

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFÍA

“ALBERTO CAZORLA TALLERI”



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIÓXIDO DE TITANIO EN
MUESTRAS PARA LA FABRICACIÓN DE PINTURAS INDUSTRIALES
BASE SOLVENTE Y BASE AGUA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN QUÍMICA**

AUTORA:

STHEFANNY PAMELA ARAUCO BENDEZU

ASESOR(A):

MSC. GRACIELA UNTIVEROS BERMÚDEZ

Lima – Perú

2021

REVISORES:

Ph.D. Francisco J. Peirano Blondet

MSc. Alberto Barrenechea Pastor

**Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes me han
brindado el apoyo necesario para lograr este trabajo con éxito.**

AGRADECIMIENTOS

Al terminar esta bonita etapa de mi vida quiero agradecer profundamente a quienes hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional, a aquellos que de forma directa e indirecta me brindaron su soporte incondicional.

- En primera instancia, al centro de trabajo donde me desarrollé y aprendí los conocimientos sobre el campo de las fabricaciones de pinturas industriales. Solo a través de ellos he podido aprender tanto.
- A mis padres, a mis hermanos y a mi abuela que con tanto esfuerzo han sido, son y serán mi gran impulso para realizar muchas cosas en adelante.
- A mi asesora de TSP por guiarme en mi desarrollo profesional y en el presente trabajo.
- A mi centro de formación de Química, a mis docentes y a mi alma mater la Universidad Peruana Cayetano Heredia por haberme permitido formarme en sus aulas, compartiendo constancia, dedicación y esfuerzo para alcanzar mis objetivos.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Pinturas Industriales	3
2.2. Dióxido de titanio	4
2.3. Producción del Dióxido de Titanio.....	5
2.3.1. Método de Sulfato	5
2.3.2. Método de Cloración.....	6
2.3.3. Parámetros de evaluación de calidad del Dióxido de Titanio y su uso en matizados y en colores blancos	6
2.4. Materias primas en proceso	12
2.5. Materias primas nuevas	13
III. OBJETIVOS	14
3.1. Objetivos Generales	14
3.2. Objetivos Específicos	14
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1. Muestras de dióxidos de titanio a evaluar de diferentes proveedores	15
4.2. Materiales y equipos de laboratorio	15
4.2.1. Reactivos	15
4.2.2. Materiales	16
4.2.3. Equipos.....	16

4.3.	Procedimiento.....	17
4.3.1.	Procedimiento Habitual.....	17
4.3.2.	Modificación del Procedimiento Habitual	18
4.3.3.	Evaluación del Poder Cubriente.....	19
4.3.4.	Evaluación del Poder Tintóreo.....	20
V.	RESULTADOS	22
5.1.	Tiempo de dispersión	22
5.2.	Con respecto a las condiciones de trabajo en laboratorio y planta.....	24
5.3.	Relación entre el método de producción de TiO ₂ y el desempeño de cada muestra.	26
VI.	DISCUSIÓN	28
6.1.	Tiempo de dispersión	28
6.2.	Proporción Resina/ Pigmento y Paila/IAC.....	30
6.3.	Relación entre el método de producción de TiO ₂ y el desempeño de cada muestra.	32
VII.	CONCLUSIONES	34
VIII.	RECOMENDACIONES	35
IX.	BIBLIOGRAFÍA	36
X.	ANEXOS	38

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

H	Grados de Fineza Hegman
IAC	Impulsador de alto corte
ACCOMP	Analista de Control de Calidad de Materias Primas
ACCPT	Analista de Control de Calidad de Productos Terminados
TiO ₂	Dióxido de titanio
TSP	Trabajo de Suficiencia Profesional
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
ISO	Organización Internacional de Normalización
DO	Departamento de Operaciones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilización del dióxido de titanio en diferentes sectores a nivel mundial.	5
Figura 2. Diagrama de flujo de la producción de Dióxido de Titanio vía Sulfato	38
Figura 3. Reacciones de la obtención de TiO_2 mediante la vía del Sulfato	38
Figura 4. Diagrama de flujo de la producción de Dióxido de Titanio Vía Cloruro	39
Figura 5. Reacciones de la obtención de TiO_2 mediante la vía del Cloración	39
Figura 6. Formas y tamaños de impulsadores de alto corte	7
Figura 7. Eje acoplado a un impulsador de alto corte	7
Figura 8. Cartulinas de ensayo	8
Figura 9. Medición de la fineza en la escala NS	9
Figura 10. Utilización del spectro-guide de BYK-Gardner para la medición de la opacidad	10
Figura 11. Cabina de observación del color	11
Figura 12. El color según CIElab	12
Figura 13. Cartulinas de ensayo o lenetas	16
Figura 14. Aplicador metálico de pintura para ensayos en laboratorio	16
Figura 15. Equipo dispersador instalado al envase y al eje con el IAC	17
Figura 16. Imagen representativa del tamaño del dispersador que maneja planta de producción	19
Figura 17. Ejemplo de uso del aplicador metálico sobre una leneta	20

Figura 18. Ejemplo de comparación de poder cubriente entre un patrón (estirado en el lado izquierdo) y la muestra (estirado en el lado derecho)	20
Figura 19. Proceso de dispersión del pigmento TiO ₂ FR-767	22
Figura 20. Evaluación del desempeño de los dióxidos de titanio a nivel de laboratorio	23
Figura 21. Evaluación del desempeño de los dióxidos de titanio a nivel industrial	23
Figura 22. Dióxido de titanio K-2190	25
Figura 23. Dióxido de titanio FR-767	25
Figura 24. Grindómetro automatizado TIDAS Hegman	40
Figura 25. Aplicador automático de recubrimientos BYK Gardner	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Casos por intoxicación por metales pesados a nivel mundial.	.....	3
Tabla 2. Normas Internacionales para determinar el grado de fineza a través del grindómetro	.....	9
Tabla 3. Relación en peso resina/pigmento y diámetro paila/IAC de titanio mediante el procedimiento habitual	.....	24
Tabla 4. Modificaciones al procedimiento habitual	.....	24
Tabla 5. Método de procedencia de las muestras de dióxido de titanio	.....	26
Tabla 6. Resultados de evaluación de materias primas nuevas de Dióxidos de titanio	.....	27

RESUMEN

El trabajo se centra en modificar y plantear un procedimiento más efectivo para la evaluación de la calidad del dióxido de titanio, haciendo posible la obtención de resultados fiables y escalables a nivel industrial sobre desempeño del pigmento en el producto final. Para este objetivo se modificará el procedimiento habitual y se adaptarán sus parámetros de acuerdo a las condiciones de trabajo de Planta de Producción.

La información de la ficha técnica de una muestra de dióxido de titanio brinda un dato importante sobre su fabricación, por la vía cloruro y sulfato, lo que nos ayudaría a predecir los resultados de la evaluación y serán verificados en el laboratorio. Las evaluaciones de las muestras de dióxido de titanio se darán, durante y después de la fabricación de una pintura a base de poliuretano a nivel de laboratorio. El tiempo de dispersión es el parámetro más relevante en la elección de una muestra de dióxido de titanio para ser utilizada en la producción, siendo como máximo 10 minutos. La relación entre el diámetro del recipiente y el impulsador de alto corte es de 3 a 1; y la relación en peso entre la resina y el dióxido de titanio es de 4 a 1, siendo ambos ajustes proporcionales a las condiciones que se trabajan a nivel industrial. Empleando el procedimiento modificado, se han evaluado siete muestras de dióxido de titanio de diferentes proveedores, y entre ellos solo el R-1931 logró la fineza requerida en el tiempo óptimo establecido por el laboratorio y no tuvo problemas a nivel industrial.

Palabras clave: Dióxido de Titanio, Fineza, Procedimiento Habitual, Laboratorio, Planta de Producción

ABSTRACT

The work is focused on modifying and proposing a more effective procedure for evaluating the quality of titanium dioxide, making it possible to obtain reliable and scalable results at an industrial level on the performance of the pigment in the final product. For this purpose, the usual procedure will be modified and its parameters will be adapted according to the working conditions of the Production Plant.

The information in the technical data sheet of a titanium dioxide sample provides important information about its manufacture, via chloride and sulfate, which will help us predict the results of the evaluation and will be verified in the laboratory. Titanium dioxide sample evaluations will be given, during and after the manufacture of a polyurethane-based paint at the laboratory level. The dispersion time is the most relevant parameter in the choice of a titanium dioxide sample to be used in production, being a maximum of 10 minutes. The ratio of the diameter of the container to the high shear driver is 3 to 1; and the weight ratio between resin and titanium dioxide is 4 to 1, both adjustments being proportional to the conditions that are used at an industrial level. Using the modified procedure, seven samples of titanium dioxide from different suppliers have been evaluated, and among them only R-1931 achieved the required fineness in the optimal time established by the laboratory and had no problems at the industrial level.

