos en el espacio tridimensional. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

El sistema CIE es el estándar internacional para la medición del color, el cual incorpora un observador y una fuente de iluminación. En el concepto de CIE-1931, todos los colores pueden ser obtenidos mezclando cantidades relativas de los tres colores primarios: Rojo (X), Verde (Y) y Azul (Z). Si bien en el espacio de color CIE X, Y, Z, se puede determinar si dos colores son iguales o diferentes, no establece la percepción del color propiamente tal.

Los valores de X, Y y Z pueden ser convertidos matemáticamente y expresados en el espacio de color CIE Lab. Cada color puede ser representado como un único punto en el espacio determinado por las coordenadas relacionadas a los ejes en el sistema CIE Lab.

De los espacios de color el más utilizado para la medición del color en investigación dental es el CIE  $L^*a^*b^*$  (fig. 11).



*Fig. 11 Espacio de color CIE Lab*

Algunos colorímetros pueden proporcionar medidas en unidades de CIE Lab ( $L^* a^* b^*$ ), las cuales al ser analizadas matemáticamente permiten comparar los parámetros de color de diferentes objetos. Los valores correspondientes a la coordenada L, han de representar la luminosidad del objeto observado, en un rango de 0 (negro) a 100 (blanco) (Duane, 1998; Duane y Przybylska, 1999). Los valores  $a^*$  representan los extremos del rojo y el verde identificados con valores, para ambos, tanto positivos como negativos, y los valores de la coordenada  $b^*$ , representan los colores del amarillo al azul. La utilidad práctica de estos dos sistemas, es que a través de la comparación entre los valores designados a las diferentes coordenadas podemos comparar un color versus otro, dándonos, una evaluación cuantitativa del color. Para poder interpretar la diferencia de un color entre dos cuerpos de prueba, se ha de utilizar la fórmula CIE para diferencia de color (Duane, 1998):

$$\Delta E_{(L^*a^*b^*)} = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2}$$

Normalmente percibimos los objetos bajo distintas fuentes luminosas y desde distintas posiciones, lo que puede derivar en diferentes percepciones de un mismo color. Este hecho es esencial a la hora de establecer comparaciones de colores entre dos muestras.

No todas las fuentes de luz que conocemos emiten radiaciones con las mismas características. Cada fuente puede caracterizarse por la energía de luz que emite a diferentes longitudes de onda.

#### 1.4 Iluminantes estándar

Para empezar, es importante entender que los términos “fuente de luz” e iluminantes tienen significados precisos y diferentes. “Fuente de luz” es un término general utilizado para describir un emisor de radiación electromagnética visible, como puede ser una vela, una ampollita incandescente o el sol. Ya que la percepción del color de ciertos objetos cambia con las diferentes fuentes de luz, especificar el color de un objeto requiere que la fuente de luz sea definida. Un “iluminante” es una radiación con un poder de distribución espectral relativa, definida sobre un rango de longitud de onda que influye en la percepción del color. Corresponde en otras palabras a una especificación de una fuente de luz particular. Algunos ejemplos de iluminantes son:

Iluminante	Descripción	Temperatura de color (Kelvin)
A	Lámpara de tungsteno	2.856
B	Luz de sol directa	4.870
C	Luz día promedio de un cielo nublado	6.770
D65	Estándar “no real”, matemáticamente construido	6.500
D55	Estándar “no real”, matemáticamente construido	5.500

*Tabla I Iluminantes según temperatura.*

El poder de distribución espectral de la luz reflejada por un objeto es el producto del valor de reflectancia espectral por el poder de distribución espectral de la fuente de luz. Este último se relaciona directamente con la temperatura en la cual el filamento del iluminante es trabajado, así por ejemplo es como se determinó que la temperatura a la cual un filamento incandescente otorga un tipo de luz ideal cercano a la luz de día que corresponde a los 6500 grados kelvin en promedio.

El iluminante estándar D65 de la CIE (fig. 12), representa la fase de luz día natural que se correlaciona con una temperatura de 6504 grados Kelvin. Este iluminante es matemáticamente

construido y no puede ser físicamente realizado como una fuente de luz, pero es cercano al promedio de luz día del cielo del norte.

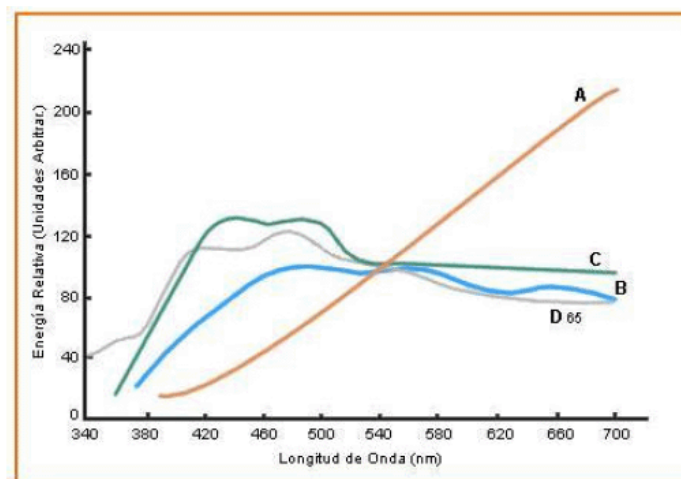


Fig. 12: Distribución espectral de los iluminantes patrón

Independiente del sistema que se utilice para la determinación de un color dado, este siempre se verá influenciado en la percepción del color por una serie de factores, tanto directa como indirectamente.

### 1.5 Factores que determinan la percepción y selección del color

Los factores que afectan el proceso de selección y percepción del color, pueden ser divididos en tres categorías.

#### 1.5.1 Factores relacionados con el observador

La valoración del color por parte del espectador han de depender de su comportamiento respecto al estímulo que se está observando. De allí que estas mediciones se puedan ver afectadas por la fatiga, la edad, emociones circunstanciales, condiciones de iluminación y la exposición visual previa, así como la interpretación personal de cada observador a un color dado. De esta manera el Odontólogo a la hora de tomar la decisión de elegir un color definitivo para una restauración deberá de considerar las condiciones psicofisiológicas a las cuales está sometido a la hora de tomar el color.

Condiciones de iluminación deficientes, es decir, de baja intensidad provocaran una tendencia a elegir los colores más oscuros de un muestrario convencional. De la misma manera el trabajo excesivo del órgano ocular provocan un agotamiento de las células fotosensibles haciéndolas poco reactivas a intensidades de luz elevadas.

La evaluación visual del color es un método subjetivo. Puede mostrar resultados poco fiables e inconsistentes en las especificaciones de la percepción del color entre observadores. La valoración del color es dependiente de los observadores y las respuestas psicológicas y fisiológicas a la estimulación de energía radiante. (Okubo y cols. 1998). Además la percepción del color de un individuo puede ser inconsistente de un tiempo a otro. (Johnson, Kao. 1988)

### **1.5.2 Factores relacionados con el objeto**

Los colores en los dientes naturales no se presentan de manera uniforme, es por ello que en cada diente no podríamos establecer un color único, pues estos se encuentran distribuidos de manera tal que la medición del color se verá influenciada por la sección del diente en la cual el observador ponga atención a la hora de medir el color. Además en un mismo diente, la disposición anatómica, los diferentes grados de reflexión, la absorción del haz de luz y los grados de translucidez hacen que mínimos cambios de color en su superficie determinen que la percepción del color sea compleja tanto al ojo humano como a la interpretación instrumentada.

El color natural de los dientes depende de su capacidad de modificar el color de la luz incidente. El efecto total de color de un diente natural es el resultado de la combinación de la luz reflejada por la superficie del esmalte, y la absorbida y reflejada por la dentina y el esmalte juntos (Seghi y cols, 1986; citados en Johnson y Kao. 1988)

### **1.5.3 Factores relacionados con el entorno**

En la toma de color, el entorno en el cual estamos tomando el color dentario es fundamental, pues de estos ha de depender la valoración de cada uno de ellos. Así las condiciones medioambientales y de iluminación juegan un papel importante en la selección del color (Wee, Monaghan y Johnston, 2002). La fuente lumínica, la encía y la hora del día, influenciarán notablemente en lo que respecta a la percepción de un color determinado.

## **2. Colorimetría**

Un colorímetro es cualquier herramienta que identifica el color o matiz de un objeto para una medida más objetiva de éste.

### **2.1 Comparación visual del color**

El método más utilizado para la selección del color dental es a través del uso de guías o cartillas de colores. Esta técnica es de por sí limitada, dada la incalculable cantidad de variaciones de pueden afectar el color natural de un diente.

En el año 1908 Black publicó dentro de su estudio de operatoria dental, que el aspecto más importante en la toma de color lo constituía el valor, es decir, el nivel de claridad u oscuridad de un diente, agregó además que éste valor junto a un tinte adecuado, determinarían un resultado estético ideal. Sugirió que el valor debía ser seleccionado antes que la intensidad (saturación) y ésta debía ser determinada antes del tinte definitivo.

En los años 30 Clark desarrolla un estudio en color, en cuyos resultados determina que es la saturación la característica más importante y lo incorporó a su propio muestrario llamado "Indicador del color de los dientes". Éste consistía en 60 cartillas de un solo tinte amarillo y

trabajaba con 342 colores gingivales. Esta cartilla por ser muy confusa nunca llegó a comercializarse.

En el año 1960, la empresa Vita desarrolla el Vita Lumin Vaccum Shade Guide, conocida como Vita Classical. Ésta consistía en 16 colores ordenados por tinte y croma. Aun cuando era posible su ordenación por valor, éste concepto no fue incorporado por los odontólogos.

En 1991 en un estudio publicado por Hall se señaló que las dificultades en la toma del color dentario se minimizan cuantificando los determinantes en orden de valor, saturación y tinte. En base a éste estudio en febrero 1998 la compañía Vita lanzó al mercado la guía de color Vita 3D Master (Marcucci 2003).

En el año 2005 la compañía Vita, agregó a la cartilla de colores Vita 3D Master una serie de colores extra blancos dado el aumento de los blanqueamientos dentarios. Además en agosto del 2006 la compañía determinó el cese de la producción del muestrario Vita Classical y del uso de la nomenclatura de color de este muestrario en sus productos para dar paso sólo a la guía 3D Master.

Todas estas guías se utilizan para evaluar el color desde un punto de vista visual. No debemos de olvidar que el color es una percepción individual y que sus distintas características en cuanto a tinte, valor y saturación son las más importantes.

En Chile los muestrarios más utilizados para la fabricación de restauraciones cerámicas son el Vitapan Classical y el Vita 3D master.

## **2.2 Guías de color**

### **2.2.1 Vitapan Classical:**

Es el más antiguo y se basa en el orden de Munssel, disponiéndose en 4 grupos:

- A: anaranjados
- B: amarillos
- C: amarillos grisáceos
- D: grises anaranjados

No es un ordenamiento sistemático, dentro de cada grupo se ordenan por croma o grado de saturación, siendo el 1 el menos saturado y de mayor valor (menos gris) y el 4 el más saturado y de menor valor (más gris).

Entonces, son ordenados por color: A, B, C, D o también por valor: B1, A1, A2, D2, B2, C1, C2, D4, D3, A3, B3, A3.5, B4, C3, A4, C4. (fig. 13)



*Fig. 13 Muestrario Vitapan Classical.*

### **2.2.2 Vita 3D Master:**

Se basa en el espacio cromático CIE L\*a\*b que fue creado por la Comisión Internacional de Colorimetría (CIE). Por un modelo matemático se ordenan los colores de acuerdo a su altura por luminancia y las coordenadas a o b. Presenta un ordenamiento sistemático para el espacio cromático, en el Vita Classical en cambio no se tiene un ordenamiento sistemático e incluso algunos colores se traslapan.

Este sistema se ordena en 5 grupos según valor (fig. 14):

- 1 mayor valor (mas claro)
- 5 menor valor (mas oscuro)

Se agregó también el grupo de los extra blancos que es anterior al 1, correspondiendo al grupo 0. Dentro de cada grupo hay 3 niveles:

- 1 menos saturado
- 3 más saturado

Además dentro de cada grupo hay 3 subgrupos:

- L: mas amarillo
- M
- R: mas rojizo

En el Vita 3D Master toma importancia la fisiología del ojo humano cuyo órgano interpretativo es el cerebro, por lo tanto, la percepción depende de cada persona.



*Fig. 14 Muestrario de color VITA 3D-MASTER*

### **2.3 Toma de color:**

La estética y la toma de color dependen de nosotros. Existen tres factores importantes, que son: la toma de color, como lo comunicamos, y como lo interpreta el laboratorista.

No hay que olvidar la disposición de las masas cerámicas, y en base a esto solicitar al laboratorio cerámicas factibles de realizar. Existen capas opacas de dentina y de esmalte. El que da el color es la dentina, el esmalte solo da o quita valor.

Se puede hacer un esquema del diente y dividirlo en tres porciones: incisal, cervical y cuerpo, y anotar en cada uno lo que queremos, esto nos puede ayudar un poco para comunicarnos con el laboratorista, aunque también suele ser difícil porque puede que a pesar de esto no se entienda bien.

#### **2.3.1 Protocolo para la toma de color (Pizzamiglio, 1991; Aubry, 1991):**

- Dientes deben estar húmedos: si están secos adquieren un tono más blanco y opaco.
- Eliminar lápiz labial u otro maquillaje.
- Cubrir ropa del paciente con color neutro (azul).
- Verificar estado de salud de los tejidos periodontales: encía inflamada mejor no tomar color.
- Realizar profilaxis: para que la superficie este libre de placa bacteriana y tinciones.
- Tomar el color antes y durante el tratamiento (por ejemplo si el diente va a requerir de endodoncia lo mas probable es que luego se ponga mas gris).
- Nunca tomar color después de tratamientos prolongados o fatigantes. Verificar bajo distintas fuentes lumínicas por el efecto del metamerismo, tomar en cuenta donde la persona pasa la mayor parte del tiempo.
- Durante el día tenemos distintos tipos de fuentes lumínicas, lo ideal es a media mañana o a media tarde, sobre 5000° K

### 2.3.1 Toma de color con guías de color Vita:

#### 2.3.1.1 Vita Classical:

1. De cada color de la cartilla se saca el más saturado y se compara con el diente más saturado de la arcada (canino). Así se sabe si es A, B, C, D.
2. Luego se verifica el grado de saturación ordenando dentro del grupo de menor a mayor saturación y se compara con el diente.
3. Luego se ordena el colorímetro por valor para contrastar el grado de claridad, para lo cual se pone el diente natural en la guía entre el de menor y mayor valor y se compara.
4. Verificar matiz respecto a color elegido (mas claro-mas oscuro, blanquecino-grisáceo, amarillento-rojizo)
5. Determinación de color cervical (normalmente son más saturados)
6. Elección de la masa de esmalte: verificar grado de translucidez de borde incisal apoyando la lengua en el diente y también se verifica la transparencia.

Finalmente debemos dar indicaciones al laboratorio sobre los efectos de colores:

1. Internos o externos.
2. Superficiales o profundos:
  - Bajo: apenas visible.
  - Medio: medio visible con claridad
  - Fuerte: oculta color del diente
3. Brillo: sedoso, normal, alto brillo (como diente del colorímetro)
4. Estructura Superficial: por ejemplo alguna línea de fractura o craquelación.

#### 2.3.1.2 Vita 3D Master:

La toma de color con este muestrario se divide en tres pasos:

1. Definir claridad:
  - Sostener el muestrario junto a la boca abierta del paciente y a un brazo de distancia. Elegir entre los grupos 1, 2, 3, 4 ó 5, seleccionando desde el grupo más oscuro.
2. Seleccionar la intensidad del color:
  - Después de encontrar el grado de claridad, tomar el abanico del grupo M y abrirlo lateralmente para seleccionar la intensidad del color, escogiendo una de las tres muestras de colores.
3. Fijar la tonalidad:
  - Comprobar si el diente es más rojizo o más amarillento que la muestra seleccionada, escogiendo entre las letras L, M o R

Generalmente la primera impresión que tenemos del color es la correcta, porque luego de mucho tiempo las células nerviosas se fatigan.

El 50% de las personas se encuentran en el grupo 3. En el Vita Classical el 80% de las personas se encuentra en el grupo A, por eso, si encontramos a un paciente que no está dentro de estos grupos merece dudas y se debe tomar el color de nuevo.

La toma de color es un proceso complejo. Está influenciada por una gran cantidad de factores los cuales afectan a los tres pilares del color, a la fuente lumínica, el objeto y observador. Con el objetivo de compensar estos factores es que se han desarrollado un gran número de máquinas, las cuales hacen más objetivas las mediciones, otorgando así valores más cercanos a la realidad, que apuntan al éxito de nuestro tratamiento. Aun así su efectividad real está en cuestionamiento y dados los altos costos de la tecnología los ponen constantemente en tela de juicio y en comparación con los medios visuales análogos.

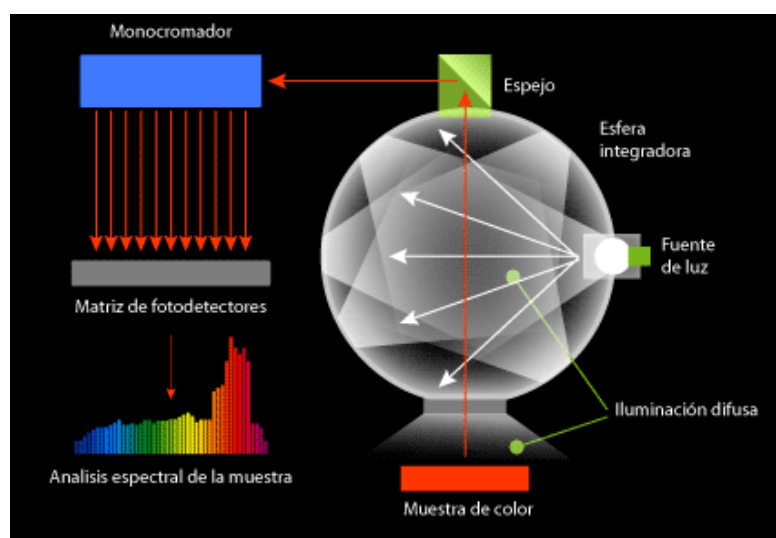
## 2.4 Comparación digital del color

### 2.4.1 Espectrómetro

Un espectrómetro óptico, es un instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético. Este equipo mide la luz en distintas bandas. Los primeros espectrómetros eran un simple prisma con graduaciones que marcaban las distintas longitudes de onda de la luz. Los espectrómetros modernos suelen utilizar una rejilla de difracción, ranuras móviles, y algún tipo de fotodetector, todo ello automatizado y controlado por un computador.

### 2.4.2 Espectrofotómetro

Un espectrofotómetro es un instrumento que consiste de tres elementos principales: una fuente de luz, un medio para dirigir la fuente lumínica a un objeto y recibir la luz reflejada desde el objeto, mas un espectrómetro que determina la intensidad de la luz recibida como una función de longitud de onda.



*Fig. 15 Espectrofotómetro de reflectancia*

Existen varios factores que afectan la medición del color de un material con este tipo de equipos. El primero es controlar la geometría de la fuente lumínica hacia el receptor de la luz. Tradicionalmente esto es hecho con una esfera integradora (fig. 15), la cual dirige una fuente de luz a un objeto y virtualmente colecta toda la luz reflectada desde el objeto con una cavidad esférica que es totalmente difusa y muy blanca. La importancia de la esfera es: Primero, controla la distancia de la fuente de luz y el receptor hacia la muestra. Segundo, colecta toda la luz reflectada desde la muestra en una proporción casi igual a la luz reflectada desde una muestra de referencia. Tercero, provee una iluminación difusa de la muestra. La exactitud de la esfera de integración depende enteramente de que la muestra tenga las mismas características de reflexión que el patrón. Si la muestra refleja luz en un patrón diferente que la referencia, pueden ocurrir errores. Para minimizar los errores, la esfera de integración es diseñada lo más grande que se pueda, para tener una gran área de superficie interna en relación al área de la muestra, por lo que si el área de la muestra en relación a la esfera disminuye, la sensibilidad del sistema espectrométrico aumenta. De esta manera, las esferas de integración tienen usualmente un diámetro de 6" (152mm) y tienen una apertura para la muestra de 0,5" (12,7 mm) de diámetro. Un problema adicional es la pérdida de la luz en los bordes. Cuando un material translucido es medido, la luz puede salir del material, a través de los márgenes de éste fuera de la esfera, resultando en una medida de color más oscura. Aunque es posible calibrar la esfera con una muestra del material del mismo tamaño y translucidez (o usar una serie de patrones) para reducir el efecto de pérdida de luz en los bordes, el tamaño de la esfera hace que no sea práctico su uso para medidas in situ de los dientes.

Mientras es posible controlar la fuente lumínica y la manera en la cual la luz es dirigida hacia al diente, es imposible controlar los ángulos en que la luz será devuelta desde el diente. Si una cámara es utilizada, la fuente lumínica dirige la luz de una manera controlada hacia el diente, pero la luz reflectada desde el diente podría no ser dirigida de vuelta a al lente de la cámara. De esta forma, la intensidad de la luz recibida variará en un amplio rango, haciendo muy difícil y poco exacta la toma del color.

Para simular la esfera, es importante tener el receptor de luz tan cerca como sea posible a la muestra y recolectar tanta luz como sea posible, independiente de las características de la superficie o el ángulo.

### **2.4.3. Easyshade**

En el año 2003 la empresa Vita desarrolló un sistema digital para la medición del color conocido como EasyShade.

#### **2.4.3.1 Características técnicas**

Este espectrofotómetro es un dispositivo creado para encontrar el color de los dientes. Consiste en una unidad base y una pieza de mano unidas por un cable de fibra óptica. La pieza de mano tiene una sonda de fibra óptica que sirve para iluminar y recibir la luz desde el diente, múltiples espectrómetros y un microprocesador para la comunicación con la unidad base. La unidad base contiene una lámpara, la CPU, una pantalla fluorescente con "touch screen" y un bloque de calibración removible.



*Fig. 13 Vita Easy Shade*

Adicionalmente, el Easyshade tiene una CPU para analizar los datos del espectrómetro, determinar el color correspondiente a los tonos del muestrario Vita Classical y 3D Master y desplegar los resultados en la pantalla del equipo.

La resolución espectral es de 25 nanómetros sobre el rango visible de luz que va desde los 400 a los 700 nanómetros aproximadamente. El espectrómetro hace hasta 50 medidas por segundo.

La pieza de mano contiene tres espectrómetros separados. Un espectrómetro monitorea continuamente la luz que emite la lámpara durante la calibración y el proceso de medida. Los otros dos espectrómetros son utilizados para analizar la luz que es internamente dispersada (no absorbida) por la estructura del diente. Los espectrómetros tienen elementos receptores separados a diferentes distancias de la fuente lumínica que miden el color del material (diente o cerámica) a diferentes profundidades.

El Easyshade utiliza una lámpara halógena de filamento de tungsteno estabilizado de 20 Watts. Tiene una temperatura de color de 3350 °K y es una fuente lumínica continua sobre todo el espectro visible y el cercano al infrarrojo. La lámpara está montada en la unidad base con un disparador que es activado para cada medida. El Easyshade utiliza el iluminante D65 (6.500 °K) como referencia para la toma del color.

#### **2.4.3.2 Calibración**

Toda determinación de una medición es un proceso comparativo. Para calibrar un instrumento se necesita medir uno o más materiales de referencia. Los espectrómetros en el Easyshade requieren sólo de una muestra para la calibración. Un bloque cerámico de un color conocido es utilizado para la calibración y éste está ubicado sobre un interruptor que es usado para detectar cuando el instrumento se encuentra en el modo de calibración.

