



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Sustitución de pigmentos que contienen metales pesados

Autor
Andrea Jiménez Calderón

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería química
Medellín, Colombia
2020



Sustitución de pigmentos que contienen metales pesados

Autor

Andrea Jiménez calderón

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera química

Asesores

Juan Sebastián Gómez cano
Heberto Tapias García

Andrea Jiménez Calderón, ingeniera química

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería química
Medellín, Colombia
2020.

Sustitución de pigmentos que contienen metales pesados

Resumen

En la actualidad las consideraciones ambientales y toxicológicas alrededor de cualquier proceso de fabricación industrial han tomado mayor fuerza, enfrentando a las empresas al desafío de sustituir sus materias primas, modificar sus procedimientos, o adoptar otras medidas.

En la compañía Invesa S.A se requiere reemplazar los pigmentos que contienen metales pesados debido a que presentan riesgos de intoxicación para los seres vivos y son una amenaza para el medio ambiente. Además, se busca cumplir con las futuras restricciones legales que se tendrán en Colombia respecto a los componentes de las pinturas; en el momento se cuenta con un proyecto de ley que prohíbe el contenido de plomo en pinturas por encima de los 90 ppm en nuestro país.

Para seleccionar y sustituir un pigmento se deben verificar sus propiedades colorimétricas, las características físicas, la resistencia a la migración de color, estabilidad al calor y a la luz, el poder tintóreo, la opacidad, entre otras. Se inició con la identificación de los pigmentos que contienen metales pesados, ya sea en su estructura principal, como agregados o en trazas, a partir de lo cual se reconocieron 4 pigmentos que requieren ser sustituidos a corto plazo (amarillos de cromo, naranja molibdeno y verde cromo) y 2 pigmentos que no demandan prioridad por contener el plomo en niveles muy bajos o un metal pesado que no estará regulado en Colombia en un futuro cercano (azul fierro y amarillo de zinc). Luego de evaluar las propiedades de los pigmentos considerados como posibles sustitutos, se seleccionaron los que presentaban características colorimétricas semejantes a los pigmentos actualmente usados y se comenzó con la reformulación de los materiales de recubrimiento en los cuales se utiliza dicha materia prima; aunque se obtuvieron tonos muy similares, se presentaron desviaciones con el cubrimiento, el tiempo de dispersión y el tiempo de secado de las películas. Tras realizar varios ensayos de laboratorio se propusieron alternativas viables para modificar los esmaltes que necesitan el cambio de pigmento, tomando en consideración los costos de los productos terminados.

Introducción

Existe una preocupación razonable por usar pigmentos que contienen metales pesados ya que representan un alto riesgo de intoxicación y hasta carcinogenicidad tanto para los operarios que día a día tienen una manipulación directa de dichos materiales, como para las personas que interactúan con superficies u objetos que han sido pintados con materiales de recubrimiento elaborados a partir de estos pigmentos.

En la mayoría de los países desarrollados se tienen regulaciones para restringir el uso de pinturas que contienen metales pesados, principalmente el plomo, para aplicaciones arquitectónicas; por lo cual muchos comerciantes y fabricantes de materiales de recubrimiento están en busca de alternativas a los pigmentos con metales pesados. El proceso de seleccionar y evaluar pigmentos son labores que demandan mucho tiempo, debido a que estos pueden tener propiedades coloristas y físicas muy variadas, provocando que se comporten diferente en los sistemas de polímeros dependiendo de la técnica de incorporación, resina, aditivos utilizados, entre otros. Propiedades como el color, opacidad, fuerza de tinte, migración,

estabilidad al calor y resistencia a la luz pueden diferir drásticamente de un sistema a otro. (OSMER, 1979)

La norma actual colombiana propone diferentes medidas que permitan controlar y reducir los principales impactos ambientales generados desde la selección de materias primas hasta el fin de la vida útil de la pintura. Durante la producción de materiales de recubrimiento se usa una serie de sustancias nocivas para el medio ambiente, las cuales pueden presentar riesgos específicos para la salud humana, como lo son los metales pesados, algunos solventes y los compuestos orgánicos volátiles. Los metales pesados son compuestos prohibidos que no deben ser adicionados intencionalmente al producto, aunque se acepta que los ingredientes puedan contener trazas de estos metales procedentes de las impurezas de las materias primas en una concentración de hasta el 0.01% (m/m) (Icontec, 2013). Son considerados metales pesados en pinturas el arsénico, cadmio, cromo (VI), plomo, mercurio y selenio. (Comisión Europea, 2014).

