



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Piñeiro-Di Blasi, Jessica Ingrid; Martínez-Torres, Javier; Pozo-Antonio, Jose Santiago; Iglesias-Comesaña, Carla; Cuesta, Luciano; Taboada-Castro, Javier; Gajino-Núñez, Pablo; Tresaco-Vidaller, Eva

Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas

Dyna, vol. 81, núm. 184, abril, 2014, pp. 49-54

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Development of an application for quick comparison of pigments from their colorimetric coordinates

## Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas

Jessica Ingrid Piñeiro-Di Blasi <sup>a</sup>, Javier Martínez-Torres <sup>b</sup>, Jose Santiago Pozo-Antonio <sup>c</sup>, Carla Iglesias-Comesaña <sup>d</sup>, Luciano Cuesta <sup>e</sup>, Javier Taboada-Castro <sup>f</sup>, Pablo Gajino-Núñez <sup>g</sup> & Eva Tresaco-Vidaller <sup>h</sup>

<sup>a</sup> MSc. Universidad de Vigo, Vigo, España. [jpdiblas@uvigo.es](mailto:jpdiblas@uvigo.es)

<sup>b</sup> PhD. Centro Universitario de la Defensa, Academia General Militar, Zaragoza, España. [jmtorres@unizar.es](mailto:jmtorres@unizar.es)

<sup>c</sup> PhD. Universidad de Vigo, Vigo, España. [ipozo@uvigo.es](mailto:ipozo@uvigo.es)

<sup>d</sup> MSc. Universidad de Vigo, Vigo, España. [carlaiglesias@uvigo.es](mailto:carlaiglesias@uvigo.es)

<sup>e</sup> PhD. PROMINDSA (Productos Minerales para la Industria, S.A.), Zaragoza, España. [lucianocuesta@promindsa.com](mailto:lucianocuesta@promindsa.com)

<sup>f</sup> PhD. Universidad de Vigo, Vigo, España. [jtaboada@uvigo.es](mailto:jtaboada@uvigo.es)

<sup>g</sup> BSc. Asociación Científico Tecnológica RED. Vigo, España. [pablo.gajino@actred.es](mailto:pablo.gajino@actred.es)

<sup>h</sup> PhD. Centro Universitario de la Defensa, Academia General Militar, Zaragoza, España. [etresaco@unizar.es](mailto:etresaco@unizar.es)

Received: July 3th, 2013. Received in revised form: November 12<sup>th</sup>, 2013. Accepted: December 11<sup>th</sup>, 2013

### Abstract

Pigments production for use in different kinds of industries (paints, cement, fertilizer, glass, etc.) is a booming sector that invoice million worldwide. So, all those applications that increase efficiency and effectiveness in daily work within the industry agree to be undertaken. Within this line, in this research, the development of an application is presented for comparing a fast and simple way of pigments based on its colour information. This application was developed for the company PROMINDSA SA and allows the user to perform a visual comparison considering the three spatial dimensions, and perform further analysis in two dimensions and one dimension for each of the components of the CIELAB colour space.

**Keywords:** CIELAB, Colour comparison, Pigment.

### Resumen

La producción de pigmentos para su aplicación en diversos tipos de industrias (pinturas, cemento, fertilizantes, vidrios, etc.) se trata de un sector en auge que factura millones de euros en todo el mundo. Así, todas aquellas aplicaciones que aumenten la eficiencia y eficacia en el trabajo cotidiano dentro de esta industria convienen que sean desarrolladas. Dentro de esta línea, en el siguiente trabajo se presenta una técnica para la comparación de un modo rápido y sencillo de pigmentos en base a su información de color. Esta aplicación fue desarrollada para la empresa PROMINDSA SA y permite al usuario realizar una comparación visual teniendo en cuenta las tres dimensiones espaciales, así como realizar un análisis más exhaustivo en dos dimensiones y una dimensión para cada una de las componentes del color del espacio CIELAB.