Keywords: Titanium Dioxide, Fineness, Usual Procedure, Laboratory, Production Plant

I. INTRODUCCIÓN

El pigmento dióxido de titanio (TiO_2) se encuentra presente en diferentes industrias y en cientos de productos cotidianos. Específicamente en el sector de pinturas y revestimientos, es una de las materias primas más importantes (Titanium Dioxide Manufacturers Association, 2020). De entre todas las industrias que emplean el dióxido de titanio, los revestimientos y los plásticos representan el 50% a escala global (Ceresana, 2020).

El elemento Titanio se encuentra principalmente en dos minerales: la ilmenita y el rutilo; el porcentaje de titanio es aproximadamente 45% y 96% respectivamente; la ilmenita es la materia prima empleada en la obtención del dióxido de titanio por “vía sulfato”. Otra forma de obtención del dióxido de titanio es por la “vía cloruro”, la cual emplea el mineral rutilo como materia prima.

Una empresa que se dedica a la fabricación y comercialización de recubrimientos industriales tiene como parámetros de evaluación de un producto terminado a los siguientes: el porcentaje de sólidos, la densidad, la viscosidad, sagging o descolgamiento, y la apariencia.

Por lo general, uno de los principales problemas ha sido la apariencia del producto, lo cual involucra al color y la fineza del mismo. El trabajo extra que se emplea para corregir los inconvenientes trae consigo pérdidas a la empresa, ya sea, a nivel de horas hombre, costos energéticos y gastos extras de materias primas; demorando de esta manera la producción de otras pinturas.

Es posible evitar estos problemas incluso antes de su fabricación; evaluando de forma efectiva los insumos de la producción.

La fineza es un parámetro que está relacionado directamente con la calidad del dióxido de titanio. Es importante recalcar que al mercado no salen las pinturas y/o recubrimientos sin la finura adecuada.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Pinturas Industriales

Tanto en las industrias de pinturas y revestimientos, el TiO_2 es llamado blanco de titanio, pigmento blanco 6 o CI 77891. Es conocido, además, coloquialmente como “el blanco perfecto” o “el blanco más blanco” por sus potentes cualidades blanqueadoras.

Antes de los años 1920, los fabricantes de pinturas utilizaban como pigmento blanqueador el blanco de plomo, altamente tóxico tanto como los otros metales pesados (Rubio, y otros, 2004) (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, & Muñoz-García, 2016) (Tabla 1); y no utilizaban el dióxido de titanio (pigmento inocuo) porque el costo era mayor. Actualmente, el óxido de zinc es utilizado como pigmento blanco, aunque es menos efectivo que el TiO_2 .

Tabla 1. Casos por intoxicación por metales pesados a nivel mundial.

Año	Sitio	Caso	Muer-tos	Heridos
1900	Man-chester, Inglaterra	Arsénico en la cerveza	70	6.000
1960	Tailandia, India, Bangladesh, Taiwán	Uso de aguas subterráneas para agricultura contaminadas con altos niveles de As		> 70 millones
1968	Irak	Contaminación organomercurial en el pan (cereales)	500	> 5.000
1960	Bahía Minamata Japón	Peces contaminados con metilmercurio	3.000	> 10.000
1975	USA	Niños-diversos grados de intoxicación pinturas con plomo	200	800 daño cerebral > 400.000
1945	Japón	Intoxicación masiva con cadmio, por consumo de arroz y agua contaminada	300	> 1.000
1970	Japón	Enfermedad Itai-Itai por cadmio	180	7.000
1984	Bhopal, India	Fuga de metil isocianato	> 2.500	> 10.000

2.2. Dióxido de titanio

El dióxido de titanio es un material con una gran importancia como pigmento blanco tanto por sus propiedades ópticas, por ejemplo, su brillo y su alto índice de refracción, 2.7 (Dietz, 2015), como por su estabilidad química y nula toxicidad. Se refiere al pigmento más blanco y brillante, posee la cualidad tanto de dispersar como absorber los rayos ultravioletas (Titanium Dioxide Manufacturers Association, 2020).

El TiO_2 es un compuesto inorgánico, del grupo de los óxidos básicos. En la naturaleza lo podemos encontrar en forma de rutilo e ilmenita.

Los pigmentos de TiO_2 se utilizan en todas aquellas aplicaciones donde se requieren cualidades como opacidad y blancura. Tiene alto índice de refracción y, en consecuencia, alta opacidad; absorbe y refleja la luz, mientras que las cargas o extendedores dejan pasar la luz. Por ello, al ojo humano una pasta hecha con dióxido de titanio no dejará ver el fondo negro de la superficie en la cual fue estirada.

A nivel mundial, los sectores industriales en los que es necesario el pigmento de titanio son: pinturas, plásticos, papeles, tinta de impresión de todo tipo, alimentos, limpieza personal, productos médicos y farmacéuticos (Gázquez González, 2011)

figura 1.

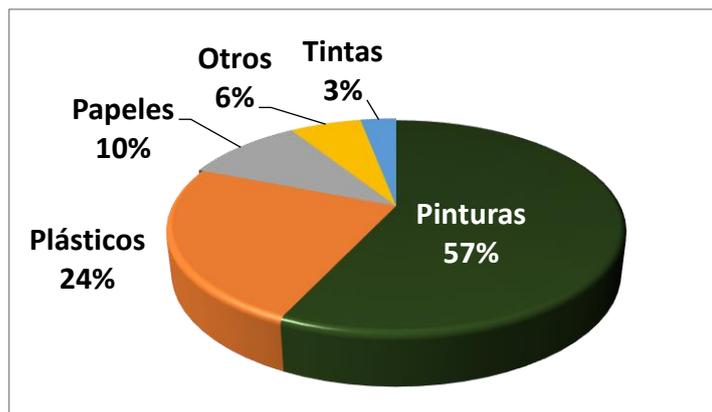


Figura 1. Utilización del dióxido de titanio en diferentes sectores a nivel mundial (McNulty, 2008)

2.3. Producción del Dióxido de Titanio

Existen principalmente dos procesos de fabricación de dióxido de titanio, el Proceso del Sulfato y el Proceso del Cloruro, que utilizan dos minerales principales, ilmenita y rutilo, respectivamente. La Ilmenita tiene 45 a 60% de dióxido de titanio y el rutilo hasta el 99% de dióxido de titanio. (Independent Commodity Intelligence Services, 2010)

Todos los grandes productores de dióxido de titanio utilizan ambos procesos para equilibrar su producción.

Se estima que alrededor del 65% de la producción mundial se basa en el Proceso del Cloruro (GAB Neumann, 2019).

2.3.1. Método de Sulfato

(KRONOS, 2020) (Independent Commodity Intelligence Services, 2010) Por lo general, la ilmenita es la materia prima de este proceso. La química del Proceso del Sulfato consiste en tres etapas: Disolución del mineral, formación del dióxido de

titanio hidratado y la formación del dióxido de titanio anhidro. El diagrama y las reacciones de obtención de TiO_2 se encuentran en el Anexo, en las Figuras 2 y 3.

2.3.2. Método de Cloración

(KRONOS, 2020) (Independent Commodity Intelligence Services, 2010) La química del proceso del Cloruro emplea, por lo general, el mineral de rutilo como materia prima y consiste en dos etapas: la conversión del rutilo a cloruro de titanio y la oxidación del titanio. El diagrama y las reacciones de obtención de TiO_2 se encuentran en el Anexo, en las Figuras 4 y 5.

2.3.3. Parámetros de evaluación de calidad del Dióxido de Titanio y su uso en matizados y en colores blancos

2.3.3.1. Color o tono lleno

Es el color que corresponde a un pigmento cuando este se encuentra únicamente dispersado en un vehículo, puede ser evaluado tanto en húmedo y en seco.

2.3.3.2. Color en mezclas o sub-tonos

Es el tono que se observa cuando los pigmentos coloreados están mezclados con otros en proporciones apreciables.

2.3.3.3. Tiempo de dispersión

- El TiO_2 en polvo

Las partículas de dióxido de titanio en polvo pueden existir aglomerados de 10 a 100 micras a través de las fuerzas o interacciones de Van der Waals (Baldyga, Makowskia, Orciucha, & Schuchmann, 2008). Las fuerzas intermoleculares aumentan a medida que se reduce el tamaño de los aglomerados del pigmento hasta

el tamaño de la partícula primaria. La molienda o la dispersión pueden vencer las fuerzas intermoleculares de Van der Waals debido a que son relativamente débiles. La desaglomeración se consigue suministrando un esfuerzo local intenso en la dispersión, llevada a cabo en envases, tanques o pailas agitados mecánicamente usando ejes con impulsadores de alto corte (IAC), esquematizado en las figuras 6 y 7.