En el presente la compañía Invesa S.A utiliza en sus formulaciones pigmentos de diversas químicas; tras conocer cuáles contienen los metales pesados regulados por la legislación ambiental, se procedió con la búsqueda de alternativas, comenzando con la evaluación de las propiedades de los pigmentos orgánicos o híbridos sugeridos por algunos proveedores. Luego de seleccionar los que presentaban un desarrollo de color muy similar a los pigmentos actualmente usados, se elaboraron los esmaltes que requieren dicha materia prima. Los productos terminados deben cumplir una multitud de especificaciones, además de ser afectados significativamente por diversas variables que no siempre son controlables. El mayor reto que se presenta en el desarrollo de estas reformulaciones es alcanzar el cubrimiento deseado para los diferentes esmaltes sin afectar el brillo y el costo final.

Objetivos

General: Plantear las alternativas adecuadas para el reemplazo de los pigmentos que contienen metales pesados reglamentados por la ley internacional, con el fin de obtener materiales de recubrimiento ambientalmente más amigables y menos tóxicos.

Específicos

- Realizar la caracterización de los diferentes pigmentos que se manejan en la producción de pinturas y materiales de recubrimiento en Invesa S.A.
- Determinar y evaluar pigmentos que puedan sustituir satisfactoriamente los pigmentos que contienen metales pesados, para así recomendar los más adecuados para llevar a cabo los reemplazos.
- Estimar el desempeño de los pigmentos nuevos al momento de realizar las pastas requeridas para la fabricación de las pinturas.

Marco Teórico

Un material de recubrimiento líquido es una mezcla heterogénea de componentes que una vez aplicado y seco se transforma en una película continua de espesor más o menos uniforme. Los componentes de la pintura varían en gran medida en función del tipo de acabado que se

requiera y de las condiciones de aplicación y secado; pero en general constan de resina, cargas, disolvente, pigmentos y aditivos.

Resina / polímero: Esto proporciona las propiedades químicas y físicas de la película seca, incluida su dureza, flexibilidad y resistencia al agua. Las pinturas se clasifican según el tipo de resina utilizada, las principales resinas son de tipo:

- Alquídica.
- Vinílica.
- Poliuretano.

Pigmentos: Estos proporcionan el color y la opacidad de la pintura, además de algunas de sus propiedades físicas. Las cargas y los extender al igual que los pigmentos son sólidos que aportan propiedades físicas a las pinturas, pero no color. Los pigmentos comunes incluyen dióxido de titanio (TiO_2), que se usa ampliamente como blanco, óxido de hierro que se usa como rojo y ocre, y negro de carbón que se usa como negro.

Disolvente / diluyente: Además de agua, se utilizan disolventes orgánicos como alcoholes, ésteres y cetonas, para permitir que el pigmento y la resina se extiendan sobre la superficie de manera homogénea y evitar el curado anticipado de la pintura.

Aditivos: Un componente menor de la pintura, utilizado para mejorar su funcionalidad. Los aditivos tienen una serie de funciones que incluyen mejorar la resistencia al moho, mejorar la dispersión, prevenir formación de espuma, mejorando la vida útil y las propiedades físicas de la pintura. Hay cientos de productos diferentes y materiales que entran en esta categoría. (Giannis S. Kougoulis, 2012)

En la fabricación de pinturas en Invesa, por lo general se utilizan pastas pigmentarias, las cuales son elaboradas previamente; estos productos intermedios son una dispersión o molienda, si es requerida, de pigmento en solvente y/o resina con aditivos como dispersante y antiespumante. La propiedad principal que indica si una pasta pigmentaria está adecuadamente preparada y es útil para su posterior manipulación, es el nivel de dispersión medido con piedra Hegman, la cual tiene una escala en función del tamaño de partícula de la película.