Durante la calibración una serie de medidas espectrofotométricas son hechas. La primera medida es hecha con el obturador de la lámpara cerrado, la siguiente serie es hecha con el obturador

abierto (el bloque de calibración es iluminado). Tanto los niveles “oscuros” y “claros” son registrados y los tres espectrómetros son normalizados. La lámpara es normalizada a una luz blanca estándar. Las dos muestras son normalizadas al color conocido del bloque de calibración. Este proceso permite que todas las variabilidades de color que hayan en el sistema sean calibradas, incluyendo el envejecimiento de la lámpara, la variación de color y grosor de la barrera de control de infección, torcimiento del cable de fibra óptica y envejecimiento de los sensores espectrométricos y de la fibra óptica de la pieza de mano.

El color del bloque de calibración es determinado en la fábrica y es almacenado en cada Easyshade.

### **2.4.3.3 Medición de dientes y materiales dentales**

Después de la calibración, el equipo está listo para medir dientes o materiales dentales. El tipo de material a ser medido es seleccionado desde el menú. Tabletas de tonos pueden ser también medidas para asegurar la exactitud del Easyshade y también como un proceso de aprendizaje. No es necesario recalibrar el equipo cuando se cambia de material o entre medidas. Sólo es necesario recalibrar cuando se reemplaza la barrera de control de infección.

La medición comienza ubicando la sonda en un área del diente y presionando el interruptor de la pieza de mano. Una serie de medidas de niveles “oscuros” son hechas y registradas seguidas de la apertura del obturador de la lámpara para hacer una serie de medidas de niveles “claros”. Las medidas de niveles “oscuros” incluyen cualquier luz de fondo, la cual es sustraída de las medidas de niveles “claros” para obtener sólo la luz proveniente del equipo. El espectro de la luz de la lámpara es comparado con el espectro durante la calibración para compensar cualquier cambio.

La sonda tiene sensores adicionales utilizados para medir ángulos y movimientos. Si la sonda es movida durante una medida, la medición de niveles “claros” es retrasada hasta que la sonda es estabilizada. Además, si la sonda es sostenida en un ángulo incorrecto o muy cerca de un borde del diente, la medición será ajustada al ángulo o rechazada.

El Easyshade está diseñado específicamente para medir dientes y otros materiales dentales translúcidos y no sirve para materiales opacos.

Los dientes son transparentes y brillantes, y al ser iluminados, la luz puede reflejarse desde su superficie o penetrar las estructuras del diente y ser dispersadas. La luz reflectada desde la superficie es referida como una reflexión especular; la luz que penetra un material y es reflectada de vuelta es referida como una reflexión difusa (a nivel atómico, todas las reflexiones son especulares). La principal diferencia entre una reflexión especular y una difusa es que, en materiales no metálicos, la reflexión especular contiene poca o nada de información de color. Esto es de particular importancia para los dientes o cualquier material translucido. La apariencia del color ocurre por la reflectancia, o de otra forma por la luz devuelta que ha sido parcialmente absorbida, refractada o dispersada dentro de la masa del material. Si la luz es simplemente reflejada desde la superficie, poca o ninguna absorción ocurrirá y la luz reflejada será del mismo color que la fuente lumínica. Si la luz penetra una corta distancia dentro del esmalte, una mínima

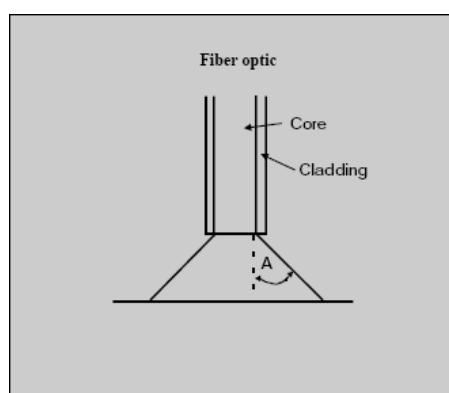
cantidad será absorbida y aunque sería posible cuantificar el tinte del diente, la cromacidad será muy baja y el valor muy alto. La luz devuelta será “muy blanca” y no representará el color base real del diente. Es necesario que la luz penetre el diente a nivel de la dentina, que viaje a través del esmalte y que salga a alguna distancia para obtener un grado de absorción y dispersión verdadero dentro del diente.

La técnica utilizada por el Easysshade consiste en el uso de fibras ópticas de gran diámetro ordenadas en un patrón específico dentro de una sonda de acero para iluminar al diente y recibir la luz que es internamente dispersada por el esmalte y reflectada por la dentina. Fibras ópticas separadas son usadas para transmitir la luz al diente (fibras fuentes) y recibir la luz (fibras receptoras) reflectada. Las reflexiones especulares no es recibida por las fibras receptoras.

La geometría de la sonda es un pseudo diseño circular 0/0 (fibras fuentes y receptoras son paralelas pero espacialmente separadas). Debido a la disposición de las fibras ópticas en la sonda, todas las mediciones excluyen a las especulares. La sonda ilumina un área de 5 mm de la superficie del diente (los ángulos de iluminación van de 0° a 30°) y debido a las propiedades de dispersión del esmalte, la luz ilumina difusamente la dentina. La sonda de 5mm de diámetro cubre el tercio medio y cervical de la mayoría de los dientes y requiere de una subcapa de dentina para reflectar la luz de vuelta a la sonda. Los bordes marginales e incisal del diente no deben ser incluidos en el área de medición de la sonda, porque la luz viajará a través del esmalte hacia la cavidad oral resultando en una medida más baja del valor  $L^*$  (luz no es recibida por el receptor).

#### 2.4.3.4 Fibras ópticas

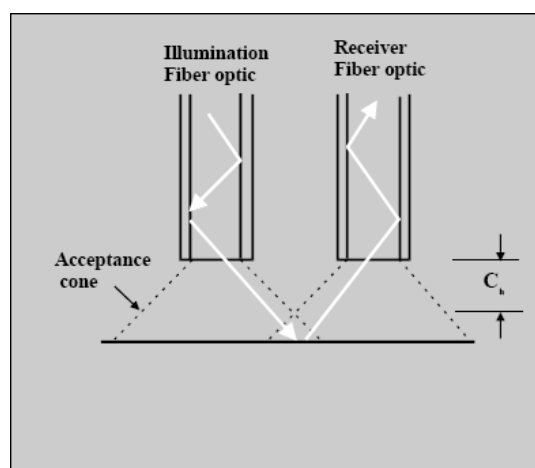
Para poder entender de mejor manera la técnica de medición del Easysshade, es necesario entender ciertos principios fundamentales de las fibras ópticas. Las fibras ópticas (fig. 16) consisten en un material de recubrimiento externo y un material de núcleo. El material de recubrimiento y de núcleo tienen índices de refracción distintos. Esto produce una apertura numérica (NA) para la fibra óptica el cual es:  $NA = \sin(\alpha) = \{(n_0)^2 - (n_1)^2\}^{1/2}$ , donde  $n_0$  es igual al índice de refracción del núcleo y  $n_1$  al índice de refracción del recubrimiento.



*Fig. 16 Fibra óptica*

Para que la luz entre y sea propagada por la fibra óptica, el rayo de luz debe estar entre los ángulos de aceptación de la fibra. Los rayos de luz fuera del ángulo de aceptación salen de la fibra y se pierden. En general, la luz viaja a través de la fibra óptica en el mismo ángulo a como entró (a menos que la fibra este severamente doblada).

Si consideramos dos fibras ópticas paralelas una a la otra, donde una esté transmitiendo luz a la superficie (fibra óptica de iluminación) y la segunda fibra esté recibiendo luz (fibra óptica de recepción) reflejada desde la superficie, la única luz que entrará a la fibra óptica receptora será la luz que es reflejada desde la superficie del área de intersección de los dos conos de aceptación de las fibras ópticas (fig. 17). Esto resulta en una altura crítica ( $C_h$ ) la cual es la mínima altura a la que dos fibras ópticas deben encontrarse de una superficie para que la luz se reflecte y sea recibida por la fibra óptica de recepción. La altura crítica es una función de la NA de la fibra óptica y la separación entre las dos fibras ópticas.



*Fig. 17: Área de intersección de los conos de aceptación de las fibras ópticas.*

Para los dientes, mientras la sonda del Easyshade esté tocando la superficie o se encuentre a una distancia menor a la altura crítica, ninguna luz que sea reflejada de la superficie del diente (reflexión especular) puede ser recibida y transmitida a los espectrómetros, afectando adversamente a la medida del color. Esto incluye la luz que es reflejada desde la superficie interna de la barrera de control.

Ya que la luz reflejada desde la superficie del diente no es recibida por la fibra receptora, según datos que entrega el fabricante, la sonda del Easyshade no sería sensible a las irregularidades de superficie, ni al ángulo relativo de la sonda



*Fig.18 Sonda EasyShade*

La sonda del Easyshade (fig. 18) contiene múltiples fibras ópticas receptoras ubicadas a diferentes distancias de la fuente de luz, acopladas a dos espectrómetros, las cuales varían la profundidad efectiva de medición del color entre dientes o restauraciones cerámicas. Como resultado, la longitud de onda de los rayos de luz son diferentes para los dos espectrómetros. Las restauraciones cerámicas generalmente poseen un grosor menor a 1.5 mm y las capas de dentina y opaco tienen 0.2 a 0.4 mm de espesor. En el diente, la capa de dentina generalmente tiene de 1.0 - 1.5 mm desde la superficie externa del diente. El diseño de la sonda depende del material y el usuario debe seleccionar el modo de medición también basado en el material (diente natural, cerámica o tabletas de colores). Los espectros de los dos espectrómetros son matemáticamente combinados dependiendo del material para producir un espectro “principal” que represente a dicho material.

#### **2.4.3.5 Cálculo del Color y valores Tristimulus**

El resultado que dan los espectrómetros es convertido en una curva espectral de reflectancia por la CPU (fig. 19). Una curva espectral de reflectancia indica, a una longitud de onda específica, el porcentaje de luz que es absorbida o reflejada por un material y define las propiedades de color de éste. La curva espectral de reflectancia es independiente del iluminante y del observador. La CPU convierte la curva espectral de reflectancia a la nomenclatura del espacio de color, tal como la CIE  $L^*a^*b^*$ , basado en un iluminante y observador específico. La salida CIE  $L^*a^*b^*$  del Easyshade está basado en el iluminante D65 y en un observador estándar de 2 grados (denominado así por la CIE 1931 en función a los estímulos que activaban una área de la retina con un ángulo visual de dos grados). Para ser técnicamente exactos, cuando se entregan resultados  $L^*a^*b^*$ , el iluminante y el observador deben ser incluidos con los resultados de esta manera: D65 2 grados  $L^*a^*b^*$ . Además, es también apropiado incluir la geometría de medición de los instrumentos junto con los resultados. En general, no existe gran correlación entre los diferentes productores de instrumentos. Esto se debe a los diferentes tamaños de las áreas de medidas y a los ángulos de visión e iluminación.

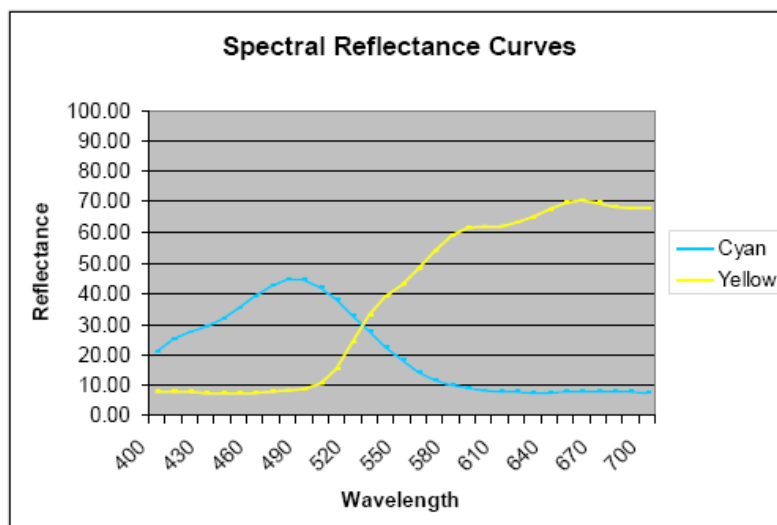


Fig. 19: Curva de Reflectancia Espectral

El Easyshade está diseñado y optimizado para materiales dentales que tiene un grosor mínimo de 0,7 mm y para la mayoría de los rangos de translucidez de los dientes. La translucidez del diente es determinada por un análisis de medidas dependientes de la translucidez hechas como parte del proceso de medición del Easyshade.

## 2.4.4 Cámaras Digitales

Desde hace relativamente poco tiempo las cámaras digitales han adquirido cada vez mayor relevancia en el mundo de la fotografía, ya sea profesional o aficionada, ciertas ventajas la han hecho merecedora de la inclinación de los usuarios al momento de comprar una cámara fotográfica, en desmedro de la antigua cámara fotográfica convencional.

### 2.4.4.1 Funcionamiento

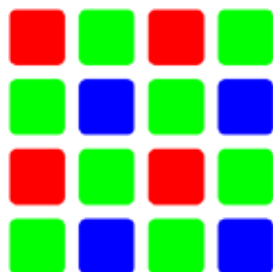
En sí una cámara digital (fig. 20) cuenta con los mismos conceptos que tiene una cámara convencional, estos son un lente, un obturador pequeño que deje pasar una cantidad suficiente de luz, y un sistema de recepción de la luz, en las cámaras convencionales es el film de celuloide, en cambio en las cámaras digitales es un sensor electrónico foto excitable, que convierte la energía lumínica en energía eléctrica. Este sensor en el caso de las cámaras digitales puede ser de dos tipos, el más común llamado CCD (Changed Couple Device) también llamado *dispositivo de acoplamiento de carga* o *circuitos sensibles a la luz* y el otro sistema llamado CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) o *semiconductores de óxido de metal* el cual es menos utilizado, aunque es mas barato, pero muestra una deficiencia en la calidad de imagen. El sensor CCD está compuesto por miles de pequeños elemento fotosensibles llamados “puntos de fósforo” los cuales reciben la luz que ha dejado pasar el obturador y que viene a través del lente de la cámara, los puntos de fósforo son los encargados de convertir la energía lumínica en eléctrica, y lo hacen proporcionalmente a la intensidad del haz lumínico por el cual son excitados, de esta manera enviaran un impulso mayor mientras mayor sea la intensidad, o concentración de

haces de luz que reciban. Antes de llegar al punto de fósforo la luz es filtrada, dejando pasar a un punto de fósforo un haz que puede ser solamente verde, azul o rojo. Así un punto de fósforo es sensible específicamente para una longitud de onda determinada, discriminando la intensidad lumínica como se mencionó anteriormente.



*Fig. 20: Cámara Digital*

El ojo humano es mas sensible al color verde, es por esta razón que los puntos de fósforo que son sensibles para la longitud de onda correspondiente al color verde es el doble que para el color azul o para el color rojo, de esta configuración nace la pauta de Bayer (fig. 21) donde se disponen en columnas los filtros siendo una columna enteramente verde, otra compuesta de filtros azules y rojos intercalados, otra completamente verde, y así sucesivamente. De esta forma si extraemos una porción de esta pauta que correspondiera a cuatro puntos de fósforo obtenemos un píxel (picture element) el cual está compuesto por dos filtros verdes, uno azul y otro rojo.



*Fig. 21: Pauta de Bayer*

Luego de tomar una fotografía y ser excitados los puntos de fósforo, éstos son convertidos en una fracción de segundo en información eléctrica transfiriéndose a una zona de almacenamiento y luego a la memoria de la cámara, seguido de esto las cargas eléctricas se convierten en un valor numérico entre 0 y 255 que representa el color. Esta analogía digital conserva el orden de los valores para que los píxeles queden correctamente posicionados al conformar la imagen.

Mediante un proceso de comparación que realiza la cámara entre los valores numéricos de uno de los píxeles con sus ocho posibles vecinos, se determina finalmente cual es el verdadero color de cada píxel, a este proceso se le denomina “interpolación”.

Como última fase la imagen se comprime, existen variados formatos dentro de los cuales el JPEG es el más comúnmente utilizado. Esta función la realiza un procesador DSP o procesador de señal digital, encontrados comúnmente en los computadores.

Las cámaras digitales, pueden ser usadas como un método válido de comunicación con el laboratorio. Al obtener una imagen del diente y su posterior procesamiento computacional, se puede analizar los valores de color de las diferentes zonas del diente y así compararlas con referencias de color predeterminadas.

### **3. Sistemas computacionales para la fabricación de restauraciones**

La fabricación de restauraciones cerámicas ha evolucionado de la misma forma que el proceso de la toma de color, tomando provecho de los nuevos avances tecnológicos mejorando la eficiencia de este proceso y disminuyendo consecuentemente los tiempos clínicos.

Uno de los aspectos a los cual rehabilitadores y pacientes, ponen énfasis a la hora de programar una restauración es al tiempo clínico que ésta va a demorar. El número de sesiones se transforma en un aspecto importante a la hora de determinar los costos que la atención puede llegar a tener por sesión para el odontólogo, el que se verá reflejado en el costo para el paciente. Desde esta perspectiva es que se enmarcan las talladoras robóticas, como es el caso del sistema Cerec 3.

Éste es un sistema CAD/CAM modular para efectuar restauraciones totalmente cerámicas en una sola sesión y en su propia consulta, lo cual significa una disminución del costo relativo de un tratamiento. El uso de una máquina que talle las restauraciones en base a un diseño computacional permite además que una restauración, si es necesario, pueda ser repetida indefinidamente conservando cada vez sus cualidades de forma y tamaño, capacidad que es aprovechada en el presente estudio.

#### **3.1 Sistema cerec 3**

El sistema Cerec ® (fig. 22, 23) de la compañía Sirona Dental Systems GMBH (anteriormente Siemens Dental) ha sido usado clínicamente desde 1986, su nombre proviene de CERamic REConstruction, hoy en día Cerec significa “Chairside Economical Restorations of Esthetic Ceramics”, éste es un sistema CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacturing) más pequeño ideado para consultas odontológicas, compuesto por una fresadora mecánica separada de un scanner para impresión 3D, como el Sirona InEos® (Sirona Dental

Company: [www.sirona.com](http://www.sirona.com)), éste sistema es controlado mediante un programa computacional (Sirona InLab), con el fin de obtener una restauración inmediata desde un bloque cerámico, evitando así la etapa de laboratorio en la confección de restauraciones cerámicas convencionales. El hecho de que las unidades de impresión y de tallado estén separados le permite al clínico mayor flexibilidad y un aprovechamiento mejor de su tiempo.



*Fig. 22 Sistema Cerec ®*

Varias son las empresas que fabrican bloques de cerámica de una alta calidad para ser utilizados con el sistema Cerec ®, una de éstas es la empresa Vita con su producto VITABLOCS ®, los cuales se dividen en diferentes tipos según los requerimientos estructurales, como estéticos dependiendo de donde serán finalmente utilizados.



*Fig. 23 Fresas talladoras CEREC 3*

Los VITABLOCS ® (fig. 24) que existen hoy en día en el mercado son:

- ZIRCONIA
- VITABLOCS ALUMINA
- VITABLOCS SPINELL
- VITABLOCS ESTHETIC LINE
- VITABLOCS MARK II, estos últimos serán estudiados en profundidad pues se convertirán en el objeto a medir en el presente trabajo.

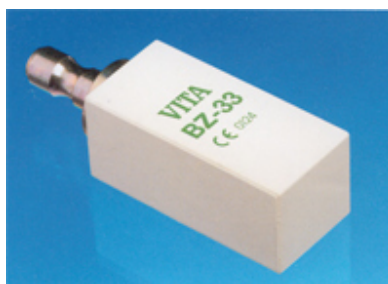
Los CEREC VITABLOCS MARK II han estado disponibles en el mercado mundial desde 1991. Estos bloques son considerados como uno de los más resistentes a la abrasión dentaria en cuanto a las cerámicas que existen, y esta característica está dada tanto por el procesamiento industrial como por el tamaño de partícula que la compone (4µm). Estas partículas feldespáticas están incluidas uniformemente en una matriz de vidrio, mediante un procesamiento industrial de confección sometidas a una temperatura de 1170°C asegurando una micro estructura más homogénea en relación a las cerámicas convencionales de laboratorio. Posee una alta resistencia flexural de 150 MPa y una translucidez relativamente alta. Aunque los VITABLOCS ESTHETIC LINE tienen una mayor translucidez, estos tienen la desventaja de realizarse en un solo tono (1M1), en cambio la serie MARK II se encuentra en diez tonos que corresponden a la guía de colores Vita 3D-Master, incluyendo el tono extra blanco usado generalmente en dentaduras blanqueadas.

Los colores disponibles en relación al sistema 3D-Master son los siguientes:

0M1; 1M1; 1M2; 2M1; 2M2; 2M3, 3M1; 3M2; 3M3; 4M2.

Los bloques VITABLOCS ® vienen de diferentes tamaños, según el tipo de restauración a confeccionar, los tamaños que se pueden observar en el mercado son:

15 x 12 x 5 mm.; 18 x 12 x 7 mm.; 15 x 8 x 8 mm.; 15 x 10 x 8 mm.; 15 x 12 x 10 mm.; 18 x 14 x 12 mm.; y por último 15 x 11 x 10 mm.



*Fig. 24 Bloque Cerámico Mark II*

Una vez obtenida la restauración indirecta del sistema CEREC ® se puede caracterizar mediante tinciones externas seguido de un proceso de glaseado, en el caso del presente trabajo solo se glaseará la restauración obtenida de manera que se obtenga una restauración monotonal.

Producto de estos nuevos avances tecnológicos en odontología, cabe cuestionarse la eficiencia que poseen estos sistemas para cumplir con su propósito. En el siguiente seminario de tesis se tratará de dilucidar si estos nuevos métodos para la toma de color son en verdad mejores que los ya existentes. Para esto se comparará la toma de color a través del muestrario Vita 3D-Master®, con el espectrofotocolorímetro EasyShade® y el uso de la fotografía digital como medios para la obtención del color en coronas libres de metal fabricadas mediante el sistema Cerec®.

### **III. Objetivos**

#### Objetivo General:

- Establecer cual de los sistemas de medición es el más eficaz en la determinación del color de restauraciones cerámicas completas confeccionadas mediante el sistema Cerec 3®

#### Objetivos Específicos:

1. Evaluar la asertividad de cada sistema bajo diferentes situaciones de luz.
2. Determinar el grado de repetibilidad dentro de cada uno de los sistemas.
3. Dilucidar cual de los sistemas es el más estable, respecto de sus resultados, al someterlas a diferentes fuentes de luz en oportunidades diferentes.
4. Analizar las diferencias en la percepción del color entre observadores.
5. Comparar la asertividad entre los métodos realizados con observadores humanos y los sistemas digitales.

## IV. Materiales y métodos

### 1. Diseño

El presente seminario de tesis se enmarca dentro de los estudios observacionales de concordancia, más específicamente de conformidad con patrón de oro. Para este fin se definió como patrón de oro a los colores entregados por la casa comercial Vita® para su serie de Vitablocks Mark II, pues este tipo de bloques de cerámica vienen desde su manufactura medidos, bajo estándares óptimos de calidad en cuanto a iluminante y a objeto de medición.

Los colores disponibles en el mercado de los Vitablocks Mark II son 0M1, 1M1, 1M2, 2M1, 2M2, 2M3, 3M1, 3M2, 3M3, y 4M2. Todos estos colores fueron incluidos dentro del estudio.

### 2. Materiales

Con diez bloques de cerámica de la serie Vitablocks Marck II, uno de cada color disponible en el mercado, se confeccionaron diez coronas cerámicas libres de metal. Estas coronas cerámicas se realizaron utilizando el sistema Cerec 3® y fueron cementadas sobre preparaciones dentarias realizadas en un modelo ideal.