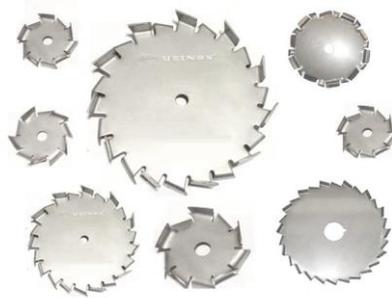


Figura 6. Formas y tamaños de impulsadores de alto corte



Figura 7. Eje acoplado a un impulsador de alto corte

- Efecto vórtex

Una adecuada dispersión de los pigmentos permite utilizar menos cantidad de éste sin influir negativamente en las propiedades ópticas. Así, disminuye el costo de la formulación. Para este fin, se emplean los IAC (visto en la figura 6) que se ubican al final de un eje (tal como lo indica la figura 7) y se hacen girar a velocidades

angulares relativamente altas, creando una zona de flujo intenso y de alto corte en la región cercana al impulsor (Ramírez-Muñoz, 2016). La función específica de estos IAC es incorporar pigmentos en polvo en un medio líquido (resina) y romper aglomerados de partículas con el fin de obtener una distribución uniforme de tamaños de partículas en el sistema, y con ello, alcanzar el máximo desempeño del producto final. Las industrias de pinturas utilizan los IAC en tanques cilíndricos o pailas sin deflectores, operando en el régimen de flujo laminar y de transición a turbulento, lo último para crear un pequeño vórtice en la superficie libre, para succionar rápidamente los pigmentos en polvo adicionados en la superficie del fluido hacia la zona de alto corte del impulsor (Hockmeyer, 2010).

- Grindómetro (BYK- Gardner GmbH)

Es un instrumento utilizado en la medición de la fineza de una molienda o para evaluar la presencia de partículas grandes o aglomerados en la dispersión.

El grindómetro es un bloque plano resistente a la corrosión con dos ranuras cuneiformes en las que varía la profundidad uniformemente, siendo uno de los extremos el de mayor profundidad y el de menor (punto cero), en el otro extremo. La profundidad de la cuña puede leerse en una o más escalas grabadas en la parte lateral del bloque. Figura 8.



Figura 8. Grindómetro

La escala Hegman o National Standard, está abreviada en el grindómetro como "NS". Va de 0 a 8, siendo el número más alto de Hegman el que determina la partícula más pequeña.

0 Hegman = 100 μm de tamaño de partícula

4 Hegman = 50 μm de tamaño de partícula

8 Hegman = 0 μm de tamaño de partícula

Visualmente, se evalúa el grado de fineza cuando a lo largo del grindómetro se evidencia la presencia de partículas continuas, similar a la figura 9.

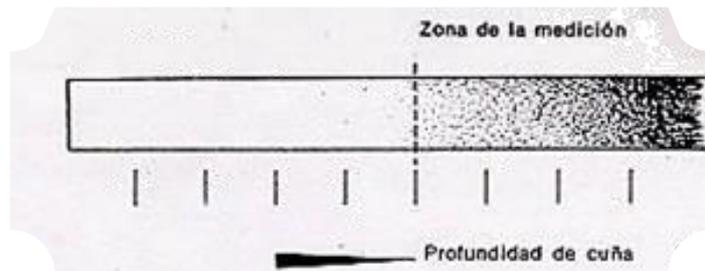


Figura 9. Medición de la fineza en la escala NS

El grindómetro, herramienta de medición de la fineza de una pintura sigue las siguientes normas internacionales:

Tabla 2. Normas Internacionales para determinar el grado de fineza a través del grindómetro

ASTM	D 333, D 1210, D 1316
ISO	1524

2.3.3.4. Poder cubriente

Representa la potencia de un pigmento para ocultar el fondo cuando es incorporado a un vehículo y es aplicado a una superficie en forma de película con uniforme espesor. A lo largo de la película el pigmento absorbe y dispersa la luz; ésta a su vez es dependiente directo del índice de refracción.

La opacidad es la medida de poder cubriente. La evaluación puede ser visual y utilizando el espectro-guide de BYK-Gardner (Figura 10), un instrumento de medición que brinda el porcentaje de opacidad (Alonso Felipe, 2013).



Figura 10. Utilización del espectro-guide de BYK-Gardner para la medición de la opacidad

Una opacidad al 100% quiere decir que no hay diferencia entre la aplicación en el fondo blanco y el negro.

2.3.3.5. Poder tintóreo

Es la capacidad que tiene un pigmento de dar color cuando es mezclado con otro de muy distinto tono. La evaluación del poder tintóreo se aplica tanto para pigmentos coloreados como blancos, para el primer grupo se realiza siendo mezclados en cantidades consideradas con blanco; y para los pigmentos blancos como el dióxido

de titanio se mezcla pigmentos coloreados. Es una determinación relativa y se compara con un estándar o patrón (Alonso Felipe, 2013).

La determinación se realiza mediante ensayos comparativos con los pigmentos en cuestión, ya sea por comparación visual o mediante un espectrofotómetro.

- Comparación visual (Alonso Felipe, 2013)

La manera más rápida y sencilla de evaluar el color es visualmente, para ello, se toma la muestra y el patrón, se estiran sobre la leneta, se espera que sequen y se verifica la diferencia o similitud.

En la Figura 11 puede verse una cabina de observación de color. Estas cabinas brindan luz diurna, de luz fluorescente y de luz UV.



Figura 11. Cabina de observación del color

La aplicación sobre lenetas es común y facilita la comparación. En los casos donde la pintura debe ser secada a elevadas temperaturas se emplearán probetas metálicas o de cristal.

- Mediante un espectrofotómetro

El ojo humano tiene la capacidad de diferenciar hasta diez millones de tonos de colores distintos, lo cual implica una dificultad de ordenar estos colores de forma clara y práctica (Alonso Felipe, 2013).

El sistema CIELab, (véase la Figura 12) tiene dos ejes horizontales y perpendiculares entre sí, a^* y b^* , donde se muestra las variaciones de tono desde el color rojo hasta el violeta. Además, un eje vertical L^* , situado en la intersección de a^* y b^* , indicando el grado de luz; el extremo superior representa el blanco, el extremo inferior representa el negro.

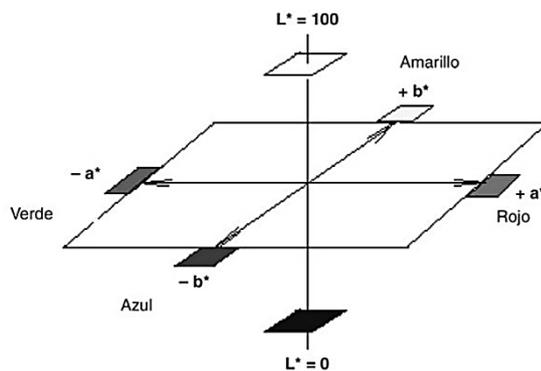


Figura 12. El color según CIELab

La diferencia entre dos colores (muestra y patrón) se evalúa mediante el valor que tiene cada parámetro:

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L^*_{\text{muestra}} - L^*_{\text{patrón}} \\ \Delta a^* &= a^*_{\text{muestra}} - a^*_{\text{patrón}} \\ \Delta b^* &= b^*_{\text{muestra}} - b^*_{\text{patrón}} \end{aligned}$$

2.4. Materias primas en proceso

Dentro de la corporación dedicada a la fabricación de pintura son denominadas materias primas en proceso aquellos insumos que forman parte del proceso de

producción, cuyos datos tales como nombre, cantidad, lote, proveedor y otros se encuentran registrados en el sistema informático SAP.

2.5. Materias primas nuevas

Dentro de la corporación dedicada a la fabricación de pinturas son denominadas materias primas nuevas aquellos insumos que aún no forman parte del proceso productivo en la empresa. Son utilizados para realizar ensayos por parte del Analista de Control de Calidad de Materias Primas y ver la posibilidad de considerarlos como opciones o posibles reemplazos de materias primas en proceso en cuanto a su desempeño en el ensayo.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivos Generales

Mejorar el procedimiento habitual a partir de conocimientos de las especificaciones técnicas y de pruebas de laboratorio que permitan seleccionar las muestras de dióxidos de titanio óptimas para su uso a nivel de producción.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las deficiencias del procedimiento habitual, que se ha estado usando el laboratorio de Control de Calidad para evaluar la calidad de las muestras de dióxido de titanio.
- Proponer un método eficiente de evaluación de la calidad de las muestras de dióxido de titanio.
- Asegurar que las condiciones de evaluación de las muestras a nivel de laboratorio sean similares a las usadas a nivel industrial.
- Determinar el tiempo de dispersión óptimo del dióxido de titanio a nivel de laboratorio.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación de las muestras de dióxido de titanio proveniente de distintos proveedores se necesitan los siguientes materiales (reactivos y equipos).