Los pigmentos son partículas sólidas de tipos orgánicos e inorgánicos y pueden ser naturales o sintéticos, que por lo general son insolubles en el vehículo o sustrato en el que están incorporados, y esencialmente no son afectados física y químicamente por estos. Alteran la apariencia por absorción selectiva y/o dispersión de la luz. (Koleske, 1916)

Muchos pigmentos inorgánicos son extraídos de la corteza terrestre, lavados y clasificados por tamaños. La mayoría de los pigmentos orgánicos usados hoy en día son sintéticos, algunos de los cuales son híbridos con núcleo inorgánico. Generalmente los pigmentos producidos mediante precipitación tienen un tamaño de partícula más uniforme que los pigmentos obtenidos por la trituration de óxidos naturales o sales. (Krister Holmberg, 2002)

Los pigmentos suelen dispersarse en vehículos o sustratos para su aplicación, como por ejemplo en tintas, pinturas, plásticos u otros materiales poliméricos. Los pigmentos y tintes difieren en el tipo de película que forman sobre una superficie; cuando se aplica un tinte, penetra en el sustrato en una forma soluble después de la cual puede o no llegar a ser insoluble, por el contrario, cuando se usa un pigmento para colorear un sustrato, el sólido finamente dividido permanece insoluble a lo largo del proceso de coloración. (Koleske, 1916)

Los pigmentos utilizados en pinturas y revestimientos pueden dividirse ampliamente en blancos, los cuales son inorgánicos, y los de colores que pueden ser orgánicos o inorgánicos. Los pigmentos con naturaleza orgánica contienen una agrupación o disposición característica de átomos conocida como un "cromóforo", que imparte color a la molécula; los más importantes son los azoicos y las ftalocianinas, además es probable que la molécula presente una serie de grupos modificadores llamados "auxocromos" que alteran el tono primario del pigmento de una manera más sutil (Koleske, 1916). Los grupos auxocrómicos cuando son donadores de electrones (-OH, -OMe, -NH₂, NHR; NR₂) intensifican la absorción de luz y desplazan el máximo del espectro a mayores longitudes de onda, cambian el color a tonos azulados y verdes, recibiendo el nombre de batocrómicos. Los grupos que atraen electrones (-NO₂; -COOR) desplazan la absorción a longitudes de onda más cortas y el color a tonos amarillos y anaranjados y se llaman hipsocrómicos. (Tejedor, s.f.). En términos generales, los pigmentos inorgánicos de color son cromatos de plomo, óxidos metálicos, sulfuros o sulfoselenidos y se clasifican comúnmente en función de su color y no de su química. (Koleske, 1916)

La colorimetría se define como la ciencia de la medición del color. Se desarrolló con el interés de la normalización y para centrar la atención en las propiedades de los objetos materiales como películas de pintura; las normas internacionales y recomendaciones fueron establecidas por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). El color depende de tres aspectos objetivos: la composición espectral de la luz en la que se ve la pintura, la reflectancia espectral de la pintura y la respuesta espectral del ojo del observador. La interpretación subjetiva de la respuesta del cerebro a estos aspectos es también una parte esencial del color. Cuando la luz incide en un objeto, parte de ella puede ser reflejada, parte puede ser absorbida, y si el objeto no es opaco, parte puede ser transmitida. La luz reflejada puede estar concentrada en una reflexión brillante, dispersada uniformemente en todas las direcciones, o distribuida entre estos dos extremos, que se conocen como reflexión especular y reflexión difusa, respectivamente. La reflexión especular está relacionada con la percepción visual del brillo; la reflexión difusa está relacionada con la percepción visual de la luminosidad y, cuando depende de la longitud de onda, con la del color. Los especímenes que tanto transmiten como reflejan la luz se llaman translúcidos. Se utiliza un espectrofotómetro para proporcionar información sobre el carácter selectivo espectral de un material. (Koleske, 1916)