Se confeccionó una preparación dentaria del diente 1.1 (8), en un modelo de dentadura ideal de la marca Columbia Dentoform, según las siguientes consideraciones: un desgaste de 2 mm. por la cara vestibular y palatina, con un escalón cervical de 2mm. por toda la periferia de la preparación y un desgaste de 2 mm. del borde incisal del diente como se recomienda para el sistema Cerec3®.

Una vez obtenido el muñón dentario correspondiente al diente 1.1 se tomó una impresión del modelo ideal, abarcando el zócalo, mediante la técnica simultánea utilizando silicona liviana y pesada por condensación. Este procedimiento se realizó diez veces. Posteriormente se vaciaron las diez impresiones, primero en acrílico de autocurado marca Marche color universal (N°46) la parte correspondiente a los dientes; luego en acrílico rosado de autocurado (de la misma marca) la parte correspondiente al paladar, mucosa vestibular y la periferia del zócalo, y por último en yeso piedra Velmix ® la parte interna del zócalo. Así se obtuvieron diez modelos exactamente iguales al modelo ideal.

En el laboratorio se confeccionaron diez coronas (fig. 25) mediante el sistema Cerec 3®. Las coronas hechas a partir de los bloques cerámicos se diseñaron en el software Sirona inLab®, a través de una impresión óptica de la preparación del diente 1.1 del modelo ideal, mediante el sistema CAD/ CAM Sirona inEos®. Se le ordenó a la fresadora de la máquina que reprodujera el diseño de la corona diez veces. Una vez obtenidas las diez coronas se glasearon a 910° C con el glaseador AKZ translúcido. De esta forma todas las coronas de cerámica de los Vitablocks fueron iguales en anatomía y tamaño, solo variando en color.

Las coronas fueron cementadas, de acuerdo a las instrucciones del fabricante, con cemento fotodual de color universal marca Altus (Confí-Dental) obteniendo con esto, diez cuerpos de prueba (fig. 26). Cada cuerpo de prueba fue asignado con un número y se guardó en sobres sellados la información referente al color de cada corona de cerámica de la serie Vitablocks Mark II, obteniendo de esta manera un doble ciego en el estudio.



*Fig. 25 Corona Cerámica Cerec*



*Fig. 26 Cuerpo de prueba*

### 3. Procedimientos

Para realizar las mediciones en toma de color y obtener los datos para el estudio, se midió el color de cada uno de los diez cuerpos de prueba empleando tres sistemas de medición. Primero uno visual análogo, mediante el uso de guías de color Vita 3D-Master® y tres observadores, otro utilizando el sistema Vita Easyshade®, que corresponde a un espectrofotocolorímetro, y por último un sistema de medición fotocolorimétrico, utilizando fotografías tomadas a los cuerpos de prueba con una cámara digital Nikon Coolpix 5400® y su posterior procesamiento con el programa computacional Adobe Photoshop 8.0®, para obtener mediante una serie de formulas matemáticas, el color final correspondiente al cuerpo de prueba. Se utilizó la guía de color Vita 3D-Master pues se encuentra sistemáticamente ordenada en el espacio tridimensional de color. La intervención de tres observadores en este estudio intenta disminuir la subjetividad inherente al sistema visual análogo, disminuyendo la influencia de los diferentes factores asociados con la visión en un solo individuo. El uso del sistema Vita EasyShade® se debió a que es uno de los más populares en Chile y pertenece a la misma casa comercial que fabricó los cuerpos de prueba utilizados en este estudio. La Cámara digital Nikon Coolpix 5400® fue elegida ya que posee un lente macro y medidas de exposición ajustables según los requerimientos de esta investigación.

Estos tres sistemas fueron sometidos a tres situaciones lumínicas diferentes, la primera denominada “luz ideal”, la segunda “luz de consultorio” y la tercera “luz día”. Las mediciones tomadas en las diferentes situaciones lumínicas fueron realizadas un total de tres veces por situación lumínica. Con esto se obtuvo un total de 450 datos los cuales se tabularon en forma nominal usando la nomenclatura de las guías de color Vita 3D-Master en un instrumento diseñado especialmente para este propósito (*Fig. 27*). Posteriormente los datos fueron analizados e interpretados.

	Diente	P1	P2	P3	M1	M2
Dia 1	Luz Ideal					
	Luz Consultorio					
	Luz Dia					
Dia 2	Luz Ideal					
	Luz Consultorio					
	Luz Dia					
Dia 3	Luz Ideal					
	Luz Consultorio					
	Luz Dia					

Fig. 27 Instrumento usado para la tabulación de los datos.  
(Coeficiente de confiabilidad de Cronbach, =0,8754)

El sistema visual análogo fue probado mediante tres observadores, docentes de la Cátedra de Prótesis Fija de la Facultad de Odontología de la Universidad de Valparaíso, con más de cinco años de experiencia en el proceso de toma de color, sin patologías visuales, todos de género masculino, y de un rango etario de entre los 30 y 35 años. Además se les realizó el test de Ishihara para captar algún grado de daltonismo, confirmando que los observadores no tenían problemas en la percepción del color.

Cada uno de los observadores usó una guía de colores Vita 3D-Master, compatibles con los colores con los cuales se habían fabricado los bloques de cerámica de la serie Vitablocks Mark II. Estas guías de colores fueron medidas previamente con un espectroradiómetro modelo RPS 380, de la International Light® (Fig. 28), en el Departamento de Fotometría de la Universidad Católica de Valparaíso, con el objeto de pesquisar diferencias sutiles de color y asegurar así que los tres muestrarios utilizados por los observadores fuesen iguales. Estas mediciones realizadas a las guías de color 3D-Master fueron tomadas bajo diferentes situaciones de luz, determinándose que la variabilidad existente en un mismo color de diente entre los diferentes muestrarios era casi nula, variando en un 0,05%, el cual es un rango imperceptible para el ojo humano.



Fig. 28 Espectroradiómetro RPS-380, International Light®.

La primera situación de luz fue una caja de iluminación, con un iluminante cercano al D65, al que se le denominó **luz ideal**. Esta caja mide 35 x 53 x 80 cm. y esta forrada con terciopelo negro, para disminuir la reflectancia del fondo al mínimo y que ésta no afectara al cuerpo de prueba. Cuenta en el centro de su parte superior con un foco de descarga de 500 W y un tubo fluorescente de 60 W luz día, para equilibrar la luz emitida por el foco y ablandar las sombras, lo que da una sensación de luz similar a la del iluminante D65 (fig. 29). El otro iluminante que se utilizó en este estudio, fue un tubo fluorescente Philips ® 0650 luz día de 60 W. A esta situación se la denominó **luz de consultorio**. La tercera situación lumínica fue la luz del sol del mediodía de un día nublado y se denominó **luz día**.



*Fig. 29: caja de iluminación.*

Una vez establecida la concordancia y la estandarización de las guías de colores Vita 3D-Master, se procedió a la toma de color de los cuerpos de prueba.

La toma de color de los cuerpos de prueba con el **sistema visual análogo** se realizó primero bajo la situación lumínica de **luz ideal**. Para este efecto se pidió a los observadores que buscaran dentro de los muestrarios 3D-Master el color que más se asemejara con el del cuerpo de prueba, utilizando la técnica descrita por el fabricante para esta guía de color. El cuerpo de prueba se encontraba ubicado dentro de la caja de iluminación apoyado en un pedestal especialmente confeccionado para tal efecto. Este pedestal tenía una inclinación de 45°, asegurando que la luz proveniente desde la fuente lumínica incidiera en la corona libre de metal en dicha angulación, eliminando sombras provenientes del zócalo y reflejos para el observador, quién se encontraba a la altura de la corona y con su eje visual paralelo a la base inferior del pedestal. Esta experiencia de toma de color se realizó en tres días distintos, para medir el grado de repetibilidad de cada uno de los observadores. Los cuerpos de pruebas fueron presentados a cada observador de manera aleatoria, para disminuir el fenómeno del cansancio visual y de memorización. Cada observador completó diez datos correspondientes a los diez cuerpos de prueba en cada oportunidad. Los

datos obtenidos en la nomenclatura 3D-Master fueron tabuladas en plantillas especialmente creadas para luego ser analizadas estadísticamente (fig. 27).

La segunda situación lumínica con la que los observadores realizaron la toma de color de los cuerpos de prueba, fue la **luz de consultorio**. Para esto se dispuso de un cuarto donde en su techo, a una altura de 2,30 m, se ubicaron dos tubos fluorescentes Phillips 0650 luz día de 60 W. Los cuerpos de prueba, apoyados en el pedestal, fueron puestos bajo la fuente lumínica a una distancia de 1,70 m. (60 cm. del suelo). Las mediciones se realizaron en la noche para evitar cualquier posibilidad de que otra fuente de luz alterara los datos. Cada cuerpo de prueba fue medido por el primer, segundo y tercer observador de manera aleatoria, como se había medido en la situación de luz ideal. De la misma forma se llenaron los datos obtenidos en la plantilla y la experiencia se repitió otras dos veces.

La última situación de luz bajo la cual se realizó la toma de color con el sistema visual análogo, fue la **luz día**. Para tal efecto las mediciones se realizaron en un espacio abierto sin proyección de sombras. Los observadores fueron citados al mismo tiempo. Una vez situado el cuerpo de prueba en el pedestal a una altura de 60 cm. del piso, se le solicitó al primer observador que realizara la toma de color, luego la realizó el segundo y tercer observador en el mismo modelo. Una vez culminado con el primer cuerpo de prueba, se cambió por otro elegido al azar y se continuó de la misma forma hasta completar los diez modelos, de esta manera se evitó que los datos fueran influenciados por la variabilidad de la fuente lumínica con el transcurso de los minutos y se logró que cada cuerpo de prueba fuera medido con la misma calidad de luz por cada observador. Los datos fueron traspasados a la plantilla y la experiencia se repitió en otros dos días.

El segundo de los métodos de medición empleado para la toma de color en este estudio fue un espectrofotocolorímetro, conocido como **sistema Vita Easyshade®**. Para estas mediciones se repitieron las mismas condiciones que para el sistema visual análogo, bajo las tres fuentes lumínicas y en tres días diferentes para evaluar la repetibilidad del sistema. Las mediciones fueron hechas siguiendo las indicaciones del fabricante, calibrando la máquina entre mediciones y posicionando la punta sobre el tercio medio de cada diente. Cabe destacar que con este sistema se realizó en cada cuerpo de prueba sólo una medición por condición lumínica en cada día. Los cuerpos de prueba fueron ordenados al azar y los datos anotados en la plantilla.

El último de los métodos empleados fue el **sistema fotolorimétrico** con la cámara digital Nikon Coolpix 5400 y el programa computacional Adobe Photoshop 8.0 ®. El lente de la cámara, la cual estaba ubicada en un trípode, se posicionó a la altura de la corona a medir y con su foco dirigido hacia el centro del cuerpo de prueba, a una distancia de 7,5 cm., con el programa de la cámara en manual y con el balance de blancos en automático. Se tomaron las fotografías de los cuerpos de prueba ubicados en el pedestal lo que les daba una angulación de 45° respecto al piso, obteniéndose una iluminación óptima. Las mediciones de color para cada cuerpo de prueba se realizaron en tres días diferentes y bajo las tres condiciones lumínicas. Las fotografías fueron procesadas con el programa computacional Adobe Photoshop 8.0 ®, el cual permite saber los valores en la escala RGB de cualquier punto de la fotografía, de esta manera se eligió el punto central del noveno medio de cada diente fotografiado, obteniéndose un valor RGB para los cuerpos de prueba. Una vez obtenidos los datos en RGB se traspasaron mediante el programa computacional Color Converter 1.3 de la SpectraShop®, a datos en la escala CIE Lab. Es

importante recalcar que el programa Adobe Photoshop 8.0 ® puede entregar los valores en la escala CIE Lab, pero el valor L tiene un rango de 0 hasta los 255, y la escala utilizada para las medidas del presente trabajo para el valor L van de 0 a 100.

El procedimiento para traspasar los datos de los cuerpos de prueba obtenidos en escala CIE Lab a la nomenclatura 3D-Master fue el siguiente:

1. Se tomaron fotografías a cada uno de los dientes de la guía de color 3D-Master en las tres diferentes situaciones lumínicas y de cada fotografía se obtuvo el valor en RGB, el cual mediante el programa Color Converter 1.3 se traspasó a la escala CIE Lab, así se contó con la información de los valores en CIE Lab de los dientes de la guía de color 3D-Master y los CIE Lab de los cuerpos de prueba.
2. Con los datos de la escala CIE Lab de los cuerpos de prueba y los dientes de la guía 3D-Master fue posible dilucidar el color en la escala 3D-Mater de los cuerpos de prueba, mediante la formula del Delta E ( $\Delta E$ ), la cual sirve para saber que tan diferentes son dos colores, asumiendo que la diferencia de este delta equivale a la distancia entre estos colores, si los situamos en el espacio de color tridimensional CIE Lab. De esta forma un delta E cero correspondería a una igualdad absoluta entre dos colores.

$$\Delta E = \sqrt{(L1-L2)^2 + (a1-a2)^2 + (b1-b2)^2}$$

3. Se traspasaron los datos de CIE Lab de la guía de color 3D-Master a la formula del delta E ( $\Delta E$ ) de la CIE de 1976 y se dejaron como referencias L1, a1, b1.
4. De la fotografía del cuerpo de prueba uno tomada el primer día, se pasó a esta formula el valor CIE Lab como L2, a2, b2.
5. Al aplicar la fórmula del delta E para cada dato de color de los 29 dientes presentes en la guía de color 3D-Master, el valor más cercano al cero fue asumido como el color del cuerpo de prueba en esa fotografía. Esto se hizo en la fotografía tomada el segundo y tercer día del diente 1, y para cada diente con sus tres fotografías (anexo 7).

Así se pudo obtener en la nomenclatura 3D-Master el valor de cada fotografía, una vez hecho esto se anotó en la plantilla, terminando así de tabular la plantilla de datos nominales. Estos datos se pudieron medir en base a aciertos y errores, una vez abiertos los sobres sellados que contenían el valor real de cada cuerpo de prueba.

Los datos tabulados fueron analizados estadísticamente usando el software Stata 9.2® y Microsoft Excel 2003®.

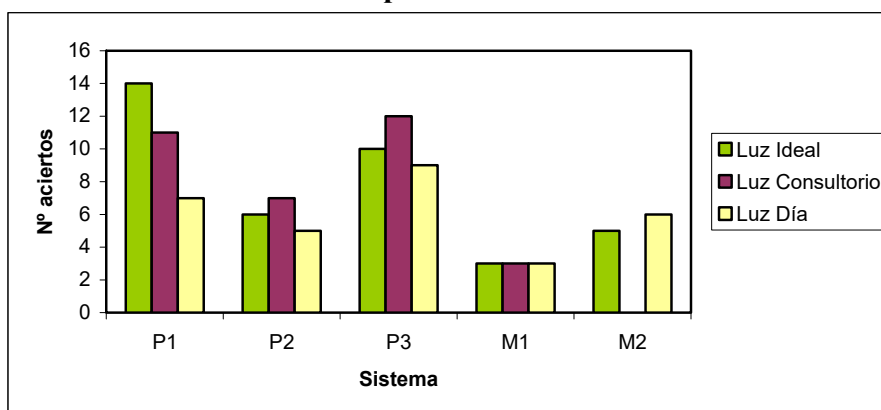
## V. Resultados

**Objetivo 1: Evaluar la asertividad de cada sistema bajo diferentes situaciones de luz.**

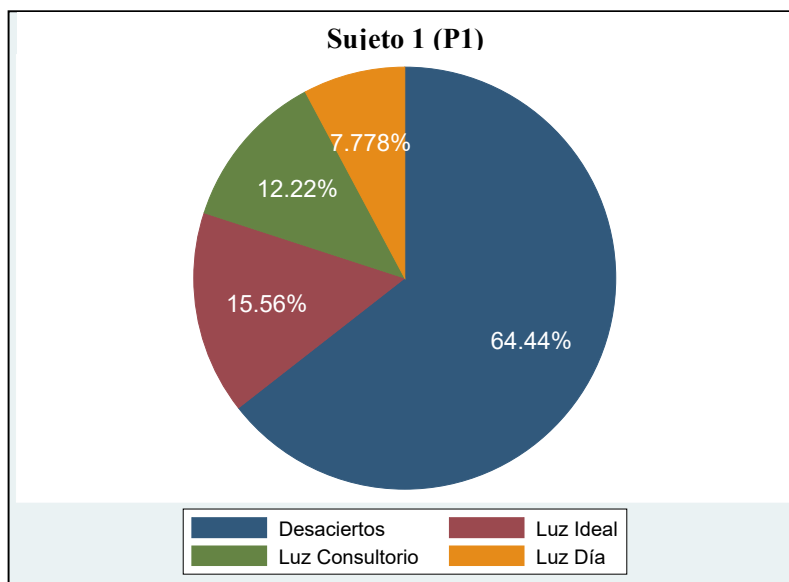
**Tabla N° II: Cuadro resumen de aciertos por sistema de medición y tipo de luz**

	P1	P2	P3	M1	M2	Suma
L. Ideal	14	6	10	3	5	38
L. Consultorio	11	7	12	3	0	33
L. Dia	7	5	9	3	6	30
Suma	32	18	31	9	11	101

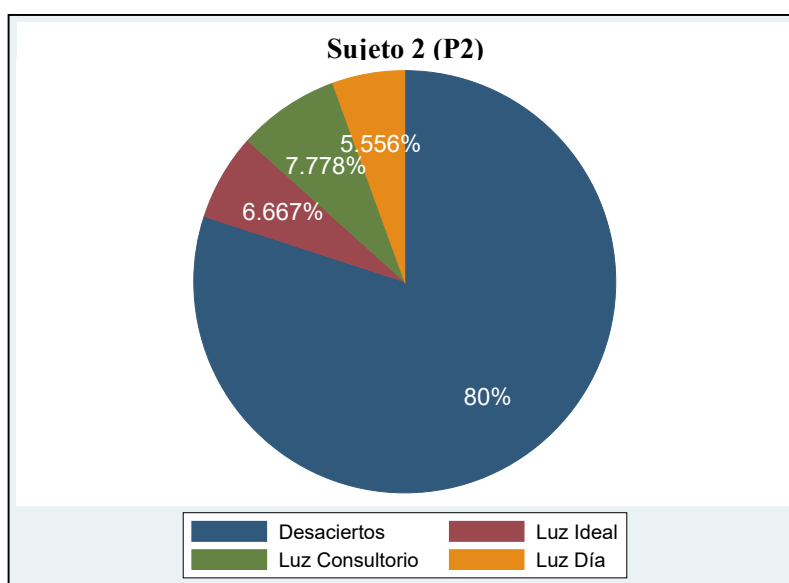
**Gráfico N° 2: Número de aciertos por condición de luz de los distintos sistemas**



Se puede apreciar que la mayor cantidad de aciertos es presentada por el sujeto 1 (P1) y el sujeto 3 (P3) en las tres condiciones de luz.

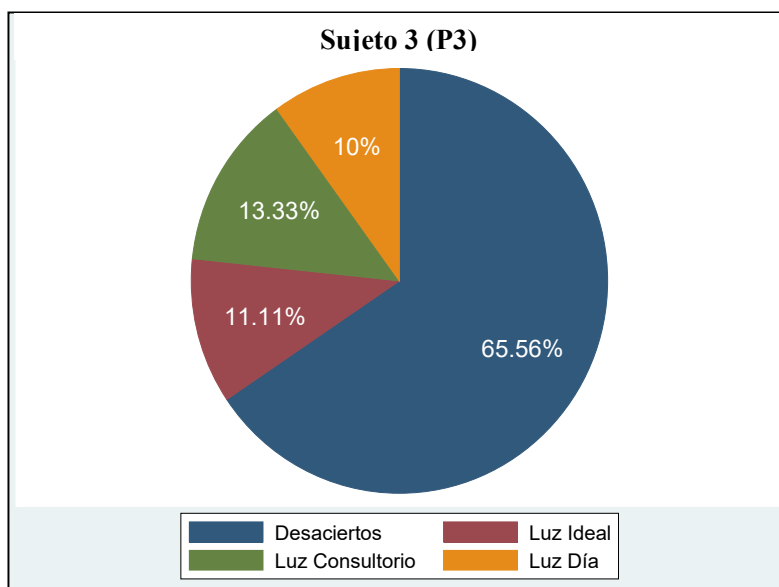
**Gráfico N° 3: Tasa de aciertos y desacierto de P1 para los distintos tipos de luz**

Al observar la distribución del comportamiento de aciertos en P1 para los distintos tipos de luminosidad, se puede apreciar que bajo condiciones de luz ideal éste logra un mejor desempeño en la toma del color con un 15.56% y bajo luz día se registra el menor grado de acierto en P1 con solamente un 7.78%.

**Gráfico N° 4: Tasa de aciertos de P2 para los distintos tipos de luz**

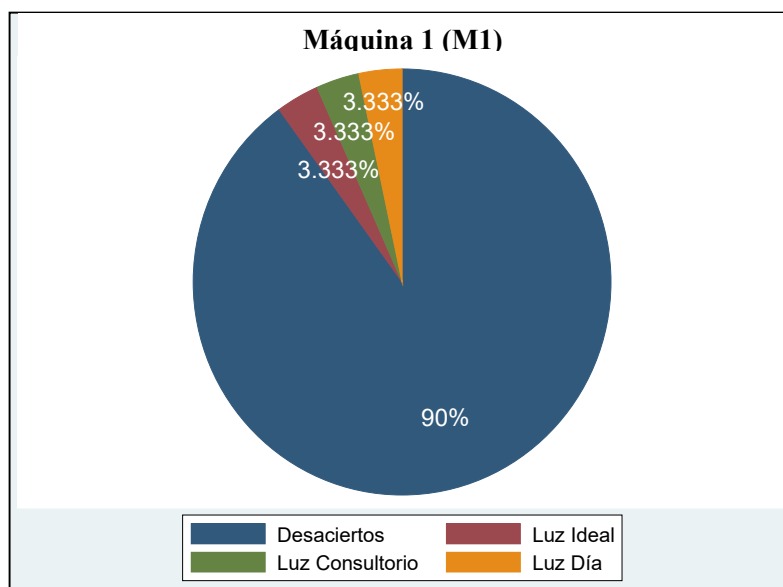
En P2 bajo condiciones de luz consultorio se ha registrado la mayor asertividad con un 7.78% y al igual que en el caso anterior predomina el bajo nivel para luz día (Gráfico N° 3)

**Gráfico N° 5: Tasa de aciertos de P3 para los distintos tipos de luz**



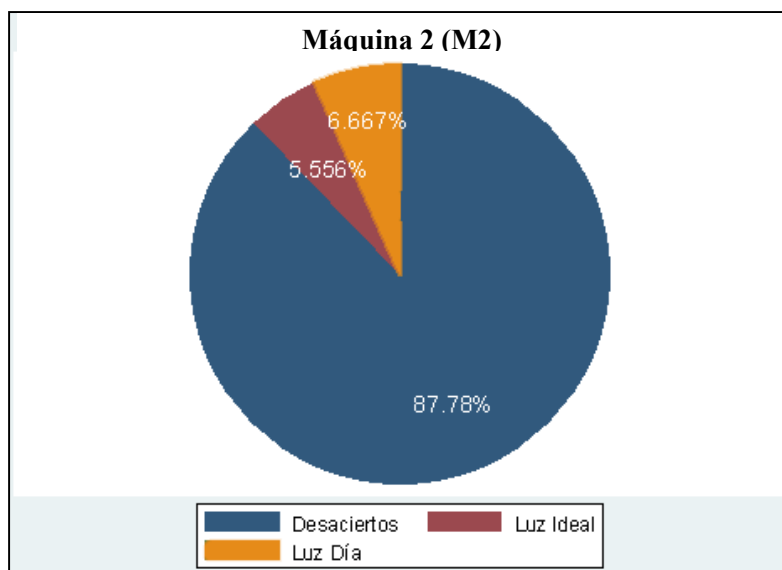
Se aprecia claramente que en P3 la mayor tasa de aciertos se registró cuando el tipo de luz era de consultorio marcando un 13.33% de efectividad, seguido por un 11.11% de luz ideal, para finalmente terminar con luz día con un 10%.