4.1. Muestras de dióxidos de titanio a evaluar de diferentes proveedores

- FR-767 (GTM)
- Matio 6838 (Mathiesen)
- Matio 6818 (Mathiesen)
- R-210 (Disan)
- R-216 (Disan)
- R-218 (Disan)
- R-1931 (Disan)

4.2. Materiales y equipos de laboratorio

4.2.1. Reactivos

- Poliol (Anders Peru) – Resina acrílica
- Solvesso 100 (Brenntag) – Vehículo
- Byk 163 (Anders Peru) – Aditivo dispersante
- Aerosil 200 (Anders Peru) – Carga o extendedor
- Etil glicol acetato (Brenntag) – Vehículo
- Tinuvin 292 (Anders Peru) – Aditivo absorbe de rayos UV
- Tinuvin 1130 (Anders Peru) – Aditivo absorbe de rayos UV
- Byk 306 (Anders Peru) – Aditivo nivelante
- Solución de Tinstab 1% (Anders Peru) – Aditivo estabilizador

4.2.2. Materiales

- Envases de 1/8 y 1/4 galón lata brillante
- Espátula
- Vaso de precipitado de 50ml.
- Cartulinas de ensayo o lenetas 15x15cm (Figura 13)
- Guantes de neopreno
- Lentes de seguridad



Figura 13. Cartulinas de ensayo o lenetas

4.2.3. Equipos

- Dispersador (Marca: FS-400D)
- Eje con Impulsador de alto corte (Figura 7)
- Grindómetro (BYK) (Figura 8)
- Aplicador metálico (BYK) (Figura 14)
- Balanza electrónica de 2 decimales (KERN GS / GJ)

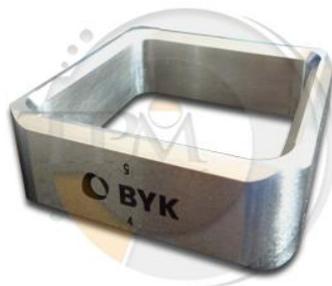


Figura 14. Aplicador metálico de pintura para ensayos en laboratorio

4.3. Procedimiento

4.3.1. Procedimiento Habitual

El procedimiento convencional que manejaba el laboratorio para la evaluación del dióxido de titanio es el siguiente:

Evaluación del tiempo de dispersión necesario para llegar a fineza 7H: Se anota el peso del 1/8 Galón y del eje con IAC. Luego, en dicho envase, se añaden 155 gramos de la resina Poliol, 18 gramos de solvente solvesso 100 y 1 gramo de Byk 163; y se coloca el IAC en el interior. Todo este conjunto se lleva a un dispersador de alta velocidad (High speed disperser), se instala correctamente como lo muestra la Figura 15; se deja dispersando durante al menos 5 minutos para asegurar la incorporación de los insumos que están presentes y preparar la mezcla para añadir el pigmento a evaluar.



Figura 15. Equipo dispersador instalado al envase y al eje con el IAC

Pasado los cinco minutos, durante la dispersión se añade 2 gramos de aerosil y 159 gramos de dióxido de titanio (objeto de evaluación). Este nuevo conjunto se mantiene en dispersión. Después de 1 hora se mide la fineza utilizando el

grindómetro analítico. Luego, se procede a completar en dispersión 200 gramos de la Polioliol, 36 gramos de solvente, 3 gramos de Byk 306, 1 gramo de Tinuvin 292, 1 gramo de Tinuvin 1130 y 0.5 gramos de Solución de Tinstab 0.5%; por último, se completa el peso que se ha perdido de solvente (durante la dispersión).

Planta de producción utilizó el titanio FR-767 (aprobado por el laboratorio de acuerdo con el procedimiento habitual) y tuvo problemas con el tiempo de dispersión para llegar a la fineza 7H. Por esta razón, se analizó dicho procedimiento y se modificó. Como se busca que los resultados en el laboratorio sean escalables a nivel industrial, se recopilaron algunos datos de la Planta de Producción como: relación entre el diámetro del tanque vs el diámetro de impulsador de alto corte, potencia del dispersador, relación inicial entre el peso de resina vs dióxido de titanio utilizada en la dispersión del pigmento y el tiempo de dispersión óptimo que demora el pigmento TiO_2 en desarrollar por completo o llegar a fineza 7 Hegman (H) y se compararon frente a los datos que maneja al laboratorio.

4.3.2. Modificación del Procedimiento Habitual

Se prioriza el procedimiento de fabricación de procedencia de cada dióxido de titanio según la información dada en cada ficha técnica de cada pigmento.

Aquellos pigmentos TiO_2 provenientes de la vía de sulfatos no serán considerados en la siguiente evaluación.

Los pigmentos TiO_2 provenientes de la vía de cloración serán los considerados para su próxima evaluación.

Se mejoraron algunos aspectos y el Procedimiento Modificado es el siguiente:

- Para que la relación entre el diámetro del envase y el IAC sea de 3 a 1 (como lo es a nivel de planta de producción) ver figura 16, se buscó un recipiente de mayor diámetro, ¼ de galón, manteniendo el mismo IAC que normalmente laboratorio utiliza.



Figura 16. Imagen representativa del tamaño del dispersador que maneja planta de producción

- La proporción entre el peso de la resina a utilizar y el pigmento TiO_2 será de 4 a 1.
- El tiempo de dispersión mínimo considerado para que el pigmento desarrolle por completo o llegue a fineza 7H es de 10 minutos. Pasado este tiempo se considera al pigmento como “muy duro” o difícil de dispersar y no será alternativa como contratipo de los patrones.

4.3.3. Evaluación del Poder Cubriente

Luego de la modificación para realizar las evaluaciones, y tener la pintura poliuretano completo, en una leneta (figura 13) se colocará en el lado izquierdo un poco del patrón (pintura de poliuretano que fue fabricado en laboratorio con dióxido

de titanio R-5566 o K-2190) y en el lado derecho una alícuota de la pintura hecha de dióxido de titanio a evaluar; con ayuda del aplicador de metal número 8 (Figura 17) se estirarán ambas muestras con dirección al extremo opuesto de la cartilla. Se dejarán secar y se evaluará su poder cubriente frente al fondo negro de la cartilla (Figura 18). La evaluación será visual.



Figura 17. Ejemplo de uso del aplicador metálico sobre una leneta



Figura 18. Ejemplo de comparación de poder cubriente entre un patrón (estirado en el lado izquierdo) y la muestra (estirado en el lado derecho)

4.3.4. Evaluación del Poder Tintóreo

Para evaluar el poder tintóreo, se utilizará una pasta de color, en dos vasos de precipitado de 50 mL, etiquetados como “P” de patrón y “M” de muestra, se pesará

la misma cantidad de pasta de color oscura; a partir de esto, en el vaso “P” se añadirá una cantidad definida de dióxido de titanio patrón, y en el segundo vaso “M”, la muestra del dióxido de titanio a evaluar. Se homogeneizarán las muestras con la ayuda de dos espátulas para cada vaso, y se procederá a estirar los nuevos pigmentos rebajados, verificando de manera visual (Figura 11) el poder tintóreo de la muestra líquida de dióxido de titanio frente al patrón mezclado con pasta de color en la proporción de 3 a 1 en peso.

V. RESULTADOS

5.1. Tiempo de dispersión

Cuando un pigmento blanco es considerado como “bueno”, no debería demorar más de 2 horas en llegar a la fineza óptima, 7 Hegman, en Planta de Producción.

Siguiendo las indicaciones del procedimiento habitual de laboratorio, se aprobó la compra del Dióxido de titanio FR- 767 y se tuvo problemas a nivel industrial haciendo que la producción demore más de 20 horas.

A nivel de Laboratorio, se evaluó detalladamente, minuto a minuto, la dispersión del TiO₂ FR-767 y se verificó que este pigmento era muy duro. Los datos se plasmaron en la Figura 19.