**Palabras Clave:** CIELAB, Comparación de color, Pigmento.

### 1. Introducción

A pesar de que el empleo de la evaluación del color como herramienta de control de calidad se viene realizando desde 1931, cuando la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) hace su primera recomendación sobre los sistemas de especificación del color (espacio CIE XYZ), no es hasta 1960, con el desarrollo de la digitalización, cuando se comienza a investigar más profundamente en este aspecto [1-4]. En dicho espacio, cualquier color en las mismas condiciones (fuente de luz y circunstancias de observación) puede ser medido y descrito por un conjunto de valores

triestímulos (XYZ) que indican los porcentajes de rojo, verde y azul, respectivamente, que lo constituyen. La medición y representación de estos valores busca la obtención de un único valor cuantificado y, en muchas ocasiones, lo que se pretende es la comparación entre un color patrón y diversas muestras aceptando ciertas tolerancias.

Tras su publicación, surgieron investigaciones que demuestran que el espacio CIE XYZ no se corresponde acertadamente con las diferencias de color percibidas por el ser humano, al tratarse de una apreciación extremadamente no-uniforme [5-8]. Nace de esta manera en 1976 el espacio

CIELAB, caracterizado por su no-linealidad. A partir de este momento se propone el uso de linealizaciones globales y locales, sin comprometer la uniformidad perceptual [9]. Desde su creación, ha sido el espacio más empleado hasta el momento, sufriendo diversas modificaciones, en función de la industria y de las actividades en las que se utilice, como es el caso de CMC para la industria textil [10] y CIE94 para la industria de las pinturas [11]. Con el fin de unificar todas estas fórmulas, la CIE se reúne en Rochester (E.E.U.U.) dando lugar en 2001 a la presentación de CIEDE2000, que toma como base el espacio CIELAB y establece 5 nuevas modificaciones. A pesar de todo, el espacio CIELAB continúa siendo el más empleado en todos los sectores [12, 13].

Dentro del dicho espacio, tres de las coordenadas registradas son:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (CIE, 1976). La coordenada  $L^*$

representa la luminosidad, tomando valores desde 0 (negro) a 100 (blanco), mientras que las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  expresan la rueda del color, tomando valores de  $+a^*$  (rojo) hasta  $-a^*$  (verde) y de  $+b^*$  (amarillo) hasta  $-b^*$  (azul). De esta manera se pueden calcular las variaciones  $\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$ ,  $\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$  y  $\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$ . Estos valores son usados para hallar el cambio global del color entre dos tintes ( $\Delta E^*_{ab}$ ). La variación  $\Delta E^*_{ab}$ , es calculada como la distancia euclidiana entre los puntos resultantes de su representación en el espacio, por lo que  $\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ . Valores bajos de  $\Delta E^*_{ab}$  se corresponden con pequeñas diferencias de color [3].

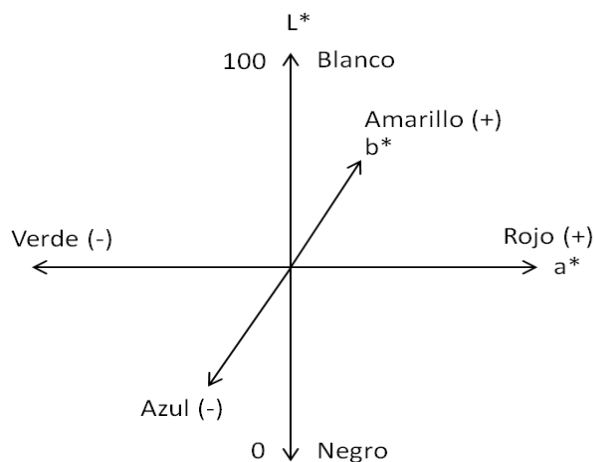
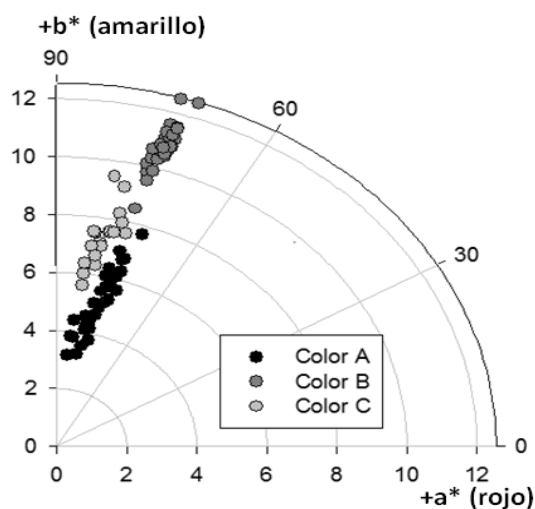