**Gráfico N° 6: Tasa de aciertos de M1 (EasyShade) para los distintos tipos de luz**



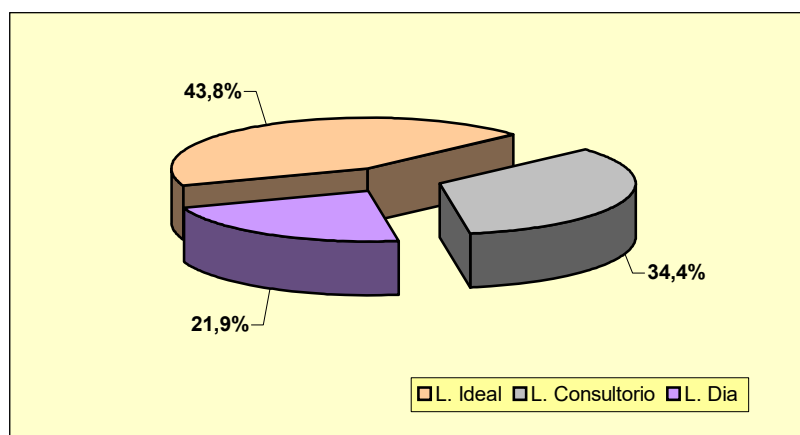
En M1 no hay presencia de un máximo, ya que bajo las tres condiciones de luz se observó igual número de aciertos.

**Gráfico N° 7: Tasa de aciertos de M2 (Cámara Digital) para los distintos tipos de luz**

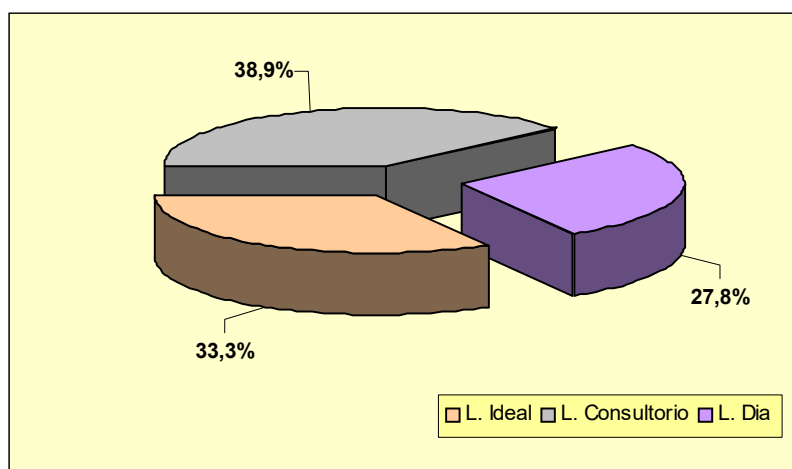


Para M2 se presenta el primer caso donde no se registró absolutamente ningún acierto bajo la luz de consultorio y a la inversa de los anteriores casos el más alto porcentaje se observó bajo condiciones de luz día.

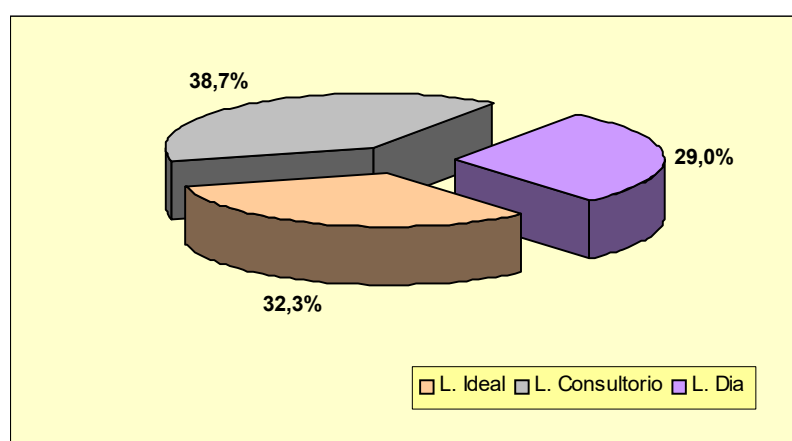
**Gráfico N° 8: Tasa de distribución de aciertos de P1 para los distintos tipos de luz**



**Gráfico N° 9: Tasa de distribución de aciertos de P2 para los distintos tipos de luz**



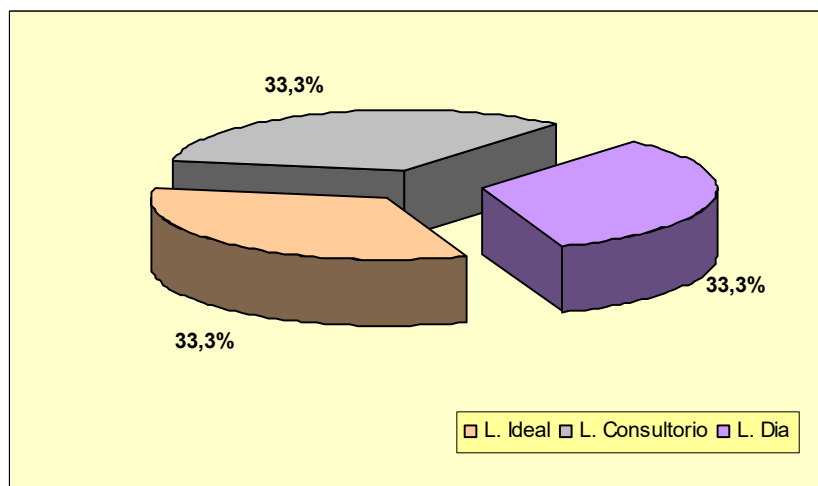
**Gráfico N° 10: Tasa de distribución de aciertos de P3 para los distintos tipos de luz**



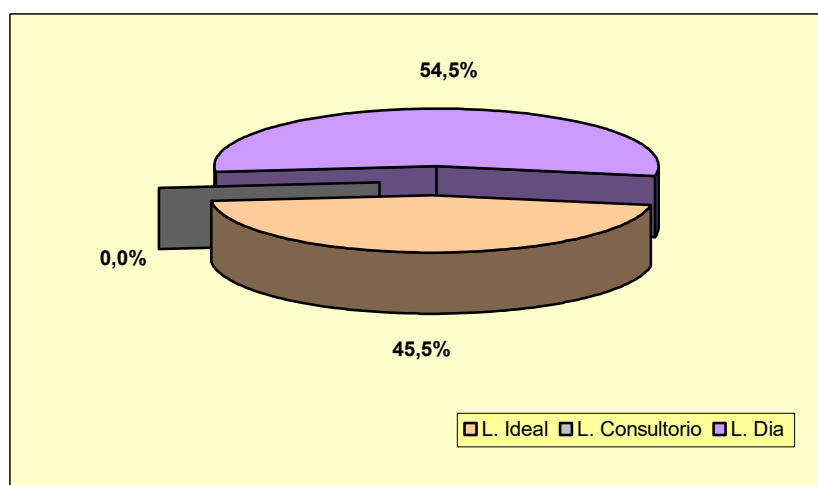
Hay que dejar de manifiesto que al analizar los gráficos 7, 8 y 9 los casos P1 y P3 son los más relevantes al momento de considerar las distribuciones de aciertos de los distintos sistemas de medición, para los distintos tipos de luz, ya que son estos los que registran un mayor valor de la tasa de aciertos.

Gráficamente, se puede decir que los observadores P1 y P3 son los más asertivos con respecto a sus resultados con 32 y 31 aciertos respectivamente, siendo 101 el total de aciertos registrados. Al ser estos sistemas sometidos a distintos tipos de luz, P1 se muestra más asertivo bajo condiciones de luz ideal, con un 43,8% de asertividad con respecto al total de aciertos; mientras que para P3 el sistema se presenta más asertivo bajo condiciones de luz consultorio con un 38,9% sobre el total de aciertos.

**Gráfico N° 11: Tasa de aciertos de M1 para los distintos tipos de luz**



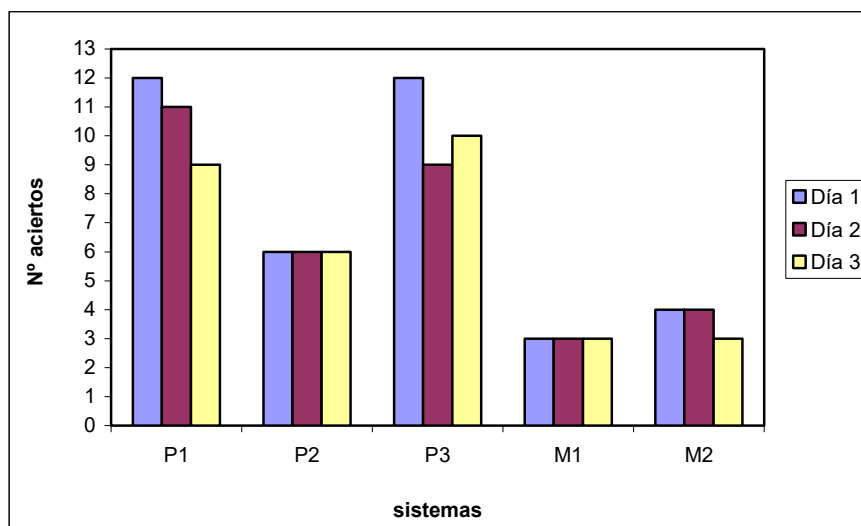
**Gráfico N° 12: Tasa de aciertos de M2 para los distintos tipos de luz**



**Tabla N° III: Cuadro resumen de aciertos por día y sistema**

	P1	P2	P3	M1	M2	Total
Día 1	12	6	12	3	4	37
Día 2	11	6	9	3	4	33
Día 3	9	6	10	3	3	31
Total	32	18	31	9	11	101

**Gráfico N° 13 Número de aciertos por día y sistema**



Se puede apreciar que en el día 1 se presenta la mayor cantidad de aciertos y estos corresponden al sujeto 1 y al sujeto 3. El sujeto 2 y la máquina 1 son los sistemas que se muestran más estables en cuanto a la cantidad de aciertos obtenidos por día.

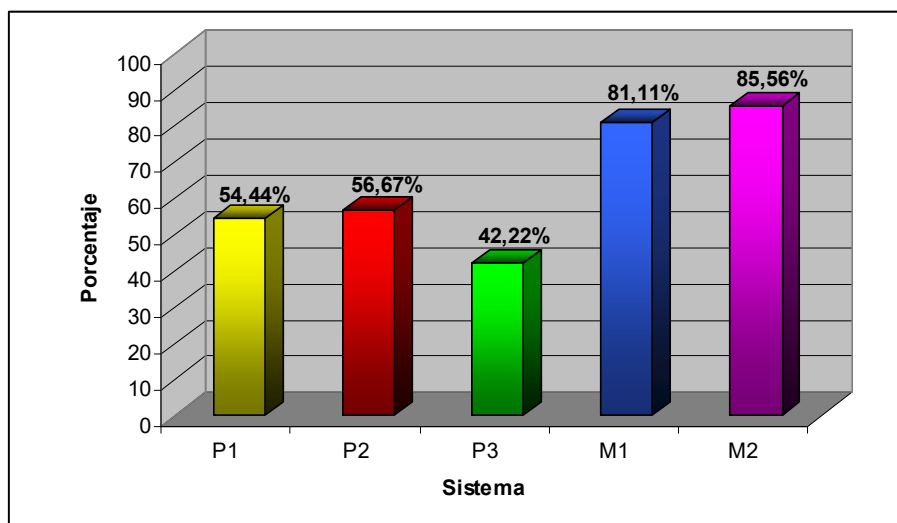
**Objetivo 2: Determinar el grado de repetibilidad de cada uno de los sistemas**

La repetibilidad se definió como la capacidad de un sistema de repetir un dato en el tiempo según la situación lumínica en la cual se realice la medición. Este análisis se obtuvo evaluando por sistema de medición el número de datos, que en una misma condición de luz se repitió por lo menos una vez en los diferentes días de medición, asignándole un valor de 2 cuando repitió una vez y un valor de 3 cuando repitió el mismo valor durante los tres días. Cabe destacar que los datos no necesariamente eran los acertados.

**Tabla N° IV: Cuadro resumen de repetibilidad por tipo de luz y sistema**

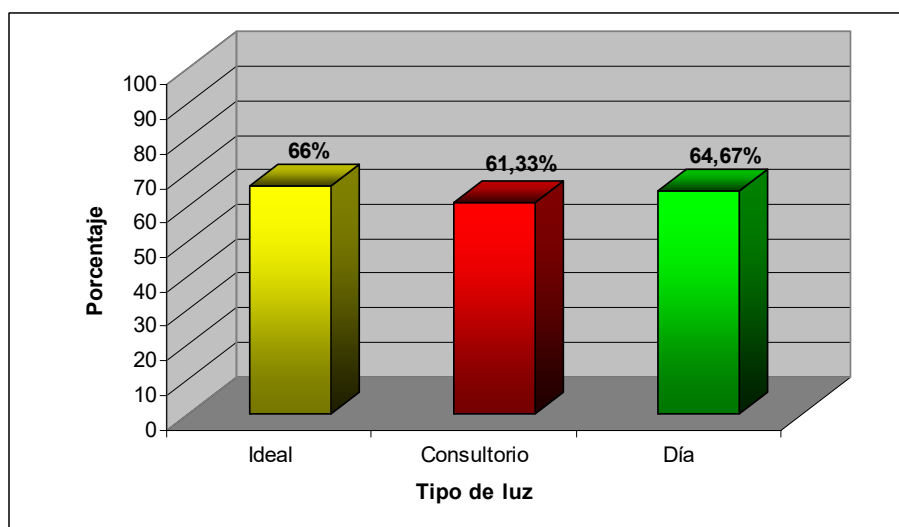
Luz/Sistema	P1	P2	P3	M1	M2	TOTAL
<b>Ideal</b>	18	15	15	27	24	99
<b>Consultorio</b>	13	17	11	24	27	92
<b>Día</b>	18	19	12	22	26	97
<b>TOTAL</b>	49	51	38	73	77	

**Gráfico N° 14: Porcentaje de repetibilidad por sistema**



Al analizar la repetibilidad de los sistemas, podemos apreciar que ambas máquinas son las que tienen el mayor porcentaje de repetición de algún dato, teniendo el mayor porcentaje la máquina 2. De los observadores el que presenta un mayor porcentaje de repetibilidad es el sujeto 2 seguido del sujeto 1.

**Gráfico N° 15: Porcentaje de repetibilidad por luz**

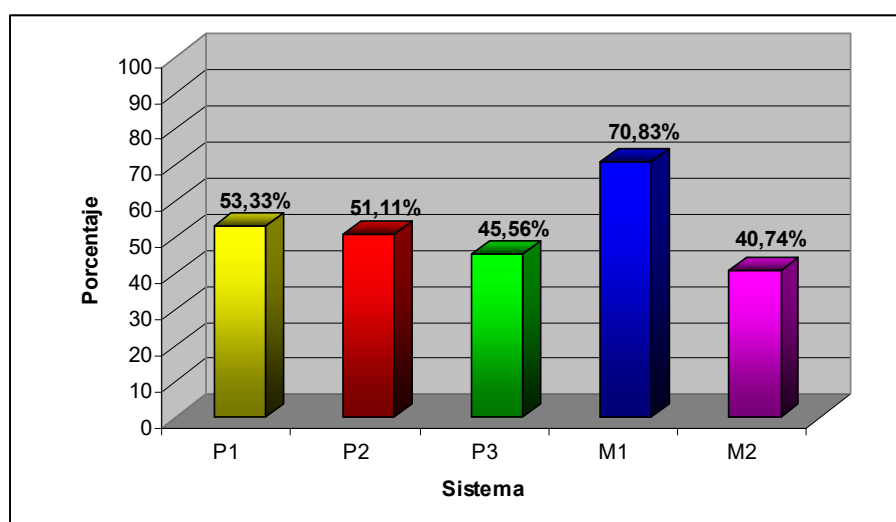


Al analizar la repetibilidad por tipo de luz, agrupando todos los sistemas, podemos ver que en general las tres luces tienen valores similares, siendo la luz ideal la que presenta un porcentaje mayor con un 66%, seguida de la luz día con un 64,67% y la luz consultorio con un 61,33%.

**Objetivo 3: Dilucidar cual de los sistemas es el más estable, respecto de sus resultados, al someterlas a diferentes fuentes de luz en oportunidades diferentes.**

Para obtener la tasa de estabilidad se tomo, dentro de cada muestra y por sistema de medición, el dato que más se repitió sin importar el día de la medición o la situación lumínica, asignándoles un valor de acuerdo al número de veces que se presentaba el dato mas repetido en un mismo diente. Luego se promediaron los datos obtenidos para cada sistema de medición entre el total de dientes medidos, para obtener el comportamiento de cada sistema sin importar el color a medir, y finalmente se sacó el porcentaje para el total de datos medidos en el estudio.

**Gráfico N° 16: Porcentaje de estabilidad según cada sistema**



El sistema que presenta una mayor porcentaje de estabilidad es la máquina 1 o EasyShade con un 70,83%. La máquina 2 fue la que obtuvo un menor porcentaje de estabilidad dentro de todos los sistemas, con un 40,74%. De los sujetos, el sujeto 1 fue el que muestra la mayor estabilidad, siendo también el segundo en estabilidad del ranking general, seguido por el sujeto 2, para terminar con el sujeto 3.

**Objetivo 4: Analizar las diferencias en la percepción del color entre observadores.**

**Tablas N° V, VI y VII: Cuadro resumen de resultados obtenidos por cada sujeto**

**Tabla N° V**

Sujeto 1	Frecuencia	Porcentaje
Desaciertos	58	64,44
Luz ideal	14	15,56
Luz consultorio	11	12,22
Luz día	7	7,78
<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

**Tabla N° VI**

Sujeto 2	Frecuencia	Porcentaje
Desaciertos	72	80
Luz ideal	6	6,67
Luz consultorio	7	7,78
Luz día	5	5,56
<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

**Tabla N° VII**

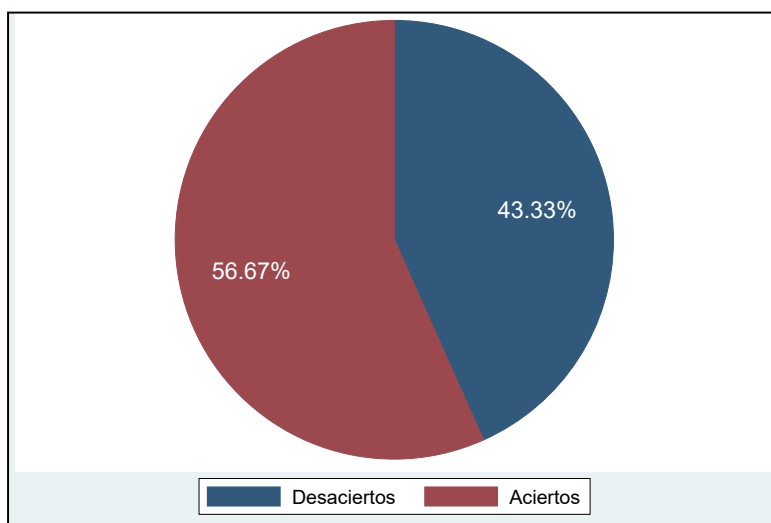
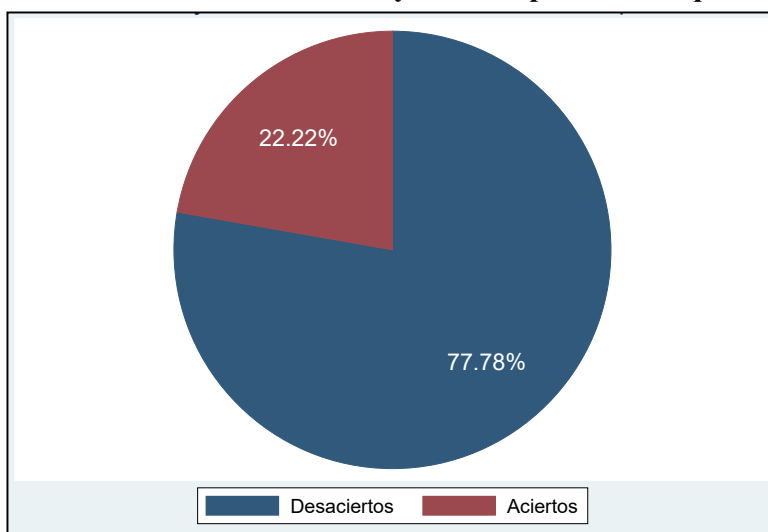
Sujeto 3	Frecuencia	Porcentaje
Desaciertos	59	65,56
Luz ideal	10	11,11
Luz consultorio	12	13,33
Luz día	9	10
<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

De las tablas anteriores podemos observar que el sujeto 1 es el que tiene un menor porcentaje de desaciertos o un mayor número de aciertos, seguido del sujeto 3 y por último el sujeto 2. Si lo vemos por luces, para la luz ideal, el sujeto 1 es quien muestra la mayor frecuencia de acierto con un porcentaje del 15,56%, seguido del sujeto 3 con un 11,11% y del sujeto 2 con un 6,67%. Para la luz consultorio y luz día el sujeto 3 es el que muestra la mayor frecuencia, seguido del sujeto 1, para terminar con el sujeto 2.

**Objetivo 5: Comparar la asertividad entre los métodos realizados con observadores humanos y los sistemas digitales.**

Para este análisis se creo una nueva variable que considera el numero total de aciertos y desaciertos, tanto para los sujetos como para las maquinas, es decir, se agruparon las respuestas tres sujetos en una nueva variable dicotómica (aciertos y desaciertos), la cual, es “aciertos” si alguno de los tres sujetos coincidía con el color real, esto se realizo para los 3 tipos de luz. Y es desacierto cuando ninguno de los tres sujetos acertaba con el color real. El mismo criterio se aplicó para las maquinas.

La razón de crear esta nueva variable es para comparar la observación humana (sujetos) versus las observación a través de maquinas, para ver cual es más efectiva.

**Gráfico N° 17: Desaciertos y aciertos para los sujetos****Gráfico N° 18: Desaciertos y aciertos para las máquinas**

Los observadores obtuvieron un 56.67% de aciertos versus un 22,22% por parte de las máquinas.

## VI. Discusión

La caracterización y reproducción de un color dental es uno de los aspectos más desafiantes de la odontología.

La literatura sugiere que la toma de color a través de métodos visuales es inconsistente, pues la evaluación del color por comparaciones visuales puede mostrar resultados poco reales e inconstancias en la percepción de un color determinado entre los observadores. El método más utilizado para la selección del color dental es a través del uso de guías o cartillas de colores. Esta técnica es de por sí limitada, dada la incalculable cantidad de variaciones de pueden afectar el color natural de un diente. La evaluación visual del color depende de la fisiología del observador y su respuesta psicológica a la estimulación de la energía radiante. (Okubo, 1998). Esto determinaría el alto nivel de subjetividad que éste proceso tendría entre un observador y otro (Hassel, 2005). Sin embargo, si observamos los resultados del presente estudio, se puede notar una marcada tendencia a la asertividad del método visual análogo, ya sea en diferentes situaciones de luz, sesión en que fueron realizadas las observaciones o independiente del sujeto observador.