Las variables que se aplican a la percepción de los colores del objeto son de gran interés para el colorista de la pintura. La tonalidad se define como el atributo de color descrito por nombres comunes como rojo, amarillo, verde, azul, etc. Una segunda variable importante es la luminosidad, el atributo por el cual se considera que un objeto refleja más o menos luz. La

tercera variable es el croma o la saturación, lo cual es una cantidad que se ejemplifica por la distancia entre el punto que representa el color y el eje neutro. El sistema de color-luminosidad-croma se representa de manera que imita el comportamiento de las señales neuronales transmitidas desde la retina al cerebro. La luminosidad (L), es un eje a menudo llamado el eje neutro o acromático, donde los extremos superior e inferior, son blancos y negros, respectivamente, la tonalidad se representa por dos ejes de tipo oponente en ángulos rectos y perpendicular al eje de luminosidad. Un eje es rojo-verde y el otro azul-amarillo etiquetados a y b, respectivamente. (Koleske, 1916).

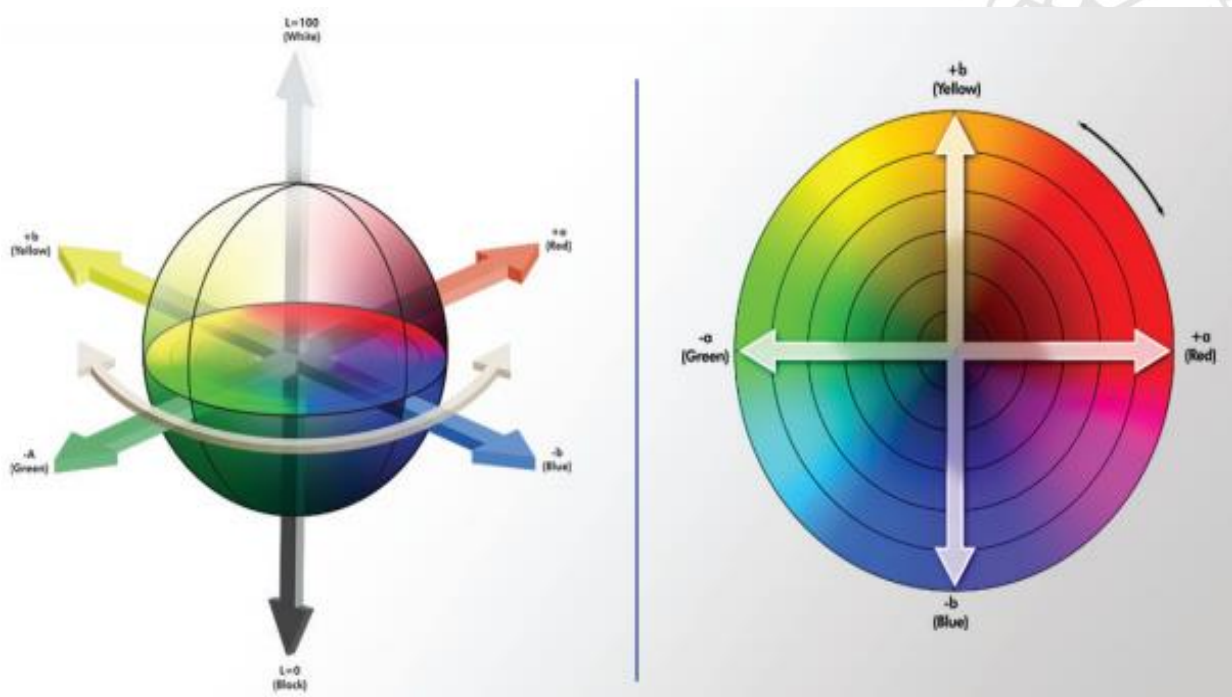


Ilustración 1. Representación del espacio del color. (LACIE)

La cuestión de la presencia de determinadas trazas de metales en los pigmentos y su posible impacto en el medio ambiente, incluida la salud humana, es un tema de debate persistente, ya que tienden a acumularse en el organismo, son difícilmente eliminados y en altas cantidades pueden ser tóxicos, causando daños en las funciones mental y nerviosa y perjudicando los órganos. Una de las soluciones planteadas por la normativa ambiental para esta problemática, es el cambio de proveedores o de referencias de las materias primas, en este caso, pigmentos. (ETAD).