Figura 1. Ejemplo de gráficas de representación del espacio CIELAB. En la figura de la izquierda se presenta un gráfico  $a^*$ ,  $b^*$  de 3 colores. La figura de la derecha representa tridimensionalmente el espacio.

Para realizar las mediciones de cada uno de los parámetros empleando colorímetros o espectrofotómetros, es importante determinar unas condiciones de medida (fuente de luz y circunstancias de observación). Generalmente dentro de las fuentes de luz [3], se debe escoger entre las siguientes alternativas [3]: Iluminante Standard tipo A, que se basa en la bombilla incandescente de filamento de tungsteno y cuya distribución espectral se corresponde con la de un cuerpo negro a unos 2856 K; tipo B, que representa la luz solar directa, con una temperatura de color correlativa de 4900 K; tipo C, representación de la luz media del día, con una temperatura de color correlacionada de 6800 K sin incluir la radiación UV; y tipo D, que se corresponde con la serie de luz de día (*daylight*) incluyendo la radiación UV y se representa con la letra D mayúscula y dos cifras que indican la temperatura aproximada del color (por ejemplo, D50 tiene una temperatura de unos 5000 K). Dentro de esta última fuente la más habitual es la D65, que representa la luz al mediodía en Europa noroccidental. Cuando esta no puede ser empleada, se recomienda el uso de D50, D55 o D75. Dentro de las circunstancias de observación, las consideraciones a tener en cuenta son: la inclusión o no del componente especular (*Spectral Component Included* (SCI) y *Spectral Component*

*Excluded* (SCE)); el diámetro del spot, que hace referencia al área de medición del color; y el ángulo de observación, definido como la visión normal del color de la media de la población humana. El cálculo de esta media es necesario debido a que la sensibilidad del ojo cambia según el ángulo de observación, por esta razón, la CIE definió en 1931 un observador a 2° y, en 1964, a 10°.

Una vez registrados los valores de las coordenadas del color, las formas más habituales de representación son gráficos bidimensionales  $a^*$  y  $b^*$  y gráficos de representación tridimensional  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Figura 1).

Hoy en día la ciencia del color es empleada principalmente en los sectores de pintura, en la industria textil y en el área de la construcción (por ejemplo, investigaciones sobre la calidad de roca ornamental [14] o la durabilidad de las pinturas en diversos soportes, como cemento Portland blanco [15], cerámicas [16], granitos [17], etc.). Su uso se está implantando en otras actividades, tales como la industria de los alimentos y las bebidas, donde el color denota la diferenciación y la calidad del producto [18, 19], para el análisis de imagen [20] e incluso en odontología, para determinar con precisión el color de las porcelanas dentales [21].

Los pigmentos, responsables de atribuir el color a la pintura al mezclarse con ligantes y aditivos, pueden ser bien productos naturales micronizados, o bien productos sintéticos [22]. Una de las materias prima más utilizada para la obtención de pigmentos naturales de color rojo es el mineral de hierro ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) o hematites [23]. Se encuentra normalmente en depósitos de tamaño heterogéneo, alcanzando en ocasiones extensiones considerables y siempre asociado a rocas ígneas, pudiendo originarse debido a diversos procesos como pueden ser el metamorfismo de contacto, alteraciones siderita – magnetita o como resultado de la sublimación o volatilización de la roca [24]. Tras su extracción en mina, recibe un intenso procesamiento en planta de trituración y molienda, con el que se pretende conseguir un producto micronizado con un porcentaje en óxido de hierro elevado.

