

**Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) 9771:
Mejores prácticas mundiales sobre nuevas cuestiones
normativas de interés relativas a las sustancias
químicas en el marco del Enfoque Estratégico para la
Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional
(SAICM)**

Directrices Técnicas para la Reformulación de Pinturas con Plomo

Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022

ISBN: 978-92-807-3940-4

Número de trabajo: DTI/2438/GE

Reproducción

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y en cualquier formato con fines educativos o no lucrativos sin necesidad de un permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre y cuando se cite la fuente. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente agradecería recibir una copia de cualquier publicación que utilice esta publicación como fuente.

No está permitido el uso de esta publicación para su reventa o para cualquier otro fin comercial sin la autorización previa y por escrito del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Las solicitudes de autorización, acompañadas de una declaración del propósito y la extensión de la reproducción, deben dirigirse a: Director de la División de Comunicaciones, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PO Box 30552, Nairobi 00100, Kenia.

Cláusula de exención de responsabilidad

Las designaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas sobre la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o zona, o de sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites. Para obtener una orientación general sobre asuntos relacionados con el uso de mapas en las publicaciones, consulte <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>.

La mención de una empresa o producto comercial en este documento no implica la aprobación por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ni de los autores. No se permite el uso de la información de este documento para publicidad o propaganda. Los nombres y símbolos de las marcas comerciales se utilizan con fines editoriales, sin intención de infringir las leyes de marcas o derechos de autor.

Las opiniones expresadas en esta publicación corresponden a sus autores y no reflejan necesariamente la opinión del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Lamentamos cualquier error u omisión que se haya podido cometer involuntariamente.

© Mapas, fotografías e ilustraciones según se especifica

Maquetación y diseño gráfico: Mile Losic

Cita sugerida: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2022). *Directrices técnicas para la reformulación de pinturas con plomo*, Ginebra (Suiza).

Este documento se ha elaborado en el marco del proyecto mayor 9771 del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM): Mejores prácticas mundiales sobre nuevas cuestiones normativas de interés relativas a las sustancias químicas en el marco del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM). Este proyecto está financiado por el FMAM, implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y ejecutado por la Secretaría del SAICM. El Centro Nacional de Producción Más Limpia de Serbia agradece la contribución financiera del FMAM para la edición y el diseño del documento.



Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)
9771: Mejores prácticas mundiales sobre nuevas
cuestiones normativas de interés relativas a las
sustancias químicas en el marco del Enfoque
Estratégico para la Gestión de Productos Químicos
a Nivel Internacional (SAICM)

Componente 1: Promover medidas normativas y
voluntarias por parte de los gobiernos y la industria
para eliminar el plomo en la pintura

Directrices Técnicas para la Reformulación de Pinturas con Plomo

Agradecimientos

Vojislavka Satric y Branko Dunjic, del Centro Nacional de Producción Limpia de Serbia, dirigieron la elaboración de estas directrices técnicas, con la orientación y el apoyo de Nicoline Lavanchy, Kenneth Davis y Mihaela Paun, del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y de Angela Bandemehr, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La creación de estas directrices técnicas no habría sido posible sin las contribuciones de muchos asociados y partes interesadas, incluidos los Centros Nacionales de Producción Limpia de Colombia, Perú, Ecuador, China y Jordania; SRADev Nigeria; Nexus3 Indonesia; y la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN). La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Iniciativa del Estado de Derecho de la Asociación Americana de Abogados (ABA ROLI), el World Coating Council (WCC) y el Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) han realizado aportaciones adicionales. La maquetación y el diseño gráfico fueron realizados por Mile Losic. El PNUMA y el Centro Nacional de Producción Más Limpia de Serbia desean agradecer a todas las personas y organizaciones que han aportado comentarios sobre el documento.

Nos gustaría dar las gracias a los siguientes proveedores de pigmentos: BASF Colors & Effects, Ferro, Pyosa, Mathisen, Clariant, Yingze New Material y Jiangsu Shuangle Pigment, cuyo apoyo a las pymes ha contribuido al éxito de este proyecto.

Además, nos gustaría dar las gracias a los siguientes productores de pintura, que participaron en la prueba piloto de reformulación de pintura con plomo en el marco del proyecto mencionado a continuación: Zhejiang Utop New Material Co., Ltd, Zhejiang Tiannu Group Paint Co., Ltd, Hunan Xiang Jiang Paint Group Co., Ltd, Jiangsu Lanling Polymer Material Co., Ltd, Jiangsu Changjiang Paint Co, Ltd (China), Icelltex, Pintuland, Pinturas Multitonos, Pinturas Supratech (Colombia), cuatro empresas del Ecuador, PT Mataram Paint, PT Bital Asia, PT Rajawali Hiyoto, PT. Sigma Utama (Indonesia), Golden Chemicals Company, Jordan Sipes Paints, Tameer Paints industry (Jordania), Blentech Ltd, Precious Paints Nigeria Limited, Integrated Paints and Allied Products Ltd, Lean-on Chemical and Allied Products Nig. Ltd, Olabi Paint, President Paint, Havela Coatings and Paint Ltd (Nigeria), Envasadora San Gabriel, Soprin, J&S Ferretería Industrial (Universal Colors) y Larpaint (Perú).

Para más información, póngase en contacto con lead-cadmiumchemicals@un.org.

Con el apoyo de:



Lista de siglas y acrónimos

ABA-ROLI	▶	Iniciativa del Estado de Derecho de la Asociación Americana de Abogados
CAS	▶	Chemical Abstracts Service
CI	▶	Colour Index
CIIC	▶	Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer
CPV	▶	Concentración de pigmento en volumen
CPVC	▶	Concentración crítica de pigmento en volumen
ECHA	▶	Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas
EPA	▶	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
FMAM	▶	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
HEAL	▶	Alianza para la Salud y el Medio Ambiente
ICCM	▶	Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos
IPEN	▶	Red Internacional de Eliminación de Contaminantes
ISO	▶	Organización Internacional de Normalización
OMS	▶	Organización Mundial de la Salud
ONG	▶	Organización no gubernamental
ONUDI	▶	Organización de las Naciones Unidas Para el Desarrollo Industrial
P2OASys	▶	Sistema de análisis opciones para la prevención de la contaminación
PBr	▶	Pigmento marrón
PNUMA	▶	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PO	▶	Pigmento naranja
PR	▶	Pigmento rojo
PW	▶	Pigmento blanco
PY	▶	Pigmento amarillo
PYME	▶	Pequeñas y medianas empresas
REACH	▶	Registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos
SAICM	▶	Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional
SDS	▶	Hoja informativa sobre la seguridad
SGA	▶	Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos
TURI	▶	Instituto de Reducción del Uso de Sustancias Tóxicas
WCC	▶	World Coating Council
XRF	▶	Espectrometría de fluorescencia de rayos X

Contenido

	Agradecimientos.....	IV
	Lista de siglas y acrónimos.....	V
	Introducción	8
1	Resumen	10
2	Antecedentes	13
3	Términos y definiciones	15
4	Plomo en la pintura	17
5	Proceso de sustitución	22
	5.1 Identificación de posibles alternativas.....	23
	5.2 Evaluación de posibles alternativas.....	24
6	Sustitución de pigmentos con plomo	26
	6.1 Teoría del color.....	27
	6.2 Colour Index.....	28
	6.3 Proceso de dispersión.....	29
	6.4 Sustitución del pigmento anticorrosivo de plomo rojo (PR 105).....	32
	6.4.1 Evaluación de alternativas.....	34
	6.5 Sustitución del plomo blanco (PW 1).....	36
	6.6 Sustitución del cromato de plomo (PY 34) y del rojo de cromato molibdato sulfato de plomo (PR 104).....	36
	6.6.1 Evaluación de posibles alternativas de pigmentos inorgánicos.....	37
	6.6.2 Evaluación de posibles alternativas de pigmentos orgánicos.....	39
	6.6.3 Preparaciones pigmentarias en seco, pigmentos híbridos y pastas pigmentarias.....	43
	6.6.4 Reformulación de pinturas con pigmentos.....	44
7	Sustitución de los secantes de plomo	47
	7.1 Función y composición de los secantes.....	47
	7.2 Propiedades de los secantes seleccionados.....	48
	7.3 Pérdida de capacidad de secado.....	50
	7.4 Evaluación de alternativas a los secantes de plomo.....	51
	7.5 Reformulación de pinturas con secantes.....	53
	Conclusiones	56
	Referencias.....	59
	Apéndice 1. Consejos para encontrar información sobre alternativas menos peligrosas.....	61
	Apéndice 2. Formulaciones: Ejemplos.....	62
	Apéndice 3. Estudios de caso sobre reformulaciones de pintura.....	64
	Apéndice 4. Lista seleccionada de normas ISO de métodos de ensayo generales para pinturas y barnices.....	75
	Apéndice 5. Lista de proveedores.....	78

“El color por sí mismo expresa alguna cosa; no se le puede ignorar y hay que aprovecharlo; lo que embellece y es verdaderamente bello, es igualmente verdadero”

Carta de Vincent van Gogh a su hermano Theo





INTRODUCCIÓN

La Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos, en su segundo período de sesiones de 2009, identificó la pintura con plomo como una nueva cuestión normativa en el marco del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM). En sus períodos de sesiones tercero y cuarto (2012 y 2015) la Conferencia reafirmó el objetivo de eliminar la pintura con plomo, y en 2011 se creó la Alianza Mundial para Eliminar la Pintura con Plomo*. En 2017, la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente adoptó la [resolución 3/9 para la eliminación de la exposición al plomo en la pintura y la promoción de la gestión ecológicamente racional de baterías de ácido-plomo usadas](#). La resolución reiteraba el compromiso de eliminar la pintura con plomo, invitaba a las partes interesadas a unirse a la Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en la Pintura y pedía al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que ayudara a los países a eliminar el uso del plomo en la pintura proporcionándoles herramientas y fomentando la capacidad para elaborar legislación nacional.

La Alianza Mundial es una asociación voluntaria dirigida conjuntamente por el PNUMA y la Organización Mundial de la Salud (OMS) con el fin de prevenir la exposición al plomo en la pintura. Guiada por un Consejo Consultivo presidido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (PNUMA, 2021), el objetivo general de la Alianza Mundial es prevenir la exposición de los niños al plomo en la pintura y minimizar la exposición de los trabajadores a la pintura con plomo. La Alianza Mundial trata de alcanzar este objetivo promoviendo la introducción de leyes que eliminen progresivamente la fabricación, importación y venta de pintura con plomo en todos los países. La Alianza Mundial trabaja con los gobiernos, la industria de la pintura, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y otras entidades para concienciar y promover medidas para la eliminación de la pintura con plomo, que sean técnicamente posibles y protejan la salud humana, especialmente la de los niños.

Esta publicación es un producto del proyecto 9771 del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)

* Para más información sobre la Alianza Mundial para Eliminar la Pintura con Plomo, visite el sitio web del PNUMA: <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>.

acerca de las mejores prácticas mundiales sobre Nuevas Cuestiones Normativas de Interés relativas a las sustancias químicas en el marco del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM), que tiene por objeto acelerar la adopción de medidas nacionales y de la cadena de valor para controlar nuevas cuestiones normativas y contribuir tanto al objetivo del SAICM para 2020 como a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Está financiado por el FMAM*.

El proyecto tiene tres componentes principales:

- Promoción de medidas normativas y voluntarias por parte de los gobiernos y la industria para eliminar el plomo en la pintura (componente de pintura con plomo).
- Gestión del ciclo de vida de las sustancias químicas presentes en los productos, y
- Gestión del conocimiento y el compromiso de las partes interesadas.

Con el fin de apoyar el objetivo de la Alianza Mundial de promover leyes sobre el uso de pintura con plomo, se espera que, como resultados previstos de este componente, 40 países formulen y apliquen la legislación destinada a restringir el uso de la pintura con plomo y que al menos 30 pequeñas y medianas empresas (pymes) fabricantes de pintura en siete países eliminen el plomo de sus procesos de producción**. El componente de pintura con plomo implica trabajar con los gobiernos para impulsar el desarrollo de leyes al respecto y trabajar con las pymes para promover la eliminación del uso de materias primas que contienen plomo. Así, estas directrices técnicas, desarrolladas para favorecer la reformulación de la pintura por parte de las pymes, ofrecen orientación para la reformulación de la pintura con plomo y muestran algunos ejemplos de reformulación de la pintura con plomo en pymes seleccionadas. El proyecto comenzó en enero de 2019 en un taller de iniciación y está previsto que finalice en 2022.

En el marco de los proyectos piloto de demostración con fabricantes de pintura en pymes, el trabajo se ha centrado en ayudar a dichas empresas a realizar la transición a pinturas sin compuestos de plomo. El Centro Nacional de Producción Más Limpia de Serbia trabajó con las pymes en pilotos de demostración para la reformulación de pinturas en cinco países (Jordania,

Ecuador, Perú, Colombia y China). La Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN, por sus siglas en inglés) colaboró con sus asociados de Indonesia y Nigeria para lograr el mismo objetivo. Las directrices técnicas sobre la reformulación de la pintura con plomo fueron desarrolladas por el proyecto para uso de las pymes e incluyen estudios de caso de las mejores prácticas de los proyectos piloto de demostración de las pymes.

Los asociados del proyecto (los Centros Nacionales de Producción Más Limpia de China, Colombia, Ecuador, Jordania y Perú, la fundación Nexus3 Indonesia y SRADev Nigeria) trabajaron con pymes seleccionadas en proyectos piloto para mostrar la sustitución de compuestos que contienen plomo por alternativas sin plomo. Las pymes eligieron voluntariamente participar en el proyecto. Además, varios proveedores mundiales de materias primas proporcionaron pigmentos sin plomo y asistencia técnica para que las pymes lograran reformular las pinturas sin compuestos de plomo añadidos intencionadamente. Los confinamientos provocados por la pandemia de COVID-19 tuvieron un fuerte impacto en el trabajo con las empresas, ya que la reformulación de las pinturas con plomo tiene que hacerse en persona en un laboratorio. Esto también impidió que los asociados pudieran trabajar con más pymes. No obstante, las experiencias de reformulación de varias pymes se incluyen como estudios de caso en este documento.

La versión preliminar de las directrices se sometió a una prueba piloto durante el trabajo de reformulación con la ayuda de los centros nacionales de producción limpia y de IPEN en pymes seleccionadas, en reuniones de consulta con asociaciones de la industria de la pintura, en organizaciones de normalización y metrología y en organismos gubernamentales de los países participantes. Se sugirieron y aceptaron varios comentarios para perfeccionar las directrices. Por último, las directrices fueron validadas en un taller de validación***, que tuvo lugar en abril de 2021.

Esperamos que estas directrices sean una herramienta útil para ayudar a las pymes de todo el mundo a reformular con éxito los productos de pintura que contienen plomo y que los estudios de caso sean ejemplos convincentes de cómo conseguir pinturas sin ingredientes de plomo con propiedades similares o mejores (por ejemplo, resistencia a la luz o al calor, propiedades mecánicas, anticorrosivas y decorativas).

* Para más información sobre el proyecto SAICM del FMAM, véase: <https://saicmknowledge.org/project/global-best-practices-emerging-chemical-policy-issues-concern-under-saicm>

** Para más información, véase: <https://saicmknowledge.org/program/lead-paint>

*** Véase el material y las presentaciones de las organizaciones participantes en: <https://saicmknowledge.org/event/validation-workshop-paint-reformulation-guidelines>



RESUMEN

Las Directrices Técnicas sobre la Reformulación de la Pintura con Plomo se elaboraron para ayudar a abordar tanto las limitaciones de capacidad como los obstáculos técnicos en la sustitución de los compuestos de plomo en las pinturas, con especial atención a las necesidades de las pymes para la reformulación eficaz y eficiente de la pintura.

La pintura se define como un material de recubrimiento pigmentado que, cuando se aplica a un sustrato, forma una película seca y opaca con propiedades protectoras, decorativas o técnicas específicas. Así, la formulación de una pintura dependerá de las diferentes propiedades técnicas a conseguir, entre ellas: una resistencia específica a los productos químicos o a agentes atmosféricos adversos, efectos decorativos, propiedades aislantes o conductoras, propiedades antibacterianas, etc. Además, la pintura se formula para adaptarse también a una variedad de sustratos y métodos de aplicación. Dado que existen muchas formulaciones iniciales diferentes con contenido de plomo para la obtención del color y otras propiedades, estas directrices técnicas solo ofrecen información general sobre los procesos de reformulación de la pintura. Los análisis en profundidad y los datos más específicos que se proporcionaron mediante demostraciones piloto a través del proyecto de pinturas

con plomo del FMAM a las empresas participantes, según sus necesidades específicas, se describen en los estudios de caso (véase el apéndice 3).

Los términos relacionados con las pinturas en las directrices técnicas se ajustan a la norma internacional ISO 4618:2014 (Pinturas y barnices. Términos y definiciones).

La formulación de la pintura comprende un gran número de componentes, como ligantes, disolventes, aditivos, plastificantes, cargas y pigmentos. El rendimiento de la pintura viene determinado principalmente por las materias primas que forman la película, sin embargo, los pigmentos, extendedores, aditivos, procesos de producción adecuados y métodos de aplicación también son factores importantes que considerar. Un requisito importante es que el grado de peligrosidad de estos componentes no sea elevado para la salud humana y el medio ambiente.

Los compuestos de plomo en las pinturas (en su mayoría pigmentos y secantes) cumplen con estrictos requisitos técnicos, pero son extremadamente peligrosos para el medio ambiente y la salud humana. Así, las pymes deben evitar el uso de materias primas

con plomo y garantizar niveles bajos de plomo en aquellas que lo contengan en sus ingredientes. En cualquier caso, las alternativas de compuestos con plomo utilizadas deben tener las propiedades menos peligrosas posibles.

Estas directrices indican los peligros de los compuestos con plomo y sus alternativas según las convenciones del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos* (SGA). El SGA, desarrollado bajo los auspicios de las Naciones Unidas, facilita la definición y clasificación de los peligros de los productos químicos e informa sobre cuestiones de salud y seguridad en las etiquetas y las hojas informativas sobre la seguridad (SDS). El objetivo del SGA es por lo tanto el de establecer un sistema armonizado que, además de clasificar los peligros de los productos químicos, permita desarrollar etiquetas y hojas informativas sobre la seguridad a nivel mundial.

Así, las convenciones de etiquetado del SGA permiten a las pymes tener información sobre los peligros y les ayuda a elegir entre las alternativas disponibles de menor riesgo.

Estas directrices comienzan con una **breve descripción de las propiedades peligrosas del plomo y de los compuestos de plomo utilizados en las fórmulas de pintura** (capítulo 4, sección 4).

Los compuestos de plomo utilizados en las pinturas son extremadamente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, por lo que debe priorizarse su sustitución. Así, el cambio a alternativas debe suponer una reducción de los riesgos generales para la salud humana y el medio ambiente. **El capítulo 5 ofrece orientación sobre el enfoque general y los pasos del proceso de sustitución** para ayudar a las pymes a elegir alternativas que no sean igual de peligrosas o más que los compuestos de plomo que desean sustituir.

Además de proporcionar color, formar efectos y ofrecer poder cubriente, existen otros requisitos técnicos que deben cumplir los pigmentos, como la insolubilidad completa en los medios circundantes, la buena resistencia a la luz, a la exposición a la intemperie y al calor, o la imperturbabilidad ante los efectos de productos químicos, además de requisitos de seguridad ambiental y de salud. **En el capítulo 6 se presentan estas consideraciones para los pigmentos alternativos seleccionados.** Aquí, las propiedades anticorrosivas de los pigmentos anticorrosivos alternativos se comparan con el tetraóxido de plomo (pigmento rojo 105).

Puesto que el proceso de reformulación de la capa de acabado suele exigir la coincidencia de colores, se presenta también una breve reseña sobre la teoría del color. Para orientar sobre la función (durabilidad, dispersabilidad, estabilidad al calor, sangrado, retención del brillo), se presentan las propiedades ambientales, de salud y seguridad, la viabilidad

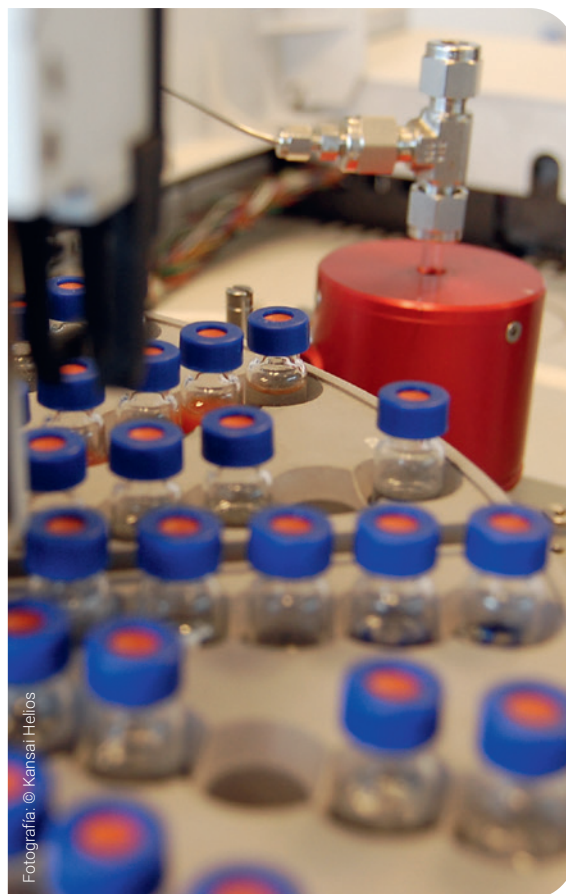
económica y la disponibilidad de alternativas a los pigmentos PY 34 y PR 104.

Dado que el color y las propiedades de la pintura dependen en gran medida del proceso de dispersión y de los aditivos para la dispersión, en este capítulo también se presenta brevemente información al respecto.

Por último, **el capítulo 7 proporciona información sobre la función y el tipo de secantes, y sobre las alternativas a los secantes que contienen plomo.**

Además, en el apéndice 1 se ofrecen consejos para encontrar información sobre alternativas menos peligrosas, y en los apéndices 2 y 3 se ofrecen ejemplos de reformulaciones y estudios de caso de los proyectos piloto de reformulación con pymes seleccionadas, respectivamente. En el apéndice 4 se ofrece una lista de normas ISO seleccionadas sobre métodos de ensayo generales para pinturas y barnices. La lista incluye métodos para probar las propiedades de rendimiento de la pintura. Por último, en el apéndice 5 se ofrece una lista no exhaustiva de proveedores a fecha de mayo de 2021.

► **Figura 1 - Máquina de muestreo de cámara de aire**



Según la industria de la pintura, la reformulación de las pinturas para eliminar los compuestos de plomo es factible, y los impactos técnicos y de costos son manejables.

* Para más información, visite el sitio web <https://www.osha.gov/hazcom>

La eliminación de los compuestos de plomo también puede aportar posibles ventajas económicas. Al producir o utilizar pinturas sin compuestos de plomo, los fabricantes y usuarios de pinturas (como los

fabricantes de juguetes) pueden garantizar su acceso a los mercados en los que ya se ha restringido el contenido de plomo en la pintura.

► Cuadro de texto 1 - Conclusiones principales

Durante la prueba piloto de reformulación de pinturas con las pymes en el marco del proyecto SAICM FMAM se han observado los siguientes resultados:

- La mayoría de pymes que participan en el proyecto no utilizan secantes de plomo, y todos los estudios de caso están relacionados con la sustitución de pigmentos de plomo.
- Durante el proyecto aprendimos que los pigmentos de plomo se utilizan en pinturas en base disolvente y base agua.
- Algunas pequeñas empresas no disponen de todo el equipo necesario para llevar a cabo las pruebas de rendimiento de la pintura y su ampliación. La falta de equipos de molienda puede solucionarse utilizando pastas de pigmentos.
- Los proveedores tienen menos interés comercial en los mercados pequeños (usuarios) y la disponibilidad de pigmentos sin plomo es limitada (Jordania, Ecuador). Este fue un factor que ralentizó el proyecto en estos países, además de la pandemia de COVID-19.
- Todos los participantes coincidieron en que el apoyo técnico de los proveedores es importante. Algunos de los asociados del proyecto organizaron reuniones con los técnicos del proyecto, lo que permitió comprender mejor el proceso de reformulación y acelerar la selección del pigmento adecuado.
- Las pymes redujeron con éxito y de forma significativa la concentración de plomo en las pinturas reformuladas, como se muestra en el estudio de caso 3 (apéndice 3). El contenido de plomo se redujo de 34.689 partes por millón (ppm) en la formulación inicial a menos de 56 ppm en la pintura alquídica reformulada.
- Los costos económicos de la reformulación variaron. En algunos casos, la materia prima alternativa al plomo era más barata, reduciendo el costo, como se muestra en el estudio de caso 1 (apéndice 3). En otros casos, el precio de la pintura aumentó considerablemente.
- Las empresas reformularon sus pinturas de plomo con éxito, pero es necesario seguir trabajando en el ajuste de los tonos y en la optimización de los costos.

Véase el apéndice 3 para más información sobre los estudios de caso de las pymes.

También se proporcionan referencias para quienes deseen más información.



ANTECEDENTES

La Alianza Mundial para Eliminar las Pinturas con Plomo (Alianza para las Pinturas con Plomo o Alianza) es una asociación voluntaria dirigida conjuntamente por el PNUMA y la OMS para prevenir la exposición al plomo mediante la promoción de la eliminación progresiva de las pinturas que lo contienen. La Alianza para la Eliminación de las Pinturas con Plomo está guiada por el Consejo Consultivo, presidido por la EPA de Estados Unidos y formado por representantes gubernamentales de Colombia, la República de Moldavia, Kenia y Tailandia, y por representantes de la IPEN, de la Alianza para la Salud y el Medio Ambiente (HEAL, por sus siglas en inglés), del World Coatings Council (WCC, por sus siglas en inglés), de la Iniciativa del Estado de Derecho de la Asociación Americana de Abogados (ABA-ROLI), de AkzoNobel (fabricante multinacional de pinturas), de Boysen (fabricante asiático de pinturas) y de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

El objetivo general de la Alianza es prevenir la exposición de los niños a las pinturas que contienen plomo y

minimizar la exposición profesional a la pintura con plomo. Así, se pretende eliminar progresivamente la fabricación y venta de pintura con plomo y acabar con los riesgos de intoxicación por plomo. Para alcanzar este objetivo, la Alianza está centrando sus esfuerzos en promover el establecimiento de marcos normativos nacionales adecuados que pongan fin a la fabricación, la importación, la exportación y la venta de pintura con plomo y de productos recubiertos de plomo. El objetivo de la Alianza es que al menos 100 países cuenten con una legislación que sirva para prohibir la pintura con plomo antes de 2023*.