Los mejores resultados obtenidos bajo la luz ideal al analizar los sistemas según situación lumínica fueron probablemente debidos a la invariabilidad de la fuente lumínica y a la forma en que cada sujeto contó con un mayor tiempo para realizar sus observaciones. Por el contrario la manera simultánea como se realizaron las mediciones en la situación de luz día puede haber afectado a los observadores, ya que debían dar su resultado lo más rápido posible, por la variabilidad de la luz del sol con el paso de los minutos. Tal es el grado de variabilidad de esta fuente lumínica, que la luz de día cambia con una correlación de  $T^{\circ}$  de color en una proporción 1:20 (Paravina, R. 2002).

Ahora bien si analizamos bajo este prisma, el método del espectrofotocolorímetro se mantuvo con la misma cantidad de aciertos para los tres tipos de fuente lumínica, sin que necesariamente sea el método más asertivo en la toma de color. La baja tasa de aciertos de este espectrofotocolorímetro puede ser atribuido a que la punta de la sonda es plana y no mantiene un contacto íntimo con la superficie curva del diente, siendo este uno de los requisitos para el buen funcionamiento de esta máquina. Esta brecha posibilitaría la entrada de otros rayos de luz al cono de aceptación de las fibras receptoras produciendo distorsión a la recepción del color; es debido a esto que los estudios realizados en cuerpos de pruebas con superficies planas presentarían un mejor resultado utilizando este sistema. Aun cuando el Easy Shade está diseñado con una fuente de luz propia que debería evitar la influencia de fuente luz externas al sistema y de esta forma no interferir en la toma de un color verdadero, los estudios han determinados que, las medidas de color del espectrofotocolorímetro pueden diferir dependiendo de los sistemas de medidas y los tipos de fuente de luz (Lee, 2002).

En el caso de la cámara digital la sensibilidad del método pudo haber afectado sus resultados. Se pudo observar que no obtuvo ningún acierto en la luz de consultorio. Esto se pudo deber a la cantidad de pasos, y el uso de fotografías que luego fueron traspasados mediante formulas matemáticas a un solo color, haciendo este sistema engorroso de usar. Si una cámara es utilizada,

la fuente lumínica dirige la luz de una manera controlada hacia el diente, pero la luz reflejada desde el diente podría no ser dirigida de vuelta a al lente de la cámara. De esta forma, la intensidad de la luz recibida variará en un amplio rango, haciendo muy difícil y poco exacta la toma del color (EasyShade Technology Paper, 2003). En efecto fue junto con el sistema Easy Shade el que obtuvo mayor cantidad de desaciertos, y por otro lado presentó un mayor grado de influencia según el tipo de luz, más que el sistema Easy Shade. Cabe recalcar que el método más sensible según la condición de luz existente en el ambiente para el proceso de la toma de color sin duda fue el visual análogo. Este resultado fue debido probablemente por los fenómenos propios de la visión humana y factores como el estado de ánimo y el cansancio visual, mostrando los mejores resultados el primer día y decreciendo con las sesiones siguientes.

Al analizar la repetibilidad de los sistemas en cada diente, se definió ésta como la capacidad de un sistema de mantener igual algún dato en el tiempo según la situación lumínica en la cual se realice la medición. Así se observó que las máquinas fueron las que más repitieron sus datos, dentro de estas la cámara digital fue la con mayor repetibilidad en el tiempo en las diferentes situaciones lumínicas, sin significar que sus datos fueran acertados. Para los datos en general, el tipo de luz pareció no afectar las observaciones obtenidas pues se aprecia una cantidad similar de repeticiones en los diferentes tipos de luz, pero resultó ser la luz ideal en donde se repitió la mayor cantidad de datos, además de ser la mejor para obtener resultados acertados. Los mejores porcentajes de repetibilidad obtenidos por las máquinas respecto de los observadores, se puede deber a la variabilidad propia del cuerpo humano con el paso del tiempo, al repetir la experiencia de la toma de color en tres sesiones diferentes separadas por una semana, los factores anímicos y de cansancio por parte de los observadores contrapuesto con las máquinas que no se ven afectadas por estos, determinarían la superioridad para repetir un dato por parte de las máquinas.

Se definió estabilidad de un sistema, como la capacidad de repetición de un dato sin importar la fuente lumínica, el día en que se realizó la medición ni el color del diente. De esta forma el sistema más estable es el sistema Vita Easyshade, lo que quiere decir que éste método es el que más veces repitió un mismo dato, sin ser afectado por el ambiente y sin que necesariamente éste dato sea el correcto. Si bien el concepto de repetibilidad y estabilidad tienden a confundirse, no necesariamente el sistema más repetible será el más estable, ni tampoco el más asertivo.

Si realizamos una comparación entre los observadores se puede apreciar que fueron P1 y P3 los más asertivos, esto va en directa relación con la calidad del instrumento receptor e interpretativo del color, en otras palabras la agudeza visual de cada observador. Es así como resulta ser P1 el observador con la mayor cantidad de aciertos en general y en la luz ideal, que resulto ser el mejor tipo de luz por poseer el máximo de aciertos y de datos repetidos. A su vez P3 resultó ser el más acertado en las condiciones de luz de consultorio y de día, lo cual demuestra que no hubo un solo observador que sobresaliera demasiado y que el ojo humano es relativamente estable y un buen instrumento de medida siempre que los factores como cansancio visual o estado anímico del observador se mantengan óptimos para la toma de color. Además otro factor importante para que este método sea exitoso es el instrumento de comparación, en este caso las guías de color Vita 3D-Master al ser calibradas, dan la seguridad que los datos no se vieron afectados por el uso de una u otra cartilla de color. La evaluación de las cartillas colorimétricas que forman parte de un muestrario de colores ha de ser analizada antes de su uso, una adecuada evaluación del color de las guías comerciales es esencial para una toma de color correcta en la clínica (Lee, 2002). En

este sentido, la guía de color Vita 3D-Master está sistematizada según valor, luego por saturación y finalmente por tono; como lo propuso Black 1908 (González W, Vidal F; 2005)

Aun cuando la toma de color puede ser considerada como cercana a lo correcto con las guías de colores comerciales para la técnica visual análoga, debemos de considerar que las guías de color no están construidas con dientes naturales y que éstas no son comparadas con otras. (Preston, 1995)

Según los resultados se observa una tendencia a una mayor asertividad relacionada con la saturación de las guías de color, es decir para los observadores fue más fácil determinar bien el color de las muestras para los valores M1 seguido de M2 y finalmente M3.

Al ser el método más asertivo el visual análogo, se debe tomar en cuenta que los observadores tienen una experiencia en la toma de color de por lo menos cinco años se puede sugerir que es importante la práctica en el proceso de toma de color.

La cantidad de aciertos para la personas versus las máquinas en este estudio refleja la superioridad del ojo humano, a pesar de tener factores influyentes, con respecto de las máquinas, las cuales no se ven afectadas por el ambiente presentando valores más estables. Esto indicaría que si se pudieran mejorar el grado de asertividad para cualquiera de las máquinas, ya sea en su calibración o simplificando su uso, se podrían alcanzar resultados muy superiores con respecto de las mediciones realizadas con observadores humanos.

En contraposición con los resultados obtenidos por el presente estudio la literatura afirma que los nuevos sistemas computacionales para la selección de color fueron establecidos y encontrados como superiores a la toma de color convencional. Así los estudios establecen que la selección de color dental es significativamente mejor con el método computacional que con uno convencional visual análogo (Jarad F, 2005). Esta discrepancia entre los estudios y los resultados obtenidos en esta tesis, pueden deberse al objeto de medición, y más específicamente para el caso del Vita Easyshade a la superficie a medir, ya que en objetos con superficies planas la luz externa no afectaría de la forma como ya se ha expuesto en párrafos anteriores. Para el caso de la cámara digital en algunos estudios se fotografiaron los dientes presentes en las guías de color y se recortaron de tal forma que se pudieran comparar visualmente, a través de la pantalla de la computadora, con la fotografía del diente u objeto de prueba estudiado y no mediante el uso del sistema CIE lab que posee el software Adobe Photoshop 8.0® o algún otro instrumento que evaluara la real capacidad que tiene un sensor CCD de medir el color.

Si bien este seminario de tesis no puede ser utilizado como referencia para la toma de color en otras condiciones diferentes a las que en este trabajo fueron evaluadas, se puede inferir a modo de guía que:

- El mejor método para la medición del color sigue siendo el Visual Análogo.
- La utilización del sistema de fotografía digital no se recomienda por su baja tasa de asertividad. Lo mismo es aplicable para el sistema Vita Easyshade, excepto cuando se trata de mediciones para el color 3M1.
- Si bien la situación lumínica ideal es la mejor para la toma de color en general, la posibilidad de montar un cuarto de iluminación en la clínica dental la hace un método poco práctico, tanto por su elevado costo como por la incomodidad que representaría el traslado a este cuarto para el paciente.
- A pesar de los bajos resultados obtenidos con los sistemas de las máquinas, su uso en la clínica para el proceso de toma de color facilitaría, objetivizaría y haría más

fácil la comunicación con el laboratorio, especialmente en zonas rurales, siempre y cuando se mejoren estos sistemas.

Los datos obtenidos solo se aplican para la toma de color de cerámicas libres de metal pertenecientes a la serie Vitablocks Mark II para Cerec, en las situaciones de luz específicas del presente trabajo y para los métodos en estudio. Aunque se puede inferir una tendencia clara de la superioridad del método visual análogo, solo se puede tomar como una guía para estudios posteriores.

Es difícil tomar mediciones de color estandarizadas en la situación lumínica de luz de día, por la variabilidad que presenta esta fuente lumínica.

## VII. Conclusiones

El sistema visual análogo es el más eficaz para el procedimiento de toma de color basado en su tasa de aciertos y de estabilidad.

Comparando los tres observadores y las dos máquinas en estudio a nivel de luces (Ideal, Consultorio y Día) se aprecia que el que los mejores resultados obtenidos en el acierto del verdadero color de los dientes analizados, fueron para el sistema visual análogo y los que menor cantidad de aciertos obtuvieron fueron las máquinas.

Con respecto a las tasas de aciertos, se destacan los bajos aciertos obtenidos por los tres evaluadores en las mediciones hechas en luz día.

Analizando los números de aciertos por día, apreciamos que la mayor cantidad de aciertos se producen en el primer día de toma de datos. Nuevamente en los tres días de análisis en los 10 dientes el que mejor resultados obtuvo fue el sistema visual análogo.

El sistema fotográfico utilizando la cámara digital Nikon Coolpix 5400® más el software Adobe PhotoShop®, fue el con mayor grado de repetibilidad.

Las máquinas en comparación con los observadores presentaron un mayor grado de repetibilidad.

Independiente de las diferentes fuentes de luz, de los días y de los dientes a medir, fue el espectrofotocolorímetro Vita EasyShade el más estable de los sistemas.

Se puede observar a través que a nivel de luces en todos los días de toma de muestras y en los 10 dientes que el mayor número de aciertos lo obtuvo el sujeto 1, seguido por el sujeto 3 y por último el sujeto 2.

El sujeto 1 mejor mostró comportamiento frente a la luz ideal, en cambio el sujeto 3 fue el que mejor comportamiento obtuvo en la luz de consultorio y de día

Al comparar asertividad entre las máquinas y los observadores, concluimos que fueron estos últimos quienes obtuvieron mayor grado de asertividad para la toma de color.

## **VIII. Propuestas para nuevas investigaciones**

Sería interesante la medición de estos sistemas utilizando dientes naturales y la posterior confirmación comparando el color de la restauración resultante con los dientes homólogos.

Asimismo, sería interesante abarcar más sistemas digitales, ya que cada año vamos viendo un aumento en la producción de estos, con las consecuentes mejoras a medida que la tecnología avanza.

Se aconseja evaluar este estudio comparando individuos con y sin experiencia en la toma de color, para dilucidar si el factor de la instrucción en la toma de color es influyente en los resultados.

Sería adecuado realizar mediciones bajo iluminantes estandarizados mundialmente como lo son el D65 o el D55, comparándolos con iluminantes más cotidianos como son la luz del día con un difusor o la luz presente en los consultorios de atención dental, como un tubo fluorescente. El motivo por el cual no se incluyeron en el presente estudio aquellos iluminantes, radica en su elevado costo y su dificultad para ser conseguidos en el mercado

## **IX. Resumen**

En odontología la toma de color visual es inconsistente y poco confiable. Se ha propuesto que los instrumentos digitales para la toma de color podrían entregar datos objetivos y cuantificables para definir el color de un diente natural.

Este estudio evaluó y comparó la habilidad de dos sistemas colorimétricos digitales y un test visual para determinar el color de coronas cerámica confeccionadas mediante el sistema Cerec®. Se fabricaron diez coronas de distintos colores a través del sistema Cerec®, para ser utilizadas como patrón de oro. Se les solicitó a tres observadores con visión normal que identificaran el color estas coronas utilizando cartillas de color Vita 3D Master®, en tres situaciones lumínicas y en tres oportunidades diferentes. Un espectrofotocolorímetro (Vita Easyshade®) y un sistema fotocolorimétrico, mediante una fotografía obtenida a partir de una cámara digital y su posterior procesamiento con un programa computacional, fueron utilizados para medir el color de estas coronas en las mismas condiciones de luz y oportunidad. Se utilizó el programa Stata 9.2® y el software Microsoft Excel® para analizar los datos obtenidos.

Para la determinación del color el sistema más efectivo resultó ser el sistema visual análogo, de acuerdo a su porcentaje de aciertos y de estabilidad (56,67% y 50% respectivamente). Los sistemas digitales mostraron una alta repetibilidad y estabilidad pero una baja tasa de aciertos (22,22%).

La determinación del color mediante medios visuales demostró ser mejor en comparación con los sistemas digitales.

## X. Referencias Bibliográficas:

1. Alvarenga, B y A. Máximo, (1981) Física general. Tercera edición. México, Harla.
2. Ambler T, Cisternas A (2005) Percepción del color de resinas compuestas microhíbridadas. Seminarios de tesis. Chile, Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso.
3. Aubry, D. Análisis sistemático del color. (1991) Condiciones básicas para el éxito estético. Quintessence 4:22-6
4. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. (2005) Shading of ceramic crowns using digital tooth shade matching devices. J of Computerized Dentistry 8:129-52.
5. Beretta G. (2003) Understanding Color. Hewlett Packard Company Palo Alto.
6. CEREC 3D Crown Upgrade (En Línea) [http://www.sirona.com/ecomaXL/index.php?site=SIRONA\\_COM\\_cerec\\_3d\\_kronen\\_update](http://www.sirona.com/ecomaXL/index.php?site=SIRONA_COM_cerec_3d_kronen_update) (Accedado el día 20 de julio de 2006)
7. Duane D, Brewer J. (1998) Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. J Prosthet Dent 79:254-60.
8. Duane D, Przybylska M. (1999) Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. J Prosthet Dent 82:143-9.
9. Dagg H, O' Connell B, Claffey N, Byrne D, Gorman C. (2004) The Influence of some different factors on the accuracy of shade selection. . J of Oral Rehabilitation 31: 900-04
10. González W, Vidal F, (2005) Evaluación espectrofotocolorimétrica de las resinas compuestas. Seminario de Tesis. Chile, Facultad de Odontología Universidad de Valparaíso
11. Hassel A. (2005) Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. J Prosthodont 14:422-26
12. Huiriqueo C, (2003) Evaluación espectrofotocolorimétrica de coronas all-ceram sobre distintos tipos de muñones, estudio in Vitro. Seminario de tesis. Chile, Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso.
13. Ishikawa-Nagai S, Ishibashi K, Tsuruta O, Webwe HP. (2005) Reproducibility of tooth color gradation using a computer color matching technique applied to ceramic restorations. J Prosthet Dent 93:129-37
14. Jarad F, Russell M, Moss B. (2005). The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. British Dental Journal 199:43-9

15. JLL Technologies. (2003) The Principles of use of a spectrophotometer and its application in the measurement of dental shades. EasyShade Technology Doc. 20030915-1, 2003
16. Johnson WM, Kao EC. (1989) Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 68:819-22.
17. Kourtis S, Tripodakis AP, Doukoudakis A. (2004) Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *J Prosthet Dent* 92:477-85.
18. Lee K, Yoon H, Lim S, Kim W, Powers M. (2002) Effects of colour measuring mode and light source on the colour of shade guides. *J of Oral Rehabilitation* 29:1099-107
19. Marcucci B. (2003) A shade selection technique. *J Prosthet Dent* 89:518-21
20. National Institute of Standards and Technology, (2000) Optical Technology Division, Yoshi Ohno, "CIE fundamental for color measurement", IS&T NIP16 Conference, Vancouver, Canada, Oct 16-20. (Final Manuscript)
21. Oilo G, Törnquist A, Durling D, Andersson M. (2003) All ceramics crowns and preparations characteristics: Mathematic Approach. *Int. J Prosthodont* 16:301-06
22. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. (1998) Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 80:642-8.
23. Paravina R, (2002) Evaluation of a newly Developed visual shade-matching apparatus. *Int. Prosthodont* 15:528-34.
24. Pizzamiglio, E. (1991) A color selection technique. *J Prosthet Dent* 66:592-6.
25. Preston, J.D. (1985) Current status of shade selection and colour matching. *Quintessence International* 16:47.
26. Shorkey T, Shen C, Elhosary M, Elkhodary A. (2006) Effect of core and veneer thicknesses on the color parameters of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent* 95:124-9.
27. Shotwell J, Johnston W, Swartz R. (1986) Color comparisons of denture teeth and shade guides. *J Prosthet Dent* 56:31-4.
28. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. (2002). The repeatability of a dental colorimeter. *J Prosthet Dent* 88:585-90.
29. Wee A, Monaghan P, Johnston W. (2002) Variation in color between intended matched shade of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 87:657-66.

## XI. Anexos

### Anexo 1

#### Base de datos

<b>2M1</b>	<b>Diente 1</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	3M1	3M1	3M1	2,5M1	2M1
Dia 1	Luz Consultorio	2M1	3M1	2M1	3M1	0M3
	Luz Dia	2L1,5	2L1,5	3R1,5	3M1	0M3
	Luz Ideal	2M1	3M1	2R1,5	2,5M1	2M1
Dia 2	Luz Consultorio	1M2	2M1	2L1,5	3M1	0M3
	Luz Dia	2R1,5	3R1,5	3M1	3M1	0M3
	Luz Ideal	2M1	2M1	2L1,5	2,5M1	4R1.5
Dia 3	Luz Consultorio	2R1,5	2R1,5	2L1,5	3M1	0M3
	Luz Dia	2M1	2M2	2M1	2,5M1	3R1.5

<b>1M2</b>	<b>Diente 2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	1M2	2R1,5	2M1	2,5M1	0M3
Dia 1	Luz Consultorio	2M1	2M1	3M1	3M1	0M3
	Luz Dia	2M1	3M1	2L1,5	2,5M1	0M3
	Luz Ideal	1M2	2M1	2M1	2M1	0M3
Dia 2	Luz Consultorio	1M2	2M1	2M1	3M1	0M3
	Luz Dia	2M1	3M1	2M1	2,5M1	0M3
	Luz Ideal	2M1	2M1	2L1,5	2,5M1	0M3
Dia 3	Luz Consultorio	2M1	2M1	1M2	2,5M1	0M3
	Luz Dia	2R1.5	3M1	3M1	2,5M1	0M3

<b>1M1</b>	<b>Diente 3</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	2M1	1M2	1M1	2,5M1	2R2.5
Dia 1	Luz Consultorio	1M1	2M1	1M1	2,5M1	0M3
	Luz Dia	1M1	2M1	1M1	2,5M1	0M3
	Luz Ideal	1M1	1M1	2M1	2,5M1	2R2.5
Dia 2	Luz Consultorio	1M1	2M1	1M1	2,5M1	0M3
	Luz Dia	1M1	2M1	1M1	2,5M1	0M1
	Luz Ideal	1M1	1M1	1M1	2,5M1	2R2.5
Dia 3	Luz Consultorio	1M1	2M1	1M1	2,5M1	0M3
	Luz Dia	2M1	2M1	1M1	2,5M1	0M1

<b>0M1</b>	<b>Diente 4</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	0M2	0M2	0M1	1M1	4M1
Dia 1	Luz Consultorio	0M2	0M2	0M2	1M1	0M3
	Luz Dia	0M2	0M2	0M3	1,5M1	0M1
	Luz Ideal	0M2	0M2	0M1	1M1	4M1
Dia 2	Luz Consultorio	0M2	0M3	0M1	1M1	0M2
	Luz Dia	0M2	0M3	0M2	1M1	0M1
	Luz Ideal	0M1	0M2	0M1	1M1	0M3
Dia 3	Luz Consultorio	0M1	0M2	0M1	1,5M1	0M2
	Luz Dia	0M2	0M2	0M2	1,5M1	0M1

<b>2M2</b>	<b>Diente 5</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	2M2	3L1,5	2M3	3L1,5	2M1
Dia 1	Luz Consultorio	2M2	3M2	3M2	3L1,5	4M1
	Luz Dia	3L1,5	3R1,5	3M2	3L1,5	2M2
	Luz Ideal	3M2	3L1,5	3L1,5	3L1,5	4R1.5
Dia 2	Luz Consultorio	2M2	2M2	2M2	3M1,5	4M1
	Luz Dia	3M2	4M2	3M2	3M1	2M2
	Luz Ideal	2M2	2R1,5	3L1,5	3L1,5	2M1
Dia 3	Luz Consultorio	2R2,5	2R1,5	4L2,5	3,5L1,5	4M1
	Luz Dia	3M2	3M2	3M2	3L1,5	2M2

<b>3M3</b>	<b>Diente 6</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	4L1,5	4M2	2M3	3,5L1,5	3M2
Dia 1	Luz Consultorio	3M2	3L1,5	4L1,5	3,5L1,5	2L1.5
	Luz Dia	4M2	4M2	4L1,5	3,5L1,5	2M2
	Luz Ideal	4L1,5	4M2	3L2,5	3,5L1,5	3M2
Dia 2	Luz Consultorio	2M3	4L1,5	4L1,5	3,5L1,5	4M1
	Luz Dia	4L1,5	4L2,5	4L2	3,5L1,5	2M2
	Luz Ideal	3R2,5	4L1,5	3M2	3,5L1,5	3M3
Dia 3	Luz Consultorio	3M2	3R1,5	3M2	3,5L1,5	4M1
	Luz Dia	4L1,5	4M2	4M2	3,5L1,5	2M2

<b>4M2</b>	<b>Diente 7</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	4L1,5	4M2	3L2,5	3,5R2	3M3
Dia 1	Luz Consultorio	3M2	4M2	4M2	4R2	2M2
	Luz Dia	4L1,5	4M2	4M2	3,5R2	2L2.5
Dia 2	Luz Ideal	4M2	3R2,5	3R2,5	3,5R2	3M2
	Luz Consultorio	4L1,5	4M2	3L2,5	4R2	2M2
	Luz Dia	4L1,5	4M2	4M2	4R2	2L2.5
Dia 3	Luz Ideal	4R2,5	3L1,5	3M3	3,5R2	3M3
	Luz Consultorio	4R1,5	4M2	3M3	4R2	2M2
	Luz Dia	4L1,5	4M2	4L1,5	3,5R2	3L2.5