Para la obtención de este pigmento es muy importante un exhaustivo control de calidad que se ocupe de mantener el porcentaje de óxido de hierro constante, dado que es el responsable de la caracterización del color, lo que repercutirá en la obtención de un producto lo más homogéneo posible. Es de gran importancia la distribución de la granulometría del producto, ya que se ha comprobado que pigmentos de menor tamaño de grano proporcionan mejores propiedades físicas y ópticas, presentando una mayor intensidad y tonalidad rojiza, así como unos poderes colorantes y cubrientes más elevados [23].

El problema principal del sector dedicado a la fabricación de pigmentos naturales es conseguir regularizar de forma sencilla, rápida y económica el tono final del color, aportándole calidad al producto. Una solución a este problema es la visualización instantánea de la comparación de colores en el espacio CIELAB. Partiendo de un patrón de características deseadas, se permite la comparación del producto obtenido tras su tratamiento en planta, consiguiendo la homogeneización del producto final.

Actualmente PROMINDSA dispone de los recursos suficientes, ya que explota varios yacimientos de óxido de hierro, y de la capacidad técnica y tecnológica para producir pigmentos con propiedades de color “a la carta”. Para ello, además de controlar el tamaño de partícula en el proceso de micronizado, lleva a cabo procesos de mezclado ajustando de forma fina el contenido necesario de distintos óxidos de hierro producidos por la empresa para alcanzar un determinado matiz o tono de color. En la actualidad, PROMINDSA abarca la producción de una amplia gama de pigmentos rojos, amarillos, negros, naranjas o marrones. Por ello, la aplicación informática presentada en este trabajo supone un impulso importante en el desarrollo de nuevos productos que requieren un fino ajuste de las propiedades colorimétricas. Se facilita la obtención de pigmentos de origen natural de alta calidad, capaces de competir con la fuerte industria de los productos sintéticos.

## 2. Aplicación desarrollada

### 2.1 Data

Para el desarrollo de esta aplicación, se ha partido del análisis de las coordenadas colorimétricas de un total de 100 muestras de pigmentos de óxido de hierro (tanto naturales como sintéticos) de 1 gramo cada una. Se debe tener en

cuenta, que se podrán utilizar el número de datos que se desee, pero una mayor cantidad dificultará la visibilidad.

La medición del color es expresada en el espacio CIELAB [25], obteniendo las coordenadas colorimétricas mediante el empleo de un espectrofotómetro Minolta CM-700d/600D conectado a un PC equipado con el software CM-5100 W SpectraMagic NX. Las mediciones de color se realizan en la región visible del espectro electromagnético (longitudes de onda de 400 a 700 nm). Las medidas fueron tomadas incluyendo la reflexión especular (modo SCI Spectral Component Include), con una máscara de medición cuyo diámetro de spot es de 8 mm, la fuente de luz empleada es Iluminante D65 y se emplea un ángulo de observación de 10°. Previamente a su empleo, el aparato es calibrado (calibración del blanco CM-A177). Para realizar las medidas de una forma correcta el espectrofotómetro se debe aplicar siempre de forma perpendicular a la superficie de medida, siendo ésta lo menos rugosa posible. Una vez tomados los valores de L\*, a\* y b\* del color patrón y de los colores que se quieren estudiar se realiza el cálculo del cambio global del color  $\Delta E^*_{ab}$ . Dicha información se exporta a un documento .xls, constituido por tres columnas L\*, a\* y b\*. Es importante recordar que la primera muestra registrada en la primera fila define el color patrón, que sirve de referencia para el cálculo de la medición de error o desviación al comparar varios colores.

### 2.2 Aplicación de comparación de color

Para la comparación simultánea de uno o varios colores entre sí, o respecto a un color patrón, se desarrolló una aplicación a medida. En ella, a partir de unas restricciones de error ( $\Delta E^*_{ab}$ ) impuestas de antemano por la empresa, se puede identificar y cuantificar el error cometido en cada una de las coordenadas del espacio CIELAB, y así poder corregirlo de forma rápida y sencilla sin necesidad de cálculos ni tiempos de espera prolongados. Se ha creado una interfaz limpia y sencilla (Figura 2) para esta aplicación, de forma que su manipulación sea directa e intuitiva.