Según la Alianza, a fecha de mayo de 2021, 82 países tienen controles legalmente vinculantes para limitar la producción, importación y venta de pinturas con plomo, lo que supone alrededor del 42% de todos los países del mundo. Se espera que esta cifra siga aumentando. Sin embargo, hasta 100 países de ingreso bajo y mediano aún no han establecido límites legales para la pintura con plomo, y algunos de los países que cuentan con leyes a este respecto establecen límites muy elevados

* El anexo del Plan de Acción de la Alianza contra el Plomo (junio de 2021) se publicará próximamente en <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>

de plomo en pintura que no protegen la salud pública ni el medio ambiente lo suficiente, o tienen lagunas en su aplicación.

Para ayudar a promover las leyes sobre la pintura con plomo*, el FMAM está apoyando un proyecto del SAICM [acerca de las mejores prácticas mundiales sobre nuevas cuestiones normativas de interés relativas a las sustancias químicas](#). El componente uno del proyecto se ocupa de la eliminación progresiva de la pintura con plomo (en lo sucesivo, el proyecto del FMAM sobre la pintura con plomo). El proyecto trabaja con los gobiernos para promover leyes sobre la pintura con plomo y con las pequeñas y medianas empresas para promover la reformulación de la pintura con plomo.

Las directrices técnicas para la reformulación de la pintura con plomo se elaboraron como parte del trabajo de las pymes en el mencionado proyecto. Contienen información (véase la sección de recursos) sobre otros materiales elaborados por la Alianza para promover las leyes sobre la pintura con plomo, como la [Ley Modelo y Guía para la Regulación de la Pintura con Plomo \(o Ley Modelo\)](#). La Ley Modelo fue desarrollada para proporcionar a los países una guía sobre cómo desarrollar nuevas leyes o modificar las existentes. Los países pueden utilizar la Ley Modelo para ayudar a desarrollar sus propias leyes, de acuerdo con los marcos legales existentes y otras circunstancias nacionales.

Los países que han promulgado leyes para limitar el contenido de plomo en la pintura han utilizado generalmente uno de los dos enfoques siguientes: 1) establecer un conjunto de límites normativos específicos para cada producto químico, según los riesgos de cada uno de los compuestos de plomo que se utilizan, como pigmentos o aditivos en la pintura (enfoque usado actualmente en el Reglamento REACH [Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas] de la Unión Europea); o 2) establecer un único límite normativo sobre la concentración total de plomo en la pintura procedente de todas las fuentes. Ambos enfoques han tenido éxito a la hora de limitar el contenido de plomo en la pintura.

La Ley Modelo recomienda el establecimiento de un único límite normativo sobre la concentración total de plomo en la pintura y expone los siguientes objetivos clave para que una ley sobre la pintura con plomo tenga éxito:

- prevenir la fabricación, venta e importación de pinturas que contengan plomo por encima del límite legal establecido;
- desarrollar métodos para el cumplimiento y la aplicación de la ley;
- establecer responsabilidades y disposiciones institucionales para la gestión y el cumplimiento de la ley sobre la pintura con plomo.

La Ley Modelo propone disposiciones legales para la prohibición de la venta, la oferta de venta, la fabricación para la venta, la distribución en el comercio y la importación de pinturas que superen el límite legal establecido. El límite legal propuesto es de 90 mg/kg, basado en el peso del contenido total no volátil de la pintura. Este límite se propuso porque proporciona la mejor protección de la salud disponible y es técnicamente viable. La Ley Modelo recomienda que la industria (fabricantes, distribuidores e importadores) certifique que la pintura está por debajo del límite establecido. Las pymes no deben utilizar ningún aditivo que contenga plomo y deben tratar de garantizar niveles bajos de plomo en los ingredientes de las materias primas.

Cada vez más países desarrollan y aplican leyes sobre la pintura con plomo, y estas directrices técnicas pretenden ayudar a las pymes a lograr el cumplimiento del límite legal bajo sobre el contenido total de plomo en la pintura mediante el desarrollo de formulaciones que no utilicen intencionadamente ningún compuesto de plomo y que tengan en cuenta el posible contenido residual de plomo en los ingredientes de las materias primas.

* La ley sobre la pintura con plomo se entiende en el sentido más amplio para incluir cualquier requisito legal obligatorio con consecuencias por su incumplimiento. Puede ser una ley, un reglamento o una norma, siempre que incluya un mecanismo de aplicación.



TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Aditivo (ISO 4618:2014): cualquier sustancia, añadida en pequeñas cantidades a un material de recubrimiento, para mejorar o modificar de otro modo una o varias propiedades.

Carga: material de recubrimiento con una alta proporción de extendedor, destinado principalmente a igualar las irregularidades de las superficies que se van a pintar y a mejorar el aspecto de la superficie (NOTA: el término "carga" también se utiliza ampliamente en el sentido de extendedor).

Color (ISO 4618:2014): sensación resultante de la percepción de la luz de una composición espectral determinada por el ojo humano (NOTA: un color se caracteriza por el tono, el croma y la luminosidad).

Color sucio u opaco: color con croma reducido.

Colorante (ISO 4618:2014): material colorante, soluble en el medio de aplicación.

Concentración crítica de pigmento en volumen (CCPV) (ISO 4618:2014): valor de la concentración de pigmento en volumen para el que el ligante llena

exactamente el volumen disponible entre las partículas sólidas en contacto nominal, y a partir del cual ciertas propiedades de la película se modifican de forma notable.

Concentración de pigmento en volumen (CPV) (ISO 4618:2014): proporción, expresada en porcentaje, entre el volumen total de los pigmentos o extendedores u otras partículas sólidas no formadoras de película en un producto y el volumen total de la materia no volátil.

Corrosión (ISO 8044:2015): interacción fisicoquímica entre un metal y su entorno que da lugar a cambios en las propiedades del metal, y que puede conducir a un deterioro significativo de la función del metal, del entorno o del sistema técnico del que forma parte.

Croma: pureza o la intensidad del color que puede describirse o verse como colores de aspecto "sucio" o "deseñido".

Durabilidad (ISO 4618:2014): capacidad de un recubrimiento para resistir los efectos dañinos de su entorno.

Extendedor: sustancia en forma de gránulos o polvo, insoluble en el medio y utilizada para modificar o influir en determinadas propiedades físicas (NOTA: deben evitarse los términos alemanes "extender", "extenderpigment", "pigmentextender" y "Verschnittmittel").

Floculación (ISO 4618:2014): formación de aglomerados de pigmento o extendedor que están libres en un material de recubrimiento.

Flotación (ISO 4618:2014): separación de uno o más pigmentos de un material de recubrimiento coloreado que provoca rayas o zonas de color desigual en la superficie del recubrimiento.

Inhibidor de corrosión (ISO 8044:2015): sustancia química que, cuando está presente en el sistema de corrosión en una concentración adecuada, disminuye la velocidad de corrosión, sin cambiar significativamente la concentración de ningún agente corrosivo.

Inundación (flooding) (ISO 4618:2014): movimiento de las partículas de pigmento en un recubrimiento líquido que produce un color que, aunque sea uniforme en toda la superficie, es notablemente diferente al de la película húmeda recién aplicada.

Materia prima: material sin procesar de cualquier tipo utilizado en la fabricación.

Material de recubrimiento (ISO 4618:2014): producto, en forma de líquido, pasta o polvo, que, cuando se aplica a un sustrato, forma una capa que posee propiedades protectoras, decorativas y/u otras propiedades específicas.

Metamerismo (ISO 4618:2014): fenómeno que se percibe cuando dos muestras tienen el mismo color bajo la iluminación de una fuente de luz, pero diferentes curvas de reflexión y transmisión espectral.

Pigmento (ISO 4618:2014): colorante formado por partículas, insoluble en el medio de aplicación (por ejemplo, material de recubrimiento o plástico).

Pintura (ISO 4618:2014): material de recubrimiento pigmentado que, aplicado a un sustrato, forma una película opaca y seca con propiedades protectoras, decorativas o técnicas específicas.

Poder cubriente (ISO 4618:2014): la capacidad de un recubrimiento para borrar el color o las diferencias de color del sustrato.

Sangrado (ISO 4618:2014): migración de una sustancia coloreada de un material a otro en contacto con él, que podría producir manchas o teñido indeseable.

NOTA: a continuación se explica el uso de algunos de los términos anteriores en las directrices:

- **Aditivo:** de acuerdo con la norma ISO 4618:2014, término utilizado para cualquier ingrediente de la pintura que se añade en pequeñas cantidades (secante, agente dispersante, etc.)
- **Compuesto de plomo:** término utilizado para los pigmentos sintéticos (PY 34, PO 104) y los secantes que son compuestos "puros" de una sustancia química específica, en contraste con los pigmentos naturales y las cargas que son mezclas desconocidas de compuestos.
- **Materias primas:** de acuerdo con la norma ISO 4618:2014, término utilizado para cualquier tipo de material no procesado utilizado en la fabricación (pigmentos naturales o sintéticos, todo tipo de aditivos, resinas, disolventes, cargas sintéticas o naturales).

4

PLOMO EN LA PINTURA



El plomo es un metal tóxico natural que se encuentra en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha resultado en una extensa contaminación ambiental, exposición humana y problemas importantes de salud pública en muchas partes del mundo. La OMS ha identificado al plomo como uno de los diez productos químicos de mayor preocupación para la salud pública.

Hasta la fecha, no se conoce un nivel de exposición al plomo que se considere seguro. El plomo puede causar daño permanente al cerebro y al sistema nervioso, lo que resulta en una disminución del coeficiente intelectual y un aumento de los problemas de comportamiento; la exposición al plomo también puede causar anemia, aumentar el riesgo de daño renal e hipertensión y alterar la función reproductiva. Los niños pequeños y las mujeres embarazadas (cuyo feto en desarrollo puede estar expuesto) son especialmente vulnerables a los efectos adversos del plomo; incluso niveles relativamente bajos de exposición pueden causar daños neurológicos graves e irreversibles. Además, el plomo en el cuerpo se distribuye al cerebro, hígado, riñón y huesos; se almacena en los dientes y huesos, donde se acumula con el tiempo. La exposición humana generalmente

se evalúa a través de la medición del plomo en la sangre. El plomo en los huesos se libera en la sangre durante el embarazo y se convierte en una fuente de exposición para el feto en desarrollo.

El Instituto para la Métrica y Evaluación de la Salud (IHME, por sus siglas en inglés) ha calculado que, basándose en datos de 2019, la exposición al plomo supuso 901.700 muertes y 21,6 millones de años perdidos por discapacidad y muerte debido a problemas de salud a largo plazo (véase el recurso [“GBD Compare” del IHME sobre la carga mundial de morbilidad](#)).

El plomo liberado en el medio ambiente a través de cualquier fuente, incluido el plomo presente en la pintura, es también tóxico para las plantas, los animales y los microorganismos. En todos los animales estudiados se ha demostrado que el plomo causa efectos adversos en varios órganos y sistemas de órganos, entre los que se encuentran la sangre, el sistema nervioso central, los riñones, y los sistemas reproductivo e inmunológico. Se bioacumula en la mayoría de los organismos, con exposiciones ambientales que ocurren a través de múltiples fuentes y vías.

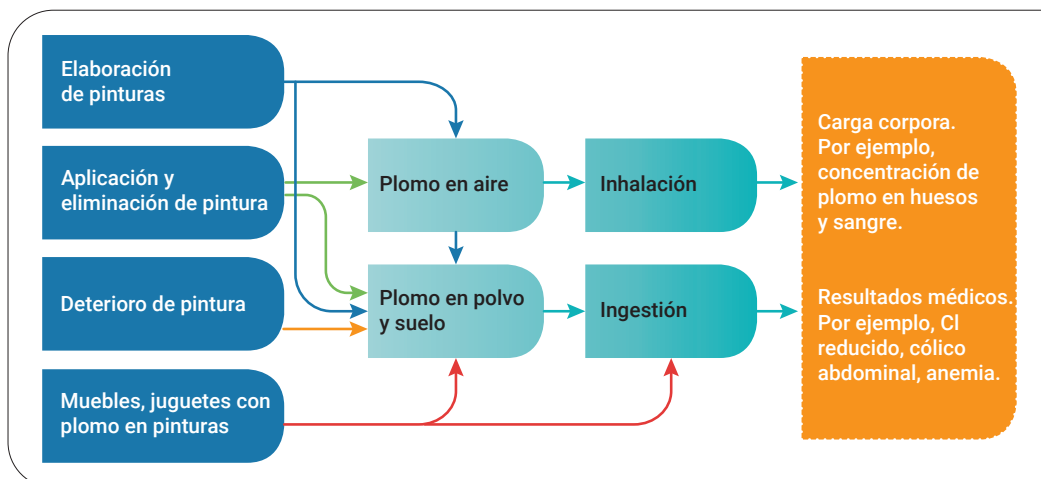
► **Figura 2 - Efectos en la salud de niños por exposición al plomo***

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2020), Actualización del Estado Global de los Límites Legales de Plomo en la Pintura, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35105/GS20_SP.pdf.

El plomo liberado en el medio ambiente a través de cualquier fuente, incluido el plomo presente en la pintura, es también tóxico para las plantas, los animales y los microorganismos. En todos los animales estudiados se ha demostrado que el plomo causa efectos adversos en varios órganos y sistemas de órganos, entre los que se encuentran la sangre, el sistema nervioso central, los riñones, y los sistemas reproductivo e inmunológico. Se bioacumula en la mayoría de los organismos, con exposiciones ambientales que ocurren a través de múltiples fuentes y vías.

El plomo es un ecotóxico bien documentado que supone una amenaza para los ecosistemas acuáticos y terrestres (PNUMA, 2010). Los estudios han demostrado que los bosques actúan como sumideros de partículas atmosféricas. El plomo atmosférico se deposita en el follaje y llega al suelo a través del agua de lluvia o cuando cae la hojarasca. En consecuencia, los organismos del ecosistema forestal pueden estar

expuestos a concentraciones de plomo especialmente elevadas (Zhou *et al.*, 2019). También se sabe que la contaminación por plomo afecta a diversas especies de aves y supone una amenaza para la biodiversidad (Haig *et al.*, 2014). Asimismo, se ha demostrado que los ecosistemas acuáticos, incluidas las plantas acuáticas, los invertebrados y los peces, absorben el plomo cuando está presente en el agua contaminada. En los peces, por ejemplo, el plomo puede tener efectos hematológicos y neurotóxicos y puede alterar la función enzimática, lo que disminuye la supervivencia y el éxito reproductivo a largo plazo (Demayo *et al.*, 1982).

► **Figura 3 - Vías y rutas de exposición humana al plomo de la pintura (Fuente: OMS, 2020)**

Históricamente, los compuestos de plomo se han añadido a las pinturas decorativas e industriales y a otros recubrimientos para mejorar el color, reducir la corrosión en las superficies metálicas o acortar el tiempo de secado. Hoy en día, los pigmentos y secantes sin plomo para su uso en pinturas pueden conseguirse fácilmente. Conviene también mencionar que algunas materias primas utilizadas en la pintura pueden contener altos niveles de plomo de forma natural. Después de la aplicación de la pintura con plomo, la erosión, el descascarillado o el desprendimiento de la pintura liberan partículas de plomo en el polvo y el suelo de los hogares, las escuelas, los parques infantiles y otros lugares. La pintura decorativa de uso doméstico ha sido identificada como la principal fuente de exposición de los niños al plomo presente en las pinturas. La eliminación de la fuente de exposición al plomo mediante el establecimiento de leyes que promuevan el uso de materias primas sin plomo en la producción de pintura es la manera más eficaz para proteger a las personas y al medio ambiente de los efectos nocivos del plomo.

Existe una gran probabilidad de que el suelo y el polvo que han sido contaminados con plomo sean ingeridos e inhalados, sobre todo por los niños pequeños cuando juegan en el suelo o al aire libre y cuando se llevan las manos u otros objetos a la boca. Los niños también pueden ingerir plomo a través de los juguetes pintados con pintura con plomo. Tanto los niños como los adultos pueden estar expuestos al plomo que se encuentra en las cáscaras y el polvo de la pintura cuando se retira la pintura vieja con plomo. El plomo es especialmente perjudicial para los niños pequeños porque absorben entre 4 y 5 veces más plomo ingerido que los adultos de una misma fuente.

El impacto negativo de la exposición al plomo en el desarrollo del cerebro de los niños tiene un increíble

costo económico que recae sobre los niños afectados, sus familias y la sociedad en general. Entre ellos se encuentran los costos de la atención sanitaria, las pérdidas de productividad y la discapacidad intelectual. La mayor carga económica de la exposición al plomo la soportan los países de ingreso bajo y mediano. Los costos anuales estimados (en dólares internacionales) de la exposición al plomo por región, basados en la pérdida de cociente intelectual, son los siguientes: África, 134.700 millones de dólares; América Latina y el Caribe, 142.300 millones de dólares; y Asia, 699.900 millones de dólares.*

La exposición profesional al plomo puede producirse durante la fabricación, la aplicación y la retirada de la pintura si no se aplican los controles de ingeniería y las medidas de higiene laboral adecuados, y si los trabajadores no disponen de equipos de protección personal adecuados (Were *et al.*, 2014), (Rodrigues *et al.*, 2010). Durante la fase de fabricación, los trabajadores pueden estar expuestos a ingredientes que contienen plomo, que a menudo se encuentran en forma de polvo. Cuando se aplica la pintura por pulverización o se elimina mediante raspado, chorreado abrasivo, lijado en seco o quemado, se liberan partículas y humos de plomo que son una fuente de exposición por inhalación. Las partículas también se depositan en la piel y la ropa de los trabajadores y pueden convertirse en una fuente de ingestión, así como de exposición en el hogar de las familias de los trabajadores, si no se dispone de instalaciones en el lugar de trabajo para cambiarse de ropa y lavarse (OMS, 2020).

Si bien el costo de la eliminación de la pintura decorativa con plomo existente en las superficies de los hogares, escuelas y otros edificios puede ser considerable, el costo económico de eliminar el uso de compuestos de plomo en la producción de nuevas pinturas decorativas es bajo. De hecho, muchos fabricantes

► **Tabla 1 - Materias primas que pueden contener plomo**

TIPO DE PINTURA	PIGMENTOS	CARGAS	SECANTES
Imprimaciones y capas de acabado de secado al aire* (Las resinas alquídicas pueden ser una fuente de plomo debido al catalizador de plomo utilizado en su síntesis..)	●	●	●
Imprimaciones, otras bases	●	●	
Imprimaciones superficiales		●	
Capas de acabado, otras bases	●	●	

* Para más información, véase: <https://med.nyu.edu/departments-institutes/pediatrics/divisions/environmental-pediatrics/research/policy-initiatives/economic-costs-childhood-lead-exposure-low-middle-income-countries>

► **Figura 4 - Inspección de la pintura con plomo con un dispositivo de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)**



Fotografía: www.istockphoto.com

ya han reformulado con éxito sus productos de pintura para evitar la adición intencional de plomo. Según la industria de la pintura, la reformulación de las pinturas residenciales y decorativas para eliminar los compuestos de plomo es factible, y los impactos técnicos y de costos son manejables. Cada vez más, los productores de pintura expresan públicamente que es posible eliminar los compuestos de plomo en todos los tipos de pintura.

Cada vez más, los gobiernos de todo el mundo tratan de elaborar leyes para eliminar el plomo en la pintura. Los fabricantes de pintura deben estar al tanto de estas actividades en su país o en los países a los que exportan su producto para así adoptar las decisiones pertinentes sobre la reformulación de la pintura.

Las materias primas utilizadas en las pinturas que pueden contener plomo se presentan en la siguiente tabla.

Hay que tener en cuenta que las cargas sintéticas no contienen compuestos de plomo, pero, a menudo, las

cargas son materias primas naturales que sí que pueden contener plomo. Al utilizar estas cargas, se puede añadir plomo de forma no intencionada. Las pinturas también pueden contaminarse involuntariamente con plomo cuando hay pigmentos naturales, como los óxidos ferrosos, que contienen plomo.

También existe la posibilidad de contaminar la pintura durante la producción. La contaminación por plomo ocurre si el mismo equipo que se utilizó para producir pintura con contenido de plomo se usa sin limpiar para producir pintura sin plomo.

Existen diferentes métodos analíticos para medir el plomo en la pintura, y la Guía breve de los métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura de la OMS ofrece una visión general de los principales, incluidos los métodos de laboratorio, los dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) de mesa o portátiles y los estuches de pruebas (OMS, 2020).

► **Tabla 2 - Propiedades peligrosas de los compuestos de plomo utilizados en las pinturas**

SUSTANCIA QUÍMICA / NÚMERO CAS	CI*	INDICACIONES DE PELIGRO (SEGÚN EL SGA)
PIGMENTOS (OCDE, 2021a)		
Rojo de cromato molibdato sulfato de plomo (PbCrO ₄ (CrH ₂ O ₄ .Pb) / 12656-85-8	Pigmento rojo 104	H350: Puede provocar cáncer. H360Df: Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad.
Cromato de plomo (PbCrO ₄) / 7758-97-6	Pigmento amarillo 34	H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos. H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Verde cromo (mezcla de cromato de plomo y azul de Prusia)	Pigmento verde 15	
Tetraóxido de plomo (minio) (Pb ₃ O ₄) / 1314-41-6	Pigmento rojo 105	H302: Nocivo en caso de ingestión. H332: Nocivo en caso de inhalación. H351: Se sospecha que provoca cáncer (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía). H360: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto (indíquese el efecto específico si se conoce) (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía). H360Df: Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad. H362: Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna. H372: Provoca daños en los órganos (indíquense todos los órganos afectados, si se conocen) tras exposiciones prolongadas o repetidas (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía). H372: Provoca daños en el sistema nervioso central, la sangre y los riñones tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala o se ingiere. H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Monóxido de plomo (PbO) / 1317-36-8	Pigmento amarillo 46	H316: Provoca una leve irritación cutánea. H341: Se sospecha que provoca defectos genéticos. H351: Se sospecha que provoca cáncer. H360: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. H373: Puede provocar daños en el sistema nervioso, la sangre y los riñones tras exposiciones prolongadas o repetidas. H413: Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Plomo blanco (2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂) / 37361-76-5	Pigmento blanco 1	H350: Puede provocar cáncer. H360: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. H370: Provoca daños en los órganos (sistema nervioso central, sangre, riñón). H372: Provoca daños en los órganos (sistema nervioso central, sangre, riñón) tras exposiciones prolongadas o repetidas. H413: Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
SECANTES (ECHA, 2021a), (ECHA, 2021b)		
Octanoato de plomo (2+) (C ₁₆ H ₃₀ O ₄ Pb) / 7319-86-0	/	H302: Nocivo en caso de ingestión. H332: Nocivo en caso de inhalación.
Naftenicato de plomo (C ₂₂ H ₁₄ O ₄ Pb) / 61790-14-5	/	H360: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos. H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

* El Colour Index (CI, por sus siglas en inglés) identifica cada pigmento con un nombre y un número de índice de color únicos (véase la sección 6.2).

Hay muchos productos en el mercado que podrían sustituir estas materias primas para la producción de pintura.



Fotografía: www.pixabay.com

5

PROCESO DE SUSTITUCIÓN

Las empresas han reconocido que la aplicación de la ley es el principal motor para garantizar la sustitución de los productos químicos peligrosos, pero muchas empresas y otras organizaciones van más allá y añaden otros factores, tales como: conocimiento de los proveedores, política de organización, requisitos de la cadena de suministro, costos sanitarios, protección de los trabajadores y protección del medio ambiente, presión del público o presión de los trabajadores, entre otros.

La sustitución es un principio básico en una gestión de los riesgos de productos químicos adecuada. El principio de sustitución química establece que los productos químicos peligrosos deben sustituirse sistemáticamente por alternativas menos peligrosas o, preferiblemente, alternativas para las que no se hayan identificado peligros (Olofsson, 2011). La sustitución suele conllevar algo más que la sustitución de un producto químico por otro. La diferencia en las propiedades de los dos productos químicos en cuestión puede crear la necesidad de otros cambios (técnicos, pero posiblemente también organizativos).

La sustitución puede incluir el reemplazo de una sustancia peligrosa, el uso de una alternativa

tecnológica en lugar de la sustancia inicial, el uso de una medida organizativa como sustituto de una sustancia peligrosa o el rediseño total del producto.

Además de los compuestos de plomo, hay muchas otras materias primas muy peligrosas que se utilizan en la industria de la pintura, como disolventes (nafta disolvente, tolueno), aditivos (ftalato de dibutilo plastificante, formaldehído, un conservante que se encuentra en las pinturas en base acuosa), pigmentos de cromo hexavalente (cromato de zinc), compuestos de bromo que se encuentran en pinturas ignífugas, etc.

La información proporcionada en esta sección puede ayudar a las empresas en lo que atañe a actividades adicionales relacionadas con la sustitución de productos químicos peligrosos.

