

Una Breve Revisión de la Aplicación del Diseño de Experimentos en la Coloración de Materiales Plásticos

A brief review of the application of Design of Experiments in the coloring of plastic materials

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.4.2.2022.06>

Fecha de Recepción: 20/10/2022. Fecha de Publicación: 24/10/22

Dylan Acosta-Toscano

Estudiante Ingeniería Industrial
Universidad de la Costa. Barranquilla Colombia
dacosta10@cuc.edu.co

Alexander Troncoso-Palacio

Departamento de Productividad e Innovación
Universidad de la Costa. Barranquilla Colombia
atroncos1@cuc.edu.co

Resumen.

El color es una característica clave esencial para que los envases de plástico se destaquen en el mercado. Debido a esto, los productores de envases plásticos, se preocupan por aplicar técnicas que ayuden a que su apariencia sea más atractiva para los clientes. El objetivo de este estudio es, brindar a la comunidad un artículo que sirva de base para futuras investigaciones sobre los envases plásticos de colores. Se realizó un rápido análisis sobre el uso del diseño de experimentos para el tratamiento del color en materiales plásticos. Se analizó una muestra de quince estudios publicados en Scopus, Web of Science y Science Direct. Al examinar sus resultados, se concluye que, para obtener una buena pigmentación del material plástico, se deben controlar los siguientes tres factores: Temperatura, Velocidad del Tornillo sin fin y Velocidad de Avance de la Máquina.

Palabras clave. Diseño de experimentos, Coloración del plástico, Temperatura, Velocidad del tornillo, Velocidad de alimentación.

Abstract

Color is an essential key characteristic for plastic packaging, to stand out in the marketplace. Due to this, the producers of plastic containers, are concerned with applying techniques that help them make their appearance more attractive to customers. The objective of this study is, to provide the community with an article that serves as a basis for future research on plastic color containers. A quick analysis was realized on the use of the design of experiments for the treatment of color in plastic materials. It analyzed a sample of fifteen studies published in Scopus, the Web of Science, and Science Direct. When examining their results, it is concluded that, in order to obtain good pigmentation of the plastic material, the following three factors should be controlled: temperature, screw speed, and machine feed rate.

Keywords: Design of experiments, Coloration of the plastic, Temperature, Speed of the screw, Speed of feeding.

I. Introducción.

Las sustancias que dan color al plástico se vienen usando en productos casi desde la incursión de los polímeros en la industria. Estas materias primas que dan color se dividen entre colorantes y pigmentos orgánicos e inorgánicos, y han evolucionado según las exigencias de resistencia térmica, resistencia a la intemperie, migración y toxicidad para cumplir con los requerimientos del artículo [1]. Los materiales plásticos se presentan en diferentes colores: desde transparentes,

como algunas bolsas de plástico y botellas de agua, hasta rojos, azules y amarillos, como juguetes y otros objetos cotidianos. Entonces, ¿qué son los pigmentos para plásticos y cómo utilizarlos? [2]. Los fabricantes de compuestos plásticos utilizan varios modificadores, rellenos y aditivos para los grados de materiales poliméricos para inculcar y mejorar sus atributos deseados, como la estabilidad térmica, ultravioleta y las propiedades mecánicas. Todos los parámetros, incluido el procesamiento y las condiciones reológicas, se enfocan a lo largo del ciclo de desarrollo de estos grados de plástico; sin embargo, en el actual mercado de plásticos de rápido crecimiento, agregar un color y una apariencia específicos a los grados de plástico se ha vuelto aún más exigente.

Es imperativo tener en cuenta el color desde el inicio del ciclo de desarrollo de un grado de material polimérico. [3] Este modelo de color fue introducido en 1976 por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), la comisión internacional sobre la luz, y está reconocido como un estándar internacional formalmente aceptado para la comunicación del color. En el espacio de color 3D, L^* es el eje de luminosidad que va de 0 (negro) a 100 (blanco), y a^* y b^* representan los ejes rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente [4]. Los factores clave que pueden causar que ocurra una falta de coincidencia de color incluyen una mezcla inadecuada, tanto dispersiva como distributiva, de los pigmentos de color; [5] mala formulación de pigmentos; [3] variación del tamaño de las partículas de pigmento; [6] y partículas/regiones de índice de refracción variable dentro de la resina polimérica que provocan dispersión. Todos estos factores deben estudiarse para comprender su efecto en el color de salida. [7] Los espectrofotómetros pueden servir como medidas importantes para controlar la calidad, cuantificar el color y comparar numéricamente las variaciones en los colores. [8]