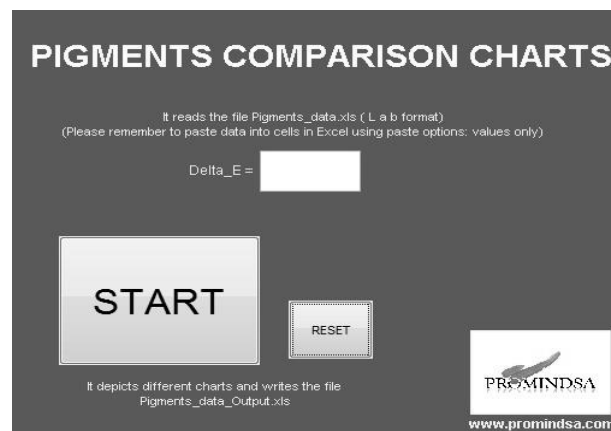


Figura 2. Pantalla principal de la aplicación creada.

La aplicación consta de tres módulos de graficación: 3D, 2D y 1D, en donde se puede visualizar la dispersión de la muestra testada con respecto a la de referencia, pudiendo observar el error límite admitido en cada caso y comprobar que parámetro está dentro o fuera de la región frontera.

Tras la generación y carga de los datos de partida, se establece el error  $\Delta E^*_{ab}$  que se pretende asumir y seguidamente comienza el análisis tras pulsar el botón de inicio del software. En pocos segundos se obtienen en pantalla las tres figuras de comparación de color.

### 2.2.1 Gráfica 3D

El primer módulo del software es la representación gráfica 3D, donde los ejes x e y, que forman el plano horizontal, representan las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , y el eje vertical, el parámetro  $L^*$ , que denota la luminosidad.

Los colores testeados serán simbolizados mediante puntos en el espacio. En negro se representa el color de referencia (origen de la esfera), y en verde (círculo) y rojo (estrella) los colores a comparar, en función de si se encuentran dentro o fuera de las tolerancias permitidas respectivamente. El error ( $\Delta E^*_{ab}$ ) previamente determinado por un experto, se representa por el radio de la esfera que aparece en color azul. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de este módulo, realizándose la comparación con respecto al patrón, de un solo color en el caso de la izquierda y de cuatro en la derecha.

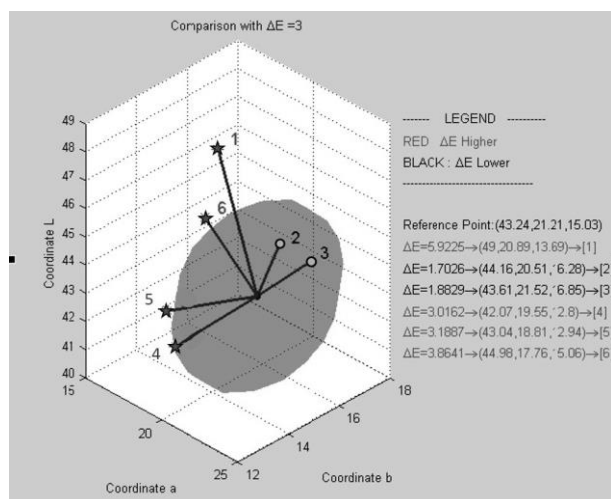


Figura 3. Ejemplo de comparación 3D de seis muestras de color diferentes. Se observa la variación general (línea oscura) de un color con respecto al color de referencia (centro de la esfera). Las estrellas rojas representan las muestras que no cumplen el criterio de error.

### 2.2.2. Gráfica 2D

El segundo módulo consta de dos gráficas usualmente utilizadas para la representación del color. En la primera se representa la coordenada  $a^*$  en abscisas y la  $b^*$  en ordenadas. La segunda gráfica muestra la magnitud  $L^*$  únicamente en un eje vertical.