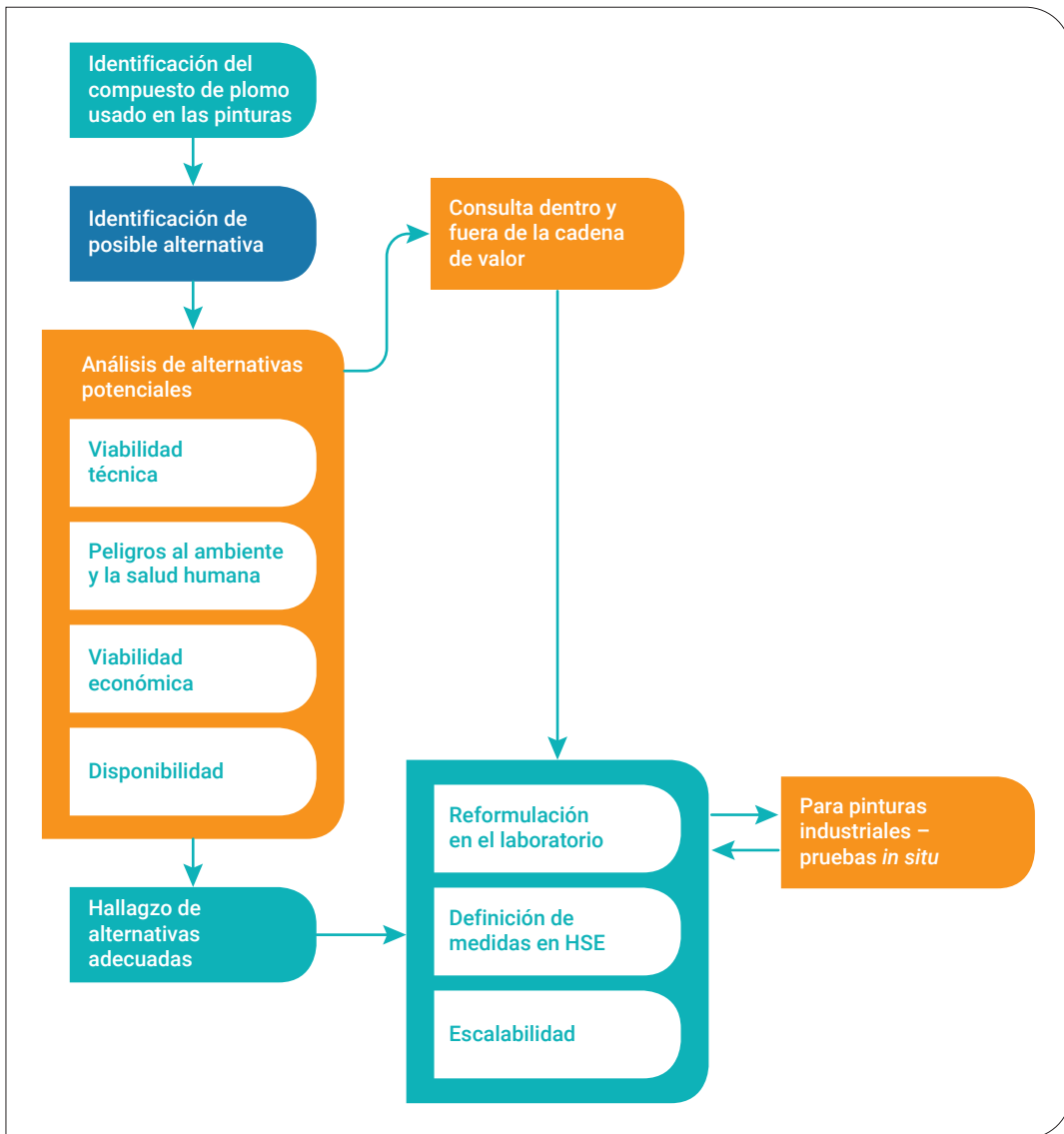
El siguiente diagrama de flujo presenta los pasos necesarios para sustituir los ingredientes que contienen plomo en las pinturas. Estas actividades se aplican a cualquier producto químico peligroso para el que hay alternativas disponibles en el mercado y cuyas propiedades peligrosas son conocidas y, debido a esto, no hay necesidad de ninguna investigación adicional en relación con estas propiedades. Este proceso

ayudará a las empresas en sus esfuerzos por sustituir voluntariamente las materias primas que contienen plomo o a cumplir tanto los límites de concentración de plomo existentes o previstos (por ejemplo, según lo recomendado en la Ley Modelo o según lo exijan países como Uruguay, Kenia, Filipinas y otros) como los requisitos para la eliminación gradual de compuestos específicos de plomo (por ejemplo, según establece el Reglamento REACH).

práctica de una sustancia alternativa. También se puede proporcionar información sobre posibles alternativas fuera de la cadena de suministro.

El proceso de identificación de alternativas comienza considerando la función de una sustancia. Un conocimiento detallado y específico de la función exacta para un uso particular permitirá a la empresa buscar otras formas de realizar esa misma función.

► Diagrama de flujo 1 - Actividades en la sustitución de compuestos de plomo



5.1 Identificación de posibles alternativas

Una alternativa es el uso de un reemplazo para una sustancia peligrosa que sea capaz de reemplazar la función que realiza la sustancia original.

Una buena comunicación en la cadena de suministro es esencial para la identificación y la implementación

Es esencial considerar cómo el uso de una alternativa puede afectar a los productos finales en términos de la función final. Las calidades de los productos finales pueden necesitar ser consideradas en una escala de tiempo más larga. Por ejemplo, algunas pinturas pueden necesitar proporcionar resistencia a la acción de la intemperie durante la vida útil de un producto concreto.

Es importante determinar todas las funciones de una sustancia para cada uso (una industria o un cliente específicos, en algunos casos), de modo que se puedan identificar posibles alternativas que puedan reemplazar la función equivalente. Si la función específica y las condiciones de uso se definen con precisión, la consulta dentro y fuera de la cadena de suministro tendrá más éxito.

La comunicación de la cadena de suministro es un proceso interactivo y puede involucrar a todas las partes relevantes de dicha cadena. Esto es importante para identificar posibles alternativas para todos los usos. Las fuentes de información sobre posibles alternativas dentro de la cadena de suministro son, por ejemplo, el conocimiento propio de la empresa (especificaciones de productos y usuarios, conocimiento de los empleados), los proveedores, los usuarios, la industria o las asociaciones profesionales. La comunicación dentro de la cadena de suministro ayudará a la organización a identificar posibles alternativas, comprender la viabilidad técnica y económica y obtener información sobre la seguridad y la disponibilidad de alternativas.

Puede ser útil recopilar información sobre posibles alternativas fuera de la cadena de suministro, como revistas profesionales, organizaciones de investigación, grupos ecologistas, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas, bases de datos* (como, por ejemplo, el portal SUBSPORT, el sistema REACH-IT, la información no confidencial del expediente del anexo XV de REACH o bases de datos de patentes) o expertos en la materia.

5.2 Evaluación de posibles alternativas

Cuando se identifican posibles alternativas, el análisis es el primer paso en el proceso de planificación de la sustitución (ECHA, 2011).

Una alternativa es adecuada cuando:

- proporciona una función equivalente a la proporcionada por el compuesto de plomo (cuando se trata de pigmentos para capas de acabado, una sola alternativa no suele ser posible, por lo que el pigmento original tendría que ser sustituido por más de una alternativa adecuada);
- da lugar a una reducción de los riesgos generales para la salud humana y el medio

ambiente, teniendo en cuenta la idoneidad y eficacia de las medidas de gestión de riesgos para las instalaciones;

- es técnica y económicamente viable, y
- está disponible en el mercado.

La primera fase de los análisis es la evaluación de la viabilidad técnica. Cuando se identifican las posibles alternativas que cumplen los requisitos de la función, es necesario definir si se necesitan o no adaptaciones o cambios en el proceso. Para cumplir la misma función, a veces hay que procesar la alternativa en condiciones diferentes. (véase la sección 6.6.2)

Si la alternativa es aceptable con respecto a la viabilidad técnica, la siguiente fase es la evaluación de los peligros y riesgos para el medio ambiente y la salud humana. Esta evaluación consiste, por un lado, en establecer criterios para los peligros y riesgos aceptables**, y, por otro, en comparar las propiedades peligrosas entre la sustancia peligrosa (o la mezcla, como en el caso de los secantes) y sus posibles alternativas. La comparación de propiedades y efectos similares entre sustancias o mezclas no siempre es sencilla o directa. Cuando la comparación de los perfiles de peligro o la falta de datos suscitan inquietudes, puede ser necesario realizar una evaluación más detallada.

En cuanto a los datos sobre peligrosidad, deben identificarse los principales efectos de las alternativas sobre la salud y el medio ambiente para evitar ciertos riesgos incontrolables causados por la sustitución. La hoja informativa sobre la seguridad (SDS) es una buena fuente de información sobre las propiedades químicas peligrosas. Su objetivo es proporcionar información completa sobre una sustancia o mezcla utilizada como alternativa. Tanto los empresarios como los trabajadores la utilizan como fuente de información sobre los riesgos, incluidos los ambientales, y como fuente de orientación sobre las precauciones de seguridad.

Existen métodos más sofisticados para la evaluación de alternativas que se pueden dividir en dos categorías (Edwards, Rossi y Civie, 2016):

- a. Métodos que recopilan datos sobre los peligros: aquellos que examinan las propiedades peligrosas de las sustancias químicas deben colocarse en una matriz. Las organizaciones deben establecer sus propias normas para el análisis y la comparación de las diferentes alternativas. Ejemplos de estos métodos son: el sistema de análisis P2OASys***, el modelo

* Apéndice 1 (consejos para la búsqueda en Internet)

** Un riesgo consta de dos factores: las propiedades inherentes del producto químico (peligro) y la forma en que se utiliza o manipula el producto químico (exposición).

*** Para más información, véase: https://www.turi.org/Our_Work/Alternatives_Assessment/Alternatives_Assessment/Tools_and_Methods/P2OASys_Tool_to_Compare_Materials

de columnas del SGA de 2017 o el TURI 5 Chemicals Alternatives Assessment Study*.

- b. Métodos de ensayo que se utilizan para analizar los productos químicos en función de los peligros previamente priorizados. Incluyen recomendaciones para dejar de utilizar determinados productos químicos peligrosos que son muy perjudiciales. También contienen herramientas para el proceso de toma de decisiones sobre alternativas. Entre los métodos de esta categoría se encuentra el Green Screen for Safer Chemicals**.

La principal limitación de estas herramientas es la falta de datos sobre las propiedades peligrosas de la mayoría de los productos químicos en uso.

Una alternativa puede ser más segura (es decir, no cancerígena, mutagénica), pero puede tener otros peligros como la corrosividad o la inflamabilidad. Estos peligros son más fáciles de controlar y es necesario prescribir las medidas necesarias para gestionarlos y controlarlos durante la aplicación.

La evaluación de las alternativas deberá repetirse pasado un tiempo, ya que los resultados de la

evaluación obtenidos hoy pueden cambiar a medida que se adquieren nuevos conocimientos sobre las propiedades peligrosas y los riesgos de un producto químico.

La viabilidad económica identifica la opción de menor costo entre un conjunto de opciones que alcanzan todos los objetivos. Una evaluación debería incluir una serie de costos de producción directos e indirectos tangibles, en lugar de limitarse a comparar el precio de producto o productos alternativos y del producto químico a sustituir.

El primer paso es determinar la disponibilidad y el costo de las alternativas identificadas, a partir de información de fácil acceso que permita una comparación de costos. Para comprobar la viabilidad de las alternativas es necesario evaluar si la sustitución por una alternativa específica genera otros costos como un mayor consumo de productos químicos, un aumento de los costos de fabricación o la compra de nuevos equipos. También debe tenerse en cuenta que los precios no son estáticos y pueden reducirse potencialmente. Con el aumento de la demanda debido a la prohibición o restricción del uso de ciertos productos químicos, la oferta de alternativas aumenta, lo que lleva a una caída de los precios.

* Para más información, véase: <https://www.yumpu.com/en/document/view/7083577/turi-5-chemicals-alternatives-assessment-study-high-priority>

** Para más información, véase: <https://www.greenscreenchemicals.org/>



Fotografía: www.istockphoto.com

SUSTITUCIÓN DE PIGMENTOS CON PLOMO

Es necesario seleccionar las materias primas adecuadas para conseguir un rendimiento óptimo de la pintura, que incluye la forma de aplicarla (por ejemplo, por pulverización, por inmersión...), la adhesión a una superficie específica, el proceso de curado, la protección mecánica o química requerida y los requisitos decorativos. La tecnología de recubrimiento es compleja e incluye variables químicas, físicas, de ingeniería de procesos, ambientales, de salud y seguridad, y económicas.

Los componentes de las pinturas son ligantes, disolventes, pigmentos, cargas y diferentes aditivos. La siguiente tabla proporciona información sobre las funciones y requisitos de rendimiento para los pigmentos y cargas (extendedores) (Goldschmidt y Streitberger, 2007).

El tamaño de las partículas y la distribución del tamaño de las partículas de los pigmentos afectan en gran medida al color, la intensidad del tinte y el

► **Tabla 3 - Funciones y requisitos de rendimiento para los pigmentos y extendedores**

FUNCIONES DEL PIGMENTO	REQUISITOS PARA LOS PIGMENTOS Y EXTENDEDORES	FUNCIONES ESPECIALES DE LOS EXTENDEDORES
<ul style="list-style-type: none"> • Absorción electiva • Dispersión de la luz • Efectos ópticos por reflexión orientada o interferencia • Protección UV • Protección contra la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersabilidad • Insolubilidad • Resistencia a la luz y a la intemperie • Resistencia al calor • Resistencia a productos químicos • Fisiológicamente compatible 	<ul style="list-style-type: none"> • "Relleno" • Capacidad para ser lijado • Mejora de las propiedades mecánicas y tecnológicas del recubrimiento • Mejora de las propiedades anticorrosivas

poder cubriente de la pintura. Las propiedades de la pintura dependen de otros factores relacionados con los pigmentos, como la concentración de pigmento en volumen, la elección de los aditivos dispersantes, la interacción entre el pigmento y el polímero y el proceso de dispersión. El proceso de dispersión (molienda) afecta a la tonalidad, el poder cubriente, el brillo y el aspecto de la película (es decir, efecto de velo, inundación, flotación), la viscosidad, la estabilidad y la resistencia a la intemperie.

La reformulación de la pintura puede incluir no solo la sustitución del pigmento de plomo por alternativas menos peligrosas, sino que también puede requerir cambios en la carga base del molino, la humectación, los aditivos dispersantes y el proceso de dispersión. Además, la sustitución de los pigmentos de plomo en

las capas de acabado por otros pigmentos requerirá el ajuste del color mediante el tintado. Para abordar estas cuestiones, este capítulo ofrece información sobre los elementos básicos de la teoría del color, el proceso de dispersión y los aditivos para la dispersión.

6.1 Teoría del color

Valor, tono y croma son términos estándar utilizados en la industria de la pintura para describir las tres dimensiones del color. Comprender estos términos es necesario para un ajuste de color exitoso. Los colores pueden ser diferentes en una, dos o las tres dimensiones.

► Cuadro de texto 2 - Valor, tono y croma

Valor (luminosidad): esta dimensión se refiere al grado de luminosidad u oscuridad del color. La escala del valor se desarrolla verticalmente a través de la esfera de color (figura 5). El más blanco está en la parte superior, los tonos de gris que se oscurecen gradualmente están en el medio y el negro está en la parte inferior. La diferencia de valor se describe como un color más oscuro o más claro.

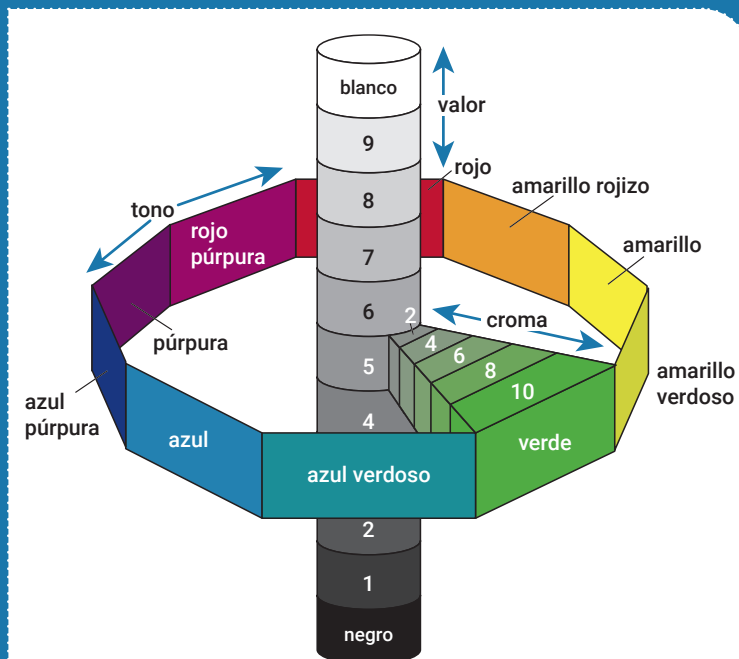
Tono (matiz): esta dimensión se mueve alrededor del borde exterior de la esfera de color. Pasa del amarillo, rojo y azul (colores primarios) al verde.

Los colores se mueven en la escala de tonos: un azul puede moverse hacia los tonos rojos y convertirse en tonos púrpuras, o hacia los verdes, volviéndose azul verdoso; un rojo se puede hacer más azul (púrpura o granate) o más amarillo (naranja); un amarillo se puede hacer más rojo o más verde (colores secundarios). Las diferencias de tono se describen, por ejemplo, como más rojas o más verdes que otro color.

Croma (intensidad, saturación): esta dimensión se refiere a un nivel de intensidad y riqueza de color. Se mueve a lo largo de los radios que se irradian desde el eje central hacia la periferia. Los colores débiles y apagados con el menor croma están cerca del centro de la esfera de color, mientras que los colores altamente cromáticos y los más intensos están en el borde exterior. La diferencia en el croma se describe como color más o menos saturado.

El negro, el blanco y el gris son colores acromáticos, literalmente colores sin tono.

► Figura 5 - Esfera de color



Si queremos producir un color vibrante e intenso, debemos utilizar colores primarios que no contengan otros colores, para que no afecten al color que queremos producir. Por ejemplo, para producir un verde intenso, el amarillo y el azul no deben contener rojo, por lo que solo hay que utilizar el amarillo verdoso y el azul verdoso; los violetas puros se producen con rojos azulados y azules rojizos, donde el azul y el rojo no deben contener amarillo; el naranja intenso se produce con el rojo y el amarillo sin ningún contenido de azul, con el amarillo rojizo y el rojo amarillento.

El blanco palidece cualquier color y no aumenta su intensidad, y cuando se añade para teñir, no altera el tono.

Incluso una pequeña cantidad de color complementario (rojo y verde; amarillo y púrpura; azul y naranja) empieza a desaturar el color. La intensidad del color (croma) empieza a disminuir inmediatamente cuando se añade su complemento.

Para oscurecer un color, se añade una pequeña cantidad de negro. Si se añade una cantidad excesiva de negro, el color quedará casi negro. Otra forma de oscurecer un color es añadir una parte del color

complementario. Esto produce un color oscuro, más rico que la simple adición de negro.

6.2 Colour index

El Colour Index (CI, por sus siglas en inglés) es el sistema de codificación estándar universalmente aceptado para los pigmentos. Se publicó por primera vez en 1925 y actualmente lo mantienen la Society of Dyers and Colourists (Sociedad de fabricantes de Pigmentos y Colorantes) y la American Association of Textile Chemists and Colourists (Asociación Americana de Químicos del Textil y Coloristas). El Colour Index identifica cada colorante dándole un nombre único y un número de índice de color. En las siguientes tablas se presentan las abreviaturas (tabla 4) y los números de estructura química de los pigmentos (tabla 5). En el caso de los colorantes, las primeras letras son A para los ácidos y B para los básicos.

En la tabla 4, las dos primeras letras describen el color general del pigmento, mientras que en la tabla 5, el número es el identificador individual del pigmento.

► **Tabla 4 - Abreviaturas del Colour Index para los pigmentos**

ABREVIATURA	PIGMENTO	ABREVIATURA	PIGMENTO
PB	Pigmento azul	PBk	Pigmento negro
PBr	Pigmento marrón	PG	Pigmento verde
PM	Pigmento metálico	PO	Pigmento naranja
PV	Pigmento violeta	PR	Pigmento rojo
PW	Pigmento blanco	PY	Pigmento amarillo

► **Tabla 5 - Números relacionados con la estructura química de los pigmentos (selección)**

CLASE DE QUÍMICOS	NÚMERO DE CI	CLASE DE QUÍMICOS	NÚMERO DE CI
Nitroso	100000–102999	Estilbena	400000–407999
Nitro	103000–109999	Difenilmetano	410000–419999
Monoazo derivados	110000–199999	Triarilmetano	420000–449999
Díazo derivados	200000–299999	Xanteno	450000–459999

* Para más información, véase: <https://colour-index.com/>

6.3 Proceso de dispersión

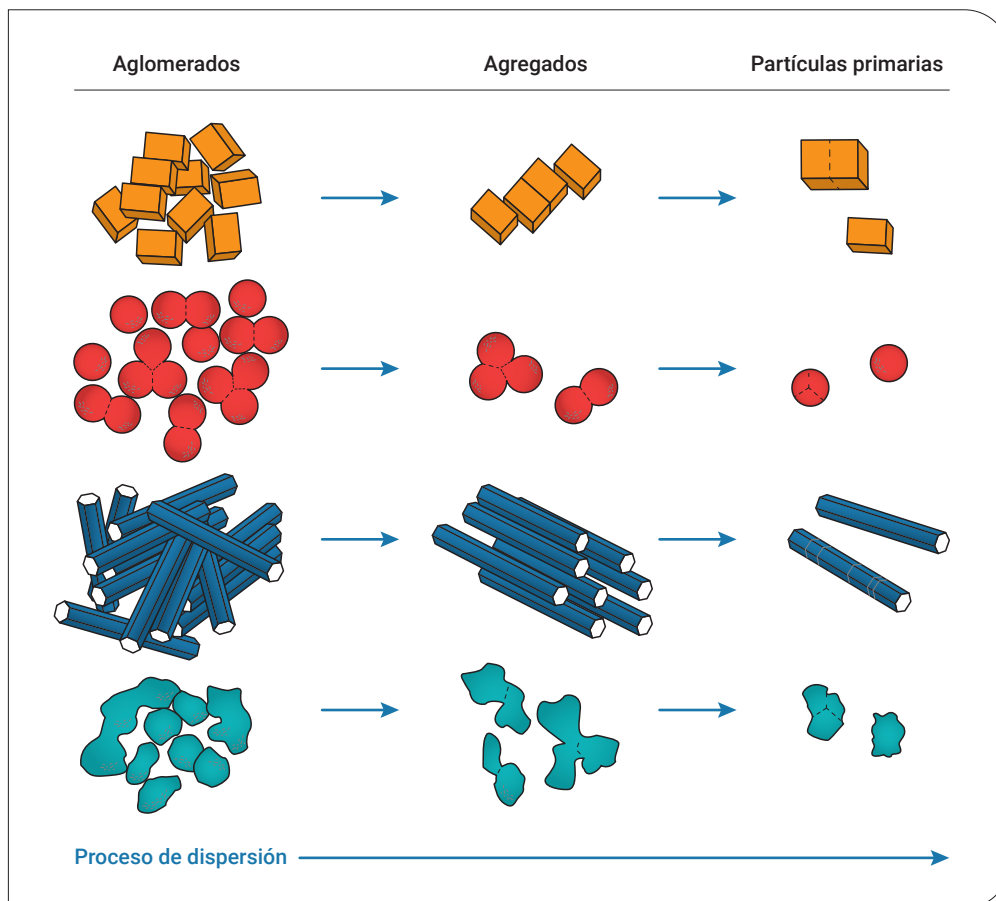
De acuerdo con los modelos de pigmento en la norma EN ISO 18451-1, hay tres tipos de partículas de pigmento, presentes en un polvo de pigmento: partículas primarias, agregados y aglomerados.

El objetivo del proceso de dispersión es producir una dispersión estable y uniforme de partículas de pigmento finamente divididas (partículas primarias y agregados) en un vehículo (figura 6).

El proceso de dispersión (molienda) consta de las siguientes tres fases:

- Rotura mecánica de los aglomerados en los agregados y las partículas primarias mediante fuerzas mecánicas a través de la molienda.
- Humectación de las partículas separadas (la interfaz pigmento/aire o pigmento/humedad se sustituye por la interfaz pigmento/medio).
- Estabilización, o prevención de la reaglomeración, de las partículas mediante el impedimento estérico por cadena de polímero adsorbida o repulsión electrostática entre partículas de la misma carga. Los agentes dispersantes modernos combinan mecanismos de estabilización electrostática y estérica. Esto suele denominarse "estabilización electrostérica".

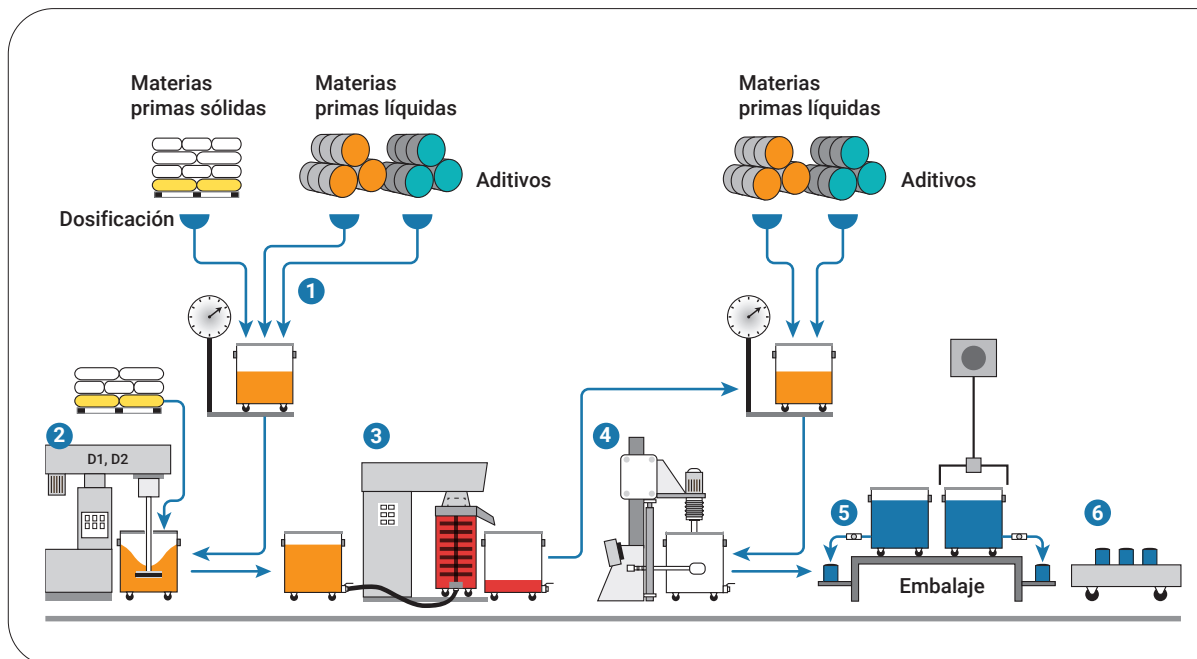
► Figura 6 - Modelos de pigmentos de acuerdo con la EN ISO 18451-1



El siguiente esquema (figura 7) muestra el proceso de producción de pintura.