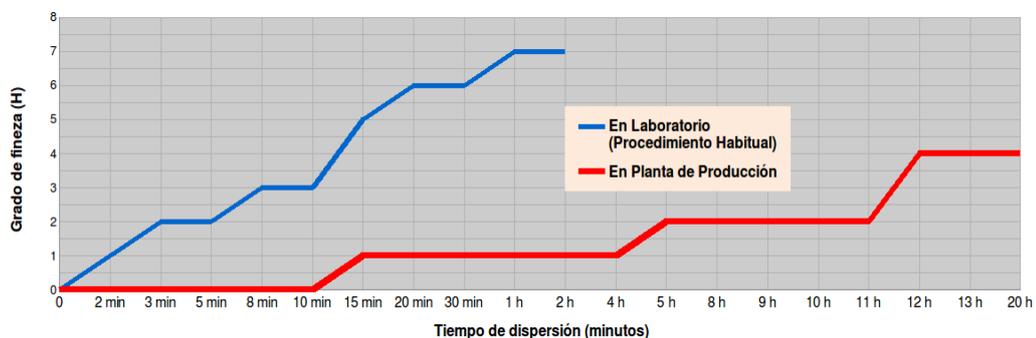


Figura 19. Proceso de dispersión del pigmento TiO₂ FR-767

La figura 19 muestra dos líneas, azul y roja, la primera representa el desempeño del pigmento dióxido de titanio FR-767 para llegar a Fineza 7 H en el Laboratorio (evaluado con el procedimiento habitual); y la segunda línea, el desempeño del mismo pigmento en Planta de Producción.

A partir de este hallazgo, siguiendo el Procedimiento Habitual, en el Laboratorio se hicieron las evaluaciones de los patrones de referencia del dióxido de titanio: TiO₂

K-2190 y R-5566, se obtuvieron sus datos de tiempo de dispersión óptimo para desarrollar completamente y se compararon frente al TiO₂ FR-767, lo cual se muestra en la figura 20.

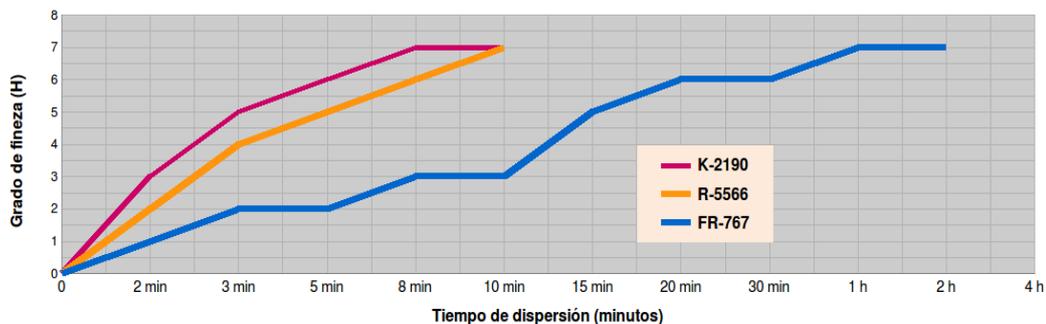


Figura 20. Evaluación del desempeño de los dióxidos de titanio a nivel de laboratorio

Se realizó la misma comparación entre los pigmentos a nivel de Planta de Producción. En la figura 21 se muestra la diferencia entre utilizar el pigmento FR-767 y los patrones K-2190 y R-5566.

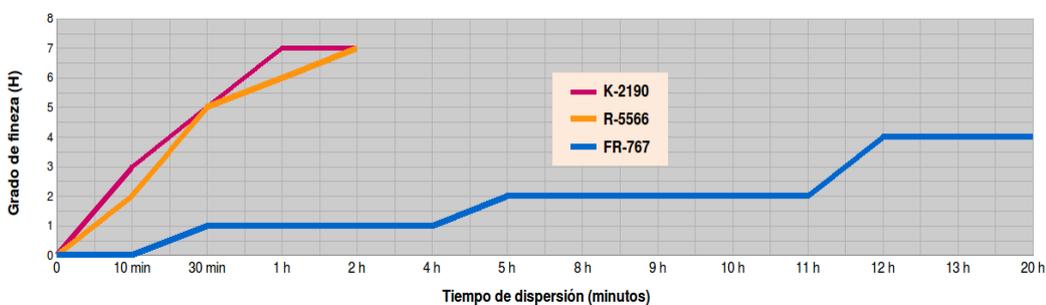


Figura 21. Evaluación del desempeño de los dióxidos de titanio a nivel industrial

5.2. Con respecto a las condiciones de trabajo en laboratorio y planta

Las condiciones del procedimiento habitual de evaluación del pigmento titanio en el laboratorio no eran proporcionales ni escalables a las condiciones bajo las cuales la planta de producción trabajaba constantemente para fabricar un poliuretano.

Tabla 3. Relación en peso resina/pigmento y diámetro paila/IAC de titanio mediante el procedimiento habitual

	Procedimiento habitual en Laboratorio	Procedimiento en Planta de Producción
Relación en peso Resina / TiO ₂	1 a 1	4 a 1
Relación diámetro Paila / IAC	1 a 1	3 a 1

Después de evidenciar estas diferencias en ambos niveles, tanto en la Laboratorio como en Planta de Producción, se realizaron algunas modificaciones y se desarrolló un nuevo procedimiento, al que se le llamará “Procedimiento Modificado”.

Entonces, en el Tabla 4 se ve la comparación entre las condiciones de trabajos en el Laboratorio (siguiendo el nuevo procedimiento) y en Planta de Producción.

Tabla 4. Modificaciones al procedimiento habitual

	Procedimiento Modificado de Laboratorio	Condición en Planta de Producción
Relación Diámetro tanque o envase/IAC	3 a 1	3 a 1
Relación en peso Resina/TiO ₂	4 a 1	4 a 1

Tiempo para que el TiO ₂ llegue a Fineza 7H	Max. 10 minutos	Aprox. 2 horas
--	-----------------	----------------

En el laboratorio, se comparó la eficacia de los dos procedimientos empleando el pigmento TiO₂ K-2190 y se obtuvo que, al cabo de 10 minutos, siguiendo ambos procedimientos, el pigmento tiene fineza 7H. Ver figura 22 y 23.

Figura 22. Dióxido de titanio K-2190

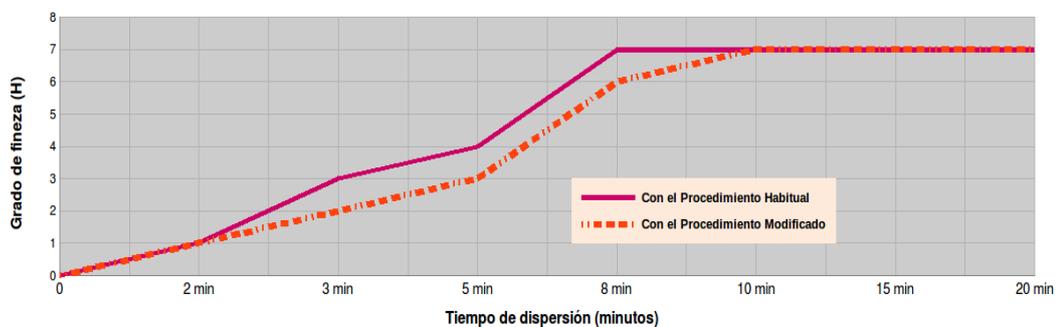
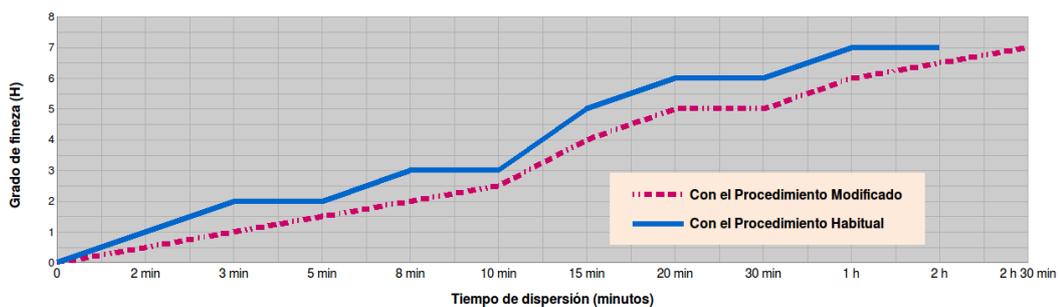


Figura 23. Dióxido de titanio FR-767



El procedimiento Modificado es escalable a nivel de Planta de Producción, aunque en el laboratorio demore unos 2 minutos más que el procedimiento habitual.

5.3. Relación entre el método de producción de TiO₂ y el desempeño de cada muestra.

- Aquellos pigmentos de titanio obtenidos mediante el método de cloración llegan a fineza en el menor tiempo posible.
- Aquellos pigmentos TiO₂ obtenidos mediante el método de sulfatos demoran mayor tiempo para llegar a finura.