El color de referencia se sitúa en la parte central mediante un punto negro, mientras que en círculos verdes se dibujan todos aquellos puntos que estén dentro del orden de error admitido, y en estrellas rojas todos aquellos que se encuentren fuera (ver Figura 4). Esto permite una identificación rápida de las muestras aceptadas como válidas o inválidas. Estas últimas serán tratadas para encontrarse dentro de las tolerancias exigidas.

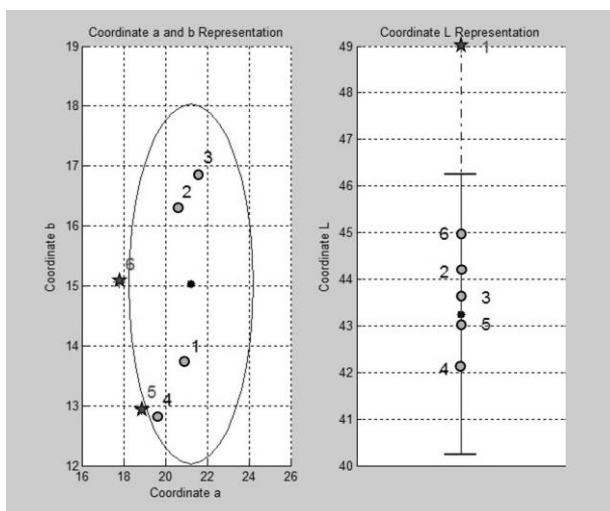


Figura 4. Ejemplo de comparación de colores 2D clásica, que enfrenta los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , junto con la representación del eje vertical o parámetro  $L^*$ .

El límite establecido como error también se gráfica. En la figura en 2D dicho límite viene dado por una circunferencia cuyo origen es el color de referencia. En la gráfica de la magnitud  $L^*$ , se marcan los límites mediante dos pequeñas barras horizontales de color negro.

### 2.2.3. Gráfica 1D

El último módulo desarrollado diferencia las tres magnitudes independientemente en gráficas 1D.

Al igual que en las anteriores, el color de referencia es el punto negro central y los colores comparados se sitúan en algún lugar del eje vertical, bien en verde (círculo), bien en rojo (estrella), en función de si se encuentran dentro o fuera del margen de error adoptado, respectivamente (ver Figura 5).

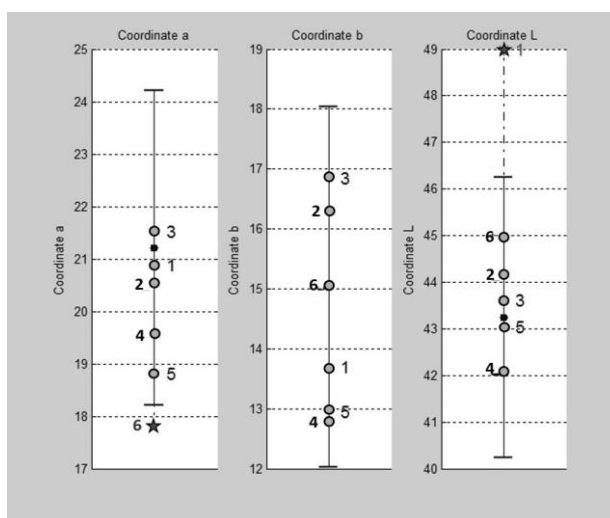


Figura 5. Ejemplo de comparación 1D, donde se analizan los colores en función de sus magnitudes  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de forma independiente.

La ventaja principal de esta visualización reside en que permite cuantificar el error en cada una de las variables por

separado, ya que se identifica de forma instantánea la desviación entre los puntos. Asimismo, posibilita saber cuál es la variable que más se aleja del patrón, y por tanto permite a los expertos encontrar el tratamiento adecuado para la muestra, de forma que cumpla con los criterios establecidos por la empresa. A modo de ejemplo, se puede comprobar que la muestra número 5 de la figura 5, está situado dentro de los intervalos en cada una de las coordenadas, mientras que el gráfico  $a^*b^*$  anterior se situaba fuera de los límites admisibles.