Además de una buena dispersión de los pigmentos, es importante conseguir una estabilización eficaz a largo plazo de las partículas de pigmento, ya que una

► Figura 7 - Esquema del proceso de producción de pintura



- 1. Pesaje y dosificación de materias primas (resinas, disolventes, pigmentos, cargas y aditivos).**
- 2. Mezcla por disolvente (premolienda): humectación y descomposición mecánica de aglomerados.**
- 3. Molienda (dispersión): degradación adicional y estabilización de la dispersión del pigmento.**
- 4. Mezcla con aditivos: homogeneizado de la dispersión del pigmento con una mezcla previamente preparada de otros materiales líquidos (ligantes, disolventes, aditivos).**
- 5. Filtrado.**
- 6. Embalaje.**

Durante la producción de pintura es necesario controlar la viscosidad de la pasta de molienda, la temperatura, la tasa de caudal en el molino y el tamaño de las partículas de pintura requerido.

Durante la operación de molienda, los subprocesos de descomposición mecánica, humectación y estabilización no se producen necesariamente en orden cronológico, sino que ocurren en modo sucesivo y simultáneo.

La norma ISO 1524:2013 (Pinturas, barnices y tintas de imprenta. Determinación de la finura de dispersión) especifica un método para la determinación de la finura de dispersión de pinturas, mediante la utilización de una regleta apropiada, graduada en micrómetros. Es aplicable a todo tipo de pinturas líquidas y productos relacionados, excepto productos que contienen pigmentos en forma de escamas (por ejemplo escamas de vidrio, óxidos micáceos de hierro, escamas de aluminio).

estabilización insuficiente puede provocar efectos negativos como el cambio de color, la sedimentación o cambios en la viscosidad de la dispersión.

Se necesitan aditivos altamente especializados para humedecer, dispersar y estabilizar los pigmentos en polvo en formulaciones líquidas. Los aditivos humectantes aceleran la humectación de los aglomerados de pigmentos por la resina; los aditivos dispersantes mejoran la estabilización de la dispersión de los pigmentos. A menudo, un mismo producto puede funcionar como aditivo humectante y dispersante. Hay una diferencia significativa en el proceso de humectación entre los sistemas en base disolvente y en base acuosa. La humectación en los sistemas en base disolvente suele ser bastante fácil debido a la baja tensión superficial de los disolventes orgánicos. Debido a la alta tensión superficial del agua, la tensión superficial en los sistemas en base acuosa es significativamente mayor, por lo que se requieren

aditivos especiales para permitir una humectación suficiente del pigmento.

La dispersión de pigmentos puede estabilizarse mediante defloculación o floculación controlada. En la mayoría de las aplicaciones es deseable la estabilización por defloculación, pero la floculación controlada es preferible en algunos casos.

La defloculación conduce, en general, a un uso más eficiente del pigmento, mejora el comportamiento de la fluidez y es posible una mayor carga de pigmento. Debido al pequeño tamaño de las partículas de los pigmentos defloculados, se obtiene un alto brillo y se aumenta la intensidad del color. Estas propiedades son de especial interés para las capas de acabado en las que se requiere un aspecto óptimo y unas propiedades de superficie excelentes (por ejemplo, en las pinturas para automóviles).

estabilidad en superficies verticales con película de gran espesor. A través de una floculación controlada, también se puede controlar la inundación (*flooding*) y la flotación, ya que los distintos pigmentos están unidos en los flóculos y, por tanto, no pueden separarse de la mezcla. La cofloculación puede dar lugar a una reducción del brillo, por lo que hay que evaluar las pinturas para detectar posibles efectos indeseables. La principal aplicación de los aditivos floculantes controlados se encuentra en las imprimaciones, las capas de fondo y en los sistemas protectores de recubrimiento.

Como indicadores de estabilización de pinturas con un pigmento, se deben considerar el brillo y la transparencia. Para las mezclas, se debe considerar el comportamiento de inundación/flotación, el cual puede ser evaluado por pruebas de frotación y sedimentación. Las muestras no uniformes en la película de pintura

► **Figura 8 - Disolventes**



Fotografía: © Kansai Helios

Sin aditivos, las partículas de pigmento están en contacto directo entre sí como floculantes no controlados. En cambio, en los floculados controlados, las moléculas de los aditivos están siempre entre las partículas de pigmento, sin contacto directo.

El estado de floculación controlada forma estructuras de red tridimensionales que conducen a un comportamiento de flujo tixotrópico (pseudoplástico o que vuelve rápidamente al estado de gel) dentro del recubrimiento. Gracias a estas estructuras, la viscosidad en estado de reposo es bastante elevada. Sin embargo, cuando se aplican fuerzas de cizallamiento, los flóculos de pigmento se separan e inducen una viscosidad más baja. Los flóculos pueden reconstruirse tras la eliminación de dichas fuerzas, lo que permite conseguir un comportamiento reológico (descuelgue y sedimentación) y una excelente

tras la frotación (figura 7) indican que las partículas de pigmento están poco estabilizadas. La diferencia de color entre la zona frotada y la no frotada indica el grado de floculación, así como el grado de inundación.

Cuando se dispersa un pigmento, la cantidad de aditivo que se añade y las condiciones de molienda pueden optimizarse para conseguir la mejor calidad de molienda posible. Cuando se muelen juntos varios pigmentos diferentes, es necesario hacer concesiones en cuanto a los parámetros de molienda. No se recomienda la molienda conjunta de pigmentos debido a las diferentes propiedades de los distintos pigmentos en relación con el proceso de molienda. Un pigmento difícil de moler puede sustituirse, si es posible, o molerse por separado o añadirse como concentrado de pigmentos.

Un exceso o una falta de aditivo puede ser perjudicial para la estabilidad de la dispersión del pigmento. La cantidad necesaria de aditivos humectantes y dispersantes depende del tipo de pigmento, ya que los aditivos se adhieren a la superficie del pigmento. Si la cantidad de dispersante es demasiado baja, no se obtendrán todos los beneficios. Si es demasiado alta, el grosor de la barrera protectora se reduce como resultado del hacinamiento en la superficie del pigmento, lo que también afecta a la estabilización. La adherencia o la dureza de la película de pintura también pueden reducirse debido a las moléculas libres en la película de pintura.

Los productores proporcionan información sobre los tipos de aditivos y las cantidades adecuadas para determinados tipos de pigmentos y tipos de pintura (en base disolvente o en base agua). No obstante, es necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio para optimizar la dosificación.

La siguiente tabla presenta los niveles de uso de aditivos recomendados (BNK, s.f.).

Cuando las pruebas de laboratorio se trasladan a la producción, solo se pueden obtener resultados de molienda comparables si se mantienen las mismas condiciones de molienda.

6.4 Sustitución del pigmento anticorrosivo de plomo rojo (PR 105)

El plomo rojo, minio (pigmento rojo 105), uno de los pigmentos anticorrosivos más antiguos y populares, cuenta con excelentes propiedades anticorrosivas y se usa principalmente para imprimaciones metálicas. Es un inhibidor indirecto y requiere la reacción con un sistema de resina seleccionado. Cuando se utiliza en aceite de linaza u otros ligantes de oleorresinas, reacciona con los grupos ácidos de la resina para formar jabones de plomos, que tiene un efecto inhibidor de la corrosión.

La protección anticorrosiva sin intervención química se consigue si la difusibilidad y la permeabilidad de

► **Tabla 6 - Nivel de uso de aditivos recomendado**

TIPO DE ADITIVO HUMECTANTE Y DISPERSANTE	PIGMENTOS INORGÁNICOS	PIGMENTOS ORGÁNICOS	FORMULACIÓN TOTAL
Polímeros clásicos de bajo peso molecular	0,5-2% aditivo en pigmento	1-5% aditivo en pigmento	0,1-1% aditivo
Polímeros de alto peso molecular	1-10% aditivo en pigmento	10-80% aditivo en pigmento	0,2-3% aditivo

► **Figura 9 - Molino de cesta**



los agentes corrosivos, como el oxígeno, el agua y las sales, se reducen significativamente mediante una formulación adecuada. Los pigmentos laminares como los silicatos de aluminio, el óxido de hierro laminar o la mica son los más adecuados para conseguir esta propiedad.

El rendimiento anticorrosivo de una imprimación está influido por numerosos factores, como el tipo de resina, la relación entre la concentración de pigmento en volumen (CPV) y la concentración crítica de pigmento en volumen (CCPV), el tipo de pigmento anticorrosivo y otros pigmentos y cargas, las condiciones de dispersión y la formulación general de la pintura. Todos estos factores deben tenerse en cuenta durante el proceso de reformulación de la pintura.

La siguiente tabla proporciona información sobre las alternativas de pigmentos al pigmento rojo de plomo.

El fosfato de zinc es la primera alternativa para sustituir al pigmento anticorrosivo de plomo. Sin embargo, aunque no contiene plomo ni cromo hexavalente, el

► **Tabla 7 - Posibles alternativas al pigmento anticorrosivo de plomo rojo**

TIPO DE PIGMENTO	PIGMENTO	MECANISMO DE ACCIÓN
Pigmentos anticorrosivos químicamente activos	Óxido de zinc (ZnO). Fosfato de zinc (ZnPO ₄) Fosfatos de zinc modificados Fosfato de calcio Fosfatos de calcio modificados	Fijar los estimuladores de la corrosión, como el cloruro o el sulfato, formando compuestos insolubles o estabilizando el valor del pH de un recubrimiento en contacto con el medio de corrosión. Por lo tanto, es necesaria una ligera solubilidad en el medio de corrosión.
Pigmentos anticorrosivos electroquímicamente activos	Cromato de zinc (ZnCrO ₃)*, Fosfato de zinc (ZnPO ₄) Fosfatos de zinc modificados Fosfato de calcio Fosfatos de calcio modificados	Pasivar las superficies metálicas formando capas finas, como las de cromato o fosfato. La solubilidad y la reactividad son los parámetros críticos de los pigmentos activos.
Pigmento anticorrosivo de protección catódica activa	Polvo de zinc	Un tipo especial de pigmento activo que actúa por protección catódica cuando se aplica a sustratos ferrosos. Actúa como ánodo de sacrificio y protege el sustrato metálico. La pintura tiene que estar formulada para producir un buen contacto eléctrico entre el metal del sustrato y las partículas del pigmento de sacrificio. El requisito más importante que permite que las imprimaciones ricas en zinc ofrezcan protección contra la corrosión es una CPV cercana o superior a la CCPV.
Pigmentos anticorrosivos pasivos	Óxido de hierro micáceo Silicatos de aluminio	Pigmentos de barrera que actúan reforzando la película de pintura y reduciendo su permeabilidad a los agentes corrosivos. Se trata de pigmentos químicamente inertes con una forma de partícula plaquetaria o laminar. Estas formas forman una pared de partículas planas que protegen el sustrato del contacto con el agua y los electrolitos.

* El cromato de zinc contiene cromo hexavalente y no es una opción de sustitución.

rendimiento anticorrosivo no es tan bueno como el de los pigmentos de plomo. Una combinación de fosfato de zinc y óxido de zinc sería una buena opción para reducir el precio y proporcionar buenas propiedades anticorrosivas. El óxido de zinc tiende a reaccionar con los ácidos grasos presentes en el ligante, dando lugar a la formación de jabones de zinc, que actúan como barrera para los agentes corrosivos.

El ejemplo 3 presenta la formulación de una capa base alquídica con fosfato de zinc. El ejemplo 4 presenta la formulación de una capa base de éster epoxi combinada con fosfato de zinc y óxido de zinc (véanse los ejemplos de reformulación del apéndice 3).

La generación de pigmentos anticorrosivos basada en ortofosfatos modificados y pigmentos de polifosfato de zinc ha mejorado considerablemente la eficacia de los fosfatos de zinc convencionales (Heubach, 2019). Dado que la eficacia de un pigmento depende de un vehículo, los productores de pigmentos recomiendan variaciones de fosfato de zinc para diferentes tipos de vehículos.

Sin embargo, el zinc es un metal pesado y la demanda de pinturas anticorrosivas sin zinc ha aumentado en los últimos años. El fosfato de calcio es una alternativa al fosfato de zinc estándar y la tabla 8 presenta información sobre su idoneidad como una alternativa para sustituir al plomo rojo. El desarrollo adicional de las propiedades anticorrosivas puede conseguirse utilizando ortofosfato de calcio y magnesio. Además, el fosfato de calcio modificado es una alternativa de pigmento para conseguir un rendimiento anticorrosivo a largo plazo.

La elección de los extendedores también es importante, pues son uno de los principales ingredientes presentes en las capas base (alrededor del 32% en el ejemplo 3, véase el apéndice 3). Las propiedades físicas de los extendedores, como la distribución del tamaño y la forma, el índice de refracción, la densidad, la dureza y el color, junto con su estructura cristalina y la química de la superficie, confieren a estos minerales su funcionalidad (Paint and Coating Industry Magazine, 2001). Los extendedores pueden mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia a

la corrosión. El uso de extendedores con partículas de forma láminas impide que el agua, el oxígeno y otros productos químicos lleguen al sustrato a través de las partículas superpuestas en una película.

El talco (silicato de magnesio hidratado laminar) es un anticorrosivo y extensor hidrofóbico de probada eficacia, que limita la penetración del agua y los agentes corrosivos en la película de pintura. Reduce la corrosión, la descamación y las ampollas de la película de pintura. Debido a la forma de las partículas y a su inercia química, el talco también favorece la adherencia, aumentando la durabilidad de la pintura.

La mica y el caolín son también extendedores funcionales que, debido a su forma, mejoran las propiedades anticorrosivas de las capas base.

Siempre que sea posible, se pueden utilizar aditivos orgánicos no tóxicos para mejorar la protección contra la corrosión que ofrecen los recubrimientos. Esta combinación proporciona una excelente combinación de características de rendimiento en términos de sinergia anticorrosiva (Heubach, 2021).

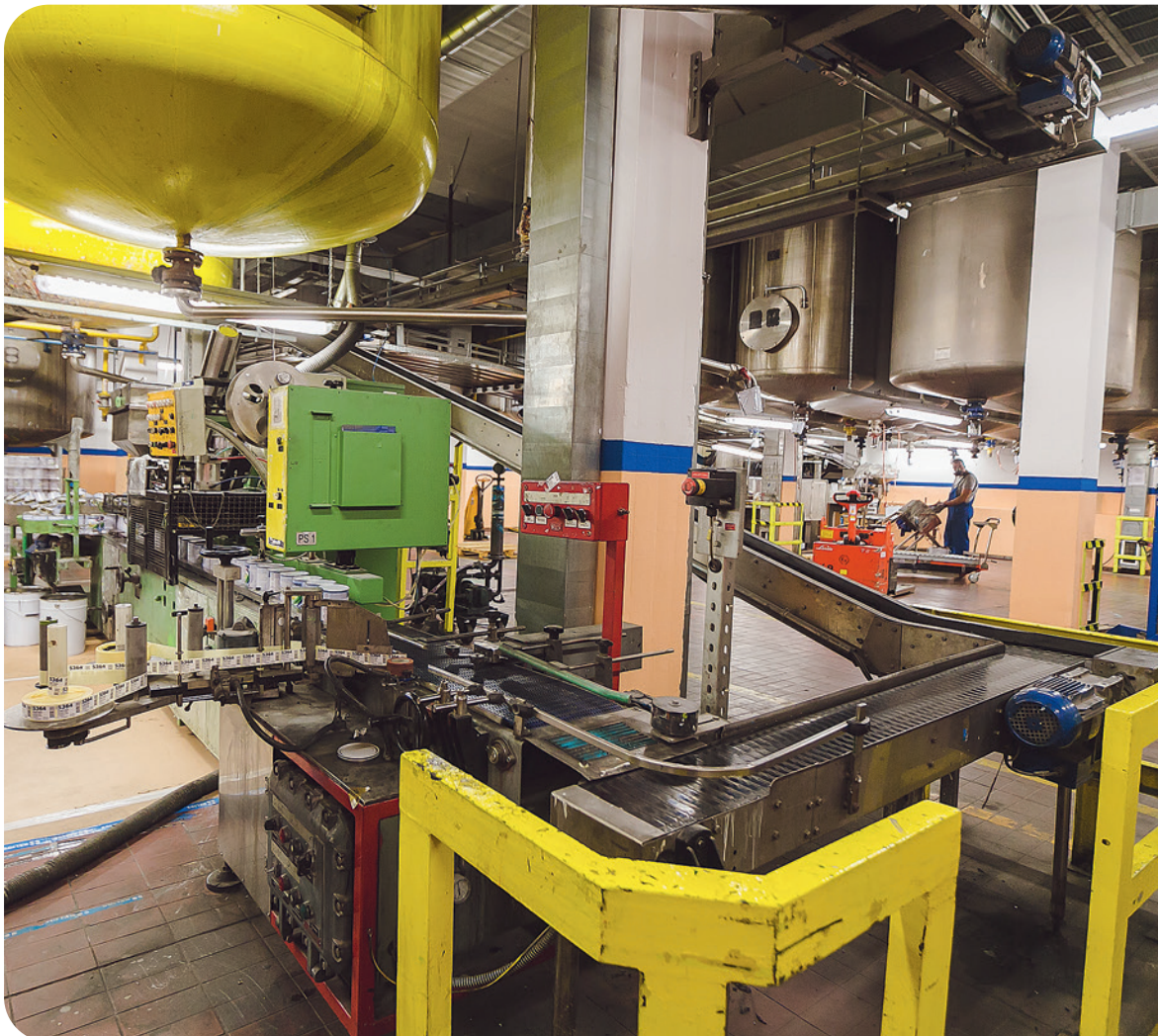
El ejemplo 4 (apéndice 3) presenta una formulación de capa base de éster epoxi con un inhibidor de la corrosión.

6.4.1 Evaluación de alternativas

El color de una formulación de pintura anticorrosiva a base de plomo rojo es naranja. No hay alternativas que ofrezcan este color, pero como las pinturas anticorrosivas nunca se aplican sin una capa de acabado que cubra el color, este requisito no es muy importante. La empresa debería ponerse en contacto con sus clientes del sector y explicarles las ventajas no solo ambientales y para la salud, sino también para el posible cumplimiento de la normativa frente al aumento de los costos de una nueva formulación sin plomo. En cualquier caso, se puede conseguir un costo menor mediante la reformulación (véase el estudio de caso 1 del apéndice 3).

La siguiente tabla presenta las evaluaciones de las alternativas para el plomo rojo.

► Figura 10 - Línea de embalaje



Fotografía. © Kansai Heilos

► **Tabla 8 - Evaluación de las alternativas a PR 105**

REQUISITO	PLOMO ROJO (PR 105)	ALTERNATIVA	
		ORTOFOSFATO DE ZINC (PW 32)	ORTOFOSFATO DE CALCIO
Función	Excelentes propiedades anticorrosivas	El fosfato de zinc y sus modificaciones tienen buenas propiedades anticorrosivas. El color de la imprimación no puede ser el mismo, pero la decoración no es una función importante de la imprimación.	El ortofosfato de calcio y sus modificaciones tienen muy buenas propiedades anticorrosivas. El color de la imprimación no puede ser el mismo, pero la decoración no es una función importante de la imprimación.
Proceso de producción		No es necesario modificar el proceso de producción.	No es necesario modificar el proceso de producción.
Riesgo ambiental y para la salud humana (OCDE, 2021a; ECHA, 2021c; Pcmag, 2001)	<p>H302: Nocivo en caso de ingestión.</p> <p>H332: Nocivo en caso de inhalación.</p> <p>H351: Se sospecha que causa cáncer (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía).</p> <p>H360: Puede perjudicar a la fertilidad o al feto (indíquese el efecto específico si se conoce) (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía).</p> <p>H360Df: Puede perjudicar al feto. Se sospecha que daña la fertilidad.</p> <p>H362: Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.</p> <p>H372: Provoca daños en los órganos (indíquense todos los órganos afectados, si se conocen) tras exposiciones prolongadas o repetidas (indíquese la vía de exposición si se ha demostrado concluyentemente que el peligro no se produce por ninguna otra vía).</p> <p>H372: Provoca daños en el sistema nervioso central, la sangre y los riñones por exposición prolongada o repetida por inhalación o ingestión.</p> <p>H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.</p>	<p>H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos.</p> <p>H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.</p> <p>El producto no es peligroso para el ser humano si se utiliza correctamente (uso de equipo de protección personal).</p>	<p>El fosfato tricálcico no representa un peligro para la salud humana debido a su bajo perfil de peligrosidad.</p> <p>Este producto químico no posee propiedades que indiquen un peligro para el medio ambiente debido a su bajo perfil de peligrosidad (no presenta toxicidad acuática en el límite de solubilidad del agua).</p>
Viabilidad económica		Alternativa rentable. Dependiendo del producto, el costo puede aumentar ligeramente.	El costo es mayor.
Disponibilidad		Hay muchos proveedores de fosfato de zinc en el mercado.	El ortofosfato de calcio está disponible en el mercado.

Es necesario realizar ensayos paralelos de la pintura anticorrosiva con plomo y de la pintura reformulada para determinar la eficacia de la sustitución. Se llevarán a cabo ensayos sobre el tiempo de secado, las propiedades mecánicas y las propiedades anticorrosivas. Los ensayos de corrosión a través de la exposición a la intemperie pueden requerir de mucho tiempo, pero pueden llevarse a cabo, en colaboración con los productores de pigmentos, ensayos acelerados, como el de niebla salina (ASTM B117-11 y DIN EN ISO 9227) y el de determinación de la resistencia a la humedad (ISO 6270-1:2017).

6.5 Sustitución del plomo blanco (PW 1)

A pesar de su bajo índice de refracción (1,94), el pigmento básico de carbonato de plomo se utilizó en las formulaciones de pintura durante muchos años. Este pigmento se sustituyó con éxito por un pigmento de dióxido de titanio (PW 6) más eficaz y con un poder cubriente casi diez veces mayor (Müller y Poth, 2017). Esta formulación basada en el pigmento de dióxido de titanio podía contener menos pigmento blanco en la película seca. La diferencia podría cubrirse con cargas menos costosas, logrando los mismos resultados.

Si la sustitución se lleva a cabo en la formulación de base alquídica, será necesario seleccionar los secantes con cuidado, ya que el plomo blanco actúa como secante. Habrá que aumentar la cantidad de secante en una nueva formulación. Se recomiendan los secantes de circonio y estroncio (véase el capítulo 7).

6.6 Sustitución del cromato de plomo (PY 34) y del rojo de cromato molibdato sulfato de plomo (PR 104)

La formulación de la pintura es compleja y depende de los requisitos que se quieran cumplir. Además del vehículo, la elección del pigmento desempeña un papel importante porque los efectos decorativos y las propiedades técnicas están directamente relacionados con él.

Para facilitar el proceso de sustitución a las empresas, esta sección ofrece información sobre las propiedades de los pigmentos alternativos seleccionados.

La viabilidad económica incluye muchos factores que son específicos para cada organización y no se incluyen en la evaluación. Solo se presentan los costos relativos de los pigmentos.

Los pigmentos PY 34 y PR 104 se utilizan para conseguir propiedades que cumplen con el rendimiento decorativo, como colores brillantes, matices de color limpios y alta visibilidad (función de señalización de una pintura), así como con criterios técnicos exigentes, como un excelente poder cubriente, resistencia a la luz y a la intemperie, y estabilidad frente al calor, en combinación con propiedades de no sangrado.

La siguiente tabla presenta las características técnicas de PY 34 y PR 104.

► **Tabla 9 - Características del PY 34 y PR 104**

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Funcionalidad del tono y cromas	Amarillos de tono verde a medio y rojo (PY 34), y naranjas de tono amarillo a azul (PR 104).
Dispersabilidad	Excelente dispersabilidad. Para ciertos fines, pueden dispersarse solo por disolvente.
Poder cubriente (opacidad)	Excelentes propiedades de flujo, posibilidad de alta carga de pigmento que resulta en un buen poder cubriente.
Estabilidad frente al calor	Excelente estabilidad frente al calor. Estos pigmentos se pueden utilizar a temperaturas superiores a 200 °C.
Sangrado	Los pigmentos no migran ni destiñen en la capa inferior ni en otras partes coloreadas.
Resistencia a la luz, a la intemperie y a los productos químicos	La resistencia a la luz y a la intemperie de los cromatos de plomo depende de los tipos utilizados y de su estabilización en la superficie. La mayoría de los cromatos de plomo utilizados en el mercado son tipos estándar y tienen una excelente resistencia a la luz y a la intemperie. Resistencia pobre a los álcalis y ácidos.

► Figura 11 - Pintura de vehículo en cabina



Fotografía: www.pixabay.com

La sustitución o retirada de una clase de pigmento tiene un impacto directo en los usuarios posteriores. Los formuladores tienen que cambiar sus formulaciones para adaptarse a los requisitos técnicos y de color. Hasta ahora, no existe ninguna alternativa de pigmento individual para una sustitución exacta 1:1 de los pigmentos específicos de amarillo cromo PY 34 o rojo molibdato PR 104. El enfoque más exitoso ha sido utilizar una combinación de pigmentación orgánica e inorgánica que pueda dar la combinación deseada de propiedades en la película final.

Hay muchos pigmentos alternativos en el mercado y todos ellos tienen sus pros y sus contras en función del uso previsto. Por ello, la evaluación de las alternativas es compleja y se basa en varios criterios: función (propiedades técnicas como dispersabilidad, resistencia al calor, resistencia a la intemperie, etc.), cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente, costo de los pigmentos y disponibilidad (véase el diagrama de flujo 1).

Es necesario conocer las diferentes propiedades, el rendimiento y el costo de los pigmentos sin plomo en comparación con los pigmentos con plomo.