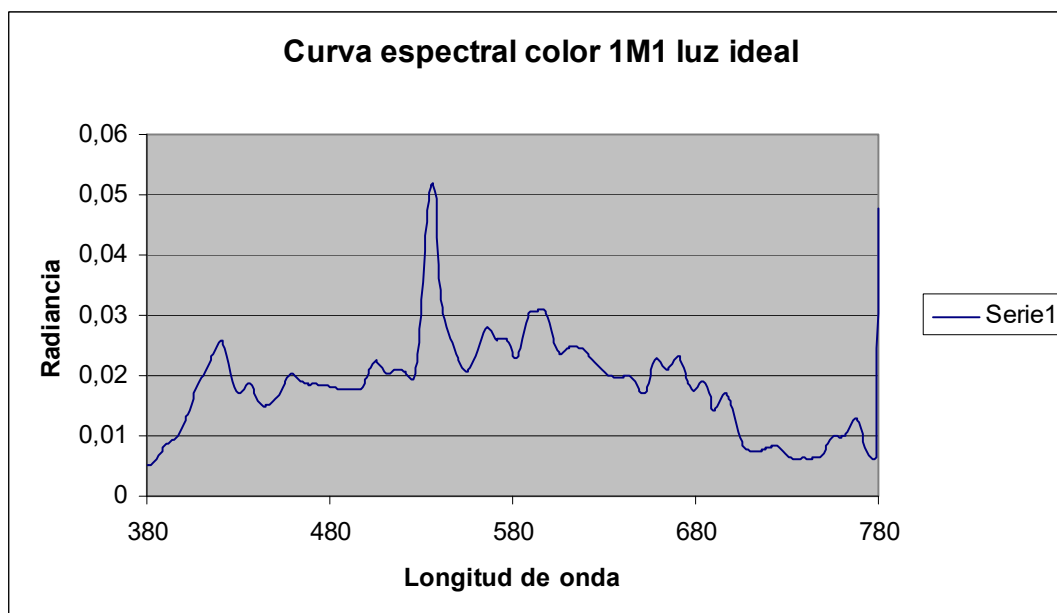
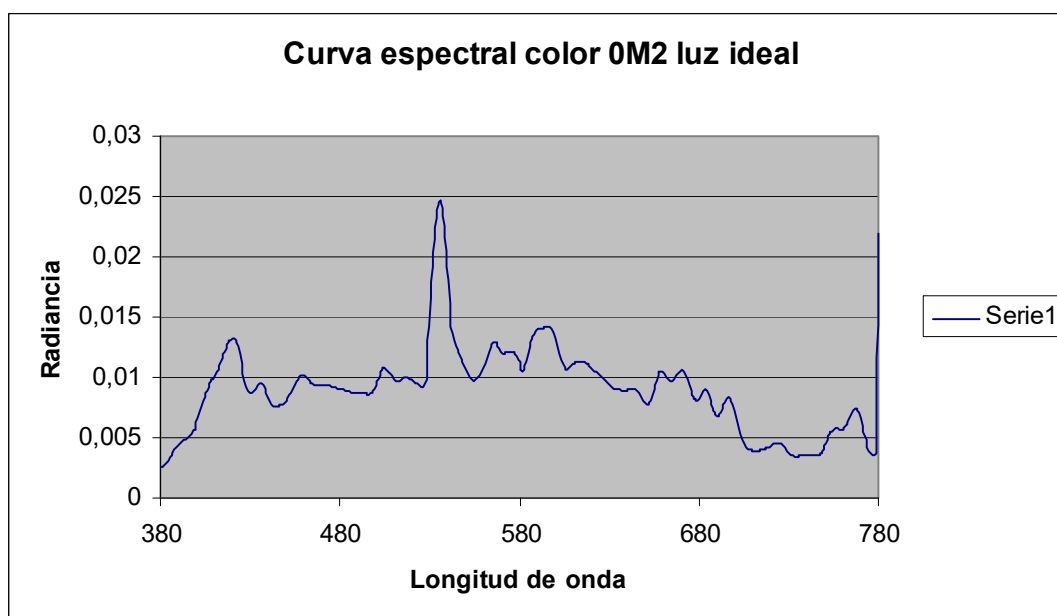
<b>3M2</b>	<b>Diente 8</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	3M2	3M2	3L1,5	3R2	3M2
Dia 1	Luz Consultorio	3ML1,5	4L1,5	3M2	4R1,5	3L1.5
	Luz Dia	3M2	4L1,5	4M1	3,5R2	2R2,5
Dia 2	Luz Ideal	4L1,5	4L1,5	3M2	3,5R2	3M2
	Luz Consultorio	3L1,5	3L1,5	3R1,5	3,5R2	4M1
	Luz Dia	3M2	4M2	3L1,5	3,5R1,5	2M2
Dia 3	Luz Ideal	3L2,5	3L1,5	3M2	3R2	2M1
	Luz Consultorio	4L1,5	3L1,5	3L1,5	3,5R2	4M1
	Luz Dia	4M2	4M2	3M2	3,5R1,5	2M2

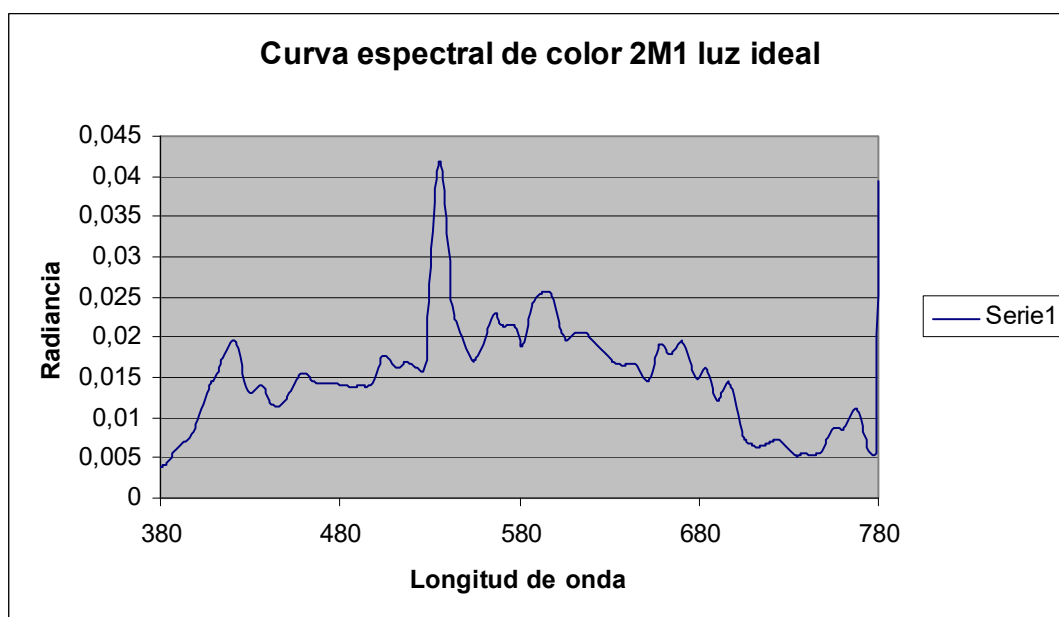
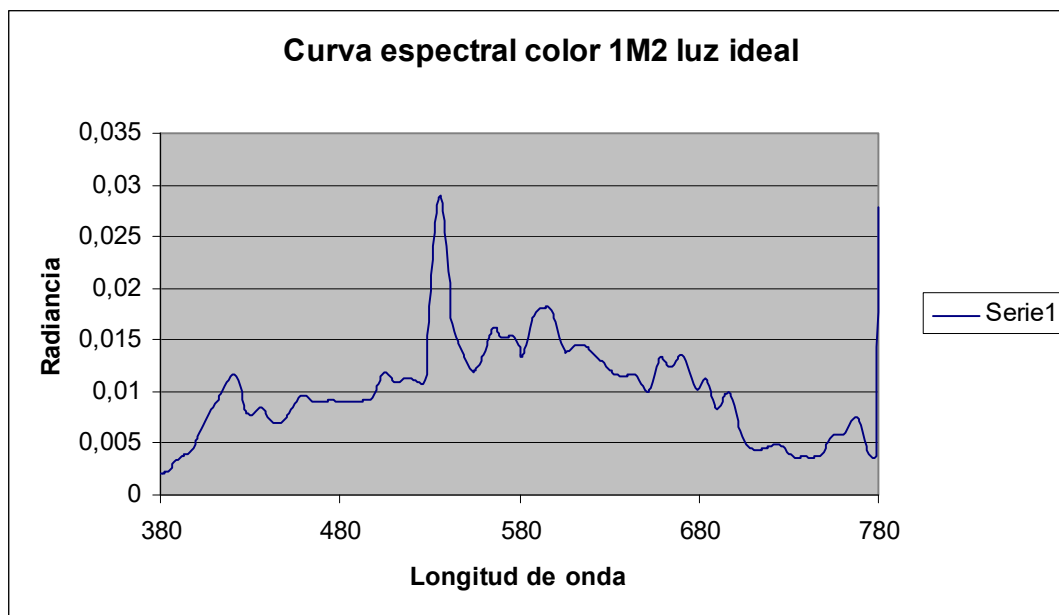
<b>3M1</b>	<b>Diente 9</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	3M1	4M1	3M1	3M1	0M2
Dia 1	Luz Consultorio	3M1	3M1	3M1	3M1	0M1
	Luz Dia	2R1,5	3M1	2R1,5	3M1	2M1
Dia 2	Luz Ideal	3M1	3M1	3M1	3M1	0M2
	Luz Consultorio	2M1	2M1	2L1,5	3M1	0M1
	Luz Dia	3M1	3R1,5	3M1	3M1	2M1
Dia 3	Luz Ideal	2R1,5	2M1	2R1,5	3M1	0M2
	Luz Consultorio	3M1	3M1	2L1,5	3M1	0M1
	Luz Dia	3M1	3M1	3M1	3M1	2M1

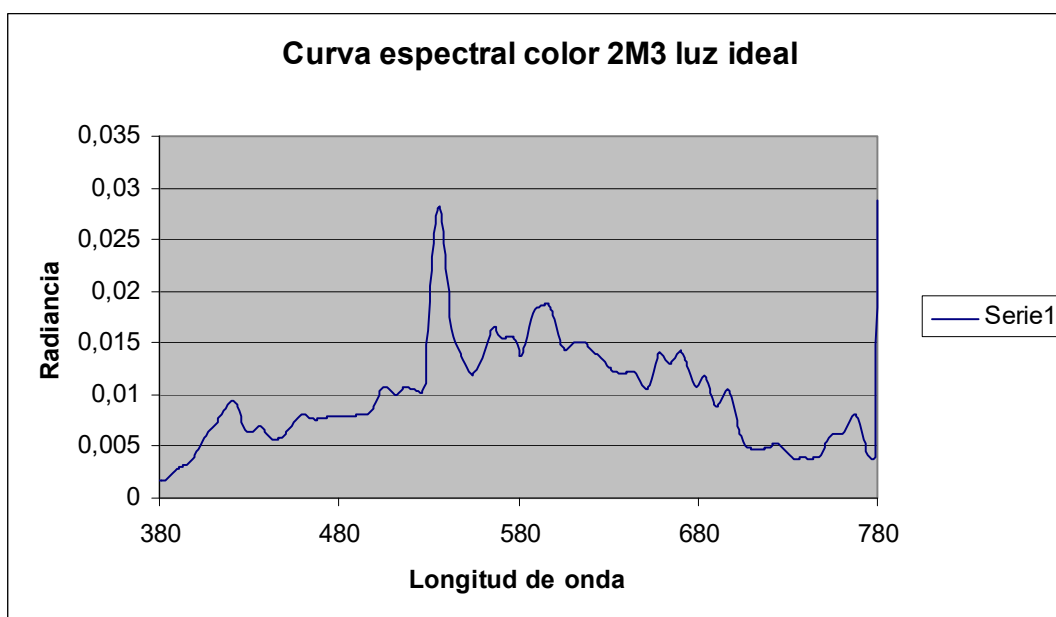
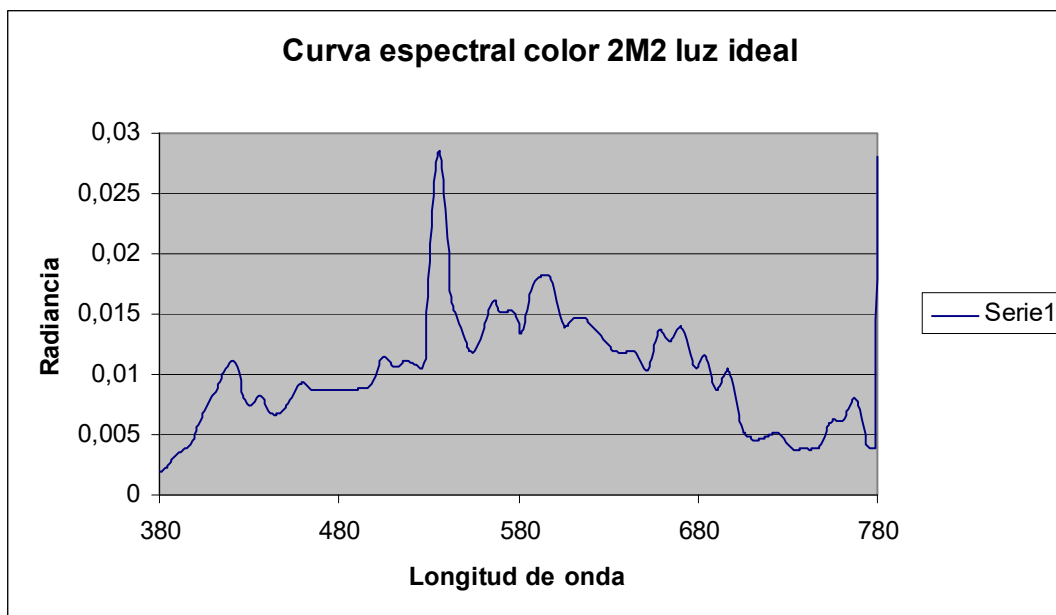
<b>2M3</b>	<b>Diente 10</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
	Luz Ideal	2M3	4M2	2M3	3M2,5	3M3
Dia 1	Luz Consultorio	2M3	3L2,5	2M3	3,5L2	2L1.5
	Luz Dia	3L2,5	3M3	3R1,5	3M2,5	2L2,5
	Luz Ideal	3L2,5	4M2	3M3	3L2,5	3M3
Dia 2	Luz Consultorio	3L2,5	3M2	3M2	3,5L2	2L1.5
	Luz Dia	4L1,5	4M2	3R2,5	3,5L2,5	2L2,5
	Luz Ideal	3L2,5	3M2	3M3	3L2,5	3M3
Dia 3	Luz Consultorio	4M2	3M2	3R1,5	3,5L2	2L1.5
	Luz Dia	4L2,5	4M2	3L2,5	3L2,5	2L2,5

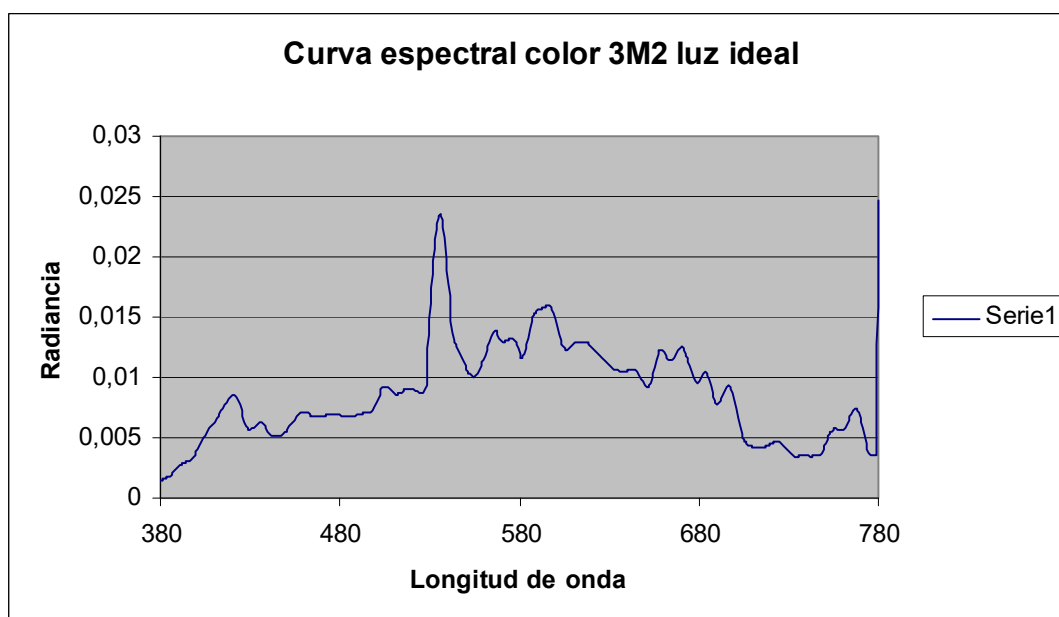
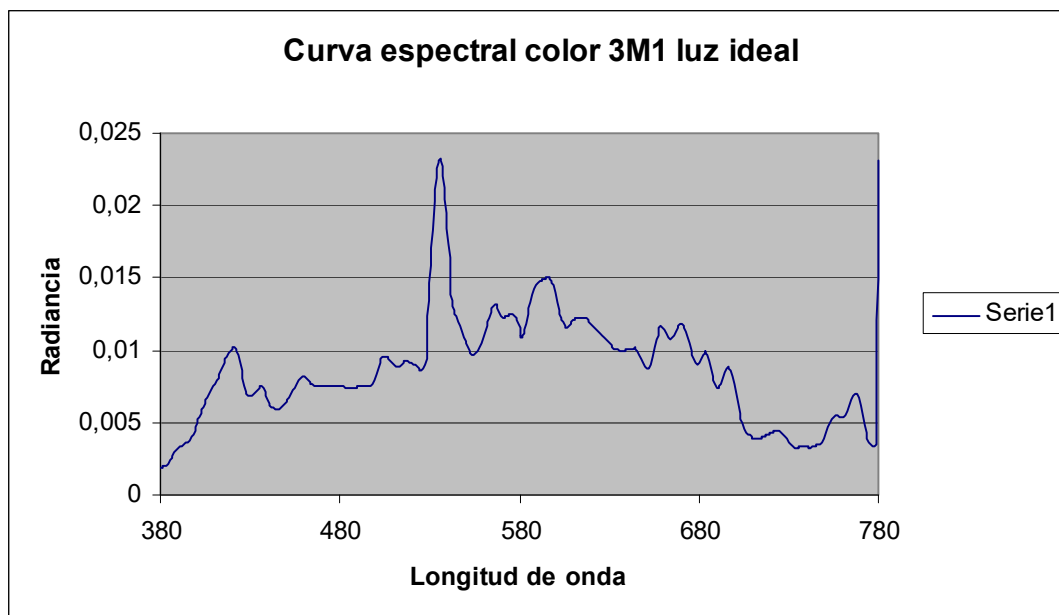
## Anexo 2

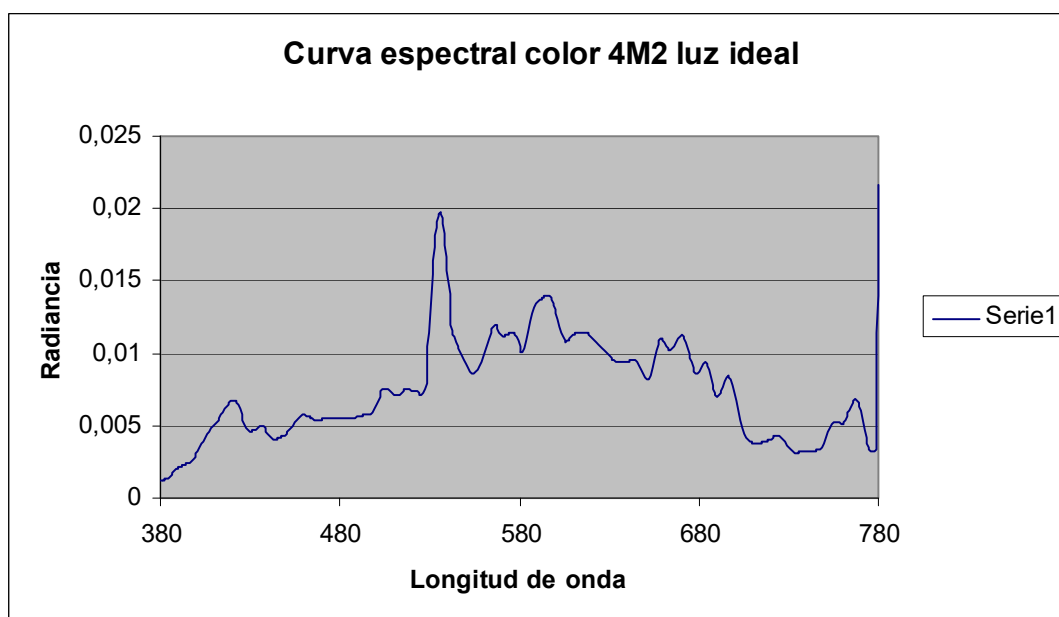
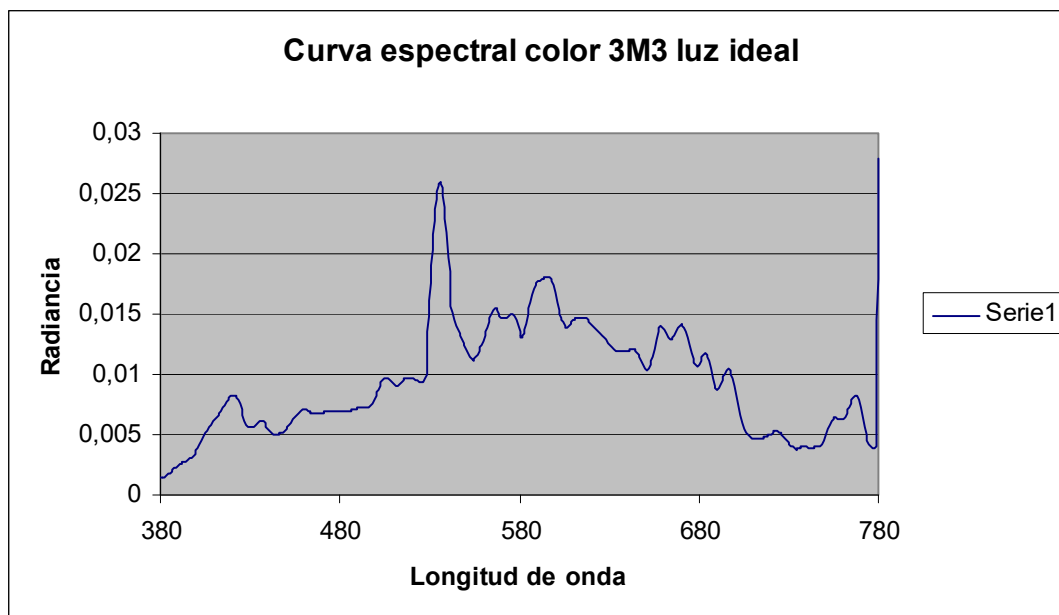
Curvas espectrales de las tabletas de color de la guía Vita 3D-Master