Tabla 5. Método de procedencia de las muestras de dióxido de titanio

Muestra de TiO ₂	Método de Procedencia
R-1931	Cloruro
FR-767	Sulfato
Matio 6838	Sulfato
Matio 6818	Sulfato
R-210	Sulfato
R-216	Sulfato
R-218	Sulfato

Exceptuando a los patrones, la muestra de dióxido de titanio que cumple el tiempo mínimo de dispersión requerido (10 minutos) para llegar fineza 7H es: R-1931 (YUEJIANG CHEM).

Estas muestras no cumplen el mínimo tiempo necesario para lograr la fineza esperada: FR-767, Matio 6838, Matio 6818, R-210, R-216 y R-218 (INTERBRASIL S.A.) (MATHIESEN) (MATHIESEN) (YUEJIANG CHEM) (YUEJIANG CHEM)

Tabla 6. Resultados de evaluación de materias primas nuevas de Dióxidos de titanio

Titanio	Tiempo de dispersion - (Fineza Hegman)	Observaciones	Color 1:1	Subtono 1:3
K-2190	10 min → 7 H	Ligeramente Amarillo	Estandar	Estandar
R-5566	10 min → 7 H	Ligeramente Amarillo	Estandar	Estandar
R-216	20 min → 5 1/2 H	Baja blancura Bajo cubriente Bajo poder tintoreo		
R-1931	10 min → 6 1/2 H	Blanco optico Igual cubriente Similar poder tintoreo		
R-210	20 min → 4 H	Baja blancura Bajo cubriente Bajo poder tintoreo		
R-218	20 min → 5 1/2 H	Baja blancura Bajo cubriente Bajo poder tintoreo		
FR-767	20 min → 4 H	Mayor blancura Igual cubriente Similar poder tintoreo		
Matio 6838	30 min → 5 H	Similar blancura Similar cubriente Bajo poder tintoreo		
6818	30 min → 5 H	Mayor blancura Similar cubriente Similar poder tintoreo		

VI. DISCUSIÓN

La evaluación de la calidad del pigmento titanio se da, en primera instancia, durante la producción de una pintura a base de poliuretano, ya sea a nivel micro (laboratorio) y macro (industrial). Cuando un pigmento es considerado como bueno hace posible la realización del poliuretano en poco tiempo. El tiempo crítico es durante la dispersión del pigmento para lograr la fineza requerida. Si en el laboratorio el pigmento logra la dispersión completa, su desarrollo total o la fineza 7H es alcanzado en menos de 10 minutos, el pigmento es considerado para pasar por las otras evaluaciones: apariencia en tono lleno, poder de cubrición y poder tintoreal.

La pretensión de todo procedimiento de evaluación es el escalamiento de los resultados obtenidos en el laboratorio a nivel industrial.

6.1. Tiempo de dispersión

La figura 19 muestra de forma visual el proceso de dispersión del pigmento dióxido de titanio FR-767 en ambos niveles de fabricación (micro y macro). El uso de este pigmento en la producción fue aprobado debido a que cumplía, según el procedimiento habitual, todos los parámetros de evaluación de calidad; ello incluía que el tiempo mínimo de dispersión en el laboratorio debía ser de 1 hora. El análisis detallado minuto a minuto sobre el desarrollo de este pigmento FR-767 se realizó después que el mismo trajera complicaciones a nivel industrial. Como se puede ver en la línea roja de la figura 19, son más de veinte horas de dispersión a nivel macro sin lograr la fineza mínima requerida aún, tan solo se obtuvo una fineza de 4 Hegman medida con el grindómetro; aspecto grumoso cuando es aplicado en una

leneta. Este resultado sirvió como empuje para considerar la modificación del método de evaluación de los pigmentos blancos.

Como el problema a nivel macro fue la fineza, el estudio que realizó la jefatura de laboratorio se centró en el tiempo mínimo requerido a nivel micro para lograr la fineza 7H siguiendo, hasta el momento, el procedimiento habitual.

De este estudio a detalle, realizado minuto a minuto, se obtuvo que, el titanio FR-767 alcanzara la fineza requerida luego de una hora de haber sido incorporado en la mezcla. El resultado se visualiza en la línea azul de la figura 19. Si este pigmento en el laboratorio logró alcanzar la fineza 7H al cabo de 1 hora, era de esperarse que a nivel industrial el tiempo hubiera sido mayor o incluso, bajo las condiciones de una planta de producción, no llegara a fineza 7H pasada las 20 horas.

A partir de este punto, se realizaron las modificaciones a nivel micro; la primera de ellas fue averiguar empíricamente cuánto debería ser el tiempo adecuado de dispersión que un pigmento de titanio necesitará para lograr la fineza 7H. Para ello se evaluaron los patrones, estos son: K-2190 y el R-5566.

Como se puede ver en la figura 20, se evaluaron los patrones minutos a minuto y los datos que se obtuvieron fueron comparados frente al FR-767. La diferencia es notoria. Los patrones logran la fineza, a nivel de laboratorio, como máximo en 10 minutos, bajo el procedimiento habitual.

Lo mismo se realizó a nivel industrial y los datos de comparación entre los patrones y el pigmento FR-767 se evidencian en la figura 20 (estos datos fueron reportados por el supervisor de planta y se pudo tener acceso a ellos para fines de realizar un TSP). Con estos importantes datos se realizó la primera modificación al

procedimiento habitual y aunque se pensó que ahí quedaría, a partir de otra complicación en producción se vieron otros factores relevantes en el escalamiento de nivel micro a macro.

6.2. Proporción Resina/ Pigmento y Paila/IAC

Otro importante hallazgo que la empresa no había considerado era que para obtener resultados escalables y reproducibles se tenía que trabajar bajo las mismas condiciones, estos son temperatura, proporción entre los diámetros de las pailas o envases y los ejes con IAC, la proporción de la resina y el pigmento para su dispersión y la potencia de los dispersadores.

En el Tabla 3, se muestran los datos iniciales que se manejaban en el laboratorio y en la planta de producción; la proporción en peso entre la cantidad de resina y pigmento que seguía el instructivo habitual no era la misma que se manejaba a nivel macro. Mientras que en el laboratorio la proporción era casi perfecta, de 1 a 1, en planta de producción era de 4 a 1; esta diferencia trae consigo importantes dificultades. Una proporción de 1 a 1 (resina: pigmento) lleva a generar el llamado efecto vórtex, el cual hace posible que el pigmento a medida que es incorporado va siendo “succionado” mecánicamente de forma efectiva por el IAC. El efecto vórtex se evidencia a una viscosidad adecuada la cual, aunque no ha sido medida, se evidencia visualmente cuando la mezcla adopta una forma de “dona” impulsada de afuera hacia adentro con la ayuda del IAC. Para lograr un resultado escalable se modificó dicha parte del instructivo habitual, se cuadruplicó la cantidad de resina versus la misma cantidad de pigmento. La nueva proporción es de 4 a 1, similar a las condiciones de planta.

Otro importante punto fue la relación entre el diámetro de la paila (capacidad de 220 kilos) y el diámetro del impulsador de alto corte que viene incorporado al eje que a su vez es sostenido por el equipo dispersador. Dicha relación de 3 a 1, mostrada en el Tabla 3, está muy lejos de la proporción envase/IAC que describe el procedimiento habitual, el cual es de 1 a 1. Es importante reconocer que con diferencias tan marcadas no es posible obtener datos escalables desde el laboratorio hacia la planta de producción. Para ello, se modificó el instructivo de evaluación de la calidad del pigmento dióxido de titanio, el cual sigue los cambios mostrados en el Tabla 4, considerando además el tiempo de dispersión analizado en el ítem **6.1**. Las condiciones bajo las cuales trabaja la planta de producción no se pueden modificar porque están sujetas a producir grandes cantidades de pintura, por tal razón la tarea de los analistas de control de calidad es la de adaptar las condiciones de trabajo que se tienen en laboratorio a las macro teniendo el menor costo y asegurando que los resultados que se obtendrán serán los esperados a nivel industrial. Para lograr la relación de diámetros de 3 a 1 (envase/IAC) se buscó un envase con mayor diámetro que se compra con frecuencia para otros fines. La nueva relación entre el diámetro del envase ¼ galón y el impulsador se iguala a lo manejado a nivel industrial (3 a 1).

Los equipos de dispersión tanto del dispersador de laboratorio como en planta seguirán siendo los mismos. Es relevante aclarar que el de laboratorio tiene mayor potencia con respecto a la cantidad que dispersa. Sin embargo, en este caso, por temas de costo no se modificó, aunque a largo plazo se está evaluando la posibilidad de repotenciar el equipo dispersador de producción.