6.6.1 Evaluación de posibles alternativas de pigmentos inorgánicos

Los pigmentos inorgánicos que podrían sustituir a los pigmentos PY 34 o PR 104 son los siguientes: vanadato de bismuto (PY 184), óxidos metálicos mixtos (PY 53 y PBr 24), amarillo de óxido de hierro (PY 42) y rojo de óxido de hierro (PR 101). Hay otros pigmentos disponibles en el mercado que podrían utilizarse en combinación con otros pigmentos para conseguir diferentes niveles de rendimiento, como el PO 82 (óxido de zinc-estaño), el PW 6 (dióxido de titanio) y el PY 216 (rutilo de zinc-estaño).

Todas las alternativas de pigmentos inorgánicos tienen un croma y una funcionalidad de tono diferentes. La mejor alternativa posible para el PY 34 es el vanadato de bismuto, que tiene un croma similar y muy buenas propiedades técnicas.

Como pigmentos inorgánicos, estas alternativas tienen propiedades similares a las de los pigmentos PY 34 y PR 104 en cuanto a opacidad y sangrado del color, y pueden utilizarse para formulaciones de pintura exterior gracias a su buena resistencia a la luz y a la intemperie. La estabilidad térmica hasta los 200 °C es también comparable a la de estos pigmentos, excepto el PR 101 (óxido de hierro rojo), que tiene una resistencia térmica inferior a la del PR 104.

► Tabla 10 - Evaluación de posibles alternativas de pigmentos inorgánicos

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON LOS PIGMENTOS DE PLOMO
Posible alternativa al PY 34	
Vanadato de bismuto PY 184	<p>Función: Muy buenas propiedades técnicas. Pinturas duraderas con propiedades de sangrado comparables con las del PY 34; excelente resistencia al calor.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Significativamente más caro, pero sus propiedades son similares al pigmento de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Fuentes limitadas de materias primas (Bi, V)*.</p>
Óxidos metálicos mixtos PY 53	<p>Función: Pinturas duraderas, pero con peor retención del brillo. No es posible lograr la misma gama de colores. Las propiedades de sangrado y la estabilidad frente al calor son comparables con las del PY 34.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Precio similar al del pigmento de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponible en el mercado.</p>
Óxido de hierro PY 42	<p>Función: Pinturas duraderas. Si el color es importante, este pigmento no es una opción, ya que los colores son siempre más oscuros y sucios. Las propiedades de sangrado y la estabilidad frente al calor son excelentes.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Precio similar al del pigmento de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponible en el mercado.</p>
Posible alternativa al PR 104	
Óxido de hierro PR 101	<p>Función: Pinturas duraderas. Si el color es importante, este pigmento no es una opción, ya que los colores son siempre más oscuros y sucios. Las propiedades de sangrado son excelentes, pero la estabilidad frente al calor es peor que la del PR 104.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Precio similar al del pigmento de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponible en el mercado.</p>
Posible alternativa al PR 104 y al PY 34	
Óxido metálico mixto PBr 24	<p>Función: Pinturas duraderas, pero con peor retención del brillo que la de los pigmentos de plomo. No es posible lograr la misma gama de colores. Excelentes propiedades de sangrado y estabilidad frente al calor.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Precio similar al del pigmento de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponible en el mercado.</p>

* Existe una opinión opuesta sobre la disponibilidad de los pigmentos. Algunas empresas creen que no hay problemas de disponibilidad con ningún pigmento alternativo.

6.6.2 Evaluación de posibles alternativas de pigmentos orgánicos

La lista de pigmentos orgánicos de posibles alternativas al PY 34 y PR 104 es larga e incluye las siguientes familias de pigmentos:

- a. Azoicos de diarilida (por ejemplo, PO 13, PO 34, PY 14, PY 83)
- b. Azoicos de dianisidina (por ejemplo, PO 16)
- c. Azoicos de benzimidazolona (por ejemplo, PO 36, PY 151, PY 154, PY 194)
- d. Monoazoicos (por ejemplo, PY 65, PY 74, PY 97)
- e. Azoicos especiales (por ejemplo, PO 67)
- f. Otras alternativas orgánicas (por ejemplo, PO 73, PY 110, PY 138, PY 189)
- g. Rojo diceto pirrolo-pirrol (PR 254)

Existen otros pigmentos disponibles en el mercado que podrían utilizarse en combinación con otros pigmentos para conseguir diferentes niveles de

rendimiento, como el PO3, el PO 5 (grupo azoico), el PR 112 (naftol AS-D), el PR 170 (naftol), el PY 82 (disazoico de condensación) y PR 122 (quinacridona).

a. Grupo de pigmentos azoicos de diarilida

La siguiente tabla presenta una evaluación de algunos posibles pigmentos alternativos de este grupo a los pigmentos PY 34 y PR 104.

Los pigmentos azoicos de diarilida no proporcionan opacidad ni funcionalidad de matiz. Estos pigmentos son apropiados solo para uso en interiores debido a su escasa durabilidad y retención del brillo. Tienen poca estabilidad frente al calor (a más de 200 °C se produce una descomposición con generación de sustancias peligrosas).

► **Tabla 11 - Evaluaciones de posibles alternativas de pigmentos azoicos de diarilida**

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON LOS PIGMENTOS DE PLOMO
Posible alternativa al PY 34	
PY 83	<p>Función: Durabilidad inferior a la del PY 34, por lo que las pinturas formuladas con estos pigmentos no son adecuadas para su uso en exteriores. El poder cubriente es menor y la estabilidad frente al calor es más pobre. Las propiedades de sangrado son buenas. Con estos pigmentos solo se pueden obtener tonos amarillos apagados.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p>
PY 14	<p>Peligros para el medio ambiente y la salud humana: No está clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Pigmentos más caros que el PY 34.</p> <p>Disponibilidad: Disponibles en el mercado.</p>
Posible alternativa al PR 104	
PO 13	<p>Función: Durabilidad inferior a la del PR 104, por lo que las pinturas formuladas con estos pigmentos no son adecuadas para su uso en exteriores. El poder cubriente es menor y la estabilidad frente al calor es más pobre. Las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p>
PO 34	<p>Peligros para el medio ambiente y la salud humana: No está clasificado como peligroso para la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Pigmentos más caros que el PR 104.</p> <p>Disponibilidad: Las fuentes de materias primas para la producción son limitadas. Pocos fabricantes a nivel mundial.</p>

b. Grupo de pigmentos azoicos de dianisidina

Este grupo de pigmentos tiene propiedades similares a las del grupo de pigmentos azoicos de diarilida.

La siguiente tabla presenta una evaluación del PO 16 como alternativa al PR 104.

El pigmento de dianisidina tiene muchas de las mismas propiedades que los pigmentos de diarilida, pero una mayor estabilidad al calor. Estos pigmentos no son adecuados para su uso en exteriores debido a su escasa durabilidad y retención del brillo.

► **Tabla 12 - Evaluación de una posible alternativa de pigmento azoico de dianisidina**

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON EL PIGMENTO DE PLOMO
PO 16	<p>Función: Fórmulas de pintura solo adecuadas para su uso en interiores debido a su menor durabilidad y retención del brillo. El poder cubriente es menor y la estabilidad frente al calor es más pobre. Las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos para el medio ambiente y la salud humana: No se observaron resultados adversos en el estudio oral subagudo a la dosis limitada. El PO 16 no causa genotoxicidad.</p> <p>Viabilidad económica: Pigmento más caro que el PR 104.</p> <p>Disponibilidad: Fuentes de materias primas para la producción limitadas. Pocos fabricantes a nivel mundial.</p>

c. Grupo de pigmentos azoicos de benzimidazolona

A pesar de ciertas limitaciones, este grupo de pigmentos es una de las mejores alternativas para la sustitución de los pigmentos PY 34 y PR 104.

La siguiente tabla presenta las evaluaciones del PO 36, PY 151, PY 154 y PY 194 en comparación con los pigmentos PY 34 y PR 104.

Estos pigmentos amarillos están limitados a los tonos verdes del amarillo, por lo que no se pueden conseguir tonos amarillos brillantes y de alto cromatismo.

► **Tabla 13 - Evaluaciones de posibles alternativas de pigmentos azoicos de benzimidazolona**

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON LOS PIGMENTOS DE PLOMO
Posible alternativa al PY 34	
PY 151	<p>Función: Puede utilizarse para formulaciones de pintura exterior a pesar de que la durabilidad y la retención del brillo son inferiores a las del PY 34. La estabilidad frente al calor es comparable a la de este pigmento. No hay sangrado de color.</p> <p>El PY 194 es transparente y tiene la menor durabilidad de todos estos pigmentos.</p>
PY 154	<p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p>
PY 194	<p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tienen efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: El costo directo relacionado con los pigmentos es mayor.</p> <p>Disponibilidad: Disponibles en el mercado.</p>
Posible alternativa al PR 104	
PO 36	<p>Función: Formulaciones de pintura de uso posible en exteriores a pesar de que su durabilidad y retención de brillo son un poco inferiores a las del PR 104. La estabilidad frente al calor es comparable a la de los pigmentos de plomo. Las propiedades de sangrado son buenas. El color es muy parecido al del PR 104, pero un poco sucio.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario modificar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: El costo directo relacionado con los pigmentos es mayor.</p> <p>Disponibilidad: Disponible en el mercado.</p>

d. Grupo de pigmentos monoazoicos

Los pigmentos monoazoicos tienen muy poca resistencia a los disolventes, lo que provoca un sangrado del color. La siguiente tabla presenta las

evaluaciones de estos pigmentos en comparación con el PY 34.

Estos pigmentos pueden utilizarse, en su mayoría, en pinturas al agua.

► Tabla 14 - Evaluaciones del grupo de pigmentos monoazoicos

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON LOS PIGMENTOS DE PLOMO
PY 65	Función: Debido a su escasa durabilidad, estos pigmentos son adecuados únicamente para su uso en interiores. La estabilidad frente al calor y la retención del brillo también son peores en comparación con el PY 34. En las pinturas con base de disolvente se produce un sangrado. Estos pigmentos son una buena alternativa al PY 34 en lo que respecta al color. Se pueden conseguir amarillos de tonos verdes y rojos brillantes.
PY 74	Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.
PY 97	Riesgos ambientales y para la salud humana: No tienen efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente. Viabilidad económica: El costo directo relacionado con los pigmentos es mayor. Disponibilidad: Disponibles en el mercado.

e. Azoicos especiales

La siguiente tabla presenta la evaluación del PO 67 en comparación con el PR 104.

► Tabla 15 - Evaluación del PO 67 como alternativa al PR 104

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON EL PIGMENTO DE PLOMO
PO 67	Función: Este pigmento puede utilizarse en formulaciones de pintura para exteriores a pesar de que su durabilidad y retención de brillo son un poco inferiores a las del PR 104. Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la inferior dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía. Riesgos ambientales y para la salud humana: Este pigmento no tiene efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente. Viabilidad económica: Este pigmento es mucho más caro que el PR 104. Disponibilidad: Disponibilidad limitada.

f. Otras alternativas orgánicas

Otro grupo de alternativas al PY 34 y PR 104 es el de los pigmentos orgánicos PO 73, PY 110, PY 138 y PY 139. Este grupo de pigmentos es bastante diferente entre sí,

pero todos se caracterizan por su falta de opacidad y su cromatismo limitado.

El siguiente cuadro presenta las evaluaciones de estas alternativas.

► **Tabla 16 - Evaluaciones de otros pigmentos orgánicos como alternativas a los pigmentos PY 34 y PR 104**

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON LOS PIGMENTOS DE PLOMO
PO 73	<p>Función: Este pigmento puede utilizarse en formulaciones de pintura para exteriores a pesar de que su durabilidad y retención de brillo son un poco inferiores a las del PR 104. La estabilidad frente al calor y las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la inferior dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Mucho más caro que el PR 104.</p> <p>Disponibilidad: Disponibilidad limitada.</p>
PY 110	<p>Función: El pigmento es adecuado para uso externo, ya que tiene buena durabilidad y retención de brillo. La estabilidad frente al calor y las propiedades de sangrado también son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la menor dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos para la salud humana ni para el medio ambiente. La producción es extremadamente peligrosa debido a los productos intermedios o a los disolventes tóxicos.</p> <p>Viabilidad económica: Mucho más caro que el PY 34.</p> <p>Disponibilidad: Disponibilidad limitada.</p>
PY 138	<p>Función: El pigmento es adecuado solo para uso en interiores, ya que la durabilidad y la retención del brillo son peores que las de PY 34. La estabilidad frente al calor y las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la inferior dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos para la salud humana ni para el medio ambiente. La producción es extremadamente peligrosa debido a los productos intermedios o a los disolventes tóxicos.</p> <p>Viabilidad económica: Mucho más caro que los pigmentos de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponibilidad limitada.</p>
PY 139	<p>Función: Este pigmento tiene peor durabilidad y retención de brillo en comparación con el PY 34, pero aun así puede utilizarse en formulaciones de pintura exterior. La estabilidad frente al calor y las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No es necesario cambiar el proceso de producción, pero debido a la inferior dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos para la salud humana ni para el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Mucho más caro que los pigmentos de plomo.</p> <p>Disponibilidad: Disponibilidad limitada.</p>

g. Rojo diceto pirrolo-pirrol

Este pigmento, usado en pinturas para automóviles, tiene una gran cantidad de cualidades, como la estabilidad frente al calor y una muy buena retención del brillo.

La siguiente tabla presenta las evaluaciones del PR 254 como alternativa al PR 104.

- cubrir diferentes niveles de rendimiento para uso en interiores y exteriores, y ofrecer una gran resistencia a la luz y a la intemperie;
- proporcionar resistencia al calor (temperaturas superiores a 200 °C);
- evitar problemas de sangrado, y
- cumplir los requisitos técnicos en cuanto a los equipos de fabricación de recubrimientos.

► **Tabla 17 - Evaluación del PR 254 como alternativa a PR 104**

PIGMENTO	COMPARACIÓN CON EL PIGMENTO DE PLOMO
PR 254	<p>Función: La estabilidad frente al calor y la retención del brillo son excelentes. Es adecuado para formulaciones de pintura de uso en exteriores. Las propiedades de sangrado son buenas.</p> <p>Viabilidad técnica: No hay necesidad de cambios en el proceso de producción, pero debido a la inferior dispersabilidad de los pigmentos orgánicos, la etapa de molienda lleva más tiempo y se requiere más energía.</p> <p>Riesgos ambientales y para la salud humana: No tiene efectos adversos sobre la salud humana o el medio ambiente.</p> <p>Viabilidad económica: Mucho más caro que el PR 104.</p> <p>Disponibilidad: Número limitado de fabricantes en el mercado.</p>

Los pigmentos PY 34 y PR 104 se utilizan en pinturas que requieren de una durabilidad extrema, retención de brillo y la función de señalización y contraste en el color. En la evaluación de las alternativas se han tenido en cuenta criterios cualitativos (función, viabilidad técnica, rendimiento en materia de salud y seguridad ambiental) y cuantitativos (viabilidad económica, disponibilidad).

Todas las alternativas consideradas no cumplen algunos de los requisitos técnicos que cumplían el PY 34 y el PR 104.

Los pigmentos de cromato de plomo suelen utilizarse en aplicaciones en las que no son necesarios todos sus atributos de alto rendimiento (por ejemplo, para su aplicación en interiores). Por tanto, no es necesario sustituirlos por un único pigmento que reúna todas las características, sino encontrar una formulación alternativa que cumpla los requisitos específicos.

Los pigmentos alternativos disponibles y sus combinaciones pueden:

- cubrir todo el espectro de color (desde el amarillo, pasando por el naranja, hasta el rojo);
- proporcionar tonos de color limpios;
- cumplir los requisitos de alta opacidad mediante la combinación de pigmentos orgánicos e inorgánicos;

6.6.3 Preparaciones pigmentarias en seco, pigmentos híbridos y pastas pigmentarias

La industria de los pigmentos ha desarrollado una solución para sustituir al PY 34 y PR 104 mediante preparados de pigmentos secos personalizados. Estos pigmentos son una sustitución directa 1:1 del PY 34 y PR 104. Los pigmentos en preparación se seleccionan para proporcionar un buen equilibrio entre las propiedades colorimétricas y el poder cubriente en la gama de colores con tonalidades similares. Las preparaciones de pigmentos cubren rangos de amarillo del verde al rojo y de naranja del amarillo al azul.

Los pigmentos híbridos son una combinación de una partícula central de pigmento de color inorgánico complejo especialmente micronizado y un colorante orgánico predispersado unido a la superficie de la partícula central. Los pigmentos híbridos son la mejor optimización de las propiedades de los pigmentos orgánicos e inorgánicos. Pueden ajustarse en color, opacidad e intensidad de color para igualar los pigmentos de plomo, y están disponibles en preparaciones de pigmentos de tonos amarillos, naranjas y rojos. La mejora del croma de la tecnología de pigmentos híbridos ofrece un gran potencial para formular colores y pinturas de alto brillo que presenten un alto rendimiento en cuanto a durabilidad, opacidad y alto brillo.

El ejemplo 5 (apéndice 3) proporciona formulaciones guía con pigmentos híbridos.

Las pastas pigmentarias son concentrados monopigmentados con un contenido lo más alto posible de un pigmento y lo menos posible de resina de molienda que es compatible con una amplia gama de vehículos. Pueden utilizarse para el tintado o para la fabricación de pinturas.

Si se utilizan pastas pigmentarias para el ajuste fino del color, se añaden pequeños porcentajes de diferentes pastas y la resina de molienda no influye en el rendimiento de la pintura tintada. También pueden utilizarse como esmaltes de tintado en la reformulación de pinturas al plomo si no se dispone de equipos de esmerilado en una empresa.

La pintura también puede producirse a partir de una mezcla de concentrados de pigmentos (pastas) y rebajarse con una capa transparente o blanca. En este caso, se requieren mayores cantidades de pastas y estas tienen una mayor influencia en el rendimiento de la pintura. En este caso, los requisitos de las pastas de pigmentos son considerablemente mayores.

6.6.4 Reformulación de pinturas con pigmentos

No existe ninguna alternativa de pigmento sin plomo que cubra todas las propiedades técnicas del PY 34 o PR 104. Estos pigmentos combinan el cromatismo al nivel de los pigmentos orgánicos y las mejores propiedades de los pigmentos inorgánicos, incluyendo un buen poder cubriente, resistencia a la luz y a la intemperie, estabilidad frente al calor y resistencia al sangrado. Para conseguir estas propiedades, es necesario utilizar una combinación de pigmentos inorgánicos y orgánicos en la reformulación de la pintura. Los pigmentos inorgánicos proporcionan el poder cubriente, mientras que los orgánicos aportan el color, el croma y la intensidad del tinte. La resistencia a la intemperie depende de los pigmentos orgánicos utilizados y puede adaptarse a requisitos específicos (véase la tabla 18). Combinando estos dos tipos de pigmentos, se puede conseguir el rendimiento de la pintura requerido.

La primera etapa del proceso de reformulación debe consistir en definir con precisión qué propiedades de rendimiento (función) debe tener una pintura, además del color:

- ¿Es para uso externo o interno (resistencia a la intemperie y a la luz)?
- Diferencia de tonalidad aceptable.
- ¿Se requiere resistencia al calor?
- Excelente poder cubriente con un espesor de película definido.
- Tono y brillo del color.

- ¿Es aceptable el sangrado (propósito de la pintura, se usa en un sistema de capas de colores diferentes)?

Si la pintura se va a utilizar exclusivamente en interiores, no es necesario utilizar pigmentos orgánicos caros, de alto rendimiento y resistentes a la luz. Esto ayuda a reducir los costos de reformulación.

En el siguiente ejemplo de pigmentación RAL 1021 de medio a alto rendimiento, el costo de los pigmentos es aproximadamente el doble: el costo de una formulación a base de plomo es de 0,35 euros por m², mientras que el costo de una formulación sin plomo es de 0,71 euros por m² (ECHA, 2014).

► Ejemplo 1 - Formulaciones RAL 1021 con y sin plomo

PIGMENTO	FORMULACIÓN CON CONTENIDO DE PLOMO (%P/P)	FORMULACIÓN LIBRE DE PLOMO (%P/P)
PY 151 (orgánico)		81,5
PY 34 (inorgánico)	85,8	
PBr 24 (inorgánico)	11,0	17,7
PY 139 (orgánico)	0,8	0,8

En el siguiente ejemplo de RAL 3000 de medio a alto rendimiento, el costo de los pigmentos es aproximadamente un 30% menor debido al uso de un 70% de pigmentos inorgánicos en la formulación. El costo de la formulación con base de plomo es de 0,31 euros por m², mientras que el costo de la formulación sin plomo es de 0,20 euros por m² (ECHA, 2014).

► Ejemplo 2 - Formulaciones RAL 3000 con y sin plomo

PIGMENTO	FORMULACIÓN CON CONTENIDO DE PLOMO (%P/P)	FORMULACIÓN LIBRE DE PLOMO (%P/P)
PY 53 (inorgánico)	21,5	61,1
PR 104 (inorgánico)	63,3	
PR 254 (orgánico)		27,3
PR 122 (orgánico)	8,0	
PR 101 (inorgánico)	7,2	11,6

En el nivel de rendimiento más exigente, el costo de las fórmulas sin cromato de plomo es de 2 a 3 veces mayor, en el área de rendimiento medio, son comparables, y en el área suficiente, son más asequibles (ECHA, 2014).

La siguiente tabla resume las propiedades de los pigmentos alternativos en comparación con el PY 34 y el PR 104

sobre cómo enfocar la sustitución dependerán de la formulación y los requisitos iniciales de la pintura.

El proceso de reformulación de la pintura para la sustitución del pigmento de plomo no solo requiere el ajuste del color; este es solo una de las propiedades de la pintura que se ve afectada por los pigmentos.

► **Tabla 18 - Propiedades alternativas de los pigmentos en comparación con PY 34 y PR 104**

PIGMENTO	USO EXTERNO	PEOR ESTABILIDAD FRENTE AL CALOR*	SANGRADO
PY 184, PY 42, PR 101, PY 110, PR 254, PR 122, PW 1, PY 216, PR 122, PY 53, PBr 24, PY 151, PY 154, PY 194, PO 73, PY 139	SÍ	NO	NO
PO 36	SÍ	SÍ	NO
PO 13, PO 34, PY 14, PY 83, PO 16, PO 155	NO	SÍ	NO
PY 65, PY 74, PY 97	NO	SÍ	SÍ
PO 67	SÍ	NO	SÍ
PY 138	NO	NO	NO

*Comparado con el PY 34 y el PR 104

Después de eliminar los pigmentos que no pueden cumplir los requisitos solicitados, se puede empezar a ajustar el color con los pigmentos seleccionados, teniendo en cuenta las propiedades de los pigmentos orgánicos e inorgánicos.

El enfoque básico consistiría en medir el color de la pintura que contiene el pigmento de plomo y, a continuación, utilizar herramientas de ajuste del color (programas informáticos y equipos) para producir la coincidencia de color requerida. Los productores de pigmentos también pueden ayudar proponiendo formulaciones de partida para colores específicos. Las personas con experiencia en el tintado podrían determinar los pigmentos necesarios y definir una formulación final mediante un proceso iterativo de tintado de colores.

Los pigmentos, incluidos el PY 34 y el PR 104, casi nunca se utilizan solos en el uso final. Por lo tanto, los factores que influyen en la elección de uno u otro pigmento para conseguir un color específico y las propiedades de rendimiento deseadas variarán significativamente. Cada pintura es específica y, por tanto, es imposible dar una solución. Las orientaciones

Dependiendo de las combinaciones de pigmentos en las formulaciones iniciales con pigmento de plomo y en la nueva formulación, se debe considerar la sustitución de un agente dispersante y el proceso de molienda (véase la sección 6.3).

En algunos casos, debido a la muy buena dispersabilidad de los pigmentos de plomo, el proceso de producción incluye la dispersión por disolución únicamente. La reformulación de las pinturas de plomo implica el uso de pigmentos orgánicos, por lo que el proceso de producción debe modificarse e incluir la molienda.

Si la formulación de plomo contiene solo pigmentos inorgánicos y la libre de plomo contiene principalmente pigmentos orgánicos (ejemplos 1 y 2), la reformulación requiere un nuevo dispersante y un cambio en el proceso de molienda (debe prolongarse el tiempo de molienda).

Si la formulación con plomo contiene pigmentos orgánicos, es necesario considerar cambios en el tipo y la cantidad de dispersante, en función de los pigmentos de la nueva formulación.

En el caso de las combinaciones de pigmentos orgánicos e inorgánicos, debe evitarse la molienda conjunta debido a las diferentes propiedades de los pigmentos inorgánicos y orgánicos relacionadas con la molienda. La molienda conjunta puede evitarse mediante:

- Producción de esmaltes tintóreos y su mezcla para conseguir el tono deseado.
- Molienda separada de los pigmentos durante el proceso (esto significa moler el o los pigmentos inorgánicos, y luego, en el mismo equipo de molienda, moler el o los pigmentos orgánicos en condiciones diferentes, o viceversa). Un buen ejemplo de este enfoque es la combinación de pigmentos presentada en el ejemplo 2 (formulaciones RAL 3000 con y sin plomo). En primer lugar, el pigmento PY 53 y el PR 101 deben ser dispersados previamente y juntos y, a continuación, el PR 254, o viceversa. Las condiciones de molienda deben ajustarse para cada fase de molienda.
- Uso de dispersiones de pigmento terminadas (dispersiones universales) compatibles con una amplia gama de vehículos.

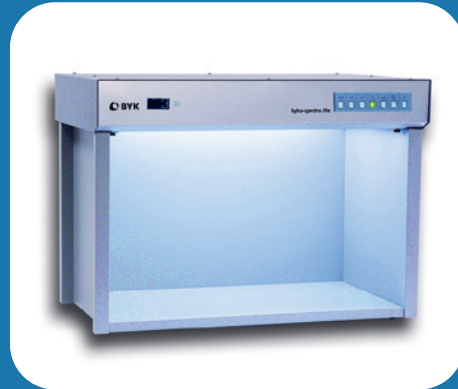
Desde un punto de vista práctico, la elección entre estos métodos de producción alternativos depende de las cantidades que se vayan a producir y de las capacidades de los equipos, pero el costo también desempeña un papel importante.