En Colombia se está gestionando un proyecto de ley por medio del cual se busca garantizar un ambiente libre de plomo que conlleve a prevenir la contaminación, intoxicación y enfermedades derivadas de la exposición a este metal pesado. Mientras el Gobierno Nacional expide la reglamentación técnica correspondiente a dicha ley, la prohibición del uso, fabricación, importación o comercialización de las pinturas arquitectónicas, también llamadas de uso decorativo o del hogar y obra, aplicará cuando contengan plomo en niveles que excedan los 90 ppm (0.009%). (SCAFF, 2020)

Metodología

- ✓ Se consultaron las fichas técnicas de cada uno de los pigmentos, tanto de los actuales como de los que se evaluaron como alternativas de cambio, para conocer sus propiedades, su naturaleza química, y sobre todo el desempeño (propiedades mecánicas, químicas, resistencias, entre otras).
- ✓ Se desarrollaron pruebas de laboratorio para verificar las propiedades de los pigmentos y su desempeño en las formulaciones de las pinturas. Comenzando con las caracterizaciones que se realizan como control de calidad a todas las materias primas, como la absorción de aceite, la humedad y el esfuerzo tintóreo, para continuar con la elaboración de pastas pigmentarias, las cuales son componentes en la fabricación de los materiales de recubrimiento, a los cuales se les evaluó el cubrimiento, brillo, tono y tiempo de secado.
- ✓ Se depuró la información para la base de datos con las consultas realizadas y los valores obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio.
- ✓ Para finalizar, se revisaron los resultados alcanzados para determinar si es posible y en qué medida, llevar a cabo los reemplazos de los pigmentos. Los parámetros considerados fueron la diferencia de color obtenida con el espectrofotómetro, el valor de RC, el brillo a 20°, 60° y 85° y el aspecto visual.
- ✓ Con base en las observaciones realizadas durante los procesos de fabricación de las pastas pigmentarias y los esmaltes, así como con lo analizado a partir de las propiedades de los productos terminados, se plantearon opciones para las reformulaciones y se seleccionaron los pigmentos con los cuales se continuarán los desarrollos en la compañía.

Resultados y análisis

Como producto de la consulta de fichas técnicas y búsqueda de información se reconocieron los pigmentos que requieren ser sustituidos debido a su naturaleza química, 4 pigmentos que deben ser reemplazados de manera urgente (amarillos de cromo, naranja molibdeno y verde cromo) y 2 pigmentos que no demandan prioridad (azul fierro y amarillo de zinc), y se identificaron las posibles alternativas, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 1. Información de los pigmentos que deben ser cambiados y de los posibles sustitutos.

Nombre pigmento	C.I	Naturaleza	Química
Amarillo cromo AL-90	P.Y 34	Inorgánico	sulfocromato de plomo
Amarillo cromo AR-73	P.Y 34	Inorgánico	sulfocromato de plomo
Verde Cromo VC-74	P.G 15	Inorgánico	sulfocromato de plomo
Naranja de Molibdeno NR-38	P.R 104	Inorgánico	sulfocromato plomo- molibdeno
Azul fierro AF-90 P B25	P.B 27	Inorgánico	Hexaciano ferrato férrico
Hansa red GG	P.O 5	Orgánico	Azo, beta naftol
Eco yellow 130P	--	Orgánico	Híbrido
Amarillo canario LF-761 PB20	--	Inorgánico	Híbrido

Z-952 zinc chromate	P.Y 36	Inorgánico	Cromato de zinc
Alternativa amarillo verdoso	--	Híbrido	Híbrido
Alternativa amarillo rojizo	--	Híbrido	Híbrido
Alternativa amarillo rojizo	--	Híbrido	Híbrido
Alternativa amarillo rojizo	--	Híbrido	Híbrido
Alternativa naranja	--	Híbrido	Híbrido
Alternativa amarilla	P.Y 74	Orgánico	Monoazo
Alternativa amarillo rojizo	P.Y 65	Orgánico	Monoazo
Alternativa amarilla	P.Y 151	Orgánico	Monoazo de Bencimidazolona
Alternativa amarilla	P.Y 184	Inorgánico	Vanadato de bismuto (III)
Alternativa amarilla	P.Y 139	Orgánico	isoindolina
Alternativa amarillo rojizo	P.Y 65	Orgánico	Mono azo
Alternativa amarilla	P.Y 74	Orgánico	Mono azo