Ahora, como las condiciones de laboratorio se han asemejado a lo que se maneja a nivel industrial, se hace una comparación entre ambos procedimientos, el habitual y el modificado, para evidenciar si existe alguna diferencia en cuando a resultados de tiempo de dispersión. Las figuras 22 y 23 muestran que si bien se han modificado algunos parámetros importantes, a nivel de laboratorio los tiempos de dispersión mínimos para llegar a fineza 7H (empleando ambos procedimientos) difieren en algunos minutos, tanto para el patrón K-2190 como del titanio que nos llevó a realizar los cambios, FR-767.

6.3. Relación entre el método de producción de TiO₂ y el desempeño de cada muestra.

La fuente de procedencia de los pigmentos en polvo de dióxido de titanio es un parámetro importante para adelantarse a los resultados, basándonos en los resultados de la experiencia. Se realizó una búsqueda bibliográfica de aquellos dióxidos de titanios homologados por uno de los fabricantes de pinturas más importantes a nivel mundial, PPG. Se corroboró que la procedencia es importante. Dichas marcas homologadas, tales como K-2300, K-2360 y Ti-Pure R-900 provienen del método de fabricación por la vía cloruro (KRONOS, 2017) (KRONOS, 2016) (Ti-Pure, 2015). Cabe resaltar que mientras tengan mejor desempeño en finura, blancura, poder tintóreo y cubriente mayor será su costo.

Por un lado, aquellos pigmentos de titanio que provienen de la vía del cloruro tienden a ser más blandos o fácilmente dispersables, debido a que la materia prima es el rutilo natural, mineral que contiene, en su composición, 96% de dióxido de titanio (la mayor parte del total). Este dato es obtenido de las fichas técnicas que acompañan a cada materia prima nueva de dióxido de titanio proveídas por sus

vendedores, los cuales son nexos en Perú de las industrias mundiales de este pigmento. Por otro lado, los pigmentos de titanio provenientes de la vía del sulfato tienden a ser más duros o difícilmente dispersables, debido a que la materia prima, la ilmenita, tiene en su composición alrededor del 50% de dióxido de titanio, ello supone que algunas trazas de otros elementos que componen la ilmenita podrían estar afectando la dureza del TiO_2 .

A partir de ello, los primeros filtros del procedimiento modificado se ordenan de la siguiente manera: revisión literaria de las fichas técnicas y tiempo de dispersión óptimo para finura 7 Hegman requerida.

Cuando una materia prima nueva, que es un pigmento de dióxido de titanio, supera ambos filtros mencionados en el párrafo anterior, se procede a completar la preparación de la pintura poliuretano. Con esta pintura se evalúan los 3 parámetros restantes: apariencia en tono lleno, poder cubriente y poder tintóreo; las cuales son más sencillas puesto que en el laboratorio se evalúan de forma visual, los cuales responden a lo esperado de acuerdo con procedencia de fabricación. Las fichas técnicas están anexadas al final de este Trabajo de Suficiencia Profesional.

VII. CONCLUSIONES

1. Es posible predecir los resultados de la evaluación de las muestras de dióxido de titanio a partir de la información técnica, siendo el método de fabricación el más importante.
2. El procedimiento modificado para la evaluación de una muestra de dióxido de titanio que se está manejando en la actualidad en el laboratorio es escalable a nivel de planta de producción.
3. El tiempo de dispersión es el parámetro más relevante en la elección de una muestra de dióxido de titanio para ser utilizada en la producción, siendo como máximo 10 minutos a nivel de laboratorio.
4. El ajuste de la relación a nivel laboratorio, entre el diámetro del recipiente y el impulsador de alto corte es de 3 a 1, es proporcional a las condiciones que se manejan a nivel industrial.
5. La relación en peso a nivel de laboratorio, entre la resina y el dióxido de titanio es de 4 a 1, es proporcional a las condiciones que se trabajan a nivel industrial.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Revisar las fichas técnicas y tener un preconcepto de lo que se podría esperar en los resultados.
2. Utilizar espectrofotómetros para tener valores más objetivos en la diferenciación del color.
3. Repotenciar el motor del dispersador de planta de manera que ese factor no sea un impedimento para obtener resultados escalables desde el laboratorio hacia la producción industrial.
4. Utilizar un grindómetro automatizado calibre Hegman desarrollado por TIDAS-Huntsman para obtener resultados más exactos, con un grindómetro analítico se obtienen resultados subjetivos. (Figura 24)
5. Es opcional reemplazar el aplicador metálico manual por un aplicador automático para mejor precisión en la aplicación de la pintura sobre la leneta. (Figura 25)
6. Utilizar un lector de opacidad digital como el spectro-guide de BYK-Gardner para obtener resultados más objetivos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Felipe, J. V. (2013). *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*. Madrid.
- Baldyga, J., Makowskia, L., Orciucha, W., & Schuchmann, C. S. (2008). Deagglomeration processes in high-shear devices. *Chem. Eng. Res. Des.*, 1369-1381.
- BYK- Gardner GmbH. (s.f.). Finura de molienda.
- Ceresana. (2020). *Ceresana*. Recuperado el 12 de octubre de 2020, de <https://www.ceresana.com>
- Dietz, P. (2015). *FP Pigments - Opacity Pigments, cost saving opportunities in architectural coatings*.
- GAB Neumann. (17 de Julio de 2019). *Dióxido de titanio*. Obtenido de <https://www.gab-neumann.com>
- Gázquez González, M. J. (2011). Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio. Huelva.
- Hockmeyer, H. (2010). Practical Guide to High-Speed Dispersion. *Paint Coat. Ind.*, 32-36.
- Independent Commodity Intelligence Services. (15 de Marzo de 2010). *Proceso de producción y fabricación de dióxido de titanio (TiO₂)*. Obtenido de <https://www.icis.com>
- INTERBRASIL S.A. (s.f.). FR-767.
- KRONOS. (2016). KRONOS 2360. *KRONOS information*.
- KRONOS. (2017). KRONOS 2300. *KRONOS Information*.
- KRONOS. (18 de Febrero de 2020). *Chloride Process*. Obtenido de <https://kronostio2.com>
- KRONOS. (18 de Febrero de 2020). *Sulfate Process*. Obtenido de <https://kronostio2.com>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (Julio-Diciembre de 2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- MATHIESEN. (s.f.). MATIO 6818. *Technical Data Sheet*.
- MATHIESEN. (s.f.). MATIO 6838. *Technical Data Sheet*.
- McNulty, G. (2008). Production of titanium dioxide. En I. A. (IAEA), *Naturally Occurring Radioactive Material* (págs. 169-188).

- Ramírez-Muñoz, J. G.-C.-L.-M. (2016). Efecto de la Evolución del Vórtice sobre los Parámetros Hidrodinámicos de un Sistema de Dispersión Mecánica de Pigmentos. *Información tecnológica*, 145-154. Obtenido de Información tecnológica.
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología, Asociación Española de Toxicología*, 72-80.
- Ti-Pure. (2015). R-900 Titanium Dioxide. *Product Information*.
- Titanium Dioxide Manufacturers Association. (2 de Marzo de 2020). *TDMA*. Obtenido de <https://tdma.info>
- Titanium Dioxide Manufacturers Association. (02 de 03 de 2020). *TMDA*. Obtenido de <https://tdma.info>
- YUEJIANG CHEM. (s.f.). R1931 General Use Rutile Titanium Dioxide. *Technical Data Sheet*.
- YUEJIANG CHEM. (s.f.). R210 General Use, Economic Rutile Titanium Dioxide.
- YUEJIANG CHEM. (s.f.). R218 - R216 General Use Rutile Titanium Dioxide.