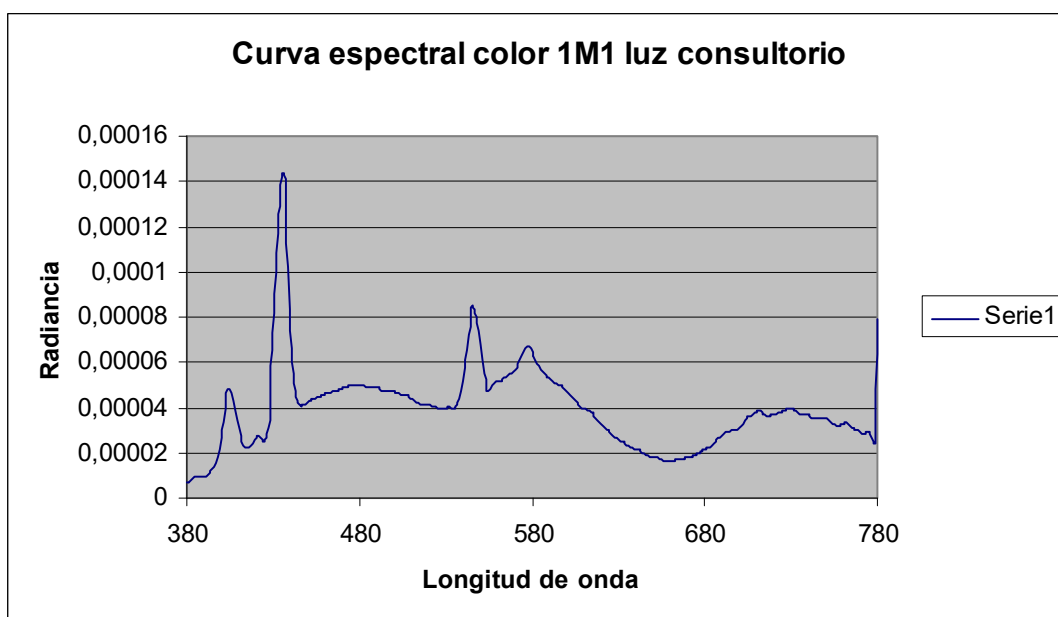
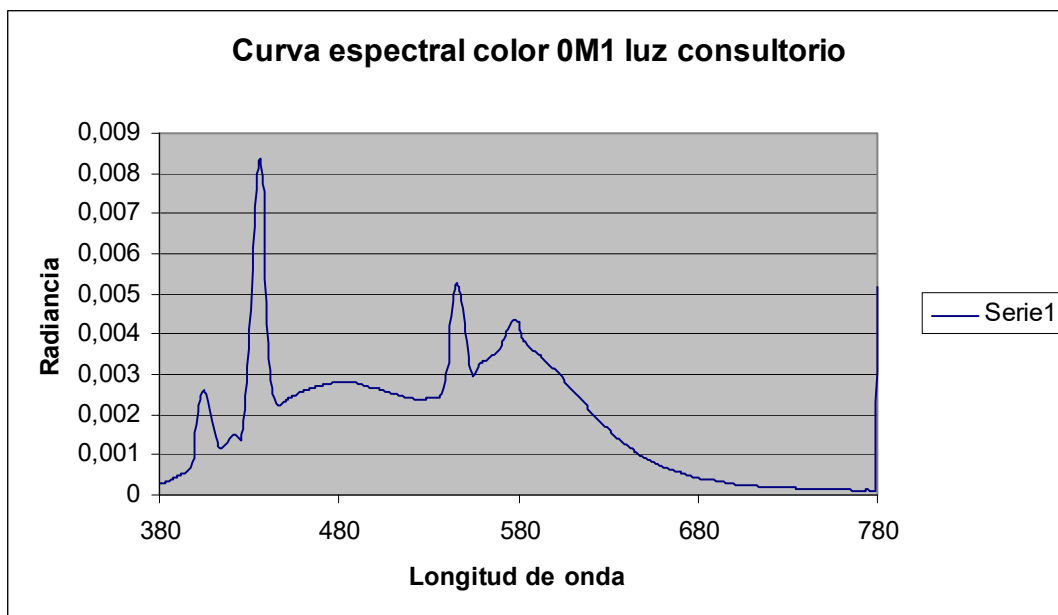


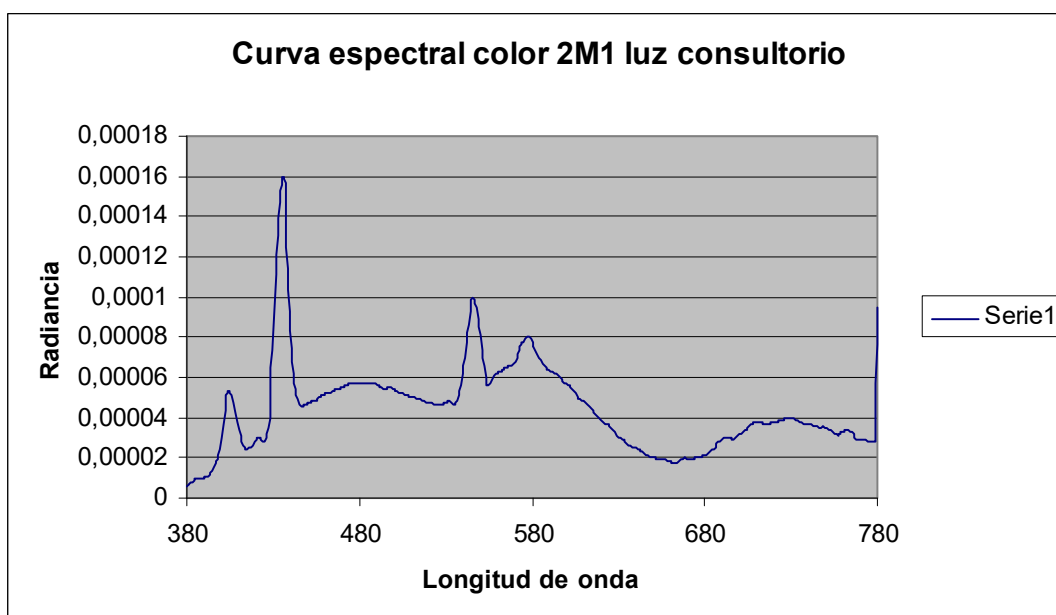
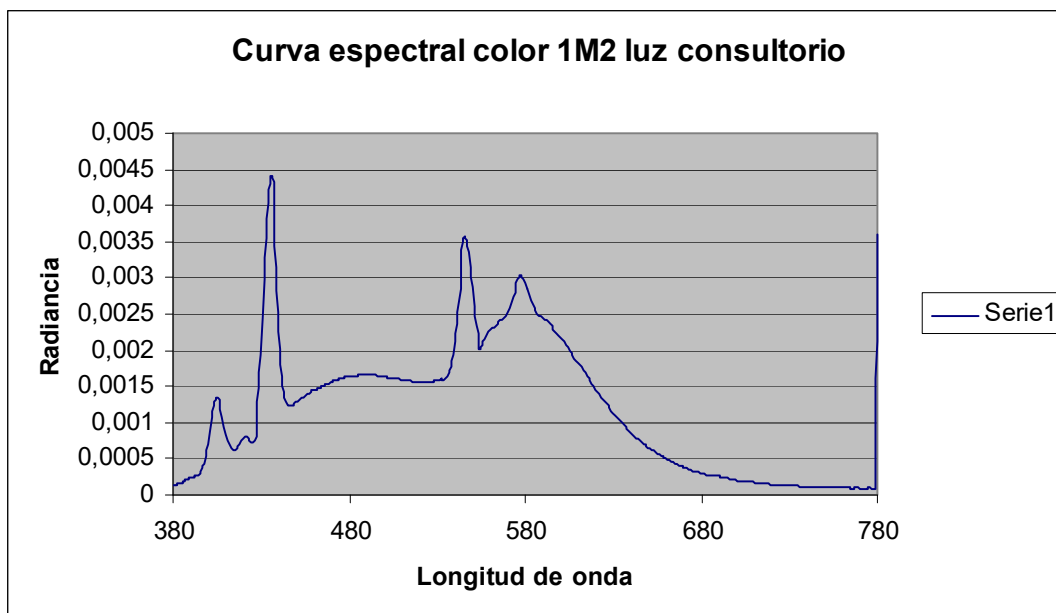


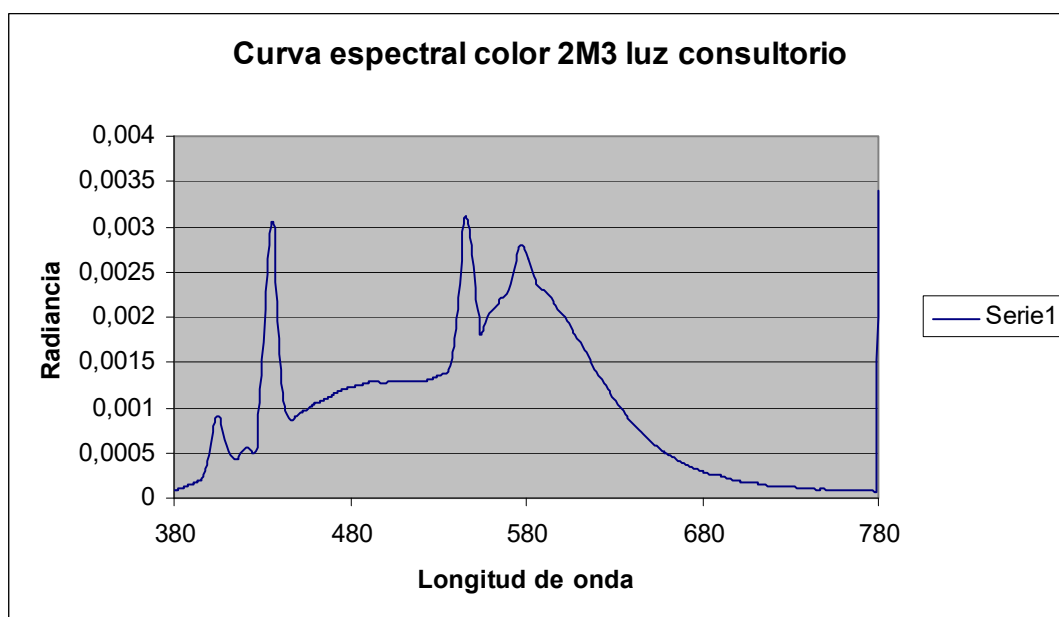
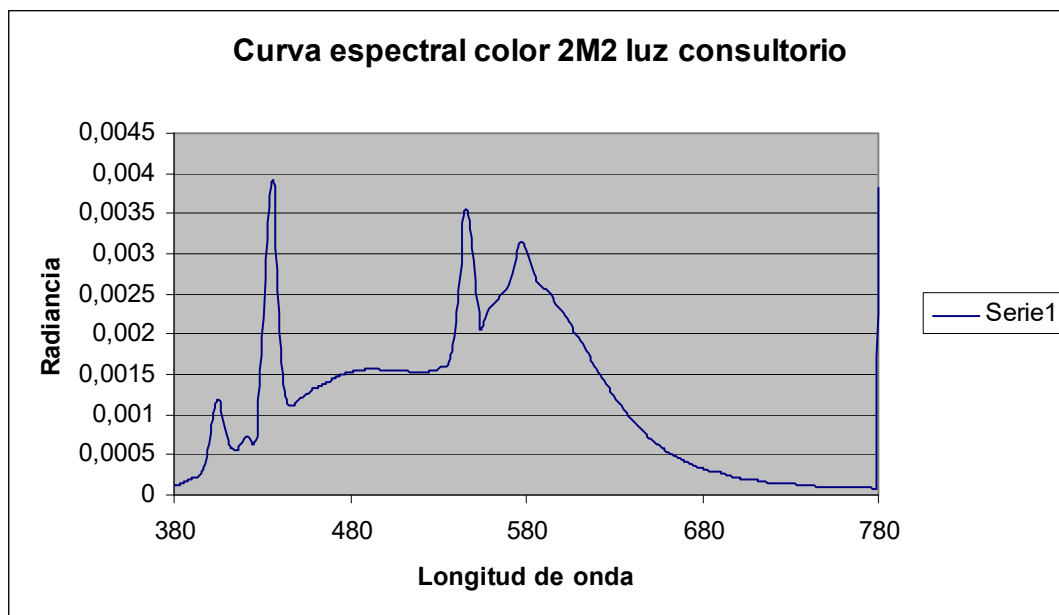


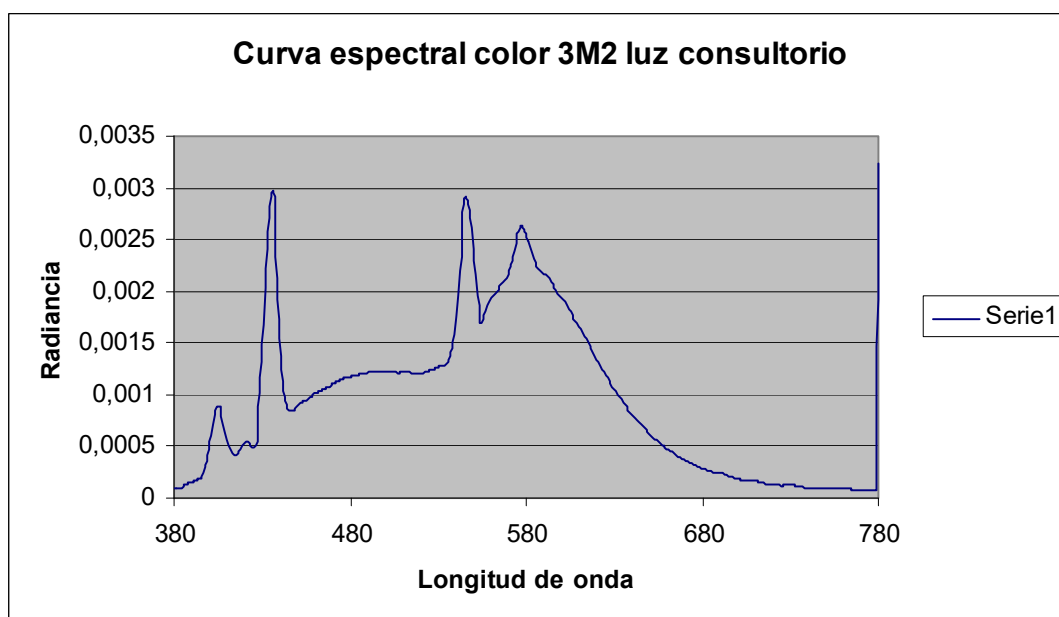
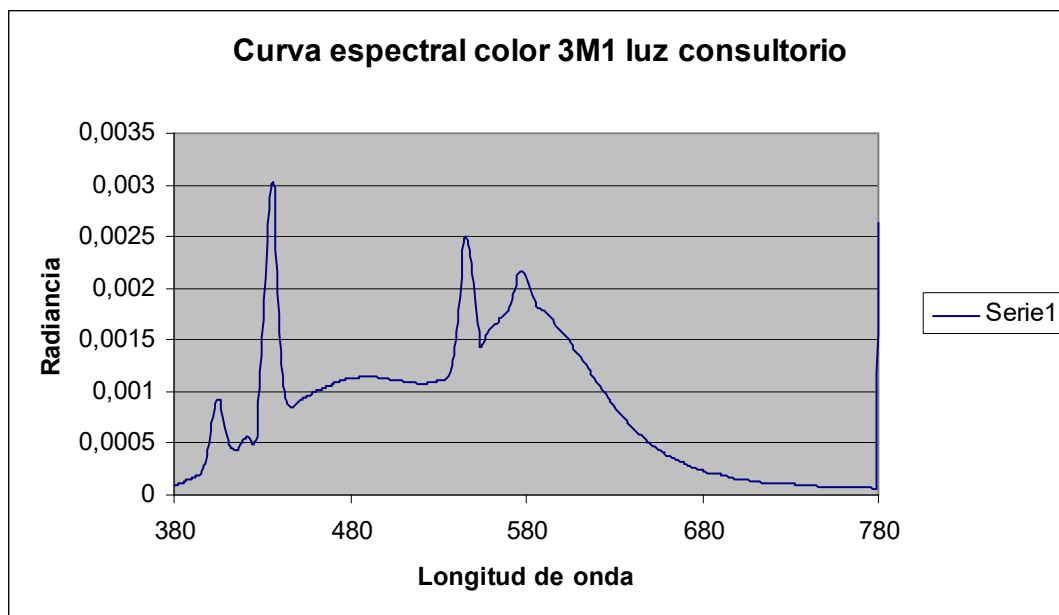


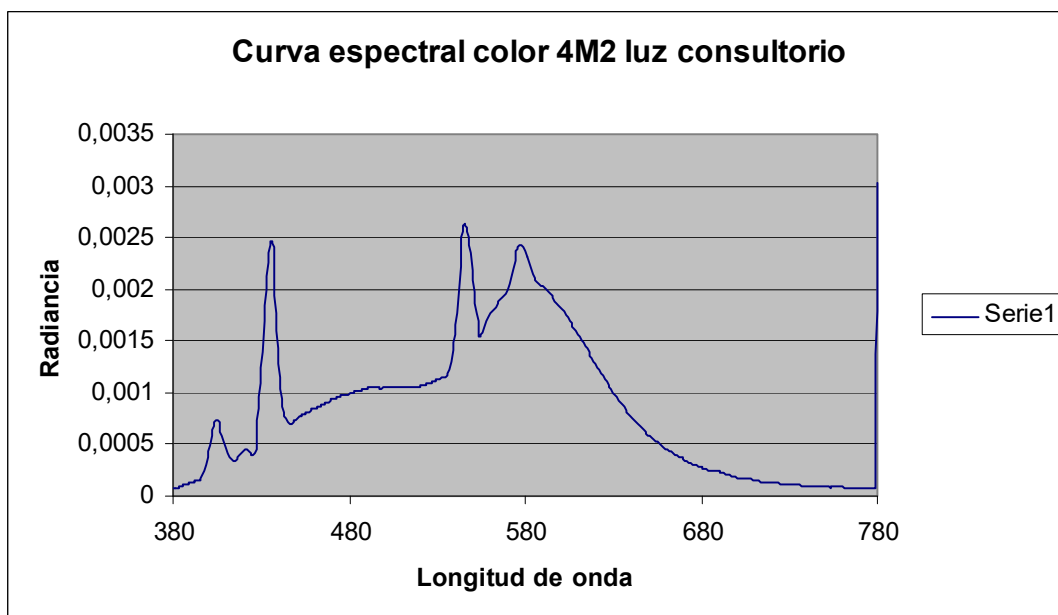
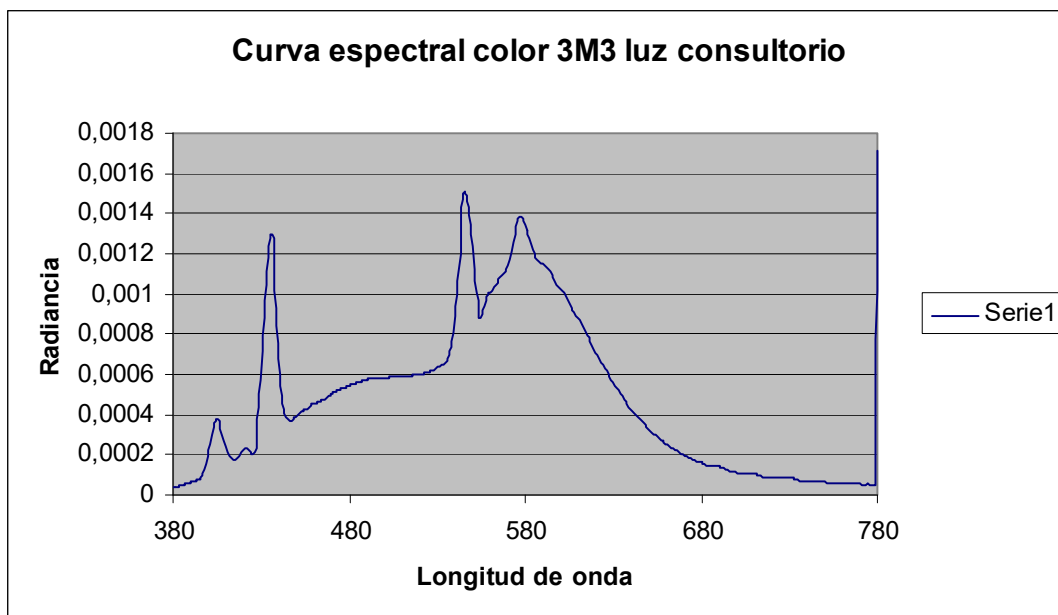


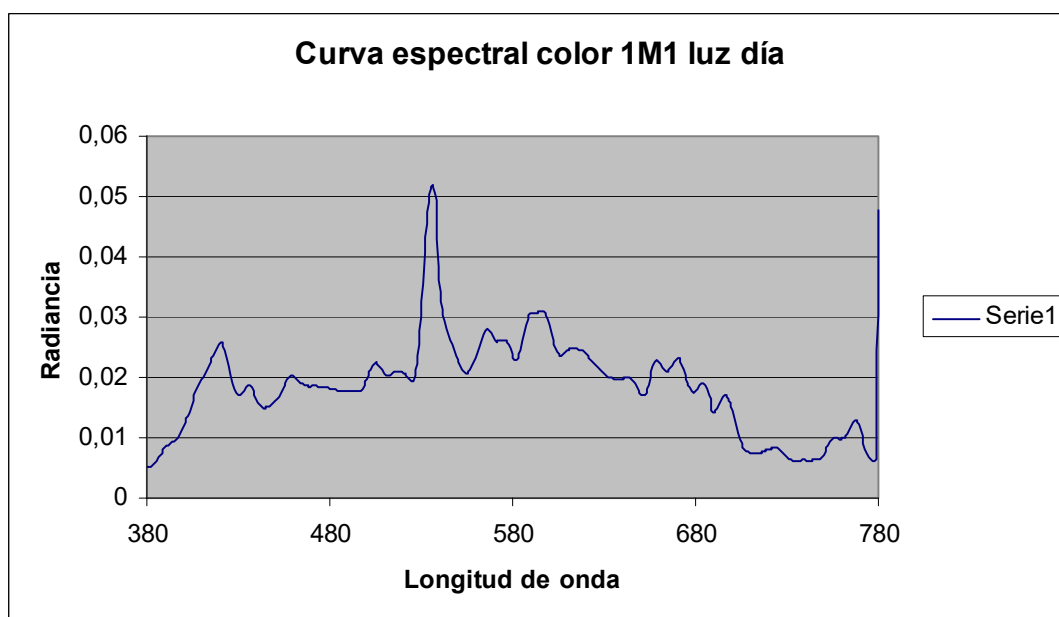
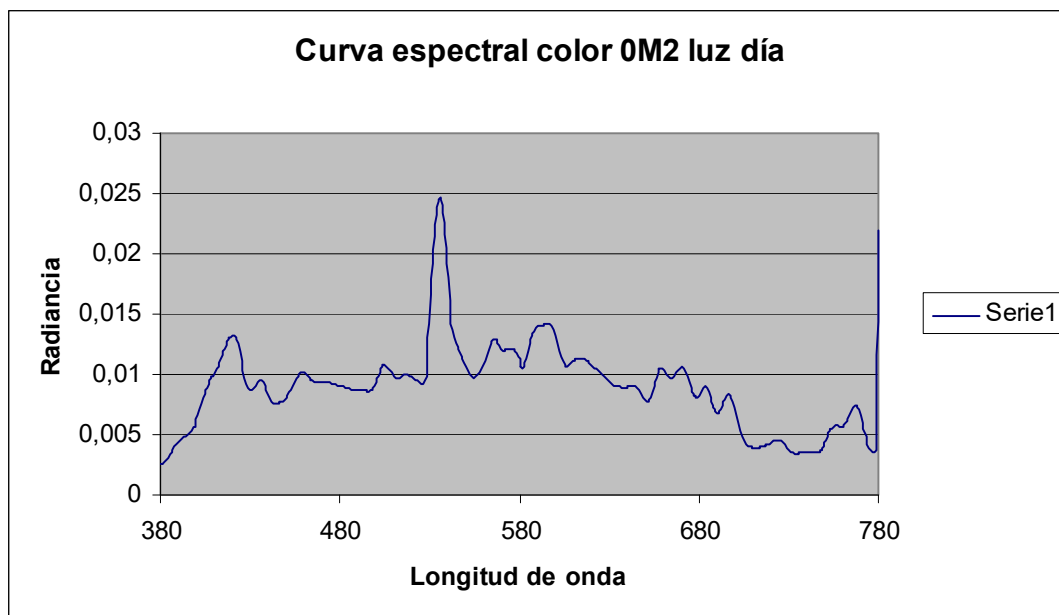