El diseño de experimentos (DOE) es un enfoque planificado que permite a un experimentador planificar los experimentos y determinar las relaciones de causa y efecto. DOE se usa ampliamente en numerosas áreas de la ciencia porque reduce la cantidad de experimentos que deben realizarse. El análisis de varianza (ANOVA) es esencial para validar la importancia y la aptitud del modelo; explica si el modelo cuadrático desarrollado es significativo. Investigó la influencia de los parámetros del proceso y la interacción de estos parámetros. La robustez de los diseños de RSM se garantiza considerando la propagación de errores (POE). Los POE, una medida de la desviación estándar de la variabilidad transmitida en la respuesta de salida, son causados por fluctuaciones en variables de proceso controlables significativas durante la experimentación, asumiendo que los factores incontrolables (ruido) son cero. [9]

II. Metodología

Esta contribución opera un sistema de recopilación sistemática que permitió identificar los artículos elegibles para la revisión y analizarlos a través de un proceso estructurado. tiene como objetivo identificar las corrientes de investigación bajo las cuales se estudia la consistencia de coloración de los plásticos en la literatura existente. En los siguientes 4 pasos observamos como se realizó la redacción de este artículo de investigación.

1. Identificar el tema a tratar.
2. Realizar la búsqueda de los artículos en bases de datos, libros electrónicos etc. confiables.
3. Leer los artículos encontrados, entenderlos e interpretar la investigación.
4. Redactar la interpretación de los artículos.

III. Palabras claves para la búsqueda

Se definieron las palabras claves, adoptadas para consultar las bases de datos científicas. Las palabras clave utilizadas son: (“Diseño de experimentos” AND “Coloración de los plásticos”). Esta elección permite limitar el alcance de la investigación a aquellos trabajos centrados en la implementación de DOE en coloración de los plásticos.

IV. Búsqueda bibliográfica

Los pigmentos para plásticos son elementos que dan color al producto. No obstante, el tema va un poco más allá de esta explicación: los pigmentos son compuestos químicos divididos en partículas de tamaño microscópico y color propio, que pueden colorear un determinado objeto. Sin embargo, también influyen en la resistencia térmica, el poder colorante y la migración. Como los pigmentos no solo influyen en el tono del plástico en cuestión, es necesario analizar una serie de factores, como: Compatibilidad del material a colorear con el pigmento. Origen del pigmento. Tonalidad del pigmento. Finalidad alimenticia del plástico.

Los pigmentos pueden clasificarse, en orgánicos e inorgánicos. Para que un compuesto orgánico tenga color es preciso que su estructura química posibilite la resonancia electrónica, siendo capaz de absorber radiaciones electromagnéticas en la región del espectro visible. Para que un compuesto orgánico colorido sea usado en polímeros debe presentar características como estabilidad térmica, química, mecánica, de baja migración, entre otros. En resumen, debe cumplir

con los requerimientos tanto de uso del artículo como de procesamiento del polímero. [1]. Entre los polímeros más importantes para la coloración con pigmentos y colorantes se encuentran las poliolefinas, el policloruro de vinilo, el poliuretano, la poliamida, el policarbonato, el poliéster y los elastómeros. Se utilizan diferentes métodos de procesamiento para colorear los plásticos individuales. Los procesos de coloración deben coordinarse de acuerdo con los pasos del procesamiento de plásticos que conducen al producto final. [10]. Con base en lo dicho anteriormente podemos tener claro, que es un pigmento y como se clasifican, para así poder entender el objeto de esta investigación.

En el artículo de investigación realizado por [11], trata sobre como optimizar el proceso de coloración del plástico para que en la salida del proceso el color sea más consistente, teniendo en cuenta tres parámetros de entrada, temperatura, velocidad del tornillo y velocidad de alimentación. Para realizar el experimento prepararon un DOE con 17 corridas Experimentales Para implementar un método de superficie de respuesta (RSM). Realizaron un modelo cuadrático. Ejecutaron ANOVA para las tres respuestas de salida L^* , a^* y b^* donde obtuvieron modelos cuadráticos significativos con valores de $p < 0,05$. Para garantizar que el modelo era válido realizaron evaluaciones de diseño y las comparaciones de diagnóstico requeridas con base a esto encontraron que todas las estadísticas se encontraban dentro de los límites. Por ejemplo, la falta de ajuste para los tres modelos fue insignificante con grados de libertad (df) mayores que el límite mínimo de 3; la diferencia entre los valores de R^2 ajustado y R^2 predicho fue inferior a 0,2; la precisión adecuada (una medida de la relación señal/ruido) estuvo muy por encima del umbral de 4; se encontró que los valores de error estándar asociados con coeficientes con respecto a términos lineales, de productos cruzados y cuadráticos eran exactamente iguales dentro de su tipo específico; se encontró que los factores de inflación de la varianza de todos los coeficientes eran 1, un valor ideal que asegura la ortogonalidad del diseño; y todos los residuos se comportaron bien, excepto algunos valores de diferencia de ajuste (una estadística útil para detectar ejecuciones influyentes), uno para L^* y dos para a^* , que excedieron un límite de ± 2 .