La mayoría de los pigmentos que requieren ser sustituidos a corto plazo son muy usados y conocidos en la industria de pinturas debido a su excelente resistencia a los solventes, buen cubrimiento, que no presentan sangrado y que son económicos, pero sus resistencias químicas son débiles, algunos tienden a oscurecerse por la exposición al ambiente, tienen poca fuerza tintórea por lo que se deben usar en grandes cantidades y contienen plomo en su estructura lo cual los hace tóxicos. Tanto los pigmentos orgánicos como los inorgánicos tienen características positivas y negativas, además de comportarse diferente en los múltiples sistemas, por lo que no es posible una sustitución uno a uno, sino que es necesario variar porcentajes y mezclar diferentes pigmentos para encontrar la formulación que más se acerque a la actual. Este desarrollo se torna en un proceso de iteración donde las variables son dependientes entre sí y se deben priorizar ciertas propiedades sobre otras, convirtiéndose en una oportunidad de mejorar los materiales de recubrimiento, además de cumplir con una próxima regulación y aportar a la responsabilidad social y ambiental de la compañía.

Las propiedades que más influyeron en la selección de las alternativas más adecuadas se muestran a continuación; la luminosidad, el color, el croma y el delta E son dados por el espectrofotómetro y lo que indica que el pigmento es una alternativa factible son una luminosidad y un Delta E cercanos a cero. El porcentaje de humedad y la absorción de aceite sirven para tener una idea de como formular el sistema de dispersión y la tendencia es una guía para saber cómo ajustar la percepción visual del color final. Los datos que no se presentan en la tabla son valores que ya se tenían en la empresa, por lo cual no son resultados de los ensayos realizados para este proyecto.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de los pigmentos con los ensayos de control de calidad.

Pigmento evaluado	Pigmento actual	L	a	b	Delta E	% Humedad	% Ab. de aceite	Tendencia
Hansa red GG	Naranja molibdeno	-8,81	-0,98	5,55	10,46	-	-	Amarillo
Alternativa amarillo verdoso	Amarillo cromo AL-90	0,01	0,27	1,39	1,42	-0,39	21,53	Rojo
Eco yellow 130P	Amarillo cromo AL-90	-2,36	5,97	3,79	7,45	0,11	-	Rojo
Amarillo canario	Amarillo cromo AR-73	0,26	-0,13	-2,44	2,45	0,17	-	Verde
Alternativa amarilla 1	Amarillo cromo AR-73	-0,64	1,02	1,87	2,23	-0,43	38,57	Rojo
Alternativa amarilla 2	Amarillo cromo AR-73	-3,51	9,83	-1,5	10,55	0,33	58,34	Rojo
Ox. de cromo verde	Verde cromo VC-74	6,53	10,06	1,52	12,09	-	-	Amarillo
Ox. De hierro-184	Verde cromo VC-74	0,44	3,62	-5,41	6,53	0,05	23,92	Azul
Verde ftalocianina	Verde cromo VC-74	-7,06	-24,66	-5,79	26,3	-	-	Azul
Alternativa amarilla 3	Amarillo cromo AR-73	-0,74	0,55	1,67	1,91	0,12	45,26	Rojo
Alternativa amarilla 4	Alternativa amarilla 5	0,17	-0,59	-10,18	10,2	-	27,94	Verde
Alternativa amarilla 5	Alternativa amarilla 2	-0,45	0,26	0,42	0,67	0	60,37	Rojo
Alternativa amarilla 3	Alternativa amarilla 2	-0,28	0,06	-9,05	9,05	-	27,94	Rojo
Alternativa naranja	Naranja molibdeno	1,31	-0,82	1,42	2,1	0,03	24,50	Amarillo