Para lograr ampliar la producción con éxito, las condiciones de molienda en el laboratorio deben ser comparables a las disponibles en la planta.

Es de extrema importancia comprobar la estabilidad de la dispersión (véase la sección 6.3). Si la dispersión no está estabilizada, podría afectar a la reproducibilidad del color, causar un efecto de velo u otros defectos en la película y tener un efecto adverso en la resistencia a la intemperie.

La resistencia al clima puede probarse mediante la exposición al aire libre, pero para obtener un resultado significativo se necesita un largo período de exposición. Por este motivo, se realiza una intemperización artificial con la ayuda de cámaras de envejecimiento acelerado. Los métodos incluyen la exposición acelerada utilizando cámaras de ensayo QU-V, Weather-O-Meter (lámpara de arco de xenón o de carbono), o de simulación solar (luz UV). Los ensayos de envejecimiento acelerado pueden durar varios miles de horas, dependiendo de la aplicación. Es necesario probar una nueva formulación en paralelo con la pintura con plomo. Durante y después de la prueba de exposición se miden la retención del color (o la diferencia con respecto a las pinturas no expuestas), la retención del brillo (o la diferencia del brillo con respecto a las pinturas no expuestas) y el caleo.

► Cuadro de texto 3 – Cabina de luz



Fotografía: Courtesy of BYK Gardner

Para emitir un juicio adecuado sobre la igualación del color es necesario:

- Aplicar las muestras que serán sujeto de ensayo sobre una capa base.
- Dejar que la capa base (si es de secado al aire) tenga tiempo suficiente para secarse.
- Aplicar las muestras de pintura con la misma técnica.
- Aplicar el color estándar y el color a probar con un espesor aproximadamente igual.
- Comparar los colores utilizando la cabina de luz o la luz del día.

La luz solar contiene todo el espectro visible de luz, la luz incandescente tiene más amarillos y naranjas, mientras que la fluorescente tiene más violetas y rojos. Dado que es más probable que el objeto pintado se vea durante la luz del día, debería considerarse para hacer las evaluaciones de color. Si se utiliza una cabina de color para la comparación de colores, es posible utilizar diferentes tipos de fuentes de luz.

En caso de sustitución de pigmentos, puede producirse metamerismo. Hay metamerismo cuando dos objetos coinciden bajo una fuente de luz, pero no lo hacen bajo otra. La causa más común de esto es cuando una muestra contiene un pigmento o pigmentos que no existen en la otra muestra. Por ejemplo, las muestras coinciden bajo la luz del día, pero no coinciden bajo la luz incandescente.



Fotografía: www.pixabay.com

7

SUSTITUCIÓN DE LOS SECANTES DE PLOMO

Este capítulo proporciona información sobre los secantes más utilizados (octoato de plomo y naftenato de plomo), pero se proporcionan referencias bibliográficas para quienes busquen información sobre otros secantes o información más detallada sobre los secantes más utilizados.

La sustitución del secante de plomo no requiere una reformulación compleja. En consecuencia, estas directrices proporcionan información sobre los principios generales de la función de los secantes, las características individuales, los principios de dosificación y las pruebas de pintura como directrices para la sustitución y las futuras formulaciones de pinturas de secado al aire sin aditivos de plomo.

7.1 Función y composición de los secantes

Algunos ligantes, como las resinas a base de aceite de secado y las resinas modificadas, como las alquídicas y los ésteres epoxídicos, se curan mediante una reacción de reticulación desencadenada por el oxígeno atmosférico. Durante el proceso de secado, se pueden

identificar varias etapas diferentes. El primer proceso es el secado físico de la pintura. En este proceso, se evapora un disolvente y se forma una película cerrada mediante la coalescencia de las partículas del ligante. A continuación, se produce el secado químico (también llamado secado oxidativo), que es un proceso de autooxidación de los lípidos, y significa que la pintura se seca por oxidación del compuesto ligante con el oxígeno molecular que se encuentra en el aire. Este proceso puede ser acelerado por los secantes, que actúan como catalizadores.

Los secantes pertenecen a la clase de jabones que se añaden a los sistemas de recubrimiento de secado al aire para acelerar o promover la transformación de una película líquida a la fase sólida en un tiempo adecuado tras la aplicación. La transformación se produce por reticulación oxidativa, un proceso catalizado por el catión metálico del secante.

Cuando están en solución, los secantes son compuestos organometálicos solubles en disolventes y ligantes orgánicos. El anión del jabón metálico determina en gran medida que el secante cumpla las propiedades básicas deseadas, que son:

- Buena solubilidad y alta estabilidad en varios tipos de ligantes.
- Buena estabilidad de almacenamiento.
- La capacidad de estar presente en altas concentraciones de metales.
- Una viscosidad suficientemente baja, para facilitar su manipulación.
- Un efecto catalítico óptimo.
- La mejor relación precio/rendimiento (Bieleman, 2000).

Los carboxilatos metálicos se clasifican como:

- Neutros
- Ácidos (más comúnmente clasificados como neutros)
- Básicos
- Sobrebasificados (se refiere al uso de CO₂, que sustituye parte del ácido en un secante).

7.2 Propiedades de los secantes seleccionados

Los metales que se han utilizado en compuestos secantes pueden agruparse en tres categorías: secantes primarios (también llamados secantes activos o de oxidación), secantes secundarios (también llamados secantes internos) y secantes auxiliares. Los metales utilizados para los secantes de cada categoría se enumeran en la siguiente tabla:

El **plomo** se ha utilizado ampliamente como secante secundario. Los secantes secundarios están activos en las etapas de reticulación del secado y son responsables del secado general en toda la capa de pintura. La actividad del secante de plomo como único secante es muy baja. El plomo también mejora la flexibilidad y la durabilidad de la película. Aparte de la

► **Tabla 19 - Metales utilizados como secantes**

SECANTES PRIMARIOS	SECANTES SECUNDARIOS	SECANTES AUXILIARES
<ul style="list-style-type: none"> • Cobalto • Manganeso • Hierro • Cerio • Vanadio 	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Circonio • Bismuto • Bario • Cerio • Estroncio 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcio • Zinc • Litio • Potasio

Los ácidos orgánicos para la preparación de dichas sales metálicas se seleccionan por su óptima compatibilidad con los ligantes y su óptima solubilidad.

Los primeros secantes se basaban en ácidos grasos o colofonia, que posteriormente fueron sustituidos por el ácido nafténico, un material obtenido del petróleo crudo. Debido a la escasez de ácido nafténico en los secantes modernos, se ha sustituido por ácidos sintéticos de cadena ramificada, como el ácido octoato (ácido 2-etilhexanoico), el ácido isononanoico (ácido 3,5,5-trimetil hexanoico) o el ácido neodecanoico (principalmente ácido 2,2,3,5-tetrametil hexanoico). Los ácidos sintéticos ofrecen poco olor, permiten un mayor contenido de metales y una calidad constante.

cuestión de la toxicidad, los secantes de plomo tienen otras desventajas. Pueden dar lugar a precipitaciones en la película, lo que puede provocar un efecto de velo y pérdida de brillo. Este efecto puede minimizarse si se utiliza en combinación con un secante de calcio que actúe como emulsionante y mejore las propiedades de dispersión y humectación del pigmento. También pueden causar manchas de azufre, ya que reaccionan con el azufre para formar un sulfuro de plomo negro. Durante el almacenamiento de la pintura, la reacción del secante de plomo con los ácidos grasos de cadena larga, formados por la hidrólisis de la resina alquídica, puede hacer que la sal de plomo sea insoluble.

Los secantes de plomo se utilizan en combinación con cobalto o manganeso. A menudo, se añade también calcio para evitar la precipitación del plomo y la formación de velos. Una composición típica para una combinación de secantes a base de plomo, calculada como las proporciones de metal de los sólidos totales de resina en la pintura, es:

- 0,05 % cobalto
- 0,5 % plomo
- 0,1 % calcio

El **cobalto** es un secante primario y, como tal, funciona predominantemente como secante de superficies. Como simple jabón metálico, muestra la mejor eficacia a temperatura ambiente, y puede utilizarse en una amplia gama de recubrimientos y barnices. Si se utiliza solo, el cobalto puede tener tendencia a provocar arrugas en la superficie y un mal secado. Por esta razón, se utiliza en combinación con otros metales como el manganeso, el circonio, el estroncio, el plomo, el calcio y los secantes combinados basados en estos metales. Si se añade cobalto como secante a una resina sin diluir, puede producirse un gran aumento de la viscosidad. Los secantes de cobalto pueden utilizarse por sí solos en un sistema en base acuosa, pero suelen combinarse con un acelerador de secado.

El cobalto solo debe añadirse en cantidades muy pequeñas y, por tanto, tiende a minimizar la decoloración en comparación con otros metales secantes. Además, el cobalto no decolora los recubrimientos blancos en la misma medida que otros secantes, ya que el color azul intenso del cobalto contrarresta el amarillo de los aceites y los ligantes alquídicos y, por tanto, realza la blancura de la pintura.

El CIIC (Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer) clasifica el cobalto y los compuestos de cobalto como "posiblemente cancerígenos para el ser humano" (Grupo 2B). Además, esta sustancia puede provocar una forma de dermatitis alérgica de contacto. Esta característica hace que los secantes de cobalto deban ser sustituidos, si es posible.

Las alternativas a los secantes de cobalto son los secantes de vanadio, hierro y manganeso.

El **manganeso** es también un secante activo, aunque menos eficaz que el cobalto. Como acelerador de la polimerización en los acabados al horno, el manganeso es normalmente más eficaz que el cobalto. El cobalto y el manganeso mejoran esencialmente el secado superficial de la película de pintura; el rendimiento de secado a baja temperatura del manganeso es mejor que el del cobalto. Los recubrimientos con manganeso no se arrugan en condiciones de alta humedad, como lo hacen las películas con cobalto solo. En general, es mejor formular pinturas blancas sin manganeso o con un contenido muy bajo de manganeso, porque se desarrolla un color rosa o

amarillo rosado si se utilizan contenidos altos de manganeso. El manganeso también tiene la ventaja de que no hace que las películas horneadas se vuelvan frágiles, lo que ocurre cuando solo se utiliza cobalto. Además, en los sistemas propensos a formar pieles, como ocurre con los recubrimientos a base de aceite de uretano, el manganeso puede utilizarse con buenos resultados. Sin embargo, el manganeso rara vez se utiliza solo: el cobalto suele ser el secante primario con el manganeso como modificador útil. El efecto de los secantes de manganeso puede modificarse con promotores orgánicos del secado.

Los secantes de **vanadio** proporcionan tanto un secado superficial como en profundidad de la película de recubrimiento. Una desventaja considerable es su tendencia a manchar la película; esto limita considerablemente la aplicación del vanadio en las pinturas. Parece que el vanadio también tiende a ser especialmente propenso a los problemas de pérdida de secado. Puede utilizarse en recubrimientos de secado al aire con disolventes y en pinturas de alto contenido en sólidos. En su forma emulsionable, también puede utilizarse en sistemas en base acuosa.

El **calcio** tiene una eficacia limitada como secante, pero es muy útil en combinación con secantes activos. El calcio mantiene abierta la matriz de la película, lo que permite que entre más oxígeno en la película y que salga más disolvente al principio del proceso de secado. Es muy eficaz cuando se utiliza junto con el cobalto y el circonio, para favorecer el secado en condiciones climáticas adversas, como las bajas temperaturas y la alta humedad. En los casos en los que el calcio se utiliza como secante auxiliar, la pérdida de capacidad de secado se convierte en un problema menor cuando las pinturas se almacenan durante períodos más largos. Los secantes de calcio ayudan a mejorar la dureza y el brillo y también reducen la formación de pieles y la sedimentación. La mayoría de los secantes se añaden en la fase de término de la fabricación de la pintura, excepto los secantes auxiliares, como el zinc y el calcio, que generalmente pueden añadirse a la carga base del molino debido a su eficacia como agentes humectantes y dispersantes.

Para un secante a base de plomo, las alternativas de sustitución son los secantes de circonio o estroncio.

El **circonio**, al igual que el plomo y los metales de tierras raras, sirve como secante interno. El circonio solo es efectivo en combinación con secantes primarios. Favorece el secado superficial y completo. A diferencia del plomo, el circonio no es un buen agente humectante ni dispersante de pigmentos. Por ello, es necesaria la combinación con calcio. Las propiedades de secado de la combinación cobalto/circonio/calcio, en condiciones normales de temperatura ambiente y humedad, son bastante similares a los secantes a base de plomo. Sin embargo, existen algunos problemas respecto a su rendimiento en condiciones críticas, es decir, por debajo de 10 °C.

El **estroncio** tiene el mismo desempeño de secado interno que el circonio, pero también ofrece ventajas en cuanto a las características auxiliares de secado, lo que se traduce en una mayor estabilidad en almacenamiento y una menor "pérdida de secado", algo especialmente beneficioso en los sistemas muy pigmentados o que contienen un alto nivel de aditivos. El estroncio parece superar el insuficiente rendimiento del circonio y está a punto de ser la opción más destacada para la sustitución del plomo. Además, es un buen agente humectante y dispersante de los pigmentos, lo que evita el efecto de velo y las arrugas. Sin embargo, el rendimiento en exteriores puede verse afectado negativamente cuando se utiliza estroncio.

Los secantes sobrebasificados de estroncio son una alternativa rentable que proporciona un rendimiento de secado superior y son más rentables que los grados neutros.

El uso de combinaciones de metales se ha convertido en una práctica común en la industria de los recubrimientos. Estas combinaciones incluyen uno o más secantes activos con uno o más secantes auxiliares. Estos secantes combinados se presentan como secantes listos para usar o como premezclados.

Los secantes mixtos ofrecen muchas ventajas sobre los secantes tradicionales de un solo metal:

- Mejoran la eficiencia.
- Reducen la cantidad de materias primas.
- Reducen el riesgo de errores de pesaje.
- Ofrecen proporciones óptimas del metal.
- Simplifican el proceso de producción simplificado.
- Ofrecen una calidad uniforme.

Los aceleradores de secado (o agentes complejantes) son compuestos no metálicos (ligandos orgánicos), que aumentan la actividad de los metales primarios de secado, provocando un secado más rápido de la película de recubrimiento. Funcionan formando complejos con los átomos metálicos mediante la formación de quelatos. Hay dos tipos diferentes de aceleradores de secado que se utilizan ampliamente en el mercado. Son el 2,2'-bipiridilo y la 1,10-fenantrolina. Se utilizan tanto en sistemas de secado al aire con disolventes como con agua. En los recubrimientos de base acuosa, la hidrólisis del secante primario puede provocar la pérdida de secado al almacenar el recubrimiento. Al combinar los secantes primarios con aceleradores de secado, se obtiene cierta protección contra la hidrólisis. La pérdida de secado debida a la adsorción del secante metálico en la superficie del pigmento también se reduce, en cierta medida, utilizando aceleradores de secado.

Durante el almacenamiento, puede producirse una reticulación prematura e indeseable del ligante en la interfaz atmosférica (superficie) bajo la influencia del oxígeno. Los agentes anticalcáreos pueden inhibir o retrasar estos procesos oxidativos indeseables.

7.3 Pérdida de capacidad de secado

Las pinturas de secado oxidativo suelen tener un tiempo de secado más largo después de largos periodos de almacenamiento. La pérdida de actividad de secado se debe principalmente a:

- **Quimisorción del secante en la superficie del pigmento:** a diferencia de la adsorción física, que es un proceso reversible, la quimisorción conduce a la inmovilización permanente del secante. La quimisorción se produce en los pigmentos con grupos ácidos en la superficie, y se da principalmente en los pigmentos con una gran superficie, como los negros de humo y diversos pigmentos orgánicos. La composición del disolvente también afecta al proceso de quimisorción; la adsorción más fuerte se produce con disolventes poco secos, como los disolventes muy polares o muy no polares. Los sistemas con disolventes minerales libres de aromáticos son más propensos a la quimisorción que los sistemas diluidos con white spirit (trementina mineral o gasolina blanca) aromático.ms diluted with aromatic white spirit.
- **Formación de sales:** es el producto de la reacción del ion secante y los ácidos alifáticos de cadena larga; su formación se debe a la hidrólisis del ligante u otro ingrediente y normalmente no es soluble en el material de la pintura y se deposita tras la cristalización, lo que provoca la pérdida del secante.
- **Formación de complejos insolubles:** este fenómeno se produce normalmente en las pinturas de bajo olor, diluidas con disolventes alifáticos puros. Los complejos de diferentes tipos de secantes, formados por ácidos alifáticos de cadena relativamente corta, como los octanoatos, solo tienen una solubilidad limitada en estos disolventes y tienden a cristalizar. Los secantes sobrebasificados son más sensibles a este efecto que los secantes neutros. Los secantes formados por ácidos más largos, como los C9-C11, son más solubles y menos propensos a la cristalización en estos sistemas de recubrimiento.
- **Hidrólisis del secante:** este proceso es la principal razón de la pérdida de capacidad de secado en los sistemas de recubrimiento en base acuosa. En presencia de agua, el secante se hidrata rápidamente. Además, el agua es un buen ligando para el cobalto y, por tanto, forma complejos con él fácilmente. Los hidratos formados son inestables y conducen a la hidrólisis del jabón metálico y, posteriormente, a la insolubilidad del metal básico.

► Figura 12 - Producción de resina



Fotografía: © Kansai Helios

La pérdida de capacidad de secado puede evitarse por los siguientes medios:

- **Selección de un sistema de secado** totalmente compatible con el sistema de recubrimiento. El secante debe ser soluble en el ligante y no dar lugar a la formación de un efecto de velo a partir del almacenamiento o durante la fase de secado. En el caso de los sistemas pigmentados, se recomienda realizar una prueba de compatibilidad en el medio sin la adición de pigmento o extendedores.
- **Introducción de un secante de sacrificio en la fase de molienda.** Se puede utilizar un secante auxiliar como el calcio, especialmente cuando la pérdida de capacidad de secado se debe a la quimisorción del secante primario sobre el pigmento. Este enfoque tiene sus limitaciones y no puede utilizarse siempre, porque si hay una sobredosis del secante auxiliar, la viscosidad y la dureza (efecto de ablandamiento), así como la durabilidad o la resistencia del color, pueden verse afectadas negativamente.
- **Uso de un "secante de alimentación"** como el naftenato de hidroxilo cobalto. Este está disponible en forma de pasta y es insoluble en alcoholes minerales. Estos secantes:
 - renuevan los metales activos adsorbidos en los pigmentos (colores oscuros);

- liberan metales adicionales de forma controlada;
- reaccionan lentamente con la acidez de la resina residual.

7.4 Evaluación de alternativas a los secantes de plomo

Los secantes pueden contener componentes (disolventes orgánicos o aceleradores de secado) con efectos indeseables para la salud o el medio ambiente. Por lo tanto, en una sustitución es necesario tener en cuenta todo el producto y no solo el compuesto metálico activo. Esta sección se centra en las alternativas al octoato de plomo, un secante habitual. El ácido sintético utilizado en el octoato de plomo y sus alternativas sin plomo, el octoato de plomo (ácido 2-etilhexanoico), se define actualmente como peligroso y se sospecha que puede causar daños al feto (ECHA, 2021d). Se recomienda el uso de alternativas no peligrosas, como los secantes basados en el ácido isononanoico (ácido 3,5,5-trimetil hexanoico) o el ácido neodecanoico (principalmente ácido 2,2,3,5-tetrametil hexanoico).

En la siguiente tabla se presenta una evaluación de las alternativas al octoato de plomo.

► Tabla 20 - Evaluación de las alternativas al octoato de plomo

REQUERIMIENTO	OCTOATO DE PLOMO*	ALTERNATIVAS			
		OCTOATO DE CIRCONIO*	OCTOATO DE ESTRONCIO**	NEODECANATO DE CIRCONIO	NEODECAATO DE ESTRONCIO
Función	Secante interno (ECHA, 2021d)	Secante interno	Secante interno	Secante interno	Secante interno
Viabilidad técnica	Se añade al término.	No es necesario modificar el proceso de producción.	No es necesario modificar el proceso de producción.	No es necesario modificar el proceso de producción.	No es necesario modificar el proceso de producción.
Riesgos ambientales y para la salud humana	<p>H226: Líquidos y vapores inflamables</p> <p>H302: Nocivo en caso de ingestión.</p> <p>H332: Nocivo en caso de inhalación.</p> <p>H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.</p> <p>H360fd: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.</p> <p>H371: Puede provocar daños en los órganos.</p> <p>H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.</p>	<p>H302: Nocivo en caso de ingestión.</p> <p>H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.</p> <p>H318: Provoca lesiones oculares graves.</p> <p>H361D: Se sospecha que daña al feto.</p> <p>H315: Provoca irritación cutánea.</p>	<p>H302: Nocivo en caso de ingestión.</p> <p>H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.</p> <p>H318: Provoca lesiones oculares graves.</p> <p>H361D: Se sospecha que daña al feto.</p> <p>H315: Provoca irritación cutánea.</p>	<p>H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.</p>	<p>H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.</p>
Viabilidad económica		Precios inestables.	La materia prima de estroncio es generalmente más barata y más estable en precios en comparación con el circonio.	Más caros que los secantes a base de otros ácidos.	
Disponibilidad	Los secantes de plomo están disponibles en el mercado, pero están prohibidos en muchos países.	Producida predominantemente en Australia, África Occidental y China, la arena de circón, la materia prima para todos los productos químicos de circonio, es escasa debido a las restricciones mineras, que han reducido la disponibilidad y posteriormente impulsado aumentos de precios.	No hay problemas de suministro con el estroncio y el precio es estable en la actualidad.	Producidos por varias compañías, pero no están ampliamente disponibles.	

* Peligros para la salud humana y el medio ambiente según las hojas informativas sobre la seguridad de la empresa DURA

** Ibid

7.5 Reformulación de pinturas con secantes

Dado que el proceso de curado por oxidación es una reacción compleja en la que se producen simultáneamente la reticulación y la ruptura de los enlaces, la dosificación de los secantes es fundamental. Un secado eficaz requiere una cantidad mínima de secante. Si se añade una cantidad excesiva, se perjudica la formación de la película y las propiedades de esta, ya que los metales promueven una mayor oxidación continua, lo que provoca la fragilidad del ligante y, por tanto, de la pintura.

Las cantidades de algunos secantes, como las sales orgánicas de cobalto, manganeso, vanadio y hierro están restringidas debido a la coloración de la película de pintura.

Algunos pigmentos también son capaces de acelerar el secado oxidativo, por ejemplo, los óxidos de hierro (principalmente los grados transparentes debido a su gran superficie), los pigmentos de zinc metálico, los óxidos de zinc, los carbonatos de calcio y los pigmentos de plomo. Otros pigmentos pueden actuar como inhibidores del curado por oxidación, por ejemplo, los

negros de humo, los pigmentos ultramarinos y algunos pigmentos de ftalocianina; ellos absorben los secantes en sus superficies. Por tanto, la cantidad de adición de secantes debe aumentarse ligeramente [27].

Los secantes disponibles en el mercado se caracterizan por su contenido en metales. Las fichas técnicas indican las cantidades orientativas de los secantes, incluidos los productos combinados. Las recomendaciones para las pinturas basadas en resinas alquídicas estándar de cadena larga de aceite diferirán de las resinas alquídicas de cadena corta de aceite o un recubrimiento con de alto contenido en sólidos; asimismo, la naturaleza del aceite o ácido graso y cualquier hibridación cambiarán el sistema óptimo de secado. Para lograr el máximo rendimiento de una pintura, el formulador debe encontrar el equilibrio adecuado de secantes primarios, intermedios y auxiliares. Algunos metales específicos pueden mejorar determinadas cualidades, como una mayor dureza, un mayor brillo o un mejor secado.

En la siguiente tabla se indican los rangos recomendados para el punto de partida (uno de los productores):

► **Tabla 21 - Rangos de puntos de partida recomendados (Durachem, s.f.) para los secantes seleccionados**

METAL	RANGO CALCULADO COMO PORCENTAJE DE METAL SOBRE SÓLIDOS DE RESINA				
	RESINA ALQUÍDICA LARGA EN ACEITE	RESINA ALQUÍDICA CORTA EN ACEITE	SECADO AL HORNO / HORNEADO	BASE AGUA	MUY BAJO CONTENIDO EN COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES
Plomo	0,50-0,80	0,35-0,70			
Circonio	0,20-0,40	0,15-0,30		0,10-0,30	0,08-0,15
Estroncio	0,20-0,40	0,15-0,30			
Cobalto	0,04-0,07	0,03-0,06	0,02-0,05	0,04-0,12	0,08-0,15
Calcio	0,15-0,30	0,10-0,20		0,05-0,10	0,15-0,45
Manganeso	0,06-0,09	0,04-0,09	0,02-0,05	0,06-0,14	0,08-0,15
Vanadio	0,08-0,12	0,06-0,09			

► **Cuadro de texto 4 - Cómo calcular la cantidad necesaria de secante**

La cantidad de secante necesario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{kg de secante} = (\text{kg de resina}) \times (\% \text{ de resina sólida}) \times (\% \text{ de la dosis}) / 100 \times (\% \text{ del metal en el secante})$$

Ejemplo: Supongamos que tenemos una pintura con un contenido de resina alquídica (50 % de sólidos) de 500 kg en la formulación (1000 kg), y queremos una dosis de 0,3 % de secante de circonio (18%)

$500 \times 50 \times 0,3 / 100 \times 18 = 4,2 \rightarrow 4,2 \text{ kg de secante de circonio (18\%)} \text{ por } 1000 \text{ kg de pintura que debe ser agregada.}$

El plomo no puede sustituirse simplemente por el circonio; también hay que ajustar las proporciones de cobalto y calcio. Según diferentes fuentes bibliográficas, los secantes de plomo en la formulación se sustituyen por un 60 - 75% de secantes de circonio, calculado sobre el contenido de metal. Lo mejor sería empezar con las cantidades de secantes recomendadas por el productor.

Los secantes de circonio se sustituyen de forma equivalente por secantes de estroncio, calculados en función del contenido de metal. Si un secante de estroncio sustituye a un secante de plomo, no es necesario cambiar las cantidades de secantes de cobalto y calcio.