Con una verificación del estado de tiempo (FDS) determinaron que el diseño puede detectar un cambio mínimo de 0,59 en la respuesta de salida. Luego concluyeron que el efecto positivo que se encontró en L^* causado por un aumento en la velocidad de alimentación a la velocidad máxima del tornillo se invierte cuando el nivel de velocidad se establece en un mínimo. Otro de los artículos de investigación que trata sobre el tratamiento de la coloración del plástico es el de [12].

En el cual se realiza una investigación en los efectos de variación, para lograr una dispersión adecuada de los pigmentos, realizaron optimizaciones de los parámetros del proceso de composición mediante la investigación de tres parámetros de procesamiento, la temperatura, la velocidad del tornillo y la velocidad de alimentación. Utilizaron un DOE para la optimización de los parámetros del proceso basado en la metodología de superficie factorial de 3 niveles.

La optimización de los datos estadísticos se realizó con un software experto en diseño de experimentos, donde el análisis de varianza (ANOVA) ilustra que los parámetros de color (dL^* , da^* y db^*) se ven afectados por los tres parámetros investigados. Utilizaron el DOE con 27 corridas experimentales, utilizando un diseño factorial de tres niveles.

La experimentación se llevó a cabo para el material investigado en la Planta Industrial. Se usó una mezcla de dos resinas de policarbonato junto con cuatro pigmentos diferentes. El índice de fluidez (MFI) para la Resina 1 fue de 25 g/10 min, y el de la Resina 2 fue de 6,5 g/10 min.

En base a los experimentos realizados por el autor encontraron correlaciones observadas entre las variables de procesamiento y el color generado, y concluyeron con las siguientes recomendaciones: La velocidad de alimentación fue de 20 kg/h, 25 kg/h y 30 kg/h, a una velocidad de 750 rpm y una temperatura de 255 °C. Mediante un ANOVA pudieron optimizar los parámetros de procesamiento para poder dar con un color consistente a la salida del proceso. Utilizaron el software Design Expert para efectos de los parámetros del proces

Consiguiente pudo demostrar que la diferencia de color mínima a lo largo del experimento fue igual a 0,34 para dE^* . Esto quiere decir, que a medida que aumentaban las velocidades de alimentación de 20 kg/h a 30 kg/h, los valores de diferencia de color (dE^*) disminuían sustancialmente. Finalmente, puedo producir un conjunto óptimo de parámetros de

procesamiento para los grados del policarbonato mediante la utilización de los parámetros optimizados y, por lo tanto, reducir la falta de coincidencia de colores para que se puedan reducir los desperdicios. **También [13] en su artículo** realiza un estudio para conocer las condiciones óptimas para garantizar la consistencia de color en la respuesta de salida. En donde investiga las condiciones óptimas del proceso a través de un DOE, donde implementa un método de superficie de respuesta del diseño de Box Behnken.

Varían las tres variables de entrada (temperatura, alimentación y velocidad) a través de un rango extendido para observar el impacto en el color de salida de un grado de plástico compuesto de policarbonato opaco de alta luminosidad. Emplearon la técnica de POE para garantizar la fiabilidad del proyecto y como resultan brindan las combinaciones óptimas de las variables de entrada del proceso para lograr un color consistente en la salida. De otro modo [14] dice que la coloración de los plásticos se le puede agregar un poco de masterbath a la mayor parte de la resina durante el procesamiento. Tiene como objetivo colorear los productos plásticos usando una cantidad de masterbath normalmente inferior al 4 o 5% en peso y observar que efectos tiene.

Los resultados de las últimas pruebas le mostraron además que cuanto mayor es el índice de fusión del lote maestro, más homogénea es la coloración. Además, el análisis de SEM y DSC indicó que el ABS podría haber pasado de tener características frágiles a tener comportamientos dúctiles.

En búsqueda de nuevas técnicas para mejorar el proceso de coloración de los plásticos [15] hacen un experimento utilizando El modelo de color CMYK, o cian, magenta, amarillo y clave (negro), es el modelo de color sustractivo ampliamente utilizado hoy en día en industrias como las tintas de impresión y el embalaje. El objetivo de este proyecto es proporcionar coloración personalizada mediante el uso de suministros de mezcla de gránulos de concentrado de color de plástico cian, magenta y amarillo. Esta técnica proporcionaría un método de coloración personalizado de bajo costo que beneficiaría a las instalaciones de moldeo a pequeña escala.