Para modificar el naranja molibdeno se eligió la alternativa naranja en un primer momento, pero luego de varios ensayos se decidió hacer las reformulaciones con naranja Asuhi, un pigmento que se maneja actualmente en Invesa, pero en otros sistemas. El verde cromo VC-74 es un pigmento desarrollado mediante la mezcla de amarillo cromo y azul fierro por lo cual se resolvió sustituirlo con la mezcla del nuevo amarillo y el azul ftalocianina. El amarillo cromo AL-90 fue reemplazado por la alternativa amarillo verdoso. Al principio se pensó en sustituir el amarillo cromo AR-73 por la alternativa amarilla 3 pero tras numerosos ensayos se seleccionó la alternativa amarilla 2. El pigmento amarillo cromato de zinc Z-952 es usado para los revestimientos anticorrosivos por lo cual debe ser cambiado por un pigmento que aporte solo color y un aditivo diseñado específicamente para proporcionar la propiedad de anticorrosivas a las pinturas, en este caso se dejaron las sugerencias planteadas según las consultas realizadas pero como no es necesario reemplazarlo con urgencia no se llevaron a cabo ensayos; al igual que con el cromato de zinc, para el azul fierro no se hicieron ensayos pero se sugirió eliminar esta materia prima del inventario ya que no es de uso frecuente y puede ser reemplazado por azul ftalocianina, un pigmento orgánico con el que ya se cuenta en la compañía.

Luego de desarrollar diversos ensayos variando condiciones y materias primas para la reformulación de uno de los esmaltes amarillos, se lograron alternativas factibles donde fue necesario mezclar 2 pigmentos amarillos con tendencias diferentes y un pequeño porcentaje de pigmento blanco para mejorar el cubrimiento. Se observó que el pigmento blanco mejora el cubrimiento de la película de esmalte, pero desvía el color en el cromograma hacia el azul, lo cual

disminuye la luminosidad. Aunque las formulaciones no poseen las características deseadas fueron las que más se asemejaron al patrón (en el lado izquierdo) sin aumentar mucho el costo, por lo cual se plantean algunas opciones como probar un pigmento blanco extender (Litopón) que tiene menor índice de refracción que el pigmento blanco usado en Invesa actualmente, producir las pastas con los pigmentos amarillos en un sistema acuoso y que demostró mejor afinidad para ser utilizadas en los esmaltes y modificar el patrón de estos productos; estas opciones tienen en consideración no modificar significativamente el costo del producto terminado.