X. ANEXOS

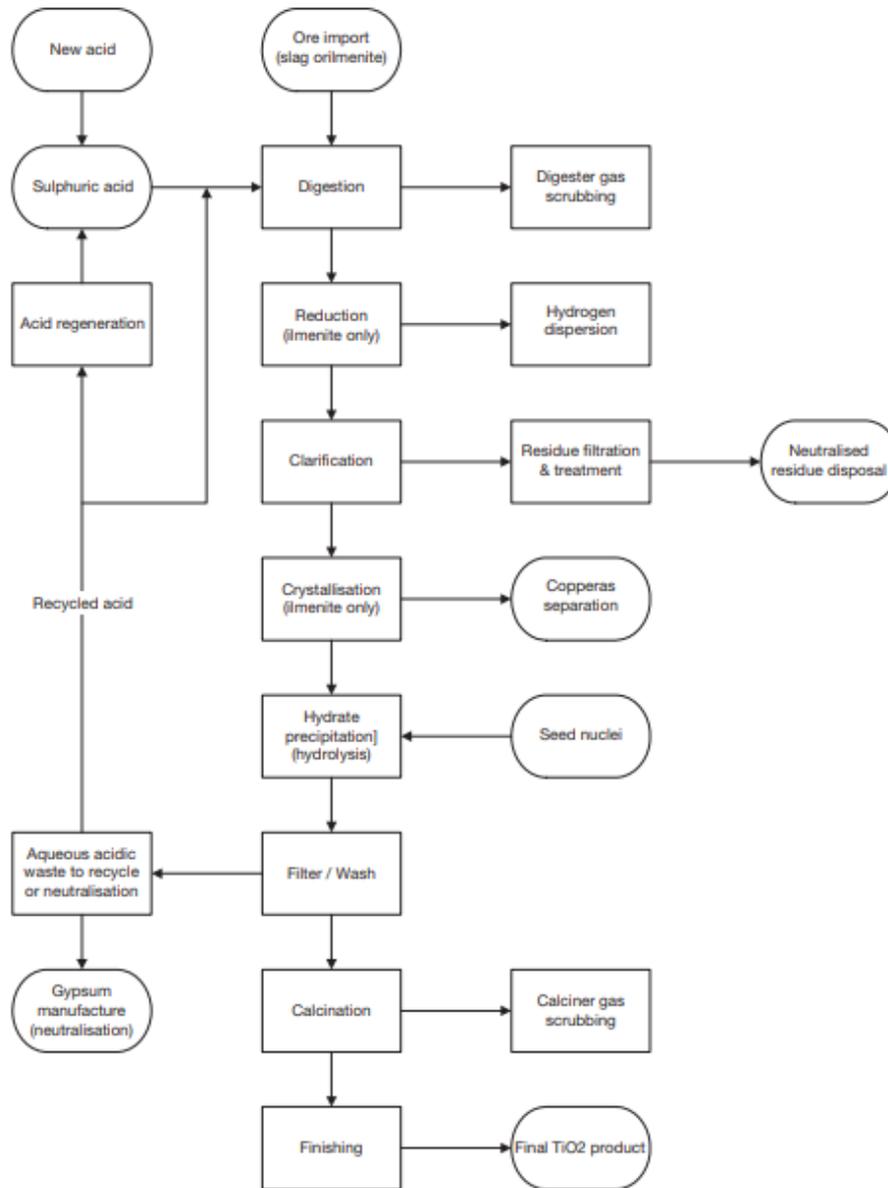


Figura 2. Diagrama de flujo de la producción de Dióxido de Titanio Vía Sulfato

- $$\text{FeTiO}_{3(s)} + 2\text{H}_2\text{SO}_{4(l)} \rightarrow \text{TiOSO}_{4(l)} + \text{FeSO}_{4(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$$

Ilmenita
Sulfato de Titanio
- $$\text{TiOSO}_{4(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$$
- $$\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \Delta \rightarrow \text{TiO}_{2(s)} + n\text{H}_2\text{O}$$

Figura 3. Reacciones de la obtención de TiO₂ mediante la vía del Sulfato

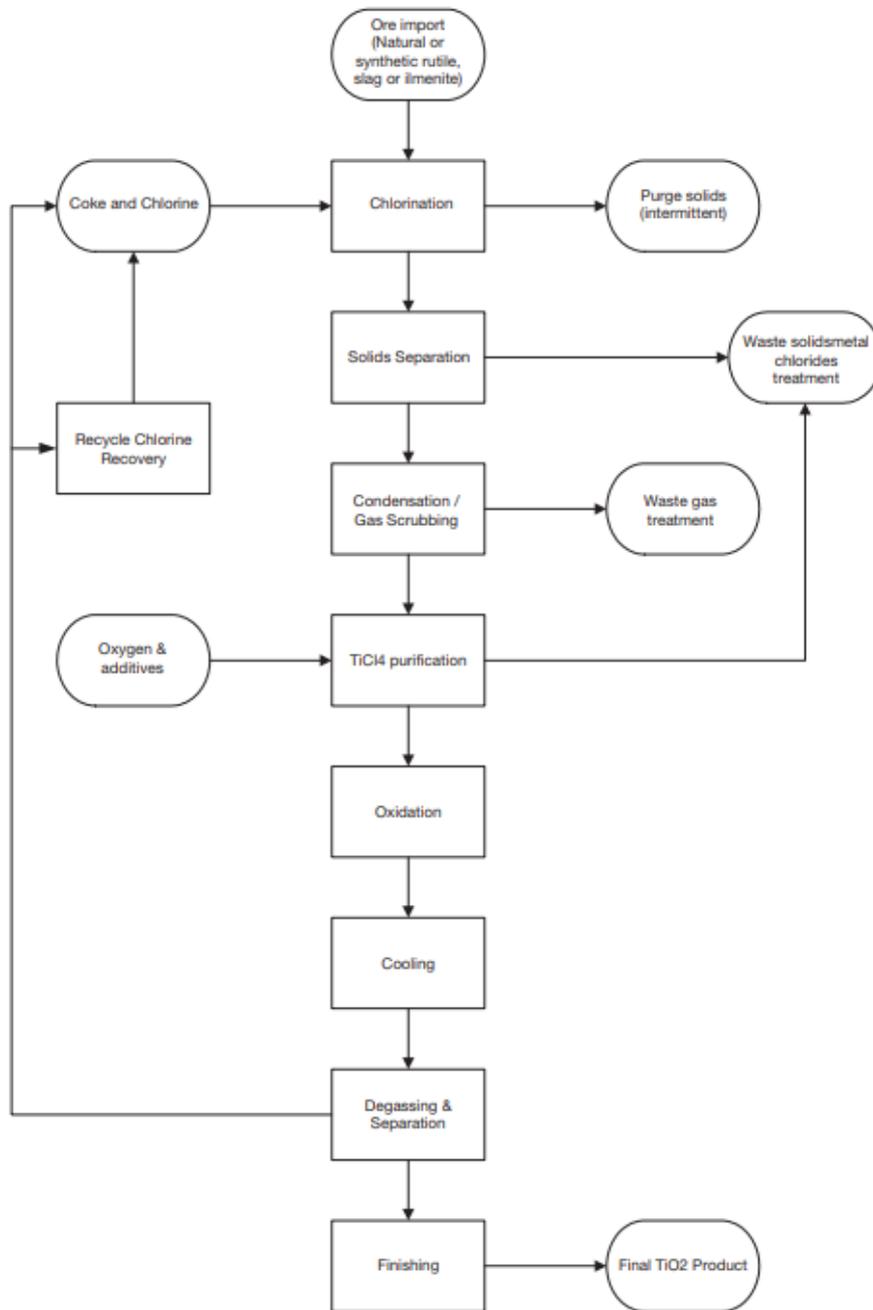


Figura 4. Diagrama de flujo de la producción de Dióxido de Titanio Vía Cloruro

- $$\text{TiO}_{2(s)} + \text{C} + 2\text{Cl}_{2(g)} + \Delta \rightarrow \text{TiCl}_{4} + \text{CO}_{(g)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{MCl}_{(g)}$$

Rutilo natural	Óxidos de carbono	Cloruros metálicos
-------------------	----------------------	-----------------------
- $$\text{TiCl}_{4} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{TiO}_{2(s)} + 2\text{Cl}_{2(g)} \uparrow$$

Figura 5. Reacciones de la obtención de TiO₂ mediante la vía del Cloración

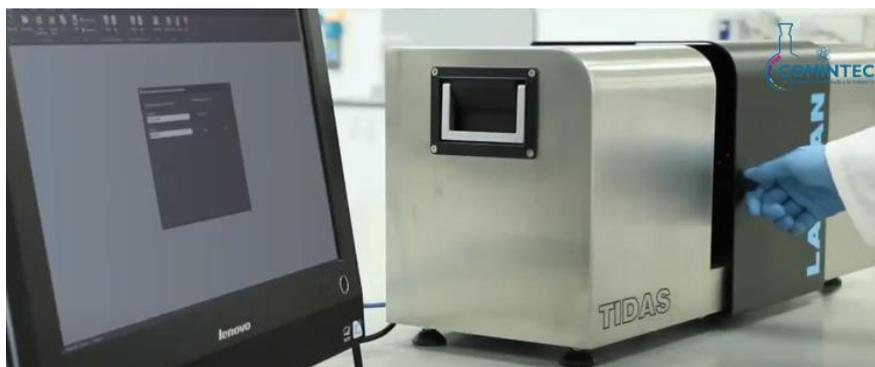


Figura 24. Grindómetro automatizado TIDAS Hegman



Figura 25. Aplicador automático de recubrimientos BYK Gardner