### 2.3.4. Otras gráficas

Además de las tres gráficas básicas presentadas en los apartados anteriores, también se consideró de gran ayuda introducir un par de gráficas finales que facilitasen el análisis y a la toma de decisión final. Una de ellas es la representación de la gráfica  $a^*b^*$  presentada en el apartado 2.2.2 pero de una forma más detallada, ya que se aplica un fondo a color para identificar de forma directa hacia que tonalidad se desvían las muestras testeadas.

La segunda gráfica es similar a la descrita anteriormente, con la diferencia de que los puntos se dibujan en coordenadas polares, definidas por una distancia y un ángulo. La transformación de las coordenadas sigue la norma clásica, donde la distancia al centro  $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ , y el ángulo  $\theta = \arctg(b, a)$ . Esta representación es muy utilizada en la industria de la pintura (Figura 6).

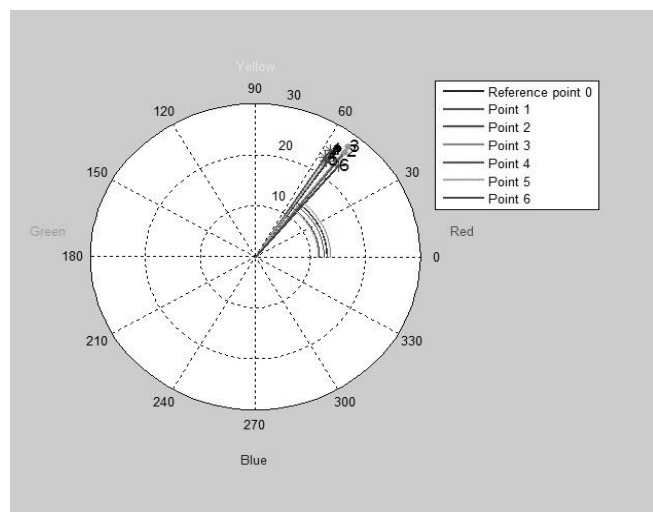


Figura 6. Gráfico de coordenadas polares de las muestras analizadas.

## 3. Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación de comparación y discriminación de pigmentos a partir de su información del color, de un modo sencillo y visual. Así, el usuario de dicha aplicación puede establecer conclusiones de un modo rápido y eficiente, analizando más exhaustivamente si así lo desea, cada una de las componentes del color en el espacio CIELAB.

Anteriormente, la comparación de colores se realizaba mediante software generalistas del sector de las pinturas en

base a la información obtenida mediante un espectrofotómetro en el laboratorio. Esto permitía analizar y comparar únicamente dos pigmentos, lo que reducía la capacidad de análisis por parte del usuario.

Mediante este software es posible reconocer, de un modo sencillo, productos que no están dentro de los límites establecidos por el usuario, en términos del error. Además, se puede analizar de un modo más detenido en cada una de las componentes del espacio CIELAB, comúnmente utilizado dentro de este sector.

Como líneas futuras de trabajo se plantea la ampliación del presente software mediante la incorporación de modelos basados en redes neuronales, con los cuales se abordaría la predicción de las componentes del color a partir de las proporciones de cada uno de sus elementos y sus correspondientes coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

## Agradecimientos

La investigación de Carla Iglesias está financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a través de una beca FPU 12/02283. La investigación de Santiago Pozo está financiada por la Universidad de Vigo, a través de su contrato pre-doctoral 2011.