Se lograron colores personalizados y los resultados se analizaron utilizando un método de cuantificación de color de imágenes digitales. Esta técnica se implementó en la Universidad de Wisconsin - Stout Plastics Lab para producir filamentos de impresión 3D de colores personalizados utilizando una extrusora de doble tornillo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Esta revisión de la literatura muestra que existe un interés decreciente por parte de los investigadores del tema de la coloración de los plásticos. como lo demuestra el decreciente número de publicaciones sobre el tema en prestigiosas revistas científicas, como Scopus, Web Ob Science y Science Direct.

La mayoría de los estudios sobre la utilización del DOE en el tratamiento de la coloración de los plásticos realizan métodos diferentes para poder darle color a los plásticos.

También podemos concluir que en las bases de datos investigadas hay poca información sobre la utilización del diseño de experimentos en el tratamiento de la coloración del plástico, y los artículos que se encuentran son de muchos años atrás. Con base a esto se puede seguir investigando para tener más información actualizada sobre la investigación objeto.

Las recomendaciones para realizar este tipo de artículos:

- ✓ Buscar los artículos en las bases de datos confiables.
- ✓ Citar párrafos, si se copia de algún artículo.
- ✓ Los artículos consultados tienen que ser no mayor a 10 años.
- ✓ Planificar y organizar bien la estructura del artículo.

Referencias

- [1] Tecnología del Plástico, «Tecnología del Plástico,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/temas/Colores-y-pigmentos,-pequenas-dosis,-grandes-efectos+109128>. [Último acceso: 23 Marzo 2022].
- [2] Polyexcel, «Polyexcel Energy In Compounds,» 20 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://polyexcel.com.br/es/productos/que-son-los-pigmentos-para-plasticos-y-cuales-son-los-principales/>. [Último acceso: 23 Marzo 2022].
- [3] B. M. Mulholland, «Effect of additives on the color & appearance of plastics.,» de *Paper presented at ANTEC Conference*, Cincinnati, OH, 2007.
- [4] CIE, «Colorimetry—Part 4: CIE 1976 L* a* b* colour space,» CIE Central Bureau, Vienna, Austria, 2007.
- [5] D. Colquhoun, H. Skelton y M. Vincent, « Improved dispersion of yellow metal AZO pigment in polyethylene film,» de *Paper presented at Canada ANTEC Conference*, Boston, MA, 2015.
- [6] C. Rauwendaal, *Polymer Mixing: A Self-study Guide*, Munich, Germany: Hanser Publishers, 1998.
- [7] M. O. Zink, «The value of transparent and opaque pigments in plastics coloration,» de *Paper presented at CAD RETEC Conference*, Marco Island, FL, 2004.
- [8] D. Meade, *Introduction to colorant selection and Application Technology*, segunda ed., R. A. Charvart, Ed., Wiley , 2003.
- [9] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, New York: Wiley, 2005.
- [10] G. Pfaff, «Colorants in plastic applications,» *Physical Sciences Reviews*,, vol. 6, n° 2, p. 20190104, 2021.
- [11] S. Ahmed, J. Al-Sadi, U. Saeed, G. Rizvi, D. Ross, R. Clarke y J. Price, «Process Optimization through Designed Experiments to Achieve Consistency in Output Color of a Compounded Plastic Grade,» *Quality Engineering*, vol. 27, n° 2, pp. 144-160, 2015.
- [12] J. A. Sadi, «Designing Experiments: 3 Level Full Factorial Design and Variation of Processing Parameters Methods for Polymer Colors,» *ASTES*, vol. III, n° 5, pp. 109-115, 2018.
- [13] S. Ahmed, J. Alsadi, G. Rizvi y J. Price, «Experimental study to investigate optimal process conditions for consistency in coloration of a compounded plastic grade,» de *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, Orlando, 2015.

- [14] Y. Wong, N. Ngai y V. Ngai, «Colouring of moulded plastic products by the addition of colour masterbatches,» *Science Direct*, vol. 63, n° 1-3, pp. 468-471, 1997.

- [15] T. hirsch, R. O'Brien, N. Deeg, M. Ray, A. Kramschuster y W. Zheng, «The CMYK, or cyan, magenta, yellow, and key (black), color model is the subtractive color model widely used today in industries such as printing inks and packaging. Cyan, magenta, and yellow can combine to form a variety of colors in the pantone color spe,» de *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, Orlando, 2018.