Es necesario probar una pintura y ajustar las cantidades de secantes para conseguir el mejor resultado posible, pero una regla general es mantener los secantes al mínimo para evitar efectos negativos.

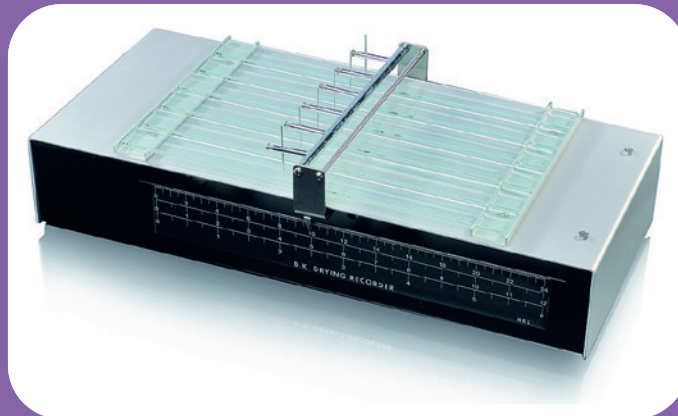
Si se obtiene un tiempo de secado y unas propiedades de la película comparables a las del producto de referencia (con un secante de plomo), debe investigarse cómo influye el almacenamiento en la nueva formulación. El almacenamiento a una temperatura elevada (40 °C durante dos semanas) estimula, en cierta medida, el almacenamiento prolongado. Un aumento del tiempo de secado tras el almacenamiento indica una pérdida de capacidad de secado del sistema de secado. Si se observa una separación de fases o una sedimentación severa en el sistema alternativo y no ha ocurrido lo mismo con el producto de referencia, el sistema alternativo no es aceptable, especialmente si la muestra no se puede mezclar fácilmente de nuevo por agitación. La viscosidad, el brillo y la dureza de la película seca deben medirse antes y después del almacenamiento.

En la siguiente tabla se indican las medidas utilizadas para eliminar los problemas relacionados con los secantes [35].

► Cuadro de texto 5 - Ensayos de secado

Tras la prueba inicial de tiempo de secado, los sistemas de secado alternativos más prometedores deben someterse a pruebas de estabilidad, viscosidad, dureza de la película, brillo y amarilleamiento (un mes en un armario oscuro). Todas las pruebas de la evaluación técnica de las alternativas deben realizarse como pruebas comparativas, lo que significa que la referencia es el producto que contiene el sistema de secado de plomo original.

► Figura 13 – Registrador de tiempo de secado



Fotografía: Courtesy of BYK-Gardner

► Tabla 22 - Solución de problemas relacionados con el secante*

PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL SECANTE	AUMENTAR 0 REDUCIR 0 AGREGAR 0 REEMPLAZAR			
Película demasiado pegajosa	Cobalto o manganeso		Cobalto o potasio	
Apariencia cerosa (<i>blooming</i>)	Calcio			
Pegajosidad	Circonio		Hierro	
Retención pobre de color			Zinc	
Brillo bajo			Zinc	
Secado pobre en condiciones de mucha humedad			Cerio o lantano	
Recubrimiento demasiado blando			Zinc, cerio o bismuto	
Pérdida de secado por absorción del pigmento	Calcio neutral		Zinc, hierro o acelerador de secado	
Pérdida de secado por precipitación del secante	Calcio sobrebásificado		Acelerador de secado	
Secado muy lento	Todos los secantes			
Pintura con poca resistencia al agua				Calcio con bario o estroncio
Arrugado	Calcio	Cobalto	Zinc	Cobalto con manganeso
Formación de pieles (natas) dentro del envase	Agente antipiel	Cobalto		
Secado interno pobre	Circonio o calcio	Cobalto		
Amarilleamiento	Calcio o lantano	Cerio o manganeso		
Secado lento de la superficie	Cobalto			Calcio o potasio
Contaminación por polvo que queda atrapado	Cobalto			
Secado lento a baja temperatura				Calcio con bario, estroncio o litio o cobalto con manganeso
Película demasiado frágil	Circonio	Cobalto		
Manchas de sulfuro				Plomo con circonio o estroncio
Dispersión pobre del pigmento	Incorporar octoato de zinc o calcio en la base del molino			

Actualmente se considera que los secantes de estroncio tienen un mejor rendimiento general en comparación con los secantes de circonio. Son una

alternativa rentable a los secantes de circonio y ofrecen un rendimiento de secado superior en condiciones de baja temperatura y alta humedad.

* Fuente: Troy Corporation



CONCLUSIONES

El plomo es clásicamente una toxina crónica y acumulativa. La exposición al plomo es un importante problema de salud pública y de medio ambiente. Los bebés, los niños pequeños (especialmente los que rondan la edad de cinco años) y las mujeres embarazadas son los más susceptibles a los efectos adversos del plomo, e incluso niveles relativamente bajos de exposición pueden causar graves daños a la salud humana.

El cambio a fórmulas de pintura sin materias primas de plomo añadidas intencionadamente es un reto para la industria, y los proveedores de materias primas están tratando de ayudar a los fabricantes de pintura a superar los desafíos que esto conlleva. Desde que se inició el proceso hace casi un decenio, hay muchas materias primas en el mercado que podrían sustituir a los compuestos de plomo en las pinturas.

El pigmento anticorrosivo de plomo (PR 105) tiene excelentes propiedades anticorrosivas, pero podría ser sustituido por fosfatos de zinc o, para mejorar el rendimiento anticorrosivo, por ortofosfatos modificados y pigmentos de polifosfato de

zinc. Otros pigmentos con mayor rendimiento y desempeño ambiental son los fosfatos de calcio y sus modificaciones.

Los pigmentos PY 34 y PR 104 cumplen estrictos requisitos técnicos y producen tonos claros y profundos, pero son extremadamente peligrosos. No hay ningún pigmento que pueda sustituir a estos pigmentos, pero si se definen los criterios que debe cumplir la pintura, es posible utilizar una combinación de pigmentos como alternativa.

Una alternativa a los secantes de plomo son los secantes de circonio o estroncio.

Durante la prueba piloto de reformulación de pintura con las pymes en el marco del proyecto SAICM FMAM se han observado los siguientes resultados.

Cada reformulación, debido a las diferentes formulaciones iniciales que contienen plomo en cuanto al color y otras propiedades de la pintura, requiere un enfoque específico. Se proporcionaron análisis en profundidad y datos más específicos a las

► Cuadro de texto 6 - Conclusiones principales del proyecto piloto de reformulación

La mayoría de pymes que participan en el proyecto no utilizan secantes de plomo, y todos los estudios de caso están relacionados con la sustitución del pigmento de plomo.

Durante el proyecto aprendimos que los pigmentos de plomo se utilizan en pinturas en base disolvente y base agua.

- Algunas pequeñas empresas no disponen de todo el equipo necesario para llevar a cabo las pruebas de rendimiento de pintura o la ampliación. La falta de equipos de molienda puede solucionarse utilizando pastas de pigmentos.
- Los proveedores tienen menos interés comercial en los mercados pequeños (usuarios) y la disponibilidad de pigmentos sin plomo es limitada (Jordania, Ecuador). Este fue un factor que ralentizó el proyecto en estos países, además de la pandemia de COVID-19.
- Todos los participantes coincidieron en que el apoyo técnico de los proveedores es importante. Algunos de los asociados del proyecto organizaron reuniones con los técnicos del proyecto, lo que

permitió comprender mejor el proceso de reformulación y acelerar la selección del pigmento adecuado.

- Las pymes redujeron con éxito y de forma significativa la concentración de plomo en las pinturas reformuladas, como se muestra en el estudio de caso 3 (apéndice 3). El contenido de plomo se redujo de 34.689 ppm en la formulación inicial a menos de 56 ppm en la pintura alquídica reformulada.
- Los costos económicos de la reformulación variaron. En algunos casos, la materia prima alternativa al plomo era más barata, reduciendo el costo, como se muestra en el estudio de caso 1 (apéndice 3). En otros casos, el precio de la pintura aumentó considerablemente.
- Las empresas reformularon sus pinturas de plomo con éxito, pero es necesario seguir trabajando en el ajuste de los tonos y en la optimización de los costos.

Véase el apéndice 3 para más información sobre los estudios de casos de las pymes.

empresas participantes en función de sus necesidades específicas.

Según la industria de la pintura, la reformulación de las pinturas para eliminar los compuestos de plomo es factible, y los impactos técnicos y de costos son manejables.

La eliminación de los compuestos de plomo también puede aportar posibles ventajas económicas. Al producir o utilizar pinturas sin compuestos de plomo,

los fabricantes y usuarios de pinturas (como los fabricantes de juguetes) pueden garantizar el acceso a los mercados en los que ya se ha restringido el contenido de plomo en la pintura.

En estas directrices se han presentado los principios generales de la reformulación de la pintura.

► Figura 14 - Fábrica de producción de pintura en Colombia



Fotografía: NCPC Colombia

Referencias

- Bieleman J (editor) (2000). Additives for Coatings. Weinheim: Verlag GmbH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527613304>. Consultado en enero de 2021
- BYK (s.f.) Aditivos humectantes y dispersantes. <https://ebooks.byk.com/en/wetting-and-dispersing/why-do-we-use-wetting-and-dispersing-additives>. Consultado en abril de 2020
- Danish Environmental Protection Agency (2003). Substitution of Cobalt Driers and Methyl Ethyl Ketox-ime. <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-097-0/pdf/87-7614-098-9.pdf>
- Demayo A, Taylor MC, Taylor KM, Hodson PV (1982). Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life, wildlife plants, and livestock. *CRC Crit Rev Environ Control*. 12:257–305
- Durachem (s.f.). Technical Brief: Typical drier dosage and addition calculation. http://www.durachem.com/docs/Tech_Brief-Drier_Dosage_and_Addition_Calculation.pdf. Consultado en enero de 2021
- ECHA (2011a). Documento de orientación para la preparación de solicitudes de autorización Versión 1. https://echa.europa.eu/documents/10162/2324906/authorisation_application_es.pdf/17786ad6-237d-4264-9960-abd251aac492?t=1629089394653
- ECHA (2011b). Documento de orientación sobre los requisitos de información y sobre la valoración de la seguridad química. <https://echa.europa.eu/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>.
- ECHA (2014). Third Party Submission of Information on Alternatives for Applications for Authorisation (no confidencial: BASF S.A.: https://echa.europa.eu/documents/10162/17086/instructions_third_parties_afa_en.pdf/7bcfcfc7-e189-4e65-8e95-3c93520344c3?t=1447069994330. Consultado en mayo de 2019
- ECHA (2021a). Ficha de la sustancia: naftenato de plomo. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.051.610>. Consultado en enero de 2021
- ECHA (2021b). Ficha de la sustancia: bis (2 - etilhexanoato) de plomo. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.553>. Consultado en enero de 2021
- ECHA (2021c). Ficha de la sustancia: trifluoruro de talio. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.029.040>. Consultado en enero de 2021
- ECHA (2021d). Ficha de la sustancia: ácido 2-etilhexanoico. <https://echa.europa.eu/es/substance-information/-/substanceinfo/100.005.222>. Consultado en enero de 2021
- Edwards S, Rossi M, Civil P (2005). Alternatives Assessment for Toxic Use Reduction: A survey of methods and Tools. The Massachusetts Toxic Use Reduction Institute, University of Lowell. <https://www.turi.org/content/download/3369/30384/>.
- Goldschmidt A, and Streitberger H-J (2007). BASF Handbook - Basics of Coating Technology (segunda edición revisada), Vincentz Network, Hannover (Alemania)
- Haig SM, D'Elia J, Eagles-Smith C, Fair JM, Gervais J, Herring G *et al.* (2014). The persistent problem of lead poisoning in birds from ammunition and fishing tackle. *Condor*. 116(3):408–28. <https://academic.oup.com/condor/article/116/3/408/5153126>
- Heubach (2019). Lead free for our Environment. https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/Bleifrei_web_1.pdf. Consultado en marzo de 2020
- Heubach (2021). Anticorrosives from the experts. https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/ACO_Broschuere_web.pdf. Consultado en abril de 2021

- ICL Specialty Products Inc. (2021). HALOX Z-PLEX 111, <https://www.halox.com/halox-z-plex-111/>. Consultado en marzo de 2021
- IPEN (2015a). Replacement Of Lead Pigments In Solvent Based Decorative Paints. <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Replacement%20of%20lead%20pigments%20in%20solvent%20based%20decorative%20paints.pdf>
- IPEN (2015b). Sustitución de secantes de plomo en pinturas decorativas alquílicas con base en disolventes. https://rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/111-ver-1_sustitucion-del-secador-de-plomo-en.pdf
- Mannari, V, Patel CJ, (2015). Understanding Raw Materials, Vincentz Network, Hanover (Alemania)
- Müller B and Poth U (2017). Coatings Formulation: An International Textbook, 3rd Completely Revised. Hanover: Vincentz Network
- OCDE (2021a). The Global Portal to Information on Chemical Substances. <https://www.echemportal.org/echemportal/substance-search>. Consultado en enero de 2021
- OCDE (2021b). OECD Existing Chemicals Database. <https://hpychemicals.oecd.org/ui/search.aspx>. Consultado en enero de 2021
- Olofsson, A. (2011). The Substitution Principle in Chemical Regulation: a Constructive Critique. *Journal of Risk Research* 17:5, 573-575, DOI: [10.1080/13669877.2013.841739](https://doi.org/10.1080/13669877.2013.841739).
- OMS (2020a). Eliminación mundial de la pintura con plomo: por qué y cómo los países deben adoptar medidas. Informe técnico. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336124/9789240011274-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OMS (2020b). Guía breve de los métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura, segunda edición. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240006058>
- Paint and Coatings Industry Magazine (2001). Extenders. <https://www.pcimag.com/articles/84133-extends>. Consultado en marzo de 2020
- PNUMA (2010). Final Review of Scientific Information on Lead. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27635>
- Prospector (2021). <https://www.ulprospector.com/en/la/Coatings/Formulation/%20search?start=500&sl=123859653>. Consultado en enero de 2021
- Rodrigues EG *et al.* (2010). Personal Exposure, Behavior, and Work Site Conditions as Determinants of Blood Lead among Bridge Painters. *J Occup Environ Hyg.* 7(2):80–7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2791321>.
- Were FH, *et al.* (2014). Lead exposure and blood pressure among workers in diverse industrial plants in Kenya. *J Occup Environ Hyg.* 11(11):706–15. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459624.2014.908258>
- Zhou S, Williams AP, Berg AM, *et al.* (2019). Land-atmosphere feedbacks exacerbate concurrent soil drought and atmospheric aridity. *Proc Natl Acad Sci.* 116(38):18848-18853. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1904955116>

Apéndices

▶ APÉNDICE 1. CONSEJOS PARA ENCONTRAR INFORMACIÓN SOBRE ALTERNATIVAS MENOS PELIGROSAS

Al hacer una búsqueda en Internet:

Buscar lo siguiente:

- Sustituir (nombre de la sustancia química que debe ser sustituida)
- Alternativa (nombre de una sustancia química que debe ser sustituida)
- Nombre de la sustancia química que debe sustituirse (nombre del producto, por ejemplo, pintura)
- Seguro/más seguro, más sano, ecológico.... (nombre del producto)

Incluir en la búsqueda:

- Nombre químico + forma de uso (por ejemplo, pigmento en pinturas)
- La mayor precisión posible: sector, proceso, producto, función
- Sinónimos y números de identificación (CAS, CE, etc.)

▶ Figura 15 - Comienzo de la búsqueda



Fotografía: www.pixabay.com

APÉNDICE 2. FORMULACIONES: EJEMPLOS

NOTA 1: Ejemplos 1 y 2 (véase la sección 6.6.4 sobre reformulación de pinturas)

NOTE 2: Color and hiding power depend on the type of paint as colorants are developing differentially in different vehicles

► Ejemplo 3 - Formulación de una imprimación alquídica de bajo costo y sin plomo (ICL, 2021)

MOLIENDA		
MATERIA PRIMA/ PROVEEDOR	% p/p	CLASE
70% de resina alquídica larga en aceite	21,05	Medio
Mineral Spirits (inodoros)/LANXESS	18,71	Disolvente
Bentone 34/Omya	0,94	Espesante
Metanol/LANXESS	0,23	Disolvente
Bayferrox 180 M/ Bayer	4,68	Pigmento rojo sintético de óxido de hierro
HALOX® Z-PLEX 111/ICL Advanced Additives	9,35	Complejo de fosfato de zinc (precipitación y pasivación anódica)
Mica Talc AT.1.	32,74	Carga
ETAPA DE TÉRMINO		
70% de resina alquídica larga en aceite	2,34	Medio
Mineral Spirits/LANXESS	8,84	Disolvente
Circonio 12% (OMG Europa)	0,28	Secante
Cobalto 12% (OMG Europa)	0,09	Secante
Zinc 8% (OMG Europa)	0,37	Secante
Calcio 4% (OMG Europa)	0,19	Secante
Skino 1 (OMG Europa)	0,19	Agente antipiel
TOTAL	100	

► Ejemplo 4 - Formulación de una capa base industrial de epoxi-éster sin plomo

MOLIENDA		
MATERIA PRIMA/ PROVEEDOR	% p/p	CLASE
Uranox EE4 X-50/DSM Special resins	20,00	Medio
Bentone 34 (10% en white spirit/etanol, 85/5)/Omya	4,7	Espesante
Special black 100/ Orion	0,30	Pigmento
Óxido de zinc	4,4	Pigmento
Fosfato de zinc ZP 10/Heubach	11,20	Pigmento
Fintalc M15/Mondo Minerals B.V.	9,00	Carga
Barytes EWO/Sachtleben Minerals	4,40	Carga (sulfato de bario)
Bayferrox 222 FM	1,70	Pigmento
Heucorin RZ/Heubach	1,20	Inhibidor orgánico de corrosión
ETAPA DE TÉRMINO		
Uranox EE4 X-50/ DSM Special resins	14,70	Medio
Octa Soligen Co 6/ Borchers	0,10	Secante
Exkin II	0,20	Agente antipiel
Shellsol A/Shell	12,10	Solvente
TOTAL	100	

Esta pintura es de secado rápido, se seca el polvo en 45 minutos, se seca al manipularla en 2 horas y se cura completamente en un día.

► **Ejemplo 5 - Formulaciones guía sin plomo [39]**

TONO			
RAL 1018	% p/p	RAL 1021	% p/p
Brufasol Amarillo AL 10	59,708	Brufasol Amarillo AL 10	63,290
Dióxido de titanio	38,800	PY 42	18,987
PY 83	1,194	PY 83	2,532
PY 101	0,298	PY 101	10,126
		PB 15.3	3,165
		PG 7	1,909
RAL 1023	% p/p	RAL 2000	% p/p
Brufasol Amarillo AL 30	95,487	Brufasol Amarillo AL 30	62,651
PY 83	1,909	PR 177	12,048
PY 101	2,604	PY 83	12,048
		PY 101	13,253
RAL 2004	% p/p	RAL 3000	% p/p
Brufasol Amarillo AL 30	52,175	Brufasol Amarillo AL 30	24,795
PO 34	27,536	PR 254	24,793
PY 101	5,797	PY 101	25,619
Dióxido de titanio	14,492	Dióxido de titanio	14,049
		Rojo óxido	10,744

► **Ejemplo 6 - Formulaciones guía sin plomo con pigmentos híbridos***


PIGMENTO	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B
(Nivel de pigmento calculado sobre el ligante sólido – 23,7%)		
RAL 1003 Amarillo señales	% p/p	% p/p
TICO® Yellow 594	39,80	52,82
TICO® Yellow 622 N	24,90	25,35
HEUCODUR® Yellow 152	13,00	
HEUCODUR® Yellow 151	20,12	19,49
Iron Oxid Yellow	2,8	2,34
RAL 1004 Amarillo oro	% p/p	% p/p
TICO® Yellow 594	65,15	
HEUCODUR® Yellow 152	19,60	
Iron Oxid Yellow	15,25	
RAL 1007 Amarillo narciso	% p/p	% p/p
TICO® Yellow 594	13,50	
TICO® Yellow 622 N	46,79	
HEUCODUR® Yellow 251	39,70	
Carbon black	0,01	
RAL 1023 Amarillo tráfico	% p/p	% p/p
TICO® Yellow 594	68,40	96,70
TICO® Yellow 622 N	3,10	3,30
HEUCODUR® Yellow 251	28,50	

* Se pueden encontrar más ejemplos en el sitio: https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/guide_formulations/Richtformulierungen_Tico.pdf

APÉNDICE 3. ESTUDIOS DE CASO SOBRE REFORMULACIONES DE PINTURA

En esta sección se presentan ejemplos en los que la reformulación de pinturas con plomo se ha realizado con éxito. Se llevaron a cabo proyectos piloto de demostración en pymes seleccionadas de siete países durante el periodo de 2019 a 2021.

ESTUDIO DE CASO 1 – REFORMULACIÓN DE PINTURA CON PLOMO (PINTURA ANTICORROSIVA ALQUÍDICA)



Empresa, dirección: Zhejiang Yutong New Material Co., Ltd., No. 11, Shengyang Road, Shangma Industrial Park, Wenling Economic Development Zone, Zhejiang (China)

Persona de contacto, cargo: Wu Xiaojun, Director de I+D

Número de empleados: 110

La empresa decidió participar en este proyecto por razones de competitividad, conciencia ambiental y responsabilidad social.

INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Capacidad instalada (t/año)	25000 t/año
Producción en 2019 (t)	11000 t/año
Tipos de pinturas comúnmente producidas	Recubrimientos en base disolvente, recubrimientos industriales en base acuosa
Tipo de pintura con contenido de plomo	Pintura antioxidante alquídica, capa de acabado alquídica
Producción de pinturas que contienen plomo en 2019 (t)	900 t/año
Consumo de materias primas que contienen plomo en 2018 (t)	73 t/año

SELECCIÓN DEL PRODUCTO PARA LA REFORMULACIÓN

Nombre comercial del producto	Pintura Anticorrosiva
Tipo de producto (base, uso)	Base de resina alquídica, utilizado como imprimación y recubrimiento anticorrosivo en estructuras de acero por encima de la línea de flotación y en tierra
Producción de esta pintura en el 2018 (t)	2012 t
% (peso) de esta producción de productos relacionados con la producción de pintura de plomo en 2018	44,7%
Razones de selección del producto	En esta empresa solo se fabrican productos alquídicos que contienen pigmentos con plomo. Mediante la reformulación de estos productos no habrá más pintura con plomo en el programa de producción.

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

MATERIA PRIMA

Compuesto de plomo a sustituir	Pigmento rojo de plomo (PR 105)
Consumo total del componente con plomo 2019 (t)	Imprimación 15%; Capas de acabado (depende del tono): 0-20%
Consumo del componente con plomo en el producto seleccionado en 2019 (t)/(% calculado sobre el consumo total de esta materia prima)	73 t

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVA(S)

Posibles alternativas evaluadas	Óxido de hierro rojo, polvo de titanio de hierro
Alternativas seleccionadas	Se seleccionaron ambas alternativas para las pruebas
Principal razón para la selección de esta alternativa	El proceso de producción es el mismo que el del pigmento de plomo rojo. Las alternativas no contienen metales pesados y el precio es menor
Potencial de aplicación de estas alternativas en otros productos (número de productos y/o toneladas, si es posible)	Se utiliza solo en el producto seleccionado

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARALELAS

Requisito (según las especificaciones técnicas)	Pintura con plomo (pigmento rojo 105)	Pintura sin plomo (óxido de hierro rojo)	Pintura sin plomo (polvo de titanio de hierro)
Esto depende del producto. Si se trata de la sustitución de pigmentos, también se debe presentar la comparación del tono.			
Color			
Tamaño de partículas (µm)	≤60 µm	≤60 µm	≤60 µm
Tiempo de secado	Superficie 10 min Curado 6 h	Superficie 10 min Curado 6 h	Superficie 10 min Curado 6 h
Ensayo de niebla salina (300 h)	300 h	300 h	300 h
Adhesión	2	2	2
Dureza	HB	HB	HB

► Cuadro de texto 7 – Conclusión y próximos pasos

- Los productos reformulados sin plomo tienen propiedades mecánicas, de secado y anticorrosivas similares a las de la pintura con plomo. El color del producto que utiliza el óxido de hierro rojo es bastante diferente, pero es similar si se utiliza la alternativa del polvo de hierro y titanio.
- Los productos reformulados son un 10% más baratos que la formulación inicial.
- Sin embargo, la preferencia de los clientes por la pintura roja con plomo sigue siendo un problema. Además, es necesario concienciar a los clientes habituales y al público en general sobre la eliminación del plomo.

► Figura 16 - Fábrica de pintura Zhejiang Yutong New Material Co. en China



Fotografía: NCPC China

ESTUDIO DE CASO 2– REFORMULACIÓN DE PINTURA CON PLOMO (RECUBRIMIENTO DE SUELOS EPOXI)



Empresa, dirección, sitio web: Zhejiang Tiannv Group Paint Co., Ltd., No. 150, Gaoxin West Second Road, Tongxiang Economic Development Zone, Jiaxing City, Zhejiang Province (China). www.tiannucoating.com

Persona de contacto, cargo: Zhang Yarong, Director Técnico

Número de empleados: 298

La empresa decidió participar en este proyecto por razones de competitividad, cumplimiento de las normas de conciencia ambiental y responsabilidad social.

INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Capacidad instalada (t/año)	120000 t/año
Producción en 2019 (t)	52211 t/año
Tipos de pinturas comúnmente producidas	1) Recubrimientos en base disolvente: recubrimientos industriales anticorrosivos, recubrimientos de bobinas precintadas, recubrimientos de aislamiento electrónico, recubrimientos alquídicos, recubrimientos especiales, etc. 2) Recubrimientos industriales al agua 3) Recubrimientos arquitectónicos al agua
Tipo de pintura con contenido de plomo	Pinturas utilizadas para colorear, como el amarillo y el naranja
Producción de pinturas que contienen plomo en 2019 (t)	15000 t/año
Consumo de materias primas que contienen plomo en 2019 (t)	696,5 t/año

SELECCIÓN DEL PRODUCTO PARA LA REFORMULACIÓN

Nombre comercial del producto	Recubrimiento de suelos epoxi
Tipo de producto (base, uso)	La resina epoxi y el agente de curado de amina son los principales materiales de base para la formación de películas, que se recubren principalmente sobre la superficie de cemento, hormigón, piedra o acero para decorar y proteger el suelo.
Producción de esta pintura en el 2019 (t)	860 t
% (peso) de esta producción de productos relacionados con la producción de pintura de plomo en 2018	25%
Razones de selección del producto	Se ha publicado la norma obligatoria para controlar las sustancias peligrosas, incluido el plomo.