## Referencias

- [1] CIE. Colorimetry, CIE Publ. n° 15.2, Centr. Bureau CIE, Vienna, Austria, 1986.
- [2] Wyszecki, G. and Stiles, W. S., Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2<sup>nd</sup> ed., New York: Wiley, 1982.
- [3] CIE. Colorimetry, CIE Publ. n° CIE 15.3, Centr. Bureau CIE, Vienna, Austria, 2004.
- [4] Luo, M. R., Applying colour science in colour design, Optics and Laser Technology, 38, pp. 392-398, 2006.
- [5] Newshall, S. M., Nickerson, D. and Judd, D.B., Final report of the O.S.A. subcommittee on spacing of the Munsell colors. Journal of the Optical Society of America, 33, 385, 1943
- [6] Macadam, D. L., Visual sensitivities to color differences in daylight. Journal of the Optical Society of America, 32, 247, 1942.
- [7] Vhrel, M. J. and Trussell, H. J., Filter considerations in color correction, IEEE Transactions on Image Processing, 3, pp. 147-161, 1994.
- [8] Sharma, G. and Trussell, H. J., Figures of Merit for Color Scanners, IEEE Transactions on Image Processing, 6, pp. 990-1001, 1997.
- [9] Wolski, M., Bouman, C. A., Allebach, J. P. and Walowit, E., Optimization of sensor response functions for colorimetry of reflective and emissive objects, Proceedings IEEE Int. Conf. Image Processing 2, pp. 323-326, 1996.
- [10] Clarke, F. J. J., McDonald, R. and Rigg, B., Modification to the JPC79 colour-difference formula. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 100, 128-132 and 281-282, 1984.
- [11] CIE. Parametric effects in colour-difference evaluation, Technical report CIE Pub. N° 101, Centr. Bureau CIE, Vienna, Austria, 1993.
- [12] Luo, M. R., Cui, G. and Rigg, B., The development of the CIE 2000 colour difference formula, Color Research and Application, 26, pp. 340-350, 2001.
- [13] CIE. Improvement to industrial colour-difference evaluation. CIE Publication 14-2001. Central Bureau of the CIE, Vienna, 2001.
- [14] Álvarez, M.J., González, E., Bianconi, F. Armesto, J. and Fernández, A., Características de color y textura para recuperación de imágenes en la industria del granito, DYNA, 161, pp. 121-130, 2010.

- [15] Morales, J. G. and Restrepo, O. J., Estabilización del pigmento azul ultramar en cemento Portland Blanco, DYNA, 155, 171-180, 2008.
- [16] Dosta, S., Torrell, M., Cano, I. G. and Guilemany, J. M., Functional colored ceramic obtained by thermal spray for decorative applications, Journal of the European Ceramic Society, 32, pp. 3685-3692, 2012.
- [17] Rivas, T., Pozo, S., Fiorucci, M. P., López, A. J. and Ramil, A., Nd:YVO<sub>4</sub> laser removal of graffiti from granite. Influence of paint and rock properties on cleaning efficacy, Applied Surface Science, 263, 15, pp. 563-572, 2012.
- [18] Taub, I. A. and Singh, R. P., Food storage stability. United States of America, CRC Press, 1997.
- [19] Bakker, J., Bridle, P. and Timberlake, D. F., Tristimulus measurements (CIELAB 76) of port wine colour, Vitis, 25, pp. 67-78, 1986.
- [20] Comolly, C. and Fliess, T., A study of efficiency and accuracy in the transformation from RGB to CIELAB Color Space, IEEE Transactions on Image Processing, 6 (7), pp. 1046-1048, 1997.
- [21] Segui, R. R., Johnston, W. M. and O'Brien, W. J., Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems, The Journal of Prosthetic Dentistry, 56 (1), pp. 35-40, 1986.
- [22] Calvo Carbonel, J., Pinturas y Recubrimientos: Introducción a su tecnología, Ed. Díaz de Santos, 2009.
- [23] Gialanella, S., Belli, R., Dalmeri, G., Lonardelli, I., Mattarelli, M., Montagna, M. and Toniutti, L., Artificial or natural origin of hematite-based red pigments in archaeological contexts: The case of riparo Dalmeri (Trento, Italy), Archaeometry, 53 (5), pp. 950-962, 2011.
- [24] Barron López de Torre, V., Predicción del color en mezclas de arcillas con óxidos de hierro: Aplicación del análisis de Kubelka – Munk, Bolsoc. Esp. Ceram. V/Dr., 26 (5), pp. 299-304, 1987.
- [25] CIE S 014-4/E:2007, ISO 11664-4:2008 (Colorimetry, Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour space).