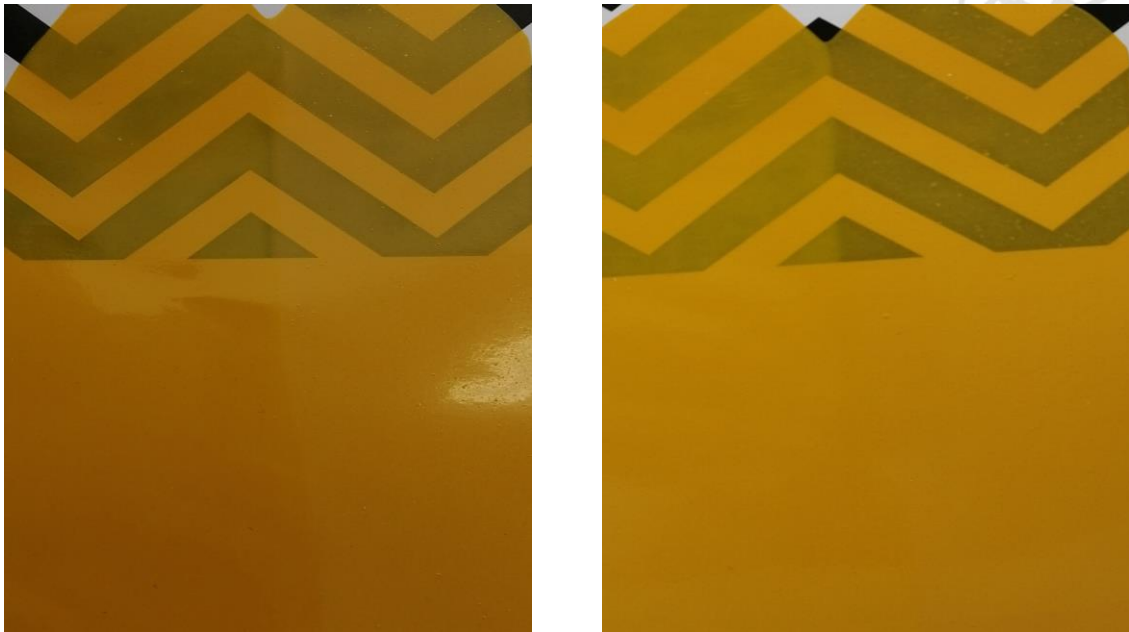


Ilustración 2. Alternativas para la reformulación de un esmalte amarillo.

Conclusiones

- ✓ Con el levantamiento de datos y caracterización de los pigmentos se reconocieron los que contienen metales pesados y los sustitutos adecuados para estas materias primas.
- ✓ La diferencia de color arrojada por el espectrofotómetro para un esfuerzo tintóreo es un buen punto de partida para seleccionar el reemplazo de un pigmento, pero no es garantía de que el pigmento se va a desempeñar como se espera en el producto terminado.
- ✓ Los pigmentos seleccionados para llevar a cabo las reformulaciones tienen un equilibrio entre el desarrollo de color, desempeño y costo que los convierte en opciones acertadas para este proceso, pero es necesario combinarlos con otros pigmentos y/o cargas para alcanzar las características de los materiales de recubrimiento actuales.
- ✓ Sustituir un pigmento no solo implica analizar y verificar su desempeño como materia prima sino también su comportamiento en un sistema y en el producto final, lo que conlleva a un sin número de ensayos y reajustes que pueden tomar bastante tiempo. Con este proyecto se logró la primera etapa, donde se seleccionaron los pigmentos

aptos para reemplazar los que contienen metales pesados, pero aún falta hacer los ajustes para lograr esmaltes y pinturas que cumplan con las condiciones colorimétricas especificadas en las cartas de color de las marcas registradas por Invesa.

Referencias Bibliográficas

- ✓ OSMER, J. G. (marzo de 1979). ResearchGate. Obtenido de Journal of Vinyl and Additive Technology: https://www.researchgate.net/publication/229464521_Replacement_of_heavy_metal_containing_pigments_in_PVC.
- ✓ Comisión Europea. (28 de mayo de 2014). EUR-Lex. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32014D0312>.
- ✓ Icontec. (Septiembre de 2013). Ministerio de ambiente. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/Sello_ambiental_colombiano/NTC_6018_-_Etiquetas_Ambientales_Tipo_I.pdf.
- ✓ Jiannis S. Kougoulis, R. K. (Junio de 2012). European commission. Obtenido de <https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/Paints%20Background%20Report.pdf>.
- ✓ ETAD. (s.f.). Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigments Manufacturers . Obtenido de <http://www.etad.com>.
- ✓ SCAFF, H. N. (18 de Junio de 2020). SENADO DE LA REPUBLICA. Obtenido de <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/index.php/proyectos-ley/cuatrenio-2018-2022/2018-2019/article/102-por-medio-de-la-cual-se-establecen-disposiciones-para-garantizar-el-derecho-de-las-personas-a-desarrollarse-fisica-e-intelectualmente-en-un-ambiente-libre>.
- ✓ Koleske, J. V. (1916). Paint and coating testing manual.
- ✓ Krister Holmberg, D. O. (2002). HANDBOOK OF APPLIED SURFACE AND COLLOID CHEMISTRY. JOHN WILEY & SONS.
- ✓ Tejedor, A. S. (s.f.). Química orgánica industrial . Obtenido de La industria de los colorantes y pigmentos: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>.
- ✓ LACIE. (s.f.). Libro blanco de la gestión del color 3 . Obtenido de Espacios de color y conversión de colores: <https://mediatecnicaeo.files.wordpress.com/2012/02/la-cie-com31.pdf>.