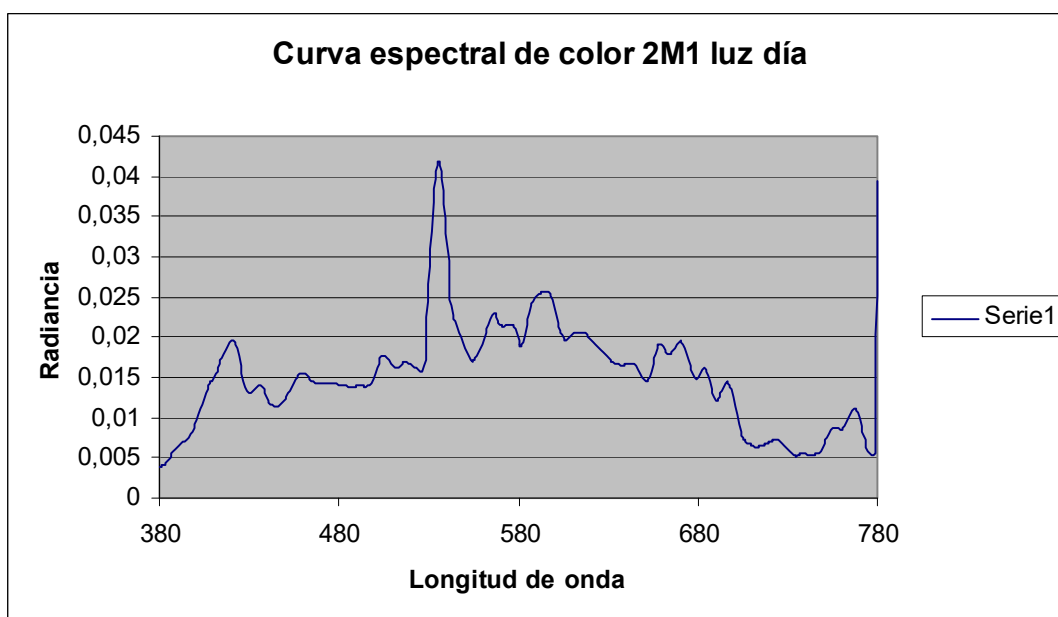
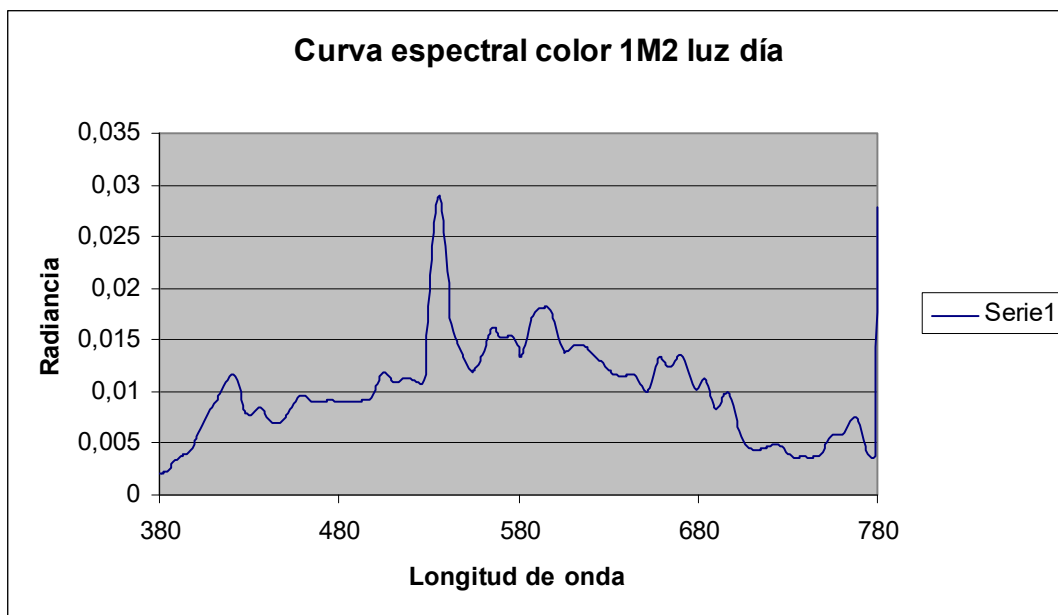


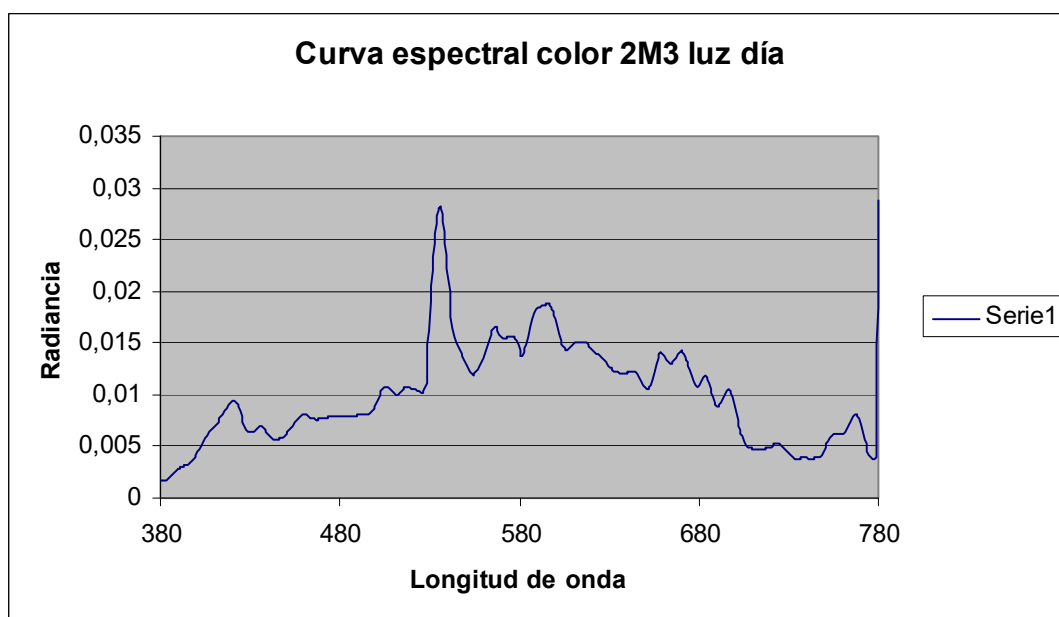
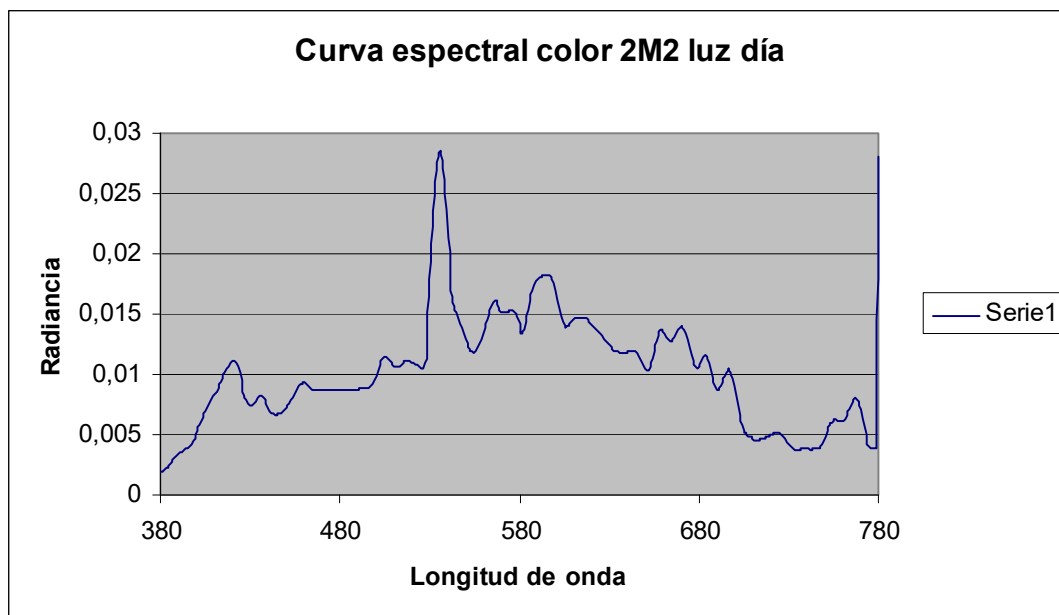


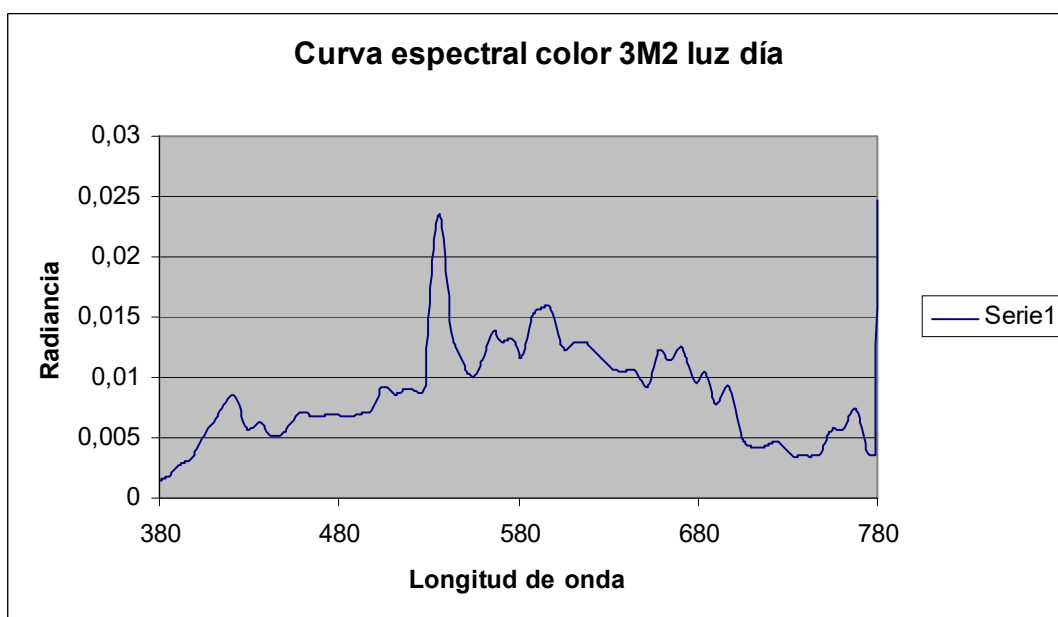
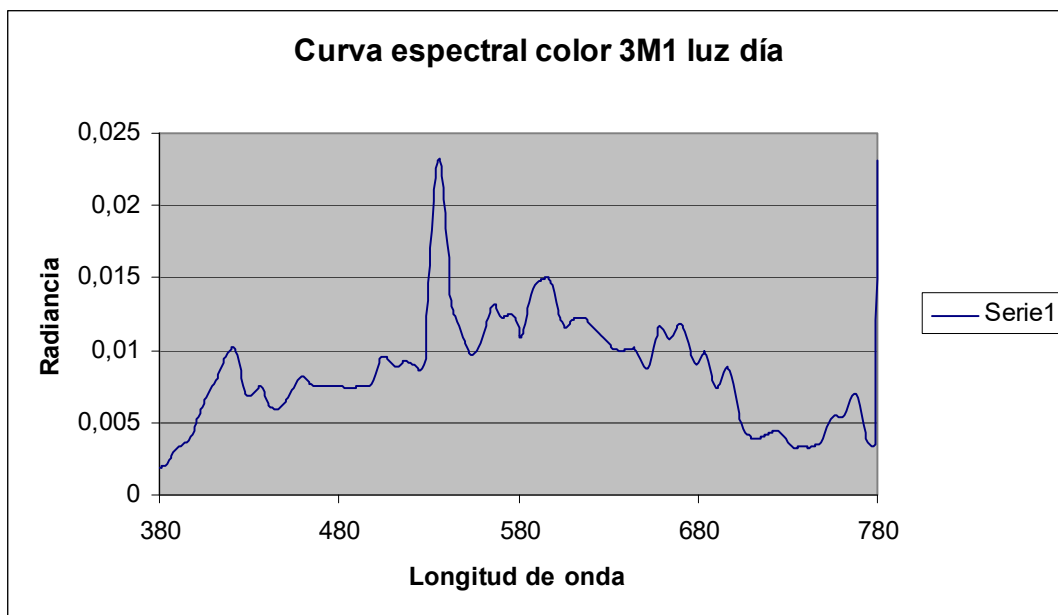


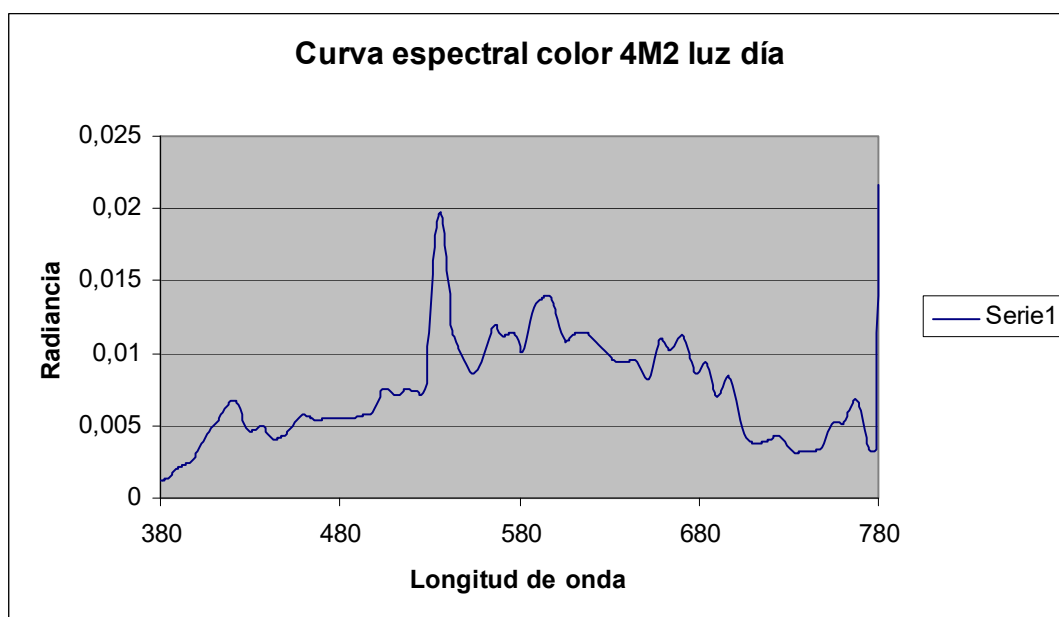
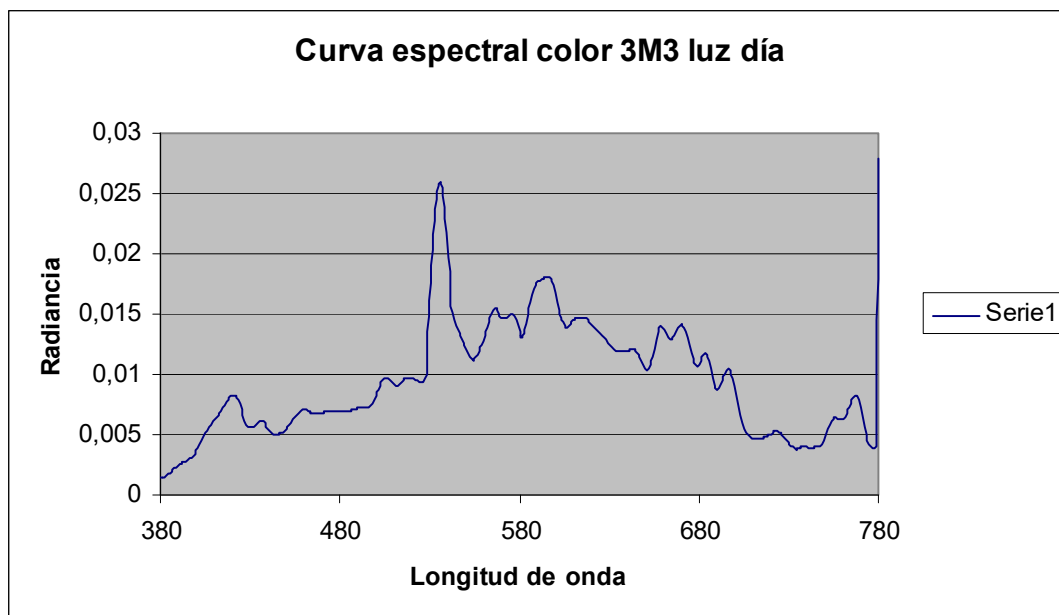












### Anexo 3

Número de datos repetidos por sistema y tipo de luz

Luz/Sistema	P1	P2	P3	M1	M2	TOTAL
<b>Ideal</b>	18	15	15	27	24	99
<b>Consultorio</b>	13	17	11	24	27	92
<b>Día</b>	18	19	12	22	26	97
<b>TOTAL</b>	49	51	38	73	77	

### Anexo 4

Porcentaje de datos repetidos por sistema y tipo de luz

Luz/Sistema	P1	P2	P3	M1	M2	TOTAL
<b>Ideal</b>	60,00	50,00	50,00	90,00	80,00	66,00
<b>Consultorio</b>	43,33	56,67	36,67	80,00	90,00	61,33
<b>Día</b>	60,00	63,33	40,00	73,33	86,67	64,67
<b>TOTAL</b>	54,44	56,67	42,22	81,11	85,56	

### Anexo 5

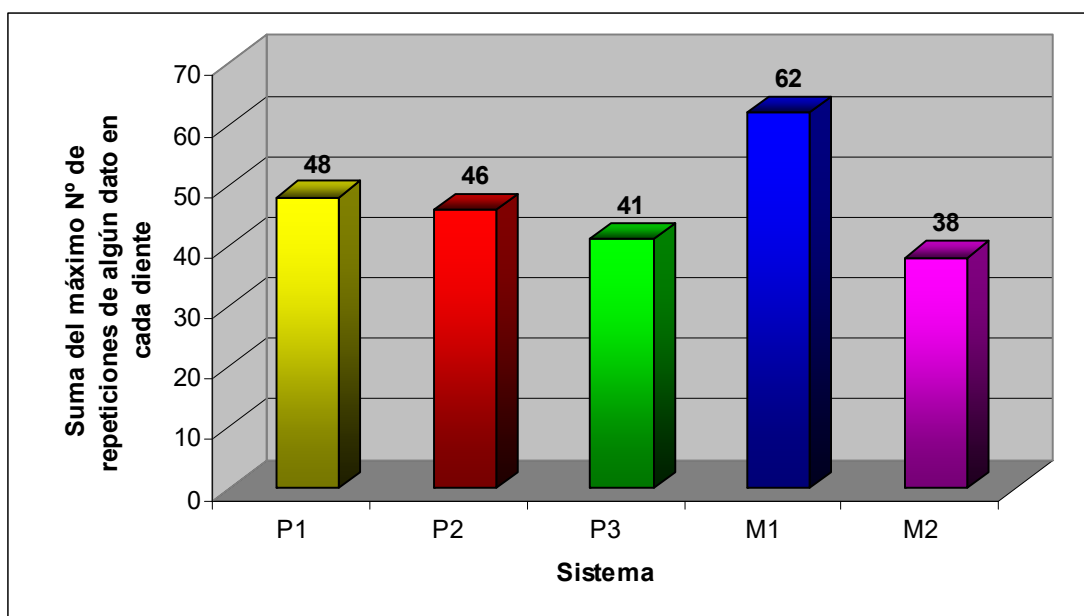
Promedio y porcentaje de estabilidad por sistema

	P1	P2	P3	M1	M2
PROMEDIO	4,80	4,60	4,10	6,38	3,67
PORCENTAJE	53,33	51,11	45,56	70,83	40,74

### Anexo 6

Estabilidad según la suma del nº de repetición máxima de algún dato en cada diente.

SISTEMA	ESTABILIDAD SEGÚN LA SUMA DEL Nº DE REPETICIÓN MÁXIMA DE ALGÚN DATO EN CADA DIENTE
P1	48
P2	46
P3	41
M1	62
M2	38



## Anexo 7

$\Delta E$  para fotografía del primer día del diente 1, bajo luz ideal.

Diente	Referencia			Muestra			$\Delta E$
	L1	a*1	b*1	L2	a*2	b*2	
0M1	70,338	-5,505	15,207	69,668	-11,64	25,483	11,9867969
0M2	65,566	-9,354	9,8441	69,668	-11,64	25,483	16,3287291
0M3	71,257	-8,26	19,151	69,668	-11,64	25,483	7,35143149
1M1	87,496	-9,253	11,4	69,668	-11,64	25,483	22,8443919
1M2	81,231	-5,215	-0,251	69,668	-11,64	25,483	28,9347948
2L1.5	66,299	-10,59	23,027	69,668	-11,64	25,483	4,2993717
2L2.5	62,191	-9,671	25,789	69,668	-11,64	25,483	7,73796653
2M1	68,084	-10,5	22,765	69,668	-11,64	25,483	3,34606934
2M2	58,995	-7,109	26,094	69,668	-11,64	25,483	11,6110383
2M3	72,821	1,5174	30,733	69,668	-11,64	25,483	14,5127904
2R1.5	83,003	-10,17	20,756	69,668	-11,64	25,483	14,2241926
2R2.5	76,888	-11,22	22,822	69,668	-11,64	25,483	7,70621314
3L1.5	68,884	-7,09	29,989	69,668	-11,64	25,483	6,45144883
3L2.5	72,707	-9,355	95,614	69,668	-11,64	25,483	70,233994
3M1	68,68	-0,1	32,75	69,668	-11,64	25,483	13,6732232
3M2	60,74	-9,735	27,814	69,668	-11,64	25,483	9,4218772
3M3	69,486	-9,475	31,285	69,668	-11,64	25,483	6,19544615
3R1.5	32,761	-5,415	31,23	69,668	-11,64	25,483	37,8669418
3R2.5	76,383	-9,302	30,013	69,668	-11,64	25,483	8,43079884
4L1.5	68,92	0,92	37,41	69,668	-11,64	25,483	17,3368519
4L2.5	56,053	-5,915	43,617	69,668	-11,64	25,483	23,3877277
4M1	81,223	-9,15	19,757	69,668	-11,64	25,483	13,1341235
4M2	68,173	-6,197	41,594	69,668	-11,64	25,483	17,071192
4M3	54,261	0,0202	50,203	69,668	-11,64	25,483	31,3753775
4R1.5	74,383	-8,444	22,506	69,668	-11,64	25,483	6,42714322
4R2.5	75,87	-8,466	29,855	69,668	-11,64	25,483	8,22517258
5M1	52,122	0,2725	32,025	69,668	-11,64	25,483	22,1938626
5M2	66,666	-4,404	35,333	69,668	-11,64	25,483	12,5854758
5M3	10,898	-3,426	43,557	69,668	-11,64	25,483	62,0326702

### Anexo 8

Cuerpos de prueba bajo las diferentes fuentes lumínicas



Cuerpo de prueba bajo luz ideal



Cuerpo de prueba bajo luz día



Cuerpo de prueba bajo luz consultorio

### Anexo 9

Preparación dentaria en modelo ideal del diente 1.1(8)