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

MATERIA PRIMA

Compuesto de plomo a sustituir	Cromato de plomo (PY 34)
Contenido de compuestos de plomo en la formulación del producto seleccionado (% calculado sobre la formulación total)	0%-25% dependiendo del tono
Consumo total del componente con plomo 2019 (t)	517 t
Consumo del componente con plomo en el producto seleccionado en 2019 (t)/(% calculado sobre el consumo total de esta materia prima)	11,2

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVA(S)

Posibles alternativas evaluadas	Amarillo orgánico, óxido de hierro amarillo
Alternativas seleccionadas	Amarillo orgánico (PY 83, PY 74), óxido de hierro amarillo (PY 42)
Principal razón para la selección de esta alternativa	Los pigmentos alternativos no contienen metales pesados como el plomo y el cromo.
Potencial de aplicación de estas alternativas en otros productos (número de productos y/o toneladas, si es posible)	Es necesario realizar más pruebas de laboratorio.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARALELAS

Requisito (según las especificaciones técnicas)	Materia prima a sustituir: PY 34	Alternativas: Amarillo óxido de hierro y amarillo orgánico
Tiempo de secado	Superficie: 2 h, Interno: 10 h	Superficie: 2 h, Interno: 10 h
Dureza al lápiz (rayado)	2H	2H
Resistencia al impacto/cm	50	50
Flexibilidad/mm	2	2
Ensayo de corte por enrejado/nivel	1	1
Resistencia a la abrasión (750 g/500 r)/g	0,042	0,050
Resistencia al agua (168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia al petróleo (gasolina 120#, 168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia a ácidos (10% H ₂ SO ₄ , 168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia alcalina (10% NaOH, 168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

RESULTADOS DE LA AMPLIACIÓN

Requisito	Pintura con plomo	Pintura sin plomo
Color		
Tiempo de secado	Superficie 2 h, Interno 10 h	Superficie 2 h, Interno 10 h
Dureza al lápiz (rayado)	2H	2H
Resistencia al impacto/cm	50	50
Flexibilidad/mm	2	2
Ensayo de corte por enrejado/nivel	1	1
Resistencia a la abrasión (750 g/500 r)/g	0,045	0,048
Resistencia al agua (168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia al petróleo (gasolina 120#, 168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia a ácidos (10% H ₂ SO ₄ , 168 h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado
Resistencia alcalina (10% NaOH, 168h)	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado	Sin ampollas, sin desgaste, decoloración de primer grado

► Cuadro de texto 8 – Conclusión y próximos pasos

- Los resultados de las pruebas de laboratorio son básicamente los mismos que los de las pruebas de ampliación. El uso de pigmentos amarillos orgánicos, combinados con óxido de hierro amarillo y dióxido de titanio, podría sustituir a los pigmentos originales que contienen plomo para las pinturas epoxi para suelos.
- Básicamente, el producto puede ser sustituido, pero hay algunos problemas:
 - 1) hay diferencias de croma y no se puede ajustar al color original, y
 - 2) la funcionalidad de los tonos es deficiente.
- El siguiente paso es trabajar en la mejora de la funcionalidad del tono de los productos amarillos, y reducir los costos garantizando la calidad del producto.

► Figura 17 - Planta de producción de pintura Zhejiang Tiannv Group Paint Co., Ltd. en China



Fotografía: NCPCC China

ESTUDIO DE CASO 3 – REFORMULACIÓN DE PINTURA CON PLOMO (PINTURA ALQUÍDICA AMARILLA)



Empresa: LIP-04*, Ecuador

Persona de contacto, cargo:
Gustavo Argoti, Gerente General

Número de empleados: 14

La empresa decidió participar en este proyecto por razones de conciencia ambiental y responsabilidad social.

INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Capacidades instaladas (t/año)	75 t/año (1200 gal/mes)
Producción en 2018 (t)	38 t/año de producción bajo demanda
Tipo de pinturas producidas actualmente	Esmaltes alquídicos y pinturas arquitectónicas
Tipo de pinturas que contienen plomo	Esmaltes alquídicos amarillos y rojos Pinturas arquitectónicas de látex amarillas
Producción de pinturas con contenido de plomo en 2018 (t)	1,4 t/año (250 gal/año)
Consumo de materias primas con contenido de plomo en 2018 (t)	0,7 t/año

SELECCIÓN DEL PRODUCTO PARA LA REFORMULACIÓN

Nombre comercial del producto	Esmalte amarillo brillante
Tipo de producto (base, uso)	Esmalte alquídico utilizado como capa de acabado en superficies metálicas o de madera
Producción de esta pintura en 2018 (t)	0,55 t/año
% (peso) de la producción de este producto relacionada con la producción de pintura con plomo en 2018	8,0%
Razones de selección del producto	La empresa está muy interesada en que sus procesos y materias primas no contengan plomo

* Las empresas ecuatorianas no quisieron que se publicara su nombre.

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

MATERIA PRIMA

Compuesto de plomo a sustituir	Cromato de plomo (PY 34)
Contenido de componentes de plomo en la formulación del producto seleccionado (% en peso calculado sobre la formulación total)	5,73%
Consumo total del componente con plomo 2018 (t)	0,29 t/año

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Posibles alternativas evaluadas	Se enviaron muestras de color de pintura a la empresa Mathiesen para que las analizara e hiciera una recomendación.
Alternativas seleccionadas	La alternativa sugerida fue un pigmento híbrido de la línea LF
Razón principal para la selección de estas alternativas	Amarillo canario LF-761
Potencial de aplicación de estas alternativas en otros productos (número de productos y/o toneladas, si es posible)	Características de calidad similares al producto inicial

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARALELAS

Requisito (según las especificaciones técnicas)	Pintura con plomo	Pintura sin plomo	NTE INEN 2094*
Esto depende del producto. Si se trata de la sustitución de pigmentos, también debe presentarse una comparación de tonos.			
Método de prueba y un valor			
Contenido de plomo en la base seca (NTE-INEN 2093)	34.689 ppm	<56 ppm	< 600 ppm Contenido de plomo en la pintura sugerido por la Alianza Mundial: < 90 ppm
Brillo especular de películas a 60° (NTE-INEN 1003)	5,4 UB	43,8 UB	Tipo 1 y 2 (brillante): mín. 70 Tipo mate: máx. 15
	Los valores obtenidos no se ajustan a los valores definidos en la Norma INEN 2094 para un esmalte brillante, mientras que sí lo hacen para un esmalte mate o semimate. La Norma INEN 2094 es de carácter voluntario y referencial.		

* Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2094 Pinturas: Esmaltes sintéticos alquídicos de secado al aire. Requisitos; vigentes y referenciales y voluntarios.

REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARALELAS

Requisito (según las especificaciones técnicas)	Pintura con plomo	Pintura sin plomo	NTE INEN 2094
Sólidos por masa (NTE-INEN 1024)	40,21 %	37,68%	Mín. 35%
Finura de dispersión (NTE-INEN 1007)	50 µm	10 µm	Máx. 20 µm
Resistencia al agua (NTE-INEN 1539)	No hay ampollas, reblandecimiento, pérdida de adherencia, cambio de color	No hay ampollas, reblandecimiento, pérdida de adherencia, cambio de color	No debe presentar ampollamiento o arrugamiento ni cambios de color o cualquier otro defecto visible a simple vista.
Adherencia (NTE-INEN 1006)	< 35%	65-85%	Tipo brillante: mín. 90% Tipo mate: mín. 90%
	Los valores no se ajustan a los valores definidos en la norma INEN 2094 para el esmalte brillante o mate. La norma INEN 2094 es de carácter voluntario y referencial.		
Tiempo de secado libre al tacto (NTE-INEN 1011)	1,75 horas	1,9 horas	2 horas máx.
Tiempo de secado al manejo (NTE-INEN 1011)	10 horas	11 horas	8 horas máx.
Flotación uniforme del color (NTE-INEN 2088)	No hay diferencia de color	No hay diferencia de color	No deben existir diferencias apreciables de color
Exposición a fuentes luminosas en laboratorio (NTE-INEN-ISO 16474-3) Tiempo de exposición: 100 horas.	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación del brillo 56%. • Presenta marcados cambios de color • No presenta agrietamiento, ampollas o pérdida de adherencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Retención de brillo 36%. • Presenta marcados cambios de color • No presenta agrietamiento, ampollas o pérdida de adherencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Para la pintura de Tipo 1: retención mínima del brillo del 80% del valor inicial. Para la pintura semifinal y Tipo 2: debe tener una retención mínima del brillo del 70% del valor inicial. • No debe presentar grietas, ampollas, pérdida de adherencia o cambios marcados de color.
	Los resultados obtenidos cumplen parcialmente los requisitos de la norma, ya que no cumplen en el parámetro de retención de brillo y presentan acentuados cambios de color.		

RESULTADOS DE LA AMPLIACIÓN

Requisito	Pintura con plomo	Pintura sin plomo
NOTA: El alcance del proyecto hasta la fecha no incluye pruebas de escalado; sin embargo, la empresa sigue interesada en realizar otras pruebas de reformulación con pigmentos de otros proveedores (por ejemplo, Clariant y BASF), que son más accesibles económicamente.		

► Cuadro de texto 9 – Conclusión y próximos pasos

- La prueba de reformulación con el pigmento amarillo canario LF-761 cumple los requisitos de la empresa en cuanto a tono y poder cubriente.
- El pigmento amarillo canario LF-761, proporcionado por la empresa Mathiesen, probado para una pintura de tipo esmalte alquídico, requiere la implementación del proceso de molienda para la pintura reformulada que cumple con las características técnicas requeridas.
- El pigmento amarillo canario LF-761 cumple las expectativas en relación con el contenido de plomo requerido en el proyecto, con una concentración de plomo en base seca $<0,0056\%$ (<56 ppm).
- La pintura reformulada cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en la Norma de Pinturas NTE INEN 2094. Esmaltes sintéticos alquídicos de secado al aire. Requisitos.
- El precio de la pintura reformulada se incrementa en un 42,20%, respecto al precio de la pintura que tiene la empresa actualmente.

► Figura 18 - Producción de pintura alquídica amarilla en Ecuador

Fotografía: NQPC Ecuador

APÉNDICE 4. LISTA SELECCIONADA DE NORMAS ISO DE MÉTODOS DE ENSAYO GENERALES PARA PINTURAS Y BARNICES

Estos métodos son para probar las propiedades de rendimiento de la pintura y no incluyen métodos para probar el plomo en la pintura. Para los métodos de muestreo y ensayo de la pintura con plomo, véase la [Guía breve de los métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura, segunda edición](#).

ISO 1513:2010: Examen y preparación de las muestras para ensayo

La norma ISO 1513:2010 especifica tanto el procedimiento para el examen preliminar de una muestra única, tal y como se recibe para el ensayo, como el procedimiento para la preparación de una muestra para ensayo mediante la mezcla y la reducción de una serie de muestras representativas de una remesa de pintura, barniz o producto afín.

ISO 1514:2016: Probetas normalizadas para ensayos

La norma ISO 1514:2016 especifica diversos tipos de probetas normalizadas y describe los procedimientos para su preparación antes de pintar. Estas probetas normalizadas se utilizan en los métodos de ensayo generales para pinturas, barnices y productos afines.

ISO 1519:2011: Ensayo de plegado (mandril cilíndrico)

La norma ISO 1519:2011 especifica un procedimiento de ensayo empírico para evaluar la resistencia de los recubrimientos de pinturas, barnices o productos afines al agrietamiento y/o al desprendimiento de un sustrato metálico o plástico cuando se someten a un proceso de plegado sobre un mandril cilíndrico en condiciones normalizadas.

En el caso de un sistema multicapa, se puede ensayar cada capa por separado o el sistema completo.

El método especificado puede llevarse a cabo como un ensayo de "pasa/no pasa", realizando el ensayo con un solo mandril de tamaño especificado, para evaluar el cumplimiento de un requisito concreto; o repitiendo el procedimiento utilizando sucesivamente mandriles más pequeños hasta determinar el diámetro del primer mandril sobre el que el recubrimiento se agrieta y/o se desprende del sustrato.

Se especifican dos tipos de aparatos, siendo el tipo 1 apropiado para su uso en paneles de ensayo de hasta 0,3 mm de espesor, y el tipo 2 para su uso en paneles de ensayo de hasta 1,0 mm de espesor. Se ha comprobado que ambos tipos de aparatos dan resultados similares con el mismo recubrimiento, pero normalmente solo se utilizará uno para ensayar un producto determinado.

ISO 1520:2006: Ensayo de embutición

La norma ISO 1520:2006 especifica un procedimiento de ensayo empírico para evaluar la resistencia de un recubrimiento de pintura, barniz o producto afín al cuarteamiento y/o despegue de un sustrato metálico cuando se somete a una deformación gradual por embutición en condiciones normalizadas.

En el caso de un sistema multicapa, se puede ensayar cada capa por separado o el sistema completo. El método puede llevarse a cabo de la siguiente manera: como una prueba de "pasa/no pasa", realizando el ensayo hasta alcanzar una profundidad de embutición especificada para evaluar el cumplimiento de un requisito particular; o aumentando gradualmente la profundidad de embutición para determinar la profundidad mínima a la que el recubrimiento se cuartea y/o se despega del sustrato.

ISO 1522:2006: Ensayo de amortiguación del péndulo

La norma ISO 1522:2006 especifica dos métodos para realizar un ensayo de amortiguación del péndulo en un recubrimiento de pintura, barniz u otro producto relacionado. Es aplicable a los sistemas monocapa y multicapa.

ISO 1524:2020: Determinación de la finura de dispersión

La norma ISO 1524:2020 especifica un método para determinar la finura de molienda de las pinturas, tintas y productos afines mediante el uso de una regleta adecuada, graduada en micrómetros.

Es aplicable a todos los tipos de pinturas líquidas y productos afines, excepto los productos que contienen pigmentos en forma de escamas (por ejemplo, escamas de vidrio, óxidos micáceos de hierro, escamas de zinc).

ISO 2409:2013: Ensayo de corte por enrejado

Esta norma internacional especifica un método de ensayo para evaluar la resistencia que ofrecen los recubrimientos de pintura a ser separados de sus sustratos cuando se realizan una serie de incisiones en forma de enrejado cuadrado sobre el recubrimiento de modo que alcancen el sustrato. La propiedad determinada por este procedimiento de ensayo empírico depende, entre otros factores, de la adherencia del recubrimiento a la capa anterior o al sustrato. Sin embargo, este procedimiento no debe considerarse como un medio para medir la adherencia.

Cuando se requiera una medición de adherencia, puede utilizarse el método descrito en la norma ISO 4624[1]. Este método no es adecuado para recubrimientos de un espesor total superior a 250 µm o para recubrimientos texturizados.

ISO 2431:2019: Determinación del tiempo de flujo empleando copas de flujo

Este documento especifica un método para determinar el tiempo de flujo de las pinturas, barnices y productos afines que puede utilizarse para controlar la consistencia.

Se especifican cuatro copas de flujo de dimensiones similares, pero con diámetros de orificio de 3 mm, 4 mm, 5 mm y 6 mm. Se indican dos métodos para comprobar el desgaste de las copas de flujo.

Las copas de flujo con una boquilla reemplazable no están cubiertas por este documento, ya que no se cumplen las estrechas tolerancias en el suministro del material a ensayar.

ISO 2808:2019: Determinación del espesor de película

En este documento se describen los métodos para medir el espesor de los recubrimientos aplicados a un sustrato. Se describen métodos para determinar el espesor de la película húmeda, el espesor de la película seca y el espesor de la película de las capas de polvo no curadas.

ISO 2810:2004: Envejecimiento natural de recubrimientos. Exposición y evaluación

La norma ISO 2810:2004 especifica las condiciones que deben tenerse en cuenta en la selección del tipo y el método de exposición al envejecimiento natural para determinar la resistencia de los recubrimientos o sistemas de recubrimiento (envejecimiento directo o envejecimiento detrás del cristal de la ventana).

El envejecimiento natural se utiliza para determinar la resistencia de los recubrimientos o sistemas de recubrimiento (denominados en el texto siguiente simplemente recubrimientos) a la radiación solar y a la atmósfera. No se tienen en cuenta las influencias atmosféricas especiales, por ejemplo, la contaminación industrial.

ISO 2813:2014: Determinación del índice de brillo especular a 20°, 60° y 85°

La norma ISO 2813:2014 especifica un método para determinar el brillo especular de películas de pintura utilizando las tres geometrías de 20°, 60° u 85°. El método es adecuado para la medición del brillo de recubrimientos no texturizados sobre sustratos planos y opacos.

ISO 2815:2003: Ensayo de indentación Buchholz

La norma ISO 2815:2003 describe un método para realizar un ensayo de indentación sobre una película simple o un sistema multicapa de pintura, barniz o producto afín, utilizando un indentador Buchholz. La longitud de la indentación producida es indicativa de la deformación residual de la película.

Este ensayo de indentación no es adecuado para productos fuertemente plastificados.

ISO 3248:2016: Determinación del efecto del calor

La norma ISO 3248:2016 especifica un método para determinar la resistencia de los recubrimientos individuales o de los sistemas multicapa de pinturas, barnices o productos afines a los cambios de brillo y/o color, a la formación de ampollas, al craquelado y/o al delaminado del sustrato en condiciones de una temperatura determinada.

Este procedimiento es aplicable a los productos destinados a ser utilizados en radiadores domésticos u otros artículos susceptibles de ser sometidos a temperaturas similares.

ISO 3668:2017: Comparación visual del color de pinturas

La norma ISO 3668:2017 especifica un método para la comparación visual del color de las películas de pinturas o productos afines con una norma (ya sea una norma de referencia o una norma recién preparada) mediante fuentes de luz artificial en una cabina normalizada.

No es aplicable a los recubrimientos que contienen pigmentos de efectos especiales, por ejemplo, metálicos, sin un acuerdo previo sobre todos los detalles de las condiciones de iluminación y visualización.

ISO 4628-1:2016: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos

- **Parte 1: Introducción general y sistema de designación**
- **Parte 2: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento**
- **Parte 3: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación**

- **Parte 4: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento**
- **Parte 5: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación**
- **Parte 6: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la cantidad y tamaño de los defectos, y la intensidad de los cambios uniformes de aspecto. Parte 6: Evaluación del grado de enyesado por el método de la cinta**
- **Parte 7: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 7: Evaluación del grado de enyesado por el método del terciopelo**
- **Parte 8: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 8: Evaluación del grado de delaminación y corrosión a partir de una incisión u otro defecto artificial**
- **Parte 10: Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 10: Evaluación del grado de corrosión filiforme**

ISO 6270-1:2017 Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Condensación (exposición a una cara)

La norma ISO 6270-1:2017 especifica un método para determinar la resistencia de las películas de pintura, los sistemas de pintura y los productos relacionados a las condiciones de condensación de acuerdo con los requisitos del recubrimiento o las especificaciones del producto.

ISO 6270-2:2017 Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 2: Condensación (exposición en cabina con depósito de agua caliente)

ISO 6270-3:2018 Determinación de la resistencia a la humedad - Parte 3: Condensación (exposición en cabina con depósito de agua caliente y burbujeante)

ISO 6504-1:2019 Determinación del poder cubriente. Parte 1: Método Kubelka-Munk para pinturas blancas y claras

Este documento especifica un método para determinar el poder cubriente (índice de dispersión necesario para obtener un poder cubriente del 98%) de las pinturas

blancas o de color claro. Es aplicable a las películas de pintura con un valor triestímulo de $Y \geq 70$ y un poder cubriente $> 80\%$. No es aplicable a las pinturas fluorescentes o metálicas.

ISO 6504-3:2019: Determinación del poder cubriente: Parte 3: Determinación del poder cubriente de pinturas para albañilería, hormigón y uso en interiores

Este documento especifica los métodos para determinar el poder cubriente dado por capas de pintura blanca o clara cuyos valores triestímulos Y e Y10 son superiores a 25, aplicados a una cartulina blanca y negra, o a una lámina transparente e incolora. En este último caso, los valores triestímulos Y e Y10 se miden sobre probetas blancas y negras. Por lo tanto, se calcula el poder cubriente a partir de estos valores triestímulos.

ISO 6860:2006: Ensayo de plegado (mandril cónico)

La norma ISO 6860:2006 describe un procedimiento de ensayo empírico para evaluar la resistencia de un recubrimiento de pintura, barniz o producto afín al cuarteamiento y/o desprendimiento de un sustrato metálico cuando se somete a plegado alrededor de un mandril cónico en condiciones normalizadas.

En el caso de un sistema multicapa, se puede ensayar cada capa por separado o el sistema completo.

ISO 9117-1:2009 Ensayos de secado. Parte 1: Determinación del estado seco en profundidad y del tiempo de secado en profundidad

ISO 9117-2:2010 Ensayos de secado. Parte 2: Ensayo de aptitud al apilamiento bajo presión

ISO 9117-3:2010 Ensayos de secado. Parte 3: Ensayo de secado superficial con microesferas de vidrio

ISO 9117-4:2012 Ensayo de secados. Parte 4: Ensayo con ayuda de un registrador mecánico

ISO 9514:2019 Determinación de la vida útil de sistemas de recubrimiento multicomponentes. Preparación y acondicionamiento de las muestras y líneas directrices para ensayo

ISO 15528:2020 Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices. Toma de muestras

APÉNDICE 5. LISTA DE PROVEEDORES*

► **Tabla 23 – Lista no exhaustiva de proveedores a fecha de mayo de 2021**

EMPRESA	SITIO WEB
PIGMENTOS	
BASF Colors & Effects	www.colors-effects.com
Mathiesen	https://www.grupomathiesen.com/en/
Ferro	https://www.ferro.com
Pyosa Industrias	https://www.pyosa.com
Clariant	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
Jiangsu Shuangle Pigment	http://www.jsshuangle.com/en
Yingze New Material	
Heubach, Ltd	https://heubachcolor.com/
Sun Chemical Corporation	https://www.sunchemical.com/pigment-products/
Ferro Corporation	https://www.ferro.com/Contact
	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
The Shepherd Color Company	https://www.shepherdcolor.com/
Nubiola	https://www.ferro.com/nubiola
Venator	https://www.venatorcorp.com/
Dominion Colour Corporation	https://www.dominioncolour.com/
Bruchsaler Farben	https://www.bruchsaler-farben.de/en/home.html
Vijay Chemical Industries	http://vijaychemical.com/
Vibfast Pigments PVT.LTD.	http://www.vibfast.com/
Trust Chem	https://www.trustchem.eu/organic-pigments/
Resins and Chemicals PVT.LTD.	http://www.asrresin.com/pro_org_yellow.php
Special-Chem	https://coatings.specialchem.com/product/p-aarbor-colorants-corporation-naphthol-red-pigment-pr-112
Sudarshan	http://www.sudarshan.com/perch/resources/decorative-brochure-feb-2018.pdf
Milano Colori	http://www.milano-colori.com/en/plastics-rubber/pigments/organic-pigments/
Hangzhou Boray Pigments Co LTD	http://bofinepigment.com/
Hangzhou Multicolor Chemical Co LTD	http://www.multicolor-pigment.com/pid10206407/Pigment+Yellow+183.htm

* La mención de una empresa comercial o de un producto en estas directrices no implica la aprobación del PNUMA.

EMPRESA	SITIO WEB
---------	-----------

SECANTES

Venator	https://www.venatorcorp.com/products-and-applications/products/driers
DURA	http://www.durachem.com/home.html
American Elements	https://www.americanelements.com/
DOW	http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_090c/0901b8038090c235.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233-01137.pdf&fromPage=GetDoc
Comar Chemicals PVT.LTD	https://www.comarchemicals.com/index.php/en/products-en/other-organometallics-en/paint-driers-en
Blackfriar	http://www.blackfriar.co.uk/product/liquid-driers/
Matrix Universal	http://www.matrixuniversal.com/paint_driers.html
Silver Fern Chemical Inc.	http://www.silverfernchemical.com/product-lines/paint-driers/

FOSFATO DE ZINC/FOSFATO DE ZINC MODIFICADO

Shijiazhuang Xin sheng chemical co.,Ltd	http://zincphosphatepigment.sell.everychina.com/p-108713315-anti-corrosion-zinc-phosphate-pigment-325-mesh-cas-7779-90-0-white-powder.html
BassTech International	http://basstechintl.com/
Numinor Chemical Industries Ltd	http://www.numinor.com/
Pigment Sanayi A.S	http://www.pigment.com.tr/
SNCZ Société Nouvelle des Couleurs Zinciques	https://www.societe.com/societe/societe-nouvelle-des-couleurs-zinciques-330575887.html
Dimacolor Industry Group Co., Ltd	http://www.dimacolorgroup.com/news_en.html
Heubach, Ltd	https://heubachcolor.com/
Noelson chem	http://www.noelson.com/en/index.html
Shanghai Ocen Zinc Industry Co., Ltd	https://guide31651.guidechem.com/productlist-c72-p1.html

AGENTES DISPERSANTES

Byk Additives & Instruments	https://www.byk.com/en
Evonik Industries AG	https://corporate.evonik.com/en
Clariant	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Industrial-and-Consumer-Specialties/Paints-and-Coatings
Borchers	http://www.borchers.com/index.php?id=2
Ester	https://www.esterchem.co.in/paints-inks.html
BASF	https://www.basf.com/za/en/who-we-are/sites-and-companies.html
Shah Patil & Company	http://www.shahpatilexports.in/paint_&_ink_additives.htm
Harmony Additive PVT. LTD	https://www.harmonyadditive.com/paint-dispersing-agent.html

El sitio web <https://www.ulprospector.com/en/eu/Coatings/search> puede utilizarse para encontrar y contactar con proveedores de pigmentos y secantes.

